

The libcstl Library Reference Manual



The libcstl Library Reference Manual

for libcstl 2.0

Wangbo
2010-04-23

This file documents the libcstl library.

This is edition 1.0, last updated 2010-04-23, of *The libcstl Library Reference Manual* for libcstl 2.0.

Copyright (C) 2008, 2009, 2010 Wangbo <activesys.wb@gmail.com>

目录

第一章简介.....	16
第一节关于这本手册.....	16
第二节如何阅读这本手册.....	16
第三节关于 libcstl.....	17
第二章容器.....	18
第一节双端队列 deque_t.....	19
1.deque_t.....	20
2.deque_iterator_t.....	20
3.create_deque.....	20
4.deque_assign deque_assign_elem deque_assign_range.....	21
5.deque_at.....	23
6.deque_back.....	24
7.deque_begin.....	25
8.deque_clear.....	26
9.deque_destroy.....	27
10.deque_empty.....	27
11.deque_end.....	28
12.deque_equal.....	29
13.deque_erase deque_erase_range.....	30
14.deque_front.....	32
15.deque_greater.....	33
16.deque_greater_equal.....	34
17.deque_init deque_init_copy deque_init_copy_range deque_init_elem deque_init_n.....	35
18.deque_insert deque_insert_range deque_insert_n.....	38
19.deque_less.....	40
20.deque_less_equal.....	41
21.deque_max_size.....	42
22.deque_not_equal.....	43
23.deque_pop_back.....	44
24.deque_pop_front.....	45
25.deque_push_back.....	46
26.deque_push_front.....	47
27.deque_resize deque_resize_elem.....	48
28.deque_size.....	50
29.deque_swap.....	51
第二节双向链表 list_t.....	52
1.list_t.....	53
2.list_iterator_t.....	54
3.create_list.....	54
4.list_assign list_assign_elem list_assign_range.....	54
5.list_back.....	56
6.list_begin.....	57
7.list_clear.....	58
8.list_destroy.....	59
9.list_empty.....	60
10.list_end.....	61
11.list_equal.....	62
12.list_erase list_erase_range.....	63
13.list_front.....	65
14.list_greater.....	66

15.list_greater_equal.....	67
16.list_init list_init_copy list_init_copy_range list_init_elem list_init_n.....	68
17.list_insert list_insert_range list_insert_n.....	71
18.list_less.....	73
19.list_less_equal.....	74
20.list_max_size.....	75
21.list_merge list_merge_if.....	76
22.list_not_equal.....	78
23.list_pop_back.....	79
24.list_pop_front.....	80
25.list_push_back.....	81
26.list_push_front.....	82
27.list_remove.....	83
28.list_remove_if.....	84
29.list_resize list_resize_elem.....	86
30.list_reverse.....	87
31.list_size.....	89
32.list_sort list_sort_if.....	89
33.list_splice list_splice_pos list_splice_range.....	91
34.list_swap.....	93
35.list_unique list_unique_if.....	95
第三节单向链表 slist_t.....	97
1.slist_t.....	98
2.slist_iterator_t.....	99
3.create_slist.....	99
4.slist_assign slist_assign_elem slist_assign_range.....	99
5.slist_begin.....	101
6.slist_clear.....	102
7.slist_destroy.....	103
8.slist_empty.....	104
9.slist_end.....	105
10.slist_equal.....	106
11.slist_erase slist_erase_after slist_erase_after_range slist_erase_range.....	107
12.slist_front.....	109
13.slist_greater.....	110
14.slist_greater_equal.....	112
15.slist_init slist_init_copy slist_init_copy_range slist_init_elem slist_init_n.....	113
16.slist_insert slist_insert_after slist_insert_after_n slist_insert_after_range slist_insert_n slist_insert_range.....	115
17.slist_less.....	118
18.slist_less_equal.....	120
19.slist_max_size.....	121
20.slist_merge slist_merge_if.....	122
21.slist_not_equal.....	124
22.slist_pop_front.....	125
23.slist_previous.....	126
24.slist_push_front.....	127
25.slist_remove.....	128
26.slist_remove_if.....	129
27.slist_resize slist_resize_elem.....	131
28.slist_reverse.....	132
29.slist_size.....	133

30.slist_sort slist_sort_if.....	134
31.slist_splice slist_splice_after_pos slist_splice_after_range slist_splice_pos slist_splice_range	136
32.slist_swap.....	139
33.slist_unique slist_unique_if.....	141
第四节向量 vector_t.....	143
1.vector_t.....	144
2.vector_iterator_t.....	144
3.create_vector.....	144
4.vector_assign vector_assign_elem vector_assign_range.....	145
5.vector_at.....	147
6.vector_back.....	148
7.vector_begin.....	149
8.vector_capacity.....	150
9.vector_clear.....	151
10.vector_destroy.....	152
11.vector_empty.....	152
12.vector_end.....	153
13.vector_equal.....	154
14.vector_erase vector_erase_range.....	155
15.vector_front.....	157
16.vector_greater.....	158
17.vector_greater_equal.....	159
18.vector_init vector_init_copy vector_init_copy_range vector_init_elem vector_init_n.....	160
19.vector_insert vector_insert_n vector_insert_range.....	163
20.vector_less.....	165
21.vector_less_equal.....	166
22.vector_max_size.....	167
23.vector_not_equal.....	168
24.vector_pop_back.....	169
25.vector_push_back.....	170
26.vector_reserve.....	171
27.vector_resize vector_resize_elem.....	172
28.vector_size.....	173
29.vector_swap.....	174
第五节集合 set_t.....	175
1.set_t.....	177
2.set_iterator_t.....	177
3.create_set.....	177
4.set_assign.....	178
5.set_begin.....	179
6.set_clear.....	180
7.set_count.....	181
8.set_destroy.....	182
9.set_empty.....	182
10.set_end.....	183
11.set_equal.....	185
12.set_equal_range.....	186
13.set_erase set_erase_pos set_erase_range.....	187
14.set_find.....	190
15.set_greater.....	191
16.set_greater_equal.....	192

17.set_init set_init_copy set_init_copy_range set_init_copy_range_ex set_init_ex.....	194
18.set_insert set_insert_hint set_insert_range.....	197
19.set_key_comp.....	199
20.set_less.....	200
21.set_less_equal.....	202
22.set_lower_bound.....	203
23.set_max_size.....	205
24.set_not_equal.....	206
25.set_size.....	207
26.set_swap.....	208
27.set_upper_bound.....	209
28.set_value_comp.....	211
第六节多重集合 multiset_t.....	212
1.multiset_t.....	213
2.multiset_iterator_t.....	214
3.create_multiset.....	214
4.multiset_assign.....	214
5.multiset_begin.....	216
6.multiset_clear.....	217
7.multiset_count.....	217
8.multiset_destroy.....	219
9.multiset_empty.....	219
10.multiset_end.....	220
11.multiset_equal.....	221
12.multiset_equal_range.....	223
13.multiset_erase multiset_erase_pos multiset_erase_range.....	224
14.multiset_find.....	226
15.multiset_greater.....	228
16.multiset_greater_equal.....	229
17.multiset_init multiset_init_copy multiset_init_copy_range multiset_init_copy_range_ex multiset_init_ex.....	231
18.multiset_insert multiset_insert_hint multiset_insert_range.....	234
19.multiset_key_comp.....	236
20.multiset_less.....	237
21.multiset_less_equal.....	239
22.multiset_lower_bound.....	241
23.multiset_max_size.....	242
24.multiset_not_equal.....	243
25.multiset_size.....	244
26.multiset_swap.....	245
27.multiset_upper_bound.....	246
28.multiset_value_comp.....	248
第七节映射 map_t.....	249
1.map_t.....	251
2.map_iterator_t.....	251
3.create_map.....	251
4.map_assign.....	252
5.map_at.....	253
6.map_begin.....	255
7.map_clear.....	256
8.map_count.....	257
9.map_destroy.....	258

10.map_empty.....	259
11.map_end.....	260
12.map_equal.....	261
13.map_equal_range.....	263
14.map_erase map_erase_pos map_erase_range.....	264
15.map_find.....	267
16.map_greater.....	268
17.map_greater_equal.....	270
18.map_init map_init_copy map_init_copy_range map_init_copy_range_ex map_init_ex.....	271
19.map_insert map_insert_hint map_insert_range.....	275
20.map_key_comp.....	277
21.map_less.....	279
22.map_less_equal.....	280
23.map_lower_bound.....	282
24.map_max_size.....	284
25.map_not_equal.....	285
26.map_size.....	286
27.map_swap.....	287
28.map_upper_bound.....	289
29.map_value_comp.....	290
第八节多重映射 multimap_t.....	292
1.multimap_t.....	293
2.multimap_iterator_t.....	293
3.create_multimap.....	293
4.multimap_assign.....	294
5.multimap_begin.....	295
6.multimap_clear.....	296
7.multimap_count.....	297
8.multimap_destroy.....	299
9.multimap_empty.....	299
10.multimap_end.....	300
11.multimap_equal.....	301
12.multimap_equal_range.....	303
13.multimap_erase multimap_erase_pos multimap_erase_range.....	305
14.multimap_find.....	307
15.multimap_greater.....	309
16.multimap_greater_equal.....	310
17.multimap_init multimap_init_copy multimap_init_copy_range multimap_init_copy_range_ex multimap_init_ex.....	312
18.multimap_insert multimap_insert_hint multimap_insert_range.....	315
19.multimap_key_comp.....	318
20.multimap_less.....	319
21.multimap_less_equal.....	321
22.multimap_lower_bound.....	323
23.multimap_max_size.....	325
24.multimap_not_equal.....	325
25.multimap_size.....	327
26.multimap_swap.....	328
27.multimap_upper_bound.....	329
28.multimap_value_comp.....	331
第九节基于哈希结构的集合 hash_set_t.....	333
1.hash_set_t.....	334

2.hash_set_iterator_t.....	334
3.create_hash_set.....	334
4.hash_set_assign.....	335
5.hash_set_begin.....	336
6.hash_set_bucket_count.....	337
7.hash_set_clear.....	338
8.hash_set_count.....	339
9.hash_set_destroy.....	340
10.hash_set_empty.....	340
11.hash_set_end.....	341
12.hash_set_equal.....	343
13.hash_set_equal_range.....	344
14.hash_set_erase hash_set_erase_pos hash_set_erase_range.....	345
15.hash_set_find.....	348
16.hash_set_greater.....	349
17.hash_set_greater_equal.....	350
18.hash_set_hash.....	352
19.hash_set_init hash_set_init_copy hash_set_init_copy_range hash_set_init_copy_range_ex hash_set_init_ex.....	353
20.hash_set_insert hash_set_insert_range.....	357
21.hash_set_key_comp.....	359
22.hash_set_less.....	360
23.hash_set_less_equal.....	361
24.hash_set_max_size.....	363
25.hash_set_not_equal.....	364
26.hash_set_resize.....	365
27.hash_set_size.....	366
28.hash_set_swap.....	367
29.hash_set_value_comp.....	369
第十节基于哈希结构的多重集合 hash_multiset_t.....	370
1.hash_multiset_t.....	371
2.hash_multiset_iterator_t.....	371
3.create_hash_multiset.....	372
4.hash_multiset_assign.....	372
5.hash_multiset_begin.....	373
6.hash_multiset_bucket_count.....	374
7.hash_multiset_clear.....	375
8.hash_multiset_count.....	376
9.hash_multiset_destroy.....	377
10.hash_multiset_empty.....	378
11.hash_multiset_end.....	379
12.hash_multiset_equal.....	380
13.hash_multiset_equal_range.....	381
14.hash_multiset_erase hash_multiset_erase_pos hash_multiset_erase_range.....	383
15.hash_multiset_find.....	385
16.hash_multiset_greater.....	386
17.hash_multiset_greater_equal.....	388
18.hash_multiset_hash.....	389
19.hash_multiset_init hash_multiset_init_copy hash_multiset_init_copy_range hash_multiset_init_copy_range_ex hash_multiset_init_ex.....	391
20.hash_multiset_insert hash_multiset_insert_range.....	394
21.hash_multiset_key_comp.....	396

22.hash_multiset_less.....	397
23.hash_multiset_less_equal.....	399
24.hash_multiset_max_size.....	400
25.hash_multiset_not_equal.....	401
26.hash_multiset_resize.....	403
27.hash_multiset_size.....	404
28.hash_multiset_swap.....	405
29.hash_multiset_value_comp.....	406
第十一节基于哈希结构的映射 hash_map_t.....	407
1.hash_map_t.....	409
2.hash_map_iterator_t.....	409
3.create_hash_map.....	409
4.hash_map_assign.....	410
5.hash_map_at.....	411
6.hash_map_begin.....	413
7.hash_map_bucket_count.....	414
8.hash_map_clear.....	415
9.hash_map_count.....	416
10.hash_map_destroy.....	418
11.hash_map_empty.....	418
12.hash_map_end.....	419
13.hash_map_equal.....	420
14.hash_map_equal_range.....	422
15.hash_map_erase hash_map_erase_pos hash_map_erase_range.....	424
16.hash_map_find.....	426
17.hash_map_greater.....	427
18.hash_map_greater_equal.....	429
19.hash_map_hash.....	431
20.hash_map_init hash_map_init_copy hash_map_init_copy_range hash_map_init_copy_range_ex hash_map_init_ex.....	432
21.hash_map_insert hash_map_insert_range.....	436
22.hash_map_key_comp.....	438
23.hash_map_less.....	439
24.hash_map_less_equal.....	442
25.hash_map_max_size.....	443
26.hash_map_not_equal.....	444
27.hash_map_resize.....	446
28.hash_map_size.....	447
29.hash_map_swap.....	448
30.hash_map_value_comp.....	449
第十二节基于哈希结构的多重映射 hash_multimap_t.....	451
1.hash_multimap_t.....	452
2.hash_multimap_iterator_t.....	452
3.create_hash_multimap.....	452
4.hash_multimap_assign.....	453
5.hash_multimap_begin.....	454
6.hash_multimap_bucket_count.....	456
7.hash_multimap_clear.....	457
8.hash_multimap_count.....	458
9.hash_multimap_destroy.....	459
10.hash_multimap_empty.....	459
11.hash_multimap_end.....	460

12.hash_multimap_equal.....	462
13.hash_multimap_equal_range.....	463
14.hash_multimap_erase hash_multimap_erase_pos hash_multimap_erase_range.....	465
15.hash_multimap_find.....	467
16.hash_multimap_greater.....	468
17.hash_multimap_greater_equal.....	471
18.hash_multimap_hash.....	472
19.hash_multimap_init hash_multimap_init_copy hash_multimap_init_copy_range hash_multimap_init_copy_range_ex hash_multimap_init_ex.....	474
20.hash_multimap_insert hash_multimap_insert_range.....	477
21.hash_multimap_key_comp.....	479
22.hash_multimap_less.....	481
23.hash_multimap_less_equal.....	483
24.hash_multimap_max_size.....	485
25.hash_multimap_not_equal.....	486
26.hash_multimap_resize.....	487
27.hash_multimap_size.....	488
28.hash_multimap_swap.....	489
29.hash_multimap_value_comp.....	491
第十三节堆栈 stack_t.....	492
1.stack_t.....	493
2.create_stack.....	493
3.stack_assign.....	493
4.stack_destroy.....	495
5.stack_empty.....	495
6.stack_equal.....	496
7.stack_greater.....	497
8.stack_greater_equal.....	499
9.stack_init stack_init_copy.....	500
10.stack_less.....	501
11.stack_less_equal.....	503
12.stack_not_equal.....	504
13.stack_pop.....	506
14.stack_push.....	507
15.stack_size.....	508
16.stack_top.....	509
第十四节队列 queue_t.....	510
1.queue_t.....	511
2.create_queue.....	511
3.queue_assign.....	511
4.queue_back.....	512
5.queue_destroy.....	514
6.queue_empty.....	514
7.queue_equal.....	515
8.queue_front.....	517
9.queue_greater.....	518
10.queue_greater_equal.....	519
11.queue_init queue_init_copy.....	521
12.queue_less.....	522
13.queue_less_equal.....	524
14.queue_not_equal.....	525
15.queue_pop.....	527

16.queue_push.....	528
17.queue_size.....	529
第十五节优先队列 priority_queue_t.....	530
1.priority_queue_t.....	530
2.create_priority_queue.....	531
3.priority_queue_assign.....	531
4.priority_queue_destroy.....	532
5.priority_queue_empty.....	533
6.priority_queue_init priority_queue_init_copy priority_queue_init_copy_range priority_queue_init_copy_range_ex priority_queue_init_ex.....	534
7.priority_queue_pop.....	538
8.priority_queue_push.....	539
9.priority_queue_size.....	540
10.priority_queue_top.....	541
第三章迭代器.....	542
第一节迭代器操作函数.....	542
1.iterator_t.....	543
2.input_iterator_t.....	543
3.output_iterator_t.....	543
4.forward_iterator_t.....	544
5.bidirectional_iterator_t.....	544
6.random_access_iterator_t.....	544
7.iterator_at.....	544
8.iterator_equal.....	546
9.iterator_get_pointer.....	548
10.iterator_get_value.....	549
11.iterator_greater.....	549
12.iterator_greater_equal.....	551
13.iterator_less.....	553
14.iterator_less_equal.....	555
15.iterator_minus.....	557
16.iterator_next.....	558
17.iterator_next_n.....	559
18.iterator_not_equal.....	560
19.iterator_prev.....	562
20.iterator_prev_n.....	563
21.iterator_set_value.....	564
第二节迭代器辅助函数.....	565
1.iterator_advance.....	566
2.iterator_distance.....	567
第四章算法.....	569
第一节通用算法.....	569
1.algo_adjacent_find algo_adjacent_find_if.....	573
2.algo_binary_search algo_binary_search_if.....	575
3.algo_copy.....	577
4.algo_copy_backward.....	580
5.algo_copy_n.....	582
6.algo_count.....	584
7.algo_count_if.....	585
8.algo_equal algo_equal_if.....	587
9.algo_equal_range algo_equal_range_if.....	590
10.algo_fill.....	593

11.algo_fill_n.....	595
12.algo_find.....	596
13.algo_find_end algo_find_end_if.....	598
14.algo_find_first_of algo_find_first_of_if.....	598
15.algo_find_if.....	601
16.algo_for_each.....	603
17.algo_generate.....	604
18.algo_generate_n.....	606
19.algo_includes algo_includes_if.....	607
20.algo_inplace_merge algo_inplace_merge_if.....	611
21.algo_is_heap algo_is_heap_if.....	614
22.algo_is_sorted algo_is_sorted_if.....	617
23.algo_iter_swap.....	619
24.algo_lexicographical_compare algo_lexicographical_compare_if.....	622
25.algo_lexicographical_compare_3way algo_lexicographical_compare_3way_if.....	625
26.algo_lower_bound algo_lower_bound_if.....	627
27.algo_make_heap algo_make_heap_if.....	630
28.algo_max algo_max_if.....	632
29.algo_max_element algo_max_element_if.....	634
30.algo_merge algo_merge_if.....	636
31.algo_min algo_min_if.....	640
32.algo_min_element algo_min_element_if.....	642
33.algo_mismatch algo_mismatch_if.....	644
34.algo_next_permutation algo_next_permutation_if.....	647
35.algo_nth_element algo_nth_element_if.....	649
36.algo_partial_sort algo_partial_sort_if.....	651
37.algo_partial_sort_copy algo_partial_sort_copy_if.....	653
38.algo_partition.....	656
39.algo_pop_heap algo_pop_heap_if.....	657
40.algo_prev_permutation algo_prev_permutation_if.....	660
41.algo_push_heap algo_push_heap_if.....	663
42.algo_random_sample algo_random_sample_if.....	666
43.algo_random_sample_n algo_random_sample_n_if.....	668
44.algo_random_shuffle algo_random_shuffle_if.....	670
45.algo_remove.....	672
46.algo_remove_copy.....	674
47.algo_remove_copy_if.....	675
48.algo_remove_if.....	678
49.algo_replace.....	680
50.algo_replace_copy.....	681
51.algo_replace_copy_if.....	684
52.algo_replace_if.....	686
53.algo_reverse.....	688
54.algo_reverse_copy.....	689
55.algo_rotate.....	691
56.algo_rotate_copy.....	694
57.algo_search algo_search_if.....	696
58.algo_search_end algo_search_end_if.....	699
59.algo_search_n algo_search_n_if.....	702
60.algo_set_difference algo_set_difference_if.....	705
61.algo_set_intersection algo_set_intersection_if.....	710
62.algo_set_symmetric_difference algo_set_symmetric_difference_if.....	715

63.algo_set_union algo_set_union_if.....	720
64.algo_sort algo_sort_if.....	724
65.algo_sort_heap algo_sort_heap_if.....	726
66.algo_stable_sort algo_stable_sort_if.....	729
67.algo_stable_partition.....	731
68.algo_swap.....	733
69.algo_swap_ranges.....	733
70.algo_transform algo_transform_binary.....	735
71.algo_unique algo_unique_if.....	738
72.algo_unique_copy algo_unique_copy_if.....	740
73.algo_upper_bound algo_upper_bound_if.....	743
第二节数值算法.....	746
1.algo_accumulate algo_accumulate_if.....	746
2.algo_adjacent_difference algo_adjacent_difference_if.....	749
3.algo_inner_product algo_inner_product_if.....	752
4.algo_iota.....	755
5.algo_partial_sum algo_partial_sum_if.....	756
6.algo_power algo_power_if.....	759
第五章函数.....	761
第一节函数的定义.....	761
1.unary_function_t.....	762
2.binary_function_t.....	762
第二节算数函数.....	762
1.fun_plus_char fun_plus_uchar fun_plus_short fun_plus_ushort fun_plus_int fun_plus_uint fun_plus_long fun_plus_ulong fun_plus_float fun_plus_double fun_plus_long_double.....	764
2.fun_minus_char fun_minus_uchar fun_minus_short fun_minus_ushort fun_minus_int fun_minus_uint fun_minus_long fun_minus_ulong fun_minus_float fun_minus_double fun_minus_long_double.....	767
3.fun_multiplies_char fun_multiplies_uchar fun_multiplies_short fun_multiplies_ushort fun_multiplies_int fun_multiplies_uint fun_multiplies_long fun_multiplies_ulong fun_multiplies_float fun_multiplies_double fun_multiplies_long_double.....	770
4.fun_divides_char fun_divides_uchar fun_divides_short fun_divides_ushort fun_divides_int fun_divides_uint fun_divides_long fun_divides_ulong fun_divides_float fun_divides_double fun_divides_long_double.....	773
5.fun_modulus_char fun_modulus_uchar fun_modulus_short fun_modulus_ushort fun_modulus_int fun_modulus_uint fun_modulus_long fun_modulus_ulong.....	776
6.fun_negate_char fun_negate_short fun_negate_int fun_negate_long fun_negate_float fun_negate_double fun_negate_long_double.....	779
第三节逻辑函数.....	781
1.fun_equal_char fun_equal_uchar fun_equal_short fun_equal_ushort fun_equal_int fun_equal_uint fun_equal_long fun_equal_ulong fun_equal_float fun_equal_double fun_equal_long_double fun_equal_cstr fun_equal_vector fun_equal_deque fun_equal_list fun_equal_slist fun_equal_queue fun_equal_stack fun_equal_string fun_equal_pair fun_equal_set fun_equal_map fun_equal_multiset fun_equal_multimap fun_equal_hash_set fun_equal_hash_map fun_equal_hash_multiset fun_equal_hash_multimap.....	786
2.fun_not_equal_char fun_not_equal_uchar fun_not_equal_short fun_not_equal_ushort fun_not_equal_int fun_not_equal_uint fun_not_equal_long fun_not_equal_ulong fun_not_equal_float fun_not_equal_double fun_not_equal_long_double fun_not_equal_cstr fun_not_equal_vector fun_not_equal_deque fun_not_equal_list fun_not_equal_slist fun_not_equal_queue fun_not_equal_stack fun_not_equal_string fun_not_equal_pair fun_not_equal_set fun_not_equal_map fun_not_equal_multiset fun_not_equal_multimap fun_not_equal_hash_set fun_not_equal_hash_map fun_not_equal_hash_multiset	

fun_not_equal_hash_multimap.....	791
3.fun_greater_char fun_greater_uchar fun_greater_short fun_greater_ushort fun_greater_int fun_greater_uint fun_greater_long fun_greater_ulong fun_greater_float fun_greater_double fun_greater_long_double fun_greater_cstr fun_greater_vector fun_greater_deque fun_greater_list fun_greater_slist fun_greater_queue fun_greater_stack fun_greater_string fun_greater_pair fun_greater_set fun_greater_map fun_greater_multiset fun_greater_multimap fun_greater_hash_set fun_greater_hash_map fun_greater_hash_multiset fun_greater_hash_multimap.....	796
4.fun_greater_equal_char fun_greater_equal_uchar fun_greater_equal_short fun_greater_equal_ushort fun_greater_equal_int fun_greater_equal_uint fun_greater_equal_long fun_greater_equal_ulong fun_greater_equal_float fun_greater_equal_double fun_greater_equal_long_double fun_greater_equal_cstr fun_greater_equal_vector fun_greater_equal_deque fun_greater_equal_list fun_greater_equal_slist fun_greater_equal_queue fun_greater_equal_stack fun_greater_equal_string fun_greater_equal_pair fun_greater_equal_set fun_greater_equal_map fun_greater_equal_multiset fun_greater_equal_multimap fun_greater_equal_hash_set fun_greater_equal_hash_map fun_greater_equal_hash_multiset fun_greater_equal_hash_multimap.....	801
5.fun_less_char fun_less_uchar fun_less_short fun_less_ushort fun_less_int fun_less_uint fun_less_long fun_less_ulong fun_less_float fun_less_double fun_less_long_double fun_less_cstr fun_less_vector fun_less_deque fun_less_list fun_less_slist fun_less_queue fun_less_stack fun_less_string fun_less_pair fun_less_set fun_less_map fun_less_multiset fun_less_multimap fun_less_hash_set fun_less_hash_map fun_less_hash_multiset fun_less_hash_multimap.....	806
6.fun_less_equal_char fun_less_equal_uchar fun_less_equal_short fun_less_equal_ushort fun_less_equal_int fun_less_equal_uint fun_less_equal_long fun_less_equal_ulong fun_less_equal_float fun_less_equal_double fun_less_equal_long_double fun_less_equal_cstr fun_less_equal_vector fun_less_equal_deque fun_less_equal_list fun_less_equal_slist fun_less_equal_queue fun_less_equal_stack fun_less_equal_string fun_less_equal_pair fun_less_equal_set fun_less_equal_map fun_less_equal_multiset fun_less_equal_multimap fun_less_equal_hash_set fun_less_equal_hash_map fun_less_equal_hash_multiset fun_less_equal_hash_multimap.....	811
第四节逻辑函数.....	815
1.fun_logical_and_bool.....	816
2.fun_logical_or_bool.....	817
3.fun_logical_not_bool.....	819
第五节其他函数.....	821
1.fun_random_number.....	821
第六章字符串.....	823
第一节类型定义.....	823
1.string_t.....	823
2.string_iterator_t.....	823
3.NPOS.....	823
第二节操作函数.....	824
1.create_string.....	827
2.string_append string_append_char string_append_cstr string_append_range string_append_subcstr string_append_substring.....	827
3.string_assign string_assign_char string_append_cstr string_append_range string_append_subcstr string_assign_substring.....	830
4.string_at.....	832
5.string_begin.....	834
6.string_c_str.....	835
7.string_capacity.....	836

8.string_clear.....	837
9.string_compare string_compare_cstr string_compare_substring_cstr string_compare_substring_string string_compare_substring_subcstr string_compare_substring_substring.....	839
10.string_connect string_connect_char string_connect_cstr.....	843
11.string_copy.....	845
12.string_data.....	846
13.string_destroy.....	848
14.string_empty.....	848
15.string_end.....	849
16.string_equal string_equal_cstr.....	851
17.string_erase string_erase_range string_erase_substring.....	852
18.string_find string_find_char string_find_cstr string_find_subcstr.....	854
19.string_find_first_not_of string_find_first_not_of_char string_find_first_not_of_cstr string_find_first_not_of_subcstr.....	858
20.string_find_first_of string_find_first_of_char string_find_first_of_cstr string_find_first_of_subcstr.....	862
21.string_find_last_not_of string_find_last_not_of_char string_find_last_not_of_cstr string_find_last_not_of_subcstr.....	866
22.string_find_last_of string_find_last_of_char string_find_last_of_cstr string_find_last_of_subcstr	871
23.string_getline string_getline_delimiter.....	875
24.string_greater string_greater_cstr.....	876
25.string_greater_equal string_greater_equal_cstr.....	878
26.string_init string_init_char string_init_copy string_init_copy_range string_init_copy_substring string_init_cstr string_init_subcstr.....	879
27.string_input.....	882
28.string_insert string_insert_char string_insert_cstr string_insert_n string_insert_range string_insert_string string_insert_subcstr string_insert_substring.....	883
29.string_length.....	887
30.string_less string_less_cstr.....	889
31.string_less_equal string_less_equal_cstr.....	890
32.string_max_size.....	892
33.string_not_equal string_not_equal_cstr.....	894
34.string_output.....	895
35.string_push_back.....	896
36.string_range_replace string_range_replace_char string_range_replace_cstr string_range_replace_subcstr string_range_replace_substring string_replace string_replace_char string_replace_cstr string_replace_range string_replace_subcstr string_replace_substring.....	897
37.string_reserve.....	903
38.string_resize.....	905
39.string_rfind string_rfind_char string_rfind_cstr string_rfind_subcstr.....	906
40.string_size.....	910
41.string_substr.....	912
42.string_swap.....	913
第七章附录.....	915

第一章 简介

第一节 关于这本手册

这本手册详细的描述了 libcstl 的全部接口和数据结构，详细的介绍了每个函数和算法的参数返回值等。这本手册并没有介绍关于函数的使用技巧方面的内容，如果想要了解关于使用技巧方面的内容请参考《The libcstl Library User Guide》。这本手册是针对 libcstl 的 2.0 版本，如果想了解其他版本请参考相应的用户指南或者参考手册。

以下是本书的结构和阅读约定：

- 第一章：简介
简单介绍本手册的结构和内容，简单介绍 libcstl。
- 第二章：容器
详细描述各种容器的概念，用法以及接口函数。
- 第三章：迭代器
详细描述迭代器的概念，类型，用法。
- 第四章：算法
详细描述算法的概念，算法的种类以及用法。
- 第五章：函数
详细描述函数以及谓词的概念用法。
- 第六章：字符串
详细描述了字符串类型的的概念和用法。
- 第七章：工具类型
详细描述工具类型的概念和用法。
- 第八章：类型机制
描述类型机制的概念和方法。
- 附录：类型描述
描述类型时使用的方法和范式。

第二节 如何阅读这本手册

这是一本关于 libcstl 库的手册，按照库的各个部分介绍，读者可以通读，也可以按照需要来查阅相应的主题。下面是这本书的约定：

下面是本书中用到的所有主题：

- **Typedefs**
相关的类型定义，宏定义等。
- **Operation Functions**
与类型相关的操作函数。
- **Algorithm Functions**
算法函数。
- **Functions**
libcstl 函数。
- **Parameters**
函数参数的说明。
- **Remarks**
函数相关的说明。
- **Example**
函数的使用示例。
- **Output**
示例的输出结果。
- **Requirements**
要使用函数所需要的条件，如头文件等。

本书的所有范例程序都可以在 libcstl 的主页中下载到 <http://code.google.com/p/libcstl/downloads/list>

第三节 关于 libcstl

libcstl 为 C 语言编程提供了通用的数据结构和算法，它模仿了 SGI STL 的接口和实现。主要分为容器，迭代器，算法，函数等四个部分，此外 libcstl 2.0 提供了类型机制，为用户提供更方便的自定义类型数据管理。

所有 libcstl 容器，迭代器，函数，算法等都定义在下面列出的头文件中，要使用 libcstl 就要包含相应的头文件，下面是所有的头文件以及简要的描述：

calgorithm.h	定义了除了算术算法以为外的所有算法。
cdeque.h	定义了双端队列容器及其操作函数。
cfunctional.h	定义函数和谓词。
chash_map.h	定义了基于哈希结构的映射和多重映射容器及其操作函数。
chash_set.h	定义了基于哈希结构的集合和多重集合容器及其操作函数。
citerator.h	定义了迭代器和迭代器的辅助函数。
clist.h	定义了双向链表容器及其操作函数。
cmap.h	定义了映射和多重映射容器及其操作函数。
cnumeric.h	定义数值算法。
cqueue.h	定义了队列和优先队列容器适配器及其操作函数。
cset.h	定义了集合和多重集合容器及其操作函数。
clist.h	定义了单向列表及其操作函数。
cstack.h	定义了堆栈容器适配器及其操作函数。
cstring.h	定义了字符串类型及其操作函数。
cutility.h	定义了工具类型及其操作函数。
cvector.h	定义了向量类型及其操作函数。

第二章 容器

为了保存数据 `libcstl` 库提供了多种类型的容器，这些容器都是通用的，可以用来保存任何类型的数据。这一章主要介绍各种容器以及操作函数，帮助用户选择适当的容器。

容器可以分为三种类型：序列容器，关联容器，和容器适配器。下面简要的描述了三种容器的特点，详细的信息请参考后面的章节：

- 序列容器：

序列容器按照数据的插入顺序保存数据，同时也允许用户指定在什么位置插入数据。

<code>deque_t</code>	双端队列允许在队列的两端快速的插入或者删除数据，同时也可以随机的访问队列内的数据。
<code>list_t</code>	双向链表允许在链表的任何位置快速的插入或者删除数据，但是不能够随机的访问链表内的数据。
<code>vector_t</code>	向量类似于数组，但是可以根据需要自动生长。
<code>slist_t</code>	单向链表这是一个弱化的链表，只允许在链表开头快速的插入或者删除数据，也不支持随机访问数据。

- 关联容器：

关联容器就是将插入的数据按照规则自动排序。关联容器可以分为两大类，映射和集合。映射保存的数据是键/值对，映射中的数据是按照键来排序的。集合就是保存着有序的数据，数据值本身就是键。映射和集合中的数据键都是不能重复的，要保存重复的键就要使用多重映射和多重集合。`libcstl` 库还提供了基于哈希结构的映射和集合容器。

<code>map_t</code>	映射容器，保存有序的键/值对，键不能重复。
<code>multimap_t</code>	多重映射容器，保存有序的键/值对，键可以重复。
<code>set_t</code>	集合容器，保存有序数据，数据不能重复。
<code>multiset_t</code>	多重集合容器，保存有序数据，数据可以重复。
<code>hash_map_t</code>	基于哈希结构的映射容器，保存键/值对，键不能重复。
<code>hash_multimap_t</code>	基于哈希结构的多重映射容器，保存键/值对，键可以重复。
<code>hash_set_t</code>	基于哈希结构的集合，保存的数据不能重复。
<code>hash_multiset_t</code>	基于哈希结构的多重集合，保存的数据可以重复。

- 容器适配器：

容器适配器是对容器的行为进行了简单的封装，它们的底层都是容器，但是容器适配器不支持迭代器。

<code>priority_queue_t</code>	它被优化的队列，优先级最高的数据总是在队列的最前面。
<code>queue_t</code>	它实现了一个先入先出(FIFO)的语义，第一个被插入的数据也第一个被删除。
<code>stack_t</code>	它实现了一个后入先出(LIFO)的语义，最后被插入的数据第一个被删除。

由于容器适配器都不支持迭代器，所以不能够在算法中使用它们。

第一节 双端队列 `deque_t`

双端队列使用线性的方式保存数据，像向量(`vector_t`)一样，它允许随机的访问数据，以及在末尾高效的插入和删除数据，与 `vector_t` 不同的是 `deque_t` 也允许在队列的开头高效的插入和删除数据。当添加或者删除实际时，

deque_t 的迭代器会失效。

● Typedefs

deque_t	双端队列容器。
deque_iterator_t	双端队列容器的迭代器。

● Operation Functions

create_deque	创建一个双端队列。
deque_assign	将原始的数据删除并将新的双端队列中的数据拷贝到原来的双端队列中。
deque_assign_elem	将原始的数据删除并将指定个数的数据拷贝到原来的双端队列中。
deque_assign_range	将原始的数据删除并将指定范围内的数据拷贝到原来的双端队列中。
deque_at	访问双端队列中指定位置的数据。
deque_back	访问双端队列中最后一个数据。
deque_begin	返回指向双端队列中第一个数据的迭代器。
deque_clear	删除双端队列中的所有数据。
deque_destroy	销毁双端队列。
deque_empty	测试双端队列是否为空。
deque_end	返回指向双端队列末尾的迭代器。
deque_equal	测试两个双端队列是否相等。
deque_erase	删除双端队列中指定位置的数据。
deque_erase_range	删除双端队列中指定范围的数据。
deque_front	访问双端队列的第一个数据。
deque_greater	测试第一个双端队列是否大于第二个双端队列。
deque_greater_equal	测试第一个双端队列是否大于等于第二个双端队列。
deque_init	初始化一个空的双端队列。
deque_init_copy	使用一个双端队列初始化另一个双端队列。
deque_init_copy_range	使用指定范围内的数据初始化双端队列。
deque_init_elem	使用指定数据初始化双端队列。
deque_init_n	使用指定个数的默认数据初始化双端队列。
deque_insert	在指定位置插入数据。
deque_insert_range	在指定位置插入一个指定数据区间的数据。
deque_insert_n	在指定位置插入多个数据。
deque_less	测试第一个双端队列是否小于第二个双端队列。
deque_less_equal	测试第一个双端队列是否小于等于第二个双端队列。
deque_max_size	返回双端队列的最大可能长度。
deque_not_equal	测试两个双端队列是否不等。
deque_pop_back	删除双端队列的最后一个数据。
deque_pop_front	删除双端队列的第一个数据。
deque_push_back	在双端队列的末尾添加一个数据。

deque_push_front	在双端队列的开头添加一个数据。
deque_resize	指定双端队列的新的长度。
deque_resize_elem	指定双端队列的新的长度，并用指定数据填充。
deque_size	返回双端队列的数据个数。
deque_swap	交换两个双端队列中的数据。

1. deque_t

deque_t 是双端队列类型。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/cdeque.h>

- **Example**

请参考 deque_t 类型的其他操作函数。

2. deque_iterator_t

双端队列的迭代器类型。

- **Remarks**

deque_iterator_t 是随机访问迭代器类型，可以通过迭代器来修改容器中的数据。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/cdeque.h>

- **Example**

请参考 deque_t 类型的其他操作函数。

3. create_deque

创建一个双端队列。

```
deque_t* create_deque(  
    type  
);
```

- **Parameters**

type: 数据类型的描述。

- **Remarks**

创建成功返回指向 deque_t 类型的指针，失败返回 NULL。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/cdeque.h>

- **Example**

请参考 deque_t 类型的其他操作函数。

4. deque_assign deque_assign_elem deque_assign_range

使用另一个 deque_t 或者多个数据或者一个数据区间为 deque_t 赋值。

```
void deque_assign(
    deque_t* pdeq_dest,
    const deque_t* cpdeq_src
);

void deque_assign_elem(
    deque_t* pdeq_dest,
    size_t t_count,
    element
);

void deque_assign_range(
    deque_t* pdeq_dest,
    deque_iterator_t it_begin,
    deque_iterator_t it_end
);
```

● Parameters

pdeq_dest: 指向被赋值的 deque_t 的指针。
cpdeq_src: 指向赋值的 deque_t 的指针。
t_count: 赋值数据的个数。
element: 赋值的数据。
it_begin: 赋值的数据区间的开始位置的迭代器。
it_end: 赋值的数据区间的末尾的迭代器。

● Remarks

赋值是将原始的 deque_t 中的数据全部删除之后将新的数据复制到原始 deque_t 中。

● Requirements

头文件 <cstl/cdeque.h>

● Example

```
/*
 * deque_assign.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cdeque.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);
    deque_t* pdq_q2 = create_deque(int);
    deque_iterator_t it_q;

    if(pdq_q1 == NULL || pdq_q2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    deque_init(pdq_q1);
```

```

deque_init(pdq_q2);

deque_push_back(pdq_q1, 10);
deque_push_back(pdq_q1, 20);
deque_push_back(pdq_q1, 30);
deque_push_back(pdq_q2, 40);
deque_push_back(pdq_q2, 50);
deque_push_back(pdq_q2, 60);

printf("q1 =");
for(it_q = deque_begin(pdq_q1);
    !iterator_equal(it_q, deque_end(pdq_q1));
    it_q = iterator_next(it_q))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
}
printf("\n");

deque_assign(pdq_q1, pdq_q2);
printf("q1 =");
for(it_q = deque_begin(pdq_q1);
    !iterator_equal(it_q, deque_end(pdq_q1));
    it_q = iterator_next(it_q))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
}
printf("\n");

deque_assign_range(pdq_q1, iterator_next(deque_begin(pdq_q2)),
    deque_end(pdq_q2));
printf("q1 =");
for(it_q = deque_begin(pdq_q1);
    !iterator_equal(it_q, deque_end(pdq_q1));
    it_q = iterator_next(it_q))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
}
printf("\n");

deque_assign_elem(pdq_q1, 7, 4);
printf("q1 =");
for(it_q = deque_begin(pdq_q1);
    !iterator_equal(it_q, deque_end(pdq_q1));
    it_q = iterator_next(it_q))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
}
printf("\n");

deque_destroy(pdq_q1);
deque_destroy(pdq_q2);

return 0;
}

```

● Output

```

q1 = 10 20 30
q1 = 40 50 60
q1 = 50 60
q1 = 4 4 4 4 4 4 4

```

5. deque_at

返回指向 deque_t 中指定位置的数据的指针。

```
void* deque_at(  
    const deque_t* cpdeq_deque,  
    size_t t_pos  
);
```

- **Parameters**

cpdeq_deque: 指向 deque_t 类型的指针。

t_pos: 数据在 deque_t 中的位置下标。

- **Remarks**

如果指定的位置下标有效，函数返回指向数据的指针，如果下标无效返回 NULL。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cdeque.h>

- **Example**

```
/*  
 * deque_at.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cdeque.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);  
    int* pn_i = NULL;  
    int n_j = 0;  
  
    if(pdq_q1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    deque_init(pdq_q1);  
  
    deque_push_back(pdq_q1, 10);  
    deque_push_back(pdq_q1, 20);  
  
    pn_i = (int*)deque_at(pdq_q1, 0);  
    n_j = *(int*)deque_at(pdq_q1, 1);  
    printf("The first element is %d\n", *pn_i);  
    printf("The second element is %d\n", n_j);  
  
    deque_destroy(pdq_q1);  
  
    return 0;  
}
```

- **Output**

The first element is 10

The second element is 20

6. deque_back

返回指向 deque_t 中最后一个数据的指针。

```
void* deque_back(  
    const deque_t* cpdeq_deque  
);
```

- **Parameters**

cpdeq_deque: 指向 deque_t 类型的指针。

- **Remarks**

deque_t 中数据不为空则返回指向最有一个数据的指针，如果为空返回 NULL。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib>

- **Example**

```
/*  
 * deque_back.c  
 * compile with : -lcstdl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstdlib>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);  
    int* pn_i = NULL;  
    int* pn_j = NULL;  
  
    if(pdq_q1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    deque_init(pdq_q1);  
  
    deque_push_back(pdq_q1, 10);  
    deque_push_back(pdq_q1, 11);  
  
    pn_i = (int*)deque_back(pdq_q1);  
    pn_j = (int*)deque_back(pdq_q1);  
    printf("The last integer of q1 is %d\n", *pn_i);  
    (*pn_i)++;  
    printf("The modified last integer of q1 is %d\n", *pn_j);  
  
    deque_destroy(pdq_q1);  
  
    return 0;  
}
```

- **Output**

The last integer of q1 is 11

The modified last integer of q1 is 12

7. deque_begin

返回指向 deque_t 中第一个数据的迭代器。

```
deque_iterator_t deque_begin(  
    const deque_t* cpdeq_deque  
);
```

- **Parameters**

cpdeq_deque: 指向 deque_t 类型的指针。

- **Remarks**

如果 deque_t 为空，这个迭代器和指向数据末尾的迭代器相等。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/cdeque.h>

- **Example**

```
/*  
 * deque_begin.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstdlib/cdeque.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);  
    deque_iterator_t it_q;  
  
    if(pdq_q1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    deque_init(pdq_q1);  
  
    deque_push_back(pdq_q1, 1);  
    deque_push_back(pdq_q1, 2);  
  
    it_q = deque_begin(pdq_q1);  
    printf("The first element of q1 is %d\n", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));  
  
    *(int*)iterator_get_pointer(it_q) = 20;  
    printf("The first element of q1 is now %d\n",  
        *(int*)iterator_get_pointer(it_q));  
  
    deque_destroy(pdq_q1);  
  
    return 0;  
}
```

- **Output**

The first element of q1 is 1

The first element of q1 is now 20

8. deque_clear

删除 deque_t 中的所有数据。

```
void deque_clear(  
    deque_t* pdeq_deque  
);
```

- **Parameters**

pdeq_deque: 指向 deque_t 类型的指针。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cdeque.h>

- **Example**

```
/*  
 * deque_clear.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cdeque.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);  
  
    if(pdq_q1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    deque_init(pdq_q1);  
  
    deque_push_back(pdq_q1, 10);  
    deque_push_back(pdq_q1, 20);  
    deque_push_back(pdq_q1, 30);  
  
    printf("The size of the deque is initially %d\n", deque_size(pdq_q1));  
    deque_clear(pdq_q1);  
    printf("The size of the deque after clearing is %d\n", deque_size(pdq_q1));  
  
    deque_destroy(pdq_q1);  
  
    return 0;  
}
```

- **Output**

```
The size of the deque is initially 3  
The size of the deque after clearing is 0
```

9. deque_destroy

销毁 deque_t，释放申请的资源。

```
void deque_destroy(  
    deque_t* pdeq_deque  
);
```

- **Parameters**

pdeq_deque: 指向 deque_t 类型的指针。

- **Remarks**

如果在 deque_t 类型在使用之后没有调用销毁函数，申请的资源不能够被释放。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cdeque.h>

- **Example**

请参考 deque_t 类型的其他操作函数。

10. deque_empty

测试 deque_t 是否为空。

```
bool_t deque_empty(  
    const deque_t* cpdeq_deque  
);
```

- **Parameters**

pdeq_deque: 指向 deque_t 类型的指针。

- **Remarks**

deque_t 为空返回 true，否则返回 false。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cdeque.h>

- **Example**

```
/*  
 * deque_empty.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cdeque.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);  
  
    if(pdq_q1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    deque_init(pdq_q1);  
  
    deque_push_back(pdq_q1, 10);  
    if(deque_empty(pdq_q1))
```

```

    {
        printf("The deque is empty.\n");
    }
    else
    {
        printf("The deque is not empty.\n");
    }

    deque_destroy(pdq_q1);

    return 0;
}

```

● Output

The deque is not empty.

11. deque_end

返回指向 deque_t 末尾的迭代器。

```

deque_iterator_t deque_end(
    const deque_t* cpdeq_deque
);

```

● Parameters

cpdeq_deque: 指向 deque_t 类型的指针。

● Remarks

当 deque_t 为空的时候返回的迭代器与指向第一个数据的迭代器相等。

● Requirements

头文件 <cstl/cdeque.h>

● Example

```

/*
 * deque_end.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cdeque.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);
    deque_iterator_t it_q;

    if(pdq_q1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    deque_init(pdq_q1);

    deque_push_back(pdq_q1, 10);
    deque_push_back(pdq_q1, 20);
    deque_push_back(pdq_q1, 30);
}

```

```

it_q = deque_end(pdq_q1);
it_q = iterator_prev(it_q);
printf("The last integer of q1 is %d\n", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));

it_q = iterator_prev(it_q);
*(int*)iterator_get_pointer(it_q) = 400;
printf("The new next-to-last integer of q1 is %d\n",
      *(int*)iterator_get_pointer(it_q));

printf("The deque is now:");
for(it_q = deque_begin(pdq_q1);
    !iterator_equal(it_q, deque_end(pdq_q1));
    it_q = iterator_next(it_q))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
}
printf("\n");

deque_destroy(pdq_q1);

return 0;
}

```

● Output

```

The last integer of q1 is 30
The new next-to-last integer of q1 is 400
The deque is now: 10 400 30

```

12. deque_equal

测试两个 deque_t 是否相等。

```

bool_t deque_equal(
    const deque_t* cpdeq_first,
    const deque_t* cpdeq_second
);

```

● Parameters

cpdeq_first: 指向第一个 deque_t 类型的指针。

cpdeq_second: 指向第二个 deque_t 类型的指针。

● Remarks

两个 deque_t 中的每个数据都对应相等，并且数据的个数相等返回 true，否则返回 false，两个 deque_t 中保存的数据类型不同也被认为两个 deque_t 不等。

● Requirements

头文件 <cstdlib>

● Example

```

/*
 * deque_equal.c
 * compile with : -lcstdl
 */

#include <stdio.h>

```

```

#include <cstl/cdeque.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);
    deque_t* pdq_q2 = create_deque(int);

    if(pdq_q1 == NULL || pdq_q2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    deque_init(pdq_q1);
    deque_init(pdq_q2);

    deque_push_back(pdq_q1, 1);
    deque_push_back(pdq_q2, 1);

    if(deque_equal(pdq_q1, pdq_q2))
    {
        printf("The deques are equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The deques are not equal.\n");
    }

    deque_push_back(pdq_q1, 1);
    if(deque_equal(pdq_q1, pdq_q2))
    {
        printf("The deques are equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The deques are not equal.\n");
    }

    deque_destroy(pdq_q1);
    deque_destroy(pdq_q2);

    return 0;
}

```

● Output

```

The deques are equal.
The deques are not equal.

```

13. deque_erase deque_erase_range

删除指定位置的数据或者指定数据区间中的数据。

```

deque_iterator_t deque_erase(
    deque_t* pdeq_deque,
    deque_iterator_t it_pos
);

deque_iterator_t deque_erase_range(
    deque_t* pdeq_deque,

```

```

    deque_iterator_t it_begin,
    deque_iterator_t it_end
);

```

● Parameters

pdq_deque: 指向 `deque_t` 类型的指针。
it_pos: 指向被删除的数据的迭代器。
it_begin: 被删除的数据区间的开始。
it_end: 被删除的数据区间的末尾。

● Remarks

返回指向被删除的数据的下一个数据的迭代器，或者数据区间的末尾。

● Requirements

头文件 `<cstl/cdeque.h>`

● Example

```

/*
 * deque_erase.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cdeque.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);
    deque_iterator_t it_q;

    if(pdq_q1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    deque_init(pdq_q1);

    deque_push_back(pdq_q1, 10);
    deque_push_back(pdq_q1, 20);
    deque_push_back(pdq_q1, 30);
    deque_push_back(pdq_q1, 40);
    deque_push_back(pdq_q1, 50);

    printf("The initial deque is: ");
    for(it_q = deque_begin(pdq_q1);
        !iterator_equal(it_q, deque_end(pdq_q1));
        it_q = iterator_next(it_q))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
    }
    printf("\n");

    deque_erase(pdq_q1, deque_begin(pdq_q1));
    printf("After erasing the first element, the deque becomes: ");
    for(it_q = deque_begin(pdq_q1);
        !iterator_equal(it_q, deque_end(pdq_q1));
        it_q = iterator_next(it_q))

```

```

{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
}
printf("\n");

deque_erase_range(pdq_q1,
    iterator_next(deque_begin(pdq_q1)),
    deque_end(pdq_q1));
printf("After erasing all elements but the first, the deque becomes: ");
for(it_q = deque_begin(pdq_q1);
    !iterator_equal(it_q, deque_end(pdq_q1));
    it_q = iterator_next(it_q))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
}
printf("\n");

deque_destroy(pdq_q1);

return 0;
}

```

● Output

The initial deque is: 10 20 30 40 50

After erasing the first element, the deque becomes: 20 30 40 50

After erasing all elements but the first, the deque becomes: 20

14. deque_front

返回指向第一个数据的指针。

```

void* deque_front(
    const deque_t* cpdeq_deque
);

```

● Parameters

cpdeq_deque: 指向 deque_t 类型的指针。

● Remarks

如果 deque_t 为空，返回 NULL。

● Requirements

头文件 <cstl/cdeque.h>

● Example

```

/*
 * deque_front.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cdeque.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);
    int* pn_i = NULL;

```



```

int* pn_j = NULL;

if(pdq_q1 == NULL)
{
    return -1;
}

deque_init(pdq_q1);

deque_push_back(pdq_q1, 10);
deque_push_back(pdq_q1, 11);

pn_i = (int*)deque_front(pdq_q1);
pn_j = (int*)deque_front(pdq_q1);
printf("The first integer of q1 is %d\n", *pn_i);
(*pn_i)--;
printf("The modified first integer of q1 is %d\n", *pn_j);

deque_destroy(pdq_q1);

return 0;
}

```

● Output

```

The first integer of q1 is 10
The modified first integer of q1 is 9

```

15. deque_greater

测试第一个 deque_t 是否大于第二个 deque_t。

```

bool_t deque_greater(
    const deque_t* cpdeq_first,
    const deque_t* cpdeq_second
);

```

● Parameters

cpdeq_first: 指向第一个 deque_t 类型的指针。

cpdeq_second: 指向第二个 deque_t 类型的指针。

● Remarks

要求两个 deque_t 保存的数据类型相同。

● Requirements

头文件 <cstl/cdeque.h>

● Example

```

/*
 * deque_greater.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cdeque.h>

int main(int argc, char* argv[])

```

```

{
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);
    deque_t* pdq_q2 = create_deque(int);

    if(pdq_q1 == NULL || pdq_q2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    deque_init(pdq_q1);
    deque_init(pdq_q2);

    deque_push_back(pdq_q1, 1);
    deque_push_back(pdq_q1, 3);
    deque_push_back(pdq_q1, 1);

    deque_push_back(pdq_q2, 1);
    deque_push_back(pdq_q2, 2);
    deque_push_back(pdq_q2, 2);

    if(deque_greater(pdq_q1, pdq_q2))
    {
        printf("Deque q1 is greater than deque q2.\n");
    }
    else
    {
        printf("Deque q1 is not greater than deque q2.\n");
    }

    deque_destroy(pdq_q1);
    deque_destroy(pdq_q2);

    return 0;
}

```

● Output

```
Deque q1 is greater than deque q2.
```

16. deque_greater_equal

测试第一个 deque_t 是否大于等于第二个 deque_t。

```

bool_t deque_greater_equal(
    const deque_t* cpdeq_first,
    const deque_t* cpdeq_second
);

```

● Parameters

cpdeq_first: 指向第一个 deque_t 类型的指针。

cpdeq_second: 指向第二个 deque_t 类型的指针。

● Remarks

要求两个 deque_t 保存的数据类型相同。

● Requirements

头文件 <cstdlib/cdeque.h>

● Example

```
/*
 * deque_greater_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cdeque.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);
    deque_t* pdq_q2 = create_deque(int);

    if(pdq_q1 == NULL || pdq_q2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    deque_init(pdq_q1);
    deque_init(pdq_q2);

    deque_push_back(pdq_q1, 1);
    deque_push_back(pdq_q1, 3);
    deque_push_back(pdq_q1, 1);

    deque_push_back(pdq_q2, 1);
    deque_push_back(pdq_q2, 2);
    deque_push_back(pdq_q2, 2);

    if(deque_greater_equal(pdq_q1, pdq_q2))
    {
        printf("Deque q1 is greater than or equal to deque q2.\n");
    }
    else
    {
        printf("Deque q1 is less than deque q2.\n");
    }

    deque_destroy(pdq_q1);
    deque_destroy(pdq_q2);

    return 0;
}
```

● Output

```
Deque q1 is greater than or equal to deque q2.
```

17. deque_init deque_init_copy deque_init_copy_range deque_init_elem deque_init_n

初始化 deque_t 容器。

```
void deque_init(
    deque_t* pdeq_deque
);
```

```
void deque_init_copy(
```

```

    deque_t* pdeq_deque,
    const deque_t* cpdeq_src
);

void deque_init_copy_range(
    deque_t* pdeq_deque,
    deque_iterator_t it_begin,
    deque_iterator_t it_end
);

void deque_init_elem(
    deque_t* pdeq_deque,
    size_t t_count,
    element
);

void deque_init_n(
    deque_t* pdeq_deque,
    size_t t_count
);

```

● Parameters

pdeq_deque: 指向被初始化的 deque_t 类型。
cpdeq_src: 指向用来初始化 deque_t 的 deque_t 类型。
it_begin: 用于初始化的数据区间的开始位置。
it_end: 用于初始化的数据区间的末尾。
t_count: 用于初始化的数据的个数。
element: 用于初始化的数据。

● Remarks

第一个函数初始化一个空 deque_t 类型。
 第二个函数通过拷贝的方式初始化一个 deque_t 类型。
 第三个函数使用一个数据区间初始化一个 deque_t 类型。
 第四个函数使用多个指定数据初始化一个 deque_t 类型。
 第五个函数使用多个默认数据初始化一个 deque_t 类型。

● Requirements

头文件 <cstdlib/cdeque.h>

● Example

```

/*
 * deque_init.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cdeque.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    deque_t* pdq_q0 = create_deque(int);
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);
    deque_t* pdq_q2 = create_deque(int);
    deque_t* pdq_q3 = create_deque(int);
    deque_t* pdq_q4 = create_deque(int);
}

```

```

deque_iterator_t it_q;

if(pdq_q0 == NULL || pdq_q1 == NULL || pdq_q2 == NULL ||
    pdq_q3 == NULL || pdq_q4 == NULL)
{
    return -1;
}

/* Create an empty deque q0 */
deque_init(pdq_q0);

/* Create a deque q1 with 3 elements of default value 0 */
deque_init_n(pdq_q1, 3);

/* Create a deque q2 with 5 elements of value 2 */
deque_init_elem(pdq_q2, 5, 2);

/* Create a copy, deque q3, of deque q2 */
deque_init_copy(pdq_q3, pdq_q2);

/* Create a deque q4 by copying the range q3[first, last) */
deque_init_copy_range(pdq_q4, deque_begin(pdq_q3),
    iterator_advance(deque_begin(pdq_q3), 2));

printf("q1 = ");
for(it_q = deque_begin(pdq_q1);
    !iterator_equal(it_q, deque_end(pdq_q1));
    it_q = iterator_next(it_q))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
}
printf("\n");

printf("q2 = ");
for(it_q = deque_begin(pdq_q2);
    !iterator_equal(it_q, deque_end(pdq_q2));
    it_q = iterator_next(it_q))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
}
printf("\n");

printf("q3 = ");
for(it_q = deque_begin(pdq_q3);
    !iterator_equal(it_q, deque_end(pdq_q3));
    it_q = iterator_next(it_q))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
}
printf("\n");

printf("q4 = ");
for(it_q = deque_begin(pdq_q4);
    !iterator_equal(it_q, deque_end(pdq_q4));
    it_q = iterator_next(it_q))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
}
printf("\n");

```

```

deque_destroy(pdq_q0);
deque_destroy(pdq_q1);
deque_destroy(pdq_q2);
deque_destroy(pdq_q3);
deque_destroy(pdq_q4);

return 0;
}

```

● Output

```

q1 = 0 0 0
q2 = 2 2 2 2 2
q3 = 2 2 2 2 2
q4 = 2 2

```

18. deque_insert deque_insert_range deque_insert_n

向 deque_t 中插入数据。

```

deque_iterator_t deque_insert(
    deque_t* pdeq_deque,
    deque_iterator_t it_pos,
    element
);

void deque_insert_range(
    deque_t* pdeq_deque,
    deque_iterator_t it_pos,
    deque_iterator_t it_begin,
    deque_iterator_t it_end
);

deque_iterator_t deque_insert_n(
    deque_t* pdeq_deque,
    deque_iterator_t it_pos,
    size_t t_count,
    element
);

```

● Parameters

pdeq_deque: 指向被初始化的 deque_t 类型。
it_pos: 数据插入的位置。
it_begin: 插入的数据区间的开始位置。
it_end: 插入的数据区间的末尾。
t_count: 插入的数据的个数。
element: 插入的数据。

● Remarks

第一个函数向指定位置插入一个数据并返回这个数据插入后的位置迭代器。
 第二个函数向指定位置插入一个数据区间。
 第三个函数向指定位置插入多个数据并返回被插入的第一个数据的位置迭代器。

● Requirements

头文件 <cstdlib/cdeque.h>

● Example

```
/*
 * deque_insert.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cdeque.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);
    deque_t* pdq_q2 = create_deque(int);
    deque_iterator_t it_q;

    if(pdq_q1 == NULL || pdq_q2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    deque_init(pdq_q1);
    deque_init(pdq_q2);

    deque_push_back(pdq_q1, 10);
    deque_push_back(pdq_q1, 20);
    deque_push_back(pdq_q1, 30);
    deque_push_back(pdq_q2, 40);
    deque_push_back(pdq_q2, 50);
    deque_push_back(pdq_q2, 60);

    printf("q1 = ");
    for(it_q = deque_begin(pdq_q1);
        !iterator_equal(it_q, deque_end(pdq_q1));
        it_q = iterator_next(it_q))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
    }
    printf("\n");

    deque_insert(pdq_q1, iterator_next(deque_begin(pdq_q1)), 100);
    printf("q1 = ");
    for(it_q = deque_begin(pdq_q1);
        !iterator_equal(it_q, deque_end(pdq_q1));
        it_q = iterator_next(it_q))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
    }
    printf("\n");

    deque_insert_n(pdq_q1, iterator_advance(deque_begin(pdq_q1), 2), 2, 200);
    printf("q1 = ");
    for(it_q = deque_begin(pdq_q1);
        !iterator_equal(it_q, deque_end(pdq_q1));
        it_q = iterator_next(it_q))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
    }
    printf("\n");
}
```

```

deque_insert_range(pdq_q1, iterator_next(deque_begin(pdq_q1)),
    deque_begin(pdq_q2), iterator_prev(deque_end(pdq_q2)));
printf("q1 = ");
for(it_q = deque_begin(pdq_q1);
    !iterator_equal(it_q, deque_end(pdq_q1));
    it_q = iterator_next(it_q))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
}
printf("\n");

deque_destroy(pdq_q1);
deque_destroy(pdq_q2);

return 0;
}

```

● Output

```

q1 = 10 20 30
q1 = 10 100 20 30
q1 = 10 100 200 200 20 30
q1 = 10 40 50 100 200 200 20 30

```

19. deque_less

测试第一个 deque_t 类型是否小于第二个 deque_t 类型。

```

bool_t deque_less(
    const deque_t* cpdeq_first,
    const deque_t* cpdeq_second
);

```

● Parameters

cpdeq_first: 指向第一个 deque_t 类型的指针。

cpdeq_second: 指向第二个 deque_t 类型的指针。

● Remarks

要求两个 deque_t 保存的数据类型相同。

● Requirements

头文件 <cstl/cdeque.h>

● Example

```

/*
 * deque_less.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cdeque.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);
    deque_t* pdq_q2 = create_deque(int);
}

```



```

if(pdq_q1 == NULL || pdq_q2 == NULL)
{
    return -1;
}

deque_init(pdq_q1);
deque_init(pdq_q2);

deque_push_back(pdq_q1, 1);
deque_push_back(pdq_q1, 2);
deque_push_back(pdq_q1, 4);

deque_push_back(pdq_q2, 1);
deque_push_back(pdq_q2, 3);

if(deque_less(pdq_q1, pdq_q2))
{
    printf("Deque q1 is less than deque q2.\n");
}
else
{
    printf("Deque q1 is not less than deque q2.\n");
}

deque_destroy(pdq_q1);
deque_destroy(pdq_q2);

return 0;
}

```

● Output

```
Deque q1 is less than deque q2.
```

20. deque_less_equal

测试第一个 deque_t 类型是否小于等于第二个 deque_t 类型。

```

bool_t deque_less_equal(
    const deque_t* cpdeq_first,
    const deque_t* cpdeq_second
);

```

● Parameters

cpdeq_first: 指向第一个 deque_t 类型的指针。

cpdeq_second: 指向第二个 deque_t 类型的指针。

● Remarks

要求两个 deque_t 保存的数据类型相同。

● Requirements

头文件 <cstl/cdeque.h>

● Example

```

/*
 * deque_less_equal.c
 * compile with : -lcstl

```

```

*/

#include <stdio.h>
#include <cstl/cdeque.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);
    deque_t* pdq_q2 = create_deque(int);

    if(pdq_q1 == NULL || pdq_q2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    deque_init(pdq_q1);
    deque_init(pdq_q2);

    deque_push_back(pdq_q1, 1);
    deque_push_back(pdq_q1, 2);
    deque_push_back(pdq_q1, 4);

    deque_push_back(pdq_q2, 1);
    deque_push_back(pdq_q2, 3);

    if(deque_less_equal(pdq_q1, pdq_q2))
    {
        printf("Deque q1 is less than or equal to deque q2.\n");
    }
    else
    {
        printf("Deque q1 is greater than deque q2.\n");
    }

    deque_destroy(pdq_q1);
    deque_destroy(pdq_q2);

    return 0;
}

```

● Output

```
Deque q1 is less than or equal to deque q2.
```

21. deque_max_size

返回 deque_t 类型保存数据可能的最大数量。

```

size_t deque_max_size(
    const deque_t* cpdeq_deque
);

```

● Parameters

cpdeq_deque: 指向 deque_t 类型的指针。

● Remarks

返回 deque_t 类型保存数据可能的最大数量。这是一个与系统相关的常数。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/cdeque.h>

- **Example**

```
/*
 * deque_max_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cdeque.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);

    if(pdq_q1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    deque_init(pdq_q1);

    printf("The maxmum possible length of the deque is %d\n",
        deque_max_size(pdq_q1));

    deque_destroy(pdq_q1);

    return 0;
}
```

- **Output**

The maxmum possible length of the deque is 1073741823

22. deque_not_equal

测试两个 deque_t 类型是否不等。

```
bool_t deque_not_equal(
    const deque_t* cpdeq_first,
    const deque_t* cpdeq_second
);
```

- **Parameters**

cpdeq_first: 指向第一个 deque_t 类型的指针。

cpdeq_second: 指向第二个 deque_t 类型的指针。

- **Remarks**

两个 deque_t 中保存的数据类型不同也被认为两个 deque_t 不等。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/cdeque.h>

- **Example**

```
/*
 * deque_not_equal.c
```

```

* compile with : -lcstl
*/

#include <stdio.h>
#include <cstl/cdeque.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);
    deque_t* pdq_q2 = create_deque(int);

    if(pdq_q1 == NULL || pdq_q2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    deque_init(pdq_q1);
    deque_init(pdq_q2);

    deque_push_back(pdq_q1, 1);
    deque_push_back(pdq_q2, 2);

    if(deque_not_equal(pdq_q1, pdq_q2))
    {
        printf("The deques are not equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The deques are equal.\n");
    }

    deque_destroy(pdq_q1);
    deque_destroy(pdq_q2);

    return 0;
}

```

● Output

```
The deques are not equal.
```

23. deque_pop_back

删除 deque_t 最后一个数据。

```

void deque_pop_back(
    deque_t* pdeq_deque
);

```

● Parameters

pdeq_deque: 指向 deque_t 类型的指针。

● Remarks

deque_t 中数据为空函数的行为是未定义的。

● Requirements

头文件 <cstl/cdeque.h>

● Example

```
/*
 * deque_pop_back.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cdeque.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);

    if(pdq_q1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    deque_init(pdq_q1);

    deque_push_back(pdq_q1, 1);
    deque_push_back(pdq_q1, 2);

    printf("The first element is: %d\n", *(int*)deque_front(pdq_q1));
    printf("The last element is: %d\n", *(int*)deque_back(pdq_q1));

    deque_pop_back(pdq_q1);
    printf("After deleting the element at the end of the deque,"
           " the last element is %d\n",
           *(int*)deque_back(pdq_q1));

    deque_destroy(pdq_q1);

    return 0;
}
```

● Output

```
The first element is: 1
The last element is: 2
After deleting the element at the end of the deque, the last element is 1
```

24. deque_pop_front

删除 deque_t 中的第一个数据。

```
void deque_pop_front(
    deque_t* pdeq_deque
);
```

● Parameters

pdeq_deque: 指向 deque_t 类型的指针。

● Remarks

deque_t 中数据为空函数的行为是未定义的。

● Requirements

头文件 <cstl/cdeque.h>

● Example

```
/*
 * deque_pop_front.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cdeque.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);

    if(pdq_q1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    deque_init(pdq_q1);

    deque_push_back(pdq_q1, 1);
    deque_push_back(pdq_q1, 2);

    printf("The first element is: %d\n", *(int*)deque_front(pdq_q1));
    printf("The second element is: %d\n", *(int*)deque_back(pdq_q1));

    deque_pop_front(pdq_q1);
    printf("After deleting the element at the beginning of the deque,"
        " the first element is: %d\n", *(int*)deque_front(pdq_q1));

    deque_destroy(pdq_q1);

    return 0;
}
```

● Output

```
The first element is: 1
The second element is: 2
After deleting the element at the beginning of the deque, the first element is: 2
```

25. deque_push_back

向 deque_t 容器的末尾添加一个数据。

```
void deque_push_back(
    deque_t* pdeq_deque,
    element
);
```

● Parameters

pdeq_deque: 指向 deque_t 类型的指针。
element: 添加到容器末尾的数据。

● Requirements

头文件 <cstl/cdeque.h>

● Example

```
/*
 * deque_push_back.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cdeque.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);

    if(pdq_q1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    deque_init(pdq_q1);

    deque_push_back(pdq_q1, 1);
    if(deque_size(pdq_q1) != 0)
    {
        printf("Last element: %d\n", *(int*)deque_back(pdq_q1));
    }

    deque_push_back(pdq_q1, 2);
    if(deque_size(pdq_q1) != 0)
    {
        printf("New last element: %d\n", *(int*)deque_back(pdq_q1));
    }

    deque_destroy(pdq_q1);

    return 0;
}
```

● Output

```
Last element: 1
New last element: 2
```

26. deque_push_front

向 deque_t 的开始位置添加数据。

```
void deque_push_front(
    deque_t* pdeq_deque,
    element
);
```

● Parameters

pdeq_deque: 指向 deque_t 类型的指针。
element: 添加到容器开始位置的数据。

● Requirements

头文件 <cstl/cdeque.h>

● Example

```
/*
 * deque_push_front.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cdeque.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);

    if(pdq_q1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    deque_init(pdq_q1);

    deque_push_front(pdq_q1, 1);
    if(deque_size(pdq_q1) != 0)
    {
        printf("First element: %d\n", *(int*)deque_front(pdq_q1));
    }

    deque_push_front(pdq_q1, 2);
    if(deque_size(pdq_q1) != 0)
    {
        printf("New first element: %d\n", *(int*)deque_front(pdq_q1));
    }

    deque_destroy(pdq_q1);

    return 0;
}
```

● Output

```
First element: 1
New first element: 2
```

27. deque_resize deque_resize_elem

重新指定 deque_t 中数据的个数，扩充的部分使用默认数据或者指定的数据填充。

```
void deque_resize(
    deque_t* pdeq_deque,
    size_t t_resize
);

void deque_resize_elem(
    deque_t* pdeq_deque,
    size_t t_resize,
    element
);
```

● Parameters

pdq_deque: 指向 deque_t 类型的指针。
t_resize: deque_t 容器中数据的新的个数。
element: 填充数据。

● Remarks

当新的数据个数大于当前个数是使用默认数据或者指定的数据填充，当新的数据个数小于当前数据的个数时将容器后面多余的数据删除。

● Requirements

头文件 <cstl/cdeque.h>

● Example

```
/*
 * deque_resize.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cdeque.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);

    if(pdq_q1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    deque_init(pdq_q1);

    deque_push_back(pdq_q1, 10);
    deque_push_back(pdq_q1, 20);
    deque_push_back(pdq_q1, 30);

    deque_resize_elem(pdq_q1, 4, 40);
    printf("The size of q1 is: %d\n", deque_size(pdq_q1));
    printf("The value of the last element is %d\n", *(int*)deque_back(pdq_q1));

    deque_resize(pdq_q1, 5);
    printf("The size of q1 is now: %d\n", deque_size(pdq_q1));
    printf("The value of the last element is now %d\n", *(int*)deque_back(pdq_q1));

    deque_resize(pdq_q1, 2);
    printf("The reduced size of q1 is: %d\n", deque_size(pdq_q1));
    printf("The value of the last element is now %d\n", *(int*)deque_back(pdq_q1));

    deque_destroy(pdq_q1);

    return 0;
}
```

● Output

```
The size of q1 is: 4
The value of the last element is 40
The size of q1 is now: 5
The value of the last element is now 0
The reduced size of q1 is: 2
```

The value of the last element is now 20

28. deque_size

返回容器中数据的个数。

```
size_t deque_size(  
    const deque_t* cpdeq_deque  
);
```

- **Parameters**

cpdeq_deque: 指向 deque_t 类型的指针。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cdeque.h>

- **Example**

```
/*  
 * deque_size.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cdeque.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);  
  
    if(pdq_q1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    deque_init(pdq_q1);  
  
    deque_push_back(pdq_q1, 1);  
    printf("The deque length is %d\n", deque_size(pdq_q1));  
  
    deque_push_back(pdq_q1, 2);  
    printf("The deque length is now %d\n", deque_size(pdq_q1));  
  
    deque_destroy(pdq_q1);  
  
    return 0;  
}
```

- **Output**

```
The deque length is 1  
The deque length is now 2
```

29. deque_swap

交换两个 deque_t 的内容。

```
void deque_swap(  

```

```

deque_t* pdeq_first,
deque_t* pdeq_second
);

```

● Parameters

pdeq_first: 指向第一个 deque_t 类型的指针。

pdeq_second: 指向第二个 deque_t 类型的指针。

● Remarks

要求两个 deque_t 保存的数据类型相同。

● Requirements

头文件 <cstl/cdeque.h>

● Example

```

/*
 * deque_swap.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cdeque.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    deque_t* pdq_q1 = create_deque(int);
    deque_t* pdq_q2 = create_deque(int);
    deque_iterator_t it_q;

    if(pdq_q1 == NULL || pdq_q2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    deque_init(pdq_q1);
    deque_init(pdq_q2);

    deque_push_back(pdq_q1, 1);
    deque_push_back(pdq_q1, 2);
    deque_push_back(pdq_q1, 3);
    deque_push_back(pdq_q2, 10);
    deque_push_back(pdq_q2, 20);

    printf("The original deque q1 is:");
    for(it_q = deque_begin(pdq_q1);
        !iterator_equal(it_q, deque_end(pdq_q1));
        it_q = iterator_next(it_q))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
    }
    printf("\n");

    deque_swap(pdq_q1, pdq_q2);
    printf("After swapping with q2, deque q1 is:");
    for(it_q = deque_begin(pdq_q1);
        !iterator_equal(it_q, deque_end(pdq_q1));
        it_q = iterator_next(it_q))
    {

```

```
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
    }
    printf("\n");

    deque_destroy(pdq_q1);
    deque_destroy(pdq_q2);

    return 0;
}
```

● **Output**

The original deque q1 is: 1 2 3
After swapping with q2, deque q1 is: 10 20

第二节 双向链表 list_t

双向链表是序列容器的一种，它以线性的方式保存数据，同时允许在任意位置高效的插入或者删除数据，但是不能够随机的访问链表中的数据。当从 list_t 中删除数据的时候，指向被删除数据的迭代器失效。

● **Typedefs**

list_t	双向链表容器类型。
list_iterator_t	双向链表迭代器类型。

● **Operation Functions**

create_list	创建双向链表容器。
list_assign	将另一个双向链表赋值给当前的双向链表。
list_assign_elem	使用指定数据为双向链表赋值。
list_assign_range	使用指定数据区间为双向链表赋值。
list_back	访问最后一个数据。
list_begin	返回指向第一个数据的迭代器。
list_clear	删除所有数据。
list_destroy	销毁双向链表容器。
list_empty	测试容器是否为空。
list_end	返回容器末尾的迭代器。
list_equal	测试两个双向链表是否相等。
list_erase	删除指定位置的数据。
list_erase_range	删除指定数据区间的数据。
list_front	访问容器中的第一个数据。
list_greater	测试第一个双向链表是否大于第二个双向链表。
list_greater_equal	测试第一个双向链表是否大于等于第二个双向链表。
list_init	初始化一个空的双向链表容器。
list_init_copy	使用另一个双向链表初始化当前的双向链表。
list_init_copy_range	使用指定的数据区间初始化双向链表。

list_init_elem	使用指定数据初始化双向链表。
list_init_n	使用指定个数的默认数据初始化双向链表。
list_insert	在指定位置插入一个数据。
list_insert_range	在指定位置插入一个数据区间。
list_insert_n	在指定位置插入多个数据。
list_less	测试第一个双向链表是否小于第二个双向链表。
list_less_equal	测试第一个双向链表是否小于等于第二个双向链表。
list_max_size	返回双向链表能够保存的最大数据个数。
list_merge	合并两个有序的双向链表。
list_merge_if	按照特定规则合并两个有序的双向链表。
list_not_equal	测试两个双向链表是否不等。
list_pop_back	删除最后一个数据。
list_pop_front	删除第一个数据。
list_push_back	在双向链表的末尾添加一个数据。
list_push_front	在双向链表的开头添加一个数据。
list_remove	删除双向链表中与指定的数据相等的数据。
list_remove_if	删除双向链表中符合特定规则的数据。
list_resize	重新设置双向链表中的数据个数，不足的部分采用默认数据填充
list_resize_elem	重新设置双向链表中的数据个数，不足的部分采用指定数据填充。
list_reverse	把双向链表中的数据逆序。
list_size	返回双向链表中数据的个数。
list_sort	排序双向链表中的数据。
list_sort_if	按照规则排序双向链表中的数据。
list_splice	将双向链表中的数据转移到另一个双向链表中。
list_splice_pos	将制定位置的数据转移到另一个双向链表中。
list_splice_range	将制定区间的数据转移到另一个双向链表中。
list_swap	交换两个双向链表的内容。
list_unique	删除相邻的重复数据。
list_unique_if	删除相邻的满足规则的数据。

1. list_t

list_t 是双向链表容器类型。

- **Requirements**

头文件 <cstl/clist.h>

- **Example**

请参考 list_t 类型的其他操作函数。

2. list_iterator_t

list_iterator_t 双向链表的迭代器类型。

- **Remarks**

list_iterator_t 是双向迭代器类型，不支持数据的随机访问，可以通过迭代器来修改容器中的数据。

- **Requirements**

头文件 <cstl/clist.h>

- **Example**

请参考 list_t 类型的其他操作函数。

3. create_list

创建一个双向链表容器类型。

```
list_t* create_list(  
    type  
);
```

- **Parameters**

type: 数据类型描述。

- **Remarks**

函数成功返回指向 list_t 类型的指针，失败返回 NULL。

- **Requirements**

头文件 <cstl/clist.h>

- **Example**

请参考 list_t 类型的其他操作函数。

4. list_assign list_assign_elem list_assign_range

使用双向链表容器，指定数据或者指定的区间为双向链表赋值。

```
void list_assign(  
    list_t* plist_dest,  
    const list_t* cplist_src  
);  
  
void list_assign_elem(  
    list_t* plist_dest,  
    size_t t_count,  
    element  
);  
  
void list_assign_range(  
    list_t* plist_dest,  
    list_iterator_t it_begin,  
    list_iterator_t it_end  
);
```

● Parameters

plist_dest: 指向被赋值的 list_t。
cplist_src: 指向赋值的 list_t。
t_count: 指定数据的个数。
element: 指定数据。
it_begin: 指定数据区间的开始。
it_end: 指定数据区间的末尾。

● Remarks

这三个函数都要求赋值的数据必须与 list_t 中保存的数据类型相同。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```
/*
 * list_assign.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_t* plist_l2 = create_list(int);
    list_iterator_t it_l;

    if(plist_l1 == NULL || plist_l2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);
    list_init(plist_l2);

    list_push_back(plist_l1, 10);
    list_push_back(plist_l1, 20);
    list_push_back(plist_l1, 30);
    list_push_back(plist_l2, 40);
    list_push_back(plist_l2, 50);
    list_push_back(plist_l2, 60);

    printf("l1 =");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    list_assign(plist_l1, plist_l2);
    printf("l1 =");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
```

```

        it_1 = iterator_next(it_1)
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
    }
    printf("\n");

    list_assign_range(plist_11, iterator_next(list_begin(plist_12)),
        list_end(plist_12));
    printf("l1 =");
    for(it_1 = list_begin(plist_11);
        !iterator_equal(it_1, list_end(plist_11));
        it_1 = iterator_next(it_1))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
    }
    printf("\n");

    list_assign_elem(plist_11, 7, 4);
    printf("l1 =");
    for(it_1 = list_begin(plist_11);
        !iterator_equal(it_1, list_end(plist_11));
        it_1 = iterator_next(it_1))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
    }
    printf("\n");

    list_destroy(plist_11);
    list_destroy(plist_12);

    return 0;
}

```

● Output

```

l1 = 10 20 30
l1 = 40 50 60
l1 = 50 60
l1 = 4 4 4 4 4 4 4

```

5. list_back

访问双向链表容器中最后一个数据。

```

void* list_back(
    const list_t* cplist_list
);

```

● Parameters

cplist_list: 指向 list_t 的指针。

● Remarks

如果 list_t 不为空，则返回指向 list_t 中最后一个数据的指针，如果 list_t 为空返回 NULL。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example


```

/*
 * list_back.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    int* pn_i = NULL;
    int* pn_j = NULL;

    if(plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);

    list_push_back(plist_l1, 10);
    list_push_back(plist_l1, 20);

    pn_i = (int*)list_back(plist_l1);
    pn_j = (int*)list_back(plist_l1);

    printf("The last integer of l1 is %d\n", *pn_i);
    (*pn_i)++;
    printf("The modified last integer of l1 is %d\n", *pn_j);

    list_destroy(plist_l1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The last integer of l1 is 20
The modified last integer of l1 is 21

```

6. list_begin

返回指向 list_t 中第一个数据的迭代器。

```

list_iterator_t list_begin(
    const list_t* cplist_list
);

```

● Parameters

cplist_list: 指向 list_t 的指针。

● Remarks

如果 list_t 不为空，则返回指向 list_t 中第一个数据的迭代器，如果 list_t 为空返回的迭代器与容器末尾的迭代器相等。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```
/*
 * list_begin.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_iterator_t it_l;

    if(plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);

    list_push_back(plist_l1, 1);
    list_push_back(plist_l1, 2);

    it_l = list_begin(plist_l1);
    printf("The first element of l1 is %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_l));

    *(int*)iterator_get_pointer(it_l) = 20;
    printf("The first element of l1 is now %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_l));

    list_destroy(plist_l1);

    return 0;
}
```

● Output

```
The first element of l1 is 1
The first element of l1 is now 20
```

7. list_clear

删除 list_t 中的所有数据。

```
void list_clear(
    list_t* plist_list
);
```

● Parameters

plist_list: 指向 list_t 的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```

/*
 * list_clear.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);

    if(plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);

    list_push_back(plist_l1, 10);
    list_push_back(plist_l1, 20);
    list_push_back(plist_l1, 30);

    printf("The size of the list is initially %d\n",
        list_size(plist_l1));
    list_clear(plist_l1);
    printf("The size of the list after clearing is %d\n",
        list_size(plist_l1));

    list_destroy(plist_l1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The size of the list is initially 3
The size of the list after clearing is 0

```

8. list_destroy

销毁 list_t。

```

void list_destroy(
    list_t* plist_list
);

```

● Parameters

plist_list: 指向 list_t 的指针。

● Remarks

当 list_t 使用之后要销毁，否则 list_t 申请的资源就不会被释放。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

请参考 list_t 类型的其他操作函数。

9. list_empty

测试 list_t 是否为空。

```
bool_t list_empty(  
    const list_t* cplist_list  
);
```

- **Parameters**

cplist_list: 指向 list_t 的指针。

- **Remarks**

list_t 为空返回 true，否则返回 false。

- **Requirements**

头文件 <cstl/clist.h>

- **Example**

```
/*  
 * list_empty.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/clist.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    list_t* plist_l1 = create_list(int);  
  
    if(plist_l1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    list_init(plist_l1);  
  
    list_push_back(plist_l1, 10);  
    if(list_empty(plist_l1))  
    {  
        printf("The list is empty.\n");  
    }  
    else  
    {  
        printf("The list is not empty.\n");  
    }  
  
    list_destroy(plist_l1);  
  
    return 0;  
}
```

- **Output**

The list is not empty.

10. list_end

返回指向 list_t 末尾的迭代器。

```
list_iterator_t list_end(  
    const list_t* cplist_list  
);
```

- **Parameters**

cplist_list: 指向 list_t 的指针。

- **Remarks**

返回指向 list_t 末尾的迭代器，如果 list_t 为空则返回的结果和 list_begin()函数的结果相等。

- **Requirements**

头文件 <cstl/clist.h>

- **Example**

```
/*  
 * list_end.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/clist.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    list_t* plist_l1 = create_list(int);  
    list_iterator_t it_l;  
  
    if(plist_l1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    list_init(plist_l1);  
  
    list_push_back(plist_l1, 10);  
    list_push_back(plist_l1, 20);  
    list_push_back(plist_l1, 30);  
  
    it_l = list_end(plist_l1);  
    it_l = iterator_prev(it_l);  
    printf("The last integer of l1 is %d\n",  
        *(int*)iterator_get_pointer(it_l));  
  
    it_l = iterator_prev(it_l);  
    *(int*)iterator_get_pointer(it_l) = 400;  
    printf("The new nex-to-last integer of l1 is %d\n",  
        *(int*)iterator_get_pointer(it_l));  
  
    printf("The list is now:");  
    for(it_l = list_begin(plist_l1);  
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));  
        it_l = iterator_next(it_l))  
    {
```

```

        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
    }
    printf("\n");

    list_destroy(plist_l1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The last integer of l1 is 30
The new nex-to-last integer of l1 is 400
The list is now: 10 400 30

```

11. list_equal

测试两个 list_t 是否相等。

```

bool_t list_equal(
    const list_t* cplist_first,
    const list_t* cplist_second
);

```

● Parameters

cplist_first: 指向第一个 list_t 的指针。
cplist_second: 指向第二个 list_t 的指针。

● Remarks

list_t 中的每个数据都对应相等且个数相等返回 true，否则返回 false，如果 list_t 中保存的数据类型不同则认为两个 list_t 不等。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```

/*
 * list_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_t* plist_l2 = create_list(int);

    if(plist_l1 == NULL || plist_l2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);
    list_init(plist_l2);
}

```

```

list_push_back(plist_l1, 1);
list_push_back(plist_l2, 1);

if(list_equal(plist_l1, plist_l2))
{
    printf("The lists are equal.\n");
}
else
{
    printf("The lists are not equal.\n");
}

list_destroy(plist_l1);
list_destroy(plist_l2);

return 0;
}

```

● Output

```
The lists are equal.
```

12. list_erase list_erase_range

删除 list_t 中指定位置或者指定数据区间的数据。

```

list_iterator_t list_erase(
    list_t* plist_list,
    list_iterator_t it_pos
);

list_iterator_t list_erase_range(
    list_t* plist_list,
    list_iterator_t it_begin,
    list_iterator_t it_end
);

```

● Parameters

plist_list: 指向 list_t 的指针。
it_pos: 要删除数据的位置。
it_begin: 要删除数据区间的开始位置。
it_end: 要删除数据区间的末尾。

● Remarks

两个函数返回的都是被删除数据后面的位置迭代器。两个函数要求指向被删除数据的迭代器是有效的，否则程序的行为是未定义的。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```

/*
 * list_erase.c
 * compile with : -lcstl
 */

```

```

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_iterator_t it_l;

    if(plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);

    list_push_back(plist_l1, 10);
    list_push_back(plist_l1, 20);
    list_push_back(plist_l1, 30);
    list_push_back(plist_l1, 40);
    list_push_back(plist_l1, 50);

    printf("The initial list is:");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    list_erase(plist_l1, list_begin(plist_l1));
    printf("After erasing the first element, the list becomes:");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    list_erase_range(plist_l1, iterator_next(list_begin(plist_l1)),
        list_end(plist_l1));
    printf("After erasing all elements but the first, the list becomes:");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    list_destroy(plist_l1);

    return 0;
}

```

● Output

The initial list is: 10 20 30 40 50

After erasing the first element, the list becomes: 20 30 40 50

After erasing all elements but the first, the list becomes: 20

13. list_front

访问 list_t 中的第一个数据。

```
void* list_front(  
    const list_t* cplist_list  
);
```

- **Parameters**

cplist_list: 指向 list_t 的指针。

- **Remarks**

如果 list_t 不为空，则返回指向 list_t 中第一个数据的指针，如果 list_t 为空返回 NULL。

- **Requirements**

头文件 <cstl/clist.h>

- **Example**

```
/*  
 * list_front.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/clist.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    list_t* plist_l1 = create_list(int);  
    int* pn_i = NULL;  
    int* pn_j = NULL;  
  
    if(plist_l1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    list_init(plist_l1);  
  
    list_push_back(plist_l1, 10);  
  
    pn_i = (int*)list_front(plist_l1);  
    pn_j = (int*)list_front(plist_l1);  
  
    printf("The first integer of l1 is %d\n", *pn_i);  
    (*pn_i)++;  
    printf("The modified first integer of l1 is %d\n", *pn_j);  
  
    list_destroy(plist_l1);  
  
    return 0;  
}
```

- **Output**

```
The first integer of l1 is 10
The modified first integer of l1 is 11
```

14. list_greater

测试第一个 list_t 是否大于第二个 list_t。

```
bool_t list_greater(
    const list_t* cplist_first,
    const list_t* cplist_second
);
```

- **Parameters**

cplist_first: 指向第一个 list_t 的指针。
cplist_second: 指向第二个 list_t 的指针。

- **Remarks**

要求两个 list_t 保存的数据类型相同，否则程序的行为是未定义的。

- **Requirements**

头文件 <cstl/clist.h>

- **Example**

```
/*
 * list_greater.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_11 = create_list(int);
    list_t* plist_12 = create_list(int);

    if(plist_11 == NULL || plist_12 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_11);
    list_init(plist_12);

    list_push_back(plist_11, 1);
    list_push_back(plist_11, 3);
    list_push_back(plist_11, 1);

    list_push_back(plist_12, 1);
    list_push_back(plist_12, 2);
    list_push_back(plist_12, 2);

    if(list_greater(plist_11, plist_12))
    {
        printf("List 11 is greater than list 12.\n");
    }
    else
```

```

{
    printf("The l1 is not greater than list l2.\n");
}

list_destroy(plist_l1);
list_destroy(plist_l2);

return 0;
}

```

● Output

List l1 is greater than list l2.

15. list_greater_equal

测试第一个 list_t 是否大于等于第二个 list_t。

```

bool_t list_greater_equal(
    const list_t* cplist_first,
    const list_t* cplist_second
);

```

● Parameters

cplist_first: 指向第一个 list_t 的指针。
cplist_second: 指向第二个 list_t 的指针。

● Remarks

要求两个 list_t 保存的数据类型相同，否则程序的行为是未定义的。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```

/*
 * list_greater_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_t* plist_l2 = create_list(int);

    if(plist_l1 == NULL || plist_l2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);
    list_init(plist_l2);

    list_push_back(plist_l1, 1);
    list_push_back(plist_l1, 3);
}

```

```

list_push_back(plist_l1, 1);

list_push_back(plist_l2, 1);
list_push_back(plist_l2, 2);
list_push_back(plist_l2, 2);

if(list_greater_equal(plist_l1, plist_l2))
{
    printf("List l1 is greater than or equal to list l2.\n");
}
else
{
    printf("The l1 is less than list l2.\n");
}

list_destroy(plist_l1);
list_destroy(plist_l2);

return 0;
}

```

● Output

List l1 is greater than or equal to list l2.

16. list_init list_init_copy list_init_copy_range list_init_elem list_init_n

初始化 list_t。

```

void list_init(
    list_t* plist_list
);

void list_init_copy(
    list_t* plist_list,
    const list_t* cplist_src
);

void list_init_copy_range(
    list_t* plist_list,
    list_iterator_t it_begin,
    list_iterator_t it_end
);

void list_init_elem(
    list_t* plist_list,
    size_t t_count,
    element
);

void list_init_n(
    list_t* plist_list,
    size_t t_count
);

```

● Parameters

plist_list: 指向初始化的 list_t。

cplist_src: 指向用于初始化 list_t 类型的 list_t。
it_begin: 用于初始化 list_t 的数据区间的开始。
it_end: 用于初始化 list_t 的数据区间的末尾。
t_count: 用于初始化 list_t 的数据的个数。
element: 用于初始化 list_t 的数据。

● Remarks

第一个函数初始化一个空的 list_t。第二个函数使用一个现有的 list_t 类型初始化 list_t，要求两个 list_t 保存的数据类型相同，如果数据类型不同程序的行为是未定义的。第三个函数使用一个数据区间初始化 list_t，要求数据区间中的数据与 list_t 中保存的数据类型相同，如果数据类型不同那么程序的行为是未定义的。第四个函数使用指定的数据初始化 list_t。第五个数据使用默认的数据初始化 list_t。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```
/*
 * list_init.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_10 = create_list(int);
    list_t* plist_11 = create_list(int);
    list_t* plist_12 = create_list(int);
    list_t* plist_13 = create_list(int);
    list_t* plist_14 = create_list(int);
    list_iterator_t it_1;

    if(plist_10 == NULL || plist_11 == NULL || plist_12 == NULL ||
       plist_13 == NULL || plist_14 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    /* Create an empty list 10 */
    list_init(plist_10);

    /* Create a list 11 with 3 elements of default value 0 */
    list_init_n(plist_11, 3);

    /* Create a list 12 with 5 elements of value 2 */
    list_init_elem(plist_12, 5, 2);

    /* Create a copy, list 13, of list 12 */
    list_init_copy(plist_13, plist_12);

    /* Create a list 14 by copying the range 13[first, last) */
    list_init_copy_range(plist_14,
        iterator_advance(list_begin(plist_13), 2),
        list_end(plist_13));

    printf("l1 =");
    for(it_1 = list_begin(plist_11);
```

```

        !iterator_equal(it_1, list_end(plist_11));
        it_1 = iterator_next(it_1)
    }
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

printf("l2 =");
for(it_1 = list_begin(plist_12);
    !iterator_equal(it_1, list_end(plist_12));
    it_1 = iterator_next(it_1))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

printf("l3 =");
for(it_1 = list_begin(plist_13);
    !iterator_equal(it_1, list_end(plist_13));
    it_1 = iterator_next(it_1))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

printf("l4 =");
for(it_1 = list_begin(plist_14);
    !iterator_equal(it_1, list_end(plist_14));
    it_1 = iterator_next(it_1))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

list_destroy(plist_10);
list_destroy(plist_11);
list_destroy(plist_12);
list_destroy(plist_13);
list_destroy(plist_14);

return 0;
}

```

● Output

```

l1 = 0 0 0
l2 = 2 2 2 2 2
l3 = 2 2 2 2 2
l4 = 2 2 2

```

17. list_insert list_insert_range list_insert_n

向 list_t 中插入数据。

```

list_iterator_t list_insert(
    list_t* plist_list,
    list_iterator_t it_pos,
    element
);

```

```

void list_insert_range(
    list_t* plist_list,
    list_iterator_t it_pos,
    list_iterator_t it_begin,
    list_iterator_t it_end
);

list_iterator_t _list_insert_n(
    list_t* plist_list,
    list_iterator_t it_pos,
    size_t t_count,
    element
);

```

● Parameters

plist_list: 指向 list_t 类型的指针。
it_pos: 数据插入位置的迭代器。
element: 插入 list_t 的数据。
it_begin: 插入 list_t 的数据区间的开始。
it_end: 插入 list_t 的数据区间的末尾。
t_count: 插入 list_t 的数据的个数。

● Remarks

第一个函数返回插入后数据在 list_t 中的位置的迭代器，第三个函数返回多个数据插入 list_t 中第一个数据在 list_t 中的位置。三个函数中表示位置的迭代器必须是有效的，否则程序的行为是未定义的。第二个函数的数据区间中的数据类型必须和 list_t 中保存的数据类型相同，否则程序的行为是未定义的。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```

/*
 * list_insert.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_t* plist_l2 = create_list(int);
    list_iterator_t it_l;

    if(plist_l1 == NULL || plist_l2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);
    list_init(plist_l2);

    list_push_back(plist_l1, 10);

```

```

list_push_back(plist_l1, 20);
list_push_back(plist_l1, 30);
list_push_back(plist_l2, 40);
list_push_back(plist_l2, 50);
list_push_back(plist_l2, 60);

printf("l1 =");
for(it_l = list_begin(plist_l1);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

list_insert(plist_l1, iterator_next(list_begin(plist_l1)), 100);
printf("l1 =");
for(it_l = list_begin(plist_l1);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

list_insert_n(plist_l1, iterator_advance(list_begin(plist_l1), 2), 2, 200);
printf("l1 =");
for(it_l = list_begin(plist_l1);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

list_insert_range(plist_l1, iterator_next(list_begin(plist_l1)),
    list_begin(plist_l2), iterator_prev(list_end(plist_l2)));
printf("l1 =");
for(it_l = list_begin(plist_l1);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

list_destroy(plist_l1);
list_destroy(plist_l2);

return 0;
}

```

● Output

```

l1 = 10 20 30
l1 = 10 100 20 30
l1 = 10 100 200 200 20 30
l1 = 10 40 50 100 200 200 20 30

```


18. list_less

测试第一个 list_t 是否小于第二个 list_t。

```
bool_t list_less(  
    const list_t* cplist_first,  
    const list_t* cplist_second  
);
```

- **Parameters**

cplist_first: 指向第一个 list_t 的指针。
cplist_second: 指向第二个 list_t 的指针。

- **Remarks**

要求两个 list_t 保存的数据类型相同，否则程序的行为是未定义的。

- **Requirements**

头文件 <cstl/clist.h>

- **Example**

```
/*  
 * list_less.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/clist.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    list_t* plist_l1 = create_list(int);  
    list_t* plist_l2 = create_list(int);  
  
    if(plist_l1 == NULL || plist_l2 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    list_init(plist_l1);  
    list_init(plist_l2);  
  
    list_push_back(plist_l1, 1);  
    list_push_back(plist_l1, 2);  
    list_push_back(plist_l1, 4);  
  
    list_push_back(plist_l2, 1);  
    list_push_back(plist_l2, 3);  
  
    if(list_less(plist_l1, plist_l2))  
    {  
        printf("List l1 is less than list l2.\n");  
    }  
    else  
    {  
        printf("List l1 is not less than list l2.\n");  
    }  
  
    list_destroy(plist_l1);
```

```
list_destroy(plist_l2);

return 0;
}
```

● Output

List l1 is less than list l2.

19. list_less_equal

测试第一个 list_t 是否小于等于第二个 list_t。

```
bool_t list_less_equal(
    const list_t* cplist_first,
    const list_t* cplist_second
);
```

● Parameters

cplist_first: 指向第一个 list_t 的指针。
cplist_second: 指向第二个 list_t 的指针。

● Remarks

要求两个 list_t 保存的数据类型相同，否则程序的行为是未定义的。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```
/*
 * list_less_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_t* plist_l2 = create_list(int);

    if(plist_l1 == NULL || plist_l2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);
    list_init(plist_l2);

    list_push_back(plist_l1, 1);
    list_push_back(plist_l1, 2);
    list_push_back(plist_l1, 4);

    list_push_back(plist_l2, 1);
    list_push_back(plist_l2, 3);
```

```

    if(list_less_equal(plist_l1, plist_l2))
    {
        printf("List l1 is less than or equal to list l2.\n");
    }
    else
    {
        printf("List l1 is greater than list l2.\n");
    }

    list_destroy(plist_l1);
    list_destroy(plist_l2);

    return 0;
}

```

● Output

List l1 is less than or equal to list l2.

20. list_max_size

返回 list_t 中保存数据的可能的最大数量。

```

size_t list_max_size(
    const list_t* cplist_list
);

```

● Parameters

cplist_list: 指向 list_t 的指针。

● Remarks

这是一个与系统相关的常量。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```

/*
 * list_max_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);

    if(plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);

    printf("Maximum possible length of the list is %d\n",

```

```

        list_max_size(plist_l1));

list_destroy(plist_l1);

return 0;
}

```

● Output

Maximum possible length of the list is 1073741823

21. list_merge list_merge_if

合并两个 list_t。

```

void list_merge(
    list_t* plist_dest,
    list_t* plist_src
);

void list_merge_if(
    list_t* plist_dest,
    list_t* plist_src,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

plist_dest: 指向合并的目标 list_t。
plist_src: 指向合并的源 list_t。
bfun_op: list_t 中数据的排序规则。

● Remarks

这两个函数都要求 list_t 是有序的，第一个函数是要求 list_t 按照默认规则有序，第二个函数要求 list_t 按照指定的规则 bfun_op 有序，如果 list_t 中的数据无效，那么函数的行为是未定义的。两个 list_t 中的数据都合并到 plist_dest 中，plist_src 中为空，并且合并后的数据也是有序的。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```

/*
 * list_merge.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_t* plist_l2 = create_list(int);
    list_t* plist_l3 = create_list(int);
    list_iterator_t it_l;
}

```

```

if(plist_l1 == NULL || plist_l2 == NULL || plist_l3 == NULL)
{
    return -1;
}

list_init(plist_l1);
list_init(plist_l2);
list_init(plist_l3);

list_push_back(plist_l1, 3);
list_push_back(plist_l1, 6);
list_push_back(plist_l2, 2);
list_push_back(plist_l2, 4);
list_push_back(plist_l3, 5);
list_push_back(plist_l3, 1);

printf("l1 =");
for(it_l = list_begin(plist_l1);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

printf("l2 =");
for(it_l = list_begin(plist_l2);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l2));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

/* Merge l1 into l2 in (default) ascending order */
list_merge(plist_l2, plist_l1);
list_sort_if(plist_l2, fun_greater_int);
printf("After merging l1 with l2 and sorting with >: l2 =");
for(it_l = list_begin(plist_l2);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l2));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

printf("l3 =");
for(it_l = list_begin(plist_l3);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l3));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

list_merge_if(plist_l2, plist_l3, fun_greater_int);
printf("After merging l3 with l2 according to the '>' "
    "comparison relation: l2 =");
for(it_l = list_begin(plist_l2);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l2));

```

```

        it_1 = iterator_next(it_1))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
    }
    printf("\n");

    list_destroy(plist_11);
    list_destroy(plist_12);
    list_destroy(plist_13);

    return 0;
}

```

● Output

```

l1 = 3 6
l2 = 2 4
After merging l1 with l2 and sorting with >: l2 = 6 4 3 2
l3 = 5 1
After merging l3 with l2 according to the '>' comparison relation: l2 = 6 5 4 3 2 1

```

22. list_not_equal

测试两个 list_t 是否不等。

```

bool_t list_not_equal(
    const list_t* cplist_first,
    const list_t* cplist_second
);

```

● Parameters

cplist_first: 指向第一个 list_t 的指针。
cplist_second: 指向第二个 list_t 的指针。

● Remarks

list_t 中的每个数据都对应相等且个数相等返回 false，否则返回 true，如果 list_t 中保存的数据类型不同则认为两个 list_t 不等。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```

/*
 * list_not_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_11 = create_list(int);
    list_t* plist_12 = create_list(int);

    if(plist_11 == NULL || plist_12 == NULL)
    {

```

```

        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);
    list_init(plist_l2);

    list_push_back(plist_l1, 1);
    list_push_back(plist_l2, 2);

    if(list_not_equal(plist_l1, plist_l2))
    {
        printf("Lists not equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("Lists equal.\n");
    }

    list_destroy(plist_l1);
    list_destroy(plist_l2);

    return 0;
}

```

● Output

Lists not equal.

23. list_pop_back

删除 list_t 中最后一个数据。

```

void list_pop_back(
    list_t* plist_list
);

```

● Parameters

plist_list: 指向 list_t 的指针。

● Remarks

如果 list_t 为空，程序行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```

/*
 * list_pop_back.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);

```

```

if(plist_l1 == NULL)
{
    return -1;
}

list_init(plist_l1);

list_push_back(plist_l1, 1);
list_push_back(plist_l1, 2);

printf("The first element is: %d\n",
        *(int*)list_front(plist_l1));
printf("The last element is: %d\n",
        *(int*)list_back(plist_l1));

list_pop_back(plist_l1);
printf("After deleting the element at the end of the list,"
        " the last element is: %d\n",
        *(int*)list_back(plist_l1));

list_destroy(plist_l1);

return 0;
}

```

● Output

```

The first element is: 1
The last element is: 2
After deleting the element at the end of the list, the last element is: 1

```

24. list_pop_front

删除 list_t 第一个数据。

```

void list_pop_front(
    list_t* plist_list
);

```

● Parameters

plist_list: 指向 list_t 的指针。

● Remarks

如果 list_t 为空，程序行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```

/*
 * list_pop_front.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

```



```

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);

    if(plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);

    list_push_back(plist_l1, 1);
    list_push_back(plist_l1, 2);

    printf("The first element is: %d\n",
        *(int*)list_front(plist_l1));
    printf("The second element is: %d\n",
        *(int*)list_back(plist_l1));

    list_pop_front(plist_l1);
    printf("After deleting the element at the beginning of the list,"
        " the first element is: %d\n",
        *(int*)list_front(plist_l1));

    list_destroy(plist_l1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The first element is: 1
The second element is: 2
After deleting the element at the beginning of the list, the first element is: 2

```

25. list_push_back

向 list_t 末尾添加一个数据。

```

void list_push_back(
    list_t* plist_list,
    element
);

```

● Parameters

plist_list: 指向 list_t 的指针。
element: 添加的数据。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```

/*
 * list_push_back.c
 * compile with : -lcstl
 */

```

```

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);

    if(plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);

    list_push_back(plist_l1, 1);
    if(list_size(plist_l1) != 0)
    {
        printf("Last element: %d\n", *(int*)list_back(plist_l1));
    }

    list_push_back(plist_l1, 2);
    if(list_size(plist_l1) != 0)
    {
        printf("New last element: %d\n", *(int*)list_back(plist_l1));
    }

    list_destroy(plist_l1);

    return 0;
}

```

● Output

```

Last element: 1
New last element: 2

```

26. list_push_front

向 list_t 开头添加一个数据。

```

void list_push_front(
    list_t* plist_list,
    element
);

```

● Parameters

plist_list: 指向 list_t 的指针。
element: 添加的数据。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```

/*
 * list_push_front.c
 * compile with : -lcstl

```

```

*/

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);

    if(plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);

    list_push_front(plist_l1, 1);
    if(list_size(plist_l1) != 0)
    {
        printf("First element: %d\n", *(int*)list_front(plist_l1));
    }

    list_push_front(plist_l1, 2);
    if(list_size(plist_l1) != 0)
    {
        printf("New first element: %d\n", *(int*)list_front(plist_l1));
    }

    list_destroy(plist_l1);

    return 0;
}

```

● Output

```

First element: 1
New first element: 2

```

27. list_remove

删除 list t 中与指定数据相等的数据。

```

void list_remove(
    list_t* plist_list,
    element
);

```

● Parameters

plist_list: 指向 list_t 的指针。
element: 指定的被删除的数据。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```

/*
* list_remove.c

```

```

* compile with : -lcstl
*/

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_iterator_t it_l;

    if(plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);

    list_push_back(plist_l1, 5);
    list_push_back(plist_l1, 100);
    list_push_back(plist_l1, 5);
    list_push_back(plist_l1, 200);
    list_push_back(plist_l1, 5);
    list_push_back(plist_l1, 300);

    printf("The initial list is l1 =");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    list_remove(plist_l1, 5);
    printf("After removing elements with value 5, the list becomes l1 =");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    list_destroy(plist_l1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The initial list is l1 = 5 100 5 200 5 300
After removing elements with value 5, the list becomes l1 = 100 200 300

```

28. list_remove_if

删除 list_t 中符合指定规则的数据。

```

void list_remove_if(

```

```
list_t* plist_list,
unary_function_t ufun_op
);
```

● Parameters

plist_list: 指向 list_t 的指针。
ufun_op: 删除数据的规则。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```
/*
 * list_remove_if.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

static void is_odd(const void* cpv_input, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_iterator_t it_l;

    if(plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);

    list_push_back(plist_l1, 3);
    list_push_back(plist_l1, 4);
    list_push_back(plist_l1, 5);
    list_push_back(plist_l1, 6);
    list_push_back(plist_l1, 7);
    list_push_back(plist_l1, 8);

    printf("The initial list is l1 =");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    list_remove_if(plist_l1, is_odd);
    printf("After removing the odd elements, the list becomes l1 =");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
}
```

```

    printf("\n");

    list_destroy(plist_l1);

    return 0;
}

static void is_odd(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    assert(cpv_input != NULL && pv_output != NULL);
    if(*(int*)cpv_input % 2 == 1)
    {
        *(bool_t*)pv_output = true;
    }
    else
    {
        *(bool_t*)pv_output = false;
    }
}

```

● Output

The initial list is l1 = 3 4 5 6 7 8
 After removing the odd elements, the list becomes l1 = 4 6 8

29. list_resize list_resize_elem

重设 list_t 中数据的个数，当新的数据个数比当前个数多，多处的数据使用默认数据或者指定数据填充。

```

void list_resize(
    list_t* plist_list,
    size_t t_resize
);

void list_resize_elem(
    list_t* plist_list,
    size_t t_resize,
    element
);

```

● Parameters

plist_list: 指向 list_t 的指针。
t_resize: list_t 中数据的新数量。
element: 填充的数据。

● Remarks

如果新的数据个数大于当前的数据个数，就采用默认数据或者是指定的数据来填充。如果新的数据个数小于当前数据个数，list_t 末尾的数据被删除一直到等于新数据个数。如果两个数据个数相等那么没有变化。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```

/*
 * list_resize.c
 * compile with : -lcstl

```

```

*/

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);

    if(plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);

    list_push_back(plist_l1, 10);
    list_push_back(plist_l1, 20);
    list_push_back(plist_l1, 30);

    list_resize_elem(plist_l1, 4, 40);
    printf("The size of l1 is %d\n", list_size(plist_l1));
    printf("The value of the last element is %d\n",
        *(int*)list_back(plist_l1));

    list_resize(plist_l1, 5);
    printf("The size of l1 is now %d\n", list_size(plist_l1));
    printf("The value of the last element is now %d\n",
        *(int*)list_back(plist_l1));

    list_resize(plist_l1, 2);
    printf("The reduced size of l1 is %d\n", list_size(plist_l1));
    printf("The value of the last element is now %d\n",
        *(int*)list_back(plist_l1));

    list_destroy(plist_l1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The size of l1 is 4
The value of the last element is 40
The size of l1 is now 5
The value of the last element is now 0
The reduced size of l1 is 2
The value of the last element is now 20

```

30. list_reverse

将 list_t 中的数据逆序。

```

void list_reverse(
    list_t* plist_list
);

```

● Parameters

plist_list: 指向 list_t 的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```
/*
 * list_reverse.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_iterator_t it_l;

    if(plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);

    list_push_back(plist_l1, 10);
    list_push_back(plist_l1, 20);
    list_push_back(plist_l1, 30);

    printf("l1 =");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    list_reverse(plist_l1);
    printf("Reversed l1 =");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    list_destroy(plist_l1);

    return 0;
}
```

● Output

```
l1 = 10 20 30
Reversed l1 = 30 20 10
```


31. list_size

返回 list_t 中数据的个数。

```
size_t list_size(  
    const list_t* cplist_list  
);
```

- **Parameters**

cplist_list: 指向 list_t 的指针。

- **Requirements**

头文件 <cstl/clist.h>

- **Example**

```
/*  
 * list_size.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/clist.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    list_t* plist_l1 = create_list(int);  
  
    if(plist_l1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    list_init(plist_l1);  
  
    list_push_back(plist_l1, 1);  
    printf("List length is %d\n", list_size(plist_l1));  
  
    list_push_back(plist_l1, 2);  
    printf("List length is now %d\n", list_size(plist_l1));  
  
    list_destroy(plist_l1);  
  
    return 0;  
}
```

- **Output**

```
List length is 1  
List length is now 2
```

32. list_sort list_sort_if

将 list_t 中的数据按照默认规则或者用户指定的规则排序。

```
void list_sort(  
    list_t* plist_list  
);
```

```
void list_sort_if(
    list_t* plist_list,
    binary_function_t bfun_op
);
```

● Parameters

plist_list: 指向 list_t 的指针。
bfun_op: 数据排序的规则。

● Remarks

第一个函数使用默认的规则排序，排序后数据的顺序从小到大。
 第二个函数使用指定规则 bfun_op 排序。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```
/*
 * list_sort.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_iterator_t it_l;

    if(plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);

    list_push_back(plist_l1, 20);
    list_push_back(plist_l1, 10);
    list_push_back(plist_l1, 30);

    printf("Before sorting: l1 =");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    list_sort(plist_l1);
    printf("After sorting: l1 =");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
```

```

        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
    }
    printf("\n");

    list_sort_if(plist_l1, fun_greater_int);
    printf("After sorting with 'greater than' operation: l1 =");
    for(it_1 = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_1, list_end(plist_l1));
        it_1 = iterator_next(it_1))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
    }
    printf("\n");

    list_destroy(plist_l1);

    return 0;
}

```

● Output

```

Before sorting: l1 = 20 10 30
After sorting: l1 = 10 20 30
After sorting with 'greater than' operation: l1 = 30 20 10

```

33. list_splice list_splice_pos list_splice_range

将源 list_t 中的数据转移到目的 list_t 的指定位置。

```

void list_splice(
    list_t* plist_list,
    list_iterator_t it_pos,
    list_t* plist_src
);

void list_splice_pos(
    list_t* plist_list,
    list_iterator_t it_pos,
    list_t* plist_src,
    list_iterator_t it_possrc
);

void list_splice_range(
    list_t* plist_list,
    list_iterator_t it_pos,
    list_t* plist_src,
    list_iterator_t it_begin,
    list_iterator_t it_end
);

```

● Parameters

plist_list: 指向目的 list_t 的指针。
it_pos: 目的 list_t 中插入数据的位置迭代器。
cplist_src: 指向源 list_t 的指针。
it_possrc: 源 list_t 中转移的数据的位置迭代器。
it_begin: 源 list_t 中转移的数据区间的开始位置迭代器。

it_end: 源 list_t 中转移的数据区间的末尾位置迭代器。

● Remarks

第一个函数将源 list_t 中的所有数据都转移到目的 list_t 的指定位置。

第二个函数将源 list_t 中指定位置的数据都转移到目的 list_t 的指定位置。

第三个函数将源 list_t 中指定数据区间中的数据都转移到目的 list_t 的指定位置。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```
/*
 * list_splice.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_t* plist_l2 = create_list(int);
    list_t* plist_l3 = create_list(int);
    list_t* plist_l4 = create_list(int);
    list_iterator_t it_l;

    if(plist_l1 == NULL || plist_l2 == NULL ||
       plist_l3 == NULL || plist_l4 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);
    list_init(plist_l2);
    list_init(plist_l3);
    list_init(plist_l4);

    list_push_back(plist_l1, 10);
    list_push_back(plist_l1, 11);
    list_push_back(plist_l2, 12);
    list_push_back(plist_l2, 20);
    list_push_back(plist_l2, 21);
    list_push_back(plist_l3, 30);
    list_push_back(plist_l3, 31);
    list_push_back(plist_l4, 40);
    list_push_back(plist_l4, 41);
    list_push_back(plist_l4, 42);

    printf("l1 =");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    printf("l2 =");
```

```

for(it_1 = list_begin(plist_12);
    !iterator_equal(it_1, list_end(plist_12));
    it_1 = iterator_next(it_1))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

list_splice(plist_12, iterator_next(list_begin(plist_12)), plist_11);
printf("After splicing 11 into 12: 12 =");
for(it_1 = list_begin(plist_12);
    !iterator_equal(it_1, list_end(plist_12));
    it_1 = iterator_next(it_1))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

list_splice_pos(plist_12, iterator_next(list_begin(plist_12)),
    plist_13, list_begin(plist_13));
printf("After splicing the first element of 13 into 12: 12 =");
for(it_1 = list_begin(plist_12);
    !iterator_equal(it_1, list_end(plist_12));
    it_1 = iterator_next(it_1))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

list_splice_range(plist_12, iterator_next(list_begin(plist_12)),
    plist_14, list_begin(plist_14), iterator_prev(list_end(plist_14)));
printf("After splicing a range of 14 into 12: 12 =");
for(it_1 = list_begin(plist_12);
    !iterator_equal(it_1, list_end(plist_12));
    it_1 = iterator_next(it_1))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

list_destroy(plist_11);
list_destroy(plist_12);
list_destroy(plist_13);
list_destroy(plist_14);

return 0;
}

```

● Output

```

11 = 10 11
12 = 12 20 21
After splicing 11 into 12: 12 = 12 10 11 20 21
After splicing the first element of 13 into 12: 12 = 12 30 10 11 20 21
After splicing a range of 14 into 12: 12 = 12 40 41 30 10 11 20 21

```

34. list_swap

交换两个 list_t 中的内容。

```
void list_swap(
    list_t* plist_first,
    list_t* plist_second
);
```

● Parameters

plist_first: 指向第一个 list_t 的指针。
plist_second: 指向第二个 list_t 的指针。

● Remarks

要求两个 list_t 保存的数据类型相同，否则程序的行为是未定义的。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```
/*
 * list_swap.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_t* plist_l2 = create_list(int);
    list_iterator_t it_l;

    if(plist_l1 == NULL || plist_l2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);
    list_init(plist_l2);

    list_push_back(plist_l1, 1);
    list_push_back(plist_l1, 2);
    list_push_back(plist_l1, 3);
    list_push_back(plist_l2, 10);
    list_push_back(plist_l2, 20);

    printf("The original list l1 is:");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    list_swap(plist_l1, plist_l2);
    printf("After swapping with l2, list l1 is:");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
```

```

{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

list_destroy(plist_11);
list_destroy(plist_12);

return 0;
}

```

● Output

The original list 11 is: 1 2 3
 After swapping with 12, list 11 is: 10 20

35. list_unique list_unique_if

删除 list_t 中相邻的重复或者是满足指定规则的数据。

```

void list_unique(
    list_t* plist_list
);

void list_unique_if(
    list_t* plist_list,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

plist_list: 指向 list_t 的指针。
bfun_op: 数据的删除规则。

● Remarks

第一个函数将相邻的重复数据删除。
 第二个函数将相邻的满足 bfun_op 规则的数据删除。

● Requirements

头文件 <cstl/clist.h>

● Example

```

/*
 * list_unique.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_11 = create_list(int);
    list_t* plist_12 = create_list(int);
    list_t* plist_13 = create_list(int);
    list_iterator_t it_1;

```

```

if(plist_l1 == NULL || plist_l2 == NULL || plist_l3 == NULL)
{
    return -1;
}

list_init(plist_l1);
list_init(plist_l2);
list_init(plist_l3);

list_push_back(plist_l1, -10);
list_push_back(plist_l1, 10);
list_push_back(plist_l1, 10);
list_push_back(plist_l1, 20);
list_push_back(plist_l1, 20);
list_push_back(plist_l1, -10);

list_assign(plist_l2, plist_l1);
list_assign(plist_l3, plist_l1);

printf("The initial list is l1 =");
for(it_l = list_begin(plist_l1);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

list_unique(plist_l2);
printf("After removing successive duplicate elements, l2 =");
for(it_l = list_begin(plist_l2);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l2));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

list_unique_if(plist_l3, fun_not_equal_int);
printf("After removing successive unequal elements, l3 =");
for(it_l = list_begin(plist_l3);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l3));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

list_destroy(plist_l1);
list_destroy(plist_l2);
list_destroy(plist_l3);

return 0;
}

```

● Output

The initial list is l1 = -10 10 10 20 20 -10

After removing successive duplicate elements, l2 = -10 10 20 -10

After removing successive unequal elements, 13 = -10 -10

第三节 单向链表 slist_t

slist_t 容器是一种单向链表，支持向前遍历但是不支持向后遍历。在任何位置后面插入和删除数据花费常数时间，在前面插入或删除数据花费线性时间。在 slist_t 中插入或删除数据不会使迭代器失效。slist_t 是 list_t 的一种弱化，它不支持随机访问数据，和双向迭代器。当从 slist_t 中删除数据时，指向被删除的数据的迭代器失效。

● Typedefs

slist_t	单向链表容器类型。
slist_iterator_t	单向链表迭代器类型。

● Operation Functions

create_slist	创建单向链表容器类型。
slist_assign	使用单向链表为当前的单向链表类型赋值。
slist_assign_elem	使用指定的数据为单向链表赋值。
slist_assign_range	使用指定数据区间中的数据为单向链表赋值。
slist_begin	返回指向单向链表第一个数据的迭代器。
slist_clear	删除单向链表中所有数据。
slist_destroy	销毁单向链表。
slist_empty	测试单向链表是否为空。
slist_end	返回单向链表末尾位置的迭代器。
slist_equal	测试两个单向链表是否相等。
slist_erase	删除单向链表中指定位置的数据。
slist_erase_after	删除单向链表中指定位置后面的那个数据。
slist_erase_after_range	删除单向链表中指定数据区间后面数据区间的数据。
slist_erase_range	删除单向链表中指定数据区间的数据。
slist_front	访问单向链表中第一个数据。
slist_greater	测试第一个单向链表是否大于第二个单向链表。
slist_greater_equal	测试第一个单向链表是否大于等于第二个单向链表。
slist_init	初始化一个空的单向链表。
slist_init_copy	使用一个单向链表初始化当前单向链表。
slist_init_copy_range	使用一个指定的数据区间中的数据初始化单向链表。
slist_init_elem	使用指定的数据初始化单向链表。
slist_init_n	使用多个默认数据初始化单向链表。
slist_insert	向单向链表的指定位置插入一个数据。
slist_insert_after	向单向链表的指定位置的下一个位置插入一个数据。
slist_insert_after_n	向单向链表的指定位置的下一个位置插入多个数据。
slist_insert_after_range	向单向链表的指定位置的下一个位置插入数据区间中的数据。

slist_insert_n	向单向链表的指定位置插入多个数据。
slist_insert_range	向单向链表的指定位置插入数据区间中的数据。
slist_less	测试第一个单向链表是否小于第二个单向链表。
slist_less_equal	测试第一个单向链表是否小于等于第二个单向链表。
slist_max_size	返回单向链表中能够保存数据的最大数量。
slist_merge	合并两个单向链表。
slist_merge_if	按照指定规则合并单向链表。
slist_not_equal	测试两个单向链表是否不等。
slist_pop_front	删除单向链表中的第一个数据。
slist_previous	获得指定位置的前一个位置的迭代器。
slist_push_front	在单向链表的开头添加一个数据。
slist_remove	删除单向链表中与指定数据相等的数据。
slist_remove_if	删除单向链表中与满足指定规则的数据。
slist_resize	设置新的数据个数。
slist_resize_elem	设置新的数据个数，如果新的数据个数超过当前数据个数，使用指定数据填充。
slist_reverse	将单向链表中的数据逆序。
slist_size	返回单向链表中数据的个数。
slist_sort	将单向链表中的数据排序。
slist_sort_if	将单向链表中的数据按照指定规则排序。
slist_splice	将源单向链表中的数据转移到目的单向链表中的指定位置。
slist_splice_after_pos	将源单向链表中指定位置后面的那个数据转移到目的单向链表指定位置后面。
slist_splice_after_range	将源单向链表中指定数据区间下面区间中的数据转移到目的单向链表指定位置后面。
slist_splice_pos	将源单向链表中指定位置的数据转移到目标单向链表的指定位置。
slist_splice_range	将源单向链表中指定的数据区间转移到目的单向链表的指定位置。
slist_swap	交换两个单向链表的内容。
slist_unique	删除单向链表中相邻的重复数据。
slist_unique_if	删除单向链表中相邻的满足指定规则的数据。

1. slist_t

slist_t 是单向链表容器类型。

- Requirements

头文件 <cstdlib>

- Example

请参考 slist_t 类型的其他操作函数。

2. `slist_iterator_t`

`slist_iterator_t` 是单向链表迭代器类型。

- **Remarks**

`slist_iterator_t` 是前向迭代器类型，不支持数据的随机访问，不支持双向迭代器，可以通过迭代器来修改容器中的数据。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/cslist.h>`

- **Example**

请参考 `slist_t` 类型的其他操作函数。

3. `create_slist`

创建 `slist_t` 类型。

```
slist_t* create_slist(  
    type  
);
```

- **Parameters**

type: 数据类型描述。

- **Remarks**

函数成功返回指向 `slist_t` 类型的指针，失败返回 `NULL`。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/cslist.h>`

- **Example**

请参考 `slist_t` 类型的其他操作函数。

4. `slist_assign` `slist_assign_elem` `slist_assign_range`

使用 `slist_t` 或者指定的数据或者指定的数据区间为 `slist_t` 赋值。

```
void slist_assign(  
    slist_t* pslst_slist,  
    const slist_t* cpslst_src  
);  
  
void slist_assign_elem(  
    slist_t* pslst_slist,  
    size_t t_count,  
    element  
);  
  
void slist_assign_range(  
    slist_t* pslst_slist,  
    slist_iterator_t it_begin,  
    slist_iterator_t it_end
```

```
);
```

● Parameters

pslist_slist: 指向目的 slist_t 的指针。
cpslist_src: 指向源 slist_t 的指针。
t_count: 赋值数据的个数。
element: 指定的赋值数据。
it_begin: 指定的赋值数据区间的开始位置迭代器。
it_end: 指定的赋值数据区间的末尾位置迭代器。

● Remarks

第一个函数使用源 slist_t 为目的 slist_t 赋值，这两个 slist_t 保存的数据类型必须相同，否则函数的行为是未定义的。

第二个函数使用多个指定数据对 slist_t 赋值。

第三个函数使用指定的数据区间对 slist_t 赋值，区间中的数据类型必须与 slist_t 中的数据类型相同，否则函数的行为是未定义的。

● Requirements

头文件 <cstl/cslist.h>

● Example

```
/*
 * slist_assign.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cslist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);
    slist_t* pslist_l2 = create_slist(int);
    slist_iterator_t it_l;

    if(pslist_l1 == NULL || pslist_l2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    slist_init(pslist_l1);
    slist_init(pslist_l2);

    slist_push_front(pslist_l1, 10);
    slist_push_front(pslist_l1, 20);
    slist_push_front(pslist_l1, 30);
    slist_push_front(pslist_l2, 40);
    slist_push_front(pslist_l2, 50);
    slist_push_front(pslist_l2, 60);

    printf("l1 =");
    for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
        !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
}
```

```

printf("\n");

slist_assign(pslist_l1, pslist_l2);
printf("l1 =");
for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
    !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

slist_assign_range(pslist_l1, iterator_next(slist_begin(pslist_l2)),
    slist_end(pslist_l2));
printf("l1 =");
for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
    !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

slist_assign_elem(pslist_l1, 7, 4);
printf("l1 =");
for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
    !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

slist_destroy(pslist_l1);
slist_destroy(pslist_l2);

return 0;
}

```

● Output

```

l1 = 30 20 10
l1 = 60 50 40
l1 = 50 40
l1 = 4 4 4 4 4 4 4

```

5. slist_begin

返回指向 `slist_t` 开始位置的迭代器。

```

slist_iterator_t slist_begin(
    const slist_t* cpslist_slist
);

```

● Parameters

`cpslist_slist`: 指向 `slist_t` 的指针。

● Remarks

如果 `slist_t` 为空，返回值与指向 `slist_t` 末尾位置的迭代器相等。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/cslist.h>`

- **Example**

```
/*
 * slist_begin.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cslist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);
    slist_iterator_t it_l;

    if(pslist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    slist_init(pslist_l1);

    slist_push_front(pslist_l1, 1);
    slist_push_front(pslist_l1, 2);

    it_l = slist_begin(pslist_l1);
    printf("The first element of l1 is %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_l));

    *(int*)iterator_get_pointer(it_l) = 20;
    printf("The first element of l1 is now %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_l));

    slist_destroy(pslist_l1);

    return 0;
}
```

- **Output**

```
The first element of l1 is 2
The first element of l1 is now 20
```

6. `slist_clear`

删除 `slist_t` 中的所有数据。

```
void slist_clear(
    slist_t* pslist_slist
);
```

- **Parameters**

pslist_slist: 指向 `slist_t` 的指针。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cslist.h>

- **Example**

```
/*
 * slist_clear.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cslist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);

    if(pslist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    slist_init(pslist_l1);

    slist_push_front(pslist_l1, 10);
    slist_push_front(pslist_l1, 20);
    slist_push_front(pslist_l1, 30);

    printf("The size of the slist is initially %d\n",
        slist_size(pslist_l1));
    slist_clear(pslist_l1);
    printf("The size of slist after clearing is %d\n",
        slist_size(pslist_l1));

    slist_destroy(pslist_l1);

    return 0;
}
```

- **Output**

```
The size of the slist is initially 3
The size of slist after clearing is 0
```

7. slist_destroy

销毁 slist_t 容器类型。

```
void slist_destroy(
    slist_t* pslist_slist
);
```

- **Parameters**

pslist_slist: 指向 slist_t 的指针。

- **Remarks**

使用完 slist_t 要销毁，否则 slist_t 申请的资源不会被释放。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cslist.h>

- **Example**

请参考 slist_t 类型的其他操作函数。

8. slist_empty

测试 slist_t 是否为空。

```
bool_t slist_empty(  
    const slist_t* cpslist_slist  
);
```

- **Parameters**

cpslist_slist: 指向 slist_t 的指针。

- **Remarks**

slist_t 为空返回 true，否则返回 false。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cslist.h>

- **Example**

```
/*  
 * slist_empty.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cslist.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);  
  
    if(pslist_l1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    slist_init(pslist_l1);  
  
    slist_push_front(pslist_l1, 10);  
    if(slist_empty(pslist_l1))  
    {  
        printf("The slist is empty.\n");  
    }  
    else  
    {  
        printf("The slist is not empty.\n");  
    }  
  
    slist_destroy(pslist_l1);  
  
    return 0;  
}
```


- **Output**

```
The slist is not empty.
```

9. slist_end

返回 slist_t 末尾位置的迭代器。

```
slist_iterator_t slist_end(  
    const slist_t* cpslist_slist  
);
```

- **Parameters**

cpslist_slist: 指向 slist_t 的指针。

- **Remarks**

如果 slist_t 为空，它与 slist_begin() 返回值相等。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cslst.h>

- **Example**

```
/*  
 * slist_end.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cslst.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    slist_t* pslst_l1 = create_slist(int);  
    slist_iterator_t it_l;  
  
    if(pslst_l1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    slist_init(pslst_l1);  
  
    slist_push_front(pslst_l1, 10);  
    slist_push_front(pslst_l1, 20);  
    slist_push_front(pslst_l1, 30);  
  
    printf("The slist is:");  
    for(it_l = slist_begin(pslst_l1);  
        !iterator_equal(it_l, slist_end(pslst_l1));  
        it_l = iterator_next(it_l))  
    {  
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));  
    }  
    printf("\n");  
  
    slist_destroy(pslst_l1);  
}
```

```
    return 0;
}
```

● Output

The slist is: 30 20 10

10. slist_equal

测试两个 slist_t 容器是否相等。

```
bool_t slist_equal(
    const slist_t* cpslist_first,
    const slist_t* cpslist_second
);
```

● Parameters

cpslist_first: 指向第一个 slist_t 的指针。

cpslist_second: 指向第二个 slist_t 的指针。

● Remarks

两个 slist_t 中每个数据对应相等，并且数据的数量相等时返回 true，否则返回 false。两个 slist_t 保存的数据类型不同是也认为不等。

● Requirements

头文件 <cstl/slist.h>

● Example

```
/*
 * slist_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/slist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);
    slist_t* pslist_l2 = create_slist(int);

    if(pslist_l1 == NULL || pslist_l2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    slist_init(pslist_l1);
    slist_init(pslist_l2);

    slist_push_front(pslist_l1, 1);
    slist_push_front(pslist_l2, 1);

    if(slist_equal(pslist_l1, pslist_l2))
    {
        printf("The slists are equal.\n");
    }
    else
```

```

{
    printf("The slists are not equal.\n");
}

slist_destroy(pslist_l1);
slist_destroy(pslist_l2);

return 0;
}

```

● Output

The slists are equal.

11. slist_erase slist_erase_after slist_erase_after_range slist_erase_range

删除 slist_t 中指定位置或者指定位置后面的数据或者是区间中的数据。

```

slist_iterator_t slist_erase(
    slist_t* pslist_slist,
    slist_iterator_t it_pos
);

slist_iterator_t slist_erase_after(
    slist_t* pslist_slist,
    slist_iterator_t it_prev
);

slist_iterator_t slist_erase_after_range(
    slist_t* pslist_slist,
    slist_iterator_t it_prev,
    slist_iterator_t it_end
);

slist_iterator_t slist_erase_range(
    slist_t* pslist_slist,
    slist_iterator_t it_begin,
    slist_iterator_t it_end
);

```

● Parameters

pslist_slist: 指向 slist_t 的指针。
it_pos: 被删除的数据位置迭代器。
it_prev: 被删除的数据的前一个数据的位置迭代器。
it_begin: 被删除的数据区间的开始位置迭代器。
it_end: 被删除的数据区间的末尾位置迭代器。

● Remarks

第一个函数删除指定位置的数据并返回下一个数据的位置迭代器。

第二个函数删除指定位置后面的一个数据并返回删除位置后面的数据的位置迭代器。

第三个函数删除[it_prev+1, it_end)数据区间中的数据，并返回 it_end。

第四个函数删除[it_begin, it_end)数据区间中的数据，并返回 it_end。

上面所有的函数都要求位置迭代器和数据区间是有效的，使用无效的迭代器或者数据区间倒是函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/slist.h>

● Example

```
/*
 * slist_erase.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/slist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);
    slist_iterator_t it_l;

    if(pslist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    slist_init(pslist_l1);

    slist_push_front(pslist_l1, 10);
    slist_push_front(pslist_l1, 20);
    slist_push_front(pslist_l1, 30);
    slist_push_front(pslist_l1, 40);
    slist_push_front(pslist_l1, 50);

    printf("The initial slist is:");
    for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
        !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    slist_erase(pslist_l1, slist_begin(pslist_l1));
    printf("After erasing the first element, the slist becomes:");
    for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
        !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    slist_erase_range(pslist_l1, iterator_next(slist_begin(pslist_l1)),
        slist_end(pslist_l1));
    printf("After erasing all elements but the first, the slist becomes:");
    for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
        !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");
}
```

```

slist_clear(pslist_l1);
slist_push_front(pslist_l1, 10);
slist_push_front(pslist_l1, 20);
slist_push_front(pslist_l1, 30);
slist_push_front(pslist_l1, 40);
slist_push_front(pslist_l1, 50);

printf("After resetting, the slist becomes:");
for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
    !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

slist_erase_after(pslist_l1, slist_begin(pslist_l1));
printf("After erasing the element following the first, the slist becomes:");
for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
    !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

slist_erase_after_range(pslist_l1, slist_begin(pslist_l1),
    slist_end(pslist_l1));
printf("After erasing all elements but the first, the slist becomes:");
for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
    !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

slist_destroy(pslist_l1);

return 0;
}

```

● Output

```

The initial slist is: 50 40 30 20 10
After erasing the first element, the slist becomes: 40 30 20 10
After erasing all elements but the first, the slist becomes: 40
After resetting, the slist becomes: 50 40 30 20 10
After erasing the element following the first, the slist becomes: 50 30 20 10
After erasing all elements but the first, the slist becomes: 50

```

12. slist_front

访问 slist_t 的第一个数据。

```

void* slist_front(
    const slist_t* cpslist_slist
);

```

- **Parameters**

cplist_slist: 指向 slist_t 的指针。

- **Remarks**

如果 slist_t 不为空，返回指向第一个数据的指针，如果 slist_t 为空返回 NULL。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cplist.h>

- **Example**

```
/*
 * slist_front.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cplist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    slist_t* pplist_l1 = create_slist(int);
    int* pn_i = NULL;
    int* pn_j = NULL;

    if(pplist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    slist_init(pplist_l1);

    slist_push_front(pplist_l1, 10);

    pn_i = (int*)slist_front(pplist_l1);
    pn_j = (int*)slist_front(pplist_l1);

    printf("The first integer of l1 is %d\n", *pn_i);
    (*pn_i)++;
    printf("The modified first integer of l1 is %d\n", *pn_j);

    slist_destroy(pplist_l1);

    return 0;
}
```

- **Output**

```
The first integer of l1 is 10
The modified first integer of l1 is 11
```

13. slist_greater

测试第一个 slist_t 是否大于第二个 slist_t。

```
bool_t slist_greater(
    const slist_t* cplist_first,
    const slist_t* cplist_second
);
```

- **Parameters**

cpslist_first: 指向第一个 slist_t 的指针。

cpslist_second: 指向第二个 slist_t 的指针。

- **Remarks**

要求两个 slist_t 保存的数据类型相同，如果数据类型不同导致函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cslist.h>

- **Example**

```
/*
 * slist_greater.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cslist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);
    slist_t* pslist_l2 = create_slist(int);

    if(pslist_l1 == NULL || pslist_l2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    slist_init(pslist_l1);
    slist_init(pslist_l2);

    slist_push_front(pslist_l1, 1);
    slist_push_front(pslist_l1, 3);
    slist_push_front(pslist_l1, 1);

    slist_push_front(pslist_l2, 2);
    slist_push_front(pslist_l2, 2);
    slist_push_front(pslist_l2, 1);

    if(slist_greater(pslist_l1, pslist_l2))
    {
        printf("Slist l1 is greater than slist l2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The l1 is not greater than slist l2.\n");
    }

    slist_destroy(pslist_l1);
    slist_destroy(pslist_l2);

    return 0;
}
```

- **Output**

Slist l1 is greater than slist l2.

14. slist_greater_equal

测试第一个 slist_t 是否大于等于第二个 slist_t。

```
bool_t slist_greater_equal(  
    const slist_t* cpslist_first,  
    const slist_t* cpslist_second  
);
```

- **Parameters**

cpslist_first: 指向第一个 slist_t 的指针。

cpslist_second: 指向第二个 slist_t 的指针。

- **Remarks**

要求两个 slist_t 保存的数据类型相同，如果数据类型不同导致函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cslist.h>

- **Example**

```
/*  
 * slist_greater_equal.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cslist.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);  
    slist_t* pslist_l2 = create_slist(int);  
  
    if(pslist_l1 == NULL || pslist_l2 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    slist_init(pslist_l1);  
    slist_init(pslist_l2);  
  
    slist_push_front(pslist_l1, 1);  
    slist_push_front(pslist_l1, 3);  
    slist_push_front(pslist_l1, 1);  
  
    slist_push_front(pslist_l2, 2);  
    slist_push_front(pslist_l2, 2);  
    slist_push_front(pslist_l2, 1);  
  
    if(slist_greater_equal(pslist_l1, pslist_l2))  
    {  
        printf("Slist l1 is greater than or equal to slist l2.\n");  
    }  
    else  
    {  
        printf("The l1 is less than slist l2.\n");  
    }  
}
```



```

    }

    slist_destroy(pslist_l1);
    slist_destroy(pslist_l2);

    return 0;
}

```

● Output

Slist l1 is greater than or equal to slist l2.

15. slist_init slist_init_copy slist_init_copy_range slist_init_elem slist_init_n

初始化 slist_t。

```

void slist_init(
    slist_t* pslist_slist
);

void slist_init_copy(
    slist_t* pslist_slist,
    const slist_t* cpslist_src
);

void slist_init_copy_range(
    slist_t* pslist_slist,
    slist_iterator_t it_begin,
    slist_iterator_t it_end
);

void slist_init_elem(
    slist_t* pslist_slist,
    size_t t_count,
    element
);

void slist_init_n(
    slist_t* pslist_slist,
    size_t t_count
);

```

● Parameters

pslist_slist: 指向被初始化 slist_t 的指针。
cpslist_src: 指向用来初始化 slist_t 的指针。
it_begin: 用来初始化的数据区间的开始位置的迭代器。
it_end: 用来初始化的数据区间的末尾位置的迭代器。
t_count: 用来初始化的数据个数。
element: 用来初始化的数据。

● Remarks

第一个函数初始化一个空的 slist_t 类型。
 第二个函数使用一个 slist_t 来初始化，将源 slist_t 中的内容拷贝到目的 slist_t 中。
 第三个函数使用指定的数据区间来初始化一个 slist_t。
 第四个函数使用多个指定数据初始化 slist_t。

第五个函数使用多个默认数据初始化 slist_t。

● Requirements

头文件 <cstl/cslist.h>

● Example

```
/*
 * slist_init.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cslist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    slist_t* pslist_10 = create_slist(int);
    slist_t* pslist_11 = create_slist(int);
    slist_t* pslist_12 = create_slist(int);
    slist_t* pslist_13 = create_slist(int);
    slist_t* pslist_14 = create_slist(int);
    slist_iterator_t it_1;

    if(pslist_10 == NULL || pslist_11 == NULL ||
        pslist_12 == NULL || pslist_13 == NULL ||
        pslist_14 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    /* Create an empty slist 10 */
    slist_init(pslist_10);

    /* Create a slist 11 with 3 elements of default value 0 */
    slist_init_n(pslist_11, 3);

    /* Create a slist 12 with 5 elements of value 2 */
    slist_init_elem(pslist_12, 5, 2);

    /* Create a copy, slist 13, of slist 13 */
    slist_init_copy(pslist_13, pslist_12);

    /* Create a slist 14 by copying the range 13[first, last) */
    slist_init_copy_range(pslist_14,
        iterator_advance(slist_begin(pslist_13), 3),
        slist_end(pslist_13));

    printf("l1 =");
    for(it_1 = slist_begin(pslist_11);
        !iterator_equal(it_1, slist_end(pslist_11));
        it_1 = iterator_next(it_1))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
    }
    printf("\n");

    printf("l2 =");
    for(it_1 = slist_begin(pslist_12);
        !iterator_equal(it_1, slist_end(pslist_12));
```

```

        it_1 = iterator_next(it_1)
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
    }
    printf("\n");

    printf("l3 =");
    for(it_1 = slist_begin(pslist_l3);
        !iterator_equal(it_1, slist_end(pslist_l3));
        it_1 = iterator_next(it_1))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
    }
    printf("\n");

    printf("l4 =");
    for(it_1 = slist_begin(pslist_l4);
        !iterator_equal(it_1, slist_end(pslist_l4));
        it_1 = iterator_next(it_1))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
    }
    printf("\n");

    slist_destroy(pslist_l0);
    slist_destroy(pslist_l1);
    slist_destroy(pslist_l2);
    slist_destroy(pslist_l3);
    slist_destroy(pslist_l4);

    return 0;
}

```

● Output

```

l1 = 0 0 0
l2 = 2 2 2 2 2
l3 = 2 2 2 2 2
l4 = 2 2

```

16. slist_insert slist_insert_after slist_insert_after_n slist_insert_after_range slist_insert_n slist_insert_range

向 slist_t 中插入数据。

```

slist_iterator_t slist_insert(
    slist_t* pslist_slist,
    slist_iterator_t it_pos,
    element
);

slist_iterator_t slist_insert_after(
    slist_t* pslist_slist,
    slist_iterator_t it_prev,
    element
);

void slist_insert_after_n(
    slist_t* pslist_slist,

```

```

    slist_iterator_t it_prev,
    size_t t_count,
    element
);

void slist_insert_after_range(
    slist_t* pslst_slist,
    slist_iterator_t it_prev,
    slist_iterator_t it_begin,
    slist_iterator_t it_end
);

void slist_insert_range(
    slist_t* pslst_slist,
    slist_iterator_t it_pos,
    slist_iterator_t it_begin,
    slist_iterator_t it_end
);

void slist_insert_n(
    slist_t* pslst_slist,
    slist_iterator_t it_pos,
    size_t t_count,
    element
);

```

● Parameters

pslist_slist: 指向 slist t 的指针。
it_pos: 被插入的数据位置迭代器。
it_prev: 被插入的数据的前一个数据的位置迭代器。
it_begin: 被插入的数据区间的开始位置迭代器。
it_end: 被插入的数据区间的末尾位置迭代器。
t_count: 插入的数据个数。
element: 插入的数据。

● Remarks

第一个函数在指定位置插入一个数据并返回指向插入的数据的迭代器。

第二个函数在指定位置的后面插入一个数据并返回指向插入的数据的迭代器。

第三个函数在指定位置的后面插入多个数据并返回指向被插入的第一个数据的迭代器。

第四个函数在指定的位置后面插入一个数据区间并返回指向被插入的第一个数据的迭代器。

第五个函数在指定的位置插入一个数据区间并返回指向被插入的第一个数据的迭代器。

第六个函数在指定的位置插入多个数据并返回指向被插入的第一个数据的迭代器。

上面所有的函数都要求位置迭代器和数据区间是有效的，使用无效的迭代器或者数据区间倒是函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cslist.h>

● Example

```

/*
 * slist_insert.c
 * compile with : -lcstl
 */

```

```

#include <stdio.h>
#include <cstl/cslist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);
    slist_t* pslist_l2 = create_slist(int);
    slist_iterator_t it_l;

    if(pslist_l1 == NULL || pslist_l2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    slist_init(pslist_l1);
    slist_init(pslist_l2);

    slist_push_front(pslist_l1, 10);
    slist_push_front(pslist_l1, 20);
    slist_push_front(pslist_l1, 30);
    slist_push_front(pslist_l2, 40);
    slist_push_front(pslist_l2, 50);
    slist_push_front(pslist_l2, 60);

    printf("l1 =");
    for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
        !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    slist_insert(pslist_l1, iterator_next(slist_begin(pslist_l1)), 100);
    printf("l1 =");
    for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
        !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    slist_insert_n(pslist_l1, iterator_advance(slist_begin(pslist_l1), 2), 2, 200);
    printf("l1 =");
    for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
        !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    slist_insert_range(pslist_l1, iterator_next(slist_begin(pslist_l1)),
        slist_begin(pslist_l2), slist_end(pslist_l2));
    printf("l1 =");
    for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
        !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {

```

```

        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
    }
    printf("\n");

    slist_insert_after(pslist_l1, slist_begin(pslist_l1), -100);
    printf("l1 =");
    for(it_1 = slist_begin(pslist_l1);
        !iterator_equal(it_1, slist_end(pslist_l1));
        it_1 = iterator_next(it_1))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
    }
    printf("\n");

    slist_insert_after_n(pslist_l1, slist_begin(pslist_l1), 2, -200);
    printf("l1 =");
    for(it_1 = slist_begin(pslist_l1);
        !iterator_equal(it_1, slist_end(pslist_l1));
        it_1 = iterator_next(it_1))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
    }
    printf("\n");

    slist_insert_after_range(pslist_l1, slist_begin(pslist_l1),
        slist_begin(pslist_l2), slist_end(pslist_l2));
    printf("l1 =");
    for(it_1 = slist_begin(pslist_l1);
        !iterator_equal(it_1, slist_end(pslist_l1));
        it_1 = iterator_next(it_1))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
    }
    printf("\n");

    slist_destroy(pslist_l1);
    slist_destroy(pslist_l2);

    return 0;
}

```

● Output

```

l1 = 30 20 10
l1 = 30 100 20 10
l1 = 30 100 200 200 20 10
l1 = 30 60 50 40 100 200 200 20 10
l1 = 30 -100 60 50 40 100 200 200 20 10
l1 = 30 -200 -200 -100 60 50 40 100 200 200 20 10
l1 = 30 60 50 40 -200 -200 -100 60 50 40 100 200 200 20 10

```

17. slist_less

测试第一个 `slist_t` 是否小于第二个 `slist_t`。

```

bool_t slist_less(
    const slist_t* cpslist_first,
    const slist_t* cpslist_second
);

```

- **Parameters**

cpslist_first: 指向第一个 slist_t 的指针。
cpslist_second: 指向第二个 slist_t 的指针。

- **Remarks**

要求两个 slist_t 保存的数据类型相同，如果数据类型不同导致函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cslist.h>

- **Example**

```
/*
 * slist_less.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cslist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);
    slist_t* pslist_l2 = create_slist(int);

    if(pslist_l1 == NULL || pslist_l2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    slist_init(pslist_l1);
    slist_init(pslist_l2);

    slist_push_front(pslist_l1, 4);
    slist_push_front(pslist_l1, 2);
    slist_push_front(pslist_l1, 1);

    slist_push_front(pslist_l2, 3);
    slist_push_front(pslist_l2, 1);

    if(slist_less(pslist_l1, pslist_l2))
    {
        printf("Slist l1 is less than slist l2.\n");
    }
    else
    {
        printf("Slist l1 is not less than slist l2.\n");
    }

    slist_destroy(pslist_l1);
    slist_destroy(pslist_l2);

    return 0;
}
```

- **Output**

Slist l1 is less than slist l2.

18. slist_less_equal

测试第一个 slist_t 是否小于等于第二个 slist_t。

```
bool_t slist_less_equal(  
    const slist_t* cpslist_first,  
    const slist_t* cpslist_second  
);
```

- **Parameters**

cpslist_first: 指向第一个 slist_t 的指针。

cpslist_second: 指向第二个 slist_t 的指针。

- **Remarks**

要求两个 slist_t 保存的数据类型相同，如果数据类型不同导致函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cslist.h>

- **Example**

```
/*  
 * slist_less_equal.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cslist.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);  
    slist_t* pslist_l2 = create_slist(int);  
  
    if(pslist_l1 == NULL || pslist_l2 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    slist_init(pslist_l1);  
    slist_init(pslist_l2);  
  
    slist_push_front(pslist_l1, 4);  
    slist_push_front(pslist_l1, 2);  
    slist_push_front(pslist_l1, 1);  
  
    slist_push_front(pslist_l2, 3);  
    slist_push_front(pslist_l2, 1);  
  
    if(slist_less_equal(pslist_l1, pslist_l2))  
    {  
        printf("Slist l1 is less than or equal to slist l2.\n");  
    }  
    else  
    {  
        printf("Slist l1 is greater than slist l2.\n");  
    }  
}
```



```

    slist_destroy(pslist_l1);
    slist_destroy(pslist_l2);

    return 0;
}

```

● Output

Slist l1 is less than or equal to slist l2.

19. slist_max_size

返回 slist_t 中保存数据的可能最大数量。

```

size_t slist_max_size(
    const slist_t* cpslist_slist
);

```

● Parameters

cpslist_slist: 指向 slist_t 的指针。

● Remarks

这是一个与系统相关的常数。

● Requirements

头文件 <cstl/cslist.h>

● Example

```

/*
 * slist_max_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cslist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);

    if(pslist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    slist_init(pslist_l1);

    printf("Maximum possible length of the slist is %d\n",
        slist_max_size(pslist_l1));

    slist_destroy(pslist_l1);

    return 0;
}

```

● Output

Maximum possible length of the slist is 1073741823

20. slist_merge slist_merge_if

合并两个有序的 slist_t。

```
void slist_merge(  
    slist_t* pslist_dest,  
    slist_t* pslist_src  
);  
  
void slist_merge_if(  
    slist_t* pt_dest,  
    slist_t* pt_src,  
    binary_function_t bfun_op  
);
```

● Parameters

pslist_dest: 指向合并的目标 slist_t。
pslist_src: 指向合并的源 slist_t。
bfun_op: slist_t 中数据的排序规则。

● Remarks

这两个函数都要求 slist_t 是有序的，第一个函数是要求 slist_t 按照默认规则有序，第二个函数要求 slist_t 按照指定的规则 bfun_op 有序，如果 slist_t 中的数据无效，那么函数的行为是未定义的。两个 slist_t 中的数据都合并到 pslist_dest 中，pslist_src 中为空，并且合并后的数据也是有序的。

● Requirements

头文件 <cstl/cslst.h>

● Example

```
/*  
 * slist_merge.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cslst.h>  
#include <cstl/cfunctional.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);  
    slist_t* pslist_l2 = create_slist(int);  
    slist_t* pslist_l3 = create_slist(int);  
    slist_iterator_t it_l;  
  
    if(pslist_l1 == NULL || pslist_l2 == NULL || pslist_l3 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    slist_init(pslist_l1);  
    slist_init(pslist_l2);  
    slist_init(pslist_l3);
```

```

slist_push_front(pslist_l1, 6);
slist_push_front(pslist_l1, 3);
slist_push_front(pslist_l2, 4);
slist_push_front(pslist_l2, 2);
slist_push_front(pslist_l3, 1);
slist_push_front(pslist_l3, 5);

printf("l1 =");
for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
    !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

printf("l2 =");
for(it_l = slist_begin(pslist_l2);
    !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l2));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

/* Merge l1 into l2 in (default) ascending order */
slist_merge(pslist_l2, pslist_l1);
slist_sort_if(pslist_l2, fun_greater_int);
printf("After merging l1 with l2 and sorting with >: l2 =");
for(it_l = slist_begin(pslist_l2);
    !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l2));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

printf("l3 =");
for(it_l = slist_begin(pslist_l3);
    !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l3));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

slist_merge_if(pslist_l2, pslist_l3, fun_greater_int);
printf("After merging l3 with l2 according to the '>' comparison relation: l2 =");
for(it_l = slist_begin(pslist_l2);
    !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l2));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

slist_destroy(pslist_l1);
slist_destroy(pslist_l2);
slist_destroy(pslist_l3);

```

```
    return 0;
}
```

● Output

```
l1 = 3 6
l2 = 2 4
After merging l1 with l2 and sorting with >: l2 = 6 4 3 2
l3 = 5 1
After merging l3 with l2 according to the '>' comparison relation: l2 = 6 5 4 3 2 1
```

21. slist_not_equal

测试两个 slist_t 是否不等。

```
bool_t slist_not_equal(
    const slist_t* cpslist_first,
    const slist_t* cpslist_second
);
```

● Parameters

cpslist_first: 指向第一个 slist_t 的指针。
cpslist_second: 指向第二个 slist_t 的指针。

● Remarks

两个 slist_t 中每个数据对应相等，并且数据的数量相等时返回 false，否则返回 true。两个 slist_t 保存的数据类型不同是也认为不等。

● Requirements

头文件 <cstl/cslst.h>

● Example

```
/*
 * slist_not_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cslst.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);
    slist_t* pslist_l2 = create_slist(int);

    if(pslist_l1 == NULL || pslist_l2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    slist_init(pslist_l1);
    slist_init(pslist_l2);

    slist_push_front(pslist_l1, 1);
    slist_push_front(pslist_l2, 2);

    if(slist_not_equal(pslist_l1, pslist_l2))
```

```

    {
        printf("Slists not equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("Slists equal.\n");
    }

    slist_destroy(pslist_l1);
    slist_destroy(pslist_l2);

    return 0;
}

```

● Output

Slists not equal.

22. slist_pop_front

删除 slist_t 中的第一个数据。

```

void slist_pop_front(
    slist_t* pslist_slist
);

```

● Parameters

pslist_slist: 指向 slist_t 的指针。

● Remarks

如果 slist_t 为空则函数的行为是未定义的。

● Requirements

头文件 <cstl/cslist.h>

● Example

```

/*
 * slist_pop_front.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cslist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);

    if(pslist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    slist_init(pslist_l1);

    slist_push_front(pslist_l1, 1);
    slist_push_front(pslist_l1, 2);
}

```

```

    printf("The first element is: %d\n", *(int*)slist_front(pslist_l1));

    slist_pop_front(pslist_l1);
    printf("After deleting the element at the beginning of the slist,"
           " the first element is: %d\n", *(int*)slist_front(pslist_l1));

    slist_destroy(pslist_l1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The first element is: 2
After deleting the element at the beginning of the slist, the first element is: 1

```

23. slist_previous

返回前一个数据的迭代器。

```

slist_iterator_t slist_previous(
    const slist_t* cpslist_slist,
    slist_iterator_t it_pos
);

```

● Parameters

cpslist_first: 指向 slist_t 的指针。
it_pos: 当前位置迭代器。

● Remarks

当前位置必须是有限迭代器，如果当前位置无效者函数行为未定义，如果当前位置为 slist_begin() 这函数行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cslist.h>

● Example

```

/*
 * slist_previous.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cslist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);
    slist_iterator_t it_l1;

    if(pslist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    slist_init(pslist_l1);

```

```

slist_push_front(pslist_l1, 1);
slist_push_front(pslist_l1, 2);

it_l = slist_end(pslist_l1);
it_l = slist_previous(pslist_l1, it_l);
printf("The last element of list is %d\n",
      *(int*)iterator_get_pointer(it_l));

slist_destroy(pslist_l1);

return 0;
}

```

● Output

```
The last element of list is 1
```

24. slist_push_front

向 slist_t 开头添加一个数据。

```

void slist_push_front(
    slist_t* pslist_slist,
    element
);

```

● Parameters

pslist_first: 指向 slist_t 的指针。
element: 要添加的数据。

● Requirements

头文件 <cstl/cslist.h>

● Example

```

/*
 * slist_push_front.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cslist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);

    if(pslist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    slist_init(pslist_l1);

    slist_push_front(pslist_l1, 1);
    if(slist_size(pslist_l1) != 0)
    {

```

```

        printf("First element: %d\n", *(int*)slist_front(pslist_l1));
    }

    slist_push_front(pslist_l1, 2);
    if(slist_size(pslist_l1) != 0)
    {
        printf("New first element: %d\n", *(int*)slist_front(pslist_l1));
    }

    slist_destroy(pslist_l1);

    return 0;
}

```

● Output

```

First element: 1
New first element: 2

```

25. slist_remove

删除 slist_t 中与指定数据相等的数据。

```

void slist_remove(
    slist_t* pslist_slist,
    element
);

```

● Parameters

pslist_slist: 指向 slist_t 的指针。
element: 要删除的数据。

● Requirements

头文件 <cstl/cslist.h>

● Example

```

/*
 * slist_remove.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cslist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);
    slist_iterator_t it_l1;

    if(pslist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    slist_init(pslist_l1);

    slist_push_front(pslist_l1, 5);

```



```

slist_push_front(pslist_l1, 100);
slist_push_front(pslist_l1, 5);
slist_push_front(pslist_l1, 200);
slist_push_front(pslist_l1, 5);
slist_push_front(pslist_l1, 300);

printf("The initial slist is l1 =");
for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
    !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

slist_remove(pslist_l1, 5);
printf("After removing elements with value 5, the slist becomes l1 =");
for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
    !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

slist_destroy(pslist_l1);

return 0;
}

```

● Output

The initial slist is l1 = 300 5 200 5 100 5

After removing elements with value 5, the slist becomes l1 = 300 200 100

26. slist_remove_if

删除 slist_t 中满足指定规则的数据。

```

void slist_remove_if(
    slist_t* pslist_slist,
    unary_function_t ufun_op
);

```

● Parameters

pslist_slist: 指向 slist_t 的指针。
ufun_op: 删除数据的规则。

● Requirements

头文件 <cstl/cslst.h>

● Example

```

/*
 * slist_remove_if.c
 * compile with : -lcstl
 */

```

```

#include <stdio.h>
#include <cstl/cslist.h>

static void is_odd(const void* cpv_input, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);
    slist_iterator_t it_l;

    if(pslist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    slist_init(pslist_l1);

    slist_push_front(pslist_l1, 3);
    slist_push_front(pslist_l1, 4);
    slist_push_front(pslist_l1, 5);
    slist_push_front(pslist_l1, 6);
    slist_push_front(pslist_l1, 7);
    slist_push_front(pslist_l1, 8);

    printf("The initial slist is l1 =");
    for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
        !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    slist_remove_if(pslist_l1, is_odd);
    printf("After removing the odd elements, the slist becomes l1 =");
    for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
        !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    slist_destroy(pslist_l1);

    return 0;
}

static void is_odd(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    assert(cpv_input != NULL && pv_output != NULL);
    if(*(int*)cpv_input % 2 == 1)
    {
        *(bool_t*)pv_output = true;
    }
    else
    {
        *(bool_t*)pv_output = false;
    }
}

```

● Output

The initial slist is ll = 8 7 6 5 4 3

After removing the odd elements, the slist becomes ll = 8 6 4

27. slist_resize slist_resize_elem

重新设置 slist_t 中数据的个数。

```
void slist_resize(  
    slist_t* pslist_slist,  
    size_t t_resize  
);  
  
void slist_resize_elem(  
    slist_t* pslist_slist,  
    size_t t_resize,  
    element  
);
```

● Parameters

pslist_slist: 指向 slist_t 的指针。
t_resize: slist_t 容器中数据的新个数。
element: 填充数据。

● Remarks

当新的数据个数大于当前数据个数的时候，第一个函数使用默认数据填充，第二个函数使用指定数据填充。
当新的数据个数小于当前数据个数时，slist_t 中的靠近末尾的数据被删除一直到数据的个数缩减到新的数据个数。

● Requirements

头文件 <cstl/cslist.h>

● Example

```
/*  
 * slist_resize.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cslist.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    slist_t* pslist_ll = create_slist(int);  
    slist_iterator_t it_l;  
  
    if(pslist_ll == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    slist_init(pslist_ll);  
  
    slist_push_front(pslist_ll, 10);  
    slist_push_front(pslist_ll, 20);
```

```

slist_push_front(pslist_l1, 30);

slist_resize_elem(pslist_l1, 4, 40);
it_l = slist_previous(pslist_l1, slist_end(pslist_l1));
printf("The size of l1 is %d\n", slist_size(pslist_l1));
printf("The value of the last element is %d\n",
      *(int*)iterator_get_pointer(it_l));

slist_resize(pslist_l1, 5);
it_l = slist_previous(pslist_l1, slist_end(pslist_l1));
printf("The size of l1 is now %d\n", slist_size(pslist_l1));
printf("The value of the last element is now %d\n",
      *(int*)iterator_get_pointer(it_l));

slist_resize(pslist_l1, 2);
it_l = slist_previous(pslist_l1, slist_end(pslist_l1));
printf("The reduced size of l1 is %d\n", slist_size(pslist_l1));
printf("The value of the last element is now %d\n",
      *(int*)iterator_get_pointer(it_l));

slist_destroy(pslist_l1);

return 0;
}

```

● Output

```

The size of l1 is 4
The value of the last element is 40
The size of l1 is now 5
The value of the last element is now 0
The reduced size of l1 is 2
The value of the last element is now 20

```

28. slist_reverse

将 slist_t 中的数据逆序。

```

void slist_reverse(
    slist_t* pslist_slist
);

```

● Parameters

pslist_slist: 指向 slist_t 的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/cslist.h>

● Example

```

/*
 * slist_reverse.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cslist.h>

int main(int argc, char* argv[])

```

```

{
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);
    slist_iterator_t it_l;

    if(pslist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    slist_init(pslist_l1);

    slist_push_front(pslist_l1, 10);
    slist_push_front(pslist_l1, 20);
    slist_push_front(pslist_l1, 30);

    printf("l1 =");
    for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
        !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    slist_reverse(pslist_l1);
    printf("Reversed l1 =");
    for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
        !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    slist_destroy(pslist_l1);

    return 0;
}

```

● Output

```

l1 = 30 20 10
Reversed l1 = 10 20 30

```

29. slist_size

返回 slist_t 中数据的个数。

```

size_t slist_size(
    const slist_t* cpslist_slist
);

```

● Parameters

cpslist_slist: 指向 slist_t 的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/cslst.h>

● Example

```
/*
 * slist_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cslist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);

    if(pslist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    slist_init(pslist_l1);

    slist_push_front(pslist_l1, 1);
    printf("List length is %d\n", slist_size(pslist_l1));

    slist_push_front(pslist_l1, 2);
    printf("List length is now %d\n", slist_size(pslist_l1));

    slist_destroy(pslist_l1);

    return 0;
}
```

● Output

```
List length is 1
List length is now 2
```

30. slist_sort slist_sort_if

将 slist_t 中的数据排序。

```
void slist_sort(
    slist_t* pslist_slist
);

void slist_sort_if(
    slist_t* pslist_slist,
    binary_function_t bfun_op
);
```

● Parameters

pslist_slist: 指向 slist_t 的指针。
bfun_op: 数据的排序规则。

● Remarks

第一个函数使用默认规则(数据的小于操作函数)来排序 slist_t 中的数据，第二个函数使用指定的规则 bfun_op 来排序 slist_t 中的数据。

● Requirements

头文件 <cstl/cslist.h>

● Example

```
/*
 * slist_sort.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cslist.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);
    slist_iterator_t it_l;

    if(pslist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    slist_init(pslist_l1);

    slist_push_front(pslist_l1, 20);
    slist_push_front(pslist_l1, 10);
    slist_push_front(pslist_l1, 30);

    printf("Before sorting: l1 =");
    for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
        !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    slist_sort(pslist_l1);
    printf("After sorting: l1 =");
    for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
        !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    slist_sort_if(pslist_l1, fun_greater_int);
    printf("After sorting with 'greater than' operation: l1 =");
    for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
        !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    slist_destroy(pslist_l1);
}
```

```
    return 0;
}
```

● Output

Before sorting: l1 = 30 10 20

After sorting: l1 = 10 20 30

After sorting with 'greater than' operation: l1 = 30 20 10

31. `slist_splice` `slist_splice_after_pos` `slist_splice_after_range` `slist_splice_pos` `slist_splice_range`

将数据转移到 `slist_t` 的指定位置。

```
void slist_splice(
    slist_t* plist_slist,
    slist_iterator_t it_pos,
    slist_t* plist_src
);

void slist_splice_after_pos(
    slist_t* plist_slist,
    slist_iterator_t it_prev,
    slist_t* plist_src,
    slist_iterator_t it_prevsrc
);

void slist_splice_after_range(
    slist_t* plist_slist,
    slist_iterator_t it_prev,
    slist_t* plist_src,
    slist_iterator_t it_beforefirst,
    slist_iterator_t it_beforelast
);

void slist_splice_pos(
    slist_t* plist_slist,
    slist_iterator_t it_pos,
    slist_t* plist_src,
    slist_iterator_t it_possrc
);

void slist_splice_range(
    slist_t* plist_slist,
    slist_iterator_t it_pos,
    slist_t* plist_src,
    slist_iterator_t it_begin,
    slist_iterator_t it_end
);
```

● Parameters

- `plist_slist`: 指向目的 `slist_t` 的指针。
- `it_pos`: 转移的数据插入的位置迭代器。
- `plist_src`: 指向源 `slist_t` 的指针。

it_prev: 转移的数据插入的位置的前一个位置迭代器。
it_prevsrc: 源 slist_t 中被转移的数据位置的前一个位置迭代器。
it_beforefirst: 源 slist_t 中被转移的数据区间的开始位置的前一个位置迭代器。
it_beforelast: 源 slist_t 中被转移的数据区间的末尾位置的前一个位置迭代器。
it_pos: 源 slist_t 中被转移的数据的位置迭代器。
it_begin: 源 slist_t 中被转移的数据区间的开始位置迭代器。
it_end: 源 slist_t 中被转移的数据区间的末尾位置迭代器。

● Remarks

第一个函数将源 slist_t 中的所有数据转移到目的 slist_t 的指定位置。

第二个函数将源 slist_t 中 it_prevsrc+1 数据转移到目的 slist_t 的 it_prev+1。

第三个函数将源 slist_t 中[it_beforefirst+1, it_beforelast+1)数据转移到目的 slist_t 的 it_prev+1。

第四个函数将源 slist_t 中 it_possrc 数据转移到目的 slist_t 的 it_pos。

第五个函数将源 slist_t 中[it_begin, it_end)数据转移到目的 slist_t 的 it_pos。

上面所有的函数都要求位置迭代器和数据区间是有效的，使用无效的迭代器或者数据区间倒是函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cslist.h>

● Example

```
/*
 * slist_splice.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cslist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);
    slist_t* pslist_l2 = create_slist(int);
    slist_t* pslist_l3 = create_slist(int);
    slist_t* pslist_l4 = create_slist(int);
    slist_t* pslist_l5 = create_slist(int);
    slist_t* pslist_l6 = create_slist(int);
    slist_iterator_t it_l;

    if(pslist_l1 == NULL || pslist_l2 == NULL || pslist_l3 == NULL ||
       pslist_l4 == NULL || pslist_l5 == NULL || pslist_l6 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    slist_init(pslist_l1);
    slist_init(pslist_l2);
    slist_init(pslist_l3);
    slist_init(pslist_l4);
    slist_init(pslist_l5);
    slist_init(pslist_l6);

    slist_push_front(pslist_l1, 10);
    slist_push_front(pslist_l1, 11);
    slist_push_front(pslist_l2, 12);
    slist_push_front(pslist_l2, 20);
    slist_push_front(pslist_l2, 21);
```

```

slist_push_front(pslist_13, 30);
slist_push_front(pslist_13, 31);
slist_push_front(pslist_14, 40);
slist_push_front(pslist_14, 41);
slist_push_front(pslist_14, 42);
slist_push_front(pslist_15, 55);
slist_push_front(pslist_15, 56);
slist_push_front(pslist_15, 57);
slist_push_front(pslist_16, 62);
slist_push_front(pslist_16, 65);
slist_push_front(pslist_16, 66);
slist_push_front(pslist_16, 67);

printf("l1 =");
for(it_1 = slist_begin(pslist_11);
    !iterator_equal(it_1, slist_end(pslist_11));
    it_1 = iterator_next(it_1))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

printf("l2 =");
for(it_1 = slist_begin(pslist_12);
    !iterator_equal(it_1, slist_end(pslist_12));
    it_1 = iterator_next(it_1))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

slist_splice(pslist_12, iterator_next(slist_begin(pslist_12)), pslist_11);
printf("After splicing l1 into l2: l2 =");
for(it_1 = slist_begin(pslist_12);
    !iterator_equal(it_1, slist_end(pslist_12));
    it_1 = iterator_next(it_1))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

slist_splice_pos(pslist_12, iterator_next(slist_begin(pslist_12)),
    pslist_13, slist_begin(pslist_13));
printf("After splicing the first element of l3 into l2: l2 =");
for(it_1 = slist_begin(pslist_12);
    !iterator_equal(it_1, slist_end(pslist_12));
    it_1 = iterator_next(it_1))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

slist_splice_range(pslist_12, iterator_next(slist_begin(pslist_12)),
    pslist_14, slist_begin(pslist_14), slist_end(pslist_14));
printf("After splicing a range of l4 into l2: l2 =");
for(it_1 = slist_begin(pslist_12);
    !iterator_equal(it_1, slist_end(pslist_12));
    it_1 = iterator_next(it_1))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}

```

```

}
printf("\n");

slist_splice_after_pos(pslist_12, slist_begin(pslist_12),
    pslist_15, slist_begin(pslist_15));
printf("After splicing the element following the first of 15 into 12: 12 =");
for(it_1 = slist_begin(pslist_12);
    !iterator_equal(it_1, slist_end(pslist_12));
    it_1 = iterator_next(it_1))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

slist_splice_after_range(pslist_12, slist_begin(pslist_12),
    pslist_16, slist_begin(pslist_16),
    iterator_advance(slist_begin(pslist_16), 2));
printf("After splicing a range of 16 into 12: 12 =");
for(it_1 = slist_begin(pslist_12);
    !iterator_equal(it_1, slist_end(pslist_12));
    it_1 = iterator_next(it_1))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

slist_destroy(pslist_11);
slist_destroy(pslist_12);
slist_destroy(pslist_13);
slist_destroy(pslist_14);
slist_destroy(pslist_15);
slist_destroy(pslist_16);

return 0;
}

```

● Output

```

11 = 11 10
12 = 21 20 12
After splicing 11 into 12:
12 = 21 11 10 20 12
After splicing the first element of 13 into 12:
12 = 21 31 11 10 20 12
After splicing a range of 14 into 12:
12 = 21 42 41 40 31 11 10 20 12
After splicing the element following the first of 15 into 12:
12 = 21 56 42 41 40 31 11 10 20 12
After splicing a range of 16 into 12:
12 = 21 66 65 56 42 41 40 31 11 10 20 12

```

32. slist_swap

交换两个 slist_t 的内容。

```

void slist_swap(
    slist_t* pslist_first,
    slist_t* pslist_second
);

```

- **Parameters**

pslist_first: 指向第一个 slist_t 的指针。
pslist_second: 指向第二个 slist_t 的指针。

- **Remarks**

要求两个 slist_t 保存的数据类型相同，如果数据类型不同导致函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cslist.h>

- **Example**

```
/*
 * slist_swap.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cslist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);
    slist_t* pslist_l2 = create_slist(int);
    slist_iterator_t it_l;

    if(pslist_l1 == NULL || pslist_l2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    slist_init(pslist_l1);
    slist_init(pslist_l2);

    slist_push_front(pslist_l1, 1);
    slist_push_front(pslist_l1, 2);
    slist_push_front(pslist_l1, 3);
    slist_push_front(pslist_l2, 10);
    slist_push_front(pslist_l2, 20);

    printf("The original slist l1 is:");
    for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
        !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    slist_swap(pslist_l1, pslist_l2);
    printf("After swapping with l2, slist l1 is:");
    for(it_l = slist_begin(pslist_l1);
        !iterator_equal(it_l, slist_end(pslist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");
}
```

```

    slist_destroy(pslist_l1);
    slist_destroy(pslist_l2);

    return 0;
}

```

● Output

The original slist l1 is: 3 2 1
 After swapping with l2, slist l1 is: 20 10

33. slist_unique slist_unique_if

删除 slist_t 中相邻的重复数据或者符合规则的数据。

```

void slist_unique(
    slist_t* pslist_slist
);

void slist_unique_if(
    slist_t* pslist_slist,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

pslist_slist: 指向 slist_t 的指针。
bfun_op: 删除数据的规则。

● Remarks

第一个函数删除 slist_t 中相邻的重复数据，第二个函数删除 slist_t 中相邻的满足 bfun_op 的数据。

● Requirements

头文件 <cstl/cslst.h>

● Example

```

/*
 * slist_unique.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cslst.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    slist_t* pslist_l1 = create_slist(int);
    slist_t* pslist_l2 = create_slist(int);
    slist_t* pslist_l3 = create_slist(int);
    slist_iterator_t it_l;

    if(pslist_l1 == NULL || pslist_l2 == NULL || pslist_l3 == NULL)
    {
        return -1;
    }
}

```

```

slist_init(pslist_11);
slist_init(pslist_12);
slist_init(pslist_13);

slist_push_front(pslist_11, -10);
slist_push_front(pslist_11, 10);
slist_push_front(pslist_11, 10);
slist_push_front(pslist_11, 20);
slist_push_front(pslist_11, 20);
slist_push_front(pslist_11, -10);

slist_assign(pslist_12, pslist_11);
slist_assign(pslist_13, pslist_11);

printf("The initial slist is l1 =");
for(it_1 = slist_begin(pslist_11);
    !iterator_equal(it_1, slist_end(pslist_11));
    it_1 = iterator_next(it_1))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

slist_unique(pslist_12);
printf("After removing successive duplicate elements, l2 =");
for(it_1 = slist_begin(pslist_12);
    !iterator_equal(it_1, slist_end(pslist_12));
    it_1 = iterator_next(it_1))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

slist_unique_if(pslist_13, fun_not_equal_int);
printf("After removing successive unequal elements, l3 =");
for(it_1 = slist_begin(pslist_13);
    !iterator_equal(it_1, slist_end(pslist_13));
    it_1 = iterator_next(it_1))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

slist_destroy(pslist_11);
slist_destroy(pslist_12);
slist_destroy(pslist_13);

return 0;
}

```

● Output

```

The initial slist is l1 = -10 20 20 10 10 -10
After removing successive duplicate elements, l2 = -10 20 10 -10
After removing successive unequal elements, l3 = -10 -10

```

第四节 向量 `vector_t`

`vector_t` 与数组类似，以线性方式保存并管理数据，但是它可以自动生长。`vector_t` 快速的随机访问任何数据，在 `vector_t` 末尾插入或删除数据花费常数时间，在开头或者中间插入或者删除花费线性时间。`vector_t` 的迭代器是随机访问迭代器，可以通过迭代器随机访问数据，获得并修改数据。当插入或者删除数据是，在插入或删除数据位置之后的迭代器失效。

● Typedefs

<code>vector_t</code>	向量容器类型。
<code>vector_iterator_t</code>	向量容器迭代器类型。

● Operation Functions

<code>create_vector</code>	创建向量容器类型。
<code>vector_assign</code>	使用向量容器类型为当前向量容器赋值。
<code>vector_assign_elem</code>	使用指定数据为向量容器赋值。
<code>vector_assign_range</code>	使用指定的数据区间为向量赋值。
<code>vector_at</code>	使用下标随机访问向量中的数据。
<code>vector_back</code>	访问向量容器的最后一个数据。
<code>vector_begin</code>	返回指向向量容器的开始的迭代器。
<code>vector_capacity</code>	返回向量容器在不重新分配内存的情况下能够保存数据的个数。
<code>vector_clear</code>	删除向量容器中的所有数据。
<code>vector_destroy</code>	销毁向量容器类型。
<code>vector_empty</code>	测试向量容器是否为空。
<code>vector_end</code>	返回指向向量容器末尾位置的迭代器。
<code>vector_equal</code>	测试两个向量容器是否相等。
<code>vector_erase</code>	删除向量容器中指定位置的数据。
<code>vector_erase_range</code>	删除向量容器中指定数据区间中的数据。
<code>vector_front</code>	访问向量容器中第一个数据。
<code>vector_greater</code>	测试第一个向量容器是否大于第二个向量容器。
<code>vector_greater_equal</code>	测试第一个向量容器是否大于等于第二个向量容器。
<code>vector_init</code>	初始化一个空的向量容器。
<code>vector_init_copy</code>	使用一个向量容器类型初始化当前向量容器。
<code>vector_init_copy_range</code>	使用指定数据区间中的数据初始化向量容器。
<code>vector_init_elem</code>	使用指定数据初始化向量容器。
<code>vector_init_n</code>	使用多个默认数据初始化向量容器。
<code>vector_insert</code>	在向量容器的指定位置插入一个数据。
<code>vector_insert_n</code>	在向量容器的指定位置插入多个数据。
<code>vector_insert_range</code>	在向量容器的指定位置插入数据区间中的数据。
<code>vector_less</code>	测试第一个向量容器是否小于第二个向量容器。
<code>vector_less_equal</code>	测试第一个向量容器是否小于等于第二个向量容器。

vector_max_size	向量容器能够保存的数据的可能最大数量。
vector_not_equal	测试两个向量容器是否不等。
vector_pop_back	删除向量容器中的最后一个数据。
vector_push_back	在向量容器的末尾添加一个数据。
vector_reserve	设置向量容器在不分配内存的情况下能够保存数据的个数。
vector_resize	重新设置向量容器中数据的个数。
vector_resize_elem	重新设置向量容器中数据的个数，不足的部分使用指定数据填充。
vector_size	获得向量容器中的数据的个数。
vector_swap	交换两个向量容器中的内容。

1. vector_t

vector_t 向量容器类型。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/cvector.h>

- **Example**

请参考 vector_t 类型的其他操作函数。

2. vector_iterator_t

vector_iterator_t 是向量容器迭代器类型。

- **Remarks**

vector_iterator_t 是随机访问迭代器类型，支持数据的随机访问，可以通过迭代器来修改容器中的数据。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/cvector.h>

- **Example**

请参考 vector_t 类型的其他操作函数。

3. create_vector

创建 vector_t 容器类型。

```
vector_t* create_vector(
    type
);
```

- **Parameters**

type: 数据类型描述。

- **Remarks**

函数成功返回指向 vector_t 类型的指针，失败返回 NULL。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/cvector.h>

- **Example**

请参考 vector_t 类型的其他操作函数。

4. vector_assign vector_assign_elem vector_assign_range

使用 vector_t 或者指定的数据或者数据区间为 vector_t 赋值。

```
void vector_assign(  
    vector_t* pvec_vector,  
    const vector_t* cpvec_src  
);  
  
void vector_assign_elem(  
    vector_t* pvec_vector,  
    size_t t_count,  
    element  
);  
  
void vector_assign_range(  
    vector_t* pvec_vector,  
    vector_iterator_t it_begin,  
    vector_iterator_t t_end  
);
```

- **Parameters**

pvec_vector: 指向被赋值的 vector_t。
cpvec_src: 指向赋值的 vector_t。
t_count: 指定数据的个数。
element: 指定数据。
it_begin: 指定数据区间的开始。
it_end: 指定数据区间的末尾。

- **Remarks**

这三个函数都要求赋值的数据必须与 vector_t 中保存的数据类型相同。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/cvector.h>

- **Example**

```
/*  
 * vector_assign.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstdlib/cvector.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);  
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
```

```

vector_t* pvec_v3 = create_vector(int);
vector_t* pvec_v4 = create_vector(int);
vector_iterator_t it_v;

if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL ||
    pvec_v3 == NULL || pvec_v4 == NULL)
{
    return -1;
}

vector_init(pvec_v1);
vector_init(pvec_v2);
vector_init(pvec_v3);
vector_init(pvec_v4);

vector_push_back(pvec_v1, 10);
vector_push_back(pvec_v1, 20);
vector_push_back(pvec_v1, 30);
vector_push_back(pvec_v1, 40);
vector_push_back(pvec_v1, 50);

printf("v1 =");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_assign(pvec_v2, pvec_v1);
printf("v2 =");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_assign_range(pvec_v3, vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
printf("v3 =");
for(it_v = vector_begin(pvec_v3);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v3));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_assign_elem(pvec_v4, 7, 4);
printf("v4 =");
for(it_v = vector_begin(pvec_v4);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v4));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

```

```

    vector_destroy(pvec_v1);
    vector_destroy(pvec_v2);
    vector_destroy(pvec_v3);
    vector_destroy(pvec_v4);

    return 0;
}

```

● Output

```

v1 = 10 20 30 40 50
v2 = 10 20 30 40 50
v3 = 10 20 30 40 50
v4 = 4 4 4 4 4 4 4

```

5. vector_at

使用下标对 `vector_t` 中的数据进行随机访问。

```

void* vector_at(
    const vector_t* cpvec_vector,
    size_t t_pos
);

```

● Parameters

`cpvec_vector`: 指向 `vector_t` 类型的指针。

`t_pos`: 要访问的数据的下标。

● Remarks

要访问的数据的小标必须是有效的下标，无效下标导致函数行为未定义。

● Requirements

头文件 `<cstl/cvector.h>`

● Example

```

/*
 * vector_at.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    int* pn_i = NULL;
    int n_j = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    vector_push_back(pvec_v1, 10);

```

```

vector_push_back(pvec_v1, 20);

pn_i = (int*)vector_at(pvec_v1, 0);
n_j = *(int*)vector_at(pvec_v1, 1);
printf("The first element is %d\n", *pn_i);
printf("The second element is %d\n", n_j);

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

The first element is 10
The second element is 20

```

6. vector_back

访问 vector_t 中的最后一个数据。

```

void* vector_back(
    const vector_t* cvec_vector
);

```

● Parameters

cvec_vector: 指向 vector_t 类型的指针。

● Remarks

vector_t 容器为空时返回 NULL。

● Requirements

头文件 <cstdlib/cvector.h>

● Example

```

/*
 * vector_back.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    int* pn_i = NULL;
    int* pn_j = NULL;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    vector_push_back(pvec_v1, 10);

```

```

    vector_push_back(pvec_v1, 11);

    pn_i = (int*)vector_back(pvec_v1);
    pn_j = (int*)vector_back(pvec_v1);

    printf("The last integer of v1 is %d\n", *pn_i);
    (*pn_i)++;
    printf("The modified last integer of v1 is %d\n", *pn_j);

    vector_destroy(pvec_v1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The last integer of v1 is 11
The modified last integer of v1 is 12

```

7. vector_begin

返回指向 `vector_t` 第一个数据的迭代器。

```

vector_iterator_t vector_begin(
    const vector_t* cvec_vector
);

```

● Parameters

`cvec_vector`: 指向 `vector_t` 类型的指针。

● Remarks

`vector_t` 容器时, 函数的返回值与 `vector_end()` 相等。

● Requirements

头文件 `<cstl/cvector.h>`

● Example

```

/*
 * vector_begin.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

```

```

vector_push_back(pvec_v1, 1);
vector_push_back(pvec_v1, 2);

printf("The vector v1 contains elements:");
it_v = vector_begin(pvec_v1);
for(; !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1)); it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

printf("The vector v1 now contains elements:");
it_v = vector_begin(pvec_v1);
*(int*)iterator_get_pointer(it_v) = 20;
for(; !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1)); it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

The vector v1 contains elements: 1 2
The vector v1 now contains elements: 20 2

```

8. vector_capacity

返回 `vector_t` 在不重新分配内存时能够保存的数据的个数。

```

size_t vector_capacity(
    const vector_t* cpvec_vector
);

```

● Parameters

`cpvec_vector`: 指向 `vector_t` 类型的指针。

● Remarks

返回 `vector_t` 在不重新分配内存时能够保存的数据的个数，这个值不是容器中实际的数据。当容器中插入的数据超过了这个值，`vector_t` 容器要重新分配足够的内存。

● Requirements

头文件 `<cstdlib/cvector.h>`

● Example

```

/*
 * vector_capacity.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cvector.h>

```

```

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    vector_push_back(pvec_v1, 1);
    printf("The length of storage allocated is %d.\n",
        vector_capacity(pvec_v1));

    vector_push_back(pvec_v1, 2);
    vector_push_back(pvec_v1, 3);
    printf("The length of storage allocated is now %d.\n",
        vector_capacity(pvec_v1));

    vector_destroy(pvec_v1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The length of storage allocated is 2.
The length of storage allocated is now 4.

```

9. vector_clear

删除 `vector_t` 中的所有数据。

```

void vector_clear(
    vector_t* pvec_vector
);

```

● Parameters

`pvec_vector`: 指向 `vector_t` 类型的指针。

● Requirements

头文件 `<cstl/cvector.h>`

● Example

```

/*
 * vector_clear.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);

    if(pvec_v1 == NULL)

```

```

{
    return -1;
}

vector_init(pvec_v1);

vector_push_back(pvec_v1, 10);
vector_push_back(pvec_v1, 20);
vector_push_back(pvec_v1, 30);

printf("The size of v1 is %d\n", vector_size(pvec_v1));
vector_clear(pvec_v1);
printf("The size of v1 after clearing is %d\n", vector_size(pvec_v1));

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

The size of v1 is 3
The size of v1 after clearing is 0

```

10. vector_destroy

销毁 `vector_t` 类型。

```

void vector_destroy(
    vector_t* pvec_vector
);

```

● Parameters

`pvec_vector`: 指向 `vector_t` 类型的指针。

● Remarks

在 `vector_t` 类型使用完后，一定要销毁，否则 `vector_t` 占用的资源不会被释放。

● Requirements

头文件 `<cstl/cvector.h>`

● Example

请参考 `vector_t` 类型的其他操作函数。

11. vector_empty

测试 `vector_t` 是否为空。

```

bool_t vector_empty(
    const vector_t* cpvec_vector
);

```

● Parameters

`cpvec_vector`: 指向 `vector_t` 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/cvector.h>

● Example

```
/*
 * vector_empty.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    vector_push_back(pvec_v1, 1);

    if(vector_empty(pvec_v1))
    {
        printf("The vector is empty.\n");
    }
    else
    {
        printf("The vector is not empty.\n");
    }

    vector_destroy(pvec_v1);

    return 0;
}
```

● Output

The vector is not empty.

12. vector_end

返回指向 vector_t 末尾的迭代器。

```
vector_iterator_t vector_end(
    const vector_t* cpvec_vector
);
```

● Parameters

cpvec_vector: 指向 vector_t 类型的指针。

● Remarks

vector_t 容器时，函数的返回值与 vector_begin()相等。

● Requirements

头文件 <cstl/cvector.h>

● Example

```
/*
 * vector_end.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    vector_push_back(pvec_v1, 1);
    vector_push_back(pvec_v1, 2);

    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d\n", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }

    vector_destroy(pvec_v1);

    return 0;
}
```

● Output

```
1
2
```

13. vector_equal

测试两个 vector_t 是否相等。

```
bool_t vector_equal(
    const vector_t* cpvec_first,
    const vector_t* cpvec_second
);
```

● Parameters

cpvec_first: 指向第一个 vector_t 类型的指针。

cpvec_second: 指向第二个 vector_t 类型的指针。

● Remarks

两个 vector_t 中的数据对应相等，并且数量相等，函数返回 true，否则返回 false。如果两个 vector_t 中的数据

类型不同也认为不等。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cvector.h>

- **Example**

```
/*
 * vector_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);

    vector_push_back(pvec_v1, 1);
    vector_push_back(pvec_v2, 1);

    if(vector_equal(pvec_v1, pvec_v2))
    {
        printf("Vectors equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("Vectors not equal.\n");
    }

    vector_destroy(pvec_v1);
    vector_destroy(pvec_v2);

    return 0;
}
```

- **Output**

Vectors equal.

14. vector_erase vector_erase_range

删除 vector_t 中指定的数据或者是数据区间。

```
vector_iterator_t vector_erase(
    vector_t* pvec_vector,
    vector_iterator_t it_pos
);
```

```
vector_iterator_t vector_erase_range(
    vector_t* pvec_vector,
    vector_iterator_t it_begin,
    vector_iterator_t it_end
);
```

● Parameters

pvec_vector: 指向 vector_t 类型的指针。
it_pos: 指向被删除数据的迭代器。
it_begin: 指向被删除数据区间的开始位置迭代器。
it_end: 指向被删除数据区间的末尾位置迭代器。

● Remarks

函数中的迭代器和数据区间必须是有效的，无效的参数导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cvector.h>

● Example

```
/*
 * vector_erase.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    vector_push_back(pvec_v1, 10);
    vector_push_back(pvec_v1, 20);
    vector_push_back(pvec_v1, 30);
    vector_push_back(pvec_v1, 40);
    vector_push_back(pvec_v1, 50);

    printf("v1 =");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    vector_erase(pvec_v1, vector_begin(pvec_v1));
    printf("v1 =");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
```

```

        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v)
    }
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_erase_range(pvec_v1, iterator_next(vector_begin(pvec_v1)),
    iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 3));
printf("v1 =");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

v1 = 10 20 30 40 50
v1 = 20 30 40 50
v1 = 20 50

```

15. vector_front

访问 vector_t 中的第一个数据。

```

void* vector_front(
    const vector_t* cvec_vector
);

```

● Parameters

cvec_vector: 指向 vector_t 类型的指针。

● Remarks

vector_t 容器为空时返回 NULL。

● Requirements

头文件 <cstl/cvector.h>

● Example

```

/*
 * vector_front.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{

```

```

vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
int* pn_i = NULL;
int* pn_j = NULL;

if(pvec_v1 == NULL)
{
    return -1;
}

vector_init(pvec_v1);

vector_push_back(pvec_v1, 10);
vector_push_back(pvec_v1, 11);

pn_i = (int*)vector_front(pvec_v1);
pn_j = (int*)vector_front(pvec_v1);

printf("The first integer of v1 is %d\n", *pn_i);
(*pn_i)--;
printf("The Modified first integer of v1 is %d\n", *pn_j);

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

The first integer of v1 is 10
The Modified first integer of v1 is 9

```

16. vector_greater

测试第一个 `vector_t` 是否大于第二个 `vector_t`。

```

bool_t vector_greater(
    const vector_t* cpvec_first,
    const vector_t* cpvec_second
);

```

● Parameters

cpvec_first: 指向第一个 `vector_t` 类型的指针。
cpvec_second: 指向第二个 `vector_t` 类型的指针。

● Remarks

要求两个 `vector_t` 保存的数据类型相同，如果数据类型不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 `<cstl/cvector.h>`

● Example

```

/*
 * vector_greater.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>

```

```

#include <cstl/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);

    vector_push_back(pvec_v1, 1);
    vector_push_back(pvec_v1, 3);
    vector_push_back(pvec_v1, 1);

    vector_push_back(pvec_v2, 1);
    vector_push_back(pvec_v2, 2);
    vector_push_back(pvec_v2, 2);

    if(vector_greater(pvec_v1, pvec_v2))
    {
        printf("Vector v1 is greater than vector v2.\n");
    }
    else
    {
        printf("Vector v1 is not greater than vector v2.\n");
    }

    vector_destroy(pvec_v1);
    vector_destroy(pvec_v2);

    return 0;
}

```

● Output

```
Vector v1 is greater than vector v2.
```

17. vector_greater_equal

测试第一个 `vector_t` 是否大于等于第二个 `vector_t`。

```

bool_t vector_greater_equal(
    const vector_t* cpvec_first,
    const vector_t* cpvec_second
);

```

● Parameters

cpvec_first: 指向第一个 `vector_t` 类型的指针。
cpvec_second: 指向第二个 `vector_t` 类型的指针。

● Remarks

要求两个 `vector_t` 保存的数据类型相同，如果数据类型不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstdlib/cvector.h>

● Example

```
/*
 * vector_greater_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);

    vector_push_back(pvec_v1, 1);
    vector_push_back(pvec_v1, 3);
    vector_push_back(pvec_v1, 1);

    vector_push_back(pvec_v2, 1);
    vector_push_back(pvec_v2, 2);
    vector_push_back(pvec_v2, 2);

    if(vector_greater_equal(pvec_v1, pvec_v2))
    {
        printf("Vector v1 is greater than or equal to vector v2.\n");
    }
    else
    {
        printf("Vector v1 is less than vector v2.\n");
    }

    vector_destroy(pvec_v1);
    vector_destroy(pvec_v2);

    return 0;
}
```

● Output

Vector v1 is greater than or equal to vector v2.

18. vector_init vector_init_copy vector_init_copy_range vector_init_elem vector_init_n

初始化 vector_t 类型。

void vector_init(


```

    vector_t* pvec_vector
);

void vector_init_copy(
    vector_t* pvec_vector,
    const vector_t* cpvec_src
);

void vector_init_copy_range(
    vector_t* pvec_vector,
    vector_iterator_t it_begin,
    vector_iterator_t it_end
);

void vector_init_elem(
    vector_t* pvec_vector,
    size_t t_count,
    element
);

void vector_init_n(
    vector_t* pvec_vector,
    size_t t_count
);

```

● Parameters

pvec_vector: 指向被初始化的 `vector_t` 类型的指针。
cpvec_src: 指向源 `vector_t` 类型的指针。
it_begin: 用于初始化的指定数据区间的开始。
it_end: 用于初始化的指定数据区间的末尾。
t_count: 指定数据的个数。
element: 指定数据。

● Remarks

第一个函数初始化一个空的 `vector_t` 类型。
 第二个函数使用已经存在的 `vector_t` 类型初始化 `vector_t` 类型。
 第三个函数使用指定的数据初始化 `vector_t` 类型。
 第四个函数使用指定数据初始化 `vector_t` 类型。
 第五个函数使用多个默认数据初始化 `vector_t` 类型。
 上面这些函数都要求迭代器和数据区间是有效的，否则导致函数行为未定义。

● Requirements

头文件 `<cstl/cvector.h>`

● Example

```

/*
 * vector_init.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])

```

```

{
    vector_t* pvec_v0 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v4 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;

    if(pvec_v0 == NULL || pvec_v1 == NULL ||
        pvec_v2 == NULL || pvec_v3 == NULL ||
        pvec_v4 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    /* Create an empty vector v0 */
    vector_init(pvec_v0);

    /* Create a vector v1 with 3 elements of default value 0 */
    vector_init_n(pvec_v1, 3);

    /* Create a vector v2 with 5 elements of value 2 */
    vector_init_elem(pvec_v2, 5, 2);

    /* Create a copy, vector v3, of vector v2 */
    vector_init_copy(pvec_v3, pvec_v2);

    /* Create a vector v4 by copying the range v4[first, last) */
    vector_init_copy_range(pvec_v4, iterator_next(vector_begin(pvec_v3)),
        iterator_next_n(vector_begin(pvec_v3), 3));

    printf("v1 =");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    printf("v2 =");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    printf("v3 =");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v3);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v3));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    printf("v4 =");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v4);

```

```

        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v4));
        it_v = iterator_next(it_v)
    }
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v0);
vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2);
vector_destroy(pvec_v3);
vector_destroy(pvec_v4);

return 0;
}

```

● Output

```

v1 = 0 0 0
v2 = 2 2 2 2 2
v3 = 2 2 2 2 2
v4 = 2 2

```

19. vector_insert vector_insert_n vector_insert_range

在 vector_t 的指定位置插入数据。

```

vector_iterator_t vector_insert(
    vector_t* pvec_vector,
    vector_iterator_t it_pos,
    element
);

vector_iterator_t vector_insert_n(
    vector_t* pvec_vector,
    vector_iterator_t it_pos,
    size_t t_count,
    element
);

void vector_insert_range(
    vector_t* pvec_vector,
    vector_iterator_t it_pos,
    vector_iterator_t it_begin,
    vector_iterator_t it_end
);

```

● Parameters

pvec_vector: 指向 vector_t 类型的指针。
it_pos: 插入数据的位置迭代器。
t_count: 指定数据的个数。
element: 指定数据。
it_begin: 指定数据区间的开始。
it_end: 指定数据区间的末尾。

● Remarks

上面这些函数都要求迭代器和数据区间是有效的，否则导致函数行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cvector.h>

● Example

```
/*
 * vector_insert.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    vector_push_back(pvec_v1, 10);
    vector_push_back(pvec_v1, 20);
    vector_push_back(pvec_v1, 30);

    vector_init_copy(pvec_v2, pvec_v1);

    printf("v1 =");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    vector_insert(pvec_v1, iterator_next(vector_begin(pvec_v1)), 40);
    printf("v1 =");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    vector_insert_n(pvec_v1, iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 2), 4, 50);
    printf("v1 =");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
}
```

```

    }
    printf("\n");

    vector_insert_range(pvec_v1, iterator_next(vector_begin(pvec_v1)),
        vector_begin(pvec_v2), vector_end(pvec_v2));
    printf("v1 =");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    vector_destroy(pvec_v1);
    vector_destroy(pvec_v2);

    return 0;
}

```

● Output

```

v1 = 10 20 30
v1 = 10 40 20 30
v1 = 10 40 50 50 50 50 20 30
v1 = 10 10 20 30 40 50 50 50 50 20 30

```

20. vector_less

测试第一个 `vector_t` 是否小于第二个 `vector_t`。

```

bool_t vector_less(
    const vector_t* cpvec_first,
    const vector_t* cpvec_second
);

```

● Parameters

cpvec_first: 指向第一个 `vector_t` 类型的指针。

cpvec_second: 指向第二个 `vector_t` 类型的指针。

● Remarks

要求两个 `vector_t` 保存的数据类型相同，如果数据类型不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 `<cstl/cvector.h>`

● Example

```

/*
 * vector_less.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{

```

```

vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);

if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL)
{
    return -1;
}

vector_init(pvec_v1);
vector_init(pvec_v2);

vector_push_back(pvec_v1, 1);
vector_push_back(pvec_v1, 2);
vector_push_back(pvec_v1, 4);

vector_push_back(pvec_v2, 1);
vector_push_back(pvec_v2, 3);

if(vector_less(pvec_v1, pvec_v2))
{
    printf("Vector v1 is less than vector v2.\n");
}
else
{
    printf("Vector v1 is not less than vector v2.\n");
}

vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2);

return 0;
}

```

● Output

```
Vector v1 is less than vector v2.
```

21. vector_less_equal

测试第一个 vector_t 是否小于等于第二个 vector_t。

```

bool_t vector_less_equal(
    const vector_t* cpvec_first,
    const vector_t* cpvec_second
);

```

● Parameters

cpvec_first: 指向第一个 vector_t 类型的指针。

cpvec_second: 指向第二个 vector_t 类型的指针。

● Remarks

要求两个 vector_t 保存的数据类型相同，如果数据类型不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstdlib/cvector.h>

● Example

```

/*
 * vector_less_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);

    vector_push_back(pvec_v1, 1);
    vector_push_back(pvec_v1, 2);
    vector_push_back(pvec_v1, 4);

    vector_push_back(pvec_v2, 1);
    vector_push_back(pvec_v2, 3);

    if(vector_less_equal(pvec_v1, pvec_v2))
    {
        printf("Vector v1 is less than or equal to vector v2.\n");
    }
    else
    {
        printf("Vector v1 is greater than vector v2.\n");
    }

    vector_destroy(pvec_v1);
    vector_destroy(pvec_v2);

    return 0;
}

```

● Output

Vector v1 is less than or equal to vector v2.

22. vector_max_size

返回 vector_t 中能够保存的数据最大数目的可能值。

```

size_t vector_max_size(
    const vector_t* cpvec_vector
);

```

● Parameters

cpvec_vector: 指向 vector_t 类型的指针。

- **Remarks**

这是一个与系统相关的常量。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cvector.h>

- **Example**

```
/*
 * vector_max_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    printf("The maximum possible length of the vector is %d.\n",
        vector_max_size(pvec_v1));

    vector_destroy(pvec_v1);

    return 0;
}
```

- **Output**

The maximum possible length of the vector is 1073741823.

23. vector_not_equal

测试两个 vector_t 是否不等。

```
bool_t vector_not_equal(
    const vector_t* cpvec_first,
    const vector_t* cpvec_second
);
```

- **Parameters**

cpvec_first: 指向第一个 vector_t 类型的指针。

cpvec_second: 指向第二个 vector_t 类型的指针。

- **Remarks**

两个 vector_t 中的数据对应相等，并且数量相等，函数返回 false，否则返回 true。如果两个 vector_t 中的数据类型不同也认为不等。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cvector.h>

● Example

```
/*
 * vector_not_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);

    vector_push_back(pvec_v1, 1);
    vector_push_back(pvec_v2, 2);

    if(vector_not_equal(pvec_v1, pvec_v2))
    {
        printf("Vectors not equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("Vectors equal.\n");
    }

    vector_destroy(pvec_v1);
    vector_destroy(pvec_v2);

    return 0;
}
```

● Output

Vectors not equal.

24. vector_pop_back

删除 vector_t 中的最后一个数据。

```
void vector_pop_back(
    vector_t* pvec_vector
);
```

● Parameters

pvec_vector: 指向 vector_t 类型的指针。

● Remarks

vector_t 容器为空函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/cvector.h>

- **Example**

```
/*
 * vector_pop_back.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    vector_push_back(pvec_v1, 1);
    printf("%d\n", *(int*)vector_back(pvec_v1));
    vector_push_back(pvec_v1, 2);
    printf("%d\n", *(int*)vector_back(pvec_v1));
    vector_pop_back(pvec_v1);
    printf("%d\n", *(int*)vector_back(pvec_v1));

    vector_destroy(pvec_v1);

    return 0;
}
```

- **Output**

```
1
2
1
```

25. vector_push_back

向 vector_t 的末尾添加一个数据。

```
void vector_push_back(
    vector_t* pvec_vector,
    element
);
```

- **Parameters**

pvec_vector: 指向 vector_t 类型的指针。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/cvector.h>

● Example

```
/*
 * vector_push_back.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    vector_push_back(pvec_v1, 1);
    if(vector_size(pvec_v1) != 0)
    {
        printf("Last element: %d\n", *(int*)vector_back(pvec_v1));
    }

    vector_push_back(pvec_v1, 2);
    if(vector_size(pvec_v1) != 0)
    {
        printf("New last element: %d\n", *(int*)vector_back(pvec_v1));
    }

    vector_destroy(pvec_v1);

    return 0;
}
```

● Output

```
Last element: 1
New last element: 2
```

26. vector_reserve

设置 vector_t 在未重新分配内存时能够保存的数据的数量。

```
void vector_reserve(
    vector_t* pvec_vector,
    size_t t_size
);
```

● Parameters

pvec_vector: 指向 vector_t 类型的指针。
t_size: 在 vector_t 未重新分配内存时能够保存的数据的数量。

● Remarks

当新的数据数量大于当前数据数量时导致 vector_t 重新分配内存，当新的数据数量小于当前数据数量是当前数

量不变。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/cvector.h>

- **Example**

```
/*
 * vector_reserve.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    vector_push_back(pvec_v1, 1);
    printf("Current capacity of v1 = %d\n", vector_capacity(pvec_v1));
    vector_reserve(pvec_v1, 20);
    printf("Current capacity of v1 = %d\n", vector_capacity(pvec_v1));

    vector_destroy(pvec_v1);

    return 0;
}
```

- **Output**

```
Current capacity of v1 = 2
Current capacity of v1 = 20
```

27. vector_resize vector_resize_elem

重新设置 vector_t 中实际数据的数量。

```
void vector_resize(
    vector_t* pvec_vector,
    size_t t_resize
);
```

- **Parameters**

pvec_vector: 指向 vector_t 类型的指针。
t_resize: 新的数据的数量。

- **Remarks**

当新的数据数量大于当前数据数量时第一个函数使用默认数据填充，第二个函数使用指定数据填充，新数量大于 vector_capacity() 时导致内存重新分配。当新的数据数量小于当前数据数量是当前数量不变。

● Requirements

头文件 <cstdlib/cvector.h>

● Example

```
/*
 * vector_resize.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    vector_push_back(pvec_v1, 10);
    vector_push_back(pvec_v1, 20);
    vector_push_back(pvec_v1, 30);

    vector_resize_elem(pvec_v1, 4, 40);
    printf("The size of v1 is %d\n", vector_size(pvec_v1));
    printf("The value of the last object is %d\n", *(int*)vector_back(pvec_v1));

    vector_resize(pvec_v1, 5);
    printf("The size of v1 is now %d\n", vector_size(pvec_v1));
    printf("The value of the last object is now %d\n", *(int*)vector_back(pvec_v1));

    vector_destroy(pvec_v1);

    return 0;
}
```

● Output

```
The size of v1 is 4
The value of the last object is 40
The size of v1 is now 5
The value of the last object is now 0
```

28. vector_size

返回 vector_t 中数据的数量。

```
size_t vector_size(
    const vector_t* cpvec_vector
);
```

● Parameters

cpvec_vector: 指向 vector_t 类型的指针。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/cvector.h>

- **Example**

```
/*
 * vector_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    vector_push_back(pvec_v1, 1);
    printf("Vector length is %d.\n", vector_size(pvec_v1));

    vector_push_back(pvec_v1, 2);
    printf("Vector length is now %d.\n", vector_size(pvec_v1));

    vector_destroy(pvec_v1);

    return 0;
}
```

- **Output**

```
Vector length is 1.
Vector length is now 2.
```

29. vector_swap

交换两个 vector_t 中的内容。

```
void vector_swap(
    vector_t* pvec_first,
    vector_t* pvec_second
);
```

- **Parameters**

pvec_first: 指向第一个 vector_t 类型的指针。

pvec_second: 指向第二个 vector_t 类型的指针。

- **Remarks**

要求两个 vector_t 保存的数据类型相同，如果数据类型不同导致函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/cvector.h>

● Example

```
/*
 * vector_swap.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);

    vector_push_back(pvec_v1, 1);
    vector_push_back(pvec_v1, 2);
    vector_push_back(pvec_v1, 3);

    vector_push_back(pvec_v2, 10);
    vector_push_back(pvec_v2, 20);

    printf("The number of elements in v1 = %d\n", vector_size(pvec_v1));
    printf("The number of elements in v2 = %d\n", vector_size(pvec_v2));
    printf("\n");

    vector_swap(pvec_v1, pvec_v2);

    printf("The number of elements in v1 = %d\n", vector_size(pvec_v1));
    printf("The number of elements in v2 = %d\n", vector_size(pvec_v2));

    vector_destroy(pvec_v1);
    vector_destroy(pvec_v2);

    return 0;
}
```

● Output

```
The number of elements in v1 = 3
The number of elements in v2 = 2

The number of elements in v1 = 2
The number of elements in v2 = 3
```

第五节 集合 set_t

集合容器 `set_t` 是关联容器，`set_t` 中的数据按照键和指定的规则自动排序并且保证键是唯一的，`set_t` 中的键就是数据本身。`set_t` 中的数据不可以直接或者通过迭代器修改，因为这样会破坏 `set_t` 中数据的有序性，要想修改一个

数据只有先删除它然后插入新的数据。`set_t`支持双向迭代器。插入新数据是不会破坏原有的迭代器，删除数据是只有指向被删除的数据的迭代器失效。`set_t`对于数据的查找，插入和删除都是高效的。`set_t`中的数据根据指定的规则自动排序，默认的排序规则是使用数据的小于操作符，用户可以在初始化时指定自定义的排序规则。

● **Typedefs**

set_t	集合容器类型。
set_iterator_t	集合容器迭代器类型。

● **Operation Functions**

create_set	创建集合容器类型。
set_assign	为集合容器赋值。
set_begin	返回指向集合中第一个数据的迭代器。
set_clear	删除集合容器中的所有数据。
set_count	返回集合容器中包含指定数据的个数。
set_destroy	销毁集合容器。
set_empty	测试集合容器是否为空。
set_end	返回指向集合容器末尾位置的迭代器。
set_equal	测试两个集合容器是否相等。
set_equal_range	返回一个集合容器中包含指定数据的数据区间。
set_erase	删除集合容器中与指定数据相等的数据。
set_erase_pos	删除集合容器中指定位置的数据。
set_erase_range	删除集合容器中指定数据区间的数据。
set_find	在集合容器中查找指定的数据。
set_greater	测试第一个集合是否大于第二个集合。
set_greater_equal	测试第一个集合是否大于等于第二个集合。
set_init	初始化一个空的集合容器。
set_init_copy	使用一个集合容器的内容来初始化当前集合容器。
set_init_copy_range	使用指定的数据区间初始化集合容器。
set_init_copy_range_ex	使用指定的数据区间和指定的排序规则初始化集合容器。
set_init_ex	使用指定的排序规则初始化一个空的集合容器。
set_insert	向集合中插入一个数据。
set_insert_hint	向集合中插入一个数据同时给出位置提示。
set_insert_range	向集合中插入指定数据区间的数据。
set_key_comp	返回集合容器的键比较规则。
set_less	测试第一个集合容器是否小于第二个集合容器。
set_less_equal	测试第一个集合容器是否小于等于第二个集合容器。
set_lower_bound	返回集合中与指定数据相等的第一个数据的迭代器。
set_max_size	返回集合中能够保存的数据个数的最大可能值。
set_not_equal	测试两个集合是否不等。

set_size	返回集合中保存的数据的数量。
set_swap	交换两个集合的内容。
set_upper_bound	返回集合中大于指定数据的第一个数据的迭代器。
set_value_comp	获得集合中的数据比较规则。

1. set_t

集合容器类型。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/cset.h>

- **Example**

请参考 set_t 类型的其他操作函数。

2. set_iterator_t

set_t 类型的迭代器类型。

- **Remarks**

set_iterator_t 是双向迭代器类型，不能通过迭代器来修改容器中的数据。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/cset.h>

- **Example**

请参考 set_t 类型的其他操作函数。

3. create_set

创建 set_t 类型。

```
set_t* create_set(  
    type  
);
```

- **Parameters**

type: 数据类型描述。

- **Remarks**

函数成功返回指向 set_t 类型的指针，失败返回 NULL。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/cset.h>

- **Example**

请参考 set_t 类型的其他操作函数。

4. set_assign

使用 set_t 类型为当前的 set_t 赋值。

```
void set_assign(  
    set_t* pset_dest,  
    const set_t* cpset_src  
);
```

- **Parameters**

pset_dest: 指向被赋值的 set_t 类型的指针。

cpset_src: 指向赋值的 set_t 类型的指针。

- **Remarks**

要求两个 set_t 类型保存的数据具有相同的类型，否则函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cset.h>

- **Example**

```
/*  
 * set_assign.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cset.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    set_t* pset_s1 = create_set(int);  
    set_t* pset_s2 = create_set(int);  
    set_iterator_t it_s;  
  
    if(pset_s1 == NULL || pset_s2 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    set_init(pset_s1);  
    set_init(pset_s2);  
  
    set_insert(pset_s1, 10);  
    set_insert(pset_s1, 20);  
    set_insert(pset_s1, 30);  
    set_insert(pset_s2, 40);  
    set_insert(pset_s2, 50);  
    set_insert(pset_s2, 60);  
  
    printf("s1 =");  
    for(it_s = set_begin(pset_s1);  
        !iterator_equal(it_s, set_end(pset_s1));  
        it_s = iterator_next(it_s))  
    {  
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));  
    }  
    printf("\n");
```

```

    set_assign(pset_s1, pset_s2);
    printf("s1 =");
    for(it_s = set_begin(pset_s1);
        !iterator_equal(it_s, set_end(pset_s1));
        it_s = iterator_next(it_s))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
    }
    printf("\n");

    set_destroy(pset_s1);
    set_destroy(pset_s2);

    return 0;
}

```

● Output

```

s1 = 10 20 30
s1 = 40 50 60

```

5. set_begin

返回指向 set_t 第一个数据的迭代器。

```

set_iterator_t set_begin(
    const set_t* cpset_set
);

```

● Parameters

cpset_set: 指向 set_t 类型的指针。

● Remarks

如果 set_t 为空，这个函数的返回值和 set_end() 的返回值相等。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```

/*
 * set_begin.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    set_t* pset_s1 = create_set(int);

    if(pset_s1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    set_init(pset_s1);

```

```

    set_insert(pset_s1, 1);
    set_insert(pset_s1, 2);
    set_insert(pset_s1, 3);

    printf("The first element of s1 is %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(set_begin(pset_s1)));

    set_erase_pos(pset_s1, set_begin(pset_s1));
    printf("The first element of s1 is now %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(set_begin(pset_s1)));

    set_destroy(pset_s1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The first element of s1 is 1
The first element of s1 is now 2

```

6. set_clear

删除 set_t 中的所有数据。

```

void set_clear(
    set_t* pset_set
);

```

● Parameters

pset_set: 指向 set_t 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```

/*
 * set_clear.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    set_t* pset_s1 = create_set(int);

    if(pset_s1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    set_init(pset_s1);

    set_insert(pset_s1, 1);
    set_insert(pset_s1, 2);

```

```

    printf("The size of the set is initially %d.\n", set_size(pset_s1));

    set_clear(pset_s1);
    printf("The size of the set after clearing is %d.\n", set_size(pset_s1));

    set_destroy(pset_s1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The size of the set is initially 2.
The size of the set after clearing is 0.

```

7. set_count

返回容器中包含指定数据的个数。

```

size_t _set_count(
    const set_t* cpset_set,
    element
);

```

● Parameters

cpset_set: 指向 `set_t` 类型的指针。
element: 指定的数据。

● Remarks

如果容器中不包含指定数据则返回 0，包含则返回指定数据的个数，集合中返回的都是 1。

● Requirements

头文件 `<cstl/cset.h>`

● Example

```

/*
 * set_count.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    set_t* pset_s1 = create_set(int);

    if(pset_s1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    set_init(pset_s1);

    set_insert(pset_s1, 1);
    set_insert(pset_s1, 1);
}

```

```

    /* Keys must be unique in set, so duplicates are ignored */
    printf("The number of elements in s1 with a sort key of 1 is: %d.\n",
        set_count(pset_s1, 1));
    printf("The number of elements in s1 with a sort key of 2 is: %d.\n",
        set_count(pset_s1, 2));

    set_destroy(pset_s1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The number of elements in s1 with a sort key of 1 is: 1.
The number of elements in s1 with a sort key of 2 is: 0.

```

8. set_destroy

销毁 set_t 容器。

```

void set_destroy(
    set_t* pset_set
);

```

● Parameters

pset_set: 指向 set_t 类型的指针。

● Remarks

set_t 容器使用之后要销毁，否则 set_t 占用的资源不会被释放。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

请参考 set_t 类型的其他操作函数。

9. set_empty

测试 set_t 容器是否为空。

```

bool_t set_empty(
    const set_t* cpset_set
);

```

● Parameters

cpset_set: 指向 set_t 类型的指针。

● Remarks

set_t 容器为空则返回 true，否则返回 false。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```

/*
 * set_empty.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    set_t* pset_s1 = create_set(int);
    set_t* pset_s2 = create_set(int);

    if(pset_s1 == NULL || pset_s2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    set_init(pset_s1);
    set_init(pset_s2);

    set_insert(pset_s1, 1);

    if(set_empty(pset_s1))
    {
        printf("The set s1 is empty.\n");
    }
    else
    {
        printf("The set s1 is not empty.\n");
    }

    if(set_empty(pset_s2))
    {
        printf("The set s2 is empty.\n");
    }
    else
    {
        printf("The set s2 is not empty.\n");
    }

    set_destroy(pset_s1);
    set_destroy(pset_s2);

    return 0;
}

```

● Output

```

The set s1 is not empty.
The set s2 is empty.

```

10. set_end

返回指向 set_t 末尾位置的迭代器。

```

set_iterator_t set_end(
    const set_t* cpset_set
);

```

- **Parameters**

cpset_set: 指向 set_t 类型的指针。

- **Remarks**

如果 set_t 为空，这个函数的返回值和 set_begin() 的返回值相等。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cset.h>

- **Example**

```
/*
 * set_end.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    set_t* pset_s1 = create_set(int);
    set_iterator_t it_s;

    if(pset_s1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    set_init(pset_s1);

    set_insert(pset_s1, 1);
    set_insert(pset_s1, 2);
    set_insert(pset_s1, 3);

    it_s = set_end(pset_s1);
    it_s = iterator_prev(it_s);
    printf("The last element of s1 is %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_s));

    set_erase_pos(pset_s1, it_s);

    it_s = set_end(pset_s1);
    it_s = iterator_prev(it_s);
    printf("The last element of s1 is now %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_s));

    set_destroy(pset_s1);

    return 0;
}
```

- **Output**

```
The last element of s1 is 3
The last element of s1 is now 2
```


11. set_equal

测试两个 set_t 是否相等。

```
bool_t set_equal(  
    const set_t* cpset_first,  
    const set_t* cpset_second  
);
```

- **Parameters**

cpset_first: 指向第一个 set_t 类型的指针。

cpset_second: 指向第二个 set_t 类型的指针。

- **Remarks**

两个 set_t 中的数据对应相等，并且数量相等，函数返回 true，否则返回 false。如果两个 set_t 中的数据类型不同也认为不等。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cset.h>

- **Example**

```
/*  
 * set_equal.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cset.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    set_t* pset_s1 = create_set(int);  
    set_t* pset_s2 = create_set(int);  
    set_t* pset_s3 = create_set(int);  
    int i = 0;  
  
    if(pset_s1 == NULL || pset_s2 == NULL || pset_s3 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    set_init(pset_s1);  
    set_init(pset_s2);  
    set_init(pset_s3);  
  
    for(i = 0; i < 3; ++i)  
    {  
        set_insert(pset_s1, i);  
        set_insert(pset_s2, i * i);  
        set_insert(pset_s3, i);  
    }  
  
    if(set_equal(pset_s1, pset_s2))  
    {  
        printf("The sets s1 and s2 are equal.\n");  
    }  
    else  
    {
```

```

        printf("The sets s1 and s2 are not equal.\n");
    }

    if(set_equal(pset_s1, pset_s3))
    {
        printf("The sets s1 and s3 are equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The sets s1 and s3 are not equal.\n");
    }

    set_destroy(pset_s1);
    set_destroy(pset_s2);
    set_destroy(pset_s3);

    return 0;
}

```

● Output

```

The sets s1 and s2 are not equal.
The sets s1 and s3 are equal.

```

12. set_equal_range

返回 set_t 中包含指定数据的数据区间。

```

range_t set_equal_range(
    const set_t* cpset_set,
    element
);

```

● Parameters

cpset_set: 指向 set_t 类型的指针。
element: 指定的数据。

● Remarks

返回 set_t 中包含指定数据的数据区间[range_t.it_begin, range_t.it_end)，其中 it_begin 是指向等于指定数据的第一个数据的迭代器，it_end 指向的是大于指定数据的第一个数据的迭代器。如果 set_t 中不包含指定数据则 it_begin 与 it_end 相等。如果指定的数据是 set_t 中最大的数据则 it_end 等于 set_end()。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```

/*
 * set_equal_range.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{

```

```

set_t* pset_s1 = create_set(int);
set_iterator_t it_s;
range_t r_r1;

if(pset_s1 == NULL)
{
    return -1;
}

set_init(pset_s1);

set_insert(pset_s1, 10);
set_insert(pset_s1, 20);
set_insert(pset_s1, 30);

r_r1 = set_equal_range(pset_s1, 20);

printf("The upper bound of the element with a key of 20 in the set s1 is:
%d.\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(r_r1.it_end));
printf("The lower bound of the element with a key of 20 in the set s1 is:
%d.\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(r_r1.it_begin));

/* Compare the upper_bound called directly */
it_s = set_upper_bound(pset_s1, 20);
printf("A direct call of upper_bound(20), gives %d.\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
printf("matching the 2nd element of the range returned by equal_range(20).\n");

r_r1 = set_equal_range(pset_s1, 40);
/* If no match is found for the key. both elements of the range return end() */
if(iterator_equal(r_r1.it_begin, set_end(pset_s1)) &&
    iterator_equal(r_r1.it_end, set_end(pset_s1)))
{
    printf("The set s1 doesn't have and element with a key less than 40.\n");
}
else
{
    printf("The element of set s1 with a key >= 40 is: %d.\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(r_r1.it_begin));
}

set_destroy(pset_s1);

return 0;
}

```

● Output

The upper bound of the element with a key of 20 in the set s1 is: 30.
 The lower bound of the element with a key of 20 in the set s1 is: 20.
 A direct call of upper_bound(20), gives 30,
 matching the 2nd element of the range returned by equal_range(20).
 The set s1 doesn't have and element with a key less than 40.

13. set_erase set_erase_pos set_erase_range

删除 set_t 中指定的数据。

```

size_t set_erase(
    set_t* pset_set,
    element
);

void set_erase_pos(
    set_t* pset_set,
    set_iterator_t it_pos
);

void set_erase_range(
    set_t* pset_set,
    set_iterator_t it_begin,
    set_iterator_t it_end
);

```

● Parameters

pset_set: 指向 set_t 类型的指针。
element: 要删除的数据。
it_pos: 要删除的数据的位置迭代器。
it_begin: 要删除的数据区间的开始位置。
it_end: 要删除的数据区间的末尾位置。

● Remarks

第一个函数删除 set_t 中指定的数据，并返回删除的个数，如果 set_t 中不包含指定的数据就返回 0。
 第二个函数删除指定位置的数据。
 第三个函数删除指定数据区间中的数据。
 后面两个函数要求迭代器和数据区间是有效的，无效的迭代器或数据区间导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```

/*
 * set_erase.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    set_t* pset_s1 = create_set(int);
    set_t* pset_s2 = create_set(int);
    set_t* pset_s3 = create_set(int);
    set_iterator_t it_s;
    size_t t_count = 0;
    int i = 0;

    if(pset_s1 == NULL || pset_s2 == NULL || pset_s3 == NULL)
    {
        return -1;
    }
}

```

```

set_init(pset_s1);
set_init(pset_s2);
set_init(pset_s3);

for(i = 1; i < 5; ++i)
{
    set_insert(pset_s1, i);
    set_insert(pset_s2, i * i);
    set_insert(pset_s3, i - 1);
}

/* The first function remove an element at a given position */
set_erase_pos(pset_s1, iterator_next(set_begin(pset_s1)));
printf("After the second element is deleted, the set s1 is:");
for(it_s = set_begin(pset_s1);
    !iterator_equal(it_s, set_end(pset_s1));
    it_s = iterator_next(it_s))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
printf("\n");

/* The second function removes elements in the range [first, last) */
set_erase_range(pset_s2, iterator_next(set_begin(pset_s2)),
    iterator_prev(set_end(pset_s2)));
printf("After the middlet two elements are deleted, the set s2 is:");
for(it_s = set_begin(pset_s2);
    !iterator_equal(it_s, set_end(pset_s2));
    it_s = iterator_next(it_s))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
printf("\n");

/* the third function removes elements with a given key */
t_count = set_erase(pset_s3, 2);
printf("After the element with a key of 2 is deleted the set s3 is:");
for(it_s = set_begin(pset_s3);
    !iterator_equal(it_s, set_end(pset_s3));
    it_s = iterator_next(it_s))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
printf("\n");

/* the third function returns the number of elements removed */
printf("The number of elements removed from s3 is: %d.\n", t_count);

set_destroy(pset_s1);
set_destroy(pset_s2);
set_destroy(pset_s3);

return 0;
}

```

● Output

```

After the second element is deleted, the set s1 is: 1 3 4
After the middlet two elements are deleted, the set s2 is: 1 16
After the element with a key of 2 is deleted the set s3 is: 0 1 3

```

The number of elements removed from s3 is: 1.

14. set_find

在 set_t 中查找指定的数据。

```
set_iterator_t set_find(  
    const set_t* cpset_set,  
    element  
);
```

- **Parameters**

cpset_set: 指向 set_t 类型的指针。

element: 指定的数据。

- **Remarks**

如果 set_t 中包含指定的数据则返回指向该数据的迭代器，否则返回 set_end()。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cset.h>

- **Example**

```
/*  
 * set_find.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cset.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    set_t* pset_s1 = create_set(int);  
    set_iterator_t it_s;  
  
    if(pset_s1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    set_init(pset_s1);  
  
    set_insert(pset_s1, 10);  
    set_insert(pset_s1, 20);  
    set_insert(pset_s1, 30);  
  
    it_s = set_find(pset_s1, 20);  
    printf("The element of set s1 with a key of 20 is: %d.\n",  
        *(int*)iterator_get_pointer(it_s));  
  
    it_s = set_find(pset_s1, 40);  
    /* If no match is found for the key, end() is returned */  
    if(iterator_equal(it_s, set_end(pset_s1)))  
    {  
        printf("The set s1 doesn't have an element with a key of 40.\n");  
    }  
    else
```

```

{
    printf("The element of set s1 with a key of 40 is: %d.\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}

/*
 * The element at specific location in the set can be found
 * by using a dereferenced iterator addressing the location.
 */
it_s = set_end(pset_s1);
it_s = iterator_prev(it_s);
it_s = set_find(pset_s1, *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
printf("The element of s1 with a key matching that"
    " of the last element is: %d.\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(it_s));

set_destroy(pset_s1);

return 0;
}

```

● Output

```

The element of set s1 with a key of 20 is: 20.
The set s1 doesn't have an element with a key of 40.
The element of s1 with a key matching that of the last element is: 30.

```

15. set_greater

测试第一个 set_t 容器是否大于第二个 set_t 容器。

```

bool_t set_greater(
    const set_t* cpset_first,
    const set_t* cpset_second
);

```

● Parameters

cpset_first: 指向第一个 set_t 类型的指针。

cpset_second: 指向第二个 set_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 set_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```

/*
 * set_greater.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{

```

```

set_t* pset_s1 = create_set(int);
set_t* pset_s2 = create_set(int);
set_t* pset_s3 = create_set(int);
int i = 0;

if(pset_s1 == NULL || pset_s2 == NULL || pset_s3 == NULL)
{
    return -1;
}

set_init(pset_s1);
set_init(pset_s2);
set_init(pset_s3);

for(i = 0; i < 3; ++i)
{
    set_insert(pset_s1, i);
    set_insert(pset_s2, i * i);
    set_insert(pset_s3, i - 1);
}

if(set_greater(pset_s1, pset_s2))
{
    printf("The set s1 is greater than the set s2.\n");
}
else
{
    printf("The set s1 is not greater than the set s2.\n");
}

if(set_greater(pset_s1, pset_s3))
{
    printf("The set s1 is greater than the set s3.\n");
}
else
{
    printf("The set s1 is not greater than the set s3.\n");
}

set_destroy(pset_s1);
set_destroy(pset_s2);
set_destroy(pset_s3);

return 0;
}

```

● Output

```

The set s1 is not greater than the set s2.
The set s1 is greater than the set s3.

```

16. set_greater_equal

测试第一个 set_t 是否大于等于第二个 set_t。

```

bool_t set_greater_equal(
    const set_t* cpset_first,
    const set_t* cpset_second
);

```


- **Parameters**

cpset_first: 指向第一个 set_t 类型的指针。

cpset_second: 指向第二个 set_t 类型的指针。

- **Remarks**

这个函数要求两个 set_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cset.h>

- **Example**

```
/*
 * set_greater_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    set_t* pset_s1 = create_set(int);
    set_t* pset_s2 = create_set(int);
    set_t* pset_s3 = create_set(int);
    set_t* pset_s4 = create_set(int);
    int i = 0;

    if(pset_s1 == NULL || pset_s2 == NULL ||
       pset_s3 == NULL || pset_s4 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    set_init(pset_s1);
    set_init(pset_s2);
    set_init(pset_s3);
    set_init(pset_s4);

    for(i = 0; i < 3; ++i)
    {
        set_insert(pset_s1, i);
        set_insert(pset_s2, i * i);
        set_insert(pset_s3, i - 1);
        set_insert(pset_s4, i);
    }

    if(set_greater_equal(pset_s1, pset_s2))
    {
        printf("The set s1 is greater than or equal to the set s2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The set s1 is less than the set s2.\n");
    }

    if(set_greater_equal(pset_s1, pset_s3))
    {

```

```

        printf("The set s1 is greater than or equal to the set s3.\n");
    }
    else
    {
        printf("The set s1 is less than the set s3.\n");
    }

    if(set_greater_equal(pset_s1, pset_s4))
    {
        printf("The set s1 is greater than or equal to the set s4.\n");
    }
    else
    {
        printf("The set s1 is less than the set s4.\n");
    }

    set_destroy(pset_s1);
    set_destroy(pset_s2);
    set_destroy(pset_s3);
    set_destroy(pset_s4);

    return 0;
}

```

● Output

```

The set s1 is less than the set s2.
The set s1 is greater than or equal to the set s3.
The set s1 is greater than or equal to the set s4.

```

17. set_init set_init_copy set_init_copy_range set_init_copy_range_ex set_init_ex

初始化 set_t 类型。

```

void set_init(
    set_t* pset_set
);

void set_init_copy(
    set_t* pset_set,
    const set_t* cpset_src
);

void set_init_copy_range(
    set_t* pset_set,
    set_iterator_t it_begin,
    set_iterator_t it_end
);

void set_init_copy_range_ex(
    set_t* pset_set,
    set_iterator_t it_begin,
    set_iterator_t it_end,
    binary_function_t bfun_compare
);

void set_init_ex(

```

```
set_t* pset_set,  
binary_function_t bfun_compare  
);
```

● Parameters

pset_set: 指向被初始化 set_t 类型的指针。
cpset_src: 指向用于初始化的 set_t 类型的指针。
it_begin: 用于初始化的数据区间的开始位置。
it_end: 用于初始化的数据区间的末尾位置。
bfun_compare: 自定义排序规则。

● Remarks

第一个函数初始化一个空的 set_t，使用与数据类型相关的小于操作函数作为默认的排序规则。
第二个函数使用一个源 set_t 来初始化 set_t，数据的内容和排序规则都从源 set_t 复制。
第三个函数使用指定的数据区间初始化一个 set_t，使用与数据类型相关的小于操作函数作为默认的排序规则。
第四个函数使用指定的数据区间初始化一个 set_t，使用用户指定的排序规则。
第五个函数初始化一个空的 set_t，使用用户指定的排序规则。
上面的函数要求迭代器和数据区间是有效的，无效的迭代器或数据区间导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```
/*  
 * slist_init.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cslist.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    slist_t* pslist_10 = create_slist(int);  
    slist_t* pslist_11 = create_slist(int);  
    slist_t* pslist_12 = create_slist(int);  
    slist_t* pslist_13 = create_slist(int);  
    slist_t* pslist_14 = create_slist(int);  
    slist_iterator_t it_1;  
  
    if(pslist_10 == NULL || pslist_11 == NULL ||  
       pslist_12 == NULL || pslist_13 == NULL ||  
       pslist_14 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    /* Create an empty slist 10 */  
    slist_init(pslist_10);  
  
    /* Create a slist 11 with 3 elements of default value 0 */  
    slist_init_n(pslist_11, 3);  
  
    /* Create a slist 12 with 5 elements of value 2 */  
    slist_init_elem(pslist_12, 5, 2);
```

```

/* Create a copy, slist 13, of slist 13 */
slist_init_copy(pslist_13, pslist_12);

/* Create a slist 14 by copying the range 13[first, last) */
slist_init_copy_range(pslist_14,
    iterator_advance(slist_begin(pslist_13), 3),
    slist_end(pslist_13));

printf("l1 =");
for(it_1 = slist_begin(pslist_11);
    !iterator_equal(it_1, slist_end(pslist_11));
    it_1 = iterator_next(it_1))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

printf("l2 =");
for(it_1 = slist_begin(pslist_12);
    !iterator_equal(it_1, slist_end(pslist_12));
    it_1 = iterator_next(it_1))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

printf("l3 =");
for(it_1 = slist_begin(pslist_13);
    !iterator_equal(it_1, slist_end(pslist_13));
    it_1 = iterator_next(it_1))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

printf("l4 =");
for(it_1 = slist_begin(pslist_14);
    !iterator_equal(it_1, slist_end(pslist_14));
    it_1 = iterator_next(it_1))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

slist_destroy(pslist_10);
slist_destroy(pslist_11);
slist_destroy(pslist_12);
slist_destroy(pslist_13);
slist_destroy(pslist_14);

return 0;
}

```

● Output

```

s1 = 10 20 30 40
s2 = 20 10
s3 = 10 20 30 40
s4 = 10 20
s5 = 10

```

18. set_insert set_insert_hint set_insert_range

向 set_t 中插入数据。

```
set_iterator_t set_insert(  
    set_t* pset_set,  
    element  
);  
  
set_iterator_t set_insert_hint(  
    set_t* pset_set,  
    set_iterator_t it_hint,  
    element  
);  
  
void set_insert_range(  
    set_t* pset_set,  
    set_iterator_t it_begin,  
    set_iterator_t it_end  
);
```

● Parameters

pset_set: 指向 set_t 类型的指针。
element: 插入的数据。
it_hint: 被插入数据的提示位置。
it_begin: 被插入的数据区间的开始位置。
it_end: 被插入的数据区间的末尾位置。

● Remarks

第一个函数向 set_t 中插入一个指定的数据，成功后返回指向该数据的迭代器，如果 set_t 中包含了该数据那么插入失败，返回 set_end()。

第二个函数向 set_t 中插入一个指定的数据，同时给出一个该数据被插入后的提示位置迭代器，如果这个位置符合 set_t 的排序规则就把这个数据放在提示位置中成功后返回指向该数据的迭代器，如果提示位置不正确则忽略提示位置，当数据插入成功后返回数据的实际位置迭代器，如果 set_t 中包含了该数据那么插入失败，返回 set_end()。

第三个函数插入指定的数据区间。

上面的函数要求迭代器和数据区间是有效的，无效的迭代器或数据区间导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```
/*  
 * set_insert.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cset.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    set_t* pset_s1 = create_set(int);  
    set_t* pset_s2 = create_set(int);
```

```

set_iterator_t it_s;

if(pset_s1 == NULL || pset_s2 == NULL)
{
    return -1;
}

set_init(pset_s1);
set_init(pset_s2);

set_insert(pset_s1, 10);
set_insert(pset_s1, 20);
set_insert(pset_s1, 30);
set_insert(pset_s1, 40);

printf("The original s1 =");
for(it_s = set_begin(pset_s1);
    !iterator_equal(it_s, set_end(pset_s1));
    it_s = iterator_next(it_s))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
printf("\n");

it_s = set_insert(pset_s1, 10);
if(iterator_equal(it_s, set_end(pset_s1)))
{
    printf("The element 10 already exists in s1.\n");
}
else
{
    printf("The element 10 was inserted in s1 successfully.\n");
}

set_insert_hint(pset_s1, iterator_prev(set_end(pset_s1)), 50);
printf("After the insertions, s1 =");
for(it_s = set_begin(pset_s1);
    !iterator_equal(it_s, set_end(pset_s1));
    it_s = iterator_next(it_s))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
printf("\n");

set_insert(pset_s2, 100);
set_insert_range(pset_s2, iterator_next(set_begin(pset_s1)),
    iterator_prev(set_end(pset_s1)));
printf("s2 =");
for(it_s = set_begin(pset_s2);
    !iterator_equal(it_s, set_end(pset_s2));
    it_s = iterator_next(it_s))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
printf("\n");

set_destroy(pset_s1);
set_destroy(pset_s2);

return 0;

```

```
}
```

● Output

```
The original s1 = 10 20 30 40
The element 10 already exists in s1.
After the insertions, s1 = 10 20 30 40 50
s2 = 20 30 40 100
```

19. set_key_comp

返回 set_t 的键比较规则。

```
binary_function_t set_key_comp(
    const set_t* cpset_set
);
```

● Parameters

cpset_set: 指向 set_t 类型的指针。

● Remarks

由于 set_t 中数据本身就是键，所以这个函数的返回值与 set_value_comp() 相同。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```
/*
 * set_key_comp.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    set_t* pset_s1 = create_set(int);
    set_t* pset_s2 = create_set(int);
    binary_function_t bfun_k1 = NULL;
    bool_t b_result = false;
    int n_element1 = 0;
    int n_element2 = 0;

    if(pset_s1 == NULL || pset_s2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    set_init(pset_s1);

    bfun_k1 = set_key_comp(pset_s1);
    n_element1 = 2;
    n_element2 = 3;
    (*bfun_k1)(&n_element1, &n_element2, &b_result);
    if(b_result)
```

```

{
    printf("(bfun_k1)(2, 3) return value of true, "
           "where bfun_k1 is the function of s1.\n");
}
else
{
    printf("(bfun_k1)(2, 3) return value of false, "
           "where bfun_k1 is the function of s1.\n");
}

set_destroy(pset_s1);

set_init_ex(pset_s2, fun_greater_int);

bfun_k1 = set_key_comp(pset_s2);
(*bfun_k1)(&n_element1, &n_element2, &b_result);
if(b_result)
{
    printf("(bfun_k1)(2, 3) return value of true, "
           "where bfun_k1 is the function of s2.\n");
}
else
{
    printf("(bfun_k1)(2, 3) return value of false, "
           "where bfun_k1 is the function of s2.\n");
}

set_destroy(pset_s2);

return 0;
}

```

● Output

```

(*bfun_k1)(2, 3) return value of true, where bfun_k1 is the function of s1.
(*bfun_k1)(2, 3) return value of false, where bfun_k1 is the function of s2.

```

20. set_less

测试第一个 set_t 是否小于第二个 set_t。

```

bool_t set_less(
    const set_t* cpset_first,
    const set_t* cpset_second
);

```

● Parameters

cpset_first: 指向第一个 set_t 类型的指针。

cpset_second: 指向第二个 set_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 set_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example


```

/*
 * set_less.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    set_t* pset_s1 = create_set(int);
    set_t* pset_s2 = create_set(int);
    set_t* pset_s3 = create_set(int);
    int i = 0;

    if(pset_s1 == NULL || pset_s2 == NULL || pset_s3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    set_init(pset_s1);
    set_init(pset_s2);
    set_init(pset_s3);

    for(i = 0; i < 3; ++i)
    {
        set_insert(pset_s1, i);
        set_insert(pset_s2, i * i);
        set_insert(pset_s3, i - 1);
    }

    if(set_less(pset_s1, pset_s2))
    {
        printf("The set s1 is less than the set s2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The set s1 is not less than the set s2.\n");
    }

    if(set_less(pset_s1, pset_s3))
    {
        printf("The set s1 is less than the set s3.\n");
    }
    else
    {
        printf("The set s1 is not less than the set s3.\n");
    }

    set_destroy(pset_s1);
    set_destroy(pset_s2);
    set_destroy(pset_s3);

    return 0;
}

```

● Output

```

The set s1 is less than the set s2.
The set s1 is not less than the set s3.

```

21. set_less_equal

测试第一个 set_t 是否小于等于第二个 set_t。

```
bool_t set_less_equal(  
    const set_t* cpset_first,  
    const set_t* cpset_second  
);
```

- **Parameters**

cpset_first: 指向第一个 set_t 类型的指针。

cpset_second: 指向第二个 set_t 类型的指针。

- **Remarks**

这个函数要求两个 set_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cset.h>

- **Example**

```
/*  
 * set_less_equal.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cset.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    set_t* pset_s1 = create_set(int);  
    set_t* pset_s2 = create_set(int);  
    set_t* pset_s3 = create_set(int);  
    set_t* pset_s4 = create_set(int);  
    int i = 0;  
  
    if(pset_s1 == NULL || pset_s2 == NULL || pset_s3 == NULL || pset_s4 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    set_init(pset_s1);  
    set_init(pset_s2);  
    set_init(pset_s3);  
    set_init(pset_s4);  
  
    for(i = 0; i < 3; ++i)  
    {  
        set_insert(pset_s1, i);  
        set_insert(pset_s2, i * i);  
        set_insert(pset_s3, i - 1);  
        set_insert(pset_s4, i);  
    }  
  
    if(set_less_equal(pset_s1, pset_s2))  
    {
```

```

        printf("The set s1 is less than or equal to the set s2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The set s1 is greater than the set s2.\n");
    }

    if(set_less_equal(pset_s1, pset_s3))
    {
        printf("The set s1 is less than or equal to the set s3.\n");
    }
    else
    {
        printf("The set s1 is greater than the set s3.\n");
    }

    if(set_less_equal(pset_s1, pset_s4))
    {
        printf("The set s1 is less than or equal to the set s4.\n");
    }
    else
    {
        printf("The set s1 is greater than the set s4.\n");
    }

    set_destroy(pset_s1);
    set_destroy(pset_s2);
    set_destroy(pset_s3);
    set_destroy(pset_s4);

    return 0;
}

```

● Output

```

The set s1 is less than or equal to the set s2.
The set s1 is greater than the set s3.
The set s1 is less than or equal to the set s4.

```

22. set_lower_bound

获得 set_t 中等于或者大于指定数据的第一个数据的迭代器。

```

set_iterator_t set_lower_bound(
    const set_t* cpset_set,
    element
);

```

● Parameters

cpset_set: 指向 set_t 类型的指针。
element: 指定的数据。

● Remarks

如果 set_t 中包含指定的数据则返回等于指定数据的第一个数据的迭代器，如果 set_t 中不包含指定的数据则返回大于指定数据的第一个数据的迭代器，如果指定的数据是 set_t 中最大的数据则返回值等于 set_end()。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```
/*
 * set_lower_bound.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    set_t* pset_s1 = create_set(int);
    set_iterator_t it_s;

    if(pset_s1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    set_init(pset_s1);

    set_insert(pset_s1, 10);
    set_insert(pset_s1, 20);
    set_insert(pset_s1, 30);

    it_s = set_lower_bound(pset_s1, 20);
    printf("The element of set s1 with a key of 20 is: %d.\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_s));

    it_s = set_lower_bound(pset_s1, 40);
    /* If no match is found for the key, end() is returned */
    if(iterator_equal(it_s, set_end(pset_s1)))
    {
        printf("The set s1 doesn't have an element with a key of 40.\n");
    }
    else
    {
        printf("The element of set s1 with a key of 40 is: %d.\n",
            *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
    }

    /*
     * The element at a specific location in the set can be found
     * by using a dereferenced iterator that addresses the location.
     */
    it_s = set_end(pset_s1);
    it_s = iterator_prev(it_s);
    it_s = set_lower_bound(pset_s1, *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
    printf("The element of s1 with a key matching "
        "that of the last element is: %d.\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_s));

    set_destroy(pset_s1);

    return 0;
}
```

● Output

```
The element of set s1 with a key of 20 is: 20.  
The set s1 doesn't have an element with a key of 40.  
The element of s1 with a key matching that of the last element is: 30.
```

23. set_max_size

返回 set_t 中能够保存的数据个数的最大可能值。

```
size_t set_max_size(  
    const set_t* cpset_set  
);
```

● Parameters

cpset_set: 指向 set_t 类型的指针。

● Remarks

这是一个与系统有关的常数。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```
/*  
 * set_max_size.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cset.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    set_t* pset_s1 = create_set(int);  
  
    if(pset_s1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    set_init(pset_s1);  
  
    printf("The maximum possible length of the set is %d.\n",  
        set_max_size(pset_s1));  
  
    set_destroy(pset_s1);  
  
    return 0;  
}
```

● Output

```
The maximum possible length of the set is 1073741823.
```

24. set_not_equal

测试两个 set_t 是否不等。

```
bool_t set_not_equal(  
    const set_t* cpset_first,  
    const set_t* cpset_second  
);
```

- **Parameters**

cpset_first: 指向第一个 set_t 类型的指针。

cpset_second: 指向第二个 set_t 类型的指针。

- **Remarks**

两个 set_t 中的数据对应相等，并且数量相等，函数返回 false，否则返回 true。如果两个 set_t 中的数据类型不同也认为不等。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cset.h>

- **Example**

```
/*  
 * set_not_equal.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cset.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    set_t* pset_s1 = create_set(int);  
    set_t* pset_s2 = create_set(int);  
    set_t* pset_s3 = create_set(int);  
    int i = 0;  
  
    if(pset_s1 == NULL || pset_s2 == NULL || pset_s3 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    set_init(pset_s1);  
    set_init(pset_s2);  
    set_init(pset_s3);  
  
    for(i = 0; i < 3; ++i)  
    {  
        set_insert(pset_s1, i);  
        set_insert(pset_s2, i * i);  
        set_insert(pset_s3, i);  
    }  
  
    if(set_not_equal(pset_s1, pset_s2))  
    {  
        printf("The sets s1 and s2 are not equal.\n");  
    }  
    else  
    {  

```

```

        printf("The sets s1 and s2 are equal.\n");
    }

    if(set_not_equal(pset_s1, pset_s3))
    {
        printf("The sets s1 and s3 are not equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The sets s1 and s3 are equal.\n");
    }

    set_destroy(pset_s1);
    set_destroy(pset_s2);
    set_destroy(pset_s3);

    return 0;
}

```

● Output

```

The sets s1 and s2 are not equal.
The sets s1 and s3 are equal.

```

25. set_size

返回 set_t 中保存的数据的数量。

```

size_t set_size(
    const set_t* cpset_set
);

```

● Parameters

cpset_set: 指向 set_t 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```

/*
 * set_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    set_t* pset_s1 = create_set(int);

    if(pset_s1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    set_init(pset_s1);

```

```

    set_insert(pset_s1, 1);
    printf("The set length is %d.\n", set_size(pset_s1));

    set_insert(pset_s1, 2);
    printf("The set length is now %d.\n", set_size(pset_s1));

    set_destroy(pset_s1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The set length is 1.
The set length is now 2.

```

26. set_swap

交换两个 set_t 中的内容。

```

void set_swap(
    set_t* pset_first,
    set_t* pset_second
);

```

● Parameters

pset_first: 指向第一个 set_t 类型的指针。
pset_second: 指向第二个 set_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 set_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```

/*
 * set_swap.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    set_t* pset_s1 = create_set(int);
    set_t* pset_s2 = create_set(int);
    set_iterator_t it_s;

    if(pset_s1 == NULL || pset_s2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    set_init(pset_s1);
    set_init(pset_s2);

```



```

set_insert(pset_s1, 10);
set_insert(pset_s1, 20);
set_insert(pset_s1, 30);
set_insert(pset_s2, 100);
set_insert(pset_s2, 200);

printf("The original set s1 is:");
for(it_s = set_begin(pset_s1);
    !iterator_equal(it_s, set_end(pset_s1));
    it_s = iterator_next(it_s))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
printf("\n");

set_swap(pset_s1, pset_s2);
printf("After swapping with s2, set s1 is:");
for(it_s = set_begin(pset_s1);
    !iterator_equal(it_s, set_end(pset_s1));
    it_s = iterator_next(it_s))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
printf("\n");

set_destroy(pset_s1);
set_destroy(pset_s2);

return 0;
}

```

● Output

```

The original set s1 is: 10 20 30
After swapping with s2, set s1 is: 100 200

```

27. set_upper_bound

返回 set_t 中大于指定数据的第一个数据的迭代器。

```

set_iterator_t set_upper_bound(
    const set_t* cpset_set,
    element
);

```

● Parameters

cpset_set: 指向 set_t 类型的指针。
element: 指定的数据。

● Remarks

如果指定的数据是 set_t 中最大的数据则返回值等于 set_end()。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```

/*
 * set_upper_bound.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    set_t* pset_s1 = create_set(int);
    set_iterator_t it_s;

    if(pset_s1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    set_init(pset_s1);

    set_insert(pset_s1, 10);
    set_insert(pset_s1, 20);
    set_insert(pset_s1, 30);

    it_s = set_upper_bound(pset_s1, 20);
    printf("The first element of set s1 with a key greater than 20 is: %d.\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_s));

    it_s = set_upper_bound(pset_s1, 30);
    /* If no match is found for the key, end() is returned */
    if(iterator_equal(it_s, set_end(pset_s1)))
    {
        printf("The set s1 doesn't have an element with a key greater than 30.\n");
    }
    else
    {
        printf("the element of set s1 with a key > 30 is: %d.\n",
            *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
    }

    /*
     * The element at a specific location in the set can be found
     * by using a dereferenced iterator addressing the location.
     */
    it_s = set_begin(pset_s1);
    it_s = set_upper_bound(pset_s1, *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
    printf("The first element of s1 with a key greater than that "
        "of the initial element of s1 is: %d.\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_s));

    set_destroy(pset_s1);

    return 0;
}

```

● Output

The first element of set s1 with a key greater than 20 is: 30.

The set s1 doesn't have an element with a key greater than 30.

The first element of s1 with a key greater than that of the initial element of s1

is: 20.

28. set_value_comp

返回 set_t 中数据的比较规则。

```
binary_function_t set_value_comp(  
    const set_t* cpset_set  
);
```

- **Parameters**

cpset_set: 指向 set_t 类型的指针。

- **Remarks**

由于 set_t 中数据本身就是键，所以这个函数的返回值与 set_key_comp() 相同。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cset.h>

- **Example**

```
/*  
 * set_value_comp.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cset.h>  
#include <cstl/cfunctional.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    set_t* pset_s1 = create_set(int);  
    set_t* pset_s2 = create_set(int);  
    binary_function_t bfun_v1 = NULL;  
    int n_element1 = 0;  
    int n_element2 = 0;  
    bool_t b_result = false;  
  
    if(pset_s1 == NULL || pset_s2 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    set_init(pset_s1);  
  
    bfun_v1 = set_value_comp(pset_s1);  
    n_element1 = 2;  
    n_element2 = 3;  
    (*bfun_v1)(&n_element1, &n_element2, &b_result);  
    if(b_result)  
    {  
        printf("(bfun_v1)(2, 3) returns value of true, "  
               "where bfun_v1 is the function of s1.\n");  
    }  
    else  
    {  
        printf("(bfun_v1)(2, 3) returns value of false, "
```

```

        "where bfun_v1 is the function of s1.\n");
    }

    set_destroy(pset_s1);

    set_init_ex(pset_s2, fun_greater_int);

    bfun_v1 = set_value_comp(pset_s2);
    (*bfun_v1)(&n_element1, &n_element2, &b_result);
    if(b_result)
    {
        printf("(bfun_v1)(2, 3) returns value of true, "
            "where bfun_v1 is the function of s2.\n");
    }
    else
    {
        printf("(bfun_v1)(2, 3) returns value of false, "
            "where bfun_v1 is the function of s2.\n");
    }

    set_destroy(pset_s2);

    return 0;
}

```

● Output

```

(bfun_v1)(2, 3) returns value of true, where bfun_v1 is the function of s1.
(bfun_v1)(2, 3) returns value of false, where bfun_v1 is the function of s2.

```

第六节 多重集合 multiset_t

多重集合容器 `multiset_t` 是关联容器，`multiset_t` 中的数据是按照键和指定的规则自动排序但它允许多个相同的键存在，`multiset_t` 中的键就是数据本身。`multiset_t` 中的数据不可以直接或者通过迭代器修改，因为这样会破坏 `multiset_t` 中数据的有序性，要想修改一个数据只有先删除它然后插入新的数据。`multiset_t` 支持双向迭代器。插入新数据是不会破坏原有的迭代器，删除数据是只有指向被删除的数据的迭代器失效。`multiset_t` 对于数据的查找，插入和删除都是高效的。`multiset_t` 中的数据根据指定的规则自动排序，默认的排序规则是使用数据的小于操作符，用户可以在初始化时指定自定义的排序规则。

● Typedefs

<code>multiset_t</code>	多重集合容器类型。
<code>multiset_iterator_t</code>	多重集合容器迭代器类型。

● Operation Functions

<code>create_multiset</code>	创建多重集合容器类型。
<code>multiset_assign</code>	为多重集合容器赋值。
<code>multiset_begin</code>	返回指向多重集合容器中第一个数据的迭代器。
<code>multiset_clear</code>	删除多重集合中的所有数据。
<code>multiset_count</code>	返回多重集合容器中包含指定数据的个数。
<code>multiset_destroy</code>	销毁多重集合容器。

<code>multiset_empty</code>	测试多重集合容器是否为空。
<code>multiset_end</code>	返回指向多重集合容器末尾的迭代器。
<code>multiset_equal</code>	测试两个多重集合容器是否相等。
<code>multiset_equal_range</code>	获得多重集合容器中包含指定数据的数据区间。
<code>multiset_erase</code>	删除指定数据。
<code>multiset_erase_pos</code>	删除指定位置的数据。
<code>multiset_erase_range</code>	删除指定数据区间的数据。
<code>multiset_find</code>	在多重集合容器中查找指定的数据。
<code>multiset_greater</code>	测试第一个多重集合容器是否大于第二个多重集合容器。
<code>multiset_greater_equal</code>	测试第一个多重集合容器是否大于等于第二个多重集合容器。
<code>multiset_init</code>	初始化一个空的多重集合容器。
<code>multiset_init_copy</code>	使用一个已经存在的多重集合容器来初始化当前的多重集合容器。
<code>multiset_init_copy_range</code>	使用指定区间中的数据初始化多重集合容器。
<code>multiset_init_copy_range_ex</code>	使用指定的数据区间和指定的排序规则初始化多重集合容器。
<code>multiset_init_ex</code>	使用指定的排序规则初始化一个空的多重集合容器。
<code>multiset_insert</code>	向多重集合容器中插入一个指定的数据。
<code>multiset_insert_hint</code>	向多重集合容器中插入一个指定的数据，并给出位置提示。
<code>multiset_insert_range</code>	向多重集合容器中插入一个指定的数据区间。
<code>multiset_key_comp</code>	返回多重集合容器使用的键比较规则。
<code>multiset_less</code>	测试第一个多重集合容器是否小于第二个多重集合容器。
<code>multiset_less_equal</code>	测试第一个多重集合容器是否小于等于第二个多重集合容器。
<code>multiset_lower_bound</code>	返回多重集合容器中等于指定数据的第一个数据的迭代器。
<code>multiset_max_size</code>	返回多重集合容器能够保存的数据数量的最大可能值。
<code>multiset_not_equal</code>	测试两个多重集合容器是否不等。
<code>multiset_size</code>	返回多重集合容器中数据的数量。
<code>multiset_swap</code>	交换两个多重集合容器的内容。
<code>multiset_upper_bound</code>	返回多重集合容器中大于指定数据的第一个数据的迭代器。
<code>multiset_value_comp</code>	返回多重集合容器使用的数据比较规则。

1. `multiset_t`

多重集合容器类型。

- **Requirements**

头文件 `<cset/cset.h>`

- **Example**

请参考 `multiset_t` 类型的其他操作函数。

2. multiset_iterator_t

多重集合容器类型的迭代器类型。

- **Remarks**

multiset_iterator_t 是双向迭代器类型，不能通过迭代器来修改容器中的数据。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cset.h>

- **Example**

请参考 multiset_t 类型的其他操作函数。

3. create_multiset

创建 multiset_t 类型。

```
multiset_t* create_multiset(  
    type  
);
```

- **Parameters**

type: 数据类型描述。

- **Remarks**

函数成功返回指向 multiset_t 类型的指针，失败返回 NULL。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cset.h>

- **Example**

请参考 multiset_t 类型的其他操作函数。

4. multiset_assign

为 multiset_t 赋值。

```
void multiset_assign(  
    multiset_t* pmset_dest,  
    const multiset_t* cpmset_src  
);
```

- **Parameters**

pmset_dest: 指向被赋值的 multiset_t 类型的指针。

cpmset_src: 指向赋值的 multiset_t 类型的指针。

- **Remarks**

要求两个 multiset_t 类型保存的数据具有相同的类型，否则函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cset.h>

- **Example**

```

/*
 * multiset_assign.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s2 = create_multiset(int);
    multiset_iterator_t it_s;

    if(pmset_s1 == NULL || pmset_s2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    multiset_init(pmset_s1);
    multiset_init(pmset_s2);

    multiset_insert(pmset_s1, 10);
    multiset_insert(pmset_s1, 20);
    multiset_insert(pmset_s1, 30);
    multiset_insert(pmset_s2, 40);
    multiset_insert(pmset_s2, 50);
    multiset_insert(pmset_s2, 60);

    printf("s1 =");
    for(it_s = multiset_begin(pmset_s1);
        !iterator_equal(it_s, multiset_end(pmset_s1));
        it_s = iterator_next(it_s))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
    }
    printf("\n");

    multiset_assign(pmset_s1, pmset_s2);
    printf("s1 =");
    for(it_s = multiset_begin(pmset_s1);
        !iterator_equal(it_s, multiset_end(pmset_s1));
        it_s = iterator_next(it_s))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
    }
    printf("\n");

    multiset_destroy(pmset_s1);
    multiset_destroy(pmset_s2);

    return 0;
}

```

● Output

```

s1 = 10 20 30
s1 = 40 50 60

```

5. multiset_begin

返回指向 multiset_t 中第一个数据迭代器。

```
multiset_iterator_t multiset_begin(  
    const multiset_t* cpmset_multiset  
);
```

- **Parameters**

cpmset_multiset: 指向 multiset_t 类型的指针。

- **Remarks**

如果 multiset_t 为空，这个函数的返回值和 multiset_end() 的返回值相等。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cset.h>

- **Example**

```
/*  
 * multiset_begin.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cset.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);  
  
    if(pmset_s1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    multiset_init(pmset_s1);  
  
    multiset_insert(pmset_s1, 1);  
    multiset_insert(pmset_s1, 2);  
    multiset_insert(pmset_s1, 3);  
  
    printf("The first element of s1 is %d\n",  
        *(int*)iterator_get_pointer(multiset_begin(pmset_s1)));  
  
    multiset_erase_pos(pmset_s1, multiset_begin(pmset_s1));  
    printf("The first element of s1 is now %d\n",  
        *(int*)iterator_get_pointer(multiset_begin(pmset_s1)));  
  
    multiset_destroy(pmset_s1);  
  
    return 0;  
}
```

- **Output**

```
The first element of s1 is 1  
The first element of s1 is now 2
```


6. multiset_clear

删除 multiset_t 中的所有数据。

```
void multiset_clear(  
    multiset_t* pmset_multiset  
);
```

- **Parameters**

pmset_multiset: 指向 multiset_t 类型的指针。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cset.h>

- **Example**

```
/*  
 * multiset_clear.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cset.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);  
  
    if(pmset_s1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    multiset_init(pmset_s1);  
  
    multiset_insert(pmset_s1, 1);  
    multiset_insert(pmset_s1, 2);  
  
    printf("The size of the multiset is initially %d.\n",  
        multiset_size(pmset_s1));  
  
    multiset_clear(pmset_s1);  
    printf("The size of the multiset after clearing is %d.\n",  
        multiset_size(pmset_s1));  
  
    multiset_destroy(pmset_s1);  
  
    return 0;  
}
```

- **Output**

```
The size of the multiset is initially 2.  
The size of the multiset after clearing is 0.
```

7. multiset_count

返回 multiset_t 中指定数据的个数。

```
size_t multiset_count(
    const multiset_t* cpmset_multiset,
    element
);
```

● Parameters

cpmset_multiset: 指向 multiset_t 类型的指针。
element: 指定的数据。

● Remarks

如果容器中不包含指定数据则返回 0，包含则返回指定数据的个数。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```
/*
 * multiset_count.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);

    if(pmset_s1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    multiset_init(pmset_s1);

    multiset_insert(pmset_s1, 1);
    multiset_insert(pmset_s1, 1);
    multiset_insert(pmset_s1, 2);

    /*
     * Element do not need to be unique in multiset,
     * so duplicates are allowed and counted.
     */
    printf("The number of element in s1 with a sort key of 1 is: %d.\n",
        multiset_count(pmset_s1, 1));
    printf("The number of element in s1 with a sort key of 2 is: %d.\n",
        multiset_count(pmset_s1, 2));
    printf("The number of element in s1 with a sort key of 3 is: %d.\n",
        multiset_count(pmset_s1, 3));

    multiset_destroy(pmset_s1);

    return 0;
}
```

● Output

The number of element in s1 with a sort key of 1 is: 2.

```
The number of element in s1 with a sort key of 2 is: 1.
The number of element in s1 with a sort key of 3 is: 0.
```

8. multiset_destroy

销毁 multiset_t 容器。

```
void multiset_destroy(
    multiset_t* pmset_multiset
);
```

- **Parameters**

pmset_multiset: 指向 multiset_t 类型的指针。

- **Remarks**

multiset_t 容器使用之后要销毁，否则 multiset_t 占用的资源不会被释放。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cset.h>

- **Example**

请参考 multiset_t 类型的其他操作函数。

9. multiset_empty

测试 multiset_t 是否为空。

```
bool_t multiset_empty(
    const multiset_t* cpmset_multiset
);
```

- **Parameters**

cpmset_multiset: 指向 multiset_t 类型的指针。

- **Remarks**

multiset_t 容器为空则返回 true，否则返回 false。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cset.h>

- **Example**

```
/*
 * multiset_empty.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s2 = create_multiset(int);
```

```

if(pmset_s1 == NULL || pmset_s2 == NULL)
{
    return -1;
}

multiset_init(pmset_s1);
multiset_init(pmset_s2);

multiset_insert(pmset_s1, 1);

if(multiset_empty(pmset_s1))
{
    printf("The multiset s1 is empty.\n");
}
else
{
    printf("The multiset s1 is not empty.\n");
}

if(multiset_empty(pmset_s2))
{
    printf("The multiset s2 is empty.\n");
}
else
{
    printf("The multiset s2 is not empty.\n");
}

multiset_destroy(pmset_s1);
multiset_destroy(pmset_s2);

return 0;
}

```

● Output

```

The multiset s1 is not empty.
The multiset s2 is empty.

```

10. multiset_end

返回 multiset_t 的末尾位置的迭代器。

```

multiset_iterator_t multiset_end(
    const multiset_t* cpmset_multiset
);

```

● Parameters

cpmset_multiset: 指向 multiset_t 类型的指针。

● Remarks

如果 multiset_t 为空，这个函数的返回值和 multiset_begin() 的返回值相等。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```

/*
 * multiset_end.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);
    multiset_iterator_t it_s;

    if(pmset_s1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    multiset_init(pmset_s1);

    multiset_insert(pmset_s1, 1);
    multiset_insert(pmset_s1, 2);
    multiset_insert(pmset_s1, 3);

    it_s = iterator_prev(multiset_end(pmset_s1));
    printf("The last element of s1 is %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_s));

    multiset_erase_pos(pmset_s1, it_s);

    it_s = iterator_prev(multiset_end(pmset_s1));
    printf("The last element of s1 is now %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_s));

    multiset_destroy(pmset_s1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The last element of s1 is 3
The last element of s1 is now 2

```

11. multiset_equal

测试两个 multiset_t 是否相等。

```

bool_t multiset_equal(
    const multiset_t* cpmset_first,
    const multiset_t* cpmset_second
);

```

● Parameters

cpmset_first: 指向第一个 multiset_t 类型的指针。
cpmset_second: 指向第二个 multiset_t 类型的指针。

● Remarks

两个 `multiset_t` 中的数据对应相等，并且数量相等，函数返回 `true`，否则返回 `false`。如果两个 `multiset_t` 中的数据类型不同也认为不等。

● Requirements

头文件 `<cstl/cset.h>`

● Example

```
/*
 * multiset_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s2 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s3 = create_multiset(int);
    int i = 0;

    if(pmset_s1 == NULL || pmset_s2 == NULL || pmset_s3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    multiset_init(pmset_s1);
    multiset_init(pmset_s2);
    multiset_init(pmset_s3);

    for(i = 0; i < 3; ++i)
    {
        multiset_insert(pmset_s1, i);
        multiset_insert(pmset_s2, i * i);
        multiset_insert(pmset_s3, i);
    }

    if(multiset_equal(pmset_s1, pmset_s2))
    {
        printf("The multisets s1 and s2 are equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The multisets s1 and s2 are not equal.\n");
    }

    if(multiset_equal(pmset_s1, pmset_s3))
    {
        printf("The multisets s1 and s3 are equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The multisets s1 and s3 are not equal.\n");
    }

    multiset_destroy(pmset_s1);
    multiset_destroy(pmset_s2);
    multiset_destroy(pmset_s3);
}
```

```
    return 0;
}
```

● Output

The multisets s1 and s2 are not equal.
The multisets s1 and s3 are equal.

12. multiset_equal_range

返回 multiset_t 中包含指定数据的数据区间。

```
range_t multiset_equal_range(
    const multiset_t* cpmset_multiset,
    element
);
```

● Parameters

cpmset_multiset: 指向 multiset_t 类型的指针。
element: 指定的数据。

● Remarks

返回 multiset_t 中包含指定数据的数据区间[range_t.it_begin, range_t.it_end)，其中 it_begin 是指向等于指定数据的第一个数据的迭代器，it_end 指向的是大于指定数据的第一个数据的迭代器。如果 multiset_t 中不包含指定数据则 it_begin 与 it_end 相等。如果指定的数据是 multiset_t 中最大的数据则 it_end 等于 multiset_end()。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```
/*
 * multiset_equal_range.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);
    range_t r_s;
    multiset_iterator_t it_s;

    if(pmset_s1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    multiset_init(pmset_s1);

    multiset_insert(pmset_s1, 10);
    multiset_insert(pmset_s1, 20);
    multiset_insert(pmset_s1, 30);
```

```

r_s = multiset_equal_range(pmset_s1, 20);

printf("The upper bound of the element with a "
       "key of 20 in the multiset s1 is: %d.\n",
       *(int*)iterator_get_pointer(r_s.it_end));
printf("The lower bound of the element with a "
       "key of 20 in the multiset s1 is: %d.\n",
       *(int*)iterator_get_pointer(r_s.it_begin));

/* Compare the upper_bound called directly */
it_s = multiset_upper_bound(pmset_s1, 20);
printf("A direct call of upper_bound(20) gives %d, matching the 2nd "
       "element of the range returned by equal_range(20).\n",
       *(int*)iterator_get_pointer(it_s));

r_s = multiset_equal_range(pmset_s1, 40);
/* If no match is found for the key, both elements of the range return end(). */
if(iterator_equal(r_s.it_begin, multiset_end(pmset_s1)) &&
    iterator_equal(r_s.it_end, multiset_end(pmset_s1)))
{
    printf("The multiset s1 doesn't have an "
           "element with a key less than 40.\n");
}
else
{
    printf("The element of multiset s1 with a key >= 40 is: %d.\n",
           *(int*)iterator_get_pointer(r_s.it_begin));
}

multiset_destroy(pmset_s1);

return 0;
}

```

● Output

The upper bound of the element with a key of 20 in the multiset s1 is: 30.
 The lower bound of the element with a key of 20 in the multiset s1 is: 20.
 A direct call of upper_bound(20) gives 30, matching the 2nd element of the range
 returned by equal_range(20).
 The multiset s1 doesn't have an element with a key less than 40.

13. multiset_erase multiset_erase_pos multiset_erase_range

删除 multiset_t 中的数据。

```

size_t multiset_erase(
    multiset_t* pmset_multiset,
    element
);

void multiset_erase_pos(
    multiset_t* pmset_multiset,
    multiset_iterator_t it_pos
);

void multiset_erase_range(
    multiset_t* pmset_multiset,

```



```

    multiset_iterator_t it_begin,
    multiset_iterator_t it_end
);

```

● Parameters

pmset_multiset: 指向 multiset_t 类型的指针。
element: 要删除的数据。
it_pos: 要删除的数据的位置迭代器。
it_begin: 要删除的数据区间的开始位置。
it_end: 要删除的数据区间的末尾位置。

● Remarks

第一个函数删除 multiset_t 中指定的数据，并返回删除的个数，如果 multiset_t 中不包含指定的数据就返回 0。
 第二个函数删除指定位置的数据。
 第三个函数删除指定数据区间中的数据。
 后面两个函数要求迭代器和数据区间是有效的，无效的迭代器或数据区间导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```

/*
 * multiset_erase.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s2 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s3 = create_multiset(int);
    multiset_iterator_t it_s;
    int i = 0;
    int n_count = 0;

    if(pmset_s1 == NULL || pmset_s2 == NULL || pmset_s3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    multiset_init(pmset_s1);
    multiset_init(pmset_s2);
    multiset_init(pmset_s3);

    for(i = 1; i < 5; ++i)
    {
        multiset_insert(pmset_s1, i);
        multiset_insert(pmset_s2, i * i);
        multiset_insert(pmset_s3, i - 1);
    }

    /* The first function removes an element at a given position */
    multiset_erase_pos(pmset_s1, iterator_next(multiset_begin(pmset_s1)));
    printf("After the second element is deleted, the multiset s1 is:");

```

```

for(it_s = multiset_begin(pmset_s1);
    !iterator_equal(it_s, multiset_end(pmset_s1));
    it_s = iterator_next(it_s))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
printf("\n");

/* The second function remove elements in the range[first, last) */
multiset_erase_range(pmset_s2, iterator_next(multiset_begin(pmset_s2)),
    iterator_prev(multiset_end(pmset_s2)));
printf("After the middle two elements are deleted, the multiset s2 is:");
for(it_s = multiset_begin(pmset_s2);
    !iterator_equal(it_s, multiset_end(pmset_s2));
    it_s = iterator_next(it_s))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
printf("\n");

/* The third function removes elements with a given key */
multiset_insert(pmset_s3, 2);
n_count = multiset_erase(pmset_s3, 2);
printf("The number of elements removed from s3 is: %d.\n", n_count);
printf("After the element with a key of 2 is deleted, the multiset s3 is:");
for(it_s = multiset_begin(pmset_s3);
    !iterator_equal(it_s, multiset_end(pmset_s3));
    it_s = iterator_next(it_s))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
printf("\n");

multiset_destroy(pmset_s1);
multiset_destroy(pmset_s2);
multiset_destroy(pmset_s3);

return 0;
}

```

● Output

After the second element is deleted, the multiset s1 is: 1 3 4
 After the middle two elements are deleted, the multiset s2 is: 1 16
 The number of elements removed from s3 is: 2.
 After the element with a key of 2 is deleted, the multiset s3 is: 0 1 3

14. multiset_find

在 multiset_t 中查找指定数据。

```

multiset_iterator_t multiset_find(
    const multiset_t* cpmset_multiset,
    element
);

```

● Parameters

cpmset_multiset: 指向 multiset_t 类型的指针。

element: 指定的数据。

- **Remarks**

如果 `multiset_t` 中包含指定的数据则返回指向该数据的迭代器，否则返回 `multiset_end()`。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/cset.h>`

- **Example**

```
/*
 * multiset_find.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);
    multiset_iterator_t it_s;

    if(pmset_s1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    multiset_init(pmset_s1);

    multiset_insert(pmset_s1, 10);
    multiset_insert(pmset_s1, 20);
    multiset_insert(pmset_s1, 20);

    it_s = multiset_find(pmset_s1, 20);
    printf("The first element of multiset s1 with a key of 20 is: %d.\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_s));

    it_s = multiset_find(pmset_s1, 40);
    /* If no match is found for the key, end() is returned. */
    if(iterator_equal(it_s, multiset_end(pmset_s1)))
    {
        printf("The multiset s1 doesn't have an element with a key of 40.\n");
    }
    else
    {
        printf("The element of multiset s1 with a key of 40 is: %d.\n",
            *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
    }

    /*
     * The element at a specific location in the multiset can be
     * found using a dereferenced iterator addressing the location.
     */
    it_s = multiset_end(pmset_s1);
    it_s = iterator_prev(it_s);
    it_s = multiset_find(pmset_s1, *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
    printf("The first element of s1 with a key matching that of the "
        "last element is %d.\n", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
```

```

/*
 * Note that the first element with a key equal to the key of
 * the last element is not the last element.
 */
if(iterator_equal(it_s, iterator_prev(multiset_end(pmset_s1))))
{
    printf("This is the last element of multiset s1.\n");
}
else
{
    printf("The is not the last element of multiset s1.\n");
}

multiset_destroy(pmset_s1);

return 0;
}

```

● Output

```

The first element of multiset s1 with a key of 20 is: 20.
The multiset s1 doesn't have an element with a key of 40.
The first element of s1 with a key matching that of the last element is 20.
The is not the last element of multiset s1.

```

15. multiset_greater

测试第一个 multiset_t 是否大于第二个 multiset_t。

```

bool_t multiset_greater(
    const multiset_t* cpmset_first,
    const multiset_t* cpmset_second
);

```

● Parameters

cpmset_first: 指向第一个 multiset_t 类型的指针。
cpmset_second: 指向第二个 multiset_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 multiset_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```

/*
 * multiset_greater.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s2 = create_multiset(int);
}

```

```

multiset_t* pmset_s3 = create_multiset(int);
int i = 0;

if(pmset_s1 == NULL || pmset_s2 == NULL || pmset_s3 == NULL)
{
    return -1;
}

multiset_init(pmset_s1);
multiset_init(pmset_s2);
multiset_init(pmset_s3);

for(i = 0; i < 3; ++i)
{
    multiset_insert(pmset_s1, i);
    multiset_insert(pmset_s2, i * i);
    multiset_insert(pmset_s3, i - 1);
}

if(multiset_greater(pmset_s1, pmset_s2))
{
    printf("The multiset s1 is greater than the multiset s2.\n");
}
else
{
    printf("The multiset s1 is not greater than the multiset s2.\n");
}

if(multiset_greater(pmset_s1, pmset_s3))
{
    printf("The multiset s1 is greater than the multiset s3.\n");
}
else
{
    printf("The multiset s1 is not greater than the multisets s3.\n");
}

multiset_destroy(pmset_s1);
multiset_destroy(pmset_s2);
multiset_destroy(pmset_s3);

return 0;
}

```

● Output

```

The multiset s1 is not greater than the multiset s2.
The multiset s1 is greater than the multiset s3.

```

16. multiset_greater_equal

测试第一个 multiset_t 是否大于等于第二个 multiset_t。

```

bool_t multiset_greater_equal(
    const multiset_t* cpmset_first,
    const multiset_t* cpmset_second
);

```

● Parameters

cpmset_first: 指向第一个 multiset_t 类型的指针。

cpmset_second: 指向第二个 multiset_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 multiset_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```
/*
 * multiset_greater_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s2 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s3 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s4 = create_multiset(int);
    int i = 0;

    if(pmset_s1 == NULL || pmset_s2 == NULL ||
       pmset_s3 == NULL || pmset_s4 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    multiset_init(pmset_s1);
    multiset_init(pmset_s2);
    multiset_init(pmset_s3);
    multiset_init(pmset_s4);

    for(i = 0; i < 3; ++i)
    {
        multiset_insert(pmset_s1, i);
        multiset_insert(pmset_s2, i * i);
        multiset_insert(pmset_s3, i - 1);
        multiset_insert(pmset_s4, i);
    }

    if(multiset_greater_equal(pmset_s1, pmset_s2))
    {
        printf("The multiset s1 is greater than or equal to the multiset s2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The multiset s1 is less than the multiset s2.\n");
    }

    if(multiset_greater_equal(pmset_s1, pmset_s3))
    {
        printf("The multiset s1 is greater than or equal to the multiset s3.\n");
    }
    else
```

```

{
    printf("The multiset s1 is less than the multiset s3.\n");
}

if(multiset_greater_equal(pmset_s1, pmset_s4))
{
    printf("The multiset s1 is greater than or equal to the multiset s4.\n");
}
else
{
    printf("The multiset s1 is less than the multiset s4.\n");
}

multiset_destroy(pmset_s1);
multiset_destroy(pmset_s2);
multiset_destroy(pmset_s3);
multiset_destroy(pmset_s4);

return 0;
}

```

● Output

```

The multiset s1 is less than the multiset s2.
The multiset s1 is greater than or equal to the multiset s3.
The multiset s1 is greater than or equal to the multiset s4.

```

17. multiset_init multiset_init_copy multiset_init_copy_range multiset_init_copy_range_ex multiset_init_ex

初始化 multiset_t。

```

void multiset_init(
    multiset_t* pmset_multiset
);

void multiset_init_copy(
    multiset_t* pmset_multiset,
    const multiset_t* cpmset_src
);

void multiset_init_copy_range(
    multiset_t* pmset_multiset,
    multiset_iterator_t it_begin,
    multiset_iterator_t it_end
);

void multiset_init_copy_range_ex(
    multiset_t* pmset_multiset,
    multiset_iterator_t it_begin,
    multiset_iterator_t it_end,
    binary_function_t bfun_compare
);

void multiset_init_ex(
    multiset_t* pmset_multiset,
    binary_function_t bfun_compare

```

```
);
```

● Parameters

pmset_multiset: 指向被初始化 multiset_t 类型的指针。
cpmset_src: 指向用于初始化的 multiset_t 类型的指针。
it_begin: 于初始化的数据区间的开始位置。
it_end: 于初始化的数据区间的末尾位置。
bfun_compare: 自定义排序规则。

● Remarks

第一个函数初始化一个空的 multiset_t，使用与数据类型相关的小于操作函数作为默认的排序规则。

第二个函数使用一个源 multiset_t 来初始化 multiset_t，数据的内容和排序规则都从源 multiset_t 复制。

第三个函数使用指定的数据区间初始化一个 multiset_t，使用与数据类型相关的小于操作函数作为默认的排序规则。

第四个函数使用指定的数据区间初始化一个 multiset_t，使用用户指定的排序规则。

第五个函数初始化一个空的 multiset_t，使用用户指定的排序规则。

上面的函数要求迭代器和数据区间是有效的，无效的迭代器或数据区间导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```
/*
 * multiset_init.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multiset_t* pmset_s0 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s2 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s3 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s4 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s5 = create_multiset(int);
    multiset_iterator_t it_s;

    if(pmset_s0 == NULL || pmset_s1 == NULL || pmset_s2 == NULL ||
       pmset_s3 == NULL || pmset_s4 == NULL || pmset_s5 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    /* Create an empty multiset s0 of key type integer */
    multiset_init(pmset_s0);

    /*
     * Create an empty multiset s1 with the key comparison
     * function of less than, then insert 4 elements
     */
    multiset_init_ex(pmset_s1, fun_less_int);
    multiset_insert(pmset_s1, 10);
    multiset_insert(pmset_s1, 20);
```



```

multiset_insert(pmset_s1, 20);
multiset_insert(pmset_s1, 40);

/*
 * Create an empty multiset s2 with the key comparison
 * function of greater than, then insert 2 elements.
 */
multiset_init_ex(pmset_s2, fun_greater_int);
multiset_insert(pmset_s2, 10);
multiset_insert(pmset_s2, 20);

/* Create a copy, multiset s3, of multiset s1 */
multiset_init_copy(pmset_s3, pmset_s1);

/* Create a multiset s4 by copy the range s1[first, last) */
multiset_init_copy_range(pmset_s4, multiset_begin(pmset_s1),
    iterator_advance(multiset_begin(pmset_s1), 2));

/*
 * Create a multiset s5 by copying the range s3[first, last)
 * and with the key comparison function of less than.
 */
multiset_init_copy_range_ex(pmset_s5, multiset_begin(pmset_s3),
    iterator_next(multiset_begin(pmset_s3)), fun_less_int);

printf("s1 =");
for(it_s = multiset_begin(pmset_s1);
    !iterator_equal(it_s, multiset_end(pmset_s1));
    it_s = iterator_next(it_s))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
printf("\n");

printf("s2 =");
for(it_s = multiset_begin(pmset_s2);
    !iterator_equal(it_s, multiset_end(pmset_s2));
    it_s = iterator_next(it_s))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
printf("\n");

printf("s3 =");
for(it_s = multiset_begin(pmset_s3);
    !iterator_equal(it_s, multiset_end(pmset_s3));
    it_s = iterator_next(it_s))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
printf("\n");

printf("s4 =");
for(it_s = multiset_begin(pmset_s4);
    !iterator_equal(it_s, multiset_end(pmset_s4));
    it_s = iterator_next(it_s))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
printf("\n");

```

```

printf("s5 =");
for(it_s = multiset_begin(pmset_s5);
    !iterator_equal(it_s, multiset_end(pmset_s5));
    it_s = iterator_next(it_s))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
printf("\n");

multiset_destroy(pmset_s0);
multiset_destroy(pmset_s1);
multiset_destroy(pmset_s2);
multiset_destroy(pmset_s3);
multiset_destroy(pmset_s4);
multiset_destroy(pmset_s5);

return 0;
}

```

● Output

```

s1 = 10 20 20 40
s2 = 20 10
s3 = 10 20 20 40
s4 = 10 20
s5 = 10

```

18. multiset_insert multiset_insert_hint multiset_insert_range

向 multiset_t 中插入数据。

```

multiset_iterator_t multiset_insert(
    multiset_t* pmset_multiset,
    element
);

multiset_iterator_t multiset_insert_hint(
    multiset_t* pmset_multiset,
    multiset_iterator_t it_hint,
    element
);

void multiset_insert_range(
    multiset_t* pmset_multiset,
    multiset_iterator_t it_begin,
    multiset_iterator_t it_end
);

```

● Parameters

pmset_multiset: 指向 multiset_t 类型的指针。
element: 插入的数据。
it_hint: 被插入数据的提示位置。
it_begin: 被插入的数据区间的开始位置。
it_end: 被插入的数据区间的末尾位置。

● Remarks

第一个函数向 `multiset_t` 中插入一个指定的数据，成功后返回指向该数据的迭代器，如果插入失败，返回 `multiset_end()`。

第二个函数向 `multiset_t` 中插入一个指定的数据，同时给出一个该数据被插入后的提示位置迭代器，如果这个位置符合 `multiset_t` 的排序规则就把这个数据放在提示位置中成功后返回指向该数据的迭代器，如果提示位置不正确则忽略提示位置，当数据插入成功后返回数据的实际位置迭代器，如果插入失败，返回 `multiset_end()`。

第三个函数插入指定的数据区间。

上面的函数要求迭代器和数据区间是有效的，无效的迭代器或数据区间导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 `<cstl/cset.h>`

● Example

```
/*
 * multiset_insert.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s2 = create_multiset(int);
    multiset_iterator_t it_s;

    if(pmset_s1 == NULL || pmset_s2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    multiset_init(pmset_s1);
    multiset_init(pmset_s2);

    multiset_insert(pmset_s1, 10);
    multiset_insert(pmset_s1, 20);
    multiset_insert(pmset_s1, 30);
    multiset_insert(pmset_s1, 40);

    printf("The original s1 =");
    for(it_s = multiset_begin(pmset_s1);
        !iterator_equal(it_s, multiset_end(pmset_s1));
        it_s = iterator_next(it_s))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
    }
    printf("\n");

    multiset_insert(pmset_s1, 20);
    multiset_insert_hint(pmset_s1, iterator_prev(multiset_end(pmset_s1)), 50);
    printf("After the insertions, s1 =");
    for(it_s = multiset_begin(pmset_s1);
        !iterator_equal(it_s, multiset_end(pmset_s1));
        it_s = iterator_next(it_s))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
    }
}
```

```

printf("\n");

multiset_insert(pmset_s2, 100);
multiset_insert_range(pmset_s2, iterator_next(multiset_begin(pmset_s1)),
    iterator_prev(multiset_end(pmset_s1)));
printf("s2 =");
for(it_s = multiset_begin(pmset_s2);
    !iterator_equal(it_s, multiset_end(pmset_s2));
    it_s = iterator_next(it_s))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
printf("\n");

multiset_destroy(pmset_s1);
multiset_destroy(pmset_s2);

return 0;
}

```

● Output

```

The original s1 = 10 20 30 40
After the insertions, s1 = 10 20 20 30 40 50
s2 = 20 20 30 40 100

```

19. multiset_key_comp

返回 multiset_t 使用的键比较规则。

```

binary_function_t multiset_key_comp(
    const multiset_t* cpmset_multiset
);

```

● Parameters

cpmset_multiset: 指向 multiset_t 类型的指针。

● Remarks

由于 multiset_t 中数据本身就是键，所以这个函数的返回值与 multiset_value_comp() 相同。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```

/*
 * multiset_key_comp.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s2 = create_multiset(int);
}

```

```

binary_function_t bfun_k1 = NULL;
bool_t b_result = false;
int n_element1 = 0;
int n_element2 = 0;

if(pmset_s1 == NULL || pmset_s2 == NULL)
{
    return -1;
}

multiset_init(pmset_s1);

bfun_k1 = multiset_key_comp(pmset_s1);
n_element1 = 2;
n_element2 = 3;
(*bfun_k1)(&n_element1, &n_element2, &b_result);
if(b_result)
{
    printf("(bfun_k1)(2, 3) return value of true, "
           "where bfun_k1 is the function of s1.\n");
}
else
{
    printf("(bfun_k1)(2, 3) return value of false, "
           "where bfun_k1 is the function of s1.\n");
}

multiset_destroy(pmset_s1);

multiset_init_ex(pmset_s2, fun_greater_int);

bfun_k1 = multiset_key_comp(pmset_s2);
(*bfun_k1)(&n_element1, &n_element2, &b_result);
if(b_result)
{
    printf("(bfun_k1)(2, 3) return value of true, "
           "where bfun_k1 is the function of s2.\n");
}
else
{
    printf("(bfun_k1)(2, 3) return value of false, "
           "where bfun_k1 is the function of s2.\n");
}

multiset_destroy(pmset_s2);

return 0;
}

```

● Output

```

(*bfun_k1)(2, 3) return value of true, where bfun_k1 is the function of s1.
(*bfun_k1)(2, 3) return value of false, where bfun_k1 is the function of s2.

```

20. multiset_less

测试第一个 multiset_t 是否小于第二个 multiset_t。

```
bool_t multiset_less(
```

```
const multiset_t* cpmset_first,  
const multiset_t* cpmset_second  
);
```

● Parameters

cpmset_first: 指向第一个 multiset_t 类型的指针。

cpmset_second: 指向第二个 multiset_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 multiset_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```
/*  
 * multiset_less.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cset.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);  
    multiset_t* pmset_s2 = create_multiset(int);  
    multiset_t* pmset_s3 = create_multiset(int);  
    int i = 0;  
  
    if(pmset_s1 == NULL || pmset_s2 == NULL || pmset_s3 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    multiset_init(pmset_s1);  
    multiset_init(pmset_s2);  
    multiset_init(pmset_s3);  
  
    for(i = 0; i < 3; ++i)  
    {  
        multiset_insert(pmset_s1, i);  
        multiset_insert(pmset_s2, i * i);  
        multiset_insert(pmset_s3, i - 1);  
    }  
  
    if(multiset_less(pmset_s1, pmset_s2))  
    {  
        printf("The multiset s1 is less than the multiset s2.\n");  
    }  
    else  
    {  
        printf("The multiset s1 is not less than the multiset s2.\n");  
    }  
  
    if(multiset_less(pmset_s1, pmset_s3))  
    {  
        printf("The multiset s1 is less than the multiset s3.\n");  
    }  
}
```

```

    }
    else
    {
        printf("The multiset s1 is not less than the multiset s3.\n");
    }

    multiset_destroy(pmset_s1);
    multiset_destroy(pmset_s2);
    multiset_destroy(pmset_s3);

    return 0;
}

```

● Output

```

The multiset s1 is less than the multiset s2.
The multiset s1 is not less than the multiset s3.

```

21. multiset_less_equal

测试第一个 multiset_t 是否小于等于第二个 multiset_t。

```

bool_t multiset_less_equal(
    const multiset_t* cpmset_first,
    const multiset_t* cpmset_second
);

```

● Parameters

cpmset_first: 指向第一个 multiset_t 类型的指针。
cpmset_second: 指向第二个 multiset_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 multiset_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```

/*
 * multiset_less_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s2 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s3 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s4 = create_multiset(int);
    int i = 0;

    if(pmset_s1 == NULL || pmset_s2 == NULL ||
        pmset_s3 == NULL || pmset_s4 == NULL)
    {

```

```

        return -1;
    }

    multiset_init(pmset_s1);
    multiset_init(pmset_s2);
    multiset_init(pmset_s3);
    multiset_init(pmset_s4);

    for(i = 0; i < 3; ++i)
    {
        multiset_insert(pmset_s1, i);
        multiset_insert(pmset_s2, i * i);
        multiset_insert(pmset_s3, i - 1);
        multiset_insert(pmset_s4, i);
    }

    if(multiset_less_equal(pmset_s1, pmset_s2))
    {
        printf("The multiset s1 is less than or equal to the multiset s2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The multiset s1 is greater than the multiset s2.\n");
    }

    if(multiset_less_equal(pmset_s1, pmset_s3))
    {
        printf("The multiset s1 is less than or equal to the multiset s3.\n");
    }
    else
    {
        printf("The multiset s1 is greater than the multiset s3.\n");
    }

    if(multiset_less_equal(pmset_s1, pmset_s4))
    {
        printf("The multiset s1 is less than or equal to the multiset s4.\n");
    }
    else
    {
        printf("The multiset s1 is greater than the multiset s4.\n");
    }

    multiset_destroy(pmset_s1);
    multiset_destroy(pmset_s2);
    multiset_destroy(pmset_s3);
    multiset_destroy(pmset_s4);

    return 0;
}

```

● Output

```

The multiset s1 is less than or equal to the multiset s2.
The multiset s1 is greater than the multiset s3.
The multiset s1 is less than or equal to the multiset s4.

```


22. multiset_lower_bound

返回 multiset_t 中等于指定数据的第一个数据的迭代器。

```
multiset_iterator_t multiset_lower_bound(  
    const multiset_t* cpmset_multiset,  
    element  
);
```

● Parameters

cpmset_multiset: 指向 multiset_t 类型的指针。
element: 指定的数据。

● Remarks

如果 multiset_t 中包含指定的数据则返回等于指定数据的第一个数据的迭代器，如果 multiset_t 中不包含指定的数据则返回大于指定数据的第一个数据的迭代器，如果指定的数据是 multiset_t 中最大的数据则返回值等于 multiset_end()。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```
/*  
 * multiset_lower_bound.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cset.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);  
    multiset_iterator_t it_s;  
  
    if(pmset_s1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    multiset_init(pmset_s1);  
  
    multiset_insert(pmset_s1, 10);  
    multiset_insert(pmset_s1, 20);  
    multiset_insert(pmset_s1, 30);  
  
    it_s = multiset_lower_bound(pmset_s1, 20);  
    printf("The element of multiset s1 with a key of 20 is: %d.\n",  
        *(int*)iterator_get_pointer(it_s));  
  
    it_s = multiset_lower_bound(pmset_s1, 40);  
    /* If no match is found for the key, end() is is returend */  
    if(iterator_equal(it_s, multiset_end(pmset_s1)))  
    {  
        printf("The multiset s1 doesn't have an element with a key of 40.\n");  
    }  
    else  
    {  

```

```

        printf("The element of multiset s1 with a key of 40 is: %d.\n",
               *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
    }

    /*
     * The element at a specific location in the multiset can be found
     * by using a dereferenced iterator that addresses the location.
     */
    it_s = multiset_end(pmset_s1);
    it_s = iterator_prev(it_s);
    it_s = multiset_lower_bound(pmset_s1, *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
    printf("The element of s1 with a key matching"
           " that of the last element is: %d.\n",
           *(int*)iterator_get_pointer(it_s));

    multiset_destroy(pmset_s1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The element of multiset s1 with a key of 20 is: 20.
The multiset s1 doesn't have an element with a key of 40.
The element of s1 with a key matching that of the last element is: 30.

```

23. multiset_max_size

返回 multiset_t 能够保存的数据数量的最大可能值。

```

size_t multiset_max_size(
    const multiset_t* cpmset_multiset
);

```

● Parameters

cpmset_multiset: 指向 multiset_t 类型的指针。

● Remarks

这是一个与系统有关的常数。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```

/*
 * multiset_max_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);

    if(pmset_s1 == NULL)

```

```

{
    return -1;
}

multiset_init(pmset_s1);

printf("The maximum possible length of the multiset is %d.\n",
    multiset_max_size(pmset_s1));

multiset_destroy(pmset_s1);

return 0;
}

```

● Output

The maximum possible length of the multiset is 1073741823.

24. multiset_not_equal

测试两个 multiset_t 是否不等。

```

bool_t multiset_not_equal(
    const multiset_t* cpmset_first,
    const multiset_t* cpmset_second
);

```

● Parameters

cpmset_first: 指向第一个 multiset_t 类型的指针。

cpmset_second: 指向第二个 multiset_t 类型的指针。

● Remarks

两个 multiset_t 中的数据对应相等，并且数量相等，函数返回 false，否则返回 true。如果两个 multiset_t 中的数据类型不同也认为不等。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```

/*
 * multiset_not_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s2 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s3 = create_multiset(int);
    int i = 0;

    if(pmset_s1 == NULL || pmset_s2 == NULL || pmset_s3 == NULL)
    {
        return -1;
    }
}

```

```

}

multiset_init(pmset_s1);
multiset_init(pmset_s2);
multiset_init(pmset_s3);

for(i = 0; i < 3; ++i)
{
    multiset_insert(pmset_s1, i);
    multiset_insert(pmset_s2, i * i);
    multiset_insert(pmset_s3, i);
}

if(multiset_not_equal(pmset_s1, pmset_s2))
{
    printf("The multisets s1 and s2 are not equal.\n");
}
else
{
    printf("The multisets s1 and s2 are equal.\n");
}

if(multiset_not_equal(pmset_s1, pmset_s3))
{
    printf("The multisets s1 and s3 are not equal.\n");
}
else
{
    printf("The multisets s1 and s3 are equal.\n");
}

multiset_destroy(pmset_s1);
multiset_destroy(pmset_s2);
multiset_destroy(pmset_s3);

return 0;
}

```

● Output

```

The multisets s1 and s2 are not equal.
The multisets s1 and s3 are equal.

```

25. multiset_size

返回 multiset_t 中数据的个数。

```

size_t multiset_size(
    const multiset_t* cpmset_multiset
);

```

● Parameters

cpmset_multiset: 指向 multiset_t 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```

/*
 * multiset_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);

    if(pmset_s1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    multiset_init(pmset_s1);

    multiset_insert(pmset_s1, 1);
    printf("The multiset length is %d.\n", multiset_size(pmset_s1));

    multiset_insert(pmset_s1, 2);
    printf("The multiset length is now %d.\n", multiset_size(pmset_s1));

    multiset_destroy(pmset_s1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The multiset length is 1.
The multiset length is now 2.

```

26. multiset_swap

交换两个 multiset_t 中的内容。

```

void multiset_swap(
    multiset_t* pmset_first,
    multiset_t* pmset_second
);

```

● Parameters

pmset_first: 指向第一个 multiset_t 类型的指针。
pmset_second: 指向第二个 multiset_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 multiset_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```

/*
 * multiset_swap.c

```

```

* compile with : -lcstl
*/

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s2 = create_multiset(int);
    multiset_iterator_t it_s;

    if(pmset_s1 == NULL || pmset_s2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    multiset_init(pmset_s1);
    multiset_init(pmset_s2);

    multiset_insert(pmset_s1, 10);
    multiset_insert(pmset_s1, 20);
    multiset_insert(pmset_s1, 30);
    multiset_insert(pmset_s2, 100);
    multiset_insert(pmset_s2, 200);

    printf("The original multiset s1 is:");
    for(it_s = multiset_begin(pmset_s1);
        !iterator_equal(it_s, multiset_end(pmset_s1));
        it_s = iterator_next(it_s))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
    }
    printf("\n");

    multiset_swap(pmset_s1, pmset_s2);
    printf("After swapping with s2, multiset s1 is:");
    for(it_s = multiset_begin(pmset_s1);
        !iterator_equal(it_s, multiset_end(pmset_s1));
        it_s = iterator_next(it_s))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
    }
    printf("\n");

    multiset_destroy(pmset_s1);
    multiset_destroy(pmset_s2);

    return 0;
}

```

● Output

```

The original multiset s1 is: 10 20 30
After swapping with s2, multiset s1 is: 100 200

```

27. multiset_upper_bound

返回 multiset_t 中大于指定数据的第一个数据的迭代器。

```
multiset_iterator_t multiset_upper_bound(
    const multiset_t* cpmset_multiset,
    element
);
```

● Parameters

cpmset_multiset: 指向 multiset_t 类型的指针。
element: 指定的数据。

● Remarks

如果指定的数据是 multiset_t 中最大的数据则返回值等于 multiset_end()。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```
/*
 * multiset_upper_bound.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);
    multiset_iterator_t it_s;

    if(pmset_s1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    multiset_init(pmset_s1);

    multiset_insert(pmset_s1, 10);
    multiset_insert(pmset_s1, 20);
    multiset_insert(pmset_s1, 30);

    it_s = multiset_upper_bound(pmset_s1, 20);
    printf("The first element of multiset s1 with a key "
        "greater than 20 is: %d.\n", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));

    it_s = multiset_upper_bound(pmset_s1, 30);
    /* If no match is found for the key, end() is returned */
    if(iterator_equal(it_s, multiset_end(pmset_s1)))
    {
        printf("The multiset s1 doesn't have an element "
            "with a key greater than 30.\n");
    }
    else
    {
        printf("the element of multiset s1 with a key > 30 is: %d.\n",
            *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
    }

    /*
```

```

    * The element at a specific location in the multiset can be found
    * by using a dereferenced iterator addressing the location.
    */
    it_s = multiset_begin(pmset_s1);
    it_s = multiset_upper_bound(pmset_s1, *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
    printf("The first element of s1 with a key greater than that of the "
           "initial element of s1 is: %d.\n", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));

    multiset_destroy(pmset_s1);

    return 0;
}

```

● Output

The first element of multiset s1 with a key greater than 20 is: 30.
 The multiset s1 doesn't have an element with a key greater than 30.
 The first element of s1 with a key greater than that of the initial element of s1 is: 20.

28. multiset_value_comp

返回 multiset_t 中使用的数据比较规则。

```

binary_function_t multiset_value_comp(
    const multiset_t* cpmset_multiset
);

```

● Parameters

cpmset_multiset: 指向 multiset_t 类型的指针。

● Remarks

由于 multiset_t 中数据本身就是键，所以这个函数的返回值与 multiset_key_comp() 相同。

● Requirements

头文件 <cstl/cset.h>

● Example

```

/*
 * multiset_value_comp.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cset.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multiset_t* pmset_s1 = create_multiset(int);
    multiset_t* pmset_s2 = create_multiset(int);
    binary_function_t bfun_v1 = NULL;
    int n_element1 = 0;
    int n_element2 = 0;
    bool_t b_result = false;

    if(pmset_s1 == NULL || pmset_s2 == NULL)

```



```

{
    return -1;
}

multiset_init(pmset_s1);

bfun_v1 = multiset_value_comp(pmset_s1);
n_element1 = 2;
n_element2 = 3;
(*bfun_v1)(&n_element1, &n_element2, &b_result);
if(b_result)
{
    printf("(bfun_v1)(2, 3) returns value of true,"
           " where bfun_v1 is the function of s1.\n");
}
else
{
    printf("(bfun_v1)(2, 3) returns value of false,"
           " where bfun_v1 is the function of s1.\n");
}

multiset_destroy(pmset_s1);

multiset_init_ex(pmset_s2, fun_greater_int);

bfun_v1 = multiset_value_comp(pmset_s2);
(*bfun_v1)(&n_element1, &n_element2, &b_result);
if(b_result)
{
    printf("(bfun_v1)(2, 3) returns value of true,"
           " where bfun_v1 is the function of s2.\n");
}
else
{
    printf("(bfun_v1)(2, 3) returns value of false,"
           " where bfun_v1 is the function of s2.\n");
}

multiset_destroy(pmset_s2);

return 0;
}

```

● Output

```

(*bfun_v1)(2, 3) returns value of true, where bfun_v1 is the function of s1.
(*bfun_v1)(2, 3) returns value of false, where bfun_v1 is the function of s2.

```

第七节 映射 map_t

映射 map_t 是关联容器，容器中保存的数据是 pair_t 类型。pair_t 的第一个数据是键，map_t 中的数据就是根据这个键排序的，在 map_t 中键不允许重复，也不可以直接或者间接修改键。pair_t 的第二个数据是值，值与键没有直接的关系，map_t 中对于值的唯一性没有要求，值对于 map_t 中的数据排序没有影响，可以直接或者间接修改值。

map_t 的迭代器是双向迭代器，插入新的数据不会破坏原有的迭代器，删除一个数据的时候只有指向该数据的迭代器失效。在 map_t 中查找，插入或者删除数据都是高效的，同时还可以使用键作为下标直接访问相应的值。

map_t 中的数据根据键按照指定规则自动排序，默认规则是与键相关的小于操作，用户也可以在初始化时指定自定义的规则。

● Typedefs

map_t	映射容器类型。
map_iterator_t	映射容器迭代器类型。

● Operation Functions

create_map	创建映射容器类型。
map_assign	为映射容器赋值。
map_at	通过下键直接访问值。
map_begin	返回指向映射中第一个数据的迭代器。
map_clear	删除映射中的所有数据。
map_count	统计映射中拥有指定键的数据的个数。
map_destroy	销毁映射容器。
map_empty	测试映射容器是否为空。
map_end	返回指向容器末尾的迭代器。
map_equal	测试两个映射容器是否相等。
map_equal_range	返回与指定键相等的数据区间。
map_erase	删除映射中与指定键值相等的数据。
map_erase_pos	删除映射中指定位置的数据。
map_erase_range	删除映射中指定的数据区间。
map_find	查找容器中拥有指定键的数据。
map_greater	测试第一个映射是否大于第二个映射。
map_greater_equal	测试第一个映射是否大于等于第二个映射。
map_init	初始化一个空映射。
map_init_copy	使用另一个映射初始化当前映射容器。
map_init_copy_range	使用指定的数据区间初始化映射容器。
map_init_copy_range_ex	使用指定的数据区间和指定的排序规则初始化映射容器。
map_init_ex	使用指定的排序规则初始化一个空的映射容器。
map_insert	在映射容器中插入数据。
map_insert_hint	在映射容器中插入数据，同时给出位置提示。
map_insert_range	在映射容器中插入数据区间。
map_key_comp	返回映射容器使用的键比较规则。
map_less	测试第一个映射容器是否小于第二个映射容器。
map_less_equal	测试第一个映射容器是否小于等于第二个映射容器。
map_lower_bound	返回与指定键相等的第一个数据的迭代器。
map_max_size	返回映射容器中能够保存数据的最大数量的可能值。
map_not_equal	测试两个映射容器是否不等。
map_size	返回映射容器中数据的数量。

map_swap	交换两个映射容器的内容。
map_upper_bound	返回大于指定键的第一个数据的迭代器。
map_value_comp	返回映射容器使用的数据比较规则。

1. map_t

映射容器类型。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cmap.h>

- **Example**

请参考 map_t 类型的其他操作函数。

2. map_iterator_t

映射容器类型的迭代器类型。

- **Remarks**

map_iterator_t 是双向迭代器类型，不能通过迭代器来修改容器中数据的键，但是可以修改数据的值。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cmap.h>

- **Example**

请参考 map_t 类型的其他操作函数。

3. create_map

创建 map_t 类型。

```
map_t* create_map(  
    type  
);
```

- **Parameters**

type: 数据类型描述。

- **Remarks**

函数成功返回指向 map_t 类型的指针，失败返回 NULL。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cmap.h>

- **Example**

请参考 map_t 类型的其他操作函数。

4. map_assign

为 map_t 类型赋值。

```
void map_assign(  
    map_t* pmap_dest,  
    const map_t* cmap_src  
);
```

- **Parameters**

pmap_dest: 指向被赋值的 map_t 类型的指针。
cmap_src: 指向赋值的 map_t 类型的指针。

- **Remarks**

要求两个 map_t 类型保存的数据具有相同的类型，否则函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cmap.h>

- **Example**

```
/*  
 * map_assign.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cmap.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);  
    map_t* pmap_m2 = create_map(int, int);  
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);  
    map_iterator_t it_m;  
  
    if(pmap_m1 == NULL || pmap_m2 == NULL || ppair_p == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    pair_init(ppair_p);  
    map_init(pmap_m1);  
    map_init(pmap_m2);  
  
    pair_make(ppair_p, 1, 10);  
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);  
    pair_make(ppair_p, 2, 20);  
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);  
    pair_make(ppair_p, 3, 30);  
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);  
  
    pair_make(ppair_p, 4, 40);  
    map_insert(pmap_m2, ppair_p);  
    pair_make(ppair_p, 5, 50);  
    map_insert(pmap_m2, ppair_p);  
    pair_make(ppair_p, 6, 60);  
    map_insert(pmap_m2, ppair_p);  
  
    printf("m1 =");
```

```

for(it_m = map_begin(pmap_m1);
    !iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m1));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" <%d, %d>",
        *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(it_m)),
        *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

map_assign(pmap_m1, pmap_m2);

printf("m1 =");
for(it_m = map_begin(pmap_m1);
    !iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m1));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" <%d, %d>",
        *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(it_m)),
        *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

pair_destroy(ppair_p);
map_destroy(pmap_m1);
map_destroy(pmap_m2);

return 0;
}

```

● Output

```

m1 = <1, 10> <2, 20> <3, 30>
m1 = <4, 40> <5, 50> <6, 60>

```

5. map_at

通过键作为下标直接访问 map_t 中相应数据的值。

```

void* map_at(
    map_t* pmap_map,
    key
);

```

● Parameters

pmap_map: 指向 map_t 类型的指针。
key: 指定的键。

● Remarks

这个操作函数通过指定的键来访问 map_t 中相应数据的值，如果 map_t 中包含这个键，那么就返回指向相应数据的值的指针，如果 map_t 中不包含这个键，那么首先在 map_t 中插入一个数据，这个数据以指定的键为键，以值的默认数据为值，然后返回指向这个数据的值的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```

/*
 * map_at.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    map_iterator_t it_m;

    if(pmap_m1 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppair_p);
    map_init(pmap_m1);

    /*
     * Insert a data value of 10 with a key of 1
     * into a map using the at() function.
     */
    *(int*)map_at(pmap_m1, 1) = 10;

    /* Insert datas into a map using insert() function. */
    pair_make(ppair_p, 2, 20);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 3, 30);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);

    printf("The keys of the mapped elements are:");
    for(it_m = map_begin(pmap_m1);
        !iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m1));
        it_m = iterator_next(it_m))
    {
        printf(" %d", *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(it_m)));
    }
    printf("\n");
    printf("The values of the mapped elements are:");
    for(it_m = map_begin(pmap_m1);
        !iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m1));
        it_m = iterator_next(it_m))
    {
        printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
    }
    printf("\n");

    /*
     * If the key already exists, at() function changes the value
     * of the datum in the element.
     */
    *(int*)map_at(pmap_m1, 2) = 40;

    /*
     * at() function will also insert the value of the data
     * type's default value if the value is unspecified.

```

```

    */
    map_at(pmap_m1, 5);

    printf("The keys of the mapped elements are now:");
    for(it_m = map_begin(pmap_m1);
        !iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m1));
        it_m = iterator_next(it_m))
    {
        printf(" %d", *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(it_m)));
    }
    printf("\n");
    printf("The values of the mapped elements are now:");
    for(it_m = map_begin(pmap_m1);
        !iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m1));
        it_m = iterator_next(it_m))
    {
        printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
    }
    printf("\n");

    pair_destroy(ppair_p);
    map_destroy(pmap_m1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The keys of the mapped elements are: 1 2 3
The values of the mapped elements are: 10 20 30
The keys of the mapped elements are now: 1 2 3 5
The values of the mapped elements are now: 10 40 30 0

```

6. map_begin

返回指向 map_t 中第一个数据的迭代器。

```

map_iterator_t map_begin(
    const map_t* cmap_map
);

```

● Parameters

cmap_map: 指向 map_t 类型的指针。

● Remarks

如果 map_t 为空，这个函数的返回值与 map_end() 相等。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```

/*
 * map_begin.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>

```

```

#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);

    if(pmap_m1 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    map_init(pmap_m1);
    pair_init(ppair_p);

    pair_make(ppair_p, 0, 0);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 1, 1);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 2, 4);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);

    printf("The first element of m1 is %d\n",
        *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(map_begin(pmap_m1))));

    map_erase_pos(pmap_m1, map_begin(pmap_m1));

    printf("The first element of m1 is now %d\n",
        *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(map_begin(pmap_m1))));

    map_destroy(pmap_m1);
    pair_destroy(ppair_p);

    return 0;
}

```

● Output

```

The first element of m1 is 0
The first element of m1 is now 1

```

7. map_clear

删除 map_t 中所有的数据。

```

void map_clear(
    map_t* pmap_map
);

```

● Parameters

cpmap_map: 指向 map_t 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```

/*
 * map_clear.c

```



```

* compile with : -lcstl
*/

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);

    if(pmap_m1 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppair_p);
    map_init(pmap_m1);

    pair_make(ppair_p, 1, 1);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 2, 4);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);

    printf("The size of the map is initially %d.\n", map_size(pmap_m1));

    map_clear(pmap_m1);
    printf("The size of the map after clearing is %d.\n", map_size(pmap_m1));

    pair_destroy(ppair_p);
    map_destroy(pmap_m1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The size of the map is initially 2.
The size of the map after clearing is 0.

```

8. map_count

统计 map_t 中包含指定键的数据的个数。

```

size_t map_count(
    const map_t* cmap_map,
    key
);

```

● Parameters

cmap_map: 指向 map_t 类型的指针。
key: 指定的键。

● Remarks

如果容器中没有包含指定键的数据返回 0， 否这返回包含指定键的数据的个数， map_t 中的值是 1。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```
/*
 * map_count.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);

    if(pmap_m1 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppair_p);
    map_init(pmap_m1);

    pair_make(ppair_p, 1, 1);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 2, 1);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 1, 4);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 2, 1);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);

    /* Keys must be unique in map, so duplicates are ignored */
    printf("The number of elements in m1 with a sort key of 1 is: %d.\n",
        map_count(pmap_m1, 1));
    printf("The number of elements in m1 with a sort key of 2 is: %d.\n",
        map_count(pmap_m1, 2));
    printf("The number of elements in m1 with a sort key of 3 is: %d.\n",
        map_count(pmap_m1, 3));

    pair_destroy(ppair_p);
    map_destroy(pmap_m1);

    return 0;
}
```

● Output

```
The number of elements in m1 with a sort key of 1 is: 1.
The number of elements in m1 with a sort key of 2 is: 1.
The number of elements in m1 with a sort key of 3 is: 0.
```

9. map_destroy

销毁 map_t 容器类型。

```
void map_destroy(
    map_t* pmap_map
);
```

- **Parameters**

pmap_map: 指向 map_t 类型的指针。

- **Remarks**

map_t 容器使用之后一定要销毁，否则 map_t 申请的资源不会被释放。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cmap.h>

- **Example**

请参考 map_t 类型的其他操作函数。

10. map_empty

测试 map_t 是否为空。

```
bool_t map_empty(  
    const map_t* cpmap_map  
);
```

- **Parameters**

cpmap_map: 指向 map_t 类型的指针。

- **Remarks**

map_t 容器为空返回 true，否则返回 false。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cmap.h>

- **Example**

```
/*  
 * map_empty.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cmap.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);  
    map_t* pmap_m2 = create_map(int, int);  
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);  
  
    if(pmap_m1 == NULL || pmap_m2 == NULL || ppair_p == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    pair_init(ppair_p);  
    map_init(pmap_m1);  
    map_init(pmap_m2);  
  
    pair_make(ppair_p, 1, 1);  
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);
```

```

if(map_empty(pmap_m1))
{
    printf("The map m1 is empty.\n");
}
else
{
    printf("The map m1 is not empty.\n");
}

if(map_empty(pmap_m2))
{
    printf("The map m2 is empty.\n");
}
else
{
    printf("The map m2 is not empty.\n");
}

pair_destroy(ppair_p);
map_destroy(pmap_m1);
map_destroy(pmap_m2);

return 0;
}

```

● Output

```

The map m1 is not empty.
The map m2 is empty.

```

11. map_end

返回指向 map_t 容器末尾的迭代器。

```

map_iterator_t map_end(
    const map_t* cmap_map
);

```

● Parameters

cmap_map: 指向 map_t 类型的指针。

● Remarks

如果 map_t 为空，这个函数的返回值与 map_begin() 相等。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```

/*
 * map_end.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

```

```

int main(int argc, char* argv[])
{
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    map_iterator_t it_m;

    if(pmap_m1 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppair_p);
    map_init(pmap_m1);

    pair_make(ppair_p, 1, 10);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 2, 20);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 3, 30);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);

    it_m = map_end(pmap_m1);
    it_m = iterator_prev(it_m);
    printf("the value of the last element of m1 is: %d\n",
        *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));

    map_erase_pos(pmap_m1, it_m);

    it_m = map_end(pmap_m1);
    it_m = iterator_prev(it_m);
    printf("the value of the last element of m1 is now: %d\n",
        *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));

    pair_destroy(ppair_p);
    map_destroy(pmap_m1);

    return 0;
}

```

● Output

```

the value of the last element of m1 is: 30
the value of the last element of m1 is now: 20

```

12. map_equal

测试两个 map_t 容器是否相等。

```

bool_t map_equal(
    const map_t* cmap_first,
    const map_t* cmap_second
);

```

● Parameters

cmap_first: 指向第一个 map_t 类型的指针。
cmap_second: 指向第二个 map_t 类型的指针。

● Remarks

如果两个 `map_t` 容器中的数据都对应相等，并且数据个数相等，则返回 `true` 否则返回 `false`，如果两个 `map_t` 容器中保存的数据类型不同也认为是不等。

● Requirements

头文件 `<cstl/cmap.h>`

● Example

```
/*
 * map_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);
    map_t* pmap_m2 = create_map(int, int);
    map_t* pmap_m3 = create_map(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    int i = 0;

    if(pmap_m1 == NULL || pmap_m2 == NULL || pmap_m3 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    map_init(pmap_m1);
    map_init(pmap_m2);
    map_init(pmap_m3);
    pair_init(ppair_p);

    for(i = 0; i < 3; ++i)
    {
        pair_make(ppair_p, i, i);
        map_insert(pmap_m1, ppair_p);
        map_insert(pmap_m3, ppair_p);
        pair_make(ppair_p, i, i * i);
        map_insert(pmap_m2, ppair_p);
    }

    if(map_equal(pmap_m1, pmap_m2))
    {
        printf("The maps m1 and m2 are equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The maps m1 and m2 are not equal.\n");
    }

    if(map_equal(pmap_m1, pmap_m3))
    {
        printf("The maps m1 and m3 are equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The maps m1 and m3 are not equal.\n");
    }
}
```

```

    map_destroy(pmap_m1);
    map_destroy(pmap_m2);
    map_destroy(pmap_m3);
    pair_destroy(ppair_p);

    return 0;
}

```

● Output

```

The maps m1 and m2 are not equal.
The maps m1 and m3 are equal.

```

13. map_equal_range

返回 map_t 中包含拥有指定键的数据的数据区间。

```

range_t map_equal_range(
    const map_t* cmap_map,
    key
);

```

● Parameters

cmap_map: 指向 map_t 类型的指针。
key: 指定的键。

● Remarks

返回 map_t 中包含拥有指定键的数据的数据区间[range_t.it_begin, range_t.it_end)，其中 it_begin 是指向拥有指定键的第一个数据的迭代器，it_end 指向拥有大于指定键的第一个数据的迭代器。如果 map_t 中不包含拥有指定键的数据则 it_begin 与 it_end 相等。如果指定的键是 map_t 中最大的键则 it_end 等于 map_end()。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```

/*
 * map_equal_range.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    map_iterator_t it_m;
    range_t r_r;

    if(pmap_m1 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }
}

```

```

pair_init(ppair_p);
map_init(pmap_m1);

pair_make(ppair_p, 1, 10);
map_insert(pmap_m1, ppair_p);
pair_make(ppair_p, 2, 20);
map_insert(pmap_m1, ppair_p);
pair_make(ppair_p, 3, 30);
map_insert(pmap_m1, ppair_p);

r_r = map_equal_range(pmap_m1, 2);

printf("The lower bound of the element with a key of 2 in the map m1 is: %d.\n",
      *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(r_r.it_begin)));
printf("The upper bound of the element with a key of 2 in the map m1 is: %d.\n",
      *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(r_r.it_end)));

it_m = map_upper_bound(pmap_m1, 2);
printf("A direct call of upper_bound(2) gives %d, matching "
      "the second element of the range returned by equal_range(2).\n",
      *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));

r_r = map_equal_range(pmap_m1, 4);
/* If no match is found for the key, both elements of the range return end() */
if(iterator_equal(r_r.it_begin, map_end(pmap_m1)) &&
    iterator_equal(r_r.it_end, map_end(pmap_m1)))
{
    printf("The map m1 doesn't have an element with a key less than 40.\n");
}
else
{
    printf("The element of map m1 with a key >= 40 is %d.\n",
          *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(r_r.it_begin)));
}

pair_destroy(ppair_p);
map_destroy(pmap_m1);

return 0;
}

```

● Output

The lower bound of the element with a key of 2 in the map m1 is: 20.
 The upper bound of the element with a key of 2 in the map m1 is: 30.
 A direct call of upper_bound(2) gives 30, matching the second element of the range
 returned by equal_range(2).
 The map m1 doesn't have an element with a key less than 40.

14. map_erase map_erase_pos map_erase_range

删除 map_t 容器中的指定数据。

```

size_t map_erase(
    map_t* pmap_map,
    key
);

void map_erase_pos(

```



```

    map_t* pmap_map,
    map_iterator_t it_pos
);

```

```

void map_erase_range(
    map_t* pmap_map,
    map_iterator_t it_begin,
    map_iterator_t it_end
);

```

● Parameters

pmap_map: 指向 map_t 类型的指针。
key: 被删除的数据的键。
it_pos: 指向被删除的数据的迭代器。
it_begin: 指向被删除的数据区间开始位置的迭代器。
it_end: 指向被删除的数据区间末尾的迭代器。

● Remarks

第一个函数删除 map_t 容器中包含指定键的数据，并返回删除数据的个数，如果容器中没有包含指定键的数据则返回 0。

第二个函数删除指定位置的数据。

第三个函数删除指定数据区间中的数据。

上面操作函数中的迭代器和数据区间都要求是有效的，无效的迭代器和数据区间将导致函数行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```

/*
 * map_erase.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);
    map_t* pmap_m2 = create_map(int, int);
    map_t* pmap_m3 = create_map(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    map_iterator_t it_m;
    int i = 0;
    size_t t_count = 0;

    if(pmap_m1 == NULL || pmap_m2 == NULL || pmap_m3 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppair_p);
    map_init(pmap_m1);
    map_init(pmap_m2);
    map_init(pmap_m3);

```

```

for(i = 1; i < 5; ++i)
{
    pair_make(ppair_p, i, i);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, i, i * i);
    map_insert(pmap_m2, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, i, i - 1);
    map_insert(pmap_m3, ppair_p);
}

/* The first function removes an element at a given position */
it_m = map_begin(pmap_m1);
it_m = iterator_next(it_m);
map_erase_pos(pmap_m1, it_m);

printf("After the second element is deleted, the map m1 is:");
for(it_m = map_begin(pmap_m1);
    !iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m1));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

/* The second function removes elements in the range [first, last) */
map_erase_range(pmap_m2, iterator_next(map_begin(pmap_m2)),
    iterator_prev(map_end(pmap_m2)));

printf("After the middle two elements are deleted, the map m2 is:");
for(it_m = map_begin(pmap_m2);
    !iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m2));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

/* The third function removes elements with a given key */
t_count = map_erase(pmap_m3, 2);

printf("After the element with a key of 2 is deleted, the map m3 is:");
for(it_m = map_begin(pmap_m3);
    !iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m3));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");
/* The third function returns the number of elements removed */
printf("The number of elements removed from m3 is: %d.\n", t_count);

pair_destroy(ppair_p);
map_destroy(pmap_m1);
map_destroy(pmap_m2);
map_destroy(pmap_m3);

return 0;
}

```

● Output

After the second element is deleted, the map m1 is: 1 3 4
After the middle two elements are deleted, the map m2 is: 1 16
After the element with a key of 2 is deleted, the map m3 is: 0 2 3
The number of elements removed from m3 is: 1.

15. map_find

查找 map_t 中包含指定键的数据。

```
map_iterator_t map_find(  
    const map_t* cmap_map,  
    key  
);
```

- **Parameters**

cmap_map: 指向 map_t 类型的指针。
key: 被删除的数据的键。

- **Remarks**

如果 map_t 中存在包换指定键的数据，返回指向该数据的迭代器，否则返回 map_end()。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cmap.h>

- **Example**

```
/*  
 * map_find.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cmap.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);  
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);  
    map_iterator_t it_m;  
  
    if(pmap_m1 == NULL || ppair_p == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    pair_init(ppair_p);  
    map_init(pmap_m1);  
  
    pair_make(ppair_p, 1, 10);  
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);  
    pair_make(ppair_p, 2, 20);  
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);  
    pair_make(ppair_p, 3, 30);  
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);  
  
    it_m = map_find(pmap_m1, 2);  
    printf("The element of map m1 with a key of 2 is: %d.\n",  
        *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
```

```

/* If no match is found for the key, end() is returned */
it_m = map_find(pmap_m1, 4);
if(iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m1)))
{
    printf("The map m1 doesn't have an element with a key of 4.\n");
}
else
{
    printf("The element of map m1 with a key of 4 is: %d.\n",
        *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}

/*
 * The element at a specific location in the map can be found
 * using a dereferenced iterator addressing the location
 */
it_m = map_end(pmap_m1);
it_m = iterator_prev(it_m);
it_m = map_find(pmap_m1, *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(it_m)));
printf("The element of m1 with a key matching "
    "that of the last element is: %d.\n",
    *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));

pair_destroy(ppair_p);
map_destroy(pmap_m1);

return 0;
}

```

● Output

```

The element of map m1 with a key of 2 is: 20.
The map m1 doesn't have an element with a key of 4.
The element of m1 with a key matching that of the last element is: 30.

```

16. map_greater

测试第一个 map_t 是否大于第二个 map_t。

```

bool_t map_greater(
    const map_t* cmap_first,
    const map_t* cmap_second
);

```

● Parameters

cmap_first: 指向第一个 map_t 类型的指针。
cmap_second: 指向第二个 map_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 map_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```

/*

```

```

* map_greater.c
* compile with : -lcstl
*/

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);
    map_t* pmap_m2 = create_map(int, int);
    map_t* pmap_m3 = create_map(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    int i = 0;

    if(pmap_m1 == NULL || pmap_m2 == NULL || pmap_m3 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    map_init(pmap_m1);
    map_init(pmap_m2);
    map_init(pmap_m3);
    pair_init(ppair_p);

    for(i = 0; i < 3; ++i)
    {
        pair_make(ppair_p, i, i);
        map_insert(pmap_m1, ppair_p);
        pair_make(ppair_p, i, i * i);
        map_insert(pmap_m2, ppair_p);
        pair_make(ppair_p, i, i - 1);
        map_insert(pmap_m3, ppair_p);
    }

    if(map_greater(pmap_m1, pmap_m2))
    {
        printf("The map m1 is greater than the map m2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The map m1 is not greater than the map m2.\n");
    }

    if(map_greater(pmap_m1, pmap_m3))
    {
        printf("The map m1 is greater than the map m3.\n");
    }
    else
    {
        printf("The map m1 is not greater than the map m3.\n");
    }

    map_destroy(pmap_m1);
    map_destroy(pmap_m2);
    map_destroy(pmap_m3);
    pair_destroy(ppair_p);

    return 0;
}

```

- **Output**

```
The map m1 is not greater than the map m2.  
The map m1 is greater than the map m3.
```

17. map_greater_equal

测试第一个 map_t 是否大于等于第二个 map_t。

```
bool_t map_greater_equal(  
    const map_t* cmap_first,  
    const map_t* cmap_second  
);
```

- **Parameters**

cmap_first: 指向第一个 map_t 类型的指针。
cmap_second: 指向第二个 map_t 类型的指针。

- **Remarks**

这个函数要求两个 map_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cmap.h>

- **Example**

```
/*  
 * map_greater_equal.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cmap.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);  
    map_t* pmap_m2 = create_map(int, int);  
    map_t* pmap_m3 = create_map(int, int);  
    map_t* pmap_m4 = create_map(int, int);  
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);  
    int i = 0;  
  
    if(pmap_m1 == NULL || pmap_m2 == NULL || pmap_m3 == NULL ||  
       pmap_m4 == NULL || ppair_p == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    map_init(pmap_m1);  
    map_init(pmap_m2);  
    map_init(pmap_m3);  
    map_init(pmap_m4);  
    pair_init(ppair_p);  
  
    for(i = 0; i < 3; ++i)  
    {
```

```

    pair_make(ppair_p, i, i);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);
    map_insert(pmap_m4, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, i, i * i);
    map_insert(pmap_m2, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, i, i - 1);
    map_insert(pmap_m3, ppair_p);
}

if(map_greater_equal(pmap_m1, pmap_m2))
{
    printf("The map m1 is greater than or equal to the map m2.\n");
}
else
{
    printf("The map m1 is less than the map m2.\n");
}

if(map_greater_equal(pmap_m1, pmap_m3))
{
    printf("The map m1 is greater than or equal to the map m3.\n");
}
else
{
    printf("The map m1 is less than the map m3.\n");
}

if(map_greater_equal(pmap_m1, pmap_m4))
{
    printf("The map m1 is greater than or equal to the map m4.\n");
}
else
{
    printf("The map m1 is less than the map m4.\n");
}

map_destroy(pmap_m1);
map_destroy(pmap_m2);
map_destroy(pmap_m3);
map_destroy(pmap_m4);
pair_destroy(ppair_p);

return 0;
}

```

● Output

```

The map m1 is less than the map m2.
The map m1 is greater than or equal to the map m3.
The map m1 is greater than or equal to the map m4.

```

18. map_init map_init_copy map_init_copy_range map_init_copy_range_ex map_init_ex

初始化 map_t 容器类型。

```

void map_init(
    map_t* pmap_map
);

```

```

void map_init_copy(
    map_t* pmap_map,
    const map_t* cmap_src
);

void map_init_copy_range(
    map_t* pmap_map,
    map_iterator_t it_begin,
    map_iterator_t it_end
);

void map_init_copy_range_ex(
    map_t* pmap_map,
    map_iterator_t it_begin,
    map_iterator_t it_end,
    binary_function_t bfun_keycompare
);

void map_init_ex(
    map_t* pmap_map,
    binary_function_t bfun_keycompare
);

```

● Parameters

pmap_map: 指向被初始化 `map_t` 类型的指针。
cmap_src: 指向用于初始化的 `map_t` 类型的指针。
it_begin: 用于初始化的数据区间的开始位置。
it_end: 用于初始化的数据区间的末尾位置。
bfun_keycompare: 自定义的键排序规则。

● Remarks

第一个函数初始化一个空的 `map_t`，使用与键的数据类型相关的小于操作函数作为默认的排序规则。

第二个函数使用一个源 `map_t` 来初始化 `map_t`，数据的内容和排序规则都从源 `map_t` 复制。

第三个函数使用指定的数据区间初始化一个 `map_t`，使用与键的数据类型相关的小于操作函数作为默认的排序规则。

第四个函数使用指定的数据区间初始化一个 `map_t`，使用用户指定的排序规则。

第五个函数初始化一个空的 `map_t`，使用用户指定的排序规则。

上面的函数要求迭代器和数据区间是有效的，无效的迭代器或数据区间导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 `<cstl/cmap.h>`

● Example

```

/*
 * map_init.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])

```



```

{
    map_t* pmap_m0 = create_map(int, int);
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);
    map_t* pmap_m2 = create_map(int, int);
    map_t* pmap_m3 = create_map(int, int);
    map_t* pmap_m4 = create_map(int, int);
    map_t* pmap_m5 = create_map(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    map_iterator_t it_m;

    if(pmap_m0 == NULL || pmap_m1 == NULL || pmap_m2 == NULL ||
        pmap_m3 == NULL || pmap_m4 == NULL || pmap_m5 == NULL ||
        ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppair_p);

    /* Create an empty map m0 of key type integer */
    map_init(pmap_m0);

    /*
     * Create an empty map m1 with the key comparison
     * function of less than, then insert 4 elements.
     */
    map_init_ex(pmap_m1, fun_less_int);
    pair_make(ppair_p, 1, 10);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 2, 20);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 3, 30);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 4, 40);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);

    /*
     * Create an empty map m2 with the key comparison
     * function of greater than, then insert 2 elements.
     */
    map_init_ex(pmap_m2, fun_greater_int);
    pair_make(ppair_p, 1, 10);
    map_insert(pmap_m2, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 2, 20);
    map_insert(pmap_m2, ppair_p);

    /* Create a copy, map m3, of map m1 */
    map_init_copy(pmap_m3, pmap_m1);

    /* Create a map m4 by copying the range m1[first, last) */
    map_init_copy_range(pmap_m4, map_begin(pmap_m1),
        iterator_advance(map_begin(pmap_m1), 2));

    /*
     * Create a map m5 by copying the range m3[first, last)
     * and with the key comparison function less than.
     */
    map_init_copy_range_ex(pmap_m5, map_begin(pmap_m3),
        iterator_next(map_begin(pmap_m3)), fun_less_int);
}

```

```

printf("m1 =");
for(it_m = map_begin(pmap_m1);
    !iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m1));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

printf("m2 =");
for(it_m = map_begin(pmap_m2);
    !iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m2));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

printf("m3 =");
for(it_m = map_begin(pmap_m3);
    !iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m3));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

printf("m4 =");
for(it_m = map_begin(pmap_m4);
    !iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m4));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

printf("m5 =");
for(it_m = map_begin(pmap_m5);
    !iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m5));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

map_destroy(pmap_m0);
map_destroy(pmap_m1);
map_destroy(pmap_m2);
map_destroy(pmap_m3);
map_destroy(pmap_m4);
map_destroy(pmap_m5);
pair_destroy(ppair_p);

return 0;
}

```

● Output

```

m1 = 10 20 30 40
m2 = 20 10

```

```
m3 = 10 20 30 40
m4 = 10 20
m5 = 10
```

19. map_insert map_insert_hint map_insert_range

向 map_t 中插入数据。

```
map_iterator_t map_insert(
    map_t* pmap_map,
    const pair_t* cppair_pair
);

map_iterator_t map_insert_hint(
    map_t* pmap_map,
    map_iterator_t it_hint,
    const pair_t* cppair_pair
);

void map_insert_range(
    map_t* pmap_map,
    map_iterator_t it_begin,
    map_iterator_t it_end
);
```

● Parameters

pmap_map: 指向 map_t 类型的指针。
cppair_pair: 插入的数据。
it_hint: 被插入数据的提示位置。
it_begin: 被插入的数据区间的开始位置。
it_end: 被插入的数据区间的末尾位置。

● Remarks

第一个函数向 map_t 中插入一个指定的数据，成功后返回指向该数据的迭代器，如果 map_t 中包含了该数据那么插入失败，返回 map_end()。

第二个函数向 map_t 中插入一个指定的数据，同时给出一个该数据被插入后的提示位置迭代器，如果这个位置符合 map_t 的排序规则就把这个数据放在提示位置中成功后返回指向该数据的迭代器，如果提示位置不正确则忽略提示位置，当数据插入成功后返回数据的实际位置迭代器，如果 map_t 中包含了该数据那么插入失败，返回 map_end()。

第三个函数插入指定的数据区间。

上面的函数要求迭代器和数据区间是有效的，无效的迭代器或数据区间导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```
/*
 * map_insert.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>
```

```

int main(int argc, char* argv[])
{
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);
    map_t* pmap_m2 = create_map(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    map_iterator_t it_m;

    if(pmap_m1 == NULL || pmap_m2 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppair_p);
    map_init(pmap_m1);
    map_init(pmap_m2);

    pair_make(ppair_p, 1, 10);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 2, 20);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 3, 30);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 4, 40);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);

    printf("The original key values of m1 =");
    for(it_m = map_begin(pmap_m1);
        !iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m1));
        it_m = iterator_next(it_m))
    {
        printf(" %d", *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(it_m)));
    }
    printf("\n");
    printf("The original mapped values of m1 =");
    for(it_m = map_begin(pmap_m1);
        !iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m1));
        it_m = iterator_next(it_m))
    {
        printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
    }
    printf("\n");

    pair_make(ppair_p, 1, 10);
    it_m = map_insert(pmap_m1, ppair_p);
    if(!iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m1)))
    {
        printf("The element 10 was inserted in m1 successfully.\n");
    }
    else
    {
        printf("The number 1 already exists in m1.\n");
    }

    /* The hint version of insert */
    pair_make(ppair_p, 5, 50);
    map_insert_hint(pmap_m1, iterator_prev(map_end(pmap_m1)), ppair_p);
    printf("After the insertions, the key values of m1 =");
    for(it_m = map_begin(pmap_m1);
        !iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m1));
        it_m = iterator_next(it_m))

```

```

{
    printf(" %d", *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");
printf("and mapped values of m1 =");
for(it_m = map_begin(pmap_m1);
    !iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m1));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

pair_make(ppair_p, 10, 100);
map_insert(pmap_m2, ppair_p);
/* The templated version inserting a range */
map_insert_range(pmap_m2, iterator_next(map_begin(pmap_m1)),
    iterator_prev(map_end(pmap_m1)));
printf("After the insertions, the key values of m2 =");
for(it_m = map_begin(pmap_m2);
    !iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m2));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");
printf("and mapped values of m2 =");
for(it_m = map_begin(pmap_m2);
    !iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m2));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

pair_destroy(ppair_p);
map_destroy(pmap_m1);
map_destroy(pmap_m2);

return 0;
}

```

● Output

```

The original key values of m1 = 1 2 3 4
The original mapped values of m1 = 10 20 30 40
The number 1 already exists in m1.
After the insertions, the key values of m1 = 1 2 3 4 5
and mapped values of m1 = 10 20 30 40 50
After the insertions, the key values of m2 = 2 3 4 10
and mapped values of m2 = 20 30 40 100

```

20. map_key_comp

返回 map_t 使用的键的比较规则。

```

binary_function_t map_key_comp(
    const map_t* cmap_map
);

```

- **Parameters**

cpmap_map: 指向 map_t 类型的指针。

- **Remarks**

这个排序规则是针对与数据中的键进行排序。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cmap.h>

- **Example**

```
/*
 * map_key_comp.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);
    map_t* pmap_m2 = create_map(int, int);
    binary_function_t bfun_kc = NULL;
    int n_element1 = 2;
    int n_element2 = 3;
    bool_t b_result = false;

    if(pmap_m1 == NULL || pmap_m2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    map_init_ex(pmap_m1, fun_less_int);

    bfun_kc = map_key_comp(pmap_m1);
    (*bfun_kc)(&n_element1, &n_element2, &b_result);
    if(b_result)
    {
        printf("(bfun_kc)(2, 3) returns value of true,"
               " where bfun_kc is the function of m1.\n");
    }
    else
    {
        printf("(bfun_kc)(2, 3) returns value of false,"
               " where bfun_kc is the function of m1.\n");
    }

    map_destroy(pmap_m1);

    map_init_ex(pmap_m2, fun_greater_int);

    bfun_kc = map_key_comp(pmap_m2);
    (*bfun_kc)(&n_element1, &n_element2, &b_result);
    if(b_result)
    {
        printf("(bfun_kc)(2, 3) returns value of true,"
               " where bfun_kc is the function of m2.\n");
    }
}
```

```

    }
    else
    {
        printf("(bfun_kc)(2, 3) returns value of false,"
               " where bfun_kc is the function of m2.\n");
    }

    map_destroy(pmap_m2);

    return 0;
}

```

● Output

(bfun_kc)(2, 3) returns value of true, where bfun_kc is the function of m1.
 (bfun_kc)(2, 3) returns value of false, where bfun_kc is the function of m2.

21. map_less

测试第一个 map_t 是否小于第二个 map_t。

```

bool_t map_less(
    const map_t* cmap_first,
    const map_t* cmap_second
);

```

● Parameters

cmap_first: 指向第一个 map_t 类型的指针。
cmap_second: 指向第二个 map_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 map_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```

/*
 * map_less.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);
    map_t* pmap_m2 = create_map(int, int);
    map_t* pmap_m3 = create_map(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    int i = 0;

    if(pmap_m1 == NULL || pmap_m2 == NULL || pmap_m3 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }
}

```

```

map_init(pmap_m1);
map_init(pmap_m2);
map_init(pmap_m3);
pair_init(ppair_p);

for(i = 0; i < 3; ++i)
{
    pair_make(ppair_p, i, i);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, i, i * i);
    map_insert(pmap_m2, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, i, i - 1);
    map_insert(pmap_m3, ppair_p);
}

if(map_less(pmap_m1, pmap_m2))
{
    printf("The map m1 is less than the map m2.\n");
}
else
{
    printf("The map m1 is not less than the map m2.\n");
}

if(map_less(pmap_m1, pmap_m3))
{
    printf("The map m1 is less than the map m3.\n");
}
else
{
    printf("The map m1 is not less than the map m3.\n");
}

map_destroy(pmap_m1);
map_destroy(pmap_m2);
map_destroy(pmap_m3);
pair_destroy(ppair_p);

return 0;
}

```

● Output

```

The map m1 is less than the map m2.
The map m1 is not less than the map m3.

```

22. map_less_equal

测试第一个 map_t 是否小于等于第二个 map_t。

```

bool_t map_less_equal(
    const map_t* cmap_first,
    const map_t* cmap_second
);

```

● Parameters

cmap_first: 指向第一个 map_t 类型的指针。

cmap_second: 指向第二个 `map_t` 类型的指针。

- **Remarks**

这个函数要求两个 `map_t` 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/cmap.h>`

- **Example**

```
/*
 * map_less_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);
    map_t* pmap_m2 = create_map(int, int);
    map_t* pmap_m3 = create_map(int, int);
    map_t* pmap_m4 = create_map(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    int i = 0;

    if(pmap_m1 == NULL || pmap_m2 == NULL || pmap_m3 == NULL ||
        pmap_m4 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    map_init(pmap_m1);
    map_init(pmap_m2);
    map_init(pmap_m3);
    map_init(pmap_m4);
    pair_init(ppair_p);

    for(i = 0; i < 3; ++i)
    {
        pair_make(ppair_p, i, i);
        map_insert(pmap_m1, ppair_p);
        map_insert(pmap_m4, ppair_p);
        pair_make(ppair_p, i, i * i);
        map_insert(pmap_m2, ppair_p);
        pair_make(ppair_p, i, i - 1);
        map_insert(pmap_m3, ppair_p);
    }

    if(map_less_equal(pmap_m1, pmap_m2))
    {
        printf("The map m1 is less than or equal to the map m2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The map m1 is greater than the map m2.\n");
    }

    if(map_less_equal(pmap_m1, pmap_m3))
```

```

{
    printf("The map m1 is less than or equal to the map m3.\n");
}
else
{
    printf("The map m1 is greater than the map m3.\n");
}

if(map_less_equal(pmap_m1, pmap_m4))
{
    printf("The map m1 is less than or equal to the map m4.\n");
}
else
{
    printf("The map m1 is greater than the map m4.\n");
}

map_destroy(pmap_m1);
map_destroy(pmap_m2);
map_destroy(pmap_m3);
map_destroy(pmap_m4);
pair_destroy(ppair_p);

return 0;
}

```

● Output

```

The map m1 is less than or equal to the map m2.
The map m1 is greater than the map m3.
The map m1 is less than or equal to the map m4.

```

23. map_lower_bound

返回 map_t 中包含指定键的第一个数据的迭代器。

```

map_iterator_t map_lower_bound(
    const map_t* cmap_map,
    key
);

```

● Parameters

cmap_map: 指向 map_t 类型的指针。
key: 指定的键。

● Remarks

如果 map_t 中不包含拥有指定键的数据则返回 map_t 中指向包含大于指定键的第一个数据的迭代器。如果指定的键是 map_t 中最大的键则返回 map_end()。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```

/*
 * map_lower_bound.c
 * compile with : -lcstl
 */

```

```

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    map_iterator_t it_m;

    if(pmap_m1 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppair_p);
    map_init(pmap_m1);

    pair_make(ppair_p, 1, 10);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 2, 20);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 3, 30);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);

    it_m = map_lower_bound(pmap_m1, 2);
    printf("The first element of map m1 with a key of 2 is: %d.\n",
        *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));

    /* If no match is found for this key, end() is returned */
    it_m = map_lower_bound(pmap_m1, 4);
    if(iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m1)))
    {
        printf("The map m1 doesn't have an element with a key of 4.\n");
    }
    else
    {
        printf("The element of map m1 with key of 4 is: %d.\n",
            *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
    }

    /*
     * The element at a specific location in the map can be found
     * using a dereferenced iterator addressing the location.
     */
    it_m = map_end(pmap_m1);
    it_m = iterator_prev(it_m);
    it_m = map_lower_bound(pmap_m1, *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(it_m)));
    printf("The element of m1 with a key matching"
        " that of the last element is: %d.\n",
        *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));

    pair_destroy(ppair_p);
    map_destroy(pmap_m1);

    return 0;
}

```

● Output

```
The first element of map m1 with a key of 2 is: 20.
The map m1 doesn't have an element with a key of 4.
The element of m1 with a key matching that of the last element is: 30.
```

24. map_max_size

返回 map_t 中包含数据数量的最大可能值。

```
size_t map_max_size(
    const map_t* cmap_map
);
```

- **Parameters**

cmap_map: 指向 map_t 类型的指针。

- **Remarks**

这是一个与系统相关的常数。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cmap.h>

- **Example**

```
/*
 * map_max_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);

    if(pmap_m1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    map_init(pmap_m1);

    printf("The maximum possible length of the map is %d.\n",
        map_max_size(pmap_m1));
    printf("(Magnitude is machine specific.)\n");

    map_destroy(pmap_m1);

    return 0;
}
```

- **Output**

```
The maximum possible length of the map is 7895160.
(Magnitude is machine specific.)
```

25. map_not_equal

测试两个 map_t 是否不等。

```
bool_t map_not_equal(  
    const map_t* cmap_first,  
    const map_t* cmap_second  
);
```

● Parameters

cmap_first: 指向第一个 map_t 类型的指针。
cmap_second: 指向第二个 map_t 类型的指针。

● Remarks

如果两个 map_t 容器中的数据都对应相等，并且数据个数相等，则返回 false 否则返回 true，如果两个 map_t 容器中保存的数据类型不同也认为是不等。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```
/*  
 * map_not_equal.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cmap.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);  
    map_t* pmap_m2 = create_map(int, int);  
    map_t* pmap_m3 = create_map(int, int);  
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);  
    int i = 0;  
  
    if(pmap_m1 == NULL || pmap_m2 == NULL || pmap_m3 == NULL || ppair_p == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    map_init(pmap_m1);  
    map_init(pmap_m2);  
    map_init(pmap_m3);  
    pair_init(ppair_p);  
  
    for(i = 0; i < 3; ++i)  
    {  
        pair_make(ppair_p, i, i);  
        map_insert(pmap_m1, ppair_p);  
        map_insert(pmap_m3, ppair_p);  
        pair_make(ppair_p, i, i * i);  
        map_insert(pmap_m2, ppair_p);  
    }  
  
    if(map_not_equal(pmap_m1, pmap_m2))  
    {
```

```

        printf("The maps m1 and m2 are not equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The maps m1 and m2 are equal.\n");
    }

    if(map_not_equal(pmap_m1, pmap_m3))
    {
        printf("The maps m1 and m3 are not equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The maps m1 and m3 are equal.\n");
    }

    map_destroy(pmap_m1);
    map_destroy(pmap_m2);
    map_destroy(pmap_m3);
    pair_destroy(ppair_p);

    return 0;
}

```

● Output

```

The maps m1 and m2 are not equal.
The maps m1 and m3 are equal.

```

26. map_size

返回 map_t 中数据的数量。

```

size_t map_size(
    const map_t* cmap_map
);

```

● Parameters

cmap_map: 指向 map_t 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```

/*
 * map_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);

    if(pmap_m1 == NULL || ppair_p == NULL)

```

```

{
    return -1;
}

pair_init(ppair_p);
map_init(pmap_m1);

pair_make(ppair_p, 1, 1);
map_insert(pmap_m1, ppair_p);
printf("The map length is %d.\n", map_size(pmap_m1));

pair_make(ppair_p, 2, 4);
map_insert(pmap_m1, ppair_p);
printf("The map length is now %d.\n", map_size(pmap_m1));

pair_destroy(ppair_p);
map_destroy(pmap_m1);

return 0;
}

```

● Output

```

The map length is 1.
The map length is now 2.

```

27. map_swap

交换两个 map_t 中的内容。

```

void map_swap(
    map_t* pmap_first,
    map_t* pmap_second
);

```

● Parameters

pmap_first: 指向第一个 map_t 类型的指针。
pmap_second: 指向第二个 map_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 map_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```

/*
 * map_swap.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);

```

```

map_t* pmap_m2 = create_map(int, int);
pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
map_iterator_t it_m;

if(pmap_m1 == NULL || pmap_m2 == NULL || ppair_p == NULL)
{
    return -1;
}

pair_init(ppair_p);
map_init(pmap_m1);
map_init(pmap_m2);

pair_make(ppair_p, 1, 10);
map_insert(pmap_m1, ppair_p);
pair_make(ppair_p, 2, 20);
map_insert(pmap_m1, ppair_p);
pair_make(ppair_p, 3, 30);
map_insert(pmap_m1, ppair_p);

pair_make(ppair_p, 10, 100);
map_insert(pmap_m2, ppair_p);
pair_make(ppair_p, 20, 200);
map_insert(pmap_m2, ppair_p);

printf("The original map m1 is:");
for(it_m = map_begin(pmap_m1);
    !iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m1));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

map_swap(pmap_m1, pmap_m2);

printf("After swapping with m2, map m1 is:");
for(it_m = map_begin(pmap_m1);
    !iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m1));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

pair_destroy(ppair_p);
map_destroy(pmap_m1);
map_destroy(pmap_m2);

return 0;
}

```

● Output

The original map m1 is: 10 20 30
 After swapping with m2, map m1 is: 100 200

28. map_upper_bound

返回 map_t 中包含大于指定键的第一个数据的迭代器。

```
map_iterator_t map_upper_bound(  
    const map_t* cmap_map,  
    key  
);
```

- **Parameters**

cmap_map: 指向 map_t 类型的指针。
key: 指定的键。

- **Remarks**

如果指定的键是 map_t 中最大的键则返回 map_end()。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cmap.h>

- **Example**

```
/*  
 * map_upper_bound.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cmap.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);  
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);  
    map_iterator_t it_m;  
  
    if(pmap_m1 == NULL || ppair_p == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    pair_init(ppair_p);  
    map_init(pmap_m1);  
  
    pair_make(ppair_p, 1, 10);  
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);  
    pair_make(ppair_p, 2, 20);  
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);  
    pair_make(ppair_p, 3, 30);  
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);  
  
    it_m = map_upper_bound(pmap_m1, 2);  
    printf("The first element of map m1 with a key greater than 2 is: %d.\n",  
        *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));  
  
    /* If no match is found for the key, end is returned */  
    it_m = map_upper_bound(pmap_m1, 4);  
    if(iterator_equal(it_m, map_end(pmap_m1)))  
    {  
        printf("The map m1 doesn't have an element with a key greater than 4.\n");  
    }  
}
```

```

    }
    else
    {
        printf("The element of map m1 with a key > 4 is: %d.\n",
               *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
    }

    /*
     * The element at a specific location in the map can be found
     * using a dereferenced iterator addressing the location
     */
    it_m = map_begin(pmap_m1);
    it_m = map_upper_bound(pmap_m1, *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(it_m)));
    printf("The first element of m1 with a key greater than"
           " that of the initial element of m1 is: %d.\n",
           *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));

    pair_destroy(ppair_p);
    map_destroy(pmap_m1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The first element of map m1 with a key greater than 2 is: 30.
The map m1 doesn't have an element with a key greater than 4.
The first element of m1 with a key greater than that of the initial element of m1
is: 20.

```

29. map_value_comp

返回 map_t 使用的数据比较规则。

```

binary_function_t map_value_comp(
    const map_t* cmap_map
);

```

● Parameters

cmap_map: 指向 map_t 类型的指针。

● Remarks

这个规则是针对数据本身的比较规则而不是键或者值。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```

/*
 * map_value_comp.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

```

```

int main(int argc, char* argv[])
{
    map_t* pmap_m1 = create_map(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    binary_function_t bfun_vc = NULL;
    bool_t b_result = false;
    map_iterator_t it_m1;
    map_iterator_t it_m2;

    if(pmap_m1 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppair_p);
    map_init_ex(pmap_m1, fun_less_int);

    pair_make(ppair_p, 1, 10);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 2, 5);
    map_insert(pmap_m1, ppair_p);

    it_m1 = map_find(pmap_m1, 1);
    it_m2 = map_find(pmap_m1, 2);
    bfun_vc = map_value_comp(pmap_m1);

    (*bfun_vc)(iterator_get_pointer(it_m1), iterator_get_pointer(it_m2), &b_result);
    if(b_result)
    {
        printf("The element (1, 10) precedes the element (2, 5).\n");
    }
    else
    {
        printf("The element (1, 10) does not precedes the element (2, 5).\n");
    }

    (*bfun_vc)(iterator_get_pointer(it_m2), iterator_get_pointer(it_m1), &b_result);
    if(b_result)
    {
        printf("The element (2, 5) precedes the element (1, 10).\n");
    }
    else
    {
        printf("The element (2, 5) does not precedes the element (1, 10).\n");
    }

    pair_destroy(ppair_p);
    map_destroy(pmap_m1);

    return 0;
}

```

● Output

The element (1, 10) precedes the element (2, 5).
The element (2, 5) does not precedes the element (1, 10).

第八节 多重映射 multimap_t

多重映射 multimap_t 是关联容器，容器中保存的数据是 pair_t 类型。pair_t 的第一个数据是键，multimap_t 中的数据就是根据这个键排序的，在 multimap_t 中键允许重复，不可以直接或者间接修改键。pair_t 的第二个数据是值，值与键没有直接的关系，值对于 multimap_t 中的数据排序没有影响，可以直接或者间接修改值。

multimap_t 的迭代器是双向迭代器，插入新的数据不会破坏原有的迭代器，删除一个数据的时候只有指向该数据的迭代器失效。在 multimap_t 中查找，插入或者删除数据都是高效的。

multimap_t 中的数据根据键按照指定规则自动排序，默认规则是与键相关的小于操作，用户也可以在初始化时指定自定义的规则。

● Typedefs

multimap_t	多重映射容器类型。
multimap_iterator_t	多重映射容器迭代器类型。

● Operation Functions

create_multimap	创建多重映射容器类型。
multimap_assign	为多重映射容器类型赋值。
multimap_begin	返回指向多重映射容器中的第一个数据的迭代器。
multimap_clear	删除多重映射容器中所有的数据。
multimap_count	返回多重映射容器中包含指定键的数据的个数。
multimap_destroy	销毁多重映射容器。
multimap_empty	测试多重映射容器是否为空。
multimap_end	返回指向多重映射容器末尾的迭代器。
multimap_equal	测试两个多重映射容器是否相等。
multimap_equal_range	返回多重映射容器中包含拥有指定键的数据的数据区间。
multimap_erase	删除多重映射容器中包含指定键的数据。
multimap_erase_pos	删除多重映射容器中指定位置的数据。
multimap_erase_range	删除多重映射容器中指定数据区间的数据。
multimap_find	在多重映射容器中查找包含指定键的数据。
multimap_greater	测试第一个多重映射容器是否大于第二个多重映射容器。
multimap_greater_equal	测试第一个多重映射容器是否大于等于第二个多重映射容器。
multimap_init	初始化一个空的多重映射容器。
multimap_init_copy	使用多重映射容器初始化当前多重映射容器。
multimap_init_copy_range	使用指定的数据区间初始化多重映射容器。
multimap_init_copy_range_ex	使用指定的数据区间和指定的排序规则初始化多重映射容器。
multimap_init_ex	使用指定的排序规则初始化一个空的多重映射容器。
multimap_insert	向多重映射容器中插入一个指定的数据。
multimap_insert_hint	向多重映射容器中插入一个指定的数据，同时给出位置提示。
multimap_insert_range	向多重映射容器中插入指定的数据区间。
multimap_key_comp	返回多重映射容器使用的键比较规则。
multimap_less	测试第一个多重映射容器是否小于第二个多重映射容器。

<code>multimap_less_equal</code>	测试第一个多重映射容器是否小于等于第二个多重映射容器。
<code>multimap_lower_bound</code>	返回多重映射容器中包含指定键的第一个数据的迭代器。
<code>multimap_max_size</code>	返回多重映射容器中能够保存的数据数量的最大可能值。
<code>multimap_not_equal</code>	测试两个多重映射容器是否不等。
<code>multimap_size</code>	返回多重映射容器中数据的数量。
<code>multimap_swap</code>	交换两个多重映射容器的内容。
<code>multimap_upper_bound</code>	返回多重映射容器中包含大于指定键的第一个数据的迭代器。
<code>multimap_value_comp</code>	返回多重映射容器中数据的比较规则。

1. `multimap_t`

多重映射容器类型。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/cmap.h>`

- **Example**

请参考 `multimap_t` 类型的其他操作函数。

2. `multimap_iterator_t`

多重映射容器类型的迭代器类型。

- **Remarks**

`multimap_iterator_t` 是双向迭代器类型，不能通过迭代器来修改容器中数据的键，但是可以修改数据的值。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/cmap.h>`

- **Example**

请参考 `multimap_t` 类型的其他操作函数。

3. `create_multimap`

创建 `multimap_t` 类型。

```
multimap_t* create_multimap(
    type
);
```

- **Parameters**

type: 数据类型描述。

- **Remarks**

函数成功返回指向 `multimap_t` 类型的指针，失败返回 `NULL`。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/cmap.h>`

- **Example**

请参考 `multimap_t` 类型的其他操作函数。

4. `multimap_assign`

为 `multimap_t` 赋值。

```
void multimap_assign(  
    multimap_t* pmmmap_dest,  
    const multimap_t* cpmmmap_src  
);
```

- **Parameters**

`pmmmap_dest`: 指向被赋值的 `multimap_t` 类型的指针。

`cpmmmap_src`: 指向赋值的 `multimap_t` 类型的指针。

- **Remarks**

要求两个 `multimap_t` 类型保存的数据具有相同的类型，否则函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/cmap.h>`

- **Example**

```
/*  
 * multimap_assign.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cmap.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    multimap_t* pmmmap_m1 = create_multimap(int, int);  
    multimap_t* pmmmap_m2 = create_multimap(int, int);  
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);  
    multimap_iterator_t it_m;  
  
    if(pmmmap_m1 == NULL || pmmmap_m2 == NULL || ppair_p == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    pair_init(ppair_p);  
    multimap_init(pmmmap_m1);  
    multimap_init(pmmmap_m2);  
  
    pair_make(ppair_p, 1, 10);  
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);  
    pair_make(ppair_p, 2, 20);  
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);  
    pair_make(ppair_p, 3, 30);  
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);  
  
    pair_make(ppair_p, 4, 40);  
    multimap_insert(pmmmap_m2, ppair_p);
```

```

pair_make(ppair_p, 5, 50);
multimap_insert(pmmmap_m2, ppair_p);
pair_make(ppair_p, 6, 60);
multimap_insert(pmmmap_m2, ppair_p);

printf("m1 =");
for(it_m = multimap_begin(pmmmap_m1);
    !iterator_equal(it_m, multimap_end(pmmmap_m1));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" <%d, %d>",
        *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(it_m)),
        *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

multimap_assign(pmmmap_m1, pmmmap_m2);

printf("m1 =");
for(it_m = multimap_begin(pmmmap_m1);
    !iterator_equal(it_m, multimap_end(pmmmap_m1));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" <%d, %d>",
        *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(it_m)),
        *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

pair_destroy(ppair_p);
multimap_destroy(pmmmap_m1);
multimap_destroy(pmmmap_m2);

return 0;
}

```

● Output

```

m1 = <1, 10> <2, 20> <3, 30>
m1 = <4, 40> <5, 50> <6, 60>

```

5. multimap_begin

返回指向 multimap_t 中第一个数据的迭代器。

```

multimap_iterator_t multimap_begin(
    const multimap_t* cpmmap_multimap
);

```

● Parameters

cpmmap_multimap: 指向 multimap_t 类型的指针。

● Remarks

如果 multimap_t 为空，这个函数的返回值与 multimap_end() 相等。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```
/*
 * multimap_begin.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multimap_t* pmmmap_m1 = create_multimap(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);

    if(pmmmap_m1 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    multimap_init(pmmmap_m1);
    pair_init(ppair_p);

    pair_make(ppair_p, 0, 0);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 1, 1);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 2, 4);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);

    printf("The first element of m1 is %d\n",
        *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(multimap_begin(pmmmap_m1))));

    multimap_erase_pos(pmmmap_m1, multimap_begin(pmmmap_m1));

    printf("The first element of m1 is now %d\n",
        *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(multimap_begin(pmmmap_m1))));

    multimap_destroy(pmmmap_m1);
    pair_destroy(ppair_p);

    return 0;
}
```

● Output

```
The first element of m1 is 0
The first element of m1 is now 1
```

6. multimap_clear

删除 multimap_t 中所有的数据。

```
void multimap_clear(
    multimap_t* pmmmap_multimap
);
```

● Parameters

cpmap_map: 指向 map_t 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```
/*
 * multimap_clear.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multimap_t* pmmmap_m1 = create_multimap(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);

    if(pmmmap_m1 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppair_p);
    multimap_init(pmmmap_m1);

    pair_make(ppair_p, 1, 1);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 2, 4);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);

    printf("The size of the multimap is initially %d.\n",
        multimap_size(pmmmap_m1));

    multimap_clear(pmmmap_m1);
    printf("The size of the multimap after clearing is %d.\n",
        multimap_size(pmmmap_m1));

    pair_destroy(ppair_p);
    multimap_destroy(pmmmap_m1);

    return 0;
}
```

● Output

```
The size of the multimap is initially 2.
The size of the multimap after clearing is 0.
```

7. multimap_count

返回 multimap_t 中包含指定键的数据的数量。

```
size_t multimap_count(
    const multimap_t* cpmmap_multimap,
    key
);
```

● Parameters

cpmmmap_multimap: 指向 multimap_t 类型的指针。
key: 指定的键。

● Remarks

如果容器中没有包含指定键的数据返回 0， 否这返回包含指定键的数据的个数。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```
/*
 * multimap_count.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multimap_t* pmmmap_m1 = create_multimap(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);

    if(pmmmap_m1 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppair_p);
    multimap_init(pmmmap_m1);

    pair_make(ppair_p, 1, 1);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 2, 1);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 1, 4);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 2, 1);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);

    /* Keys must be unique in multimap, so duplicates are ignored */
    printf("The number of elements in m1 with a sort key of 1 is: %d.\n",
        multimap_count(pmmmap_m1, 1));
    printf("The number of elements in m1 with a sort key of 2 is: %d.\n",
        multimap_count(pmmmap_m1, 2));
    printf("The number of elements in m1 with a sort key of 3 is: %d.\n",
        multimap_count(pmmmap_m1, 3));

    pair_destroy(ppair_p);
    multimap_destroy(pmmmap_m1);

    return 0;
}
```

● Output

```
The number of elements in m1 with a sort key of 1 is: 2.
The number of elements in m1 with a sort key of 2 is: 2.
```

The number of elements in m1 with a sort key of 3 is: 0.

8. `multimap_destroy`

销毁 `multimap_t` 类型。

```
void multimap_destroy(  
    multimap_t* pmmmap_multimap  
);
```

- **Parameters**

`pmmmap_multimap`: 指向 `multimap_t` 类型的指针。

- **Remarks**

`multimap_t` 容器使用之后一定要销毁，否则 `multimap_t` 申请的资源不会被释放。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/cmap.h>`

- **Example**

请参考 `multimap_t` 类型的其他操作函数。

9. `multimap_empty`

测试 `multimap_t` 是否为空。

```
bool_t multimap_empty(  
    const multimap_t* cpmmap_multimap  
);
```

- **Parameters**

`cpmmap_multimap`: 指向 `multimap_t` 类型的指针。

- **Remarks**

`multimap_t` 容器为空返回 `true`，否则返回 `false`。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/cmap.h>`

- **Example**

```
/*  
 * multimap_empty.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cmap.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    multimap_t* pmmmap_m1 = create_multimap(int, int);  
    multimap_t* pmmmap_m2 = create_multimap(int, int);  
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
```

```

if(pmmmap_m1 == NULL || pmmmap_m2 == NULL || ppair_p == NULL)
{
    return -1;
}

pair_init(ppair_p);
multimap_init(pmmmap_m1);
multimap_init(pmmmap_m2);

pair_make(ppair_p, 1, 1);
multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);

if(multimap_empty(pmmmap_m1))
{
    printf("The multimap m1 is empty.\n");
}
else
{
    printf("The multimap m1 is not empty.\n");
}

if(multimap_empty(pmmmap_m2))
{
    printf("The multimap m2 is empty.\n");
}
else
{
    printf("The multimap m2 is not empty.\n");
}

pair_destroy(ppair_p);
multimap_destroy(pmmmap_m1);
multimap_destroy(pmmmap_m2);

return 0;
}

```

● Output

```

The multimap m1 is not empty.
The multimap m2 is empty.

```

10. multimap_end

返回指向 multimap_t 末尾的迭代器。

```

multimap_iterator_t multimap_end(
    const multimap_t* cpmmap_multimap
);

```

● Parameters

cpmmap_multimap: 指向 multimap_t 类型的指针。

● Remarks

如果 multimap_t 为空，这个函数的返回值与 multimap_begin() 相等。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```
/*
 * multimap_end.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multimap_t* pmmmap_m1 = create_multimap(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    multimap_iterator_t it_m;

    if(pmmmap_m1 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppair_p);
    multimap_init(pmmmap_m1);

    pair_make(ppair_p, 1, 10);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 2, 20);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 3, 30);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);

    it_m = multimap_end(pmmmap_m1);
    it_m = iterator_prev(it_m);
    printf("the value of the last element of m1 is: %d\n",
        *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));

    multimap_erase_pos(pmmmap_m1, it_m);

    it_m = multimap_end(pmmmap_m1);
    it_m = iterator_prev(it_m);
    printf("the value of the last element of m1 is now: %d\n",
        *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));

    pair_destroy(ppair_p);
    multimap_destroy(pmmmap_m1);

    return 0;
}
```

● Output

```
the value of the last element of m1 is: 30
the value of the last element of m1 is now: 20
```

11. multimap_equal

测试两个 multimap_t 是否相等。

```
bool_t multimap_equal(
```

```

    const multimap_t* cpmmap_first,
    const multimap_t* cpmmap_second
);

```

● Parameters

cpmmap_first: 指向第一个 multimap_t 类型的指针。
cpmmap_second: 指向第二个 multimap_t 类型的指针。

● Remarks

如果两个 multimap_t 容器中的数据都对应相等，并且数据个数相等，则返回 true 否则返回 false，如果两个 multimap_t 容器中保存的数据类型不同也认为是不等。

● Requirements

头文件 <cstdlib/cmap.h>

● Example

```

/*
 * multimap_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multimap_t* pmmmap_m1 = create_multimap(int, int);
    multimap_t* pmmmap_m2 = create_multimap(int, int);
    multimap_t* pmmmap_m3 = create_multimap(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    int i = 0;

    if(pmmmap_m1 == NULL || pmmmap_m2 == NULL || pmmmap_m3 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    multimap_init(pmmmap_m1);
    multimap_init(pmmmap_m2);
    multimap_init(pmmmap_m3);
    pair_init(ppair_p);

    for(i = 0; i < 3; ++i)
    {
        pair_make(ppair_p, i, i);
        multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
        multimap_insert(pmmmap_m3, ppair_p);
        pair_make(ppair_p, i, i * i);
        multimap_insert(pmmmap_m2, ppair_p);
    }

    if(multimap_equal(pmmmap_m1, pmmmap_m2))
    {
        printf("The multimaps m1 and m2 are equal.\n");
    }
    else
    {

```

```

        printf("The multimaps m1 and m2 are not equal.\n");
    }

    if(multimap_equal(pmmmap_m1, pmmmap_m3))
    {
        printf("The multimaps m1 and m3 are equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The multimaps m1 and m3 are not equal.\n");
    }

    multimap_destroy(pmmmap_m1);
    multimap_destroy(pmmmap_m2);
    multimap_destroy(pmmmap_m3);
    pair_destroy(ppair_p);

    return 0;
}

```

● Output

```

The multimaps m1 and m2 are not equal.
The multimaps m1 and m3 are equal.

```

12. multimap_equal_range

返回 multimap_t 中包含拥有指定键的数据的数据区间。

```

range_t multimap_equal_range(
    const multimap_t* cpmmap_multimap,
    key
);

```

● Parameters

cpmmap_multimap: 指向 multimap_t 类型的指针。
key: 指定的键。

● Remarks

返回 multimap_t 中包含拥有指定键的数据的数据区间[range_t.it_begin, range_t.it_end), 其中 it_begin 是指向拥有指定键的第一个数据的迭代器, it_end 指向拥有大于指定键的第一个数据的迭代器。如果 multimap_t 中不包含拥有指定键的数据则 it_begin 与 it_end 相等。如果指定的键是 multimap_t 中最大的键则 it_end 等于 multimap_end()。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```

/*
 * multimap_equal_range.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])

```

```

{
    multimap_t* pmmmap_m1 = create_multimap(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    multimap_iterator_t it_m;
    range_t r_r;

    if(pmmmap_m1 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppair_p);
    multimap_init(pmmmap_m1);

    pair_make(ppair_p, 1, 10);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 2, 20);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 3, 30);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);

    r_r = multimap_equal_range(pmmmap_m1, 2);

    printf("The lower bound of the element with a key of 2 "
           "in the multimap m1 is: %d.\n",
           *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(r_r.it_begin)));
    printf("The upper bound of the element with a key of 2 "
           "in the multimap m1 is: %d.\n",
           *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(r_r.it_end)));

    it_m = multimap_upper_bound(pmmmap_m1, 2);
    printf("A direct call of upper_bound(2) gives %d, matching "
           "the second element of the range returned by equal_range(2).\n",
           *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));

    r_r = multimap_equal_range(pmmmap_m1, 4);
    /* If no match is found for the key, both elements of the range return end() */
    if(iterator_equal(r_r.it_begin, multimap_end(pmmmap_m1)) &&
       iterator_equal(r_r.it_end, multimap_end(pmmmap_m1)))
    {
        printf("The multimap m1 doesn't have an element"
               " with a key less than 40.\n");
    }
    else
    {
        printf("The element of multimap m1 with a key >= 40 is %d.\n",
               *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(r_r.it_begin)));
    }

    pair_destroy(ppair_p);
    multimap_destroy(pmmmap_m1);

    return 0;
}

```

● Output

The lower bound of the element with a key of 2 in the multimap m1 is: 20.
 The upper bound of the element with a key of 2 in the multimap m1 is: 30.
 A direct call of upper_bound(2) gives 30, matching the second element of the range

returned by `equal_range(2)`.
The `multimap m1` doesn't have an element with a key less than 40.

13. `multimap_erase` `multimap_erase_pos` `multimap_erase_range`

删除 `multimap_t` 中的数据。

```
size_t multimap_erase(  
    multimap_t* pmmmap_multimap,  
    key  
);  
  
void multimap_erase_pos(  
    multimap_t* pmmmap_multimap,  
    multimap_iterator_t it_pos  
);  
  
void multimap_erase_range(  
    multimap_t* pmmmap_multimap,  
    multimap_iterator_t it_begin,  
    multimap_iterator_t it_end  
);
```

● Parameters

pmmmap_multimap: 指向 `multimap_t` 类型的指针。
key: 被删除的数据的键。
it_pos: 指向被删除的数据的迭代器。
it_begin: 指向被删除的数据区间开始位置的迭代器。
it_end: 指向被删除的数据区间末尾的迭代器。

● Remarks

第一个函数删除 `multimap_t` 容器中包含指定键的数据，并返回删除数据的个数，如果容器中没有包含指定键的数据则返回 0。

第二个函数删除指定位置的数据。

第三个函数删除指定数据区间中的数据。

上面操作函数中的迭代器和数据区间都要求是有效的，无效的迭代器和数据区间将导致函数行为未定义。

● Requirements

头文件 `<cstl/cmap.h>`

● Example

```
/*  
 * multimap_erase.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cmap.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    multimap_t* pmmmap_m1 = create_multimap(int, int);  
    multimap_t* pmmmap_m2 = create_multimap(int, int);  
    multimap_t* pmmmap_m3 = create_multimap(int, int);  
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
```

```

multimap_iterator_t it_m;
int i = 0;
size_t t_count = 0;

if(pmmmap_m1 == NULL || pmmmap_m2 == NULL || pmmmap_m3 == NULL || ppair_p == NULL)
{
    return -1;
}

pair_init(ppair_p);
multimap_init(pmmmap_m1);
multimap_init(pmmmap_m2);
multimap_init(pmmmap_m3);

for(i = 1; i < 5; ++i)
{
    pair_make(ppair_p, i, i);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, i, i * i);
    multimap_insert(pmmmap_m2, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, i, i - 1);
    multimap_insert(pmmmap_m3, ppair_p);
}

/* The first function removes an element at a given position */
it_m = multimap_begin(pmmmap_m1);
it_m = iterator_next(it_m);
multimap_erase_pos(pmmmap_m1, it_m);

printf("After the second element is deleted, the multimap m1 is:");
for(it_m = multimap_begin(pmmmap_m1);
    !iterator_equal(it_m, multimap_end(pmmmap_m1));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

/* The second function removes elements in the range [first, last) */
multimap_erase_range(pmmmap_m2, iterator_next(multimap_begin(pmmmap_m2)),
    iterator_prev(multimap_end(pmmmap_m2)));

printf("After the middle two elements are deleted, the multimap m2 is:");
for(it_m = multimap_begin(pmmmap_m2);
    !iterator_equal(it_m, multimap_end(pmmmap_m2));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

/* The third function removes elements with a given key */
pair_make(ppair_p, 2, 5);
multimap_insert(pmmmap_m3, ppair_p);
t_count = multimap_erase(pmmmap_m3, 2);

printf("After the element with a key of 2 is deleted, the multimap m3 is:");
for(it_m = multimap_begin(pmmmap_m3);
    !iterator_equal(it_m, multimap_end(pmmmap_m3));
    it_m = iterator_next(it_m))

```

```

{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");
/* The third function returns the number of elements removed */
printf("The number of elements removed from m3 is: %d.\n", t_count);

pair_destroy(ppair_p);
multimap_destroy(pmmmap_m1);
multimap_destroy(pmmmap_m2);
multimap_destroy(pmmmap_m3);

return 0;
}

```

● Output

After the second element is deleted, the multimap m1 is: 1 3 4
 After the middle two elements are deleted, the multimap m2 is: 1 16
 After the element with a key of 2 is deleted, the multimap m3 is: 0 2 3
 The number of elements removed from m3 is: 2.

14. multimap_find

在 multimap_t 中查找包含指定键的数据。

```

multimap_iterator_t multimap_find(
    const multimap_t* cpmmap_multimap,
    key
);

```

● Parameters

cpmmap_multimap: 指向 multimap_t 类型的指针。
key: 被删除的数据的键。

● Remarks

如果 multimap_t 中存在包含指定键的数据，返回指向该数据的迭代器，否则返回 multimap_end()。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```

/*
 * multimap_find.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multimap_t* pmmmap_m1 = create_multimap(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    multimap_iterator_t it_m;

    if(pmmmap_m1 == NULL || ppair_p == NULL)

```

```

{
    return -1;
}

pair_init(ppair_p);
multimap_init(pmmmap_m1);

pair_make(ppair_p, 1, 10);
multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
pair_make(ppair_p, 2, 20);
multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
pair_make(ppair_p, 3, 20);
multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
pair_make(ppair_p, 3, 30);
multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);

it_m = multimap_find(pmmmap_m1, 2);
printf("The element of multimap m1 with a key of 2 is: %d.\n",
    *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));

it_m = multimap_find(pmmmap_m1, 3);
printf("The first element of multimap m1 with a key of 3 is: %d.\n",
    *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));

/* If no match is found for the key, end() is returned */
it_m = multimap_find(pmmmap_m1, 4);
if(iterator_equal(it_m, multimap_end(pmmmap_m1)))
{
    printf("The multimap m1 doesn't have an element with a key of 4.\n");
}
else
{
    printf("The element of multimap m1 with a key of 4 is: %d.\n",
        *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}

/*
 * The element at a specific location in the multimap can be found
 * using a dereferenced iterator addressing the location
 */
it_m = multimap_end(pmmmap_m1);
it_m = iterator_prev(it_m);
it_m = multimap_find(pmmmap_m1, *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(it_m)));
printf("The element of m1 with a key matching "
    "that of the last element is: %d.\n",
    *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));

/*
 * Note that the first element with a key equal to
 * the key of the last element is not the last element.
 */
if(iterator_equal(it_m, iterator_prev(multimap_end(pmmmap_m1))))
{
    printf("This is the last element of multimap m1.\n");
}
else
{
    printf("This is not the last element of multimap m1.\n");
}

```

```

pair_destroy(ppair_p);
multimap_destroy(pmmmap_m1);

return 0;
}

```

● Output

```

The element of multimap m1 with a key of 2 is: 20.
The first element of multimap m1 with a key of 3 is: 20.
The multimap m1 doesn't have an element with a key of 4.
The element of m1 with a key matching that of the last element is: 20.
This is not the last element of multimap m1.

```

15. multimap_greater

测试第一个 multimap_t 是否大于第二个 multimap_t。

```

bool_t multimap_greater(
    const multimap_t* cpmmap_first,
    const multimap_t* cpmmap_second
);

```

● Parameters

cpmmap_first: 指向第一个 multimap_t 类型的指针。
cpmmap_second: 指向第二个 multimap_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 multimap_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```

/*
 * multimap_greater.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multimap_t* pmmmap_m1 = create_multimap(int, int);
    multimap_t* pmmmap_m2 = create_multimap(int, int);
    multimap_t* pmmmap_m3 = create_multimap(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    int i = 0;

    if(pmmmap_m1 == NULL || pmmmap_m2 == NULL || pmmmap_m3 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    multimap_init(pmmmap_m1);
    multimap_init(pmmmap_m2);

```

```

multimap_init(pmmmap_m3);
pair_init(ppair_p);

for(i = 0; i < 3; ++i)
{
    pair_make(ppair_p, i, i);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, i, i * i);
    multimap_insert(pmmmap_m2, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, i, i - 1);
    multimap_insert(pmmmap_m3, ppair_p);
}

if(multimap_greater(pmmmap_m1, pmmmap_m2))
{
    printf("The multimap m1 is greater than the multimap m2.\n");
}
else
{
    printf("The multimap m1 is not greater than the multimap m2.\n");
}

if(multimap_greater(pmmmap_m1, pmmmap_m3))
{
    printf("The multimap m1 is greater than the multimap m3.\n");
}
else
{
    printf("The multimap m1 is not greater than the multimap m3.\n");
}

multimap_destroy(pmmmap_m1);
multimap_destroy(pmmmap_m2);
multimap_destroy(pmmmap_m3);
pair_destroy(ppair_p);

return 0;
}

```

● Output

```

The multimap m1 is not greater than the multimap m2.
The multimap m1 is greater than the multimap m3.

```

16. multimap_greater_equal

测试第一个 multimap_t 是否大于等于第二个 multimap_t。

```

bool_t multimap_greater_equal(
    const multimap_t* cpmmap_first,
    const multimap_t* cpmmap_second
);

```

● Parameters

cpmmap_first: 指向第一个 multimap_t 类型的指针。
cpmmap_second: 指向第二个 multimap_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 `multimap_t` 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 `<cstl/cmap.h>`

● Example

```
/*
 * multimap_greater_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multimap_t* pmmmap_m1 = create_multimap(int, int);
    multimap_t* pmmmap_m2 = create_multimap(int, int);
    multimap_t* pmmmap_m3 = create_multimap(int, int);
    multimap_t* pmmmap_m4 = create_multimap(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    int i = 0;

    if(pmmmap_m1 == NULL || pmmmap_m2 == NULL || pmmmap_m3 == NULL ||
        pmmmap_m4 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    multimap_init(pmmmap_m1);
    multimap_init(pmmmap_m2);
    multimap_init(pmmmap_m3);
    multimap_init(pmmmap_m4);
    pair_init(ppair_p);

    for(i = 0; i < 3; ++i)
    {
        pair_make(ppair_p, i, i);
        multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
        multimap_insert(pmmmap_m4, ppair_p);
        pair_make(ppair_p, i, i * i);
        multimap_insert(pmmmap_m2, ppair_p);
        pair_make(ppair_p, i, i - 1);
        multimap_insert(pmmmap_m3, ppair_p);
    }

    if(multimap_greater_equal(pmmmap_m1, pmmmap_m2))
    {
        printf("The multimap m1 is greater than or equal to the multimap m2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The multimap m1 is less than the multimap m2.\n");
    }

    if(multimap_greater_equal(pmmmap_m1, pmmmap_m3))
    {
        printf("The multimap m1 is greater than or equal to the multimap m3.\n");
    }
}
```

```

else
{
    printf("The multimap m1 is less than the multimap m3.\n");
}

if(multimap_greater_equal(pmmmap_m1, pmmmap_m4))
{
    printf("The multimap m1 is greater than or equal to the multimap m4.\n");
}
else
{
    printf("The multimap m1 is less than the multimap m4.\n");
}

multimap_destroy(pmmmap_m1);
multimap_destroy(pmmmap_m2);
multimap_destroy(pmmmap_m3);
multimap_destroy(pmmmap_m4);
pair_destroy(ppair_p);

return 0;
}

```

● Output

```

The multimap m1 is less than the multimap m2.
The multimap m1 is greater than or equal to the multimap m3.
The multimap m1 is greater than or equal to the multimap m4.

```

17. multimap_init multimap_init_copy multimap_init_copy_range multimap_init_copy_range_ex multimap_init_ex

初始化 multimap_t。

```

void multimap_init(
    multimap_t* pmmmap_multimap
);

void multimap_init_copy(
    multimap_t* pmmmap_multimap,
    const multimap_t* cpmmmap_src
);

void multimap_init_copy_range(
    multimap_t* pmmmap_multimap,
    multimap_iterator_t it_begin,
    multimap_iterator_t it_end
);

void multimap_init_copy_range_ex(
    multimap_t* pmmmap_multimap,
    multimap_iterator_t it_begin,
    multimap_iterator_t it_end,
    binary_function_t bfun_keycompare
);

void multimap_init_ex(

```



```

    multimap_t* pmmmap_multimap,
    binary_function_t bfun_keycompare
);

```

● Parameters

pmmmap_multimap: 指向被初始化 multimap_t 类型的指针。
cpmmmap_src: 指向用于初始化的 multimap_t 类型的指针。
it_begin: 用于初始化的数据区间的开始位置。
it_end: 用于初始化的数据区间的末尾位置。
bfun_keycompare: 自定义的键排序规则。

● Remarks

第一个函数初始化一个空的 multimap_t，使用与键的数据类型相关的小于操作函数作为默认的排序规则。

第二个函数使用一个源 multimap_t 来初始化 multimap_t，数据的内容和排序规则都从源 multimap_t 复制。

第三个函数使用指定的数据区间初始化一个 multimap_t，使用与键的数据类型相关的小于操作函数作为默认的排序规则。

第四个函数使用指定的数据区间初始化一个 multimap_t，使用用户指定的排序规则。

第五个函数初始化一个空的 multimap_t，使用用户指定的排序规则。

上面的函数要求迭代器和数据区间是有效的，无效的迭代器或数据区间导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```

/*
 * multimap_init.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multimap_t* pmmmap_m0 = create_multimap(int, int);
    multimap_t* pmmmap_m1 = create_multimap(int, int);
    multimap_t* pmmmap_m2 = create_multimap(int, int);
    multimap_t* pmmmap_m3 = create_multimap(int, int);
    multimap_t* pmmmap_m4 = create_multimap(int, int);
    multimap_t* pmmmap_m5 = create_multimap(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    multimap_iterator_t it_m;

    if(pmmmap_m0 == NULL || pmmmap_m1 == NULL || pmmmap_m2 == NULL ||
        pmmmap_m3 == NULL || pmmmap_m4 == NULL || pmmmap_m5 == NULL ||
        ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppair_p);

    /* Create an empty multimap m0 of key type integer */
    multimap_init(pmmmap_m0);

```

```

/*
 * Create an empty multimap m1 with the key comparison
 * function of less than, then insert 4 elements.
 */
multimap_init_ex(pmmmap_m1, fun_less_int);
pair_make(ppair_p, 1, 10);
multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
pair_make(ppair_p, 2, 20);
multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
pair_make(ppair_p, 3, 30);
multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
pair_make(ppair_p, 4, 40);
multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);

/*
 * Create an empty multimap m2 with the key comparison
 * function of greater than, then insert 2 elements.
 */
multimap_init_ex(pmmmap_m2, fun_greater_int);
pair_make(ppair_p, 1, 10);
multimap_insert(pmmmap_m2, ppair_p);
pair_make(ppair_p, 2, 20);
multimap_insert(pmmmap_m2, ppair_p);

/* Create a copy, multimap m3, of multimap m1 */
multimap_init_copy(pmmmap_m3, pmmmap_m1);

/* Create a multimap m4 by copying the range m1[first, last) */
multimap_init_copy_range(pmmmap_m4, multimap_begin(pmmmap_m1),
    iterator_advance(multimap_begin(pmmmap_m1), 2));

/*
 * Create a multimap m5 by copying the range m3[first, last)
 * and with the key comparison function less than.
 */
multimap_init_copy_range_ex(pmmmap_m5, multimap_begin(pmmmap_m3),
    iterator_next(multimap_begin(pmmmap_m3)), fun_less_int);

printf("m1 =");
for(it_m = multimap_begin(pmmmap_m1);
    !iterator_equal(it_m, multimap_end(pmmmap_m1));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

printf("m2 =");
for(it_m = multimap_begin(pmmmap_m2);
    !iterator_equal(it_m, multimap_end(pmmmap_m2));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

printf("m3 =");
for(it_m = multimap_begin(pmmmap_m3);
    !iterator_equal(it_m, multimap_end(pmmmap_m3));
    it_m = iterator_next(it_m))

```

```

{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

printf("m4 =");
for(it_m = multimap_begin(pmmmap_m4);
    !iterator_equal(it_m, multimap_end(pmmmap_m4));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

printf("m5 =");
for(it_m = multimap_begin(pmmmap_m5);
    !iterator_equal(it_m, multimap_end(pmmmap_m5));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

multimap_destroy(pmmmap_m0);
multimap_destroy(pmmmap_m1);
multimap_destroy(pmmmap_m2);
multimap_destroy(pmmmap_m3);
multimap_destroy(pmmmap_m4);
multimap_destroy(pmmmap_m5);
pair_destroy(ppair_p);

return 0;
}

```

● Output

```

m1 = 10 20 30 40
m2 = 20 10
m3 = 10 20 30 40
m4 = 10 20
m5 = 10

```

18. multimap_insert multimap_insert_hint multimap_insert_range

向 multimap_t 中插入数据。

```

multimap_iterator_t multimap_insert(
    multimap_t* pmmmap_multimap,
    const pair_t* cppair_pair
);

multimap_iterator_t multimap_insert_hint(
    multimap_t* pmmmap_multimap,
    multimap_iterator_t it_hint,
    const pair_t* cppair_pair
);

void multimap_insert_range(

```

```

multimap_t* pmmmap_multimap,
multimap_iterator_t it_begin,
multimap_iterator_t it_end
);

```

● Parameters

pmmmap_multimap: 指向 multimap_t 类型的指针。
cppair_pair: 插入的数据。
it_hint: 被插入数据的提示位置。
it_begin: 被插入的数据区间的开始位置。
it_end: 被插入的数据区间的末尾位置。

● Remarks

第一个函数向 multimap_t 中插入一个指定的数据，成功后返回指向该数据的迭代器，如果 multimap_t 中包含了该数据那么插入失败，返回 multimap_end()。

第二个函数向 multimap_t 中插入一个指定的数据，同时给出一个该数据被插入后的提示位置迭代器，如果这个位置符合 multimap_t 的排序规则就把这个数据放在提示位置中成功后返回指向该数据的迭代器，如果提示位置不正确则忽略提示位置，当数据插入成功后返回数据的实际位置迭代器，否则返回 multimap_end()。

第三个函数插入指定的数据区间。

上面的函数要求迭代器和数据区间是有效的，无效的迭代器或数据区间导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```

/*
 * multimap_insert.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multimap_t* pmmmap_m1 = create_multimap(int, int);
    multimap_t* pmmmap_m2 = create_multimap(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    multimap_iterator_t it_m;

    if(pmmmap_m1 == NULL || pmmmap_m2 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppair_p);
    multimap_init(pmmmap_m1);
    multimap_init(pmmmap_m2);

    pair_make(ppair_p, 1, 10);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 2, 20);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 3, 30);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 4, 40);
}

```

```

multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);

printf("The original key values of m1 =");
for(it_m = multimap_begin(pmmmap_m1);
    !iterator_equal(it_m, multimap_end(pmmmap_m1));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");
printf("The original multimapped values of m1 =");
for(it_m = multimap_begin(pmmmap_m1);
    !iterator_equal(it_m, multimap_end(pmmmap_m1));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

pair_make(ppair_p, 1, 10);
it_m = multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
if(!iterator_equal(it_m, multimap_end(pmmmap_m1)))
{
    printf("The element 10 was inserted in m1 successfully.\n");
}
else
{
    printf("The number 1 already exists in m1.\n");
}

/* The hint version of insert */
pair_make(ppair_p, 5, 50);
multimap_insert_hint(pmmmap_m1, iterator_prev(multimap_end(pmmmap_m1)), ppair_p);
printf("After the insertions, the key values of m1 =");
for(it_m = multimap_begin(pmmmap_m1);
    !iterator_equal(it_m, multimap_end(pmmmap_m1));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");
printf("and multimapped values of m1 =");
for(it_m = multimap_begin(pmmmap_m1);
    !iterator_equal(it_m, multimap_end(pmmmap_m1));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

pair_make(ppair_p, 10, 100);
multimap_insert(pmmmap_m2, ppair_p);
/* The templated version inserting a range */
multimap_insert_range(pmmmap_m2, iterator_next(multimap_begin(pmmmap_m1)),
    iterator_prev(multimap_end(pmmmap_m1)));
printf("After the insertions, the key values of m2 =");
for(it_m = multimap_begin(pmmmap_m2);
    !iterator_equal(it_m, multimap_end(pmmmap_m2));
    it_m = iterator_next(it_m))
{

```

```

        printf(" %d", *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(it_m)));
    }
    printf("\n");
    printf("and multimapped values of m2 =");
    for(it_m = multimap_begin(pmmmap_m2);
        !iterator_equal(it_m, multimap_end(pmmmap_m2));
        it_m = iterator_next(it_m))
    {
        printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
    }
    printf("\n");

    pair_destroy(ppair_p);
    multimap_destroy(pmmmap_m1);
    multimap_destroy(pmmmap_m2);

    return 0;
}

```

● Output

```

The original key values of m1 = 1 2 3 4
The original multimapped values of m1 = 10 20 30 40
The element 10 was inserted in m1 successfully.
After the insertions, the key values of m1 = 1 1 2 3 4 5
and multimapped values of m1 = 10 10 20 30 40 50
After the insertions, the key values of m2 = 1 2 3 4 10
and multimapped values of m2 = 10 20 30 40 100

```

19. multimap_key_comp

返回 multimap_t 使用的键比较规则。

```

binary_function_t multimap_key_comp(
    const multimap_t* cpmmap_multimap
);

```

● Parameters

cpmmap_multimap: 指向 multimap_t 类型的指针。

● Remarks

这个排序规则是针对与数据中的键进行排序。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```

/*
 * multimap_key_comp.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])

```

```

{
    multimap_t* pmmmap_m1 = create_multimap(int, int);
    multimap_t* pmmmap_m2 = create_multimap(int, int);
    binary_function_t bfun_kc = NULL;
    int n_element1 = 2;
    int n_element2 = 3;
    bool_t b_result = false;

    if(pmmmap_m1 == NULL || pmmmap_m2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    multimap_init_ex(pmmmap_m1, fun_less_int);

    bfun_kc = multimap_key_comp(pmmmap_m1);
    (*bfun_kc)(&n_element1, &n_element2, &b_result);
    if(b_result)
    {
        printf("(bfun_kc) (2, 3) returns value of true, "
               "where bfun_kc is the function of m1.\n");
    }
    else
    {
        printf("(bfun_kc) (2, 3) returns value of false, "
               "where bfun_kc is the function of m1.\n");
    }

    multimap_destroy(pmmmap_m1);

    multimap_init_ex(pmmmap_m2, fun_greater_int);

    bfun_kc = multimap_key_comp(pmmmap_m2);
    (*bfun_kc)(&n_element1, &n_element2, &b_result);
    if(b_result)
    {
        printf("(bfun_kc) (2, 3) returns value of true, "
               "where bfun_kc is the function of m2.\n");
    }
    else
    {
        printf("(bfun_kc) (2, 3) returns value of false, "
               "where bfun_kc is the function of m2.\n");
    }

    multimap_destroy(pmmmap_m2);

    return 0;
}

```

● Output

```

(*bfun_kc) (2, 3) returns value of true, where bfun_kc is the function of m1.
(*bfun_kc) (2, 3) returns value of false, where bfun_kc is the function of m2.

```

20. multimap_less

测试第一个 multimap_t 是否小于第二个 multimap_t。

```
bool_t multimap_less(
```

```
const multimap_t* cpmmap_first,  
const multimap_t* cpmmap_second  
);
```

- **Parameters**

cpmmap_first: 指向第一个 multimap_t 类型的指针。

cpmmap_second: 指向第二个 multimap_t 类型的指针。

- **Remarks**

这个函数要求两个 multimap_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cmap.h>

- **Example**

```
/*  
 * multimap_less.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cmap.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    multimap_t* pmmmap_m1 = create_multimap(int, int);  
    multimap_t* pmmmap_m2 = create_multimap(int, int);  
    multimap_t* pmmmap_m3 = create_multimap(int, int);  
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);  
    int i = 0;  
  
    if(pmmmap_m1 == NULL || pmmmap_m2 == NULL || pmmmap_m3 == NULL || ppair_p == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    multimap_init(pmmmap_m1);  
    multimap_init(pmmmap_m2);  
    multimap_init(pmmmap_m3);  
    pair_init(ppair_p);  
  
    for(i = 0; i < 3; ++i)  
    {  
        pair_make(ppair_p, i, i);  
        multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);  
        pair_make(ppair_p, i, i * i);  
        multimap_insert(pmmmap_m2, ppair_p);  
        pair_make(ppair_p, i, i - 1);  
        multimap_insert(pmmmap_m3, ppair_p);  
    }  
  
    if(multimap_less(pmmmap_m1, pmmmap_m2))  
    {  
        printf("The multimap m1 is less than the multimap m2.\n");  
    }  
    else  
    {  
        printf("The multimap m1 is not less than the multimap m2.\n");  
    }  
}
```



```

}

if(multimap_less(pmmmap_m1, pmmmap_m3))
{
    printf("The multimap m1 is less than the multimap m3.\n");
}
else
{
    printf("The multimap m1 is not less than the multimap m3.\n");
}

multimap_destroy(pmmmap_m1);
multimap_destroy(pmmmap_m2);
multimap_destroy(pmmmap_m3);
pair_destroy(ppair_p);

return 0;
}

```

● Output

```

The multimap m1 is less than the multimap m2.
The multimap m1 is not less than the multimap m3.

```

21. multimap_less_equal

测试第一个 multimap_t 是否小于等于第二个 multimap_t。

```

bool_t multimap_less_equal(
    const multimap_t* cpmmap_first,
    const multimap_t* cpmmap_second
);

```

● Parameters

cpmmap_first: 指向第一个 multimap_t 类型的指针。

cpmmap_second: 指向第二个 multimap_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 multimap_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```

/*
 * multimap_less_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multimap_t* pmmmap_m1 = create_multimap(int, int);
    multimap_t* pmmmap_m2 = create_multimap(int, int);
    multimap_t* pmmmap_m3 = create_multimap(int, int);

```

```

multimap_t* pmmmap_m4 = create_multimap(int, int);
pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
int i = 0;

if(pmmmap_m1 == NULL || pmmmap_m2 == NULL || pmmmap_m3 == NULL ||
    pmmmap_m4 == NULL || ppair_p == NULL)
{
    return -1;
}

multimap_init(pmmmap_m1);
multimap_init(pmmmap_m2);
multimap_init(pmmmap_m3);
multimap_init(pmmmap_m4);
pair_init(ppair_p);

for(i = 0; i < 3; ++i)
{
    pair_make(ppair_p, i, i);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
    multimap_insert(pmmmap_m4, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, i, i * i);
    multimap_insert(pmmmap_m2, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, i, i - 1);
    multimap_insert(pmmmap_m3, ppair_p);
}

if(multimap_less_equal(pmmmap_m1, pmmmap_m2))
{
    printf("The multimap m1 is less than or equal to the multimap m2.\n");
}
else
{
    printf("The multimap m1 is greater than the multimap m2.\n");
}

if(multimap_less_equal(pmmmap_m1, pmmmap_m3))
{
    printf("The multimap m1 is less than or equal to the multimap m3.\n");
}
else
{
    printf("The multimap m1 is greater than the multimap m3.\n");
}

if(multimap_less_equal(pmmmap_m1, pmmmap_m4))
{
    printf("The multimap m1 is less than or equal to the multimap m4.\n");
}
else
{
    printf("The multimap m1 is greater than the multimap m4.\n");
}

multimap_destroy(pmmmap_m1);
multimap_destroy(pmmmap_m2);
multimap_destroy(pmmmap_m3);
multimap_destroy(pmmmap_m4);
pair_destroy(ppair_p);

```

```
    return 0;
}
```

● Output

The multimap m1 is less than or equal to the multimap m2.
The multimap m1 is greater than the multimap m3.
The multimap m1 is less than or equal to the multimap m4.

22. multimap_lower_bound

返回 multimap_t 中包含指定键的第一个数据的迭代器。

```
multimap_iterator_t multimap_lower_bound(
    const multimap_t* cpmmap_multimap,
    key
);
```

● Parameters

cpmmap_map: 指向 multimap_t 类型的指针。
key: 指定的键。

● Remarks

如果 multimap_t 中不包含拥有指定键的数据则返回 multimap_t 中指向包含大于指定键的第一个数据的迭代器。
如果指定的键是 multimap_t 中最大的键则返回 multimap_end()。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```
/*
 * multimap_lower_bound.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multimap_t* pmmmap_m1 = create_multimap(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    multimap_iterator_t it_m;

    if(pmmmap_m1 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppair_p);
    multimap_init(pmmmap_m1);

    pair_make(ppair_p, 1, 10);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 2, 20);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 3, 20);
```

```

multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
pair_make(ppair_p, 3, 30);
multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);

it_m = multimap_lower_bound(pmmmap_m1, 2);
printf("The first element of multimap m1 with a key of 2 is: %d.\n",
      *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));

/* If no match is found for this key, end() is returned */
it_m = multimap_lower_bound(pmmmap_m1, 4);
if(iterator_equal(it_m, multimap_end(pmmmap_m1)))
{
    printf("The multimap m1 doesn't have an element with a key of 4.\n");
}
else
{
    printf("The element of multimap m1 with key of 4 is: %d.\n",
          *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}

/*
 * The element at a specific location in the multimap can be found
 * using a dereferenced iterator addressing the location.
 */
it_m = multimap_end(pmmmap_m1);
it_m = iterator_prev(it_m);
it_m = multimap_lower_bound(pmmmap_m1,
    *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(it_m)));
printf("The element of m1 with a key matching "
      "that of the last element is: %d.\n",
      *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));

/*
 * Note that the first element with a key equal to
 * the key of the last element is not the last element
 */
if(iterator_equal(it_m, iterator_prev(multimap_end(pmmmap_m1))))
{
    printf("This is the last element of multimap m1.\n");
}
else
{
    printf("This is not the last element of multimap m1.\n");
}

pair_destroy(ppair_p);
multimap_destroy(pmmmap_m1);

return 0;
}

```

● Output

```

The first element of multimap m1 with a key of 2 is: 20.
The multimap m1 doesn't have an element with a key of 4.
The element of m1 with a key matching that of the last element is: 20.
This is not the last element of multimap m1.

```

23. multimap_max_size

返回 multimap_t 中保存数据数量的最大可能值。

```
size_t multimap_max_size(  
    const multimap_t* cpmmap_multimap  
);
```

- **Parameters**

cpmmap_multimap: 指向 multimap_t 类型的指针。

- **Remarks**

这是一个与系统相关的常数。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cmap.h>

- **Example**

```
/*  
 * multimap_max_size.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cmap.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    multimap_t* pmmap_m1 = create_multimap(int, int);  
  
    if(pmmap_m1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    multimap_init(pmmap_m1);  
  
    printf("The maximum possible length of the multimap is %d.\n",  
        multimap_max_size(pmmap_m1));  
    printf("(Magnitude is machine specific.)\n");  
  
    multimap_destroy(pmmap_m1);  
  
    return 0;  
}
```

- **Output**

```
The maximum possible length of the multimap is 7895160.  
(Magnitude is machine specific.)
```

24. multimap_not_equal

测试两个 multimap_t 是否不等。

```
bool_t multimap_not_equal(  
    const multimap_t* cpmmap_first,  
    const multimap_t* cpmmap_second
```

```
);
```

● Parameters

cpmmmap_first: 指向第一个 `multimap_t` 类型的指针。
cpmmmap_second: 指向第二个 `multimap_t` 类型的指针。

● Remarks

如果两个 `multimap_t` 容器中的数据都对应相等，并且数据个数相等，则返回 `false` 否则返回 `true`，如果两个 `multimap_t` 容器中保存的数据类型不同也认为是不等。

● Requirements

头文件 `<cstl/cmap.h>`

● Example

```
/*
 * multimap_not_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multimap_t* pmmap_m1 = create_multimap(int, int);
    multimap_t* pmmap_m2 = create_multimap(int, int);
    multimap_t* pmmap_m3 = create_multimap(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    int i = 0;

    if(pmmap_m1 == NULL || pmmap_m2 == NULL || pmmap_m3 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    multimap_init(pmmap_m1);
    multimap_init(pmmap_m2);
    multimap_init(pmmap_m3);
    pair_init(ppair_p);

    for(i = 0; i < 3; ++i)
    {
        pair_make(ppair_p, i, i);
        multimap_insert(pmmap_m1, ppair_p);
        multimap_insert(pmmap_m3, ppair_p);
        pair_make(ppair_p, i, i * i);
        multimap_insert(pmmap_m2, ppair_p);
    }

    if(multimap_not_equal(pmmap_m1, pmmap_m2))
    {
        printf("The multimaps m1 and m2 are not equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The multimaps m1 and m2 are equal.\n");
    }
}
```

```

    if(multimap_not_equal(pmmmap_m1, pmmmap_m3))
    {
        printf("The multimaps m1 and m3 are not equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The multimaps m1 and m3 are equal.\n");
    }

    multimap_destroy(pmmmap_m1);
    multimap_destroy(pmmmap_m2);
    multimap_destroy(pmmmap_m3);
    pair_destroy(ppair_p);

    return 0;
}

```

● Output

```

The multimaps m1 and m2 are not equal.
The multimaps m1 and m3 are equal.

```

25. multimap_size

返回 multimap_t 中数据的数量。

```

size_t multimap_size(
    const multimap_t* cpmmap_multimap
);

```

● Parameters

cpmmap_multimap: 指向 multimap_t 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```

/*
 * multimap_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multimap_t* pmmmap_m1 = create_multimap(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);

    if(pmmmap_m1 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppair_p);
    multimap_init(pmmmap_m1);
}

```

```

pair_make(ppair_p, 1, 1);
multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
printf("The multimap length is %d.\n", multimap_size(pmmmap_m1));

pair_make(ppair_p, 2, 4);
multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
printf("The multimap length is now %d.\n", multimap_size(pmmmap_m1));

pair_destroy(ppair_p);
multimap_destroy(pmmmap_m1);

return 0;
}

```

● Output

```

The multimap length is 1.
The multimap length is now 2.

```

26. multimap_swap

交换两个 multimap_t 中的内容。

```

void multimap_swap(
    multimap_t* pmmmap_first,
    multimap_t* pmmmap_second
);

```

● Parameters

pmmmap_first: 指向第一个 multimap_t 类型的指针。
pmmmap_second: 指向第二个 multimap_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 multimap_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```

/*
 * multimap_swap.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multimap_t* pmmmap_m1 = create_multimap(int, int);
    multimap_t* pmmmap_m2 = create_multimap(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    multimap_iterator_t it_m;

    if(pmmmap_m1 == NULL || pmmmap_m2 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }
}

```



```

}

pair_init(ppair_p);
multimap_init(pmmmap_m1);
multimap_init(pmmmap_m2);

pair_make(ppair_p, 1, 10);
multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
pair_make(ppair_p, 2, 20);
multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
pair_make(ppair_p, 3, 30);
multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);

pair_make(ppair_p, 10, 100);
multimap_insert(pmmmap_m2, ppair_p);
pair_make(ppair_p, 20, 200);
multimap_insert(pmmmap_m2, ppair_p);

printf("The original multimap m1 is:");
for(it_m = multimap_begin(pmmmap_m1);
    !iterator_equal(it_m, multimap_end(pmmmap_m1));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

multimap_swap(pmmmap_m1, pmmmap_m2);

printf("After swapping with m2, multimap m1 is:");
for(it_m = multimap_begin(pmmmap_m1);
    !iterator_equal(it_m, multimap_end(pmmmap_m1));
    it_m = iterator_next(it_m))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
}
printf("\n");

pair_destroy(ppair_p);
multimap_destroy(pmmmap_m1);
multimap_destroy(pmmmap_m2);

return 0;
}

```

● Output

```

The original multimap m1 is: 10 20 30
After swapping with m2, multimap m1 is: 100 200

```

27. multimap_upper_bound

返回 multimap_t 中包含大于指定键的第一个数据的迭代器。

```

multimap_iterator_t multimap_upper_bound(
    const multimap_t* cpmmap_multimap,
    key
);

```

● Parameters

cpmmap_multimap: 指向 multimap_t 类型的指针。
key: 指定的键。

● Remarks

如果指定的键是 multimap_t 中最大的键则返回 multimap_end()。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```
/*
 * multimap_upper_bound.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    multimap_t* pmmmap_m1 = create_multimap(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    multimap_iterator_t it_m;

    if(pmmmap_m1 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppair_p);
    multimap_init(pmmmap_m1);

    pair_make(ppair_p, 1, 10);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 2, 20);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 3, 30);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 3, 40);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);

    it_m = multimap_upper_bound(pmmmap_m1, 1);
    printf("The first element of multimap m1 with a key greater than 1 is: %d.\n",
        *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));

    it_m = multimap_upper_bound(pmmmap_m1, 2);
    printf("The first element of multimap m1 with a key greater than 2 is: %d.\n",
        *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));

    /* If no match is found for the key, end is returned */
    it_m = multimap_upper_bound(pmmmap_m1, 4);
    if(iterator_equal(it_m, multimap_end(pmmmap_m1)))
    {
        printf("The multimap m1 doesn't have an "
            "element with a key greater than 4.\n");
    }
    else
    {

```

```

        printf("The element of multimap m1 with a key > 4 is: %d.\n",
               *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));
    }

    /*
     * The element at a specific location in the multimap can be found
     * using a dereferenced iterator addressing the location
     */
    it_m = multimap_begin(pmmmap_m1);
    it_m = multimap_upper_bound(pmmmap_m1,
                                *(int*)pair_first(iterator_get_pointer(it_m)));
    printf("The first element of m1 with a key greater than"
           " that of the initial element of m1 is: %d.\n",
           *(int*)pair_second(iterator_get_pointer(it_m)));

    pair_destroy(ppair_p);
    multimap_destroy(pmmmap_m1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The first element of multimap m1 with a key greater than 1 is: 20.
The first element of multimap m1 with a key greater than 2 is: 30.
The multimap m1 doesn't have an element with a key greater than 4.
The first element of m1 with a key greater than that of the initial element of m1
is: 20.

```

28. multimap_value_comp

返回 multimap_t 中使用的数据的比较规则。

```

binary_function_t multimap_value_comp(
    const multimap_t* cpmmap_multimap
);

```

● Parameters

cpmmap_multimap: 指向 multimap_t 类型的指针。

● Remarks

这个规则是针对数据本身的比较规则而不是键或者值。

● Requirements

头文件 <cstl/cmap.h>

● Example

```

/*
 * multimap_value_comp.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cmap.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])

```

```

{
    multimap_t* pmmmap_m1 = create_multimap(int, int);
    pair_t* ppair_p = create_pair(int, int);
    binary_function_t bfun_vc = NULL;
    bool_t b_result = false;
    multimap_iterator_t it_m1;
    multimap_iterator_t it_m2;

    if(pmmmap_m1 == NULL || ppair_p == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppair_p);
    multimap_init_ex(pmmmap_m1, fun_less_int);

    pair_make(ppair_p, 1, 10);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);
    pair_make(ppair_p, 2, 5);
    multimap_insert(pmmmap_m1, ppair_p);

    it_m1 = multimap_find(pmmmap_m1, 1);
    it_m2 = multimap_find(pmmmap_m1, 2);
    bfun_vc = multimap_value_comp(pmmmap_m1);

    (*bfun_vc)(iterator_get_pointer(it_m1), iterator_get_pointer(it_m2), &b_result);
    if(b_result)
    {
        printf("The element (1, 10) precedes the element (2, 5).\n");
    }
    else
    {
        printf("The element (1, 10) does not precedes the element (2, 5).\n");
    }

    (*bfun_vc)(iterator_get_pointer(it_m2), iterator_get_pointer(it_m1), &b_result);
    if(b_result)
    {
        printf("The element (2, 5) precedes the element (1, 10).\n");
    }
    else
    {
        printf("The element (2, 5) does not precedes the element (1, 10).\n");
    }

    pair_destroy(ppair_p);
    multimap_destroy(pmmmap_m1);

    return 0;
}

```

● Output

The element (1, 10) precedes the element (2, 5).
The element (2, 5) does not precedes the element (1, 10).

第九节 基于哈希结构的集合 hash_set_t

基于哈希结构的集合容器 `hash_set_t` 是关联容器，它使用指定的哈希函数计算数据的存储位置，将数据保存在这个位置上。`hash_set_t` 中的数据位置是根据数据本身计算的，并且保证数据在 `hash_set_t` 容器中的唯一性，所以在容器中数据也存在着某种有序性，所以也不能通过直接或者间接的方式修改容器中的数据。`hash_set_t` 提供双向迭代器，插入新的数据不会破坏原有的数据的迭代器，删除一个数据的时候只有指向数据本身的迭代器失效，但是当哈希表重新计算数据位置的时候所有的迭代器都失效。

● **Typedefs**

<code>hash_set_t</code>	基于哈希结构的集合容器类型。
<code>hash_set_iterator_t</code>	基于哈希结构的集合容器迭代器类型。

● **Operation Functions**

<code>create_hash_set</code>	创建基于哈希结构的集合容器类型
<code>hash_set_assign</code>	为基于哈希结构的集合容器赋值。
<code>hash_set_begin</code>	返回指向容器中第一个数据的迭代器。
<code>hash_set_bucket_count</code>	返回哈希表存储单元的数量。
<code>hash_set_clear</code>	删除容器中的所有数据。
<code>hash_set_count</code>	返回容器中指定数据的数量。
<code>hash_set_destroy</code>	销毁基于哈希结构的集合容器。
<code>hash_set_empty</code>	测试基于哈希结构的集合容器是否为空。
<code>hash_set_end</code>	返回指向基于哈希结构的集合容器末尾的迭代器。
<code>hash_set_equal</code>	测试两个基于哈希结构的集合容器是否相等。
<code>hash_set_equal_range</code>	返回容器中包含指定数据的数据区间。
<code>hash_set_erase</code>	删除容器中的指定数据。
<code>hash_set_erase_pos</code>	删除容器中指定位置的数据。
<code>hash_set_erase_range</code>	删除容器中指定数据区间的数据。
<code>hash_set_find</code>	在基于哈希结构的集合容器中查找指定的数据。
<code>hash_set_greater</code>	测试第一个基于哈希结构的集合容器是否大于第二个基于哈希结构的集合容器。
<code>hash_set_greater_equal</code>	测试第一个基于哈希结构的集合容器是否大于等于第二个基于哈希结构的集合容器。
<code>hash_set_hash</code>	返回基于哈希结构的集合容器使用的哈希函数。
<code>hash_set_init</code>	初始化一个空的基于哈希结构的集合容器。
<code>hash_set_init_copy</code>	使用一个基于哈希结构的集合容器初始化当前容器。
<code>hash_set_init_copy_range</code>	使用指定的数据区间初始化基于哈希结构的集合容器。
<code>hash_set_init_copy_range_ex</code>	使用指定的数据区间，哈希函数和比较规则初始化基于哈希结构的集合容器。
<code>hash_set_init_ex</code>	使用指定的哈希函数和比较规则初始化一个空的基于哈希结构的集合容器。
<code>hash_set_insert</code>	向基于哈希结构的集合容器中插入指定的数据。
<code>hash_set_insert_range</code>	向基于哈希结构的集合容器中插入指定的数据区间。
<code>hash_set_key_comp</code>	返回基于哈希结构的集合容器使用的键比较规则。
<code>hash_set_less</code>	测试第一个基于哈希结构的集合容器是否小于第二个基于哈希结构的集合容器。

hash_set_less_equal	测试第一个基于哈希结构的集合容器是否小于等于第二个基于哈希结构的集合容器。
hash_set_max_size	返回基于哈希结构的集合容器保存数据数量的最大可能值。
hash_set_not_equal	测试两个基于哈希结构的集合容器是否不等。
hash_set_resize	重新设置哈希表存储单元的数量。
hash_set_size	返回基于哈希结构的集合容器中数据的数量。
hash_set_swap	交换两个基于哈希结构的集合容器中的内容。
hash_set_value_comp	返回基于哈希结构的集合容器中使用的数据比较规则。

1. hash_set_t

基于哈希结构的集合容器类型。

- **Requirements**

头文件 <csatl/chash_set.h>

- **Example**

请参考 hash_set_t 类型的其他操作函数。

2. hash_set_iterator_t

基于哈希结构的集合容器的迭代器类型。

- **Remarks**

hash_set_iterator_t 是双向迭代器类型，不能通过迭代器来修改容器中数据的数据。

- **Requirements**

头文件 <csatl/chash_set.h>

- **Example**

请参考 hash_set_t 类型的其他操作函数。

3. create_hash_set

创建 hash_set_t 容器类型。

```
hash_set_t* create_hash_set(
    type
);
```

- **Parameters**

type: 数据类型描述。

- **Remarks**

函数成功返回指向 hash_set_t 类型的指针，失败返回 NULL。

- **Requirements**

头文件 <csatl/chash_set.h>

- **Example**

请参考 `hash_set_t` 类型的其他操作函数。

4. `hash_set_assign`

为 `hash_set_t` 容器类型赋值。

```
void hash_set_assign(  
    hash_set_t* phset_dest,  
    const hash_set_t* cphset_src  
);
```

- **Parameters**

phset_dest: 指向被赋值的 `hash_set_t` 类型的指针。

cphset_src: 指向赋值的 `hash_set_t` 类型的指针。

- **Remarks**

要求两个 `hash_set_t` 类型保存的数据具有相同的类型，否则函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/chash_set.h>`

- **Example**

```
/*  
 * hash_set_assign.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_set.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);  
    hash_set_t* phset_hs2 = create_hash_set(int);  
    hash_set_iterator_t it_hs;  
  
    if(phset_hs1 == NULL || phset_hs2 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    hash_set_init(phset_hs1);  
    hash_set_init(phset_hs2);  
  
    hash_set_insert(phset_hs1, 10);  
    hash_set_insert(phset_hs1, 20);  
    hash_set_insert(phset_hs1, 30);  
    hash_set_insert(phset_hs2, 40);  
    hash_set_insert(phset_hs2, 50);  
    hash_set_insert(phset_hs2, 60);  
  
    printf("hs1 =");  
    for(it_hs = hash_set_begin(phset_hs1);  
        !iterator_equal(it_hs, hash_set_end(phset_hs1));  
        it_hs = iterator_next(it_hs))  
    {
```

```

        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
    }
    printf("\n");

    hash_set_assign(phset_hs1, phset_hs2);
    printf("hs1 =");
    for(it_hs = hash_set_begin(phset_hs1);
        !iterator_equal(it_hs, hash_set_end(phset_hs1));
        it_hs = iterator_next(it_hs))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
    }
    printf("\n");

    hash_set_destroy(phset_hs1);
    hash_set_destroy(phset_hs2);

    return 0;
}

```

● Output

```

hs1 = 10 20 30
hs1 = 60 40 50

```

5. hash_set_begin

返回指向 hash_set_t 中第一个数据的迭代器。

```

hash_set_iterator_t hash_set_begin(
    const hash_set_t* cphset_hset
);

```

● Parameters

cphset_hset: 指向 hash_set_t 类型的指针。

● Remarks

如果 hash_set_t 为空，这个函数的返回值和 hash_set_end() 的返回值相等。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```

/*
 * hash_set_begin.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);

    if(phset_hs1 == NULL)
    {

```



```

        return -1;
    }

    hash_set_init(phset_hs1);

    hash_set_insert(phset_hs1, 1);
    hash_set_insert(phset_hs1, 2);
    hash_set_insert(phset_hs1, 3);

    printf("The first element of hs1 is %d.\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(hash_set_begin(phset_hs1)));

    hash_set_erase_pos(phset_hs1, hash_set_begin(phset_hs1));

    printf("The first element of hs1 is now %d.\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(hash_set_begin(phset_hs1)));

    hash_set_destroy(phset_hs1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The first element of hs1 is 1.
The first element of hs1 is now 2.

```

6. hash_set_bucket_count

返回 hash_set_t 中的哈希表的存储单元个数。

```

size_t hash_set_bucket_count(
    const hash_set_t* cphset_hset
);

```

● Parameters

cphset_hset: 指向 hash_set_t 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```

/*
 * hash_set_bucket_count.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs2 = create_hash_set(int);

    if(phset_hs1 == NULL || phset_hs2 == NULL)
    {
        return -1;
    }
}

```

```

}

hash_set_init(phset_hs1);
hash_set_init_ex(phset_hs2, 100, NULL, NULL);

printf("The default bucket count of hs1 is %d.\n",
       hash_set_bucket_count(phset_hs1));
printf("The custom bucket count of hs2 is %d.\n",
       hash_set_bucket_count(phset_hs2));

hash_set_destroy(phset_hs1);
hash_set_destroy(phset_hs2);

return 0;
}

```

● Output

```

The default bucket count of hs1 is 53.
The custom bucket count of hs2 is 193.

```

7. hash_set_clear

删除 hash_set_t 中的所有数据。

```

void hash_set_clear(
    hash_set_t* phset_hset
);

```

● Parameters

phset_hset: 指向 hash_set_t 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```

/*
 * hash_set_clear.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);

    if(phset_hs1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_set_init(phset_hs1);

    hash_set_insert(phset_hs1, 1);
    hash_set_insert(phset_hs1, 2);
}

```

```

    printf("The size of the hash_set is initially %d.\n",
           hash_set_size(phset_hs1));

    hash_set_clear(phset_hs1);

    printf("The size of the hash_set after clearing is %d.\n",
           hash_set_size(phset_hs1));

    hash_set_destroy(phset_hs1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The size of the hash_set is initially 2.
The size of the hash_set after clearing is 0.

```

8. hash_set_count

返回 hash_set_t 中指定数据的数量。

```

size_t hash_set_count(
    const hash_set_t* cphset_hset,
    element
);

```

● Parameters

cphset_hset: 指向 hash_set_t 类型的指针。
element: 指定的数据。

● Remarks

如果容器中不包含指定数据则返回 0，包含则返回指定数据的个数，hash_set_t 中返回的都是 1。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```

/*
 * hash_set_count.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);

    if(phset_hs1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_set_init(phset_hs1);

```

```

hash_set_insert(phset_hs1, 1);
hash_set_insert(phset_hs1, 1);

/* Keys must be unique in hash_set, so duplicates are ignored */
printf("The number of elements in hs1 with a sort key of 1 is: %d.\n",
       hash_set_count(phset_hs1, 1));

printf("The number of elements in hs1 with a sort key of 2 is: %d.\n",
       hash_set_count(phset_hs1, 2));

hash_set_destroy(phset_hs1);

return 0;
}

```

● Output

```

The number of elements in hs1 with a sort key of 1 is: 1.
The number of elements in hs1 with a sort key of 2 is: 0.

```

9. hash_set_destroy

销毁 hash_set_t 容器类型。

```

void hash_set_destroy(
    hash_set_t* phset_hset
);

```

● Parameters

phset_hset: 指向 hash_set_t 类型的指针。

● Remarks

hash_set_t 容器使用之后要销毁，否则 hash_set_t 占用的资源不会被释放。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

请参考 hash_set_t 类型的其他操作函数。

10. hash_set_empty

测试 hash_set_t 是否为空。

```

bool_t hash_set_empty(
    const hash_set_t* cphset_hset
);

```

● Parameters

cphset_hset: 指向 hash_set_t 类型的指针。

● Remarks

hash_set_t 容器为空则返回 true，否则返回 false。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```
/*
 * hash_set_empty.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs2 = create_hash_set(int);

    if(phset_hs1 == NULL || phset_hs2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_set_init(phset_hs1);
    hash_set_init(phset_hs2);

    hash_set_insert(phset_hs1, 1);

    if(hash_set_empty(phset_hs1))
    {
        printf("The hash_set hs1 is empty.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_set hs1 is not empty.\n");
    }

    if(hash_set_empty(phset_hs2))
    {
        printf("The hash_set hs2 is empty.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_set hs2 is not empty.\n");
    }

    hash_set_destroy(phset_hs1);
    hash_set_destroy(phset_hs2);

    return 0;
}
```

● Output

```
The hash_set hs1 is not empty.
The hash_set hs2 is empty.
```

11. hash_set_end

返回指向 hash_set_t 容器末尾的迭代器。

```
hash_set_iterator_t hash_set_end(  
    const hash_set_t* cphset_hset  
) ;
```

- **Parameters**

cphset_hset: 指向 hash_set_t 类型的指针。

- **Remarks**

如果 hash_set_t 为空，这个函数的返回值和 hash_set_begin() 的返回值相等。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

```
/*  
 * hash_set_end.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_set.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);  
    hash_set_iterator_t it_hs;  
  
    if(phset_hs1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    hash_set_init(phset_hs1);  
  
    hash_set_insert(phset_hs1, 1);  
    hash_set_insert(phset_hs1, 2);  
    hash_set_insert(phset_hs1, 3);  
  
    it_hs = hash_set_end(phset_hs1);  
    it_hs = iterator_prev(it_hs);  
    printf("The last element of hs1 is %d.\n",  
        *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));  
  
    hash_set_erase_pos(phset_hs1, it_hs);  
  
    it_hs = hash_set_end(phset_hs1);  
    it_hs = iterator_prev(it_hs);  
    printf("The last element of hs1 is now %d.\n",  
        *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));  
  
    hash_set_destroy(phset_hs1);  
  
    return 0;  
}
```

- **Output**

The last element of hs1 is 3.

The last element of hs1 is now 2.

12. hash_set_equal

测试两个 hash_set_t 是否相等。

```
bool_t hash_set_equal(  
    const hash_set_t* cphset_first,  
    const hash_set_t* cphset_second  
);
```

- **Parameters**

cphset_first: 指向第一个 hash_set_t 类型的指针。

cphset_second: 指向第二个 hash_set_t 类型的指针。

- **Remarks**

两个 hash_set_t 中的数据对应相等，并且数量相等，函数返回 true，否则返回 false。如果两个 hash_set_t 中的数据类型不同也认为不等。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

```
/*  
 * hash_set_equal.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_set.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);  
    hash_set_t* phset_hs2 = create_hash_set(int);  
    hash_set_t* phset_hs3 = create_hash_set(int);  
    int i = 0;  
  
    if(phset_hs1 == NULL || phset_hs2 == NULL || phset_hs3 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    hash_set_init(phset_hs1);  
    hash_set_init(phset_hs2);  
    hash_set_init(phset_hs3);  
  
    for(i = 0; i < 3; ++i)  
    {  
        hash_set_insert(phset_hs1, i);  
        hash_set_insert(phset_hs2, i * i);  
        hash_set_insert(phset_hs3, i);  
    }  
  
    if(hash_set_equal(phset_hs1, phset_hs2))  
    {  
        printf("The hash_sets hs1 and hs2 are equal.\n");  
    }  
}
```

```

    }
    else
    {
        printf("The hash_sets hs1 and hs2 are not equal.\n");
    }

    if(hash_set_equal(phset_hs1, phset_hs3))
    {
        printf("The hash_sets hs1 and hs3 are equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_sets hs1 and hs3 are not equal.\n");
    }

    hash_set_destroy(phset_hs1);
    hash_set_destroy(phset_hs2);
    hash_set_destroy(phset_hs3);

    return 0;
}

```

● Output

```

The hash_sets hs1 and hs2 are not equal.
The hash_sets hs1 and hs3 are equal.

```

13. hash_set_equal_range

返回 hash_set_t 中包含指定数据的数据区间。

```

range_t hash_set_equal_range(
    const hash_set_t* cphset_hset,
    element
);

```

● Parameters

cphset_hset: 指向 hash_set_t 类型的指针。
element: 指定的数据。

● Remarks

返回 hash_set_t 中包含指定数据的数据区间[range_t.it_begin, range_t.it_end)，其中 it_begin 是指向等于指定数据的第一个数据的迭代器，it_end 指向的是大于指定数据的第一个数据的迭代器。如果 hash_set_t 中不包含指定数据则 it_begin 与 it_end 相等。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```

/*
 * hash_set_equal_range.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

```



```

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);
    range_t r_r;

    if(phset_hs1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_set_init(phset_hs1);

    hash_set_insert(phset_hs1, 10);
    hash_set_insert(phset_hs1, 20);
    hash_set_insert(phset_hs1, 30);

    r_r = hash_set_equal_range(phset_hs1, 20);
    printf("The upper bound of the element with "
           "a key of 20 in the hash_set hs1 is: %d.\n",
           *(int*)iterator_get_pointer(r_r.it_end));
    printf("The lower bound of the element with "
           "a key of 20 in the hash_set hs1 is: %d.\n",
           *(int*)iterator_get_pointer(r_r.it_begin));

    /*
     * If no match is bound for the key,
     * bouth element of the range returned end().
     */
    r_r = hash_set_equal_range(phset_hs1, 40);
    if(iterator_equal(r_r.it_begin, hash_set_end(phset_hs1)) &&
       iterator_equal(r_r.it_end, hash_set_end(phset_hs1)))
    {
        printf("The hash_set hs1 doesn't have "
               "an element with a key less than 40.\n");
    }
    else
    {
        printf("The element of hash_set hs1 with a key >= 40 is: %d.\n",
               *(int*)iterator_get_pointer(r_r.it_begin));
    }

    hash_set_destroy(phset_hs1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The upper bound of the element with a key of 20 in the hash_set hs1 is: 30.
The lower bound of the element with a key of 20 in the hash_set hs1 is: 20.
The hash_set hs1 doesn't have an element with a key less than 40.

```

14. hash_set_erase hash_set_erase_pos hash_set_erase_range

删除 hash_set_t 中的数据。

```

size_t hash_set_erase(
    hash_set_t* phset_hset,

```

```

        element
    );

void hash_set_erase_pos(
    hash_set_t* phset_hset,
    hash_set_iterator_t it_pos
);

void hash_set_erase_range(
    hash_set_t* phset_hset,
    hash_set_iterator_t it_begin,
    hash_set_iterator_t it_end
);

```

● Parameters

phset_hset: 指向 hash_set_t 类型的指针。
element: 要删除的数据。
it_pos: 要删除的数据的位置迭代器。
it_begin: 要删除的数据区间的开始位置。
it_end: 要删除的数据区间的末尾位置。

● Remarks

第一个函数删除 hash_set_t 中指定的数据，并返回删除的个数，如果 hash_set_t 中不包含指定的数据就返回 0。

第二个函数删除指定位置的数据。

第三个函数删除指定数据区间中的数据。

后面两个函数要求迭代器和数据区间是有效的，无效的迭代器或数据区间导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```

/*
 * hash_set_erase.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs2 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs3 = create_hash_set(int);
    hash_set_iterator_t it_hs;
    size_t t_count = 0;
    int i = 0;

    if(phset_hs1 == NULL || phset_hs2 == NULL || phset_hs3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_set_init(phset_hs1);
    hash_set_init(phset_hs2);

```

```

hash_set_init(phset_hs3);

for(i = 1; i < 5; ++i)
{
    hash_set_insert(phset_hs1, i);
    hash_set_insert(phset_hs2, i * i);
    hash_set_insert(phset_hs3, i - 1);
}

/* The first function removes an element at a given position */
it_hs = iterator_next(hash_set_begin(phset_hs1));
hash_set_erase_pos(phset_hs1, it_hs);

printf("After the second element is deleted, the hash_set hs1 is: ");
for(it_hs = hash_set_begin(phset_hs1);
    !iterator_equal(it_hs, hash_set_end(phset_hs1));
    it_hs = iterator_next(it_hs))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
}
printf("\n");

/* The second function removes elements in the range [first, last) */
hash_set_erase_range(phset_hs2, iterator_next(hash_set_begin(phset_hs2)),
    iterator_prev(hash_set_end(phset_hs2)));

printf("After the middle two elements are deleted, the hash_set hs2 is: ");
for(it_hs = hash_set_begin(phset_hs2);
    !iterator_equal(it_hs, hash_set_end(phset_hs2));
    it_hs = iterator_next(it_hs))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
}
printf("\n");

/* The third function removes elements with a given key */
t_count = hash_set_erase(phset_hs3, 2);

printf("After the element with a key of 2 is deleted, the hash_set hs3 is: ");
for(it_hs = hash_set_begin(phset_hs3);
    !iterator_equal(it_hs, hash_set_end(phset_hs3));
    it_hs = iterator_next(it_hs))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
}
printf("\n");

hash_set_destroy(phset_hs1);
hash_set_destroy(phset_hs2);
hash_set_destroy(phset_hs3);

return 0;
}

```

● Output

```

After the second element is deleted, the hash_set hs1 is:  1 3 4
After the middle two elements are deleted, the hash_set hs2 is:  1 16
After the element with a key of 2 is deleted, the hash_set hs3 is:  0 1 3

```

15. hash_set_find

在 hash_set_t 中查找指定的数据。

```
hash_set_iterator_t hash_set_find(  
    const hash_set_t* cphset_hset,  
    element  
);
```

- **Parameters**

cphset_hset: 指向 hash_set_t 类型的指针。

element: 指定的数据。

- **Remarks**

如果 hash_set_t 中包含指定的数据则返回指向该数据的迭代器，否则返回 hash_set_end()。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

```
/*  
 * hash_set_find.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_set.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);  
    hash_set_iterator_t it_hs;  
  
    if(phset_hs1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    hash_set_init(phset_hs1);  
  
    hash_set_insert(phset_hs1, 10);  
    hash_set_insert(phset_hs1, 20);  
    hash_set_insert(phset_hs1, 30);  
  
    it_hs = hash_set_find(phset_hs1, 20);  
    printf("The element of hash_set hs1 with a key of 20 is: %d.\n",  
        *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));  
  
    it_hs = hash_set_find(phset_hs1, 40);  
  
    /* If no match is found for the key, end() is returned */  
    if(iterator_equal(it_hs, hash_set_end(phset_hs1)))  
    {  
        printf("The hash_set hs1 doesn't have an element with a key of 40.\n");  
    }  
    else  
    {  
        printf("The element of hash_set hs1 with a key of 40 is: %d.\n",
```

```

        *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
    }

    /*
     * The element at a specific location in the hash_set can be found
     * by using a dereferenced iterator addressing the location.
     */
    it_hs = iterator_prev(hash_set_end(phset_hs1));
    it_hs = hash_set_find(phset_hs1, *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
    printf("The element of hs1 with a key "
           "matching that of the last element is: %d.\n",
           *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));

    hash_set_destroy(phset_hs1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The element of hash_set hs1 with a key of 20 is: 20.
The hash_set hs1 doesn't have an element with a key of 40.
The element of hs1 with a key matching that of the last element is: 30.

```

16. hash_set_greater

测试第一个 hash_set_t 是否大于第二个 hash_set_t。

```

bool_t hash_set_greater(
    const hash_set_t* cphset_first,
    const hash_set_t* cphset_second
);

```

● Parameters

cphset_first: 指向第一个 hash_set_t 类型的指针。
cphset_second: 指向第二个 hash_set_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 hash_set_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```

/*
 * hash_set_greater.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs2 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs3 = create_hash_set(int);

```

```

int i = 0;

if(phset_hs1 == NULL || phset_hs2 == NULL || phset_hs3 == NULL)
{
    return -1;
}

hash_set_init(phset_hs1);
hash_set_init(phset_hs2);
hash_set_init(phset_hs3);

for(i = 0; i < 3; ++i)
{
    hash_set_insert(phset_hs1, i);
    hash_set_insert(phset_hs2, i * i);
    hash_set_insert(phset_hs3, i - 1);
}

if(hash_set_greater(phset_hs1, phset_hs2))
{
    printf("The hash_set hs1 is greater than the hash_set hs2.\n");
}
else
{
    printf("The hash_set hs1 is not greater than the hash_set hs2.\n");
}

if(hash_set_greater(phset_hs1, phset_hs3))
{
    printf("The hash_set hs1 is greater than the hash_set hs3.\n");
}
else
{
    printf("The hash_set hs1 is not greater than the hash_set hs3.\n");
}

hash_set_destroy(phset_hs1);
hash_set_destroy(phset_hs2);
hash_set_destroy(phset_hs3);

return 0;
}

```

● Output

```

The hash_set hs1 is not greater than the hash_set hs2.
The hash_set hs1 is greater than the hash_set hs3.

```

17. hash_set_greater_equal

测试第一个 hash_set_t 是否大于等于第二个 hash_set_t。

```

bool_t hash_set_greater_equal(
    const hash_set_t* cphset_first,
    const hash_set_t* cphset_second
);

```

● Parameters

cphset_first: 指向第一个 hash_set_t 类型的指针。

cphset_second: 指向第二个 hash_set_t 类型的指针。

- **Remarks**

这个函数要求两个 hash_set_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

```
/*
 * hash_set_greater_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs2 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs3 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs4 = create_hash_set(int);
    int i = 0;

    if(phset_hs1 == NULL || phset_hs2 == NULL ||
        phset_hs3 == NULL || phset_hs4 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_set_init(phset_hs1);
    hash_set_init(phset_hs2);
    hash_set_init(phset_hs3);
    hash_set_init(phset_hs4);

    for(i = 0; i < 3; ++i)
    {
        hash_set_insert(phset_hs1, i);
        hash_set_insert(phset_hs2, i * i);
        hash_set_insert(phset_hs3, i - 1);
        hash_set_insert(phset_hs4, i);
    }

    if(hash_set_greater_equal(phset_hs1, phset_hs2))
    {
        printf("The hash_set hs1 is greater than or equal to the hash_set hs2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_set hs1 is less than the hash_set hs2.\n");
    }

    if(hash_set_greater_equal(phset_hs1, phset_hs3))
    {
        printf("The hash_set hs1 is greater than or equal to the hash_set hs3.\n");
    }
    else
    {

```

```

        printf("The hash_set hs1 is less than the hash_set hs3.\n");
    }

    if(hash_set_greater_equal(phset_hs1, phset_hs4))
    {
        printf("The hash_set hs1 is greater than or equal to the hash_set hs4.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_set hs1 is less than the hash_set hs4.\n");
    }

    hash_set_destroy(phset_hs1);
    hash_set_destroy(phset_hs2);
    hash_set_destroy(phset_hs3);
    hash_set_destroy(phset_hs4);

    return 0;
}

```

● Output

```

The hash_set hs1 is less than the hash_set hs2.
The hash_set hs1 is greater than or equal to the hash_set hs3.
The hash_set hs1 is greater than or equal to the hash_set hs4.

```

18. hash_set_hash

返回 hash_set_t 使用的哈希函数。

```

unary_function_t hash_set_hash(
    const hash_set_t* cphset_hset
);

```

● Parameters

cphset_hset: 指向 hash_set_t 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```

/*
 * hash_set_hash.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

static void hash_func(const void* cpv_input, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs2 = create_hash_set(int);

    if(phset_hs1 == NULL || phset_hs2 == NULL)
    {

```



```

        return -1;
    }

    hash_set_init(phset_hs1);
    hash_set_init_ex(phset_hs2, 100, hash_func, NULL);

    if(hash_set_hash(phset_hs1) == hash_func)
    {
        printf("The hash function of hash_set hs1 is hash_func.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash function of hash_set hs1 is not hash_func.\n");
    }

    if(hash_set_hash(phset_hs2) == hash_func)
    {
        printf("The hash function of hash_set hs2 is hash_func.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash function of hash_set hs2 is not hash_func.\n");
    }

    hash_set_destroy(phset_hs1);
    hash_set_destroy(phset_hs2);

    return 0;
}

static void hash_func(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    *(int*)pv_output = *(int*)cpv_input;
}

```

● Output

```

The hash function of hash_set hs1 is not hash_func.
The hash function of hash_set hs2 is hash_func.

```

19. hash_set_init hash_set_init_copy hash_set_init_copy_range hash_set_init_copy_range_ex hash_set_init_ex

初始化 hash_set_t 容器类型。

```

void hash_set_init(
    hash_set_t* phset_hset
);

void hash_set_init_copy(
    hash_set_t* phset_hset,
    const hash_set_t* cphset_src
);

void hash_set_init_copy_range(
    hash_set_t* phset_hset,
    hash_set_iterator_t it_begin,
    hash_set_iterator_t it_end
)

```

```
);

void hash_set_init_copy_range_ex(
    hash_set_t* phset_hset,
    hash_set_iterator_t it_begin,
    hash_set_iterator_t it_end,
    size_t t_bucketcount,
    unary_function_t ufun_hash,
    binary_function_t bfun_compare
);

void hash_set_init_ex(
    hash_set_t* phset_hset,
    size_t t_bucketcount,
    unary_function_t ufun_hash,
    binary_function_t bfun_compare
);
```

● Parameters

phset_hset: 指向被初始化 `hash_set_t` 类型的指针。
cpset_src: 指向用于初始化的 `hash_set_t` 类型的指针。
it_begin: 用于初始化的数据区间的开始位置。
it_end: 用于初始化的数据区间的末尾位置。
t_bucketcount: 哈希表中的存储单元个数。
ufun_hash: 自定义的哈希函数。
bfun_compare: 自定义比较规则。

● Remarks

第一个函数初始化一个空的 `hash_set_t`，使用默认的哈希函数和与数据类型相关的小于操作函数作为默认的比较规则。

第二个函数使用一个源 `hash_set_t` 来初始化 `hash_set_t`，数据的内容，哈希函数和比较规则都从源 `hash_set_t` 复制。

第三个函数使用指定的数据区间初始化一个 `hash_set_t`，使用默认的哈希函数和与数据类型相关的小于操作函数作为默认的比较规则。

第四个函数使用指定的数据区间初始化一个 `hash_set_t`，使用用户指定的哈希表存储单元个数，哈希函数和比较规则。

第五个函数初始化一个空的 `hash_set_t`，使用用户指定的哈希表存储单元个数，哈希函数和比较规则。

上面的函数要求迭代器和数据区间是有效的，无效的迭代器或数据区间导致函数的行为未定义。初始化函数根据用户指定的哈希表存储单元个数计算一个与用户指定的个数最接近的最佳哈希表存储单元个数。默认个数是 53 个，用户指定的个数小于等于 53 时都使用这个存储单元个数。

● Requirements

头文件 `<cstl/chash_set.h>`

● Example

```
/*
 * hash_set_init.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>
#include <cstl/cfunctional.h>
```

```

static void _hash_function(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    *(size_t*)pv_output = *(int*)cpv_input + 20;
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_set_t* phset_hs0 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs2 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs3 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs4 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs5 = create_hash_set(int);
    hash_set_iterator_t it_hs;

    if(phset_hs0 == NULL || phset_hs1 == NULL || phset_hs2 == NULL ||
        phset_hs3 == NULL || phset_hs4 == NULL || phset_hs5 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    /* Create an empty hash_set hs0 of key type integer */
    hash_set_init(phset_hs0);

    /*
     * Create an empty hash_set hs1 with the key comparison
     * function of less than, then insert 4 elements.
     */
    hash_set_init_ex(phset_hs1, 10, _hash_function, fun_less_int);
    hash_set_insert(phset_hs1, 10);
    hash_set_insert(phset_hs1, 20);
    hash_set_insert(phset_hs1, 30);
    hash_set_insert(phset_hs1, 40);

    /*
     * Create an empty hash_set hs2 with the key comparison
     * function of greater than, then insert 2 element.
     */
    hash_set_init_ex(phset_hs2, 100, _hash_function, fun_greater_int);
    hash_set_insert(phset_hs2, 10);
    hash_set_insert(phset_hs2, 20);

    /* Create a copy, hash_set hs3, of hash_set hs1 */
    hash_set_init_copy(phset_hs3, phset_hs1);

    /* Create a hash_set hs4 by copying the range hs1[first, last) */
    hash_set_init_copy_range(phset_hs4, hash_set_begin(phset_hs1),
        iterator_advance(hash_set_begin(phset_hs1), 2));

    /*
     * Create a hash_set hs5 by copying the range hs3[first, last)
     * and with the key comparison function of less than.
     */
    hash_set_init_copy_range_ex(phset_hs5, hash_set_begin(phset_hs3),
        iterator_next(hash_set_begin(phset_hs3)), 100,
        _hash_function, fun_less_int);

    printf("hs1 =");
    for(it_hs = hash_set_begin(phset_hs1);

```

```

        !iterator_equal(it_hs, hash_set_end(phset_hs1));
        it_hs = iterator_next(it_hs)
    }
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
}
printf("\n");

printf("hs2 =");
for(it_hs = hash_set_begin(phset_hs2);
    !iterator_equal(it_hs, hash_set_end(phset_hs2));
    it_hs = iterator_next(it_hs))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
}
printf("\n");

printf("hs3 =");
for(it_hs = hash_set_begin(phset_hs3);
    !iterator_equal(it_hs, hash_set_end(phset_hs3));
    it_hs = iterator_next(it_hs))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
}
printf("\n");

printf("hs4 =");
for(it_hs = hash_set_begin(phset_hs4);
    !iterator_equal(it_hs, hash_set_end(phset_hs4));
    it_hs = iterator_next(it_hs))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
}
printf("\n");

printf("hs5 =");
for(it_hs = hash_set_begin(phset_hs5);
    !iterator_equal(it_hs, hash_set_end(phset_hs5));
    it_hs = iterator_next(it_hs))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
}
printf("\n");

hash_set_destroy(phset_hs0);
hash_set_destroy(phset_hs1);
hash_set_destroy(phset_hs2);
hash_set_destroy(phset_hs3);
hash_set_destroy(phset_hs4);
hash_set_destroy(phset_hs5);

return 0;
}

```

● Output

```

hs1 = 40 10 20 30
hs2 = 10 20
hs3 = 40 10 20 30
hs4 = 10 40
hs5 = 40

```

20. hash_set_insert hash_set_insert_range

向 hash_set_t 中插入数据。

```
hash_set_iterator_t hash_set_insert(  
    hash_set_t* phset_hset,  
    element  
);  
  
void hash_set_insert_range(  
    hash_set_t* phset_hset,  
    hash_set_iterator_t it_begin,  
    hash_set_iterator_t it_end  
);
```

● Parameters

phset_hset: 指向 hash_set_t 类型的指针。
element: 插入的数据。
it_begin: 被插入的数据区间的开始位置。
it_end: 被插入的数据区间的末尾位置。

● Remarks

第一个函数向 hash_set_t 中插入一个指定的数据，成功后返回指向该数据的迭代器，如果 hash_set_t 中包含了该数据那么插入失败，返回 hash_set_end()。

第三个函数插入指定的数据区间。

上面的函数要求迭代器和数据区间是有效的，无效的迭代器或数据区间导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```
/*  
 * hash_set_insert.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_set.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);  
    hash_set_t* phset_hs2 = create_hash_set(int);  
    hash_set_iterator_t it_hs;  
  
    if(phset_hs1 == NULL || phset_hs2 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    hash_set_init(phset_hs1);  
    hash_set_init(phset_hs2);  
  
    hash_set_insert(phset_hs1, 10);  
    hash_set_insert(phset_hs1, 20);
```

```

hash_set_insert(phset_hs1, 30);
hash_set_insert(phset_hs1, 40);

printf("The original hs1 =");
for(it_hs = hash_set_begin(phset_hs1);
    !iterator_equal(it_hs, hash_set_end(phset_hs1));
    it_hs = iterator_next(it_hs))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
}
printf("\n");

it_hs = hash_set_insert(phset_hs1, 10);
if(iterator_equal(it_hs, hash_set_end(phset_hs1)))
{
    printf("The element 10 already exist in hs1.\n");
}
else
{
    printf("The element 10 was inserted inhs1 successfully.\n");
}

hash_set_insert(phset_hs1, 80);
printf("After the insertions, hs1 =");
for(it_hs = hash_set_begin(phset_hs1);
    !iterator_equal(it_hs, hash_set_end(phset_hs1));
    it_hs = iterator_next(it_hs))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
}
printf("\n");

hash_set_insert(phset_hs2, 100);
hash_set_insert_range(phset_hs2, iterator_next(hash_set_begin(phset_hs1)),
    iterator_prev(hash_set_end(phset_hs1)));

printf("hs2 =");
for(it_hs = hash_set_begin(phset_hs2);
    !iterator_equal(it_hs, hash_set_end(phset_hs2));
    it_hs = iterator_next(it_hs))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
}
printf("\n");

hash_set_destroy(phset_hs1);
hash_set_destroy(phset_hs2);

return 0;
}

```

● Output

```

The original hs1 = 10 20 30 40
The element 10 already exist in hs1.
After the insertions, hs1 = 10 20 80 30 40
hs2 = 20 80 30 100

```

21. hash_set_key_comp

返回 hash_set_t 使用的比较规则。

```
binary_function_t hash_set_key_comp(  
    const hash_set_t* cphset_hset  
);
```

- **Parameters**

cphset_hset: 指向 hash_set_t 类型的指针。

- **Remarks**

由于 hash_set_t 中数据本身就是键，所以这个函数的返回值与 hash_set_value_comp() 相同。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

```
/*  
 * hash_set_key_comp.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_set.h>  
#include <cstl/cfunctional.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);  
    hash_set_t* phset_hs2 = create_hash_set(int);  
    binary_function_t bfun_kc = NULL;  
    int n_first = 2;  
    int n_second = 3;  
    bool_t b_result = false;  
  
    if(phset_hs1 == NULL || phset_hs2 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    hash_set_init_ex(phset_hs1, 0, NULL, fun_less_int);  
    hash_set_init_ex(phset_hs2, 0, NULL, fun_greater_int);  
  
    bfun_kc = hash_set_key_comp(phset_hs1);  
    (*bfun_kc)(&n_first, &n_second, &b_result);  
    if(b_result)  
    {  
        printf("(bfun_kc)(2, 3) returns value of true, "  
            "where bfun_kc is the compare function of hs1.\n");  
    }  
    else  
    {  
        printf("(bfun_kc)(2, 3) returns value of false, "  
            "where bfun_kc is the compare function of hs1.\n");  
    }  
  
    bfun_kc = hash_set_key_comp(phset_hs2);  
    (*bfun_kc)(&n_first, &n_second, &b_result);
```

```

if(b_result)
{
    printf("(bfun_kc)(2, 3) returns value of true, "
           "where bfun_kc is the compare function of hs2.\n");
}
else
{
    printf("(bfun_kc)(2, 3) returns value of false, "
           "where bfun_kc is the compare function of hs2.\n");
}

hash_set_destroy(phset_hs1);
hash_set_destroy(phset_hs2);

return 0;
}

```

● Output

The original hs1 = 10 20 30 40
 The element 10 already exist in hs1.
 After the insertions, hs1 = 10 20 80 30 40
 hs2 = 20 80 30 100

22. hash_set_less

测试第一个 hash_set_t 是否小于第二个 hash_set_t。

```

bool_t hash_set_less(
    const hash_set_t* cphset_first,
    const hash_set_t* cphset_second
);

```

● Parameters

cphset_first: 指向第一个 hash_set_t 类型的指针。
cphset_second: 指向第二个 hash_set_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 hash_set_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```

/*
 * hash_set_less.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs2 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs3 = create_hash_set(int);

```



```

int i = 0;

if(phset_hs1 == NULL || phset_hs2 == NULL || phset_hs3 == NULL)
{
    return -1;
}

hash_set_init(phset_hs1);
hash_set_init(phset_hs2);
hash_set_init(phset_hs3);

for(i = 0; i < 3; ++i)
{
    hash_set_insert(phset_hs1, i);
    hash_set_insert(phset_hs2, i * i);
    hash_set_insert(phset_hs3, i - 1);
}

if(hash_set_less(phset_hs1, phset_hs2))
{
    printf("The hash_set hs1 is less than the hash_set hs2.\n");
}
else
{
    printf("The hash_set hs1 is not less than the hash_set hs2.\n");
}

if(hash_set_less(phset_hs1, phset_hs3))
{
    printf("The hash_set hs1 is less than the hash_set hs3.\n");
}
else
{
    printf("The hash_set hs1 is not less than the hash_set hs3.\n");
}

hash_set_destroy(phset_hs1);
hash_set_destroy(phset_hs2);
hash_set_destroy(phset_hs3);

return 0;
}

```

● Output

```

The hash_set hs1 is less than the hash_set hs2.
The hash_set hs1 is not less than the hash_set hs3.

```

23. hash_set_less_equal

测试第一个 hash_set_t 是否小于等于第二个 hash_set_t。

```

bool_t hash_set_less_equal(
    const hash_set_t* cphset_first,
    const hash_set_t* cphset_second
);

```

● Parameters

cphset_first: 指向第一个 hash_set_t 类型的指针。

cphset_second: 指向第二个 hash_set_t 类型的指针。

- **Remarks**

这个函数要求两个 hash_set_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

```
/*
 * hash_set_less_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs2 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs3 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs4 = create_hash_set(int);
    int i = 0;

    if(phset_hs1 == NULL || phset_hs2 == NULL ||
        phset_hs3 == NULL || phset_hs4 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_set_init(phset_hs1);
    hash_set_init(phset_hs2);
    hash_set_init(phset_hs3);
    hash_set_init(phset_hs4);

    for(i = 0; i < 3; ++i)
    {
        hash_set_insert(phset_hs1, i);
        hash_set_insert(phset_hs2, i * i);
        hash_set_insert(phset_hs3, i - 1);
        hash_set_insert(phset_hs4, i);
    }

    if(hash_set_less_equal(phset_hs1, phset_hs2))
    {
        printf("The hash_set hs1 is less than or equal to the hash_set hs2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_set hs1 is greater than the hash_set hs2.\n");
    }

    if(hash_set_less_equal(phset_hs1, phset_hs3))
    {
        printf("The hash_set hs1 is less than or equal to the hash_set hs3.\n");
    }
    else
    {

```

```

        printf("The hash_set hs1 is greater than the hash_set hs3.\n");
    }

    if(hash_set_less_equal(phset_hs1, phset_hs4))
    {
        printf("The hash_set hs1 is less than or equal to the hash_set hs4.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_set hs1 is greater than the hash_set hs4.\n");
    }

    hash_set_destroy(phset_hs1);
    hash_set_destroy(phset_hs2);
    hash_set_destroy(phset_hs3);
    hash_set_destroy(phset_hs4);

    return 0;
}

```

● Output

```

The hash_set hs1 is less than or equal to the hash_set hs2.
The hash_set hs1 is greater than the hash_set hs3.
The hash_set hs1 is less than or equal to the hash_set hs4.

```

24. hash_set_max_size

返回 hash_set_t 中保存数据数量的最大可能值。

```

size_t hash_set_max_size(
    const hash_set_t* cphset_hset
);

```

● Parameters

cphset_hset: 指向 hash_set_t 类型的指针。

● Remarks

这是一个与系统有关的常数。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```

/*
 * hash_set_max_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);

    if(phset_hs1 == NULL)

```

```

{
    return -1;
}

hash_set_init(phset_hs1);

printf("The maximum possible length of the hash_set hs1 is: %d.\n",
       hash_set_max_size(phset_hs1));

hash_set_destroy(phset_hs1);

return 0;
}

```

● Output

The maximum possible length of the hash_set hs1 is: 1073741823.

25. hash_set_not_equal

测试两个 hash_set_t 是否不等。

```

bool_t hash_set_not_equal(
    const hash_set_t* cphset_first,
    const hash_set_t* cphset_second
);

```

● Parameters

cphset_first: 指向第一个 hash_set_t 类型的指针。

cphset_second: 指向第二个 hash_set_t 类型的指针。

● Remarks

两个 hash_set_t 中的数据对应相等，并且数量相等，函数返回 false，否则返回 true。如果两个 hash_set_t 中的数据类型不同也认为不等。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```

/*
 * hash_set_not_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs2 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs3 = create_hash_set(int);
    int i = 0;

    if(phset_hs1 == NULL || phset_hs2 == NULL || phset_hs3 == NULL)
    {
        return -1;
    }
}

```

```

}

hash_set_init(phset_hs1);
hash_set_init(phset_hs2);
hash_set_init(phset_hs3);

for(i = 0; i < 3; ++i)
{
    hash_set_insert(phset_hs1, i);
    hash_set_insert(phset_hs2, i * i);
    hash_set_insert(phset_hs3, i);
}

if(hash_set_not_equal(phset_hs1, phset_hs2))
{
    printf("The hash_sets hs1 and hs2 are not equal.\n");
}
else
{
    printf("The hash_sets hs1 and hs2 are equal.\n");
}

if(hash_set_not_equal(phset_hs1, phset_hs3))
{
    printf("The hash_sets hs1 and hs3 are not equal.\n");
}
else
{
    printf("The hash_sets hs1 and hs3 are equal.\n");
}

hash_set_destroy(phset_hs1);
hash_set_destroy(phset_hs2);
hash_set_destroy(phset_hs3);

return 0;
}

```

● Output

```

The hash_sets hs1 and hs2 are not equal.
The hash_sets hs1 and hs3 are equal.

```

26. hash_set_resize

重新设置 hash_set_t 中哈希表存储单元的数量。

```

void hash_set_resize(
    hash_set_t* phset_hset,
    size_t t_resize
);

```

● Parameters

phset_hset: 指向 hash_set_t 类型的指针。
t_resize: 哈希表存储单元的新数量。

● Remarks

当哈希表存储单元数量改变后，哈希表中的数据将被重新计算位置，所有的迭代器失效。当新的存储单元数

量小于当前数量时，不做任何操作。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

```
/*
 * hash_set_resize.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);

    if(phset_hs1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_set_init(phset_hs1);

    printf("The bucket count of hash_set hs1 is: %d.\n",
        hash_set_bucket_count(phset_hs1));

    hash_set_resize(phset_hs1, 100);

    printf("The bucket count of hash_set hs1 is now: %d.\n",
        hash_set_bucket_count(phset_hs1));

    hash_set_destroy(phset_hs1);

    return 0;
}
```

- **Output**

```
The bucket count of hash_set hs1 is: 53.
The bucket count of hash_set hs1 is now: 193.
```

27. hash_set_size

返回 hash_set_t 中数据的数量。

```
size_t hash_set_size(
    const hash_set_t* cphset_hset
);
```

- **Parameters**

cphset_hset: 指向 hash_set_t 类型的指针。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```
/*
 * hash_set_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);

    if(phset_hs1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_set_init(phset_hs1);

    hash_set_insert(phset_hs1, 1);
    printf("The hash_set hs1 length is %d.\n", hash_set_size(phset_hs1));

    hash_set_insert(phset_hs1, 2);
    printf("The hash_set hs1 length is now %d.\n", hash_set_size(phset_hs1));

    hash_set_destroy(phset_hs1);

    return 0;
}
```

● Output

```
The hash_set hs1 length is 1.
The hash_set hs1 length is now 2.
```

28. hash_set_swap

交换两个 hash_set_t 的内容。

```
void hash_set_swap(
    hash_set_t* phset_first,
    hash_set_t* phset_second
);
```

● Parameters

phset_first: 指向第一个 hash_set_t 类型的指针。
phset_second: 指向第二个 hash_set_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 hash_set_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```
/*
```

```

* hash_set_swap.c
* compile with : -lcstl
*/

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs2 = create_hash_set(int);
    hash_set_iterator_t it_hs;

    if(phset_hs1 == NULL || phset_hs2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_set_init(phset_hs1);
    hash_set_init(phset_hs2);

    hash_set_insert(phset_hs1, 10);
    hash_set_insert(phset_hs1, 20);
    hash_set_insert(phset_hs1, 30);
    hash_set_insert(phset_hs2, 100);
    hash_set_insert(phset_hs2, 200);

    printf("The original hash_set hs1 is:");
    for(it_hs = hash_set_begin(phset_hs1);
        !iterator_equal(it_hs, hash_set_end(phset_hs1));
        it_hs = iterator_next(it_hs))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
    }
    printf("\n");

    hash_set_swap(phset_hs1, phset_hs2);

    printf("After swapping with hs2, hash_set hs1 is:");
    for(it_hs = hash_set_begin(phset_hs1);
        !iterator_equal(it_hs, hash_set_end(phset_hs1));
        it_hs = iterator_next(it_hs))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
    }
    printf("\n");

    hash_set_destroy(phset_hs1);
    hash_set_destroy(phset_hs2);

    return 0;
}

```

● Output

```

The original hash_set hs1 is: 10 20 30
After swapping with hs2, hash_set hs1 is: 200 100

```


29. hash_set_value_comp

返回 hash_set_t 使用的数据比较规则。

```
binary_function_t hash_set_value_comp(  
    const hash_set_t* cphset_hset  
);
```

- **Parameters**

cphset_hset: 指向 hash_set_t 类型的指针。

- **Remarks**

由于 hash_set_t 中数据本身就是键，所以这个函数的返回值与 hash_set_key_comp() 相同。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

```
/*  
 * hash_set_value_comp.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_set.h>  
#include <cstl/cfunctional.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);  
    hash_set_t* phset_hs2 = create_hash_set(int);  
    binary_function_t bfun_vc = NULL;  
    int n_first = 2;  
    int n_second = 3;  
    bool_t b_result = false;  
  
    if(phset_hs1 == NULL || phset_hs2 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    hash_set_init_ex(phset_hs1, 0, NULL, fun_less_int);  
    hash_set_init_ex(phset_hs2, 0, NULL, fun_greater_int);  
  
    bfun_vc = hash_set_value_comp(phset_hs1);  
    (*bfun_vc)(&n_first, &n_second, &b_result);  
    if(b_result)  
    {  
        printf("(bfun_vc)(2, 3) returns value of true, "  
            "where bfun_vc is the compare function of hs1.\n");  
    }  
    else  
    {  
        printf("(bfun_vc)(2, 3) returns value of false, "  
            "where bfun_vc is the compare function of hs1.\n");  
    }  
  
    bfun_vc = hash_set_value_comp(phset_hs2);  
    (*bfun_vc)(&n_first, &n_second, &b_result);
```

```
if(b_result)
{
    printf("(bfun_vc)(2, 3) returns value of true, "
           "where bfun_vc is the compare function of hs2.\n");
}
else
{
    printf("(bfun_vc)(2, 3) returns value of false, "
           "where bfun_vc is the compare function of hs2.\n");
}

hash_set_destroy(phset_hs1);
hash_set_destroy(phset_hs2);

return 0;
}
```

● Output

(bfun_vc)(2, 3) returns value of true, where bfun_vc is the compare function of hs1.
(bfun_vc)(2, 3) returns value of false, where bfun_vc is the compare function of hs2.

第十节 基于哈希结构的多重集合 hash_multiset_t

基于哈希结构的多重集合容器 hash_multiset_t 是关联容器，它使用指定的哈希函数计算数据的存储位置，将数据保存在这个位置上。hash_multiset_t 中的数据位置是根据数据本身计算的，数据在 hash_multiset_t 容器中是允许重复的，容器中数据也存在着某种有序性，所以也不能通过直接或者间接的方式修改容器中的数据。hash_multiset_t 提供双向迭代器，插入新的数据不会破坏原有的数据的迭代器，删除一个数据的时候只有指向数据本身的迭代器失效，但是当哈希表重新计算数据位置的时候所有的迭代器都失效。

● Typedefs

hash_multiset_t	基于哈希结构的多重集合容器类型。
hash_multiset_iterator_t	基于哈希结构的多重集合容器迭代器类型。

● Operation Functions

create_hash_multiset	创建基于哈希结构的多重集合容器类型。
hash_multiset_assign	为基于哈希结构的多重集合容器赋值。
hash_multiset_begin	返回基于哈希结构的多重集合中指向第一个数据的迭代器。
hash_multiset_bucket_count	返回基于哈希结构的多重集合使用的哈希表的存储单元个数。
hash_multiset_clear	删除基于哈希结构的多重集合中所有的数据。
hash_multiset_count	统计基于哈希结构的多重集合包含的指定数据的个数。
hash_multiset_destroy	销毁基于哈希结构的多重集合容器类型。
hash_multiset_empty	测试基于哈希结构的多重集合是否为空。
hash_multiset_end	返回基于哈希结构的多重集合的末尾位置的迭代器。
hash_multiset_equal	测试两个基于哈希结构的多重集合是否相等。
hash_multiset_equal_range	返回基于哈希结构的多重集合中包含指定数据的数据区间。

hash_multiset_erase	删除基于哈希结构的多重集合中包含的指定数据。
hash_multiset_erase_pos	删除基于哈希结构的多重集合中指定位置的数据。
hash_multiset_erase_range	删除基于哈希结构的多重集合中指定数据区间的数据。
hash_multiset_find	在基于哈希结构的多重集合中查找指定的数据。
hash_multiset_greater	测试第一个基于哈希结构的多重集合是否大于第二个基于哈希结构的多重集合。
hash_multiset_greater_equal	测试第一个基于哈希结构的多重集合是否大于等于第二个。
hash_multiset_hash	返回基于哈希结构的多重集合使用的哈希函数。
hash_multiset_init	初始化一个空的基于哈希结构的多重集合。
hash_multiset_init_copy	通过拷贝的方式初始化基于哈希结构的多重集合。
hash_multiset_init_copy_range	使用指定的数据区间初始化基于哈希结构的多重集合。
hash_multiset_init_copy_range_ex	使用指定的数据区间，哈希函数，排序规则和存储单元个数进行初始化。
hash_multiset_init_ex	使用指定的哈希函数，排序规则和存储单元个数进行初始化。
hash_multiset_insert	向基于哈希结构的多重集合中插入数据。
hash_multiset_insert_range	向基于哈希结构的多重集合中插入指定的数据区间。
hash_multiset_key_comp	返回基于哈希结构的多重集合使用的键比较规则。
hash_multiset_less	测试第一个基于哈希结构的多重集合是否小于第二个基于哈希结构的多重集合。
hash_multiset_less_equal	测试第一个基于哈希结构的多重集合是否小于等于第二个。
hash_multiset_max_size	返回基于哈希结构的多重集合能够保存数据的最大数量。
hash_multiset_not_equal	测试两个基于哈希结构的多重集合是否不等。
hash_multiset_resize	重新设置基于哈希结构的多重集合使用的哈希表的存储单元个数。
hash_multiset_size	返回基于哈希结构的多重集合中数据的数量。
hash_multiset_swap	交换两个基于哈希结构的多重集合的内容。
hash_multiset_value_comp	返回基于哈希结构的多重集合使用的值比较规则。

1. hash_multiset_t

基于哈希结构的多重集合容器类型。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

请参考 hash_multiset_t 类型的其他操作函数。

2. hash_multiset_iterator_t

集合哈希结构的多重集合容器的迭代器类型。

- **Remarks**

hash_multiset_iterator_t 是双向迭代器类型，不能通过迭代器来修改容器中数据的数据。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

请参考 hash_multiset_t 类型的其他操作函数。

3. create_hash_multiset

创建 hash_multiset_t 容器类型。

```
hash_multiset_t* create_hash_multiset(  
    type  
);
```

- **Parameters**

type: 数据类型描述。

- **Remarks**

函数成功返回指向 hash_multiset_t 类型的指针，失败返回 NULL。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

请参考 hash_multiset_t 类型的其他操作函数。

4. hash_multiset_assign

为 hash_multiset_t 类型赋值。

```
void hash_multiset_assign(  
    hash_multiset_t* phmset_dest,  
    const hash_multiset_t* cphmset_src  
);
```

- **Parameters**

phmset_dest: 指向被赋值的 hash_multiset_t 类型的指针。

cphmset_src: 指向赋值的 hash_multiset_t 类型的指针。

- **Remarks**

要求两个 hash_multiset_t 类型保存的数据具有相同的类型，否则函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

```
/*  
 * hash_multiset_assign.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_set.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])
```

```

{
    hash_multiset_t* phmset_hms1 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phmset_hms2 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_iterator_t it_hms;

    if(phmset_hms1 == NULL || phmset_hms2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multiset_init(phmset_hms1);
    hash_multiset_init(phmset_hms2);

    hash_multiset_insert(phmset_hms1, 10);
    hash_multiset_insert(phmset_hms1, 20);
    hash_multiset_insert(phmset_hms1, 30);
    hash_multiset_insert(phmset_hms2, 40);
    hash_multiset_insert(phmset_hms2, 50);
    hash_multiset_insert(phmset_hms2, 60);

    printf("hs1 =");
    for(it_hms = hash_multiset_begin(phmset_hms1);
        !iterator_equal(it_hms, hash_multiset_end(phmset_hms1));
        it_hms = iterator_next(it_hms))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hms));
    }
    printf("\n");

    hash_multiset_assign(phmset_hms1, phmset_hms2);
    printf("hs1 =");
    for(it_hms = hash_multiset_begin(phmset_hms1);
        !iterator_equal(it_hms, hash_multiset_end(phmset_hms1));
        it_hms = iterator_next(it_hms))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hms));
    }
    printf("\n");

    hash_multiset_destroy(phmset_hms1);
    hash_multiset_destroy(phmset_hms2);

    return 0;
}

```

● Output

```

hs1 = 10 20 30
hs1 = 60 40 50

```

5. hash_multiset_begin

返回指向 hash_multiset_t 中第一个数据的迭代器。

```

hash_multiset_iterator_t hash_multiset_begin(
    const hash_multiset_t* cphmset_hmset
);

```

● Parameters

cphmset_hmset: 指向 hash_multiset_t 类型的指针。

- **Remarks**

如果 hash_multiset_t 为空，这个函数的返回值和 hash_multiset_end() 的返回值相等。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

```
/*
 * hash_multiset_begin.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);

    if(phms_hms1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multiset_init(phms_hms1);

    hash_multiset_insert(phms_hms1, 1);
    hash_multiset_insert(phms_hms1, 2);
    hash_multiset_insert(phms_hms1, 3);

    printf("The first element of hs1 is %d.\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(hash_multiset_begin(phms_hms1)));

    hash_multiset_erase_pos(phms_hms1, hash_multiset_begin(phms_hms1));

    printf("The first element of hs1 is now %d.\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(hash_multiset_begin(phms_hms1)));

    hash_multiset_destroy(phms_hms1);

    return 0;
}
```

- **Output**

```
The first element of hs1 is 1.
The first element of hs1 is now 2.
```

6. hash_multiset_bucket_count

返回 hash_multiset_t 中哈希表存储单元的个数。

```
size_t hash_multiset_bucket_count(
    const hash_multiset_t* cphmset_hmset
);
```

- **Parameters**

cphmset_hmset: 指向 hash_multiset_t 类型的指针。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

```
/*
 * hash_multiset_bucket_count.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phms_hms2 = create_hash_multiset(int);

    if(phms_hms1 == NULL || phms_hms2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multiset_init(phms_hms1);
    hash_multiset_init_ex(phms_hms2, 100, NULL, NULL);

    printf("The default bucket count of hs1 is %d.\n",
        hash_multiset_bucket_count(phms_hms1));
    printf("The custom bucket count of hs2 is %d.\n",
        hash_multiset_bucket_count(phms_hms2));

    hash_multiset_destroy(phms_hms1);
    hash_multiset_destroy(phms_hms2);

    return 0;
}
```

- **Output**

```
The default bucket count of hs1 is 53.
The custom bucket count of hs2 is 193.
```

7. hash_multiset_clear

删除 hash_multiset_t 中所有的数据。

```
void hash_multiset_clear(
    hash_multiset_t* phmset_hmset
);
```

- **Parameters**

phmset_hmset: 指向 hash_multiset_t 类型的指针。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```
/*
 * hash_multiset_clear.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);

    if(phms_hms1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multiset_init(phms_hms1);

    hash_multiset_insert(phms_hms1, 1);
    hash_multiset_insert(phms_hms1, 2);

    printf("The size of the hash_multiset is initially %d.\n",
        hash_multiset_size(phms_hms1));

    hash_multiset_clear(phms_hms1);

    printf("The size of the hash_multiset after clearing is %d.\n",
        hash_multiset_size(phms_hms1));

    hash_multiset_destroy(phms_hms1);

    return 0;
}
```

● Output

```
The size of the hash_multiset is initially 2.
The size of the hash_multiset after clearing is 0.
```

8. hash_multiset_count

统计 hash_multiset_t 中包含指定数据的数量。

```
size_t hash_multiset_count(
    const hash_multiset_t* cphmset_hmset,
    element
);
```

● Parameters

cphmset_hmset: 指向 hash_multiset_t 类型的指针。
element: 指定的数据。

● Remarks

如果容器中不包含指定数据则返回 0，包含则返回指定数据的个数。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

```
/*
 * hash_multiset_count.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);

    if(phms_hms1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multiset_init(phms_hms1);

    hash_multiset_insert(phms_hms1, 1);
    hash_multiset_insert(phms_hms1, 1);

    /* Keys must be unique in hash_multiset, so duplicates are ignored */
    printf("The number of elements in hs1 with a sort key of 1 is: %d.\n",
        hash_multiset_count(phms_hms1, 1));

    printf("The number of elements in hs1 with a sort key of 2 is: %d.\n",
        hash_multiset_count(phms_hms1, 2));

    hash_multiset_destroy(phms_hms1);

    return 0;
}
```

- **Output**

```
The number of elements in hs1 with a sort key of 1 is: 2.
The number of elements in hs1 with a sort key of 2 is: 0.
```

9. hash_multiset_destroy

销毁 hash_multiset_t 容器类型。

```
void hash_multiset_destroy(
    hash_multiset_t* phmset_hmset
);
```

- **Parameters**

phmset_hmset: 指向 hash_multiset_t 类型的指针。

- **Remarks**

hash_multiset_t 容器使用之后要销毁，否则 hash_multiset_t 占用的资源不会被释放。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

请参考 hash_multiset_t 类型的其他操作函数。

10. hash_multiset_empty

测试 hash_multiset_t 是否为空。

```
bool_t hash_multiset_empty(  
    const hash_multiset_t* cphmset_hmset  
);
```

- **Parameters**

cphmset_hmset: 指向 hash_multiset_t 类型的指针。

- **Remarks**

hash_multiset_t 容器为空则返回 true，否则返回 false。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

```
/*  
 * hash_multiset_empty.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_set.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);  
    hash_multiset_t* phms_hms2 = create_hash_multiset(int);  
  
    if(phms_hms1 == NULL || phms_hms2 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    hash_multiset_init(phms_hms1);  
    hash_multiset_init(phms_hms2);  
  
    hash_multiset_insert(phms_hms1, 1);  
  
    if(hash_multiset_empty(phms_hms1))  
    {  
        printf("The hash_multiset hs1 is empty.\n");  
    }  
    else  
    {  
        printf("The hash_multiset hs1 is not empty.\n");  
    }  
  
    if(hash_multiset_empty(phms_hms2))
```

```

    {
        printf("The hash_multiset hs2 is empty.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_multiset hs2 is not empty.\n");
    }

    hash_multiset_destroy(phms_hms1);
    hash_multiset_destroy(phms_hms2);

    return 0;
}

```

● Output

```

The hash_multiset hs1 is not empty.
The hash_multiset hs2 is empty.

```

11. hash_multiset_end

返回指向 hash_multiset_t 末尾位置的迭代器。

```

hash_multiset_iterator_t hash_multiset_end(
    const hash_multiset_t* cphmset_hmset
);

```

● Parameters

cphmset_hmset: 指向 hash_multiset_t 类型的指针。

● Remarks

如果 hash_multiset_t 为空，这个函数的返回值和 hash_multiset_begin() 的返回值相等。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```

/*
 * hash_multiset_end.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_iterator_t it_hs;

    if(phms_hms1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multiset_init(phms_hms1);

```

```

hash_multiset_insert(phms_hms1, 1);
hash_multiset_insert(phms_hms1, 2);
hash_multiset_insert(phms_hms1, 3);

it_hs = hash_multiset_end(phms_hms1);
it_hs = iterator_prev(it_hs);
printf("The last element of hs1 is %d.\n",
      *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));

hash_multiset_erase_pos(phms_hms1, it_hs);

it_hs = hash_multiset_end(phms_hms1);
it_hs = iterator_prev(it_hs);
printf("The last element of hs1 is now %d.\n",
      *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));

hash_multiset_destroy(phms_hms1);

return 0;
}

```

● Output

```

The last element of hs1 is 3.
The last element of hs1 is now 2.

```

12. hash_multiset_equal

测试两个 hash_multiset_t 是否相等。

```

bool_t hash_multiset_equal(
    const hash_multiset_t* cphmap_first,
    const hash_multiset_t* cphmap_second
);

```

● Parameters

cphmset_first: 指向第一个 hash_multiset_t 类型的指针。
cphmset_second: 指向第二个 hash_multiset_t 类型的指针。

● Remarks

两个 hash_multiset_t 中的数据对应相等，并且数量相等，函数返回 true，否则返回 false。如果两个 hash_multiset_t 中的数据类型不同也认为不等。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```

/*
 * hash_multiset_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{

```

```

hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);
hash_multiset_t* phms_hms2 = create_hash_multiset(int);
hash_multiset_t* phms_hms3 = create_hash_multiset(int);
int i = 0;

if(phms_hms1 == NULL || phms_hms2 == NULL || phms_hms3 == NULL)
{
    return -1;
}

hash_multiset_init(phms_hms1);
hash_multiset_init(phms_hms2);
hash_multiset_init(phms_hms3);

for(i = 0; i < 3; ++i)
{
    hash_multiset_insert(phms_hms1, i);
    hash_multiset_insert(phms_hms2, i * i);
    hash_multiset_insert(phms_hms3, i);
}

if(hash_multiset_equal(phms_hms1, phms_hms2))
{
    printf("The hash_multisets hs1 and hs2 are equal.\n");
}
else
{
    printf("The hash_multisets hs1 and hs2 are not equal.\n");
}

if(hash_multiset_equal(phms_hms1, phms_hms3))
{
    printf("The hash_multisets hs1 and hs3 are equal.\n");
}
else
{
    printf("The hash_multisets hs1 and hs3 are not equal.\n");
}

hash_multiset_destroy(phms_hms1);
hash_multiset_destroy(phms_hms2);
hash_multiset_destroy(phms_hms3);

return 0;
}

```

● Output

```

The hash_multisets hs1 and hs2 are not equal.
The hash_multisets hs1 and hs3 are equal.

```

13. hash_multiset_equal_range

返回 hash_multiset_t 中包含指定数据的数据区间。

```

range_t hash_multiset_equal_range(
    const hash_multiset_t* cphmset_hmset,
    element
);

```

- **Parameters**

cphmset_hmset: 指向 hash_multiset_t 类型的指针。

element: 指定的数据。

- **Remarks**

返回 hash_multiset_t 中包含指定数据的数据区间[range_t.it_begin, range_t.it_end), 其中 it_begin 是指向等于指定数据的第一个数据的迭代器, it_end 指向的是大于指定数据的第一个数据的迭代器。如果 hash_multiset_t 中不包含指定数据则 it_begin 与 it_end 相等。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

```
/*
 * hash_multiset_equal_range.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);
    range_t r_r;

    if(phms_hms1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multiset_init(phms_hms1);

    hash_multiset_insert(phms_hms1, 10);
    hash_multiset_insert(phms_hms1, 20);
    hash_multiset_insert(phms_hms1, 30);

    r_r = hash_multiset_equal_range(phms_hms1, 20);
    printf("The upper bound of the element with "
           "a key of 20 in the hash_multiset hs1 is: %d.\n",
           *(int*)iterator_get_pointer(r_r.it_end));
    printf("The lower bound of the element with a key "
           "of 20 in the hash_multiset hs1 is: %d.\n",
           *(int*)iterator_get_pointer(r_r.it_begin));

    /*If no match is bound for the key, bouth element of the range returned end().*/
    r_r = hash_multiset_equal_range(phms_hms1, 40);
    if(iterator_equal(r_r.it_begin, hash_multiset_end(phms_hms1)) &&
       iterator_equal(r_r.it_end, hash_multiset_end(phms_hms1)))
    {
        printf("The hash_multiset hs1 doesn't have "
               "an element with a key less than 40.\n");
    }
    else
    {
        printf("The element of hash_multiset hs1 with "
               "a key >= 40 is: %d.\n",
```

```

        *(int*)iterator_get_pointer(r_r.it_begin));
    }

    hash_multiset_destroy(phms_hms1);

    return 0;
}

```

● Output

The upper bound of the element with a key of 20 in the hash_multiset hs1 is: 30.
 The lower bound of the element with a key of 20 in the hash_multiset hs1 is: 20.
 The hash_multiset hs1 doesn't have an element with a key less than 40.

14. hash_multiset_erase hash_multiset_erase_pos hash_multiset_erase_range

删除 hash_multiset_t 中的数据。

```

size_t hash_multiset_erase(
    hash_multiset_t* phmset_hmset,
    element
);

void hash_multiset_erase_pos(
    hash_multiset_t* phmset_hmset,
    hash_multiset_iterator_t it_pos
);

void hash_multiset_erase_range(
    hash_multiset_t* phmset_hmset,
    hash_multiset_iterator_t it_begin,
    hash_multiset_iterator_t it_end
);

```

● Parameters

phmset_hmset: 指向 hash_multiset_t 类型的指针。
element: 要删除的数据。
it_pos: 要删除的数据的位置迭代器。
it_begin: 要删除的数据区间的开始位置。
it_end: 要删除的数据区间的末尾位置。

● Remarks

第一个函数删除 hash_multiset_t 中指定的数据，并返回删除的个数，如果 hash_multiset_t 中不包含指定的数据就返回 0。

第二个函数删除指定位置的数据。

第三个函数删除指定数据区间中的数据。

后面两个函数要求迭代器和数据区间是有效的，无效的迭代器或数据区间导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```

/*
 * hash_multiset_erase.c
 * compile with : -lcstl

```

```

*/

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phms_hms2 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phms_hms3 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_iterator_t it_hs;
    size_t t_count = 0;
    int i = 0;

    if(phms_hms1 == NULL || phms_hms2 == NULL || phms_hms3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multiset_init(phms_hms1);
    hash_multiset_init(phms_hms2);
    hash_multiset_init(phms_hms3);

    for(i = 1; i < 5; ++i)
    {
        hash_multiset_insert(phms_hms1, i);
        hash_multiset_insert(phms_hms2, i * i);
        hash_multiset_insert(phms_hms3, i - 1);
    }

    /* The first function removes an element at a given position */
    it_hs = iterator_next(hash_multiset_begin(phms_hms1));
    hash_multiset_erase_pos(phms_hms1, it_hs);

    printf("After the second element is deleted, the hash_multiset hs1 is: ");
    for(it_hs = hash_multiset_begin(phms_hms1);
        !iterator_equal(it_hs, hash_multiset_end(phms_hms1));
        it_hs = iterator_next(it_hs))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
    }
    printf("\n");

    /* The second function removes elements in the range [first, last) */
    hash_multiset_erase_range(phms_hms2,
        iterator_next(hash_multiset_begin(phms_hms2)),
        iterator_prev(hash_multiset_end(phms_hms2)));

    printf("After the middle two elements are deleted, "
        "the hash_multiset hs2 is: ");
    for(it_hs = hash_multiset_begin(phms_hms2);
        !iterator_equal(it_hs, hash_multiset_end(phms_hms2));
        it_hs = iterator_next(it_hs))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
    }
    printf("\n");

    /* The third function removes elements with a given key */
    t_count = hash_multiset_erase(phms_hms3, 2);

```



```

printf("After the element with a key of 2 is deleted, "
      "the hash_multiset hs3 is: ");
for(it_hs = hash_multiset_begin(phms_hms3);
    !iterator_equal(it_hs, hash_multiset_end(phms_hms3));
    it_hs = iterator_next(it_hs))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
}
printf("\n");

hash_multiset_destroy(phms_hms1);
hash_multiset_destroy(phms_hms2);
hash_multiset_destroy(phms_hms3);

return 0;
}

```

● Output

```

After the second element is deleted, the hash_multiset hs1 is:  1 3 4
After the middle two elements are deleted, the hash_multiset hs2 is:  1 16
After the element with a key of 2 is deleted, the hash_multiset hs3 is:  0 1 3

```

15. hash_multiset_find

在 hash_multiset_t 中查找指定的数据。

```

hash_multiset_iterator_t hash_multiset_find(
    const hash_multiset_t* cphmset_hmset,
    element
);

```

● Parameters

cphmset_hmset: 指向 hash_multiset_t 类型的指针。
element: 指定的数据。

● Remarks

如果 hash_multiset_t 中包含指定的数据则返回指向该数据的迭代器，否则返回 hash_multiset_end()。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```

/*
 * hash_multiset_find.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_iterator_t it_hs;

```

```

if(phms_hms1 == NULL)
{
    return -1;
}

hash_multiset_init(phms_hms1);

hash_multiset_insert(phms_hms1, 10);
hash_multiset_insert(phms_hms1, 20);
hash_multiset_insert(phms_hms1, 30);

it_hs = hash_multiset_find(phms_hms1, 20);
printf("The element of hash_multiset hs1 with a key of 20 is: %d.\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));

it_hs = hash_multiset_find(phms_hms1, 40);

/* If no match is found for the key, end() is returned */
if(iterator_equal(it_hs, hash_multiset_end(phms_hms1)))
{
    printf("The hash_multiset hs1 doesn't have "
        "an element with a key of 40.\n");
}
else
{
    printf("The element of hash_multiset hs1 with a key of 40 is: %d.\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
}

/*
 * The element at a specific location in the hash_multiset can be found
 * by using a dereferenced iterator addressing the location.
 */
it_hs = iterator_prev(hash_multiset_end(phms_hms1));
it_hs = hash_multiset_find(phms_hms1, *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
printf("The element of hs1 with a key matching "
    "that of the last element is: %d.\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));

hash_multiset_destroy(phms_hms1);

return 0;
}

```

● Output

```

The element of hash_multiset hs1 with a key of 20 is: 20.
The hash_multiset hs1 doesn't have an element with a key of 40.
The element of hs1 with a key matching that of the last element is: 30.

```

16. hash_multiset_greater

测试第一个 hash_multiset t 是否大于第二个 hash_multiset t。

```

bool_t hash_multiset_greater(
    const hash_multiset_t* cphmset_first,
    const hash_multiset_t* cphmset_second
);

```

- **Parameters**

cphmset_first: 指向第一个 hash_multiset_t 类型的指针。

cphmset_second: 指向第二个 hash_multiset_t 类型的指针。

- **Remarks**

这个函数要求两个 hash_multiset_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

```
/*
 * hash_set_greater.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs2 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs3 = create_hash_set(int);
    int i = 0;

    if(phset_hs1 == NULL || phset_hs2 == NULL || phset_hs3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_set_init(phset_hs1);
    hash_set_init(phset_hs2);
    hash_set_init(phset_hs3);

    for(i = 0; i < 3; ++i)
    {
        hash_set_insert(phset_hs1, i);
        hash_set_insert(phset_hs2, i * i);
        hash_set_insert(phset_hs3, i - 1);
    }

    if(hash_set_greater(phset_hs1, phset_hs2))
    {
        printf("The hash_set hs1 is greater than the hash_set hs2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_set hs1 is not greater than the hash_set hs2.\n");
    }

    if(hash_set_greater(phset_hs1, phset_hs3))
    {
        printf("The hash_set hs1 is greater than the hash_set hs3.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_set hs1 is not greater than the hash_set hs3.\n");
    }
}
```

```

hash_set_destroy(phset_hs1);
hash_set_destroy(phset_hs2);
hash_set_destroy(phset_hs3);

return 0;
}

```

● Output

The hash_multiset hs1 is not greater than the hash_multiset hs2.
The hash_multiset hs1 is greater than the hash_multiset hs3.

17. hash_multiset_greater_equal

测试第一个 hash_multiset_t 是否大于等于第二个 hash_multiset_t。

```

bool_t hash_multiset_greater_equal(
    const hash_multiset_t* cphmset_first,
    const hash_multiset_t* cphmset_second
);

```

● Parameters

cphmset_first: 指向第一个 hash_multiset_t 类型的指针。
cphmset_second: 指向第二个 hash_multiset_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 hash_multiset_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```

/*
 * hash_set_greater_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_set_t* phset_hs1 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs2 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs3 = create_hash_set(int);
    hash_set_t* phset_hs4 = create_hash_set(int);
    int i = 0;

    if(phset_hs1 == NULL || phset_hs2 == NULL ||
        phset_hs3 == NULL || phset_hs4 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_set_init(phset_hs1);
    hash_set_init(phset_hs2);

```

```

hash_set_init(phset_hs3);
hash_set_init(phset_hs4);

for(i = 0; i < 3; ++i)
{
    hash_set_insert(phset_hs1, i);
    hash_set_insert(phset_hs2, i * i);
    hash_set_insert(phset_hs3, i - 1);
    hash_set_insert(phset_hs4, i);
}

if(hash_set_greater_equal(phset_hs1, phset_hs2))
{
    printf("The hash_set hs1 is greater than or equal to the hash_set hs2.\n");
}
else
{
    printf("The hash_set hs1 is less than the hash_set hs2.\n");
}

if(hash_set_greater_equal(phset_hs1, phset_hs3))
{
    printf("The hash_set hs1 is greater than or equal to the hash_set hs3.\n");
}
else
{
    printf("The hash_set hs1 is less than the hash_set hs3.\n");
}

if(hash_set_greater_equal(phset_hs1, phset_hs4))
{
    printf("The hash_set hs1 is greater than or equal to the hash_set hs4.\n");
}
else
{
    printf("The hash_set hs1 is less than the hash_set hs4.\n");
}

hash_set_destroy(phset_hs1);
hash_set_destroy(phset_hs2);
hash_set_destroy(phset_hs3);
hash_set_destroy(phset_hs4);

return 0;
}

```

● Output

```

The hash_multiset hs1 is less than the hash_multiset hs2.
The hash_multiset hs1 is greater than or equal to the hash_multiset hs3.
The hash_multiset hs1 is greater than or equal to the hash_multiset hs4.

```

18. hash_multiset_hash

返回 hash_multiset_t 中使用的哈希函数。

```

unary_function_t hash_multiset_hash(
    const hash_multiset_t* cphmset_hmset
);

```

- **Parameters**

cphmset_hmset: 指向 hash_multiset_t 类型的指针。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

```
/*
 * hash_multiset_hash.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

static void hash_func(const void* cpv_input, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phms_hms2 = create_hash_multiset(int);

    if(phms_hms1 == NULL || phms_hms2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multiset_init(phms_hms1);
    hash_multiset_init_ex(phms_hms2, 100, hash_func, NULL);

    if(hash_multiset_hash(phms_hms1) == hash_func)
    {
        printf("The hash function of hash_multiset hs1 is hash_func.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash function of hash_multiset hs1 is not hash_func.\n");
    }

    if(hash_multiset_hash(phms_hms2) == hash_func)
    {
        printf("The hash function of hash_multiset hs2 is hash_func.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash function of hash_multiset hs2 is not hash_func.\n");
    }

    hash_multiset_destroy(phms_hms1);
    hash_multiset_destroy(phms_hms2);

    return 0;
}

static void hash_func(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    *(int*)pv_output = *(int*)cpv_input;
}
```

● Output

```
The hash function of hash_multiset hs1 is not hash_func.  
The hash function of hash_multiset hs2 is hash_func.
```

19. hash_multiset_init hash_multiset_init_copy hash_multiset_init_copy_range hash_multiset_init_copy_range_ex hash_multiset_init_ex

初始化 hash_multiset_t 容器类型。

```
void hash_multiset_init(  
    hash_multiset_t* phmset_hmset  
);  
  
void hash_multiset_init_copy(  
    hash_multiset_t* phmset_hmset,  
    const hash_multiset_t* cphmset_src  
);  
  
void hash_multiset_init_copy_range(  
    hash_multiset_t* phmset_hmset,  
    hash_multiset_iterator_t it_begin,  
    hash_multiset_iterator_t it_end  
);  
  
void hash_multiset_init_copy_range_ex(  
    hash_multiset_t* phmset_hmset,  
    hash_multiset_iterator_t it_begin,  
    hash_multiset_iterator_t it_end,  
    size_t t_bucketcount,  
    unary_function_t ufun_hash,  
    binary_function_t bfun_compare  
);  
  
void hash_multiset_init_ex(  
    hash_multiset_t* phmset_hmset,  
    size_t t_bucketcount,  
    unary_function_t ufun_hash,  
    binary_function_t bfun_compare  
);
```

● Parameters

phmset_hmset: 指向被初始化 hash_multiset_t 类型的指针。
cpmhset_src: 指向用于初始化的 hash_multiset_t 类型的指针。
it_begin: 用于初始化的数据区间的开始位置。
it_end: 用于初始化的数据区间的末尾位置。
t_bucketcount: 哈希表中的存储单元个数。
ufun_hash: 自定义的哈希函数。
bfun_compare: 自定义比较规则。

● Remarks

第一个函数初始化一个空的 hash_multiset_t，使用默认的哈希函数和与数据类型相关的小于操作函数作为默认的比较规则。

第二个函数使用一个源 `hash_multiset_t` 来初始化 `hash_multiset_t`，数据的内容，哈希函数和比较规则都从源 `hash_multiset_t` 复制。

第三个函数使用指定的数据区间初始化一个 `hash_multiset_t`，使用默认的哈希函数和与数据类型相关的小于操作函数作为默认的比较规则。

第四个函数使用指定的数据区间初始化一个 `hash_multiset_t`，使用用户指定的哈希表存储单元个数，哈希函数和比较规则。

第五个函数初始化一个空的 `hash_multiset_t`，使用用户指定的哈希表存储单元个数，哈希函数和比较规则。

上面的函数要求迭代器和数据区间是有效的，无效的迭代器或数据区间导致函数的行为未定义。初始化函数根据用户指定的哈希表存储单元个数计算一个与用户指定的个数最接近的最佳哈希表存储单元个数。默认个数是 53 个，用户指定的个数小于等于 53 时都使用这个存储单元个数。

● Requirements

头文件 `<cstl/chash_set.h>`

● Example

```
/*
 * hash_multiset_init.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

static void _hash_function(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    *(size_t*)pv_output = *(int*)cpv_input + 20;
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multiset_t* phms_hms0 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phms_hms2 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phms_hms3 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phms_hms4 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phms_hms5 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_iterator_t it_hs;

    if(phms_hms0 == NULL || phms_hms1 == NULL || phms_hms2 == NULL ||
        phms_hms3 == NULL || phms_hms4 == NULL || phms_hms5 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    /* Create an empty hash_multiset hs0 of key type integer */
    hash_multiset_init(phms_hms0);

    /*
     * Create an empty hash_multiset hs1 with the key comparison
     * function of less than, then insert 4 elements.
     */
    hash_multiset_init_ex(phms_hms1, 10, _hash_function, fun_less_int);
    hash_multiset_insert(phms_hms1, 10);
    hash_multiset_insert(phms_hms1, 20);
    hash_multiset_insert(phms_hms1, 30);
    hash_multiset_insert(phms_hms1, 40);
```



```

/*
 * Create an empty hash_multiset hs2 with the key comparison
 * function of greater than, then insert 2 element.
 */
hash_multiset_init_ex(phms_hms2, 100, _hash_function, fun_greater_int);
hash_multiset_insert(phms_hms2, 10);
hash_multiset_insert(phms_hms2, 20);

/* Create a copy, hash_multiset hs3, of hash_multiset hs1 */
hash_multiset_init_copy(phms_hms3, phms_hms1);

/* Create a hash_multiset hs4 by copying the range hs1[first, last) */
hash_multiset_init_copy_range(phms_hms4, hash_multiset_begin(phms_hms1),
    iterator_advance(hash_multiset_begin(phms_hms1), 2));

/*
 * Create a hash_multiset hs5 by copying the range hs3[first, last)
 * and with the key comparison function of less than.
 */
hash_multiset_init_copy_range_ex(phms_hms5, hash_multiset_begin(phms_hms3),
    iterator_next(hash_multiset_begin(phms_hms3)),
    100, _hash_function, fun_less_int);

printf("hs1 =");
for(it_hs = hash_multiset_begin(phms_hms1);
    !iterator_equal(it_hs, hash_multiset_end(phms_hms1));
    it_hs = iterator_next(it_hs))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
}
printf("\n");

printf("hs2 =");
for(it_hs = hash_multiset_begin(phms_hms2);
    !iterator_equal(it_hs, hash_multiset_end(phms_hms2));
    it_hs = iterator_next(it_hs))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
}
printf("\n");

printf("hs3 =");
for(it_hs = hash_multiset_begin(phms_hms3);
    !iterator_equal(it_hs, hash_multiset_end(phms_hms3));
    it_hs = iterator_next(it_hs))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
}
printf("\n");

printf("hs4 =");
for(it_hs = hash_multiset_begin(phms_hms4);
    !iterator_equal(it_hs, hash_multiset_end(phms_hms4));
    it_hs = iterator_next(it_hs))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
}
printf("\n");

printf("hs5 =");

```

```

for(it_hs = hash_multiset_begin(phms_hms5);
    !iterator_equal(it_hs, hash_multiset_end(phms_hms5));
    it_hs = iterator_next(it_hs))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
}
printf("\n");

hash_multiset_destroy(phms_hms0);
hash_multiset_destroy(phms_hms1);
hash_multiset_destroy(phms_hms2);
hash_multiset_destroy(phms_hms3);
hash_multiset_destroy(phms_hms4);
hash_multiset_destroy(phms_hms5);

return 0;
}

```

● Output

```

hs1 = 40 10 20 30
hs2 = 10 20
hs3 = 40 10 20 30
hs4 = 10 40
hs5 = 40

```

20. hash_multiset_insert hash_multiset_insert_range

向 hash_multiset_t 中插入数据。

```

hash_multiset_iterator_t hash_multiset_insert(
    hash_multiset_t* phmset_hmset,
    element
);

hash_multiset_insert_range(
    hash_multiset_t* phmset_hmset,
    hash_multiset_iterator_t it_begin,
    hash_multiset_iterator_t it_end
);

```

● Parameters

phmset_hmset: 指向 hash_multiset_t 类型的指针。
element: 插入的数据。
it_begin: 被插入的数据区间的开始位置。
it_end: 被插入的数据区间的末尾位置。

● Remarks

第一个函数向 hash_multiset_t 中插入一个指定的数据，成功后返回指向该数据的迭代器，如果 hash_multiset_t 中包含了该数据那么插入失败，返回 hash_multiset_end()。

第三个函数插入指定的数据区间。

上面的函数要求迭代器和数据区间是有效的，无效的迭代器或数据区间导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstdlib> <hash_set.h>

● Example

```
/*
 * hash_multiset_insert.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phms_hms2 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_iterator_t it_hs;

    if(phms_hms1 == NULL || phms_hms2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multiset_init(phms_hms1);
    hash_multiset_init(phms_hms2);

    hash_multiset_insert(phms_hms1, 10);
    hash_multiset_insert(phms_hms1, 20);
    hash_multiset_insert(phms_hms1, 30);
    hash_multiset_insert(phms_hms1, 40);

    printf("The original hs1 =");
    for(it_hs = hash_multiset_begin(phms_hms1);
        !iterator_equal(it_hs, hash_multiset_end(phms_hms1));
        it_hs = iterator_next(it_hs))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
    }
    printf("\n");

    it_hs = hash_multiset_insert(phms_hms1, 10);
    if(iterator_equal(it_hs, hash_multiset_end(phms_hms1)))
    {
        printf("The element 10 already exist in hs1.\n");
    }
    else
    {
        printf("The element 10 was inserted inhs1 successfully.\n");
    }

    hash_multiset_insert(phms_hms1, 80);
    printf("After the insertions, hs1 =");
    for(it_hs = hash_multiset_begin(phms_hms1);
        !iterator_equal(it_hs, hash_multiset_end(phms_hms1));
        it_hs = iterator_next(it_hs))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
    }
    printf("\n");

    hash_multiset_insert(phms_hms2, 100);
    hash_multiset_insert_range(phms_hms2,
        iterator_next(hash_multiset_begin(phms_hms1)),
```

```

        iterator_prev(hash_multiset_end(phms_hms1)));

printf("hs2 =");
for(it_hs = hash_multiset_begin(phms_hms2);
    !iterator_equal(it_hs, hash_multiset_end(phms_hms2));
    it_hs = iterator_next(it_hs))
{
    printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
}
printf("\n");

hash_multiset_destroy(phms_hms1);
hash_multiset_destroy(phms_hms2);

return 0;
}

```

● Output

```

The original hs1 = 10 20 30 40
The element 10 was inserted inhs1 successfully.
After the insertions, hs1 = 10 10 20 80 30 40
hs2 = 10 20 80 30 100

```

21. hash_multiset_key_comp

返回 hash_multiset_t 使用的键比较规则。

```

binary_function_t hash_multiset_key_comp(
    const hash_multiset_t* cphmset_hmset
);

```

● Parameters

cphmset_hmset: 指向 hash_multiset_t 类型的指针。

● Remarks

由于 hash_multiset_t 中数据本身就是键，所以这个函数的返回值与 hash_multiset_value_comp() 相同。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```

/*
 * hash_multiset_key_comp.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phms_hms2 = create_hash_multiset(int);
    binary_function_t bfun_kc = NULL;
    int n_first = 2;

```

```

int n_second = 3;
bool_t b_result = false;

if(phms_hms1 == NULL || phms_hms2 == NULL)
{
    return -1;
}

hash_multiset_init_ex(phms_hms1, 0, NULL, fun_less_int);
hash_multiset_init_ex(phms_hms2, 0, NULL, fun_greater_int);

bfun_kc = hash_multiset_key_comp(phms_hms1);
(*bfun_kc)(&n_first, &n_second, &b_result);
if(b_result)
{
    printf("(bfun_kc)(2, 3) returns value of true, "
           "where bfun_kc is the compare function of hs1.\n");
}
else
{
    printf("(bfun_kc)(2, 3) returns value of false, "
           "where bfun_kc is the compare function of hs1.\n");
}

bfun_kc = hash_multiset_key_comp(phms_hms2);
(*bfun_kc)(&n_first, &n_second, &b_result);
if(b_result)
{
    printf("(bfun_kc)(2, 3) returns value of true, "
           "where bfun_kc is the compare function of hs2.\n");
}
else
{
    printf("(bfun_kc)(2, 3) returns value of false, "
           "where bfun_kc is the compare function of hs2.\n");
}

hash_multiset_destroy(phms_hms1);
hash_multiset_destroy(phms_hms2);

return 0;
}

```

● Output

```

(bfun_kc)(2, 3) returns value of true, where bfun_kc is the compare function of
hs1.
(bfun_kc)(2, 3) returns value of false, where bfun_kc is the compare function of
hs2.

```

22. hash_multiset_less

测试第一个 hash_multiset t 是否小于第二个 hash_multiset t。

```

bool_t hash_multiset_less(
    const hash_multiset_t* cphmset_first,
    const hash_multiset_t* cphmset_second
);

```

- **Parameters**

cphmset_first: 指向第一个 hash_multiset_t 类型的指针。

cphmset_second: 指向第二个 hash_multiset_t 类型的指针。

- **Remarks**

这个函数要求两个 hash_multiset_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

```
/*
 * hash_multiset_less.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phms_hms2 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phms_hms3 = create_hash_multiset(int);
    int i = 0;

    if(phms_hms1 == NULL || phms_hms2 == NULL || phms_hms3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multiset_init(phms_hms1);
    hash_multiset_init(phms_hms2);
    hash_multiset_init(phms_hms3);

    for(i = 0; i < 3; ++i)
    {
        hash_multiset_insert(phms_hms1, i);
        hash_multiset_insert(phms_hms2, i * i);
        hash_multiset_insert(phms_hms3, i - 1);
    }

    if(hash_multiset_less(phms_hms1, phms_hms2))
    {
        printf("The hash_multiset hs1 is less than the hash_multiset hs2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_multiset hs1 is not less than the hash_multiset hs2.\n");
    }

    if(hash_multiset_less(phms_hms1, phms_hms3))
    {
        printf("The hash_multiset hs1 is less than the hash_multiset hs3.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_multiset hs1 is not less than the hash_multiset hs3.\n");
    }
}
```

```

hash_multiset_destroy(phms_hms1);
hash_multiset_destroy(phms_hms2);
hash_multiset_destroy(phms_hms3);

return 0;
}

```

● Output

The hash_multiset hs1 is less than the hash_multiset hs2.
The hash_multiset hs1 is not less than the hash_multiset hs3.

23. hash_multiset_less_equal

测试第一个 hash_multiset_t 是否小于等于第二个 hash_multiset_t。

```

bool_t hash_multiset_less_equal(
    const hash_multiset_t* cphmset_first,
    const hash_multiset_t* cphmset_second
);

```

● Parameters

cphmset_first: 指向第一个 hash_multiset_t 类型的指针。
cphmset_second: 指向第二个 hash_multiset_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 hash_multiset_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```

/*
 * hash_multiset_less_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phms_hms2 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phms_hms3 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phms_hms4 = create_hash_multiset(int);
    int i = 0;

    if(phms_hms1 == NULL || phms_hms2 == NULL ||
        phms_hms3 == NULL || phms_hms4 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multiset_init(phms_hms1);
    hash_multiset_init(phms_hms2);

```

```

hash_multiset_init(phms_hms3);
hash_multiset_init(phms_hms4);

for(i = 0; i < 3; ++i)
{
    hash_multiset_insert(phms_hms1, i);
    hash_multiset_insert(phms_hms2, i * i);
    hash_multiset_insert(phms_hms3, i - 1);
    hash_multiset_insert(phms_hms4, i);
}

if(hash_multiset_less_equal(phms_hms1, phms_hms2))
{
    printf("The hash_multiset hs1 is less than "
           "or equal to the hash_multiset hs2.\n");
}
else
{
    printf("The hash_multiset hs1 is greater than the hash_multiset hs2.\n");
}

if(hash_multiset_less_equal(phms_hms1, phms_hms3))
{
    printf("The hash_multiset hs1 is less than or "
           "equal to the hash_multiset hs3.\n");
}
else
{
    printf("The hash_multiset hs1 is greater than the hash_multiset hs3.\n");
}

if(hash_multiset_less_equal(phms_hms1, phms_hms4))
{
    printf("The hash_multiset hs1 is less than or "
           "equal to the hash_multiset hs4.\n");
}
else
{
    printf("The hash_multiset hs1 is greater than the hash_multiset hs4.\n");
}

hash_multiset_destroy(phms_hms1);
hash_multiset_destroy(phms_hms2);
hash_multiset_destroy(phms_hms3);
hash_multiset_destroy(phms_hms4);

return 0;
}

```

● Output

```

The hash_multiset hs1 is less than or equal to the hash_multiset hs2.
The hash_multiset hs1 is greater than the hash_multiset hs3.
The hash_multiset hs1 is less than or equal to the hash_multiset hs4.

```

24. hash_multiset_max_size

返回 hash_multiset_t 中能够保存数据数量的最大值。

```

size_t hash_multiset_max_size(

```



```
const hash_multiset_t* cphmset_hmset
);
```

- **Parameters**

cphmset_hmset: 指向 hash_multiset_t 类型的指针。

- **Remarks**

这是一个与系统有关的常数。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

```
/*
 * hash_multiset_max_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);

    if(phms_hms1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multiset_init(phms_hms1);

    printf("The maximum possible length of the hash_multiset hs1 is: %d.\n",
        hash_multiset_max_size(phms_hms1));

    hash_multiset_destroy(phms_hms1);

    return 0;
}
```

- **Output**

The maximum possible length of the hash_multiset hs1 is: 1073741823.

25. hash_multiset_not_equal

测试两个 hash_multiset_t 是否不等。

```
bool_t hash_multiset_not_equal(
    const hash_multiset_t* cphmset_first,
    const hash_multiset_t* cphmset_second
);
```

- **Parameters**

cphmset_first: 指向第一个 hash_multiset_t 类型的指针。

cphmset_second: 指向第二个 hash_multiset_t 类型的指针。

● Remarks

两个 `hash_multiset_t` 中的数据对应相等，并且数量相等，函数返回 `false`，否则返回 `true`。如果两个 `hash_multiset_t` 中的数据类型不同也认为不等。

● Requirements

头文件 `<cstl/chash_set.h>`

● Example

```
/*
 * hash_multiset_not_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phms_hms2 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phms_hms3 = create_hash_multiset(int);
    int i = 0;

    if(phms_hms1 == NULL || phms_hms2 == NULL || phms_hms3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multiset_init(phms_hms1);
    hash_multiset_init(phms_hms2);
    hash_multiset_init(phms_hms3);

    for(i = 0; i < 3; ++i)
    {
        hash_multiset_insert(phms_hms1, i);
        hash_multiset_insert(phms_hms2, i * i);
        hash_multiset_insert(phms_hms3, i);
    }

    if(hash_multiset_not_equal(phms_hms1, phms_hms2))
    {
        printf("The hash_multisets hs1 and hs2 are not equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_multisets hs1 and hs2 are equal.\n");
    }

    if(hash_multiset_not_equal(phms_hms1, phms_hms3))
    {
        printf("The hash_multisets hs1 and hs3 are not equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_multisets hs1 and hs3 are equal.\n");
    }

    hash_multiset_destroy(phms_hms1);
}
```

```

hash_multiset_destroy(phms_hms2);
hash_multiset_destroy(phms_hms3);

return 0;
}

```

● Output

The hash_multisets hs1 and hs2 are not equal.
The hash_multisets hs1 and hs3 are equal.

26. hash_multiset_resize

重新设置 hash_multiset_t 中哈希表的存储单元数。

```

void hash_multiset_resize(
    hash_multiset_t* phmset_hmset,
    size_t t_resize
);

```

● Parameters

cphmset_hmset: 指向 hash_multiset_t 类型的指针。
t_resize: 哈希表存储单元的新数量。

● Remarks

当哈希表存储单元数量改变后，哈希表中的数据将被重新计算位置，所有的迭代器失效。当新的存储单元数量小于当前数量时，不做任何操作。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```

/*
 * hash_multiset_resize.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);

    if(phms_hms1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multiset_init(phms_hms1);

    printf("The bucket count of hash_multiset hs1 is: %d.\n",
        hash_multiset_bucket_count(phms_hms1));

    hash_multiset_resize(phms_hms1, 100);

    printf("The bucket count of hash_multiset hs1 is now: %d.\n",

```

```

        hash_multiset_bucket_count(phms_hms1));

    hash_multiset_destroy(phms_hms1);

    return 0;
}

```

● Output

The bucket count of hash_multiset hs1 is: 53.
The bucket count of hash_multiset hs1 is now: 193.

27. hash_multiset_size

返回 hash_multiset_t 中数据的数量。

```

size_t hash_multiset_size(
    const hash_multiset_t* cphmset_hmset
);

```

● Parameters

cphmset_hmset: 指向 hash_multiset_t 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```

/*
 * hash_multiset_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);

    if(phms_hms1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multiset_init(phms_hms1);

    hash_multiset_insert(phms_hms1, 1);
    printf("The hash_multiset hs1 length is %d.\n",
        hash_multiset_size(phms_hms1));

    hash_multiset_insert(phms_hms1, 2);
    printf("The hash_multiset hs1 length is now %d.\n",
        hash_multiset_size(phms_hms1));

    hash_multiset_destroy(phms_hms1);

    return 0;
}

```

- **Output**

```
The hash_multiset hs1 length is 1.
The hash_multiset hs1 length is now 2.
```

28. hash_multiset_swap

交换两个 hash_multiset_t 中的内容。

```
void hash_multiset_swap(
    hash_multiset_t* phmset_first,
    hash_multiset_t* phmset_second
);
```

- **Parameters**

phmset_first: 指向第一个 hash_multiset_t 类型的指针。

phmset_second: 指向第二个 hash_multiset_t 类型的指针。

- **Remarks**

这个函数要求两个 hash_multiset_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_set.h>

- **Example**

```
/*
 * hash_multiset_swap.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phms_hms2 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_iterator_t it_hs;

    if(phms_hms1 == NULL || phms_hms2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multiset_init(phms_hms1);
    hash_multiset_init(phms_hms2);

    hash_multiset_insert(phms_hms1, 10);
    hash_multiset_insert(phms_hms1, 20);
    hash_multiset_insert(phms_hms1, 30);
    hash_multiset_insert(phms_hms2, 100);
    hash_multiset_insert(phms_hms2, 200);

    printf("The original hash_multiset hs1 is:");
    for(it_hs = hash_multiset_begin(phms_hms1);
        !iterator_equal(it_hs, hash_multiset_end(phms_hms1));
```

```

        it_hs = iterator_next(it_hs))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
    }
    printf("\n");

    hash_multiset_swap(phms_hms1, phms_hms2);

    printf("After swapping with hs2, hash_multiset hs1 is:");
    for(it_hs = hash_multiset_begin(phms_hms1);
        !iterator_equal(it_hs, hash_multiset_end(phms_hms1));
        it_hs = iterator_next(it_hs))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_hs));
    }
    printf("\n");

    hash_multiset_destroy(phms_hms1);
    hash_multiset_destroy(phms_hms2);

    return 0;
}

```

● Output

```

The original hash_multiset hs1 is: 10 20 30
After swapping with hs2, hash_multiset hs1 is: 200 100

```

29. hash_multiset_value_comp

返回 hash_multiset_t 中使用的值比较规则。

```

binary_function_t hash_multiset_value_comp(
    const hash_multiset_t* cphmset_hmset
);

```

● Parameters

cphmset_hmset: 指向 hash_multiset_t 类型的指针。

● Remarks

由于 hash_multiset_t 中数据本身就是键，所以这个函数的返回值与 hash_multiset_key_comp() 相同。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_set.h>

● Example

```

/*
 * hash_multiset_value_comp.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{

```

```

hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);
hash_multiset_t* phms_hms2 = create_hash_multiset(int);
binary_function_t bfun_vc = NULL;
int n_first = 2;
int n_second = 3;
bool_t b_result = false;

if(phms_hms1 == NULL || phms_hms2 == NULL)
{
    return -1;
}

hash_multiset_init_ex(phms_hms1, 0, NULL, fun_less_int);
hash_multiset_init_ex(phms_hms2, 0, NULL, fun_greater_int);

bfun_vc = hash_multiset_value_comp(phms_hms1);
(*bfun_vc)(&n_first, &n_second, &b_result);
if(b_result)
{
    printf("(bfun_vc) (2, 3) returns value of true, "
           "where bfun_vc is the compare function of hs1.\n");
}
else
{
    printf("(bfun_vc) (2, 3) returns value of false, "
           "where bfun_vc is the compare function of hs1.\n");
}

bfun_vc = hash_multiset_value_comp(phms_hms2);
(*bfun_vc)(&n_first, &n_second, &b_result);
if(b_result)
{
    printf("(bfun_vc) (2, 3) returns value of true, "
           "where bfun_vc is the compare function of hs2.\n");
}
else
{
    printf("(bfun_vc) (2, 3) returns value of false, "
           "where bfun_vc is the compare function of hs2.\n");
}

hash_multiset_destroy(phms_hms1);
hash_multiset_destroy(phms_hms2);

return 0;
}

```

● Output

```

(*bfun_vc) (2, 3) returns value of true, where bfun_vc is the compare function of
hs1.
(*bfun_vc) (2, 3) returns value of false, where bfun_vc is the compare function of
hs2.

```

第十一节 基于哈希结构的映射 hash_map_t

基于哈希结构的映射 `hash_map_t` 是关联容器，容器中保存的数据是 `pair_t` 类型。`pair_t` 的第一个数据是键，`hash_map_t` 中的数据就是根据这个键排序的，在 `hash_map_t` 中键不允许重复，也不可以直接或者间接修改键。`pair_t`

的第二个数据是值，值与键没有直接的关系，hash_map_t 中对于值的唯一性没有要求，值对于 hash_map_t 中的数据排序没有影响，可以直接或者间接修改值。

hash_map_t 的迭代器是双向迭代器，插入新的数据不会破坏原有的迭代器，删除一个数据的时候只有指向该数据的迭代器失效。在 hash_map_t 中查找，插入或者删除数据都是高效的，同时还可以使用键作为下标直接访问相应的值。

hash_map_t 中的数据保存在哈希表中，根据数据和指定的哈希函数计算数据在哈希表中的位置，同时根据键按照指定规则自动排序，默认规则是与键相关的小于操作，用户也可以在初始化时指定自定义的规则。hash_map_t 在数据的插入删除查找等操作上与基于平衡二叉树的关联容器相比效率更高，可以达到接近常数级别，但是数据不是完全有序的。

● **Typedefs**

hash_map_t	基于哈希结构的映射容器类型。
hash_map_iterator_t	基于哈希结构的映射容器迭代器类型。

● **Operation Functions**

create_hash_map	创建基于哈希结构的映射容器类型。
hash_map_assign	为基于哈希结构的映射容器迭代器类型赋值。
hash_map_at	使用键为下标随机访问基于哈希结构的映射容器中相应数据的值。
hash_map_begin	返回指向基于哈希结构的映射容器中的第一个数据的迭代器。
hash_map_bucket_count	返回基于哈希结构的映射容器使用的哈希表的存储单元个数。
hash_map_clear	删除基于哈希结构的映射容器中的所有数据。
hash_map_count	统计基于哈希结构的映射容器中包含指定数据的个数。
hash_map_destroy	销毁基于哈希结构的映射容器。
hash_map_empty	测试基于哈希结构的映射容器是否为空。
hash_map_end	返回指向基于哈希结构的映射容器末尾的迭代器。
hash_map_equal	测试两个基于哈希结构的映射容器是否相等。
hash_map_equal_range	返回基于哈希结构的映射容器中包含指定键的数据区间。
hash_map_erase	删除基于哈希结构的映射容器中包含指定键的数据。
hash_map_erase_pos	删除基于哈希结构的映射容器中指定位置的数据。
hash_map_erase_range	删除基于哈希结构的映射容器中指定的数据区间。
hash_map_find	在基于哈希结构的映射容器中查找包含指定键的数据。
hash_map_greater	测试第一个基于哈希结构的映射是否大于第二个基于哈希结构的映射。
hash_map_greater_equal	测试第一个基于哈希结构的映射是否大于等于第二个基于哈希结构的映射。
hash_map_hash	返回基于哈希结构的映射容器使用的哈希函数。
hash_map_init	初始化一个空的基于哈希结构的映射容器。
hash_map_init_copy	使用拷贝的方式初始化一个基于哈希结构的映射容器，所有内容都来自于源容器。
hash_map_init_copy_range	使用指定的数据区间初始化一个基于哈希结构的映射容器。
hash_map_init_copy_range_ex	使用指定的数据区间，哈希函数，比较规则，存储单元数量来初始化容器。
hash_map_init_ex	使用指定的哈希函数，比较规则，存储单元数量初始化一个空的基于哈希结构的映射。
hash_map_insert	向基于哈希结构的映射中插入一个数据。
hash_map_insert_range	向基于哈希结构的映射中插入一个数据区间。

hash_map_key_comp	返回基于哈希结构的映射容器使用的键比较规则。
hash_map_less	测试第一个基于哈希结构的映射是否小于第二个基于哈希结构的映射。
hash_map_less_equal	测试第一个基于哈希结构的映射是否小于等于第二个基于哈希结构的映射。
hash_map_max_size	返回基于哈希结构的映射容器中能够保存数据数量的最大值。
hash_map_not_equal	测试两个基于哈希结构的映射容器是否不等。
hash_map_resize	重新设置基于哈希结构的映射容器的哈希表存储单元个数。
hash_map_size	返回基于哈希结构的映射容器中保存数据的个数。
hash_map_swap	交换两个基于哈希结构的映射容器的内容。
hash_map_value_comp	返回基于哈希结构的映射容器使用的数据比较规则。

1. hash_map_t

基于哈希结构的映射容器类型。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/chash_map.h>

- **Example**

请参考 hash_map_t 类型的其他操作函数。

2. hash_map_iterator_t

基于哈希结构的映射容器的迭代器类型。

- **Remarks**

hash_map_iterator_t 是双向迭代器类型，不能通过迭代器来修改容器中数据的键，但是可以修改数据的值。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/chash_map.h>

- **Example**

请参考 hash_map_t 类型的其他操作函数。

3. create_hash_map

创建 hash_map_t 容器。

```
hash_map_t* create_hash_map(
    type
);
```

- **Parameters**

type: 数据类型描述。

- **Remarks**

函数成功返回指向 hash_map_t 类型的指针，失败返回 NULL。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_map.h>

- **Example**

请参考 hash_map_t 类型的其他操作函数。

4. hash_map_assign

为 hash_map_t 赋值。

```
void hash_map_assign(  
    hash_map_t* phmap_dest,  
    const hash_map_t* cphmap_src  
);
```

- **Parameters**

phmap_dest: 指向被赋值的 hash_map_t 类型的指针。

cphmap_src: 指向赋值的 hash_map_t 类型的指针。

- **Remarks**

要求两个 hash_map_t 类型保存的数据具有相同的类型，否则函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_map.h>

- **Example**

```
/*  
 * hash_map_assign.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_map.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);  
    hash_map_t* phm_hm2 = create_hash_map(int, int);  
    pair_t* ppr_hm = create_pair(int, int);  
    hash_map_iterator_t it_hm;  
  
    if(phm_hm1 == NULL || phm_hm2 == NULL || ppr_hm == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    hash_map_init(phm_hm1);  
    hash_map_init(phm_hm2);  
    pair_init(ppr_hm);  
  
    pair_make(ppr_hm, 1, 1);  
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);  
    pair_make(ppr_hm, 3, 3);  
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);  
    pair_make(ppr_hm, 5, 5);  
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
```

```

pair_make(ppr_hm, 100, 500);
hash_map_insert(phm_hm2, ppr_hm);
pair_make(ppr_hm, 200, 900);
hash_map_insert(phm_hm2, ppr_hm);

printf("hm1 =");
for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm1);
    !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm1));
    it_hm = iterator_next(it_hm))
{
    printf("(%d, %d) ",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
}
printf("\n");

hash_map_assign(phm_hm1, phm_hm2);
printf("hm1 =");
for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm1);
    !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm1));
    it_hm = iterator_next(it_hm))
{
    printf("(%d, %d) ",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
}
printf("\n");

hash_map_destroy(phm_hm1);
hash_map_destroy(phm_hm2);
pair_destroy(ppr_hm);

return 0;
}

```

● Output

```

hm1 =(1, 1) (3, 3) (5, 5)
hm1 =(200, 900) (100, 500)

```

5. hash_map_at

使用键作为下标随机访问 hash_map_t 中相应数据的值。

```

void* hash_map_at(
    hash_map_t* phmap_hmap,
    key
);

```

● Parameters

phmap_hmap: 指向 hash_map_t 类型的指针。
key: 指定的键。

● Remarks

这个操作函数通过指定的键来访问 hash_map_t 中相应数据的值，如果 hash_map_t 中包含这个键，那么就返回指向相应数据的值的指针，如果 hash_map_t 中不包含这个键，那么首先在 hash_map_t 中插入一个数据，这个数据以指定的键为键，以值的默认数据为值，然后返回指向这个数据的值的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```
/*
 * hash_map_at.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);
    pair_t* ppr_hm = create_pair(int, int);
    hash_map_iterator_t it_hm;

    if(phm_hm1 == NULL || ppr_hm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_map_init(phm_hm1);
    pair_init(ppr_hm);

    /*
     * Insert a data value of 10 with a key of 1
     * into a hash_map using the at function
     */
    *(int*)hash_map_at(phm_hm1, 1) = 10;

    /*
     * Compare other ways to insert data into a hash_map
     */
    pair_make(ppr_hm, 2, 20);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, 3, 30);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);

    printf("The keys of the mapped elements are:");
    for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm1);
        !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm1));
        it_hm = iterator_next(it_hm))
    {
        printf(" %d", *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
    }
    printf("\n");

    printf("The values of the mapped elements are:");
    for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm1);
        !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm1));
        it_hm = iterator_next(it_hm))
    {
        printf(" %d", *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
    }
    printf("\n");

    /*
```

```

    * If the key already exist, the at function
    * changes the value of the datum in the element
    */
    *(int*)hash_map_at(phm_hm1, 2) = 40;

/*
 * The at function will also insert the value of the data
 * type's default if the value is unspecified
 */
hash_map_at(phm_hm1, 5);

printf("The keys of the mapped elements are:");
for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm1);
    !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm1));
    it_hm = iterator_next(it_hm))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
}
printf("\n");

printf("The values of the mapped elements are:");
for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm1);
    !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm1));
    it_hm = iterator_next(it_hm))
{
    printf(" %d", *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
}
printf("\n");

hash_map_destroy(phm_hm1);
pair_destroy(ppr_hm);

return 0;
}

```

● Output

```

The keys of the mapped elements are: 1 2 3
The values of the mapped elements are: 10 20 30
The keys of the mapped elements are: 1 2 3 5
The values of the mapped elements are: 10 40 30 0

```

6. hash_map_begin

返回指向 hash_map_t 中第一个数据的迭代器。

```

hash_map_iterator_t hash_map_begin(
    const hash_map_t* cphmap_hmap
);

```

● Parameters

cphmap_hmap: 指向 hash_map_t 类型的指针。

● Remarks

如果 hash_map_t 为空，这个函数的返回值与 hash_map_end() 相等。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```
/*
 * hash_map_begin.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);
    pair_t* ppr_hm = create_pair(int, int);
    hash_map_iterator_t it_hm;

    if(phm_hm1 == NULL || ppr_hm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_map_init(phm_hm1);
    pair_init(ppr_hm);

    pair_make(ppr_hm, 0, 0);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, 1, 1);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, 2, 4);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);

    it_hm = hash_map_begin(phm_hm1);
    printf("The first element of hm1 is (%d, %d).\n",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));

    hash_map_erase_pos(phm_hm1, hash_map_begin(phm_hm1));

    it_hm = hash_map_begin(phm_hm1);
    printf("The first element of hm1 is now (%d, %d).\n",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));

    hash_map_destroy(phm_hm1);
    pair_destroy(ppr_hm);

    return 0;
}
```

● Output

```
The first element of hm1 is (0, 0).
The first element of hm1 is now (1, 1).
```

7. hash_map_bucket_count

返回 hash_map_t 中哈希表的存储单元的个数。

```
size_t hash_map_bucket_count(
```

```
const hash_map_t* cphmap_hmap
);
```

- **Parameters**

cphmap_hmap: 指向 hash_map_t 类型的指针。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_map.h>

- **Example**

```
/*
 * hash_map_bucket_count.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);
    hash_map_t* phm_hm2 = create_hash_map(int, int);

    if(phm_hm1 == NULL || phm_hm2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_map_init(phm_hm1);
    hash_map_init_ex(phm_hm2, 100, NULL, NULL);

    printf("The default bucket count of hm1 is %d.\n",
        hash_map_bucket_count(phm_hm1));
    printf("The custom bucket count of hm2 is %d.\n",
        hash_map_bucket_count(phm_hm2));

    hash_map_destroy(phm_hm1);
    hash_map_destroy(phm_hm2);

    return 0;
}
```

- **Output**

```
The default bucket count of hm1 is 53.
The custom bucket count of hm2 is 193.
```

8. hash_map_clear

删除 hash_map_t 中的所有数据。

```
void hash_map_clear(
    hash_map_t* phmap_hmap
);
```

- **Parameters**

cphmap_hmap: 指向 hash_map_t 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```
/*
 * hash_map_clear.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);
    pair_t* ppr_hm = create_pair(int, int);

    if(phm_hm1 == NULL || ppr_hm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_map_init(phm_hm1);
    pair_init(ppr_hm);

    pair_make(ppr_hm, 1, 1);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, 2, 4);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);

    printf("The size of the hash_map is initially %d.\n",
        hash_map_size(phm_hm1));

    hash_map_clear(phm_hm1);

    printf("The size of the hash_map after clearing is %d.\n",
        hash_map_size(phm_hm1));

    hash_map_destroy(phm_hm1);
    pair_destroy(ppr_hm);

    return 0;
}
```

● Output

```
The size of the hash_map is initially 2.
The size of the hash_map after clearing is 0.
```

9. hash_map_count

统计 hash_map_t 中包含指定键的数据的个数。

```
size_t hash_map_count(
    const hash_map_t* cphmap_hmap,
    key
);
```


- **Parameters**

cphmap_hmap: 指向 hash_map_t 类型的指针。
key: 指定的键。

- **Remarks**

如果容器中没有包含指定键的数据返回 0， 否这返回包含指定键的数据的个数，hash_map_t 中的值是 1。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_map.h>

- **Example**

```
/*
 * hash_map_count.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);
    pair_t* ppr_hm = create_pair(int, int);

    if(phm_hm1 == NULL || ppr_hm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppr_hm);
    hash_map_init(phm_hm1);

    pair_make(ppr_hm, 1, 1);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, 2, 1);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, 1, 4);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, 2, 1);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);

    /* Key must be unique in hash_map, so duplicates are ignored */
    printf("The number of elements in hm1 with a sort key of 1 is: %d.\n",
        hash_map_count(phm_hm1, 1));
    printf("The number of elements in hm1 with a sort key of 2 is: %d.\n",
        hash_map_count(phm_hm1, 2));
    printf("The number of elements in hm1 with a sort key of 3 is: %d.\n",
        hash_map_count(phm_hm1, 3));

    pair_destroy(ppr_hm);
    hash_map_destroy(phm_hm1);

    return 0;
}
```

- **Output**

The number of elements in hm1 with a sort key of 1 is: 1.

```
The number of elements in hm1 with a sort key of 2 is: 1.
The number of elements in hm1 with a sort key of 3 is: 0.
```

10. hash_map_destroy

销毁 hash_map_t 容器类型。

```
void hash_map_destroy(
    hash_map_t* phmap_hmap
);
```

- **Parameters**

phmap_hmap: 指向 hash_map_t 类型的指针。

- **Remarks**

hash_map_t 容器使用之后一定要销毁，否则 hash_map_t 申请的资源不会被释放。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_map.h>

- **Example**

请参考 hash_map_t 类型的其他操作函数。

11. hash_map_empty

测试 hash_map_t 是否为空。

```
bool_t hash_map_empty(
    const hash_map_t* cphmap_hmap
);
```

- **Parameters**

cphmap_hmap: 指向 hash_map_t 类型的指针。

- **Remarks**

hash_map_t 容器为空返回 true，否则返回 false。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_map.h>

- **Example**

```
/*
 * hash_map_empty.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);
    hash_map_t* phm_hm2 = create_hash_map(int, int);
    pair_t* ppr_hm = create_pair(int, int);
```

```

if(phm_hm1 == NULL || phm_hm2 == NULL || ppr_hm == NULL)
{
    return -1;
}

hash_map_init(phm_hm1);
hash_map_init(phm_hm2);
pair_init(ppr_hm);

pair_make(ppr_hm, 1, 1);
hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);

if(hash_map_empty(phm_hm1))
{
    printf("The hash_map hm1 is empty.\n");
}
else
{
    printf("The hash_map hm1 is not empty.\n");
}

if(hash_map_empty(phm_hm2))
{
    printf("The hash_map hm2 is empty.\n");
}
else
{
    printf("The hash_map hm2 is not empty.\n");
}

hash_map_destroy(phm_hm1);
hash_map_destroy(phm_hm2);
pair_destroy(ppr_hm);

return 0;
}

```

● Output

```

The hash_map hm1 is not empty.
The hash_map hm2 is empty.

```

12. hash_map_end

返回指向 hash_map_t 末尾位置的迭代器。

```

hash_map_iterator_t hash_map_end(
    const hash_map_t* cphmap_hmap
);

```

● Parameters

cphmap_hmap: 指向 hash_map_t 类型的指针。

● Remarks

如果 hash_map_t 为空，这个函数的返回值与 hash_map_begin() 相等。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```
/*
 * hash_map_end.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);
    hash_map_iterator_t it_hm;
    pair_t* ppr_hm = create_pair(int, int);

    if(phm_hm1 == NULL || ppr_hm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_map_init(phm_hm1);
    pair_init(ppr_hm);

    pair_make(ppr_hm, 1, 10);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, 2, 20);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, 3, 30);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);

    it_hm = iterator_prev(hash_map_end(phm_hm1));
    printf("The value of last element of hm1 is (%d, %d).\n",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));

    hash_map_erase_pos(phm_hm1, it_hm);

    it_hm = iterator_prev(hash_map_end(phm_hm1));
    printf("The value of last element of hm1 is now (%d, %d).\n",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));

    hash_map_destroy(phm_hm1);
    pair_destroy(ppr_hm);

    return 0;
}
```

● Output

The value of last element of hm1 is (3, 30).
The value of last element of hm1 is now (2, 20).

13. hash_map_equal

测试两个 hash_map_t 是否相等。

```
bool_t hash_map_equal(
    const hash_map_t* cphmap_first,
    const hash_map_t* cphmap_second
);
```

● Parameters

cphmap_first: 指向第一个 hash_map_t 类型的指针。
cphmap_second: 指向第二个 hash_map_t 类型的指针。

● Remarks

如果两个 hash_map_t 容器中的数据都对应相等，并且数据个数相等，则返回 true 否则返回 false，如果两个 hash_map_t 容器中保存的数据类型不同也认为是不等。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```
/*
 * hash_map_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);
    hash_map_t* phm_hm2 = create_hash_map(int, int);
    hash_map_t* phm_hm3 = create_hash_map(int, int);
    pair_t* ppr_hm = create_pair(int, int);
    int i = 0;

    if(phm_hm1 == NULL || phm_hm2 == NULL || phm_hm3 == NULL || ppr_hm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_map_init(phm_hm1);
    hash_map_init(phm_hm2);
    hash_map_init(phm_hm3);
    pair_init(ppr_hm);

    for(i = 0; i < 3; ++i)
    {
        pair_make(ppr_hm, i, i);
        hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
        hash_map_insert(phm_hm3, ppr_hm);
        pair_make(ppr_hm, i, i * i);
        hash_map_insert(phm_hm2, ppr_hm);
    }

    if(hash_map_equal(phm_hm1, phm_hm2))
    {
        printf("The hash_maps hm1 and hm2 are equal.\n");
    }
    else
```

```

{
    printf("The hash_maps hm1 and hm2 are not equal.\n");
}

if(hash_map_equal(phm_hm1, phm_hm3))
{
    printf("The hash_maps hm1 and hm3 are equal.\n");
}
else
{
    printf("The hash_maps hm1 and hm3 are not equal.\n");
}

hash_map_destroy(phm_hm1);
hash_map_destroy(phm_hm2);
hash_map_destroy(phm_hm3);
pair_destroy(ppr_hm);

return 0;
}

```

● Output

```

The hash_maps hm1 and hm2 are not equal.
The hash_maps hm1 and hm3 are equal.

```

14. hash_map_equal_range

返回 hash_map_t 中包含指定键的数据区间。

```

range_t hash_map_equal_range(
    const hash_map_t* cphmap_hmap,
    key
);

```

● Parameters

cphmap_hmap: 指向 hash_map_t 类型的指针。
key: 指定的键。

● Remarks

返回 hash_map_t 中包含拥有指定键的数据的数据区间[range_t.it_begin, range_t.it_end)，其中 it_begin 是指向拥有指定键的第一个数据的迭代器，it_end 指向拥有大于指定键的第一个数据的迭代器。如果 hash_map_t 中不包含拥有指定键的数据则 it_begin 与 it_end 相等。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```

/*
 * hash_map_equal_range.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

```

```

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);
    pair_t* ppr_hm = create_pair(int, int);
    range_t r_hm;

    if(phm_hm1 == NULL || ppr_hm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_map_init(phm_hm1);
    pair_init(ppr_hm);

    pair_make(ppr_hm, 1, 10);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, 2, 20);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, 3, 30);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);

    r_hm = hash_map_equal_range(phm_hm1, 2);
    printf("The lower bound of the element with "
           "a key of 2 in the hash_map hm1 is: (%d, %d).\n",
           *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(r_hm.it_begin)),
           *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(r_hm.it_begin)));
    printf("The upper bound of the element with "
           "a key of 2 in the hash_map hm1 is: (%d, %d).\n",
           *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(r_hm.it_end)),
           *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(r_hm.it_end)));

    r_hm = hash_map_equal_range(phm_hm1, 4);
    if(iterator_equal(r_hm.it_begin, hash_map_end(phm_hm1)) &&
       iterator_equal(r_hm.it_end, hash_map_end(phm_hm1)))
    {
        printf("The hash_map hm1 doesn't have "
               "an element with a key less than 4.\n");
    }
    else
    {
        printf("The element of hash_map hm1 with a key >= 4 is (%d, %d).\n",
               *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(r_hm.it_begin)),
               *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(r_hm.it_begin)));
    }

    hash_map_destroy(phm_hm1);
    pair_destroy(ppr_hm);

    return 0;
}

```

● Output

The lower bound of the element with a key of 2 in the hash_map hm1 is: (2, 20).
 The upper bound of the element with a key of 2 in the hash_map hm1 is: (3, 30).
 The hash_map hm1 doesn't have an element with a key less than 4.

15. hash_map_erase hash_map_erase_pos hash_map_erase_range

删除 hash_map_t 中的指定数据。

```
size_t hash_map_erase(  
    hash_map_t* phmap_hmap,  
    key  
);  
  
void hash_map_erase_pos(  
    hash_map_t* phmap_hmap,  
    hash_map_iterator_t it_pos  
);  
  
void hash_map_erase_range(  
    hash_map_t* phmap_hmap,  
    hash_map_iterator_t it_begin,  
    hash_map_iterator_t it_end  
);
```

● Parameters

phmap_hmap: 指向 hash_map_t 类型的指针。
key: 被删除的数据的键。
it_pos: 指向被删除的数据的迭代器。
it_begin: 指向被删除的数据区间开始位置的迭代器。
it_end: 指向被删除的数据区间末尾的迭代器。

● Remarks

第一个函数删除 hash_map_t 容器中包含指定键的数据，并返回删除数据的个数，如果容器中没有包含指定键的数据则返回 0。

第二个函数删除指定位置的数据。

第三个函数删除指定数据区间中的数据。

上面操作函数中的迭代器和数据区间都要求是有效的，无效的迭代器和数据区间将导致函数行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```
/*  
 * hash_map_erase.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_map.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);  
    hash_map_t* phm_hm2 = create_hash_map(int, int);  
    hash_map_t* phm_hm3 = create_hash_map(int, int);  
    pair_t* ppr_hm = create_pair(int, int);  
    hash_map_iterator_t it_hm;  
    size_t t_count = 0;  
    int i = 0;
```



```

if(phm_hm1 == NULL || phm_hm2 == NULL || phm_hm3 == NULL || ppr_hm == NULL)
{
    return -1;
}

hash_map_init(phm_hm1);
hash_map_init(phm_hm2);
hash_map_init(phm_hm3);
pair_init(ppr_hm);

for(i = 1; i < 5; ++i)
{
    pair_make(ppr_hm, i, i);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, i, i * i);
    hash_map_insert(phm_hm2, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, i, i - 1);
    hash_map_insert(phm_hm3, ppr_hm);
}

/* The first function removes an element at given position */
hash_map_erase_pos(phm_hm1, iterator_next(hash_map_begin(phm_hm1)));
printf("After the second element is deleted, the hash_map hm1 is:");
for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm1);
    !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm1));
    it_hm = iterator_next(it_hm))
{
    printf(" (%d, %d)",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
}
printf("\n");

/* The second function remove elements in the range [first, last) */
hash_map_erase_range(phm_hm2, iterator_next(hash_map_begin(phm_hm2)),
    iterator_prev(hash_map_end(phm_hm2)));
printf("After the middle two elements are deleted, the hash_map hm2 is:");
for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm2);
    !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm2));
    it_hm = iterator_next(it_hm))
{
    printf(" (%d, %d)",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
}
printf("\n");

/* The third function removes elements with a given key */
t_count = hash_map_erase(phm_hm3, 2);
printf("After the element with a key of 2 is deleted, the hash_map hm3 is:");
for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm3);
    !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm3));
    it_hm = iterator_next(it_hm))
{
    printf(" (%d, %d)",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
}
printf("\n");
/* The third function returns the number of elements returned */

```

```

    printf("The number of elements removed from hm3 is %d.\n", t_count);

    hash_map_destroy(phm_hm1);
    hash_map_destroy(phm_hm2);
    hash_map_destroy(phm_hm3);
    pair_destroy(ppr_hm);

    return 0;
}

```

● Output

After the second element is deleted, the hash_map hm1 is: (1, 1) (3, 3) (4, 4)
 After the middle two elements are deleted, the hash_map hm2 is: (1, 1) (4, 16)
 After the element with a key of 2 is deleted, the hash_map hm3 is: (1, 0) (3, 2) (4, 3)
 The number of elements removed from hm3 is 1.

16. hash_map_find

查找 hash_map_t 中包含指定键的数据。

```

hash_map_iterator_t hash_map_find(
    const hash_map_t* cphmap_hmap,
    key
);

```

● Parameters

cphmap_hmap: 指向 hash_map_t 类型的指针。
key: 被删除的数据的键。

● Remarks

如果 hash_map_t 中存在包含指定键的数据，返回指向该数据的迭代器，否则返回 hash_map_end()。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```

/*
 * hash_map_find.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);
    pair_t* ppr_hm = create_pair(int, int);
    hash_map_iterator_t it_hm;

    if(phm_hm1 == NULL || ppr_hm == NULL)
    {
        return -1;
    }
}

```

```

hash_map_init(phm_hm1);
pair_init(ppr_hm);

pair_make(ppr_hm, 1, 10);
hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
pair_make(ppr_hm, 2, 20);
hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
pair_make(ppr_hm, 3, 30);
hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);

it_hm = hash_map_find(phm_hm1, 2);
printf("The element of hash_map hm1 with a key of 2 is: (%d, %d).\n",
      *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
      *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));

/* If no match is found for the key, end() is returned */
it_hm = hash_map_find(phm_hm1, 4);
if(iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm1)))
{
    printf("The hash_map hm1 doesn't have an element with a key of 4.\n");
}
else
{
    printf("The element of hash_map hm1 with a key of 4 is: (%d, %d).\n",
          *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
          *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
}

hash_map_destroy(phm_hm1);
pair_destroy(ppr_hm);

return 0;
}

```

● Output

```

The element of hash_map hm1 with a key of 2 is: (2, 20).
The hash_map hm1 doesn't have an element with a key of 4.

```

17. hash_map_greater

测试第一个 hash_map_t 是否大于第二个 hash_map_t。

```

bool_t hash_map_greater(
    const hash_map_t* cphmap_first,
    const hash_map_t* cphmap_second
);

```

● Parameters

cphmap_first: 指向第一个 hash_map_t 类型的指针。
cphmap_second: 指向第二个 hash_map_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 hash_map_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```
/*
 * hash_map_greater.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);
    hash_map_t* phm_hm2 = create_hash_map(int, int);
    hash_map_t* phm_hm3 = create_hash_map(int, int);
    pair_t* ppr_hm = create_pair(int, int);
    hash_map_iterator_t it_hm;
    int i = 0;

    if(phm_hm1 == NULL || phm_hm2 == NULL || phm_hm3 == NULL || ppr_hm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_map_init(phm_hm1);
    hash_map_init(phm_hm2);
    hash_map_init(phm_hm3);
    pair_init(ppr_hm);

    for(i = 1; i < 4; ++i)
    {
        pair_make(ppr_hm, i, i);
        hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
        pair_make(ppr_hm, i, i + 1);
        hash_map_insert(phm_hm2, ppr_hm);
        pair_make(ppr_hm, i + 1, i);
        hash_map_insert(phm_hm3, ppr_hm);
    }

    printf("The elements of hash_map hm1 are:");
    for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm1);
        !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm1));
        it_hm = iterator_next(it_hm))
    {
        printf("(%d,%d) ",
            *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
            *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
    }
    printf("\n");

    printf("The elements of hash_map hm2 are:");
    for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm2);
        !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm2));
        it_hm = iterator_next(it_hm))
    {
        printf("(%d,%d) ",
            *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
            *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
    }
    printf("\n");
}
```

```

printf("The elements of hash_map hm3 are:");
for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm3);
    !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm3));
    it_hm = iterator_next(it_hm))
{
    printf("(%d,%d) ",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
}
printf("\n");

if(hash_map_greater(phm_hm1, phm_hm2))
{
    printf("The hash_map hm1 is greater than the hash_map hm2.\n");
}
else
{
    printf("The hash_map hm1 is not greater than the hash_map hm2.\n");
}

if(hash_map_greater(phm_hm1, phm_hm3))
{
    printf("The hash_map hm1 is greater than the hash_map hm3.\n");
}
else
{
    printf("The hash_map hm1 is not greater than the hash_map hm3.\n");
}

hash_map_destroy(phm_hm1);
hash_map_destroy(phm_hm2);
hash_map_destroy(phm_hm3);
pair_destroy(ppr_hm);

return 0;
}

```

● Output

```

The elements of hash_map hm1 are: (1,1) (2,2) (3,3)
The elements of hash_map hm2 are: (1,2) (2,3) (3,4)
The elements of hash_map hm3 are: (2,1) (3,2) (4,3)
The hash_map hm1 is not greater than the hash_map hm2.
The hash_map hm1 is not greater than the hash_map hm3.

```

18. hash_map_greater_equal

测试第一个 hash_map_t 是否大于等于第二个 hash_map_t。

```

bool_t hash_map_greater_equal(
    const hash_map_t* cphmap_first,
    const hash_map_t* cphmap_second
);

```

● Parameters

cphmap_first: 指向第一个 hash_map_t 类型的指针。
cphmap_second: 指向第二个 hash_map_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 `hash_map_t` 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 `<cstl/chash_map.h>`

● Example

```
/*
 * hash_map_greater_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);
    hash_map_t* phm_hm2 = create_hash_map(int, int);
    hash_map_t* phm_hm3 = create_hash_map(int, int);
    hash_map_t* phm_hm4 = create_hash_map(int, int);
    pair_t* ppr_hm = create_pair(int, int);
    int i = 0;

    if(phm_hm1 == NULL || phm_hm2 == NULL || phm_hm3 == NULL || ppr_hm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_map_init(phm_hm1);
    hash_map_init(phm_hm2);
    hash_map_init(phm_hm3);
    hash_map_init(phm_hm4);
    pair_init(ppr_hm);

    for(i = 1; i < 3; ++i)
    {
        pair_make(ppr_hm, i, i);
        hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
        hash_map_insert(phm_hm4, ppr_hm);
        pair_make(ppr_hm, i, i * i);
        hash_map_insert(phm_hm2, ppr_hm);
        pair_make(ppr_hm, i, i - 1);
        hash_map_insert(phm_hm3, ppr_hm);
    }

    if(hash_map_greater_equal(phm_hm1, phm_hm2))
    {
        printf("The hash_map hm1 is greater than or equal to the hash_map hm2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_map hm1 is less than the hash_map hm2.\n");
    }

    if(hash_map_greater_equal(phm_hm1, phm_hm3))
    {
        printf("The hash_map hm1 is greater than or equal to the hash_map hm3.\n");
    }
}
```

```

else
{
    printf("The hash_map hm1 is less than the hash_map hm3.\n");
}

if(hash_map_greater_equal(phm_hm1, phm_hm4))
{
    printf("The hash_map hm1 is greater than or equal to the hash_map hm4.\n");
}
else
{
    printf("The hash_map hm1 is less than the hash_map hm4.\n");
}

hash_map_destroy(phm_hm1);
hash_map_destroy(phm_hm2);
hash_map_destroy(phm_hm3);
hash_map_destroy(phm_hm4);
pair_destroy(ppr_hm);

return 0;
}

```

● Output

```

The hash_map hm1 is less than the hash_map hm2.
The hash_map hm1 is greater than or equal to the hash_map hm3.
The hash_map hm1 is greater than or equal to the hash_map hm4.

```

19. hash_map_hash

返回 hash_map_t 使用的哈希函数。

```

unary_function_t hash_map_hash(
    const hash_map_t* cphmap_hmap
);

```

● Parameters

cphmap_hmap: 指向 hash_map_t 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstdlib/hash_map.h>

● Example

```

/*
 * hash_map_hash.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/chash_map.h>

static void hash_func(const void* cpv_input, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);
    hash_map_t* phm_hm2 = create_hash_map(int, int);

```

```

if(phm_hm1 == NULL || phm_hm2 == NULL)
{
    return -1;
}

hash_map_init(phm_hm1);
hash_map_init_ex(phm_hm2, 100, hash_func, NULL);

if(hash_map_hash(phm_hm1) == hash_func)
{
    printf("The hash function of hash_map hm1 is hash_func.\n");
}
else
{
    printf("The hash function of hash_map hm1 is not hash_func.\n");
}

if(hash_map_hash(phm_hm2) == hash_func)
{
    printf("The hash function of hash_map hm2 is hash_func.\n");
}
else
{
    printf("The hash function of hash_map hm2 is not hash_func.\n");
}

hash_map_destroy(phm_hm1);
hash_map_destroy(phm_hm2);

return 0;
}

static void hash_func(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    *(int*)pv_output = *(int*)pair_first((pair_t*)cpv_input);
}

```

● Output

```

The hash function of hash_map hm1 is not hash_func.
The hash function of hash_map hm2 is hash_func.

```

20. hash_map_init hash_map_init_copy hash_map_init_copy_range hash_map_init_copy_range_ex hash_map_init_ex

初始化 hash_map_t 容器。

```

void hash_map_init(
    hash_map_t* phmap_hmap
);

void hash_map_init_copy(
    hash_map_t* phmap_hmap,
    const hash_map_t* cphmap_src
);

void hash_map_init_copy_range(

```



```

    hash_map_t* phmap_hmap,
    hash_map_iterator_t it_begin,
    hash_map_iterator_t it_end
);

void hash_map_init_copy_range_ex(
    hash_map_t* phmap_hmap,
    hash_map_iterator_t it_begin,
    hash_map_iterator_t it_end,
    size_t t_bucketcount,
    unary_function_t ufun_hash,
    binary_function_t bfun_compare
);

void hash_map_init_ex(
    hash_map_t* phmap_hmap,
    size_t t_bucketcount,
    unary_function_t ufun_hash,
    binary_function_t bfun_compare
);

```

● Parameters

phmap_hmap: 指向被初始化 `hash_map_t` 类型的指针。
cphmap_src: 指向用于初始化的 `hash_map_t` 类型的指针。
it_begin: 用于初始化的数据区间的开始位置。
it_end: 用于初始化的数据区间的末尾位置。
t_bucketcount: 哈希表中的存储单元个数。
ufun_hash: 自定义的哈希函数。
bfun_compare: 自定义比较规则。

● Remarks

第一个函数初始化一个空的 `hash_map_t`，使用默认的哈希函数和与键类型相关的小于操作函数作为默认的比较规则。

第二个函数使用一个源 `hash_map_t` 来初始化 `hash_map_t`，数据的内容，哈希函数和比较规则都从源 `hash_map_t` 复制。

第三个函数使用指定的数据区间初始化一个 `hash_map_t`，使用默认的哈希函数和与键类型相关的小于操作函数作为默认的比较规则。

第四个函数使用指定的数据区间初始化一个 `hash_map_t`，使用用户指定的哈希表存储单元个数，哈希函数和比较规则。

第五个函数初始化一个空的 `hash_map_t`，使用用户指定的哈希表存储单元个数，哈希函数和比较规则。

上面的函数要求迭代器和数据区间是有效的，无效的迭代器或数据区间导致函数的行为未定义。初始化函数根据用户指定的哈希表存储单元个数计算一个与用户指定的个数最接近的最佳哈希表存储单元个数。默认个数是 53 个，用户指定的个数小于等于 53 时都使用这个存储单元个数。

● Requirements

头文件 `<cstl/chash_map.h>`

● Example

```

/*
 * hash_map_init.c
 * compile with : -lcstl
 */

```

```

#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <cstl/chash_map.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

static void _default_hash(const void* cpv_input, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_map_t* phm_hm0 = create_hash_map(char*, int);
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(char*, int);
    hash_map_t* phm_hm2 = create_hash_map(char*, int);
    hash_map_t* phm_hm3 = create_hash_map(char*, int);
    hash_map_t* phm_hm4 = create_hash_map(char*, int);
    hash_map_t* phm_hm5 = create_hash_map(char*, int);
    hash_map_iterator_t it_hm;
    pair_t* ppr_hm = create_pair(char*, int);

    if(phm_hm0 == NULL || phm_hm1 == NULL || phm_hm2 == NULL ||
        phm_hm3 == NULL || phm_hm4 == NULL || phm_hm5 == NULL ||
        ppr_hm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppr_hm);

    /* Create an empty hash_map hm0 of key type string */
    hash_map_init(phm_hm0);

    /*
     * Create an empty hash_map hm1 with the key comparison
     * function of less than, then insert 4 elements
     */
    hash_map_init_ex(phm_hm1, 0, _default_hash, fun_less_cstr);
    pair_make(ppr_hm, "one", 0);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, "two", 10);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, "three", 20);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, "four", 30);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, "five", 40);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);

    /*
     * Create an empty hash_map hm2 with the key comparison
     * function of greater than, then insert 2 elements
     */
    hash_map_init_ex(phm_hm2, 100, _default_hash, fun_greater_cstr);
    pair_make(ppr_hm, "one", 10);
    hash_map_insert(phm_hm2, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, "two", 20);
    hash_map_insert(phm_hm2, ppr_hm);

    /* Create a copy, hash_map hm3, of hash_map hm1 */
    hash_map_init_copy(phm_hm3, phm_hm1);

    /* Create a hash_map hm4 by coping the range hm1[first, last) */

```

```

hash_map_init_copy_range(phm_hm4,
    iterator_advance(hash_map_begin(phm_hm1), 2), hash_map_end(phm_hm1));

/*
 * Create a hash_map hm5 by copying the range hm3 [first, last)
 * and with the key comparison function of less than
 */
hash_map_init_copy_range_ex(phm_hm5, hash_map_begin(phm_hm3),
    hash_map_end(phm_hm3), 100, _default_hash, fun_less_cstr);

printf("hm1 =");
for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm1);
    !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm1));
    it_hm = iterator_next(it_hm))
{
    printf("(%s, %d) ",
        (char*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
}
printf("\n");

printf("hm2 =");
for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm2);
    !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm2));
    it_hm = iterator_next(it_hm))
{
    printf("(%s, %d) ",
        (char*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
}
printf("\n");

printf("hm3 =");
for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm3);
    !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm3));
    it_hm = iterator_next(it_hm))
{
    printf("(%s, %d) ",
        (char*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
}
printf("\n");

printf("hm4 =");
for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm4);
    !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm4));
    it_hm = iterator_next(it_hm))
{
    printf("(%s, %d) ",
        (char*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
}
printf("\n");

printf("hm5 =");
for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm5);
    !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm5));
    it_hm = iterator_next(it_hm))
{
    printf("(%s, %d) ",

```

```

        (char*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
    }
    printf("\n");

    hash_map_destroy(phm_hm0);
    hash_map_destroy(phm_hm1);
    hash_map_destroy(phm_hm2);
    hash_map_destroy(phm_hm3);
    hash_map_destroy(phm_hm4);
    hash_map_destroy(phm_hm5);
    pair_destroy(ppr_hm);

    return 0;
}

static void _default_hash(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    *(size_t*)pv_output = strlen((char*)pair_first((pair_t*)cpv_input));
}

```

● Output

```

hm1 =(one, 0) (two, 10) (four, 30) (five, 40) (three, 20)
hm2 =(one, 10) (two, 20)
hm3 =(one, 0) (two, 10) (four, 30) (five, 40) (three, 20)
hm4 =(five, 40) (three, 20) (four, 30)
hm5 =(one, 0) (two, 10) (four, 30) (five, 40) (three, 20)

```

21. hash_map_insert hash_map_insert_range

向 hash_map_t 中插入数据。

```

hash_map_iterator_t hash_map_insert(
    hash_map_t* phmap_hmap,
    const pair_t* cppair_pair
);

void hash_map_insert_range(
    hash_map_t* phmap_hmap,
    hash_map_iterator_t it_begin,
    hash_map_iterator_t it_end
);

```

● Parameters

phmap_hmap: 指向 hash_map_t 类型的指针。
cppair_pair: 插入的数据。
it_begin: 被插入的数据区间的开始位置。
it_end: 被插入的数据区间的末尾位置。

● Remarks

第一个函数向 hash_map_t 中插入一个指定的数据，成功后返回指向该数据的迭代器，如果 hash_map_t 中包含了该数据那么插入失败，返回 hash_map_end()。

第三个函数插入指定的数据区间。

上面的函数要求迭代器和数据区间是有效的，无效的迭代器或数据区间导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```
/*
 * hash_map_insert.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);
    hash_map_t* phm_hm2 = create_hash_map(int, int);
    pair_t* ppr_hm = create_pair(int, int);
    hash_map_iterator_t it_hm;

    if(phm_hm1 == NULL || phm_hm2 == NULL || ppr_hm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_map_init(phm_hm1);
    hash_map_init(phm_hm2);
    pair_init(ppr_hm);

    pair_make(ppr_hm, 1, 10);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, 2, 20);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, 3, 30);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, 4, 40);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);

    printf("The original elements of hm1 are:");
    for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm1);
        !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm1));
        it_hm = iterator_next(it_hm))
    {
        printf(" (%d, %d)",
            *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
            *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
    }
    printf("\n");

    pair_make(ppr_hm, 1, 10);
    it_hm = hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    if(iterator_not_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm1)))
    {
        printf("The element (1, 10) was inserted in hm1 successfully.\n");
    }
    else
    {
        printf("The element (1, 10) already exists in hm1.\n");
    }

    pair_make(ppr_hm, 10, 100);
```

```

hash_map_insert(phm_hm2, ppr_hm);
hash_map_insert_range(phm_hm2, iterator_next(hash_map_begin(phm_hm1)),
    iterator_prev(hash_map_end(phm_hm1)));
printf("After the insertions, the elements of hm2 are:");
for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm2);
    !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm2));
    it_hm = iterator_next(it_hm))
{
    printf(" (%d, %d)",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
}
printf("\n");

hash_map_destroy(phm_hm1);
hash_map_destroy(phm_hm2);
pair_destroy(ppr_hm);

return 0;
}

```

● Output

The original elements of hm1 are: (1, 10) (2, 20) (3, 30) (4, 40)
 The element (1, 10) already exists in hm1.
 After the insertions, the elements of hm2 are: (2, 20) (3, 30) (10, 100)

22. hash_map_key_comp

返回 hash_map_t 中使用的键比较规则。

```

binary_function_t hash_map_key_comp(
    const hash_map_t* cphmap_hmap
);

```

● Parameters

cphmap_hmap: 指向 hash_map_t 类型的指针。

● Remarks

这个排序规则是针对数据中的键进行排序。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```

/*
 * hash_map_key_comp.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);

```

```

hash_map_t* phm_hm2 = create_hash_map(int, int);
binary_function_t bfun_kc = NULL;
int n_first = 2;
int n_second = 3;
bool_t b_result = false;

if(phm_hm1 == NULL || phm_hm2 == NULL)
{
    return -1;
}

hash_map_init_ex(phm_hm1, 0, NULL, fun_less_int);
hash_map_init_ex(phm_hm2, 0, NULL, fun_greater_int);

bfun_kc = hash_map_key_comp(phm_hm1);
(*bfun_kc)(&n_first, &n_second, &b_result);
if(b_result)
{
    printf("(bfun_kc)(2, 3) returns value of true, "
           "where bfun_kc is the compare function of hm1.\n");
}
else
{
    printf("(bfun_kc)(2, 3) returns value of false, "
           "where bfun_kc is the compare function of hm1.\n");
}

bfun_kc = hash_map_key_comp(phm_hm2);
(*bfun_kc)(&n_first, &n_second, &b_result);
if(b_result)
{
    printf("(bfun_kc)(2, 3) returns value of true, "
           "where bfun_kc is the compare function of hm2.\n");
}
else
{
    printf("(bfun_kc)(2, 3) returns value of false, "
           "where bfun_kc is the compare function of hm2.\n");
}

hash_map_destroy(phm_hm1);
hash_map_destroy(phm_hm2);

return 0;
}

```

● Output

```

(*bfun_kc)(2, 3) returns value of true, where bfun_kc is the compare function of
hm1.
(*bfun_kc)(2, 3) returns value of false, where bfun_kc is the compare function of
hm2.

```

23. hash_map_less

测试第一个 hash_map_t 是否小于第二个 hash_map_t。

```

bool_t hash_map_less(
    const hash_map_t* cphmap_first,

```

```
const hash_map_t* cphmap_second
);
```

● Parameters

cphmap_first: 指向第一个 hash_map_t 类型的指针。

cphmap_second: 指向第二个 hash_map_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 hash_map_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```
/*
 * hash_map_less.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);
    hash_map_t* phm_hm2 = create_hash_map(int, int);
    hash_map_t* phm_hm3 = create_hash_map(int, int);
    pair_t* ppr_hm = create_pair(int, int);
    hash_map_iterator_t it_hm;
    int i = 0;

    if(phm_hm1 == NULL || phm_hm2 == NULL || phm_hm3 == NULL || ppr_hm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_map_init(phm_hm1);
    hash_map_init(phm_hm2);
    hash_map_init(phm_hm3);
    pair_init(ppr_hm);

    for(i = 1; i < 4; ++i)
    {
        pair_make(ppr_hm, i, i);
        hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
        pair_make(ppr_hm, i, i + 1);
        hash_map_insert(phm_hm2, ppr_hm);
        pair_make(ppr_hm, i + 1, i);
        hash_map_insert(phm_hm3, ppr_hm);
    }

    printf("The elements of hash_map hm1 are:");
    for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm1);
        !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm1));
        it_hm = iterator_next(it_hm))
    {
        printf("(%d,%d) ",
            *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
```



```

        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
    }
    printf("\n");

    printf("The elements of hash_map hm2 are:");
    for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm2);
        !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm2));
        it_hm = iterator_next(it_hm))
    {
        printf("(%d,%d) ",
            *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
            *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
    }
    printf("\n");

    printf("The elements of hash_map hm3 are:");
    for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm3);
        !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm3));
        it_hm = iterator_next(it_hm))
    {
        printf("(%d,%d) ",
            *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
            *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
    }
    printf("\n");

    if(hash_map_less(phm_hm1, phm_hm2))
    {
        printf("The hash_map hm1 is less than the hash_map hm2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_map hm1 is not less than the hash_map hm2.\n");
    }

    if(hash_map_less(phm_hm1, phm_hm3))
    {
        printf("The hash_map hm1 is less than the hash_map hm3.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_map hm1 is not less than the hash_map hm3.\n");
    }

    hash_map_destroy(phm_hm1);
    hash_map_destroy(phm_hm2);
    hash_map_destroy(phm_hm3);
    pair_destroy(ppr_hm);

    return 0;
}

```

● Output

```

The elements of hash_map hm1 are: (1,1) (2,2) (3,3)
The elements of hash_map hm2 are: (1,2) (2,3) (3,4)
The elements of hash_map hm3 are: (2,1) (3,2) (4,3)
The hash_map hm1 is less than the hash_map hm2.
The hash_map hm1 is less than the hash_map hm3.

```

24. hash_map_less_equal

测试第一个 hash_map_t 是否小于等于 hash_map_t。

```
bool_t hash_map_less_equal(  
    const hash_map_t* cphmap_first,  
    const hash_map_t* cphmap_second  
);
```

- **Parameters**

cphmap_first: 指向第一个 hash_map_t 类型的指针。

cphmap_second: 指向第二个 hash_map_t 类型的指针。

- **Remarks**

这个函数要求两个 hash_map_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_map.h>

- **Example**

```
/*  
 * hash_map_less_equal.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_map.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);  
    hash_map_t* phm_hm2 = create_hash_map(int, int);  
    hash_map_t* phm_hm3 = create_hash_map(int, int);  
    hash_map_t* phm_hm4 = create_hash_map(int, int);  
    pair_t* ppr_hm = create_pair(int, int);  
    int i = 0;  
  
    if(phm_hm1 == NULL || phm_hm2 == NULL || phm_hm3 == NULL || ppr_hm == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    hash_map_init(phm_hm1);  
    hash_map_init(phm_hm2);  
    hash_map_init(phm_hm3);  
    hash_map_init(phm_hm4);  
    pair_init(ppr_hm);  
  
    for(i = 1; i < 3; ++i)  
    {  
        pair_make(ppr_hm, i, i);  
        hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);  
        hash_map_insert(phm_hm4, ppr_hm);  
        pair_make(ppr_hm, i, i * i);  
        hash_map_insert(phm_hm2, ppr_hm);  
        pair_make(ppr_hm, i, i - 1);  
        hash_map_insert(phm_hm3, ppr_hm);  
    }  
}
```

```

if(hash_map_less_equal(phm_hm1, phm_hm2))
{
    printf("The hash_map hm1 is less than or equal to the hash_map hm2.\n");
}
else
{
    printf("The hash_map hm1 is greater than the hash_map hm2.\n");
}

if(hash_map_less_equal(phm_hm1, phm_hm3))
{
    printf("The hash_map hm1 is less than or equal to the hash_map hm3.\n");
}
else
{
    printf("The hash_map hm1 is greater than the hash_map hm3.\n");
}

if(hash_map_less_equal(phm_hm1, phm_hm4))
{
    printf("The hash_map hm1 is less than or equal to the hash_map hm4.\n");
}
else
{
    printf("The hash_map hm1 is greater than the hash_map hm4.\n");
}

hash_map_destroy(phm_hm1);
hash_map_destroy(phm_hm2);
hash_map_destroy(phm_hm3);
hash_map_destroy(phm_hm4);
pair_destroy(ppr_hm);

return 0;
}

```

● Output

```

The hash_map hm1 is less than or equal to the hash_map hm2.
The hash_map hm1 is greater than the hash_map hm3.
The hash_map hm1 is less than or equal to the hash_map hm4.

```

25. hash_map_max_size

返回 hash_map_t 中能够保存数据数量的最大值。

```

size_t hash_map_max_size(
    const hash_map_t* cphmap_hmap
);

```

● Parameters

cphmap_hmap: 指向 hash_map_t 类型的指针。

● Remarks

这是一个与系统相关的常数。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```
/*
 * hash_map_max_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);

    if(phm_hm1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_map_init(phm_hm1);

    printf("The maximum possible length of the hash_map hm1 is: %d.\n",
        hash_map_max_size(phm_hm1));

    hash_map_destroy(phm_hm1);

    return 0;
}
```

● Output

The maximum possible length of the hash_map hm1 is: 7895160.

26. hash_map_not_equal

测试两个 hash_map_t 是否不等。

```
bool_t hash_map_not_equal(
    const hash_map_t* cphmap_first,
    const hash_map_t* cphmap_second
);
```

● Parameters

cphmap_first: 指向第一个 hash_map_t 类型的指针。
cphmap_second: 指向第二个 hash_map_t 类型的指针。

● Remarks

如果两个 hash_map_t 容器中的数据都对应相等，并且数据个数相等，则返回 false 否则返回 true，如果两个 hash_map_t 容器中保存的数据类型不同也认为是不等。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```
/*
```

```

* hash_map_not_equal.c
* compile with : -lcstl
*/

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);
    hash_map_t* phm_hm2 = create_hash_map(int, int);
    hash_map_t* phm_hm3 = create_hash_map(int, int);
    pair_t* ppr_hm = create_pair(int, int);
    int i = 0;

    if(phm_hm1 == NULL || phm_hm2 == NULL || phm_hm3 == NULL || ppr_hm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_map_init(phm_hm1);
    hash_map_init(phm_hm2);
    hash_map_init(phm_hm3);
    pair_init(ppr_hm);

    for(i = 0; i < 3; ++i)
    {
        pair_make(ppr_hm, i, i);
        hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
        hash_map_insert(phm_hm3, ppr_hm);
        pair_make(ppr_hm, i, i * i);
        hash_map_insert(phm_hm2, ppr_hm);
    }

    if(hash_map_not_equal(phm_hm1, phm_hm2))
    {
        printf("The hash_maps hm1 and hm2 are not equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_maps hm1 and hm2 are equal.\n");
    }

    if(hash_map_not_equal(phm_hm1, phm_hm3))
    {
        printf("The hash_maps hm1 and hm3 are not equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_maps hm1 and hm3 are equal.\n");
    }

    hash_map_destroy(phm_hm1);
    hash_map_destroy(phm_hm2);
    hash_map_destroy(phm_hm3);
    pair_destroy(ppr_hm);

    return 0;
}

```

● Output

```
The hash_maps hm1 and hm2 are not equal.  
The hash_maps hm1 and hm3 are equal.
```

27. hash_map_resize

重新设置 hash_map_t 中哈希表的存储单元个数。

```
void hash_map_resize(  
    hash_map_t* phmap_hmap,  
    size_t t_resize  
);
```

● Parameters

phmap_hmap: 指向 hash_map_t 类型的指针。

t_resize: 哈希表存储单元的新数量。

● Remarks

当哈希表存储单元数量改变后，哈希表中的数据将被重新计算位置，所有的迭代器失效。当新的存储单元数量小于当前数量时，不做任何操作。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```
/*  
 * hash_map_resize.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_map.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);  
  
    if(phm_hm1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    hash_map_init(phm_hm1);  
  
    printf("The bucket count of hash_map hm1 is: %d.\n",  
        hash_map_bucket_count(phm_hm1));  
  
    hash_map_resize(phm_hm1, 100);  
  
    printf("The bucket count of hash_map hm1 is now: %d.\n",  
        hash_map_bucket_count(phm_hm1));  
  
    hash_map_destroy(phm_hm1);  
  
    return 0;  
}
```

● Output

```
The bucket count of hash_map hm1 is: 53.  
The bucket count of hash_map hm1 is now: 193.
```

28. hash_map_size

返回 hash_map_t 中数据的数量。

```
size_t hash_map_size(  
    const hash_map_t* cphmap_hmap  
);
```

● Parameters

cphmap_hmap: 指向 hash_map_t 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```
/*  
 * hash_map_size.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_map.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);  
    pair_t* ppr_hm = create_pair(int, int);  
  
    if(phm_hm1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    hash_map_init(phm_hm1);  
    pair_init(ppr_hm);  
  
    pair_make(ppr_hm, 1, 1);  
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);  
    printf("The hash_map hm1 length is %d.\n", hash_map_size(phm_hm1));  
  
    pair_make(ppr_hm, 2, 4);  
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);  
    printf("The hash_map hm1 length is now %d.\n", hash_map_size(phm_hm1));  
  
    hash_map_destroy(phm_hm1);  
    pair_destroy(ppr_hm);  
  
    return 0;  
}
```

● Output

```
The hash_map hm1 length is 1.
The hash_map hm1 length is now 2.
```

29. hash_map_swap

交换两个 hash_map_t 中的内容。

```
void hash_map_swap(
    hash_map_t* phmap_first,
    hash_map_t* phmap_second
);
```

- **Parameters**

phmap_first: 指向第一个 hash_map_t 类型的指针。

phmap_second: 指向第二个 hash_map_t 类型的指针。

- **Remarks**

这个函数要求两个 hash_map_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_map.h>

- **Example**

```
/*
 * hash_map_swap.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);
    hash_map_t* phm_hm2 = create_hash_map(int, int);
    pair_t* ppr_hm = create_pair(int, int);
    hash_map_iterator_t it_hm;

    if(phm_hm1 == NULL || phm_hm2 == NULL || ppr_hm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_map_init(phm_hm1);
    hash_map_init(phm_hm2);
    pair_init(ppr_hm);

    pair_make(ppr_hm, 1, 10);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, 2, 20);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, 3, 30);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, 10, 100);
    hash_map_insert(phm_hm2, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, 20, 200);
    hash_map_insert(phm_hm2, ppr_hm);
```



```

printf("The original hash_map hm1 is:");
for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm1);
    !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm1));
    it_hm = iterator_next(it_hm))
{
    printf(" (%d, %d)",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
}
printf("\n");

hash_map_swap(phm_hm1, phm_hm2);

printf("After swapping with hm2, hash_map hm1 is:");
for(it_hm = hash_map_begin(phm_hm1);
    !iterator_equal(it_hm, hash_map_end(phm_hm1));
    it_hm = iterator_next(it_hm))
{
    printf(" (%d, %d)",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hm)));
}
printf("\n");

hash_map_destroy(phm_hm1);
hash_map_destroy(phm_hm2);
pair_destroy(ppr_hm);

return 0;
}

```

● Output

```

The original hash_map hm1 is: (1, 10) (2, 20) (3, 30)
After swapping with hm2, hash_map hm1 is: (10, 100) (20, 200)

```

30. hash_map_value_comp

返回 hash_map_t 使用的数据比较规则。

```

binary_function_t hash_map_value_comp(
    const hash_map_t* cphmap_hmap
);

```

● Parameters

cphmap_hmap: 指向 hash_map_t 类型的指针。

● Remarks

这个规则是针对数据本身的比较规则而不是键或者值。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```

/*
 * hash_map_value_comp.c

```

```

* compile with : -lcstl
*/

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_map_t* phm_hm1 = create_hash_map(int, int);
    pair_t* ppr_hm = create_pair(int, int);
    binary_function_t bfun_vc = NULL;
    bool_t b_result = false;
    hash_map_iterator_t it_hm1;
    hash_map_iterator_t it_hm2;

    if(phm_hm1 == NULL || ppr_hm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppr_hm);
    hash_map_init_ex(phm_hm1, 100, NULL, fun_less_int);

    pair_make(ppr_hm, 1, 10);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);
    pair_make(ppr_hm, 2, 5);
    hash_map_insert(phm_hm1, ppr_hm);

    it_hm1 = hash_map_find(phm_hm1, 1);
    it_hm2 = hash_map_find(phm_hm1, 2);
    bfun_vc = hash_map_value_comp(phm_hm1);

    (*bfun_vc)(iterator_get_pointer(it_hm1),
               iterator_get_pointer(it_hm2), &b_result);
    if(b_result)
    {
        printf("The element (1, 10) precedes the element (2, 5).\n");
    }
    else
    {
        printf("The element (1, 10) does not precedes the element (2, 5).\n");
    }

    (*bfun_vc)(iterator_get_pointer(it_hm2),
               iterator_get_pointer(it_hm1), &b_result);
    if(b_result)
    {
        printf("The element (2, 5) precedes the element (1, 10).\n");
    }
    else
    {
        printf("The element (2, 5) does not precedes the element (1, 10).\n");
    }

    pair_destroy(ppr_hm);
    hash_map_destroy(phm_hm1);

    return 0;
}

```

● **Output**

```
The element (1, 10) precedes the element (2, 5).
The element (2, 5) does not precedes the element (1, 10).
```

第十二节 基于哈希结构的多重映射 hash_multimap_t

基于哈希结构的多重映射 hash_multimap_t 是关联容器，容器中保存的数据是 pair_t 类型。pair_t 的第一个数据是键，hash_multimap_t 中的数据就是根据这个键排序的，不可以直接或者间接修改键。pair_t 的第二个数据是值，值与键没有直接的关系，值对于 hash_multimap_t 中的数据排序没有影响，可以直接或者间接修改值。

hash_multimap_t 的迭代器是双向迭代器，插入新的数据不会破坏原有的迭代器，删除一个数据的时候只有指向该数据的迭代器失效。在 hash_multimap_t 中查找，插入或者删除数据都是高效的。

hash_multimap_t 中的数据保存在哈希表中，根据数据和指定的哈希函数计算数据在哈希表中的位置，同时根据键按照指定规则自动排序，默认规则是与键相关的小于操作，用户也可以在初始化时指定自定义的规则。hash_multimap_t 在数据的插入删除查找等操作上与基于平衡二叉树的关联容器相比效率更高，可以达到接近常数级别，但是数据不是完全有序的。

● **Typedefs**

hash_multimap_t	基于哈希结构的多重映射容器类型。
hash_multimap_iterator_t	基于哈希结构的多重映射容器迭代器类型。

● **Operation Functions**

create_hash_multimap	创建基于哈希结构的多重映射容器类型。
hash_multimap_assign	为基于哈希结构的多重映射容器迭代器类型赋值。
hash_multimap_begin	返回指向基于哈希结构的多重映射中第一个数据的迭代器。
hash_multimap_bucket_count	返回基于哈希结构的多重映射使用的哈希表的存储单元个数。
hash_multimap_clear	删除基于哈希结构的多重映射中包含指定键的数据。
hash_multimap_count	统计基于哈希结构的多重映射中包含指定键的数据的个数。
hash_multimap_destroy	销毁基于哈希结构的多重映射容器。
hash_multimap_empty	测试基于哈希结构的多重映射容器是否为空。
hash_multimap_end	返回指向基于哈希结构的多重映射容器末尾位置的迭代器。
hash_multimap_equal	测试两个基于哈希结构的多重映射容器是否相等。
hash_multimap_equal_range	返回基于哈希结构的多重映射容器中包含指定键的数据区间。
hash_multimap_erase	删除基于哈希结构的多重映射中包含指定键的数据。
hash_multimap_erase_pos	删除基于哈希结构的多重映射容器中指定位置的数据。
hash_multimap_erase_range	删除基于哈希结构的多重映射容器中的指定数据区间。
hash_multimap_find	查找基于哈希结构的多重映射容器中包含指定键的数据。
hash_multimap_greater	测试第一个基于哈希结构的多重映射是否大于第二个基于哈希结构的多重映射。
hash_multimap_greater_equal	测试第一个基于哈希结构的多重映射是否大于等于第二个容器。
hash_multimap_hash	返回基于哈希结构的多重映射使用的哈希函数。
hash_multimap_init	初始化一个空的基于哈希结构的多重映射。

hash_multimap_init_copy	使用拷贝的方式初始化一个基于哈希结构的多重映射。
hash_multimap_init_copy_range	使用指定的数据区间初始化一个基于哈希结构的多重映射。
hash_multimap_init_copy_range_ex	使用指定的数据区间，哈希函数，比较规则和存储单元数初始化容器。
hash_multimap_init_ex	使用指定的哈希函数，比较规则和存储单元数初始化一个空的容器。
hash_multimap_insert	向基于哈希结构的多重映射容器中插入数据。
hash_multimap_insert_range	向基于哈希结构的多重映射容器中插入数据区间。
hash_multimap_key_comp	返回基于哈希结构的多重映射容器使用的键比较规则。
hash_multimap_less	测试第一个基于哈希结构的多重映射是否小于第二个容器。
hash_multimap_less_equal	测试第一个基于哈希结构的多重映射是否小于等于第二个容器。
hash_multimap_max_size	返回基于哈希结构的多重映射容器中能够保存的数据数量的最大值。
hash_multimap_not_equal	测试两个基于哈希结构的多重映射容器是否不等。
hash_multimap_resize	重新设置基于哈希结构的多重映射容器使用的哈希表的存储单元个数。
hash_multimap_size	返回基于哈希结构的多重映射容器中保存的数据的个数。
hash_multimap_swap	交换两个基于哈希结构的多重映射容器中的内容。
hash_multimap_value_comp	返回基于哈希结构的多重映射容器使用的数据比较规则。

1. hash_multimap_t

基于哈希结构的多重映射容器类型。

- **Requirements**
头文件 <cstl/chash_map.h>
- **Example**
请参考 hash_multimap_t 类型的其他操作函数。

2. hash_multimap_iterator_t

基于哈希结构的多重映射容器的迭代器类型。

- **Remarks**
hash_multimap_iterator_t 是双向迭代器类型，不能通过迭代器来修改容器中数据的键，但是可以修改数据的值。
- **Requirements**
头文件 <cstl/chash_map.h>
- **Example**
请参考 hash_multimap_t 类型的其他操作函数。

3. create_hash_multimap

创建 hash_multimap_t 容器类型。

```
hash_multimap_t* create_hash_multimap(  
    type
```

```
);
```

- **Parameters**

type: 数据类型描述。

- **Remarks**

函数成功返回指向 `hash_multimap_t` 类型的指针，失败返回 `NULL`。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/chash_map.h>`

- **Example**

请参考 `hash_multimap_t` 类型的其他操作函数。

4. `hash_multimap_assign`

为 `hash_multimap_t` 赋值。

```
void hash_multimap_assign(  
    hash_multimap_t* phmmmap_dest,  
    const hash_multimap_t* cphmmmap_src  
);
```

- **Parameters**

phmmmap_dest: 指向被赋值的 `hash_multimap_t` 类型的指针。

cphmmmap_src: 指向赋值的 `hash_multimap_t` 类型的指针。

- **Remarks**

要求两个 `hash_multimap_t` 类型保存的数据具有相同的类型，否则函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/chash_map.h>`

- **Example**

```
/*  
 * hash_multimap_assign.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_map.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(int, int);  
    hash_multimap_t* phmm_hmm2 = create_hash_multimap(int, int);  
    pair_t* ppr_hmm = create_pair(int, int);  
    hash_multimap_iterator_t it_hmm;  
  
    if(phmm_hmm1 == NULL || phmm_hmm2 == NULL || ppr_hmm == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    hash_multimap_init(phmm_hmm1);
```

```

hash_multimap_init(phmm_hmm2);
pair_init(ppr_hmm);

pair_make(ppr_hmm, 1, 1);
hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
pair_make(ppr_hmm, 3, 3);
hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
pair_make(ppr_hmm, 5, 5);
hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);

pair_make(ppr_hmm, 100, 500);
hash_multimap_insert(phmm_hmm2, ppr_hmm);
pair_make(ppr_hmm, 200, 900);
hash_multimap_insert(phmm_hmm2, ppr_hmm);

printf("hmm1 =");
for(it_hmm = hash_multimap_begin(phmm_hmm1);
    !iterator_equal(it_hmm, hash_multimap_end(phmm_hmm1));
    it_hmm = iterator_next(it_hmm))
{
    printf("(%d, %d) ",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));
}
printf("\n");

hash_multimap_assign(phmm_hmm1, phmm_hmm2);
printf("hmm1 =");
for(it_hmm = hash_multimap_begin(phmm_hmm1);
    !iterator_equal(it_hmm, hash_multimap_end(phmm_hmm1));
    it_hmm = iterator_next(it_hmm))
{
    printf("(%d, %d) ",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));
}
printf("\n");

hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);
hash_multimap_destroy(phmm_hmm2);
pair_destroy(ppr_hmm);

return 0;
}

```

● Output

```

hmm1 =(1, 1) (3, 3) (5, 5)
hmm1 =(200, 900) (100, 500)

```

5. hash_multimap_begin

返回指向 hash_multimap_t 中第一个数据的迭代器。

```

hash_multimap_iterator_t hash_multimap_begin(
    const hash_multimap_t* cphmmmap_hmmmap
);

```

● Parameters

cphmmmap_hmmmap: 指向 hash_multimap_t 类型的指针。

- **Remarks**

如果 hash_multimap_t 为空，这个函数的返回值与 hash_multimap_end() 相等。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_map.h>

- **Example**

```
/*
 * hash_multimap_begin.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(int, int);
    pair_t* ppr_hmm = create_pair(int, int);
    hash_multimap_iterator_t it_hmm;

    if(phmm_hmm1 == NULL || ppr_hmm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multimap_init(phmm_hmm1);
    pair_init(ppr_hmm);

    pair_make(ppr_hmm, 0, 0);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
    pair_make(ppr_hmm, 1, 1);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
    pair_make(ppr_hmm, 2, 4);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);

    it_hmm = hash_multimap_begin(phmm_hmm1);
    printf("The first element of hmm1 is (%d, %d).\n",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));

    hash_multimap_erase_pos(phmm_hmm1, hash_multimap_begin(phmm_hmm1));

    it_hmm = hash_multimap_begin(phmm_hmm1);
    printf("The first element of hmm1 is now (%d, %d).\n",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));

    hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);
    pair_destroy(ppr_hmm);

    return 0;
}
```

- **Output**

The first element of hmm1 is (0, 0).

The first element of hmmm1 is now (1, 1).

6. hash_multimap_bucket_count

返回 hash_multimap_t 中哈希表存储单元的个数。

```
size_t hash_multimap_bucket_count(  
    const hash_multimap_t* cphmmmap_hmmmap  
);
```

- **Parameters**

cphmmmap_hmmmap: 指向 hash_multimap_t 类型的指针。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_map.h>

- **Example**

```
/*  
 * hash_multimap_bucket_count.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_map.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(int, int);  
    hash_multimap_t* phmm_hmm2 = create_hash_multimap(int, int);  
  
    if(phmm_hmm1 == NULL || phmm_hmm2 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    hash_multimap_init(phmm_hmm1);  
    hash_multimap_init_ex(phmm_hmm2, 100, NULL, NULL);  
  
    printf("The default bucket count of hmmm1 is %d.\n",  
        hash_multimap_bucket_count(phmm_hmm1));  
    printf("The custom bucket count of hmmm2 is %d.\n",  
        hash_multimap_bucket_count(phmm_hmm2));  
  
    hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);  
    hash_multimap_destroy(phmm_hmm2);  
  
    return 0;  
}
```

- **Output**

The default bucket count of hmmm1 is 53.
The custom bucket count of hmmm2 is 193.

7. hash_multimap_clear

删除 hash_multimap_t 中所有的数据。

```
void hash_multimap_clear(  
    hash_multimap_t* phmmmap_hmmmap  
);
```

- **Parameters**

phmmmap_hmmmap: 指向 hash_multimap_t 类型的指针。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_map.h>

- **Example**

```
/*  
 * hash_multimap_clear.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_map.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(int, int);  
    pair_t* ppr_hmm = create_pair(int, int);  
  
    if(phmm_hmm1 == NULL || ppr_hmm == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    hash_multimap_init(phmm_hmm1);  
    pair_init(ppr_hmm);  
  
    pair_make(ppr_hmm, 1, 1);  
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);  
    pair_make(ppr_hmm, 2, 4);  
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);  
  
    printf("The size of the hash_multimap is initially %d.\n",  
        hash_multimap_size(phmm_hmm1));  
  
    hash_multimap_clear(phmm_hmm1);  
  
    printf("The size of the hash_multimap after clearing is %d.\n",  
        hash_multimap_size(phmm_hmm1));  
  
    hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);  
    pair_destroy(ppr_hmm);  
  
    return 0;  
}
```

- **Output**

```
The size of the hash_multimap is initially 2.  
The size of the hash_multimap after clearing is 0.
```

8. hash_multimap_count

统计 hash_multimap_t 中包含指定键的数据个数。

```
size_t hash_multimap_count(  
    const hash_multimap_t* cphmap_hmmap,  
    key  
);
```

- **Parameters**

cphmmap_hmmap: 指向 hash_multimap_t 类型的指针。

key: 指定的键。

- **Remarks**

如果容器中没有包含指定键的数据返回 0， 否这返回包含指定键的数据的个数。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_map.h>

- **Example**

```
/*  
 * hash_multimap_count.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_map.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(int, int);  
    pair_t* ppr_hmm = create_pair(int, int);  
  
    if(phmm_hmm1 == NULL || ppr_hmm == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    pair_init(ppr_hmm);  
    hash_multimap_init(phmm_hmm1);  
  
    pair_make(ppr_hmm, 1, 1);  
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);  
    pair_make(ppr_hmm, 2, 1);  
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);  
    pair_make(ppr_hmm, 1, 4);  
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);  
    pair_make(ppr_hmm, 2, 1);  
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);  
  
    /* Key must be unique in hash_multimap, so duplicates are ignored */  
    printf("The number of elements in hmm1 with a sort key of 1 is: %d.\n",  
        hash_multimap_count(phmm_hmm1, 1));  
    printf("The number of elements in hmm1 with a sort key of 2 is: %d.\n",  
        hash_multimap_count(phmm_hmm1, 2));  
    printf("The number of elements in hmm1 with a sort key of 3 is: %d.\n",
```

```

    hash_multimap_count(phmm_hmm1, 3));

pair_destroy(ppr_hmm);
hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);

return 0;
}

```

● Output

```

The number of elements in hmm1 with a sort key of 1 is: 2.
The number of elements in hmm1 with a sort key of 2 is: 2.
The number of elements in hmm1 with a sort key of 3 is: 0.

```

9. hash_multimap_destroy

销毁 hash_multimap_t 容器类型。

```

void hash_multimap_destroy(
    hash_multimap_t* phmmmap_hmmmap
);

```

● Parameters

phmmmap_hmmmap: 指向 hash_multimap_t 类型的指针。

● Remarks

hash_multimap_t 容器使用之后一定要销毁，否则 hash_multimap_t 申请的资源不会被释放。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

请参考 hash_multimap_t 类型的其他操作函数。

10. hash_multimap_empty

测试 hash_multimap_t 是否为空。

```

bool_t hash_multimap_empty(
    const hash_multimap_t* cphmmmap_hmmmap
);

```

● Parameters

cphmmmap_hmmmap: 指向 hash_multimap_t 类型的指针。

● Remarks

hash_multimap_t 容器为空返回 true，否则返回 false。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```

/*
 * hash_multimap_empty.c

```

```

* compile with : -lcstl
*/

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(int, int);
    hash_multimap_t* phmm_hmm2 = create_hash_multimap(int, int);
    pair_t* ppr_hmm = create_pair(int, int);

    if(phmm_hmm1 == NULL || phmm_hmm2 == NULL || ppr_hmm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multimap_init(phmm_hmm1);
    hash_multimap_init(phmm_hmm2);
    pair_init(ppr_hmm);

    pair_make(ppr_hmm, 1, 1);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);

    if(hash_multimap_empty(phmm_hmm1))
    {
        printf("The hash_multimap hmm1 is empty.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_multimap hmm1 is not empty.\n");
    }

    if(hash_multimap_empty(phmm_hmm2))
    {
        printf("The hash_multimap hmm2 is empty.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_multimap hmm2 is not empty.\n");
    }

    hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);
    hash_multimap_destroy(phmm_hmm2);
    pair_destroy(ppr_hmm);

    return 0;
}

```

● Output

```

The hash_multimap hmm1 is not empty.
The hash_multimap hmm2 is empty.

```

11. hash_multimap_end

返回指向 hash_multimap_t 容器末尾位置的迭代器。

```
hash_multimap_iterator_t hash_multimap_end(
```

```
const hash_multimap_t* cphmmmap_hmmmap  
) ;
```

- **Parameters**

cphmmmap_hmmmap: 指向 hash_multimap_t 类型的指针。

- **Remarks**

如果 hash_multimap_t 为空，这个函数的返回值与 hash_multimap_begin() 相等。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_map.h>

- **Example**

```
/*  
 * hash_multimap_end.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_map.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(int, int);  
    hash_multimap_iterator_t it_hmm;  
    pair_t* ppr_hmm = create_pair(int, int);  
  
    if(phmm_hmm1 == NULL || ppr_hmm == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    hash_multimap_init(phmm_hmm1);  
    pair_init(ppr_hmm);  
  
    pair_make(ppr_hmm, 1, 10);  
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);  
    pair_make(ppr_hmm, 2, 20);  
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);  
    pair_make(ppr_hmm, 3, 30);  
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);  
  
    it_hmm = iterator_prev(hash_multimap_end(phmm_hmm1));  
    printf("The value of last element of hmm1 is (%d, %d).\n",  
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),  
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));  
  
    hash_multimap_erase_pos(phmm_hmm1, it_hmm);  
  
    it_hmm = iterator_prev(hash_multimap_end(phmm_hmm1));  
    printf("The value of last element of hmm1 is now (%d, %d).\n",  
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),  
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));  
  
    hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);  
    pair_destroy(ppr_hmm);  
  
    return 0;
```

```
}
```

● Output

The value of last element of hmm1 is (3, 30).
The value of last element of hmm1 is now (2, 20).

12. hash_multimap_equal

测试两个 hash_multimap_t 是否相等。

```
bool_t hash_multimap_equal(  
    const hash_multimap_t* cphmmmap_first,  
    const hash_multimap_t* cphmmmap_second  
);
```

● Parameters

cphmmmap_first: 指向第一个 hash_multimap_t 类型的指针。
cphmmmap_second: 指向第二个 hash_multimap_t 类型的指针。

● Remarks

如果两个 hash_multimap_t 容器中的数据都对应相等，并且数据个数相等，则返回 true 否则返回 false，如果两个 hash_multimap_t 容器中保存的数据类型不同也认为是不等。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```
/*  
 * hash_multimap_equal.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_map.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(int, int);  
    hash_multimap_t* phmm_hmm2 = create_hash_multimap(int, int);  
    hash_multimap_t* phmm_hmm3 = create_hash_multimap(int, int);  
    pair_t* ppr_hmm = create_pair(int, int);  
    int i = 0;  
  
    if(phmm_hmm1 == NULL || phmm_hmm2 == NULL ||  
       phmm_hmm3 == NULL || ppr_hmm == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    hash_multimap_init(phmm_hmm1);  
    hash_multimap_init(phmm_hmm2);  
    hash_multimap_init(phmm_hmm3);  
    pair_init(ppr_hmm);  
  
    for(i = 0; i < 3; ++i)  
    {
```

```

    pair_make(ppr_hmm, i, i);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm3, ppr_hmm);
    pair_make(ppr_hmm, i, i * i);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm2, ppr_hmm);
}

if(hash_multimap_equal(phmm_hmm1, phmm_hmm2))
{
    printf("The hash_multimaps hmm1 and hmm2 are equal.\n");
}
else
{
    printf("The hash_multimaps hmm1 and hmm2 are not equal.\n");
}

if(hash_multimap_equal(phmm_hmm1, phmm_hmm3))
{
    printf("The hash_multimaps hmm1 and hmm3 are equal.\n");
}
else
{
    printf("The hash_multimaps hmm1 and hmm3 are not equal.\n");
}

hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);
hash_multimap_destroy(phmm_hmm2);
hash_multimap_destroy(phmm_hmm3);
pair_destroy(ppr_hmm);

return 0;
}

```

● Output

```

The hash_multimaps hmm1 and hmm2 are not equal.
The hash_multimaps hmm1 and hmm3 are equal.

```

13. hash_multimap_equal_range

返回 hash_multimap_t 中包含指定键的数据区间。

```

range_t _hash_multimap_equal_range(
    const hash_multimap_t* cphmmmap_hmmmap,
    key
);

```

● Parameters

cphmmmap_hmmmap: 指向 hash_multimap_t 类型的指针。
key: 指定的键。

● Remarks

返回 hash_multimap_t 中包含拥有指定键的数据的数据区间[range_t.it_begin, range_t.it_end)，其中 it_begin 是指向拥有指定键的第一个数据的迭代器，it_end 指向拥有大于指定键的第一个数据的迭代器。如果 hash_multimap_t 中不包含拥有指定键的数据则 it_begin 与 it_end 相等。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```
/*
 * hash_multimap_equal_range.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(int, int);
    pair_t* ppr_hmm = create_pair(int, int);
    range_t r_hmm;

    if(phmm_hmm1 == NULL || ppr_hmm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multimap_init(phmm_hmm1);
    pair_init(ppr_hmm);

    pair_make(ppr_hmm, 1, 10);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
    pair_make(ppr_hmm, 2, 20);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
    pair_make(ppr_hmm, 3, 30);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);

    r_hmm = hash_multimap_equal_range(phmm_hmm1, 2);
    printf("The lower bound of the element with "
        "a key of 2 in the hash_multimap hmm1 is: (%d, %d).\n",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(r_hmm.it_begin)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(r_hmm.it_begin)));
    printf("The upper bound of the element with "
        "a key of 2 in the hash_multimap hmm1 is: (%d, %d).\n",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(r_hmm.it_end)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(r_hmm.it_end)));

    r_hmm = hash_multimap_equal_range(phmm_hmm1, 4);
    if(iterator_equal(r_hmm.it_begin, hash_multimap_end(phmm_hmm1)) &&
        iterator_equal(r_hmm.it_end, hash_multimap_end(phmm_hmm1)))
    {
        printf("The hash_multimap hmm1 doesn't have "
            "an element with a key less than 4.\n");
    }
    else
    {
        printf("The element of hash_multimap hmm1 with a key >= 4 is (%d, %d).\n",
            *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(r_hmm.it_begin)),
            *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(r_hmm.it_begin)));
    }

    hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);
    pair_destroy(ppr_hmm);

    return 0;
}
```



```
}
```

● Output

The lower bound of the element with a key of 2 in the hash_multimap hmm1 is: (2, 20).

The upper bound of the element with a key of 2 in the hash_multimap hmm1 is: (3, 30).

The hash_multimap hmm1 doesn't have an element with a key less than 4.

14. hash_multimap_erase hash_multimap_erase_pos hash_multimap_erase_range

删除 hash_multimap_t 中的数据。

```
size_t hash_multimap_erase(  
    hash_multimap_t* phmmmap_hmmmap,  
    key  
);  
  
void hash_multimap_erase_pos(  
    hash_multimap_t* phmmmap_hmmmap,  
    hash_multimap_iterator_t it_pos  
);  
  
void hash_multimap_erase_range(  
    hash_multimap_t* phmmmap_hmmmap,  
    hash_multimap_iterator_t it_begin,  
    hash_multimap_iterator_t it_end  
);
```

● Parameters

phmmmap_hmmmap: 指向 hash_multimap_t 类型的指针。

key: 被删除的数据的键。

it_pos: 指向被删除的数据的迭代器。

it_begin: 指向被删除的数据区间开始位置的迭代器。

it_end: 指向被删除的数据区间末尾的迭代器。

● Remarks

第一个函数删除 hash_multimap_t 容器中包含指定键的数据，并返回删除数据的个数，如果容器中没有包含指定键的数据则返回 0。

第二个函数删除指定位置的数据。

第三个函数删除指定数据区间中的数据。

上面操作函数中的迭代器和数据区间都要求是有效的，无效的迭代器和数据区间将导致函数行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```
/*  
 * hash_multimap_erase.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_map.h>
```

```

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(int, int);
    hash_multimap_t* phmm_hmm2 = create_hash_multimap(int, int);
    hash_multimap_t* phmm_hmm3 = create_hash_multimap(int, int);
    pair_t* ppr_hmm = create_pair(int, int);
    hash_multimap_iterator_t it_hmm;
    size_t t_count = 0;
    int i = 0;

    if(phmm_hmm1 == NULL || phmm_hmm2 == NULL ||
        phmm_hmm3 == NULL || ppr_hmm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multimap_init(phmm_hmm1);
    hash_multimap_init(phmm_hmm2);
    hash_multimap_init(phmm_hmm3);
    pair_init(ppr_hmm);

    for(i = 1; i < 5; ++i)
    {
        pair_make(ppr_hmm, i, i);
        hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
        pair_make(ppr_hmm, i, i * i);
        hash_multimap_insert(phmm_hmm2, ppr_hmm);
        pair_make(ppr_hmm, i, i - 1);
        hash_multimap_insert(phmm_hmm3, ppr_hmm);
    }

    /* The first function removes an element at given position */
    hash_multimap_erase_pos(phmm_hmm1,
        iterator_next(hash_multimap_begin(phmm_hmm1)));
    printf("After the second element is deleted, the hash_multimap hmm1 is:");
    for(it_hmm = hash_multimap_begin(phmm_hmm1);
        !iterator_equal(it_hmm, hash_multimap_end(phmm_hmm1));
        it_hmm = iterator_next(it_hmm))
    {
        printf(" (%d, %d)",
            *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
            *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));
    }
    printf("\n");

    /* The second function remove elements in the range [first, last) */
    hash_multimap_erase_range(phmm_hmm2,
        iterator_next(hash_multimap_begin(phmm_hmm2)),
        iterator_prev(hash_multimap_end(phmm_hmm2)));
    printf("After the middle two elements are deleted, the hash_multimap hmm2 is:");
    for(it_hmm = hash_multimap_begin(phmm_hmm2);
        !iterator_equal(it_hmm, hash_multimap_end(phmm_hmm2));
        it_hmm = iterator_next(it_hmm))
    {
        printf(" (%d, %d)",
            *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
            *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));
    }
    printf("\n");
}

```

```

/* The third function removes elements with a given key */
t_count = hash_multimap_erase(phmm_hmm3, 2);
printf("After the element with a key of 2 is deleted, "
       "the hash_multimap hmm3 is:");
for(it_hmm = hash_multimap_begin(phmm_hmm3);
    !iterator_equal(it_hmm, hash_multimap_end(phmm_hmm3));
    it_hmm = iterator_next(it_hmm))
{
    printf(" (%d, %d)",
           *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
           *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));
}
printf("\n");
/* The third function returns the number of elements returned */
printf("The number of elements removed from hmm3 is %d.\n", t_count);

hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);
hash_multimap_destroy(phmm_hmm2);
hash_multimap_destroy(phmm_hmm3);
pair_destroy(ppr_hmm);

return 0;
}

```

● Output

After the second element is deleted, the hash_multimap hmm1 is: (1, 1) (3, 3) (4, 4)
 After the middle two elements are deleted, the hash_multimap hmm2 is: (1, 1) (4, 16)
 After the element with a key of 2 is deleted, the hash_multimap hmm3 is: (1, 0) (3, 2) (4, 3)
 The number of elements removed from hmm3 is 1.

15. hash_multimap_find

在 hash_multimap_t 中查找包含指定键的数据。

```

hash_multimap_iterator_t _hash_multimap_find(
    const hash_multimap_t* cphmmmap_hmmmap,
    key
);

```

● Parameters

cphmmmap_hmmmap: 指向 hash_multimap_t 类型的指针。
key: 被删除的数据的键。

● Remarks

如果 hash_multimap_t 中存在包含指定键的数据，返回指向该数据的迭代器，否则返回 hash_multimap_end()。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```

/*
 * hash_multimap_find.c
 * compile with : -lcstl
 */

```

```

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(int, int);
    pair_t* ppr_hmm = create_pair(int, int);
    hash_multimap_iterator_t it_hmm;

    if(phmm_hmm1 == NULL || ppr_hmm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multimap_init(phmm_hmm1);
    pair_init(ppr_hmm);

    pair_make(ppr_hmm, 1, 10);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
    pair_make(ppr_hmm, 2, 20);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
    pair_make(ppr_hmm, 3, 30);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);

    it_hmm = hash_multimap_find(phmm_hmm1, 2);
    printf("The element of hash_multimap hmm1 with a key of 2 is: (%d, %d).\n",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));

    /* If no match is found for the key, end() is returned */
    it_hmm = hash_multimap_find(phmm_hmm1, 4);
    if(iterator_equal(it_hmm, hash_multimap_end(phmm_hmm1)))
    {
        printf("The hash_multimap hmm1 doesn't have an element with a key of 4.\n");
    }
    else
    {
        printf("The element of hash_multimap hmm1 with a key of 4 is: (%d, %d).\n",
            *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
            *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));
    }

    hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);
    pair_destroy(ppr_hmm);

    return 0;
}

```

● Output

The element of hash_multimap hmm1 with a key of 2 is: (2, 20).
 The hash_multimap hmm1 doesn't have an element with a key of 4.

16. hash_multimap_greater

测试第一个 hash_multimap_t 是否大于第二个 hash_multimap_t。

```
bool_t hash_multimap_greater(
```

```

    const hash_multimap_t* cphmmmap_first,
    const hash_multimap_t* cphmmmap_second
);

```

● Parameters

cphmmmap_first: 指向第一个 hash_multimap_t 类型的指针。

cphmmmap_second: 指向第二个 hash_multimap_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 hash_multimap_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```

/*
 * hash_multimap_greater.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(int, int);
    hash_multimap_t* phmm_hmm2 = create_hash_multimap(int, int);
    hash_multimap_t* phmm_hmm3 = create_hash_multimap(int, int);
    pair_t* ppr_hmm = create_pair(int, int);
    hash_multimap_iterator_t it_hmm;
    int i = 0;

    if(phmm_hmm1 == NULL || phmm_hmm2 == NULL ||
        phmm_hmm3 == NULL || ppr_hmm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multimap_init(phmm_hmm1);
    hash_multimap_init(phmm_hmm2);
    hash_multimap_init(phmm_hmm3);
    pair_init(ppr_hmm);

    for(i = 1; i < 4; ++i)
    {
        pair_make(ppr_hmm, i, i);
        hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
        pair_make(ppr_hmm, i, i + 1);
        hash_multimap_insert(phmm_hmm2, ppr_hmm);
        pair_make(ppr_hmm, i + 1, i);
        hash_multimap_insert(phmm_hmm3, ppr_hmm);
    }

    printf("The elements of hash_multimap hmm1 are:");
    for(it_hmm = hash_multimap_begin(phmm_hmm1);
        !iterator_equal(it_hmm, hash_multimap_end(phmm_hmm1));
        it_hmm = iterator_next(it_hmm))
    {

```

```

        printf("(%d,%d) ",
            *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
            *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));
    }
    printf("\n");

    printf("The elements of hash_multimap hmm2 are:");
    for(it_hmm = hash_multimap_begin(phmm_hmm2);
        !iterator_equal(it_hmm, hash_multimap_end(phmm_hmm2));
        it_hmm = iterator_next(it_hmm))
    {
        printf("(%d,%d) ",
            *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
            *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));
    }
    printf("\n");

    printf("The elements of hash_multimap hmm3 are:");
    for(it_hmm = hash_multimap_begin(phmm_hmm3);
        !iterator_equal(it_hmm, hash_multimap_end(phmm_hmm3));
        it_hmm = iterator_next(it_hmm))
    {
        printf("(%d,%d) ",
            *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
            *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));
    }
    printf("\n");

    if(hash_multimap_greater(phmm_hmm1, phmm_hmm2))
    {
        printf("The hash_multimap hmm1 is greater than the hash_multimap hmm2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_multimap hmm1 is not "
            "greater than the hash_multimap hmm2.\n");
    }

    if(hash_multimap_greater(phmm_hmm1, phmm_hmm3))
    {
        printf("The hash_multimap hmm1 is greater than the hash_multimap hmm3.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_multimap hmm1 is not "
            "greater than the hash_multimap hmm3.\n");
    }

    hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);
    hash_multimap_destroy(phmm_hmm2);
    hash_multimap_destroy(phmm_hmm3);
    pair_destroy(ppr_hmm);

    return 0;
}

```

● Output

```

The elements of hash_multimap hmm1 are: (1,1) (2,2) (3,3)
The elements of hash_multimap hmm2 are: (1,2) (2,3) (3,4)

```

```
The elements of hash_multimap hmm3 are: (2,1) (3,2) (4,3)
The hash_multimap hmm1 is not greater than the hash_multimap hmm2.
The hash_multimap hmm1 is not greater than the hash_multimap hmm3.
```

17. hash_multimap_greater_equal

测试第一个 hash_multimap_t 是否大于等于第二个 hash_multimap_t。

```
bool_t hash_multimap_greater_equal(
    const hash_multimap_t* cphmmmap_first,
    const hash_multimap_t* cphmmmap_second
);
```

- **Parameters**

cphmmmap_first: 指向第一个 hash_multimap_t 类型的指针。

cphmmmap_second: 指向第二个 hash_multimap_t 类型的指针。

- **Remarks**

这个函数要求两个 hash_multimap_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_map.h>

- **Example**

```
/*
 * hash_multimap_greater_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(int, int);
    hash_multimap_t* phmm_hmm2 = create_hash_multimap(int, int);
    hash_multimap_t* phmm_hmm3 = create_hash_multimap(int, int);
    hash_multimap_t* phmm_hmm4 = create_hash_multimap(int, int);
    pair_t* ppr_hmm = create_pair(int, int);
    int i = 0;

    if(phmm_hmm1 == NULL || phmm_hmm2 == NULL ||
        phmm_hmm3 == NULL || ppr_hmm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multimap_init(phmm_hmm1);
    hash_multimap_init(phmm_hmm2);
    hash_multimap_init(phmm_hmm3);
    hash_multimap_init(phmm_hmm4);
    pair_init(ppr_hmm);

    for(i = 1; i < 3; ++i)
    {
        pair_make(ppr_hmm, i, i);
        hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
    }
}
```

```

    hash_multimap_insert(phmm_hmm4, ppr_hmm);
    pair_make(ppr_hmm, i, i * i);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm2, ppr_hmm);
    pair_make(ppr_hmm, i, i - 1);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm3, ppr_hmm);
}

if(hash_multimap_greater_equal(phmm_hmm1, phmm_hmm2))
{
    printf("The hash_multimap hmm1 is greater than or "
           "equal to the hash_multimap hmm2.\n");
}
else
{
    printf("The hash_multimap hmm1 is less than the hash_multimap hmm2.\n");
}

if(hash_multimap_greater_equal(phmm_hmm1, phmm_hmm3))
{
    printf("The hash_multimap hmm1 is greater than or "
           "equal to the hash_multimap hmm3.\n");
}
else
{
    printf("The hash_multimap hmm1 is less than the hash_multimap hmm3.\n");
}

if(hash_multimap_greater_equal(phmm_hmm1, phmm_hmm4))
{
    printf("The hash_multimap hmm1 is greater than or "
           "equal to the hash_multimap hmm4.\n");
}
else
{
    printf("The hash_multimap hmm1 is less than the hash_multimap hmm4.\n");
}

hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);
hash_multimap_destroy(phmm_hmm2);
hash_multimap_destroy(phmm_hmm3);
hash_multimap_destroy(phmm_hmm4);
pair_destroy(ppr_hmm);

return 0;
}

```

● Output

```

The hash_multimap hmm1 is less than the hash_multimap hmm2.
The hash_multimap hmm1 is greater than or equal to the hash_multimap hmm3.
The hash_multimap hmm1 is greater than or equal to the hash_multimap hmm4.

```

18. hash_multimap_hash

返回 hash_multimap_t 中使用的哈希函数。

```

unary_function_t hash_multimap_hash(
    const hash_multimap_t* cphmmmap_hmmmap
);

```


- **Parameters**

cphmmmap_hmmmap: 指向 hash_multimap_t 类型的指针。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/chash_map.h>

- **Example**

```
/*
 * hash_multimap_hash.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/chash_map.h>

static void hash_func(const void* cpv_input, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(int, int);
    hash_multimap_t* phmm_hmm2 = create_hash_multimap(int, int);

    if(phmm_hmm1 == NULL || phmm_hmm2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multimap_init(phmm_hmm1);
    hash_multimap_init_ex(phmm_hmm2, 100, hash_func, NULL);

    if(hash_multimap_hash(phmm_hmm1) == hash_func)
    {
        printf("The hash function of hash_multimap hmm1 is hash_func.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash function of hash_multimap hmm1 is not hash_func.\n");
    }

    if(hash_multimap_hash(phmm_hmm2) == hash_func)
    {
        printf("The hash function of hash_multimap hmm2 is hash_func.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash function of hash_multimap hmm2 is not hash_func.\n");
    }

    hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);
    hash_multimap_destroy(phmm_hmm2);

    return 0;
}

static void hash_func(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    *(int*)pv_output = *(int*)pair_first((pair_t*)cpv_input);
}
```

● Output

```
The hash function of hash_multimap hmm1 is not hash_func.  
The hash function of hash_multimap hmm2 is hash_func.
```

19. hash_multimap_init hash_multimap_init_copy hash_multimap_init_copy_range hash_multimap_init_copy_range_ex hash_multimap_init_ex

初始化 hash_multimap_t 容器。

```
void hash_multimap_init(  
    hash_multimap_t* phmmmap_hmmmap  
);  
  
void hash_multimap_init_copy(  
    hash_multimap_t* phmmmap_hmmmap,  
    const hash_multimap_t* cphmmmap_src  
);  
  
void hash_multimap_init_copy_range(  
    hash_multimap_t* phmmmap_hmmmap,  
    hash_multimap_iterator_t it_begin,  
    hash_multimap_iterator_t it_end  
);  
  
void hash_multimap_init_copy_range_ex(  
    hash_multimap_t* phmmmap_hmmmap,  
    hash_multimap_iterator_t it_begin,  
    hash_multimap_iterator_t it_end,  
    size_t t_bucketcount,  
    unary_function_t ufun_hash,  
    binary_function_t bfun_compare  
);  
  
void hash_multimap_init_ex(  
    hash_multimap_t* phmmmap_hmmmap,  
    size_t t_bucketcount,  
    unary_function_t ufun_hash,  
    binary_function_t bfun_compare  
);
```

● Parameters

phmmmap_hmmmap: 指向被初始化 hash_multimap_t 类型的指针。
cphmmmap_src: 指向用于初始化的 hash_multimap_t 类型的指针。
it_begin: 用于初始化的数据区间的开始位置。
it_end: 用于初始化的数据区间的末尾位置。
t_bucketcount: 哈希表中的存储单元个数。
ufun_hash: 自定义的哈希函数。
bfun_compare: 自定义比较规则。

● Remarks

第一个函数初始化一个空的 hash_multimap_t，使用默认的哈希函数和与键类型相关的小于操作函数作为默认的比较规则。

第二个函数使用一个源 `hash_multimap_t` 来初始化 `hash_multimap_t`，数据的内容，哈希函数和比较规则都从源 `hash_multimap_t` 复制。

第三个函数使用指定的数据区间初始化一个 `hash_multimap_t`，使用默认的哈希函数和与键类型相关的小于操作函数作为默认的比较规则。

第四个函数使用指定的数据区间初始化一个 `hash_multimap_t`，使用用户指定的哈希表存储单元个数，哈希函数和比较规则。

第五个函数初始化一个空的 `hash_multimap_t`，使用用户指定的哈希表存储单元个数，哈希函数和比较规则。

上面的函数要求迭代器和数据区间是有效的，无效的迭代器或数据区间导致函数的行为未定义。初始化函数根据用户指定的哈希表存储单元个数计算一个与用户指定的个数最接近的最佳哈希表存储单元个数。默认个数是 53 个，用户指定的个数小于等于 53 时都使用这个存储单元个数。

● Requirements

头文件 `<cstl/chash_map.h>`

● Example

```
/*
 * hash_multimap_init.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <cstl/chash_map.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

static void _default_hash(const void* cpv_input, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multimap_t* phmm_hmm0 = create_hash_multimap(char*, int);
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(char*, int);
    hash_multimap_t* phmm_hmm2 = create_hash_multimap(char*, int);
    hash_multimap_t* phmm_hmm3 = create_hash_multimap(char*, int);
    hash_multimap_t* phmm_hmm4 = create_hash_multimap(char*, int);
    hash_multimap_t* phmm_hmm5 = create_hash_multimap(char*, int);
    hash_multimap_iterator_t it_hmm;
    pair_t* ppr_hmm = create_pair(char*, int);

    if(phmm_hmm0 == NULL || phmm_hmm1 == NULL || phmm_hmm2 == NULL ||
        phmm_hmm3 == NULL || phmm_hmm4 == NULL || phmm_hmm5 == NULL ||
        ppr_hmm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    pair_init(ppr_hmm);

    /* Create an empty hash_multimap hmm0 of key type string */
    hash_multimap_init(phmm_hmm0);

    /*
     * Create an empty hash_multimap hmm1 with the key comparison
     * function of less than, than insert 4 elements
     */
    hash_multimap_init_ex(phmm_hmm1, 0, _default_hash, fun_less_cstr);
    pair_make(ppr_hmm, "one", 0);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
    pair_make(ppr_hmm, "two", 10);
```

```

hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
pair_make(ppr_hmm, "three", 20);
hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
pair_make(ppr_hmm, "four", 30);
hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
pair_make(ppr_hmm, "five", 40);
hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);

/*
 * Create an empty hash_multimap hmm2 with the key comparison
 * function of greater than, then insert 2 elements
 */
hash_multimap_init_ex(phmm_hmm2, 100, _default_hash, fun_greater_cstr);
pair_make(ppr_hmm, "one", 10);
hash_multimap_insert(phmm_hmm2, ppr_hmm);
pair_make(ppr_hmm, "two", 20);
hash_multimap_insert(phmm_hmm2, ppr_hmm);

/* Create a copy, hash_multimap hmm3, of hash_multimap hmm1 */
hash_multimap_init_copy(phmm_hmm3, phmm_hmm1);

/* Create a hash_multimap hmm4 by coping the range hmm1[first, last) */
hash_multimap_init_copy_range(phmm_hmm4,
    iterator_advance(hash_multimap_begin(phmm_hmm1), 2),
    hash_multimap_end(phmm_hmm1));

/*
 * Create a hash_multimap hmm5 by copying the range hmm3 [first, last)
 * and with the key comparison function of less than
 */
hash_multimap_init_copy_range_ex(phmm_hmm5, hash_multimap_begin(phmm_hmm3),
    hash_multimap_end(phmm_hmm3), 100, _default_hash, fun_less_cstr);

printf("hmm1 =");
for(it_hmm = hash_multimap_begin(phmm_hmm1);
    !iterator_equal(it_hmm, hash_multimap_end(phmm_hmm1));
    it_hmm = iterator_next(it_hmm))
{
    printf("(%s, %d) ",
        (char*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));
}
printf("\n");

printf("hmm2 =");
for(it_hmm = hash_multimap_begin(phmm_hmm2);
    !iterator_equal(it_hmm, hash_multimap_end(phmm_hmm2));
    it_hmm = iterator_next(it_hmm))
{
    printf("(%s, %d) ",
        (char*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));
}
printf("\n");

printf("hmm3 =");
for(it_hmm = hash_multimap_begin(phmm_hmm3);
    !iterator_equal(it_hmm, hash_multimap_end(phmm_hmm3));
    it_hmm = iterator_next(it_hmm))
{

```

```

        printf("(%s, %d) ",
            (char*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
            *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));
    }
    printf("\n");

    printf("hmm4 =");
    for(it_hmm = hash_multimap_begin(phmm_hmm4);
        !iterator_equal(it_hmm, hash_multimap_end(phmm_hmm4));
        it_hmm = iterator_next(it_hmm))
    {
        printf("(%s, %d) ",
            (char*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
            *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));
    }
    printf("\n");

    printf("hmm5 =");
    for(it_hmm = hash_multimap_begin(phmm_hmm5);
        !iterator_equal(it_hmm, hash_multimap_end(phmm_hmm5));
        it_hmm = iterator_next(it_hmm))
    {
        printf("(%s, %d) ",
            (char*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
            *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));
    }
    printf("\n");

    hash_multimap_destroy(phmm_hmm0);
    hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);
    hash_multimap_destroy(phmm_hmm2);
    hash_multimap_destroy(phmm_hmm3);
    hash_multimap_destroy(phmm_hmm4);
    hash_multimap_destroy(phmm_hmm5);
    pair_destroy(ppr_hmm);

    return 0;
}

static void _default_hash(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    *(size_t*)pv_output = strlen((char*)pair_first((pair_t*)cpv_input));
}

```

● Output

```

hmm1 =(one, 0) (two, 10) (four, 30) (five, 40) (three, 20)
hmm2 =(one, 10) (two, 20)
hmm3 =(one, 0) (two, 10) (four, 30) (five, 40) (three, 20)
hmm4 =(five, 40) (three, 20) (four, 30)
hmm5 =(one, 0) (two, 10) (four, 30) (five, 40) (three, 20)

```

20. hash_multimap_insert hash_multimap_insert_range

向 hash_multimap_t 中插入数据。

```

hash_multimap_iterator_t hash_multimap_insert(
    hash_multimap_t* phmmmap_hmmmap,
    const pair_t* cpppair_pair

```

```
);

void hash_multimap_insert_range(
    hash_multimap_t* phmmmap_hmmmap,
    hash_multimap_iterator_t it_begin,
    hash_multimap_iterator_t it_end
);
```

● Parameters

phmmmap_hmmmap: 指向 hash_multimap_t 类型的指针。
cppair_pair: 插入的数据。
it_begin: 被插入的数据区间的开始位置。
it_end: 被插入的数据区间的末尾位置。

● Remarks

第一个函数向 hash_multimap_t 中插入一个指定的数据，成功后返回指向该数据的迭代器。
 第二个函数插入指定的数据区间。
 上面的函数要求迭代器和数据区间是有效的，无效的迭代器或数据区间导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```
/*
 * hash_multimap_insert.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(int, int);
    hash_multimap_t* phmm_hmm2 = create_hash_multimap(int, int);
    pair_t* ppr_hmm = create_pair(int, int);
    hash_multimap_iterator_t it_hmm;

    if(phmm_hmm1 == NULL || phmm_hmm2 == NULL || ppr_hmm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multimap_init(phmm_hmm1);
    hash_multimap_init(phmm_hmm2);
    pair_init(ppr_hmm);

    pair_make(ppr_hmm, 1, 10);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
    pair_make(ppr_hmm, 2, 20);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
    pair_make(ppr_hmm, 3, 30);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
    pair_make(ppr_hmm, 4, 40);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);

    printf("The original elements of hmm1 are:");
```

```

for(it_hmm = hash_multimap_begin(phmm_hmm1);
    !iterator_equal(it_hmm, hash_multimap_end(phmm_hmm1));
    it_hmm = iterator_next(it_hmm))
{
    printf(" (%d, %d)",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));
}
printf("\n");

pair_make(ppr_hmm, 1, 10);
it_hmm = hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
if(iterator_not_equal(it_hmm, hash_multimap_end(phmm_hmm1)))
{
    printf("The element (1, 10) was inserted in hmm1 successfully.\n");
}
else
{
    printf("The element (1, 10) already exists in hmm1.\n");
}

pair_make(ppr_hmm, 10, 100);
hash_multimap_insert(phmm_hmm2, ppr_hmm);
hash_multimap_insert_range(phmm_hmm2,
    iterator_next(hash_multimap_begin(phmm_hmm1)),
    iterator_prev(hash_multimap_end(phmm_hmm1)));
printf("After the insertions, the elements of hmm2 are:");
for(it_hmm = hash_multimap_begin(phmm_hmm2);
    !iterator_equal(it_hmm, hash_multimap_end(phmm_hmm2));
    it_hmm = iterator_next(it_hmm))
{
    printf(" (%d, %d)",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));
}
printf("\n");

hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);
hash_multimap_destroy(phmm_hmm2);
pair_destroy(ppr_hmm);

return 0;
}

```

● Output

The original elements of hmm1 are: (1, 10) (2, 20) (3, 30) (4, 40)

The element (1, 10) was inserted in hmm1 successfully.

After the insertions, the elements of hmm2 are: (1, 10) (2, 20) (3, 30) (10, 100)

21. hash_multimap_key_comp

返回 hash_multimap_t 使用的键比较规则。

```

binary_function_t hash_multimap_key_comp(
    const hash_multimap_t* cphmmmap_hmmmap
);

```

● Parameters

cphmmmap_hmmmap: 指向 hash_multimap_t 类型的指针。

- **Remarks**

这个排序规则是针对数据中的键进行排序。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_map.h>

- **Example**

```
/*
 * hash_multimap_key_comp.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(int, int);
    hash_multimap_t* phmm_hmm2 = create_hash_multimap(int, int);
    binary_function_t bfun_kc = NULL;
    int n_first = 2;
    int n_second = 3;
    bool_t b_result = false;

    if(phmm_hmm1 == NULL || phmm_hmm2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multimap_init_ex(phmm_hmm1, 0, NULL, fun_less_int);
    hash_multimap_init_ex(phmm_hmm2, 0, NULL, fun_greater_int);

    bfun_kc = hash_multimap_key_comp(phmm_hmm1);
    (*bfun_kc)(&n_first, &n_second, &b_result);
    if(b_result)
    {
        printf("(bfun_kc)(2, 3) returns value of true, "
               "where bfun_kc is the compare function of hmm1.\n");
    }
    else
    {
        printf("(bfun_kc)(2, 3) returns value of false, "
               "where bfun_kc is the compare function of hmm1.\n");
    }

    bfun_kc = hash_multimap_key_comp(phmm_hmm2);
    (*bfun_kc)(&n_first, &n_second, &b_result);
    if(b_result)
    {
        printf("(bfun_kc)(2, 3) returns value of true, "
               "where bfun_kc is the compare function of hmm2.\n");
    }
    else
    {
        printf("(bfun_kc)(2, 3) returns value of false, "
               "where bfun_kc is the compare function of hmm2.\n");
    }
}
```



```

    }

    hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);
    hash_multimap_destroy(phmm_hmm2);

    return 0;
}

```

● Output

`(*bfun_kc)(2, 3)` returns value of true, where `bfun_kc` is the compare function of `hmm1`.
`(*bfun_kc)(2, 3)` returns value of false, where `bfun_kc` is the compare function of `hmm2`.

22. hash_multimap_less

测试第一个 `hash_multimap_t` 是否小于第二个 `hash_multimap_t`。

```

bool_t hash_multimap_less(
    const hash_multimap_t* cphmmmap_first,
    const hash_multimap_t* cphmmmap_second
);

```

● Parameters

cphmmmap_first: 指向第一个 `hash_multimap_t` 类型的指针。
cphmmmap_second: 指向第二个 `hash_multimap_t` 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 `hash_multimap_t` 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 `<cstl/chash_map.h>`

● Example

```

/*
 * hash_multimap_less.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(int, int);
    hash_multimap_t* phmm_hmm2 = create_hash_multimap(int, int);
    hash_multimap_t* phmm_hmm3 = create_hash_multimap(int, int);
    pair_t* ppr_hmm = create_pair(int, int);
    hash_multimap_iterator_t it_hmm;
    int i = 0;

    if(phmm_hmm1 == NULL || phmm_hmm2 == NULL ||
        phmm_hmm3 == NULL || ppr_hmm == NULL)
    {
        return -1;
    }
}

```

```

hash_multimap_init(phmm_hmm1);
hash_multimap_init(phmm_hmm2);
hash_multimap_init(phmm_hmm3);
pair_init(ppr_hmm);

for(i = 1; i < 4; ++i)
{
    pair_make(ppr_hmm, i, i);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
    pair_make(ppr_hmm, i, i + 1);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm2, ppr_hmm);
    pair_make(ppr_hmm, i + 1, i);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm3, ppr_hmm);
}

printf("The elements of hash_multimap hmm1 are:");
for(it_hmm = hash_multimap_begin(phmm_hmm1);
    !iterator_equal(it_hmm, hash_multimap_end(phmm_hmm1));
    it_hmm = iterator_next(it_hmm))
{
    printf("(%d,%d) ",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));
}
printf("\n");

printf("The elements of hash_multimap hmm2 are:");
for(it_hmm = hash_multimap_begin(phmm_hmm2);
    !iterator_equal(it_hmm, hash_multimap_end(phmm_hmm2));
    it_hmm = iterator_next(it_hmm))
{
    printf("(%d,%d) ",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));
}
printf("\n");

printf("The elements of hash_multimap hmm3 are:");
for(it_hmm = hash_multimap_begin(phmm_hmm3);
    !iterator_equal(it_hmm, hash_multimap_end(phmm_hmm3));
    it_hmm = iterator_next(it_hmm))
{
    printf("(%d,%d) ",
        *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
        *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));
}
printf("\n");

if(hash_multimap_less(phmm_hmm1, phmm_hmm2))
{
    printf("The hash_multimap hmm1 is less than the hash_multimap hmm2.\n");
}
else
{
    printf("The hash_multimap hmm1 is not less than the hash_multimap hmm2.\n");
}

if(hash_multimap_less(phmm_hmm1, phmm_hmm3))
{

```

```

        printf("The hash_multimap hmm1 is less than the hash_multimap hmm3.\n");
    }
    else
    {
        printf("The hash_multimap hmm1 is not less than the hash_multimap hmm3.\n");
    }

    hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);
    hash_multimap_destroy(phmm_hmm2);
    hash_multimap_destroy(phmm_hmm3);
    pair_destroy(ppr_hmm);

    return 0;
}

```

● Output

```

The elements of hash_multimap hmm1 are: (1,1) (2,2) (3,3)
The elements of hash_multimap hmm2 are: (1,2) (2,3) (3,4)
The elements of hash_multimap hmm3 are: (2,1) (3,2) (4,3)
The hash_multimap hmm1 is less than the hash_multimap hmm2.
The hash_multimap hmm1 is less than the hash_multimap hmm3.

```

23. hash_multimap_less_equal

测试第一个 hash_multimap_t 是否小于等于第二个 hash_multimap_t。

```

bool_t hash_multimap_less_equal(
    const hash_multimap_t* cphmmmap_first,
    const hash_multimap_t* cphmmmap_second
);

```

● Parameters

cphmmmap_first: 指向第一个 hash_multimap_t 类型的指针。
cphmmmap_second: 指向第二个 hash_multimap_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 hash_multimap_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```

/*
 * hash_multiset_less_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phms_hms2 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phms_hms3 = create_hash_multiset(int);
    hash_multiset_t* phms_hms4 = create_hash_multiset(int);
}

```

```

int i = 0;

if(phms_hms1 == NULL || phms_hms2 == NULL ||
   phms_hms3 == NULL || phms_hms4 == NULL)
{
    return -1;
}

hash_multiset_init(phms_hms1);
hash_multiset_init(phms_hms2);
hash_multiset_init(phms_hms3);
hash_multiset_init(phms_hms4);

for(i = 0; i < 3; ++i)
{
    hash_multiset_insert(phms_hms1, i);
    hash_multiset_insert(phms_hms2, i * i);
    hash_multiset_insert(phms_hms3, i - 1);
    hash_multiset_insert(phms_hms4, i);
}

if(hash_multiset_less_equal(phms_hms1, phms_hms2))
{
    printf("The hash_multiset hs1 is less than or "
           "equal to the hash_multiset hs2.\n");
}
else
{
    printf("The hash_multiset hs1 is greater than the hash_multiset hs2.\n");
}

if(hash_multiset_less_equal(phms_hms1, phms_hms3))
{
    printf("The hash_multiset hs1 is less than or "
           "equal to the hash_multiset hs3.\n");
}
else
{
    printf("The hash_multiset hs1 is greater than the hash_multiset hs3.\n");
}

if(hash_multiset_less_equal(phms_hms1, phms_hms4))
{
    printf("The hash_multiset hs1 is less than or "
           "equal to the hash_multiset hs4.\n");
}
else
{
    printf("The hash_multiset hs1 is greater than the hash_multiset hs4.\n");
}

hash_multiset_destroy(phms_hms1);
hash_multiset_destroy(phms_hms2);
hash_multiset_destroy(phms_hms3);
hash_multiset_destroy(phms_hms4);

return 0;
}

```

● Output

```
The elements of hash_multimap hmm1 are: (1,1) (2,2) (3,3)
The elements of hash_multimap hmm2 are: (1,2) (2,3) (3,4)
The elements of hash_multimap hmm3 are: (2,1) (3,2) (4,3)
The hash_multimap hmm1 is less than the hash_multimap hmm2.
The hash_multimap hmm1 is less than the hash_multimap hmm3.
```

24. hash_multimap_max_size

返回 hash_multimap_t 中能够保存数据数量的最大值。

```
size_t hash_multimap_max_size(
    const hash_multimap_t* cphmmmap_hmmmap
);
```

- **Parameters**

cphmmmap_hmmmap: 指向 hash_multimap_t 类型的指针。

- **Remarks**

这是一个与系统相关的常数。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_map.h>

- **Example**

```
/*
 * hash_multiset_max_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_set.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multiset_t* phms_hms1 = create_hash_multiset(int);

    if(phms_hms1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multiset_init(phms_hms1);

    printf("The maximum possible length of the hash_multiset hs1 is: %d.\n",
        hash_multiset_max_size(phms_hms1));

    hash_multiset_destroy(phms_hms1);

    return 0;
}
```

- **Output**

```
The maximum possible length of the hash_multimap hmm1 is: 7895160.
```

25. hash_multimap_not_equal

测试两个 hash_multimap_t 是否不等。

```
bool_t hash_multimap_not_equal(  
    const hash_multimap_t* cphmmmap_first,  
    const hash_multimap_t* cphmmmap_second  
);
```

- **Parameters**

cphmmmap_first: 指向第一个 hash_multimap_t 类型的指针。
cphmmmap_second: 指向第二个 hash_multimap_t 类型的指针。

- **Remarks**

如果两个 hash_multimap_t 容器中的数据都对应相等，并且数据个数相等，则返回 false 否则返回 true，如果两个 hash_multimap_t 容器中保存的数据类型不同也认为是不等。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_map.h>

- **Example**

```
/*  
 * hash_multimap_not_equal.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_map.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(int, int);  
    hash_multimap_t* phmm_hmm2 = create_hash_multimap(int, int);  
    hash_multimap_t* phmm_hmm3 = create_hash_multimap(int, int);  
    pair_t* ppr_hmm = create_pair(int, int);  
    int i = 0;  
  
    if(phmm_hmm1 == NULL || phmm_hmm2 == NULL ||  
       phmm_hmm3 == NULL || ppr_hmm == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    hash_multimap_init(phmm_hmm1);  
    hash_multimap_init(phmm_hmm2);  
    hash_multimap_init(phmm_hmm3);  
    pair_init(ppr_hmm);  
  
    for(i = 0; i < 3; ++i)  
    {  
        pair_make(ppr_hmm, i, i);  
        hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);  
        hash_multimap_insert(phmm_hmm3, ppr_hmm);  
        pair_make(ppr_hmm, i, i * i);  
        hash_multimap_insert(phmm_hmm2, ppr_hmm);  
    }  
  
    if(hash_multimap_not_equal(phmm_hmm1, phmm_hmm2))
```

```

{
    printf("The hash_multimaps hmm1 and hmm2 are not equal.\n");
}
else
{
    printf("The hash_multimaps hmm1 and hmm2 are equal.\n");
}

if(hash_multimap_not_equal(phmm_hmm1, phmm_hmm3))
{
    printf("The hash_multimaps hmm1 and hmm3 are not equal.\n");
}
else
{
    printf("The hash_multimaps hmm1 and hmm3 are equal.\n");
}

hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);
hash_multimap_destroy(phmm_hmm2);
hash_multimap_destroy(phmm_hmm3);
pair_destroy(ppr_hmm);

return 0;
}

```

● Output

```

The hash_multimaps hmm1 and hmm2 are not equal.
The hash_multimaps hmm1 and hmm3 are equal.

```

26. hash_multimap_resize

重新设置 hash_multimap_t 中哈希表存储单元的个数。

```

void hash_multimap_resize(
    hash_multimap_t* phmmmap_hmmmap,
    size_t t_resize
);

```

● Parameters

cphmmmap_hmmmap: 指向 hash_multimap_t 类型的指针。
t_resize: 哈希表存储单元的新数量。

● Remarks

当哈希表存储单元数量改变后，哈希表中的数据将被重新计算位置，所有的迭代器失效。当新的存储单元数量小于当前数量时，不做任何操作。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```

/*
 * hash_multimap_resize.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>

```

```
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(int, int);

    if(phmm_hmm1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multimap_init(phmm_hmm1);

    printf("The bucket count of hash_multimap hmm1 is: %d.\n",
        hash_multimap_bucket_count(phmm_hmm1));

    hash_multimap_resize(phmm_hmm1, 100);

    printf("The bucket count of hash_multimap hmm1 is now: %d.\n",
        hash_multimap_bucket_count(phmm_hmm1));

    hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);

    return 0;
}
```

● Output

```
The bucket count of hash_multimap hmm1 is: 53.
The bucket count of hash_multimap hmm1 is now: 193.
```

27. hash_multimap_size

返回 hash_multimap_t 中数据的个数。

```
size_t hash_multimap_size(
    const hash_multimap_t* cphmmmap_hmmmap
);
```

● Parameters

cphmmmap_hmmmap: 指向 hash_multimap_t 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```
/*
 * hash_multimap_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(int, int);
    pair_t* ppr_hmm = create_pair(int, int);
```



```

if(phmm_hmm1 == NULL)
{
    return -1;
}

hash_multimap_init(phmm_hmm1);
pair_init(ppr_hmm);

pair_make(ppr_hmm, 1, 1);
hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
printf("The hash_multimap hmm1 length is %d.\n",
        hash_multimap_size(phmm_hmm1));

pair_make(ppr_hmm, 2, 4);
hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
printf("The hash_multimap hmm1 length is now %d.\n",
        hash_multimap_size(phmm_hmm1));

hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);
pair_destroy(ppr_hmm);

return 0;
}

```

● Output

```

The hash_multimap hmm1 length is 1.
The hash_multimap hmm1 length is now 2.

```

28. hash_multimap_swap

交换两个 hash_multimap_t 中的内容。

```

void hash_multimap_swap(
    hash_multimap_t* phmmmap_first,
    hash_multimap_t* phmmmap_second
);

```

● Parameters

phmmmap_first: 指向第一个 hash_multimap_t 类型的指针。
phmmmap_second: 指向第二个 hash_multimap_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 hash_multimap_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/chash_map.h>

● Example

```

/*
 * hash_multimap_swap.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/chash_map.h>

```

```

int main(int argc, char* argv[])
{
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(int, int);
    hash_multimap_t* phmm_hmm2 = create_hash_multimap(int, int);
    pair_t* ppr_hmm = create_pair(int, int);
    hash_multimap_iterator_t it_hmm;

    if(phmm_hmm1 == NULL || phmm_hmm2 == NULL || ppr_hmm == NULL)
    {
        return -1;
    }

    hash_multimap_init(phmm_hmm1);
    hash_multimap_init(phmm_hmm2);
    pair_init(ppr_hmm);

    pair_make(ppr_hmm, 1, 10);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
    pair_make(ppr_hmm, 2, 20);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
    pair_make(ppr_hmm, 3, 30);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);
    pair_make(ppr_hmm, 10, 100);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm2, ppr_hmm);
    pair_make(ppr_hmm, 20, 200);
    hash_multimap_insert(phmm_hmm2, ppr_hmm);

    printf("The original hash_multimap hmm1 is:");
    for(it_hmm = hash_multimap_begin(phmm_hmm1);
        !iterator_equal(it_hmm, hash_multimap_end(phmm_hmm1));
        it_hmm = iterator_next(it_hmm))
    {
        printf(" (%d, %d)",
            *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
            *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));
    }
    printf("\n");

    hash_multimap_swap(phmm_hmm1, phmm_hmm2);

    printf("After swapping with hmm2, hash multimap hmm1 is:");
    for(it_hmm = hash_multimap_begin(phmm_hmm1);
        !iterator_equal(it_hmm, hash_multimap_end(phmm_hmm1));
        it_hmm = iterator_next(it_hmm))
    {
        printf(" (%d, %d)",
            *(int*)pair_first((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)),
            *(int*)pair_second((pair_t*)iterator_get_pointer(it_hmm)));
    }
    printf("\n");

    hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);
    hash_multimap_destroy(phmm_hmm2);
    pair_destroy(ppr_hmm);

    return 0;
}

```

● Output

The original hash_multimap hmm1 is: (1, 10) (2, 20) (3, 30)
After swapping with hmm2, hash_multimap hmm1 is: (10, 100) (20, 200)

29. hash_multimap_value_comp

返回 hash_multimap_t 使用的数据比较规则。

```
binary_function_t hash_multimap_value_comp(  
    const hash_multimap_t* cphmmmap_hmmmap  
);
```

- **Parameters**

cphmmmap_hmmmap: 指向 hash_multimap_t 类型的指针。

- **Remarks**

这个规则是针对数据本身的比较规则而不是键或者值。

- **Requirements**

头文件 <cstl/chash_map.h>

- **Example**

```
/*  
 * hash_multimap_value_comp.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/chash_map.h>  
#include <cstl/cfunctional.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    hash_multimap_t* phmm_hmm1 = create_hash_multimap(int, int);  
    pair_t* ppr_hmm = create_pair(int, int);  
    binary_function_t bfun_vc = NULL;  
    bool_t b_result = false;  
    hash_multimap_iterator_t it_hmm1;  
    hash_multimap_iterator_t it_hmm2;  
  
    if(phmm_hmm1 == NULL || ppr_hmm == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    pair_init(ppr_hmm);  
    hash_multimap_init_ex(phmm_hmm1, 100, NULL, fun_less_int);  
  
    pair_make(ppr_hmm, 1, 10);  
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);  
    pair_make(ppr_hmm, 2, 5);  
    hash_multimap_insert(phmm_hmm1, ppr_hmm);  
  
    it_hmm1 = hash_multimap_find(phmm_hmm1, 1);  
    it_hmm2 = hash_multimap_find(phmm_hmm1, 2);  
    bfun_vc = hash_multimap_value_comp(phmm_hmm1);  
  
    (*bfun_vc)(iterator_get_pointer(it_hmm1),
```

```

        iterator_get_pointer(it_hmm2), &b_result);
if(b_result)
{
    printf("The element (1, 10) precedes the element (2, 5).\n");
}
else
{
    printf("The element (1, 10) does not precedes the element (2, 5).\n");
}

(*bfun_vc)(iterator_get_pointer(it_hmm2),
            iterator_get_pointer(it_hmm1), &b_result);
if(b_result)
{
    printf("The element (2, 5) precedes the element (1, 10).\n");
}
else
{
    printf("The element (2, 5) does not precedes the element (1, 10).\n");
}

pair_destroy(ppr_hmm);
hash_multimap_destroy(phmm_hmm1);

return 0;
}

```

● Output

```

The element (1, 10) precedes the element (2, 5).
The element (2, 5) does not precedes the element (1, 10).

```

第十三节 堆栈 `stack_t`

堆栈 `stack_t` 是容器适配器，它是以序列容器为底层实现。`stack_t` 支持后入先出(LIFO)，数据的插入和删除都是在堆栈的顶部进行的，不能够访问堆栈内部的数据。`stack_t` 不支持迭代器。

● Typedefs

<code>stack_t</code>	堆栈容器适配器类型。
----------------------	------------

● Operation Functions

<code>create_stack</code>	创建堆栈容器适配器类型。
<code>stack_assign</code>	为堆栈容器适配器类型赋值。
<code>stack_destroy</code>	销毁堆栈容器适配器类型。
<code>stack_empty</code>	测试堆栈容器适配器类型是否为空。
<code>stack_equal</code>	测试两个堆栈容器适配器类型是否相等。
<code>stack_greater</code>	测试第一个堆栈容器适配器类型是否大于第二个堆栈容器适配器类型。
<code>stack_greater_equal</code>	测试第一个堆栈容器适配器类型是否大于等于第二个堆栈容器适配器类型。
<code>stack_init</code>	初始化一个空的堆栈容器适配器类型。
<code>stack_init_copy</code>	以拷贝的方式初始化一个堆栈容器适配器。

stack_less	测试第一个堆栈容器适配器是否小于第二个堆栈容器适配器。
stack_less_equal	测试第一个堆栈容器适配器是否小于等于第二个堆栈容器适配器。
stack_not_equal	测试两个堆栈容器适配器是否不等。
stack_pop	弹出堆栈容器适配器栈顶的数据。
stack_push	将数据压入堆栈容器适配器。
stack_size	返回堆栈容器适配器中的数据个数。
stack_top	访问堆栈容器适配器栈顶数据。

1. stack_t

堆栈容器适配器类型。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cstack.h>

- **Example**

请参考 stack_t 类型的其他操作函数。

2. create_stack

创建 stack_t 类型。

```
stack_t* create_stack(  
    type  
);
```

- **Parameters**

type: 数据类型描述。

- **Remarks**

函数成功返回指向 stack_t 类型的指针，失败返回 NULL。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cstack.h>

- **Example**

请参考 stack_t 类型的其他操作函数。

3. stack_assign

为 stack_t 类型赋值。

```
void stack_assign(  
    stack_t* pstack_dest,  
    const stack_t* cpstack_src  
);
```

- **Parameters**

pstack_dest: 指向被赋值的 stack_t 类型的指针。

cpstack_src: 指向赋值的 `stack_t` 类型的指针。

● Remarks

要求两个 `stack_t` 类型保存的数据具有相同的类型，否则函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 `<cstl/cstack.h>`

● Example

```
/*
 * stack_assign.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstack.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    stack_t* psk_sk1 = create_stack(int);
    stack_t* psk_sk2 = create_stack(int);

    if(psk_sk1 == NULL || psk_sk2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    stack_init(psk_sk1);
    stack_init(psk_sk2);

    stack_push(psk_sk1, 1);
    stack_push(psk_sk1, 2);
    stack_push(psk_sk2, 10);
    stack_push(psk_sk2, 20);
    stack_push(psk_sk2, 30);

    printf("The size of stack sk1 is %d and the top element is %d.\n",
        stack_size(psk_sk1), *(int*)stack_top(psk_sk1));

    stack_assign(psk_sk1, psk_sk2);

    printf("After assigning the size of stack sk1 is %d "
        "and the top element is %d.\n",
        stack_size(psk_sk1), *(int*)stack_top(psk_sk1));

    stack_destroy(psk_sk1);
    stack_destroy(psk_sk2);

    return 0;
}
```

● Output

```
The size of stack sk1 is 2 and the top element is 2.
After assigning the size of stack sk1 is 3 and the top element is 30.
```

4. stack_destroy

销毁 stack_t 类型。

```
void stack_destroy(  
    stack_t* pstack_stack  
);
```

- **Parameters**

pstack_stack: 指向 stack_t 类型的指针。

- **Remarks**

stack_t 使用之后一定要销毁，否则 stack_t 申请的资源不会被释放。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cstack.h>

- **Example**

请参考 stack_t 类型的其他操作函数。

5. stack_empty

测试 stack_t 是否为空。

```
bool_t stack_empty(  
    const stack_t* cpstack_stack  
);
```

- **Parameters**

cpstack_stack: 指向 stack_t 类型的指针。

- **Remarks**

stack_t 为空返回 true，否则返回 false。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cstack.h>

- **Example**

```
/*  
 * stack_empty.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cstack.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    stack_t* psk_sk1 = create_stack(int);  
    stack_t* psk_sk2 = create_stack(int);  
  
    if(psk_sk1 == NULL || psk_sk2 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
}
```

```

stack_init(psk_sk1);
stack_init(psk_sk2);

stack_push(psk_sk1, 1);

if(stack_empty(psk_sk1))
{
    printf("The stack sk1 is empty.\n");
}
else
{
    printf("The stack sk1 is not empty.\n");
}

if(stack_empty(psk_sk2))
{
    printf("The stack sk2 is empty.\n");
}
else
{
    printf("The stack sk2 is not empty.\n");
}

stack_destroy(psk_sk1);
stack_destroy(psk_sk2);

return 0;
}

```

● Output

```

The stack sk1 is not empty.
The stack sk2 is empty.

```

6. stack_equal

测试两个 stack_t 是否相等。

```

bool_t stack_equal(
    const stack_t* cpstack_first,
    const stack_t* cpstack_second
);

```

● Parameters

cpstack_first: 指向第一个 stack_t 类型的指针。
cpstack_second: 指向第二个 stack_t 类型的指针。

● Remarks

如果两个 stack_t 中的数据都对应相等，并且数据个数相等，则返回 true 否则返回 false，如果两个 stack_t 中保存的数据类型不同也认为是不等。

● Requirements

头文件 <cstl/cstack.h>

● Example

```

/*
 * stack_equal.c

```



```

* compile with : -lcstl
*/

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstack.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    stack_t* psk_sk1 = create_stack(int);
    stack_t* psk_sk2 = create_stack(int);
    stack_t* psk_sk3 = create_stack(int);

    if(psk_sk1 == NULL || psk_sk2 == NULL || psk_sk3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    stack_init(psk_sk1);
    stack_init(psk_sk2);
    stack_init(psk_sk3);

    stack_push(psk_sk1, 1);
    stack_push(psk_sk2, 2);
    stack_push(psk_sk3, 1);

    if(stack_equal(psk_sk1, psk_sk2))
    {
        printf("The stacks sk1 and sk2 are equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The stacks sk1 and sk2 are not equal.\n");
    }

    if(stack_equal(psk_sk1, psk_sk3))
    {
        printf("The stacks sk1 and sk3 are equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The stacks sk1 and sk3 are not equal.\n");
    }

    stack_destroy(psk_sk1);
    stack_destroy(psk_sk2);
    stack_destroy(psk_sk3);

    return 0;
}

```

● Output

```

The stacks sk1 and sk2 are not equal.
The stacks sk1 and sk3 are equal.

```

7. stack_greater

测试第一个 stack_t 是否大于第二个 stack_t。

```

bool_t stack_greater(

```

```
const stack_t* cpstack_first,  
const stack_t* cpstack_second  
);
```

- **Parameters**

cpstack_first: 指向第一个 `stack_t` 类型的指针。

cpstack_second: 指向第二个 `stack_t` 类型的指针。

- **Remarks**

这个函数要求两个 `stack_t` 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/cstack.h>`

- **Example**

```
/*  
 * stack_greater.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cstack.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    stack_t* psk_sk1 = create_stack(int);  
    stack_t* psk_sk2 = create_stack(int);  
    stack_t* psk_sk3 = create_stack(int);  
  
    if(psk_sk1 == NULL || psk_sk2 == NULL || psk_sk3 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    stack_init(psk_sk1);  
    stack_init(psk_sk2);  
    stack_init(psk_sk3);  
  
    stack_push(psk_sk1, 1);  
    stack_push(psk_sk1, 2);  
    stack_push(psk_sk1, 3);  
    stack_push(psk_sk2, 5);  
    stack_push(psk_sk2, 10);  
    stack_push(psk_sk3, 1);  
    stack_push(psk_sk3, 2);  
  
    if(stack_greater(psk_sk1, psk_sk2))  
    {  
        printf("The stack sk1 is greater than the stack sk2.\n");  
    }  
    else  
    {  
        printf("The stack sk1 is not greater than the stack sk2.\n");  
    }  
  
    if(stack_greater(psk_sk1, psk_sk3))  
    {  
        printf("The stack sk1 is greater than the stack sk3.\n");  
    }  
}
```

```

    }
    else
    {
        printf("The stack sk1 is not greater than the stack sk3.\n");
    }

    stack_destroy(psk_sk1);
    stack_destroy(psk_sk2);
    stack_destroy(psk_sk3);

    return 0;
}

```

● Output

```

The stack sk1 is not greater than the stack sk2.
The stack sk1 is greater than the stack sk3.

```

8. stack_greater_equal

测试第一个 `stack_t` 是否大于等于第二个 `stack_t`。

```

bool_t stack_greater_equal(
    const stack_t* cpstack_first,
    const stack_t* cpstack_second
);

```

● Parameters

cpstack_first: 指向第一个 `stack_t` 类型的指针。
cpstack_second: 指向第二个 `stack_t` 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 `stack_t` 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 `<cstl/cstack.h>`

● Example

```

/*
 * stack_greater_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstack.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    stack_t* psk_sk1 = create_stack(int);
    stack_t* psk_sk2 = create_stack(int);
    stack_t* psk_sk3 = create_stack(int);

    if(psk_sk1 == NULL || psk_sk2 == NULL || psk_sk3 == NULL)
    {
        return -1;
    }
}

```

```

stack_init(psk_sk1);
stack_init(psk_sk2);
stack_init(psk_sk3);

stack_push(psk_sk1, 1);
stack_push(psk_sk1, 2);
stack_push(psk_sk1, 3);
stack_push(psk_sk2, 5);
stack_push(psk_sk2, 10);
stack_push(psk_sk3, 1);
stack_push(psk_sk3, 2);

if(stack_greater_equal(psk_sk1, psk_sk2))
{
    printf("The stack sk1 is greater than or equal to the stack sk2.\n");
}
else
{
    printf("The stack sk1 is less than the stack sk2.\n");
}

if(stack_greater_equal(psk_sk1, psk_sk3))
{
    printf("The stack sk1 is greater than or equal to the stack sk3.\n");
}
else
{
    printf("The stack sk1 is less than the stack sk3.\n");
}

stack_destroy(psk_sk1);
stack_destroy(psk_sk2);
stack_destroy(psk_sk3);

return 0;
}

```

● Output

```

The stack sk1 is less than the stack sk2.
The stack sk1 is greater than or equal to the stack sk3.

```

9. stack_init stack_init_copy

初始化 `stack_t` 类型。

```

void stack_init(
    stack_t* pstack_stack
);

void stack_init_copy(
    stack_t* pstack_stack,
    const stack_t* cpstack_src
);

```

● Parameters

pstack_stack: 指向被初始化 `stack_t` 类型的指针。
cpstack_src: 指向用于初始化的 `stack_t` 类型的指针。

- **Remarks**

第一个函数初始化一个空的 `stack_t`。

第二个函数使用一个源 `stack_t` 来初始化 `stack_t`，数据的内容从源 `stack_t` 复制。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/cstack.h>`

- **Example**

```
/*
 * stack_init.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstack.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    stack_t* psk_sk1 = create_stack(int);
    stack_t* psk_sk2 = create_stack(int);

    if(psk_sk1 == NULL || psk_sk2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    stack_init(psk_sk1);
    printf("The size fo stack sk1 is %d.\n", stack_size(psk_sk1));

    stack_push(psk_sk1, 10);
    stack_push(psk_sk1, 20);
    stack_push(psk_sk1, 40);
    printf("The size of stack sk1 is now %d.\n", stack_size(psk_sk1));

    stack_init_copy(psk_sk2, psk_sk1);
    printf("The size of stack sk2 is %d.\n", stack_size(psk_sk2));

    stack_destroy(psk_sk1);
    stack_destroy(psk_sk2);

    return 0;
}
```

- **Output**

```
The size fo stack sk1 is 0.
The size of stack sk1 is now 3.
The size of stack sk2 is 3.
```

10. `stack_less`

测试第一个 `stack_t` 是否小于第二个 `stack_t`。

```
bool_t stack_less(
    const stack_t* cpstack_first,
    const stack_t* cpstack_second
);
```

- **Parameters**

cpstack_first: 指向第一个 `stack_t` 类型的指针。
cpstack_second: 指向第二个 `stack_t` 类型的指针。

- **Remarks**

这个函数要求两个 `stack_t` 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/cstack.h>`

- **Example**

```
/*
 * stack_less.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstack.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    stack_t* psk_sk1 = create_stack(int);
    stack_t* psk_sk2 = create_stack(int);
    stack_t* psk_sk3 = create_stack(int);
    size_t t_count = 0;
    int i = 0;

    if(psk_sk1 == NULL || psk_sk2 == NULL || psk_sk3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    stack_init(psk_sk1);
    stack_init(psk_sk2);
    stack_init(psk_sk3);

    stack_push(psk_sk1, 2);
    stack_push(psk_sk1, 4);
    stack_push(psk_sk1, 6);
    stack_push(psk_sk1, 8);
    stack_push(psk_sk2, 5);
    stack_push(psk_sk2, 10);
    stack_push(psk_sk3, 2);
    stack_push(psk_sk3, 4);
    stack_push(psk_sk3, 6);
    stack_push(psk_sk3, 8);

    if(stack_less(psk_sk1, psk_sk2))
    {
        printf("The stack sk1 is less than the stack s2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The stack sk1 is not less than the stack s2.\n");
    }

    if(stack_less(psk_sk1, psk_sk3))
```

```

{
    printf("The stack sk1 is less than the stack s3.\n");
}
else
{
    printf("The stack sk1 is not less than the stack s3.\n");
}

/* to print out the stack sk1 (by unstacking the elements) */
printf("The stack sk1 from the top down is: ( ");
t_count = stack_size(psk_sk1);
for(i = 0; i < t_count; ++i)
{
    printf("%d ", *(int*)stack_top(psk_sk1));
    stack_pop(psk_sk1);
}
printf(").\n");

stack_destroy(psk_sk1);
stack_destroy(psk_sk2);
stack_destroy(psk_sk3);

return 0;
}

```

● Output

```

The stack sk1 is less than the stack s2.
The stack sk1 is not less than the stack s3.
The stack sk1 from the top down is: ( 8 6 4 2 ).

```

11. stack_less_equal

测试第一个 `stack_t` 是否小于等于第二个 `stack_t`。

```

bool_t stack_less_equal(
    const stack_t* cpstack_first,
    const stack_t* cpstack_second
);

```

● Parameters

cpstack_first: 指向第一个 `stack_t` 类型的指针。
cpstack_second: 指向第二个 `stack_t` 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 `stack_t` 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 `<cstl/cstack.h>`

● Example

```

/*
 * stack_less_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>

```

```

#include <cstl/cstack.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    stack_t* psk_sk1 = create_stack(int);
    stack_t* psk_sk2 = create_stack(int);
    stack_t* psk_sk3 = create_stack(int);

    if(psk_sk1 == NULL || psk_sk2 == NULL || psk_sk3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    stack_init(psk_sk1);
    stack_init(psk_sk2);
    stack_init(psk_sk3);

    stack_push(psk_sk1, 5);
    stack_push(psk_sk1, 10);
    stack_push(psk_sk2, 1);
    stack_push(psk_sk2, 2);
    stack_push(psk_sk3, 5);
    stack_push(psk_sk3, 10);

    if(stack_less_equal(psk_sk1, psk_sk2))
    {
        printf("The stack sk1 is less than or equal to the stack sk2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The stack sk1 is greater than the stack sk2.\n");
    }

    if(stack_less_equal(psk_sk1, psk_sk3))
    {
        printf("The stack sk1 is less than or equal to the stack sk3.\n");
    }
    else
    {
        printf("The stack sk1 is greater than the stack sk3.\n");
    }

    stack_destroy(psk_sk1);
    stack_destroy(psk_sk2);
    stack_destroy(psk_sk3);

    return 0;
}

```

● Output

```

The stack sk1 is greater than the stack sk2.
The stack sk1 is less than or equal to the stack sk3.

```

12. stack_not_equal

测试两个 stack_t 是否不等。

```

bool_t stack_not_equal(

```



```
const stack_t* cpstack_first,  
const stack_t* cpstack_second  
);
```

● Parameters

cpstack_first: 指向第一个 `stack_t` 类型的指针。
cpstack_second: 指向第二个 `stack_t` 类型的指针。

● Remarks

如果两个 `stack_t` 中的数据都对应相等，并且数据个数相等，则返回 `false` 否则返回 `true`，如果两个 `stack_t` 中保存的数据类型不同也认为是不等。

● Requirements

头文件 `<cstl/cstack.h>`

● Example

```
/*  
 * stack_not_equal.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cstack.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    stack_t* psk_sk1 = create_stack(int);  
    stack_t* psk_sk2 = create_stack(int);  
    stack_t* psk_sk3 = create_stack(int);  
  
    if(psk_sk1 == NULL || psk_sk2 == NULL || psk_sk3 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    stack_init(psk_sk1);  
    stack_init(psk_sk2);  
    stack_init(psk_sk3);  
  
    stack_push(psk_sk1, 1);  
    stack_push(psk_sk2, 2);  
    stack_push(psk_sk3, 1);  
  
    if(stack_not_equal(psk_sk1, psk_sk2))  
    {  
        printf("The stacks sk1 and sk2 are not equal.\n");  
    }  
    else  
    {  
        printf("The stacks sk1 and sk2 are equal.\n");  
    }  
  
    if(stack_not_equal(psk_sk1, psk_sk3))  
    {  
        printf("The stacks sk1 and sk3 are not equal.\n");  
    }  
    else
```

```

{
    printf("The stacks sk1 and sk3 are equal.\n");
}

stack_destroy(psk_sk1);
stack_destroy(psk_sk2);
stack_destroy(psk_sk3);

return 0;
}

```

● Output

```

The stacks sk1 and sk2 are not equal.
The stacks sk1 and sk3 are equal.

```

13. stack_pop

弹出 stack_t 中的数据。

```

void stack_pop(
    stack_t* pstack_stack
);

```

● Parameters

pstack_stack: 指向 stack_t 类型的指针。

● Remarks

stack_t 为空，程序的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cstack.h>

● Example

```

/*
 * stack_pop.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstack.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    stack_t* psk_sk1 = create_stack(int);

    if(psk_sk1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    stack_init(psk_sk1);

    stack_push(psk_sk1, 10);
    stack_push(psk_sk1, 20);

```

```

    stack_push(psk_sk1, 30);

    printf("The stack length is %d.\n", stack_size(psk_sk1));
    printf("The element at the top of the stack is %d.\n",
        *(int*)stack_top(psk_sk1));

    stack_pop(psk_sk1);

    printf("After a pop, the stack length is %d.\n", stack_size(psk_sk1));
    printf("After a pop, the element at the top of the stack is %d.\n",
        *(int*)stack_top(psk_sk1));

    stack_destroy(psk_sk1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The stack length is 3.
The element at the top of the stack is 30.
After a pop, the stack length is 2.
After a pop, the element at the top of the stack is 20.

```

14. stack_push

将数据压入到 stack_t 中。

```

void stack_push(
    stack_t* pstack_stack,
    element
);

```

● Parameters

pstack_stack: 指向 stack_t 类型的指针。
element: 压入 stack_t 的数据。

● Requirements

头文件 <cstl/cstack.h>

● Example

```

/*
 * stack_push.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstack.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    stack_t* psk_sk1 = create_stack(int);

    if(psk_sk1 == NULL)

```

```

{
    return -1;
}

stack_init(psk_sk1);

stack_push(psk_sk1, 10);
stack_push(psk_sk1, 20);
stack_push(psk_sk1, 30);

printf("The stack length is %d.\n", stack_size(psk_sk1));
printf("The element at the top of the stack is %d.\n",
    *(int*)stack_top(psk_sk1));

stack_destroy(psk_sk1);

return 0;
}

```

● Output

```

The stack length is 3.
The element at the top of the stack is 30.

```

15. stack_size

返回 stack_t 中的数据个数。

```

size_t stack_size(
    const stack_t* cpstack_stack
);

```

● Parameters

cpstack_stack: 指向 stack_t 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/cstack.h>

● Example

```

/*
 * stack_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstack.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    stack_t* psk_sk1 = create_stack(int);

    if(psk_sk1 == NULL)
    {

```

```

        return -1;
    }

    stack_init(psk_sk1);

    stack_push(psk_sk1, 1);
    printf("The stack length is %d.\n", stack_size(psk_sk1));

    stack_push(psk_sk1, 2);
    printf("The stack length is now %d.\n", stack_size(psk_sk1));

    stack_destroy(psk_sk1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The stack length is 1.
The stack length is now 2.

```

16. stack_top

访问 stack_t 栈顶数据。

```

void* stack_top(
    const stack_t* cpstack_stack
);

```

● Parameters

cpstack_stack: 指向 stack_t 类型的指针。

● Remarks

返回栈顶数据的指针，如果 stack_t 为空，程序的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cstack.h>

● Example

```

/*
 * stack_top.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstack.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    stack_t* psk_sk1 = create_stack(int);

    if(psk_sk1 == NULL)
    {
        return -1;
    }
}

```

```

}

stack_init(psk_sk1);

stack_push(psk_sk1, 1);
stack_push(psk_sk1, 5);

printf("The top integer of the stack sk1 is %d.\n", *(int*)stack_top(psk_sk1));
*(int*)stack_top(psk_sk1) -= 1;
printf("The top integer of the stack sk1 is %d.\n", *(int*)stack_top(psk_sk1));

stack_destroy(psk_sk1);

return 0;
}

```

● Output

```

The top integer of the stack sk1 is 5.
The top integer of the stack sk1 is 4.

```

第十四节 队列 queue_t

队列 queue_t 是容器适配器，它是以序列容器为底层实现。queue_t 支持先入先出(FIFO)，只允许在后端插入数据在前端删除数据，不能够访问队列内部的数据。queue_t 不支持迭代器。

● Typedefs

queue_t	队列容器适配器类型。
---------	------------

● Operation Functions

create_queue	创建队列容器适配器类型。
queue_assign	为队列容器适配器类型赋值。
queue_back	访问队列容器适配器中最后一个数据。
queue_destroy	销毁队列容器适配器。
queue_empty	测试队列容器适配器是否为空。
queue_equal	测试两个队列容器适配器是否相等。
queue_front	访问队列容器适配器中第一个数据。
queue_greater	测试第一个队列容器适配器是否大于第二个队列容器适配器。
queue_greater_equal	测试第一个队列容器适配器是否大于等于第二个队列容器适配器。
queue_init	初始化一个空的队列容器适配器。
queue_init_copy	以拷贝的方式初始化一个队列容器适配器。
queue_less	测试第一个队列容器适配器是否小于第二个队列容器适配器。
queue_less_equal	测试第一个队列容器适配器是否小于等于第二个队列容器适配器。
queue_not_equal	测试两个队列容器适配器是否不等。

queue_pop	删除队列容器适配器中开头的数据。
queue_push	向队列容器适配器的末尾添加一个数据。
queue_size	返回队列容器适配器中的数据的个数。

1. queue_t

队列容器适配器类型。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cqueue.h>

- **Example**

请参考 queue_t 类型的其他操作函数。

2. create_queue

创建 queue_t 类型。

```
queue_t* create_queue(  
    type  
);
```

- **Parameters**

type: 数据类型描述。

- **Remarks**

函数成功返回指向 queue_t 类型的指针，失败返回 NULL。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cqueue.h>

- **Example**

请参考 queue_t 类型的其他操作函数。

3. queue_assign

为 queue_t 类型赋值。

```
void queue_assign(  
    queue_t* pque_dest,  
    const queue_t* cpque_src  
);
```

- **Parameters**

pque_dest: 指向被赋值的 queue_t 类型的指针。

cpque_src: 指向赋值的 queue_t 类型的指针。

- **Remarks**

要求两个 queue_t 类型保存的数据具有相同的类型，否则函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/queue.h>

● Example

```
/*
 * queue_assign.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/queue.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    queue_t* pq_q1 = create_queue(int);
    queue_t* pq_q2 = create_queue(int);

    if(pq_q1 == NULL || pq_q2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    queue_init(pq_q1);
    queue_init(pq_q2);

    queue_push(pq_q1, 1);
    queue_push(pq_q1, 2);
    queue_push(pq_q1, 3);
    queue_push(pq_q2, 10);
    queue_push(pq_q2, 20);

    printf("The length of queue q1 is %d.\n", queue_size(pq_q1));

    queue_assign(pq_q1, pq_q2);

    printf("After assigning, the length of queue q1 is %d.\n", queue_size(pq_q1));

    queue_destroy(pq_q1);
    queue_destroy(pq_q2);

    return 0;
}
```

● Output

```
The length of queue q1 is 3.
After assigning, the length of queue q1 is 2.
```

4. queue_back

返回 queue_t 中末端的数据。

```
void* queue_back(
    const queue_t* cpque_queue
);
```


- **Parameters**

cpque_queue: 指向 queue_t 类型的指针。

- **Remarks**

返回 queue_t 中最后一个数据的指针，如果 queue_t 为空，程序的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cqueue.h>

- **Example**

```
/*
 * queue_back.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cqueue.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    queue_t* pq_q1 = create_queue(int);

    if(pq_q1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    queue_init(pq_q1);

    queue_push(pq_q1, 10);
    queue_push(pq_q1, 20);

    printf("The element at the back of queue q1 is %d.\n",
        *(int*)queue_back(pq_q1));

    *(int*)queue_back(pq_q1) -= 5;

    printf("The element at the back of queue q1 is now %d.\n",
        *(int*)queue_back(pq_q1));

    queue_destroy(pq_q1);

    return 0;
}
```

- **Output**

```
The element at the back of queue q1 is 20.
The element at the back of queue q1 is now 15.
```

5. queue_destroy

销毁 queue_t 容器适配器类型。

```
void queue_destroy(  
    queue_t* pqqueue  
);
```

- **Parameters**

pqueue_queue: 指向 queue_t 类型的指针。

- **Remarks**

queue_t 使用之后一定要销毁，否则 queue_t 申请的资源不会被释放。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cqueue.h>

- **Example**

请参考 queue_t 类型的其他操作函数。

6. queue_empty

测试 queue_t 是否为空。

```
bool_t queue_empty(  
    const queue_t* cpqueue_queue  
);
```

- **Parameters**

cpqueue_queue: 指向 queue_t 类型的指针。

- **Remarks**

queue_t 为空返回 true，否则返回 false。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cqueue.h>

- **Example**

```
/*  
 * queue_empty.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cqueue.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    queue_t* pq_q1 = create_queue(int);  
    queue_t* pq_q2 = create_queue(int);  
  
    if(pq_q1 == NULL || pq_q2 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
}
```

```

}

queue_init(pq_q1);
queue_init(pq_q2);

queue_push(pq_q1, 1);

if(queue_empty(pq_q1))
{
    printf("The queue q1 is empty.\n");
}
else
{
    printf("The queue q1 is not empty.\n");
}

if(queue_empty(pq_q2))
{
    printf("The queue q2 is empty.\n");
}
else
{
    printf("The queue q2 is not empty.\n");
}

queue_destroy(pq_q1);
queue_destroy(pq_q2);

return 0;
}

```

● Output

```

The queue q1 is not empty.
The queue q2 is empty.

```

7. queue_equal

测试两个 queue_t 是否相等。

```

bool_t queue_equal(
    const queue_t* cpque_first,
    const queue_t* cpque_second
);

```

● Parameters

cpque_first: 指向第一个 queue_t 类型的指针。
cpque_second: 指向第二个 queue_t 类型的指针。

● Remarks

如果两个 queue_t 中的数据都对应相等，并且数据个数相等，则返回 true 否则返回 false，如果两个 queue_t 中保存的数据类型不同也认为是不等。

● Requirements

头文件 <cstdlib/cqueue.h>

● Example

```
/*
 * queue_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cqueue.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    queue_t* pq_q1 = create_queue(int);
    queue_t* pq_q2 = create_queue(int);
    queue_t* pq_q3 = create_queue(int);

    if(pq_q1 == NULL || pq_q2 == NULL || pq_q3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    queue_init(pq_q1);
    queue_init(pq_q2);
    queue_init(pq_q3);

    queue_push(pq_q1, 1);
    queue_push(pq_q2, 2);
    queue_push(pq_q3, 1);

    if(queue_equal(pq_q1, pq_q2))
    {
        printf("The queues q1 and q2 are equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The queues q1 and q2 are not equal.\n");
    }

    if(queue_equal(pq_q1, pq_q3))
    {
        printf("The queues q1 and q3 are equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The queues q1 and q3 are not equal.\n");
    }

    queue_destroy(pq_q1);
    queue_destroy(pq_q2);
    queue_destroy(pq_q3);
}
```

```
    return 0;
}
```

● Output

The queues q1 and q2 are not equal.
The queues q1 and q3 are equal.

8. queue_front

访问 queue_t 中开头的数据。

```
void* queue_front(
    const queue_t* cpque_queue
);
```

● Parameters

cpque_queue: 指向 queue_t 类型的指针。

● Remarks

返回 queue_t 中第一个数据的指针，如果 queue_t 为空，程序的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cqueue.h>

● Example

```
/*
 * queue_front.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cqueue.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    queue_t* pq_q1 = create_queue(int);

    if(pq_q1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    queue_init(pq_q1);

    queue_push(pq_q1, 10);
    queue_push(pq_q1, 20);
    queue_push(pq_q1, 30);

    printf("The element at the front of queue q1 is %d.\n",
        *(int*)queue_front(pq_q1));

    *(int*)queue_front(pq_q1) -= 5;
```

```

    printf("The element at the front of queue q1 is now %d.\n",
           *(int*)queue_front(pq_q1));

    queue_destroy(pq_q1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The element at the front of queue q1 is 10.
The element at the front of queue q1 is now 5.

```

9. queue_greater

测试第一个 queue_t 是否大于第二个 queue_t。

```

bool_t queue_greater(
    const queue_t* cpque_first,
    const queue_t* cpque_second
);

```

● Parameters

cpque_first: 指向第一个 queue_t 类型的指针。

cpque_second: 指向第二个 queue_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 queue_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cqueue.h>

● Example

```

/*
 * queue_greater.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cqueue.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    queue_t* pq_q1 = create_queue(int);
    queue_t* pq_q2 = create_queue(int);
    queue_t* pq_q3 = create_queue(int);

    if(pq_q1 == NULL || pq_q2 == NULL || pq_q3 == NULL)
    {
        return -1;
    }
}

```

```

queue_init(pq_q1);
queue_init(pq_q2);
queue_init(pq_q3);

queue_push(pq_q1, 1);
queue_push(pq_q1, 2);
queue_push(pq_q1, 3);
queue_push(pq_q2, 5);
queue_push(pq_q2, 10);
queue_push(pq_q3, 1);
queue_push(pq_q3, 2);

if(queue_greater(pq_q1, pq_q2))
{
    printf("The queue q1 is greater than the queue q2.\n");
}
else
{
    printf("The queue q1 is not greater than the queue q2.\n");
}

if(queue_greater(pq_q1, pq_q3))
{
    printf("The queue q1 is greater than the queue q3.\n");
}
else
{
    printf("The queue q1 is not greater than the queue q3.\n");
}

queue_destroy(pq_q1);
queue_destroy(pq_q2);
queue_destroy(pq_q3);

return 0;
}

```

● Output

```

The queue q1 is not greater than the queue q2.
The queue q1 is greater than the queue q3.

```

10. queue_greater_equal

测试第一个 queue_t 是否大于等于第二个 queue_t。

```

bool_t queue_greater_equal(
    const queue_t* cpque_first,
    const queue_t* cpque_second
);

```

● Parameters

cpque_first: 指向第一个 queue_t 类型的指针。
cpque_second: 指向第二个 queue_t 类型的指针。

- **Remarks**

这个函数要求两个 queue_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cqueue.h>

- **Example**

```
/*
 * queue_greater_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cqueue.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    queue_t* pq_q1 = create_queue(int);
    queue_t* pq_q2 = create_queue(int);
    queue_t* pq_q3 = create_queue(int);

    if(pq_q1 == NULL || pq_q2 == NULL || pq_q3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    queue_init(pq_q1);
    queue_init(pq_q2);
    queue_init(pq_q3);

    queue_push(pq_q1, 1);
    queue_push(pq_q1, 2);
    queue_push(pq_q2, 5);
    queue_push(pq_q2, 10);
    queue_push(pq_q3, 1);
    queue_push(pq_q3, 2);

    if(queue_greater_equal(pq_q1, pq_q2))
    {
        printf("The queue q1 is greater than or equal to the queue q2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The queue q1 is less than the queue q2.\n");
    }

    if(queue_greater_equal(pq_q1, pq_q3))
    {
        printf("The queue q1 is greater than or equal to the queue q3.\n");
    }
}
```



```

    }
    else
    {
        printf("The queue q1 is less than the queue q3.\n");
    }

    queue_destroy(pq_q1);
    queue_destroy(pq_q2);
    queue_destroy(pq_q3);

    return 0;
}

```

● Output

```

The queue q1 is less than the queue q2.
The queue q1 is greater than or equal to the queue q3.

```

11. queue_init queue_init_copy

初始化 queue_t 容器适配器类型。

```

void queue_init(
    queue_t* pqe_queue
);

void queue_init_copy(
    queue_t* pqe_queue,
    const queue_t* cpqe_src
);

```

● Parameters

pqe_queue: 指向被初始化 queue_t 类型的指针。
cpqe_src: 指向用于初始化的 queue_t 类型的指针。

● Remarks

第一个函数初始化一个空的 queue_t。
 第二个函数使用一个源 queue_t 来初始化 queue_t，数据的内容从源 queue_t 复制。

● Requirements

头文件 <cstl/cqueue.h>

● Example

```

/*
 * queue_init.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cqueue.h>

int main(int argc, char* argv[])
{

```

```

queue_t* pq_q1 = create_queue(int);
queue_t* pq_q2 = create_queue(int);

if(pq_q1 == NULL || pq_q2 == NULL)
{
    return -1;
}

/* Create an empty queue */
queue_init(pq_q1);

printf("The length of queue q1 is %d.\n", queue_size(pq_q1));
/* Then push 3 elements */
queue_push(pq_q1, 1);
queue_push(pq_q1, 2);
queue_push(pq_q1, 3);

/* Create an copy queue q2 with q1 */
queue_init_copy(pq_q2, pq_q1);
printf("The length of queue q2 is %d.\n", queue_size(pq_q2));

queue_destroy(pq_q1);
queue_destroy(pq_q2);

return 0;
}

```

● Output

```

The length of queue q1 is 0.
The length of queue q2 is 3.

```

12. queue_less

测试第一个 queue_t 是否小于第二个 queue_t。

```

bool_t queue_less(
    const queue_t* cpque_first,
    const queue_t* cpque_second
);

```

● Parameters

cpque_first: 指向第一个 queue_t 类型的指针。
cpque_second: 指向第二个 queue_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 queue_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cqueue.h>

● Example

```

/*

```

```

* queue_less.c
* compile with : -lcstl
*/

#include <stdio.h>
#include <cstl/queue.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    queue_t* pq_q1 = create_queue(int);
    queue_t* pq_q2 = create_queue(int);
    queue_t* pq_q3 = create_queue(int);

    if(pq_q1 == NULL || pq_q2 == NULL || pq_q3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    queue_init(pq_q1);
    queue_init(pq_q2);
    queue_init(pq_q3);

    queue_push(pq_q1, 1);
    queue_push(pq_q1, 2);
    queue_push(pq_q2, 5);
    queue_push(pq_q2, 10);
    queue_push(pq_q3, 1);
    queue_push(pq_q3, 2);

    if(queue_less(pq_q1, pq_q2))
    {
        printf("The queue q1 is less than the queue q2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The queue q1 is not less than the queue q2.\n");
    }

    if(queue_less(pq_q1, pq_q3))
    {
        printf("The queue q1 is less than the queue q3.\n");
    }
    else
    {
        printf("The queue q1 is not less than the queue q3.\n");
    }

    queue_destroy(pq_q1);
    queue_destroy(pq_q2);
    queue_destroy(pq_q3);

    return 0;
}

```

```
}
```

● Output

The queue q1 is less than the queue q2.

The queue q1 is not less than the queue q3.

13. queue_less_equal

测试第一个 queue_t 是否小于等于第二个 queue_t。

```
bool_t queue_less_equal(  
    const queue_t* cpque_first,  
    const queue_t* cpque_second  
);
```

● Parameters

cpque_first: 指向第一个 queue_t 类型的指针。

cpque_second: 指向第二个 queue_t 类型的指针。

● Remarks

这个函数要求两个 queue_t 中保存的数据类型相同，如果不同导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cqueue.h>

● Example

```
/*  
 * queue_less_equal.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cqueue.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    queue_t* pq_q1 = create_queue(int);  
    queue_t* pq_q2 = create_queue(int);  
    queue_t* pq_q3 = create_queue(int);  
  
    if(pq_q1 == NULL || pq_q2 == NULL || pq_q3 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    queue_init(pq_q1);  
    queue_init(pq_q2);  
    queue_init(pq_q3);  
  
    queue_push(pq_q1, 5);  
    queue_push(pq_q1, 10);  
    queue_push(pq_q2, 1);
```

```

queue_push(pq_q2, 2);
queue_push(pq_q3, 5);
queue_push(pq_q3, 10);

if(queue_less_equal(pq_q1, pq_q2))
{
    printf("The queue q1 is less than or equal to the queue q2.\n");
}
else
{
    printf("The queue q1 is greater than the queue q2.\n");
}

if(queue_less_equal(pq_q1, pq_q3))
{
    printf("The queue q1 is less than or equal to the queue q3.\n");
}
else
{
    printf("The queue q1 is greater than the queue q3.\n");
}

queue_destroy(pq_q1);
queue_destroy(pq_q2);
queue_destroy(pq_q3);

return 0;
}

```

● Output

```

The queue q1 is greater than the queue q2.
The queue q1 is less than or equal to the queue q3.

```

14. queue_not_equal

测试两个 queue_t 是否不等。

```

bool_t queue_not_equal(
    const queue_t* cpque_first,
    const queue_t* cpque_second
);

```

● Parameters

cpque_first: 指向第一个 queue_t 类型的指针。
cpque_second: 指向第二个 queue_t 类型的指针。

● Remarks

如果两个 queue_t 中的数据都对应相等，并且数据个数相等，则返回 false 否则返回 true，如果两个 queue_t 中保存的数据类型不同也认为是不等。

● Requirements

头文件 <cstl/cqueue.h>

● Example

```
/*
 * queue_not_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cqueue.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    queue_t* pq_q1 = create_queue(int);
    queue_t* pq_q2 = create_queue(int);
    queue_t* pq_q3 = create_queue(int);

    if(pq_q1 == NULL || pq_q2 == NULL || pq_q3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    queue_init(pq_q1);
    queue_init(pq_q2);
    queue_init(pq_q3);

    queue_push(pq_q1, 1);
    queue_push(pq_q2, 1);
    queue_push(pq_q2, 2);
    queue_push(pq_q3, 1);

    if(queue_not_equal(pq_q1, pq_q2))
    {
        printf("The queues q1 and q2 are not equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The queues q1 and q2 are equal.\n");
    }

    if(queue_not_equal(pq_q1, pq_q3))
    {
        printf("The queues q1 and q3 are not equal.\n");
    }
    else
    {
        printf("The queues q1 and q3 are equal.\n");
    }

    queue_destroy(pq_q1);
    queue_destroy(pq_q2);
    queue_destroy(pq_q3);
}
```

```
    return 0;
}
```

● Output

The queues q1 and q2 are not equal.
The queues q1 and q3 are equal.

15. queue_pop

删除 queue_t 开头的数据。

```
void queue_pop(
    queue_t* pqe_queue
);
```

● Parameters

pqe_queue: 指向 queue_t 类型的指针。

● Remarks

queue_t 为空，程序的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cqueue.h>

● Example

```
/*
 * queue_pop.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cqueue.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    queue_t* pq_q1 = create_queue(int);

    if(pq_q1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    queue_init(pq_q1);

    queue_push(pq_q1, 10);
    queue_push(pq_q1, 20);
    queue_push(pq_q1, 30);

    printf("The queue length is %d.\n", queue_size(pq_q1));
    printf("The element at the front of the queue q1 is %d.\n",
        *(int*)queue_front(pq_q1));
}
```

```

queue_pop(pq_q1);

printf("After a pop, the queue length is %d.\n", queue_size(pq_q1));
printf("After a pop, the element at the front of the queue q1 is %d.\n",
      *(int*)queue_front(pq_q1));

queue_destroy(pq_q1);

return 0;
}

```

● Output

The queue length is 3.
 The element at the front of the queue q1 is 10.
 After a pop, the queue length is 2.
 After a pop, the element at the front of the queue q1 is 20.

16. queue_push

向 queue_t 的末尾插入一个数据。

```

void queue_push(
    queue_t* pqe_queue,
    element
);

```

● Parameters

pqe_queue: 指向 queue_t 类型的指针。
element: 压入 queue_t 的数据。

● Requirements

头文件 <cstl/cqueue.h>

● Example

```

/*
 * queue_push.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cqueue.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    queue_t* pq_q1 = create_queue(int);

    if(pq_q1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    queue_init(pq_q1);

```



```

    queue_push(pq_q1, 10);
    queue_push(pq_q1, 20);
    queue_push(pq_q1, 30);

    printf("The queue length is %d.\n", queue_size(pq_q1));
    printf("The element at the front of the queue q1 is %d.\n",
        *(int*)queue_front(pq_q1));

    queue_destroy(pq_q1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The queue length is 3.
The element at the front of the queue q1 is 10.

```

17. queue_size

返回 queue_t 中数据的个数。

```

size_t queue_size(
    const queue_t* cpque_queue
);

```

● Parameters

cpque_queue: 指向 queue_t 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/cqueue.h>

● Example

```

/*
 * queue_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cqueue.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    queue_t* pq_q1 = create_queue(int);

    if(pq_q1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    queue_init(pq_q1);

    queue_push(pq_q1, 1);

```

```
printf("The queue length is %d.\n", queue_size(pq_q1));

queue_push(pq_q1, 2);
printf("The queue length is now %d.\n", queue_size(pq_q1));

queue_destroy(pq_q1);

return 0;
}
```

● **Output**

The queue length is 1.
The queue length is now 2.

第十五节 优先队列 `priority_queue_t`

优先队列 `priority_queue_t` 是容器适配器，它是以序列容器为底层实现。它是一种带有优先级的队列，优先级最高的数据总是在顶部。优先队列允许在插入数据并且值允许删除和访问优先级最高的数据，不能够访问队列内部的数据。`priority_queue_t` 不支持迭代器和关系运算。

● **Typedefs**

<code>priority_queue_t</code>	优先队列容器适配器类型。
-------------------------------	--------------

● **Operation Functions**

<code>create_priority_queue</code>	创建优先队列容器适配器类型。
<code>priority_queue_assign</code>	为优先队列容器适配器类型赋值。
<code>priority_queue_destroy</code>	销毁优先队列容器适配器类型。
<code>priority_queue_empty</code>	测试优先队列容器适配器是否为空。
<code>priority_queue_init</code>	初始化一个空的优先队列容器适配器类型。
<code>priority_queue_init_copy</code>	以拷贝的方式初始化一个优先队列容器适配器类型。
<code>priority_queue_init_copy_range</code>	使用指定的数据区间初始化一个优先队列容器适配器。
<code>priority_queue_init_copy_range_ex</code>	使用指定的数据区间和比较规则初始化一个优先队列容器适配器。
<code>priority_queue_init_ex</code>	使用指定的比较规则初始化一个优先队列容器适配器。
<code>priority_queue_pop</code>	删除优先队列容器适配器中优先级最高的数据。
<code>priority_queue_push</code>	向优先队列容器适配器中插入一个数据。
<code>priority_queue_size</code>	返回优先队列容器适配器中数据的个数。
<code>priority_queue_top</code>	访问优先队列容器适配器中优先级最高的数据。

1. `priority_queue_t`

优先队列容器适配器类型。

● **Requirements**

头文件 `<cstl/cqueue.h>`

- **Example**

请参考 `priority_queue_t` 类型的其他操作函数。

2. `create_priority_queue`

创建 `priority_queue_t` 容器适配器类型。

```
priority_queue_t* create_priority_queue(  
    type  
);
```

- **Parameters**

type: 数据类型描述。

- **Remarks**

函数成功返回指向 `priority_queue_t` 类型的指针，失败返回 `NULL`。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/cqueue.h>`

- **Example**

请参考 `priority_queue_t` 类型的其他操作函数。

3. `priority_queue_assign`

为 `priority_queue_t` 类型赋值。

```
void priority_queue_assign(  
    priority_queue_t* ppque_dest,  
    const priority_queue_t* cppque_src  
);
```

- **Parameters**

ppque_dest: 指向被赋值的 `priority_queue_t` 类型的指针。

cppque_src: 指向赋值的 `priority_queue_t` 类型的指针。

- **Remarks**

要求两个 `priority_queue_t` 类型保存的数据具有相同的类型，否则函数的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/cqueue.h>`

- **Example**

```
/*  
 * priority_queue_assign.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cqueue.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])
```

```

{
    priority_queue_t* ppq_pq1 = create_priority_queue(int);
    priority_queue_t* ppq_pq2 = create_priority_queue(int);

    if(ppq_pq1 == NULL || ppq_pq2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    priority_queue_init(ppq_pq1);
    priority_queue_init(ppq_pq2);

    priority_queue_push(ppq_pq1, 1);
    priority_queue_push(ppq_pq1, 2);
    priority_queue_push(ppq_pq1, 3);
    priority_queue_push(ppq_pq2, 10);
    priority_queue_push(ppq_pq2, 20);

    printf("The length of priority_queue pq1 is %d.\n",
        priority_queue_size(ppq_pq1));

    priority_queue_assign(ppq_pq1, ppq_pq2);

    printf("After assignment, the length of priority_queue pq1 is %d.\n",
        priority_queue_size(ppq_pq1));

    priority_queue_destroy(ppq_pq1);
    priority_queue_destroy(ppq_pq2);

    return 0;
}

```

● Output

The length of priority_queue pq1 is 3.
 After assignment, the length of priority_queue pq1 is 2.

4. priority_queue_destroy

销毁 priority_queue_t 类型。

```

void priority_queue_destroy(
    priority_queue_t* ppque_pqueue
);

```

● Parameters

ppque_pqueue: 指向 priority_queue_t 类型的指针。

● Remarks

priority_queue_t 使用之后一定要销毁，否则 priority_queue_t 申请的资源不会被释放。

● Requirements

头文件 <cstdlib/cqueue.h>

- **Example**

请参考 `priority_queue_t` 类型的其他操作函数。

5. `priority_queue_empty`

测试 `priority_queue_t` 是否为空。

```
bool_t priority_queue_empty(  
    const priority_queue_t* cppque_pqueue  
);
```

- **Parameters**

`cppque_pqueue`: 指向 `priority_queue_t` 类型的指针。

- **Remarks**

`priority_queue_t` 为空返回 `true`，否则返回 `false`。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/cqueue.h>`

- **Example**

```
/*  
 * priority_queue_empty.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cqueue.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    priority_queue_t* ppq_pq1 = create_priority_queue(int);  
    priority_queue_t* ppq_pq2 = create_priority_queue(int);  
  
    if(ppq_pq1 == NULL || ppq_pq2 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    priority_queue_init(ppq_pq1);  
    priority_queue_init(ppq_pq2);  
  
    priority_queue_push(ppq_pq1, 1);  
    if(priority_queue_empty(ppq_pq1))  
    {  
        printf("The priority_queue pq1 is empty.\n");  
    }  
    else  
    {  
        printf("The priority_queue pq1 is not empty.\n");  
    }  
}
```

```

if(priority_queue_empty(ppq_pq2))
{
    printf("The priority_queue pq2 is empty.\n");
}
else
{
    printf("The priority_queue pq2 is not empty.\n");
}

priority_queue_destroy(ppq_pq1);
priority_queue_destroy(ppq_pq2);

return 0;
}

```

● Output

```

The priority_queue pq1 is not empty.
The priority_queue pq2 is empty.

```

6. `priority_queue_init` `priority_queue_init_copy` `priority_queue_init_copy_range` `priority_queue_init_copy_range_ex` `priority_queue_init_ex`

初始化 `priority_queue_t` 容器适配器类型。

```

void priority_queue_init(
    priority_queue_t* ppque_pqueue
);

void priority_queue_init_copy(
    priority_queue_t* ppque_pqueue,
    const priority_queue_t* cppque_src
);

void priority_queue_init_copy_range(
    priority_queue_t* ppque_pqueue,
    random_access_iterator_t it_first,
    random_access_iterator_t it_last
);

void priority_queue_init_copy_range_ex(
    priority_queue_t* ppque_pqueue,
    random_access_iterator_t it_first,
    random_access_iterator_t it_last,
    binary_function_t bfun_compare
);

void priority_queue_init_ex(
    priority_queue_t* ppque_pqueue,
    binary_function_t bfun_compare
);

```

● Parameters

`ppque_pqueue`: 指向被初始化 `priority_queue_t` 类型的指针。

cppque_src: 指向用于初始化的 `priority_queue_t` 类型的指针。
it_begin: 用于初始化的数据区间的开始位置。
it_end: 用于初始化的数据区间的末尾位置。
bfun_compare: 自定义排序规则。

● Remarks

第一个函数初始化一个空的 `priority_queue_t`，使用与数据类型相关的小于操作函数作为默认的排序规则。

第二个函数使用一个源 `priority_queue_t` 来初始化 `priority_queue_t`，数据的内容和排序规则都从源 `priority_queue_t` 复制。

第三个函数使用指定的数据区间初始化一个 `priority_queue_t`，使用与数据类型相关的小于操作函数作为默认的排序规则。

第四个函数使用指定的数据区间初始化一个 `priority_queue_t`，使用用户指定的排序规则。

第五个函数初始化一个空的 `priority_queue_t`，使用用户指定的排序规则。

上面的函数要求迭代器和数据区间是有效的，无效的迭代器或数据区间导致函数的行为未定义。

● Requirements

头文件 `<cstl/cqueue.h>`

● Example

```
/*
 * priority_queue_init.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cqueue.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v5 = create_vector(int);
    priority_queue_t* ppq_pq1 = create_priority_queue(int);
    priority_queue_t* ppq_pq2 = create_priority_queue(int);
    priority_queue_t* ppq_pq3 = create_priority_queue(int);
    priority_queue_t* ppq_pq4 = create_priority_queue(int);
    priority_queue_t* ppq_pq5 = create_priority_queue(int);
    priority_queue_t* ppq_pq6 = create_priority_queue(int);
    vector_iterator_t it_v5;

    if(ppq_pq1 == NULL || ppq_pq2 == NULL || ppq_pq3 == NULL ||
        ppq_pq4 == NULL || ppq_pq5 == NULL || ppq_pq6 == NULL ||
        pvec_v5 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    /* Create an empty priority_queue */
    priority_queue_init(ppq_pq1);
    printf("pq1 = ( ");
    while(!priority_queue_empty(ppq_pq1))
    {
```

```

    printf("%d ", *(int*)priority_queue_top(ppq_pq1));
    priority_queue_pop(ppq_pq1);
}
printf("\n");

/* Create an empty priority_queue and push 3 elements */
priority_queue_init(ppq_pq2);
priority_queue_push(ppq_pq2, 5);
priority_queue_push(ppq_pq2, 15);
priority_queue_push(ppq_pq2, 10);
printf("pq2 = ( ");
while(!priority_queue_empty(ppq_pq2))
{
    printf("%d ", *(int*)priority_queue_top(ppq_pq2));
    priority_queue_pop(ppq_pq2);
}
printf("\n");
printf("After printing, pq2 has %d elements.\n",
    priority_queue_size(ppq_pq2));

/*
 * Create an empty priority_queue with specific comparison function
 * and push 3 elements.
 */
priority_queue_init_ex(ppq_pq3, fun_greater_int);
priority_queue_push(ppq_pq3, 2);
priority_queue_push(ppq_pq3, 1);
priority_queue_push(ppq_pq3, 3);
printf("pq3 = ( ");
while(!priority_queue_empty(ppq_pq3))
{
    printf("%d ", *(int*)priority_queue_top(ppq_pq3));
    priority_queue_pop(ppq_pq3);
}
printf("\n");

/* Create an copy priority_queue form pq1 */
priority_queue_push(ppq_pq1, 100);
priority_queue_push(ppq_pq1, 200);
priority_queue_init_copy(ppq_pq4, ppq_pq1);
printf("pq4 = ( ");
while(!priority_queue_empty(ppq_pq4))
{
    printf("%d ", *(int*)priority_queue_top(ppq_pq4));
    priority_queue_pop(ppq_pq4);
}
printf("\n");

/* Create an auxiliary vector v5 to be used to initialize pq5 */
vector_init(pvec_v5);

```



```

vector_push_back(pvec_v5, 10);
vector_push_back(pvec_v5, 30);
vector_push_back(pvec_v5, 20);
printf("v5 = ( ");
for(it_v5 = vector_begin(pvec_v5);
    !iterator_equal(it_v5, vector_end(pvec_v5));
    it_v5 = iterator_next(it_v5))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v5));
}
printf(")\n");

/* Create a priority_queue pq5 by copying the range v5[first, last) */
priority_queue_init_copy_range(ppq_pq5,
    vector_begin(pvec_v5), vector_end(pvec_v5));
printf("pq5 = ( ");
while(!priority_queue_empty(ppq_pq5))
{
    printf("%d ", *(int*)priority_queue_top(ppq_pq5));
    priority_queue_pop(ppq_pq5);
}
printf(")\n");

/*
 * Create a priority_queue pq6 by copying the range v5 [first, last) and
 * initialize with a comparison function greater.
 */
priority_queue_init_copy_range_ex(ppq_pq6, vector_begin(pvec_v5),
    vector_end(pvec_v5), fun_greater_int);
printf("pq6 = ( ");
while(!priority_queue_empty(ppq_pq6))
{
    printf("%d ", *(int*)priority_queue_top(ppq_pq6));
    priority_queue_pop(ppq_pq6);
}
printf(")\n");

vector_destroy(pvec_v5);
priority_queue_destroy(ppq_pq1);
priority_queue_destroy(ppq_pq2);
priority_queue_destroy(ppq_pq3);
priority_queue_destroy(ppq_pq4);
priority_queue_destroy(ppq_pq5);
priority_queue_destroy(ppq_pq6);

return 0;
}

```

● Output

```
pq1 = ( )
```

```
pq2 = ( 15 10 5 )
After printing, pq2 has 0 elements.
pq3 = ( 1 2 3 )
pq4 = ( 200 100 )
v5 = ( 10 30 20 )
pq5 = ( 30 20 10 )
pq6 = ( 10 20 30 )
```

7. priority_queue_pop

删除 priority_queue_t 中优先级最高的数据。

```
void priority_queue_pop(
    priority_queue_t* ppque_pqueue
);
```

- **Parameters**

ppque_pqueue: 指向 priority_queue_t 类型的指针。

- **Remarks**

priority_queue_t 为空，程序的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cqueue.h>

- **Example**

```
/*
 * priority_queue_pop.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cqueue.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    priority_queue_t* ppq_pq1 = create_priority_queue(int);

    if(ppq_pq1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    priority_queue_init(ppq_pq1);

    priority_queue_push(ppq_pq1, 10);
    priority_queue_push(ppq_pq1, 20);
    priority_queue_push(ppq_pq1, 30);

    printf("The priority_queue length is %d.\n",
        priority_queue_size(ppq_pq1));
    printf("The element at the top of the priority_queue is %d.\n",
        *(int*)priority_queue_top(ppq_pq1));
```

```

priority_queue_pop(ppq_pq1);

printf("After a pop, the priority_queue length is %d.\n",
       priority_queue_size(ppq_pq1));
printf("After a pop, the element at the top of the priority_queue is %d.\n",
       *(int*)priority_queue_top(ppq_pq1));

priority_queue_destroy(ppq_pq1);

return 0;
}

```

● Output

The priority_queue length is 3.
The element at the top of the priority_queue is 30.
After a pop, the priority_queue length is 2.
After a pop, the element at the top of the priority_queue is 20.

8. priority_queue_push

向 priority_queue_t 中添加一个数据。

```

void priority_queue_push(
    priority_queue_t* ppque_pqueue,
    element
);

```

● Parameters

ppque_pqueue: 指向 priority_queue_t 类型的指针。
element: 压入 priority_queue_t 的数据。

● Requirements

头文件 <cstl/cqueue.h>

● Example

```

/*
 * priority_queue_push.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cqueue.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    priority_queue_t* ppq_pq1 = create_priority_queue(int);

    if(ppq_pq1 == NULL)
    {
        return -1;
    }
}

```

```

priority_queue_init(ppq_pq1);

priority_queue_push(ppq_pq1, 10);
priority_queue_push(ppq_pq1, 20);
priority_queue_push(ppq_pq1, 30);

printf("The priority_queue length is %d.\n",
       priority_queue_size(ppq_pq1));
printf("The element at the top of the priority_queue is %d.\n",
       *(int*)priority_queue_top(ppq_pq1));

priority_queue_destroy(ppq_pq1);

return 0;
}

```

● Output

```

The priority_queue length is 3.
The element at the top of the priority_queue is 30.

```

9. priority_queue_size

返回 priority_queue_t 中数据的个数。

```

size_t priority_queue_size(
    const priority_queue_t* cppque_pqueue
);

```

● Parameters

cppque_pqueue: 指向 priority_queue_t 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/cqueue.h>

● Example

```

/*
 * priority_queue_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cqueue.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    priority_queue_t* ppq_pq1 = create_priority_queue(int);

    if(ppq_pq1 == NULL)
    {
        return -1;
    }
}

```

```

priority_queue_init(ppq_pq1);

priority_queue_push(ppq_pq1, 1);
printf("The priority_queue length is %d.\n",
       priority_queue_size(ppq_pq1));

priority_queue_push(ppq_pq1, 2);
printf("The priority_queue length is now %d.\n",
       priority_queue_size(ppq_pq1));

priority_queue_destroy(ppq_pq1);

return 0;
}

```

● Output

```

The priority_queue length is 1.
The priority_queue length is now 2.

```

10. priority_queue_top

访问 priority_queue_t 中优先级最高的数据。

```

void* priority_queue_top(
    const priority_queue_t* cppque_pqueue
);

```

● Parameters

pque_pqueue: 指向 priority_queue_t 类型的指针。

● Remarks

priority_queue_t 为空，程序的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cqueue.h>

● Example

```

/*
 * priority_queue_top.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cqueue.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    priority_queue_t* ppq_pq1 = create_priority_queue(int);

    if(ppq_pq1 == NULL)
    {
        return -1;
    }
}

```

```

}

priority_queue_init(ppq_pq1);

priority_queue_push(ppq_pq1, 10);
priority_queue_push(ppq_pq1, 30);
priority_queue_push(ppq_pq1, 20);

printf("The priority_queue length is %d.\n",
       priority_queue_size(ppq_pq1));
printf("The element at the top of the priority_queue is %d.\n",
       *(int*)priority_queue_top(ppq_pq1));

priority_queue_destroy(ppq_pq1);

return 0;
}

```

● Output

```

The priority_queue length is 3.
The element at the top of the priority_queue is 30.

```

第三章 迭代器

迭代器是一种泛化的指针：是指向容器中数据的指针。它通常提供了对数据进行迭代的操作，也提供了通过迭代器来获得数据和设置数据的操作。它是容器中的数据和算法的桥梁，算法通过它来操作容器中的数据，容器中的数据通过它可以使算法应用与该数据。

第一节 迭代器操作函数

由于容器结构的不同，迭代器也分为很多种类。libcstl 提供了多种迭代器操作函数，但是并不是每种操作函数都接受所有类型的迭代器。

● Typedefs

iterator_t	迭代器类型。
input_iterator_t	输入迭代器类型。
output_iterator_t	输出迭代器类型。
forward_iterator_t	前向迭代器类型。
bidirectional_iterator_t	双向迭代器类型。
random_access_iterator_t	随机访问迭代器类型。

● Operation Functions

iterator_at	使用下标通过迭代器随机访问数据。
iterator_equal	测试两个迭代器是否相等。
iterator_get_pointer	获得迭代器指向的数据的指针。

iterator_get_value	获得迭代器指向的数据。
iterator_greater	测试第一个迭代器是否大于第二个迭代器。
iterator_greater_equal	测试第一个迭代器是否大于等于第二个迭代器。
iterator_less	测试第一个迭代器是否小于第二个迭代器。
iterator_less_equal	测试第一个迭代器是否小于等于第二个迭代器。
iterator_minus	计算两个迭代器的差值。
iterator_next	返回指向下一个数据的迭代器。
iterator_next_n	返回指向下 n 个数据的迭代器。
iterator_not_equal	测试两个迭代器是否不等。
iterator_prev	返回指向上一个数据的迭代器。
iterator_prev_n	返回指向上 n 个数据的迭代器。
iterator_set_value	设置迭代器指向的数据。

1. iterator_t

迭代器类型。

- **Remarks**
最基本的迭代器类型，它可以代替所有的迭代器类型。
- **Requirements**
头文件 <cstdlib/citerator.h> 或者任何 libcstdlib 头文件。
- **Example**
请参考 iterator_t 类型的其他操作函数。

2. input_iterator_t

输入迭代器类型。

- **Remarks**
input_iterator_t 迭代器类型支持获取数据，向前迭代，相等测试。
- **Requirements**
头文件 <cstdlib/citerator.h> 或者任何 libcstdlib 头文件。
- **Example**
请参考 input_iterator_t 类型的其他操作函数。

3. output_iterator_t

输出迭代器类型。

- **Remarks**
output_iterator_t 迭代器类型支持设置数据，向前迭代。

- **Requirements**

头文件 `<cstdlib/citerator.h>` 或者任何 `libcstdl` 头文件。

- **Example**

请参考 `output_iterator_t` 类型的其他操作函数。

4. `forward_iterator_t`

前向迭代器。

- **Remarks**

`forward_iterator_t` 迭代器类型支持获取数据，设置数据，向前迭代，相等测试。

- **Requirements**

头文件 `<cstdlib/citerator.h>` 或者任何 `libcstdl` 头文件。

- **Example**

请参考 `forward_iterator_t` 类型的其他操作函数。

5. `bidirectional_iterator_t`

双向迭代器类型。

- **Remarks**

`bidirectional_iterator_t` 迭代器类型支持获取数据，设置数据，双向迭代，相等测试。

- **Requirements**

头文件 `<cstdlib/citerator.h>` 或者任何 `libcstdl` 头文件。

- **Example**

请参考 `bidirectional_iterator_t` 类型的其他操作函数。

6. `random_access_iterator_t`

随机访问迭代器类型。

- **Remarks**

`random_access_iterator_t` 迭代器类型支持所有迭代器操作函数。

- **Requirements**

头文件 `<cstdlib/citerator.h>` 或者任何 `libcstdl` 头文件。

- **Example**

请参考 `random_access_iterator_t` 类型的其他操作函数。

7. `iterator_at`

使用下标通过迭代器随机访问数据。

```
void* iterator_at(  
    iterator_t it_iter,
```



```
    int n_index  
);
```

● Parameters

it_iter: 迭代器类型。
n_index: 下标。

● Remarks

it_iter 为 random_access_iterator_t 类型，n_index 为有效下标，否则程序的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/citerator.h> 或者任何 libcstl 头文件。

● Example

```
/*  
 * iterator_at.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cvector.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    vector_t* pvec_coll = create_vector(int);  
    iterator_t it_pos; /* uses iterator_t instead of vector_iterator_t */  
    int i = 0;  
    int n_value = 0;  
  
    if(pvec_coll == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    vector_init(pvec_coll);  
  
    /* insert from -3 to 9 */  
    for(i = -3; i <= 9; ++i)  
    {  
        vector_push_back(pvec_coll, i);  
    }  
  
    /*  
     * print number of elements by processing the distance  
     * between vector_begin() and vector_end()  
     */  
    printf("number/distance : %d\n",  
        iterator_minus(vector_end(pvec_coll), vector_begin(pvec_coll)));  
  
    /*  
     * print all elements  
     * uses iterator_less instead of !iterator_equal
```

```

    */
    for(it_pos = vector_begin(pvec_coll);
        iterator_less(it_pos, vector_end(pvec_coll));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf("\n");

    /*
     * print all elements
     * uses iterator_at instead of iterator_get_pointer
     */
    for(i = 0; i < vector_size(pvec_coll); ++i)
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_at(vector_begin(pvec_coll), i));
    }
    printf("\n");

    /* print every second element */
    for(it_pos = vector_begin(pvec_coll);
        iterator_less(it_pos, iterator_prev(vector_end(pvec_coll)));
        it_pos = iterator_next_n(it_pos, 2))
    {
        iterator_get_value(it_pos, &n_value);
        printf("%d ", n_value);
    }
    printf("\n");

    vector_destroy(pvec_coll);

    return 0;
}

```

● Output

```

number/distance : 13
-3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
-3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
-3 -1 1 3 5 7

```

8. iterator_equal

测试两个迭代器是否相等。

```

bool_t iterator_equal(
    iterator_t it_first,
    iterator_t it_second
);

```

● Parameters

it_first: 第一个迭代器类型。

it_second: 第二个迭代器类型。

- **Remarks**

it_first 和 it_second 为 input_iterator_t, forward_iterator_t, bidirectional_iterator_t, random_access_iterator_t 类型, 否则程序的行为未定义。如果 it_first 和 it_second 类型不同则认为不等。

- **Requirements**

头文件 <cstl/citerator.h> 或者任何 libcstl 头文件。

- **Example**

```
/*
 * iterator_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    iterator_t it_vec;
    iterator_t it_pos1;
    iterator_t it_pos2;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 1; i < 6; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 2);
    }

    printf("The vector v1 is ( ");
    for(it_vec = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_vec, vector_end(pvec_v1));
        it_vec = iterator_next(it_vec))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_vec));
    }
    printf(")\n");

    /* Initializing iterator_t it_pos1 and it_pos2 to the first element */
    it_pos1 = vector_begin(pvec_v1);
    it_pos2 = vector_begin(pvec_v1);

    printf("The iterator it_pos1 initially points to the first element: %d\n",
```

```

        *(int*)iterator_get_pointer(it_pos1));
if(iterator_equal(it_pos1, it_pos2))
{
    printf("The iterators are equal.\n");
}
else
{
    printf("The iterators are not equal.\n");
}

it_pos1 = iterator_next(it_pos1);
printf("The iterator it_pos1 now points to the second element: %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_pos1));
if(iterator_equal(it_pos1, it_pos2))
{
    printf("The iterators are equal.\n");
}
else
{
    printf("The iterators are not equal.\n");
}

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

The vector v1 is ( 2 4 6 8 10 )
The iterator it_pos1 initially points to the first element: 2
The iterators are equal.
The iterator it_pos1 now points to the second element: 4
The iterators are not equal.

```

9. iterator_get_pointer

返回迭代器指向的数据的指针。

```

const void* iterator_get_pointer(
    iterator_t it_iter
);

```

● Parameters

it_iter: 迭代器类型。

● Remarks

it_iter 为 input_iterator_t, forward_iterator_t, bidirectional_iterator_t, random_access_iterator_t 类型，否则程序的行为未定义。不可以通过 iterator_get_pointer 来修改关联容器中的数据。

● Requirements

头文件 <cstdlib/citerator.h> 或者任何 libcstdlib 头文件。

- **Example**

请参考 `iterator_at` 操作函数。

10. `iterator_get_value`

获得迭代器指向的数据的内容。

```
void iterator_get_value(  
    iterator_t it_iter,  
    void* pv_value  
);
```

- **Parameters**

it_iter: 迭代器类型。

pv_value: 获取的数据内容。

- **Remarks**

`it_iter` 为 `input_iterator_t`, `forward_iterator_t`, `bidirectional_iterator_t`, `random_access_iterator_t` 类型，否则程序的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/citerator.h>` 或者任何 `libcstl` 头文件。

- **Example**

请参考 `iterator_at` 操作函数。

11. `iterator_greater`

测试第一个迭代器是否大于第二个迭代器。

```
bool_t iterator_greater(  
    iterator_t it_first,  
    iterator_t it_second  
);
```

- **Parameters**

it_first: 第一个迭代器类型。

it_second: 第二个迭代器类型。

- **Remarks**

`it_first` 和 `it_second` 为 `random_access_iterator_t` 类型，否则程序的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/citerator.h>` 或者任何 `libcstl` 头文件。

- **Example**

```
/*  
 * iterator_greater.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cvector.h>
```

```

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    iterator_t it_vec;
    iterator_t it_pos1;
    iterator_t it_pos2;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 1; i < 6; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 2);
    }

    printf("The vector v1 is ( ");
    for(it_vec = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_vec, vector_end(pvec_v1));
        it_vec = iterator_next(it_vec))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_vec));
    }
    printf(")\n");

    /* Initializing iterator_t it_pos1 and it_pos2 to the first element */
    it_pos1 = vector_begin(pvec_v1);
    it_pos2 = vector_begin(pvec_v1);

    printf("The iterator it_pos1 initially points to the first element: %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_pos1));
    if(iterator_greater(it_pos1, it_pos2))
    {
        printf("The iterator it_pos1 is greater than the iterator it_pos2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The iterator it_pos1 is less than or "
            "equal to the iterator it_pos2.\n");
    }

    it_pos1 = iterator_next(it_pos1);
    printf("The iterator it_pos1 now points to the second element: %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_pos1));
    if(iterator_greater(it_pos1, it_pos2))
    {

```

```

        printf("The iterator it_pos1 is greater than the iterator it_pos2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The iterator it_pos1 is less than or "
               "equal to the iterator it_pos2.\n");
    }

    vector_destroy(pvec_v1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The vector v1 is ( 2 4 6 8 10 )
The iterator it_pos1 initially points to the first element: 2
The iterator it_pos1 is less than or equal to the iterator it_pos2.
The iterator it_pos1 now points to the second element: 4
The iterator it_pos1 is greater than the iterator it_pos2.

```

12. iterator_greater_equal

测试第一个迭代器是否大于等于第二个迭代器。

```

bool_t iterator_greater_equal(
    iterator_t it_first,
    iterator_t it_second
);

```

● Parameters

it_first: 第一个迭代器类型。
it_second: 第二个迭代器类型。

● Remarks

it_first 和 it_second 为 random_access_iterator_t 类型，否则程序的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/citerator.h> 或者任何 libcstl 头文件。

● Example

```

/*
 * iterator_greater_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    iterator_t it_vec;

```

```

iterator_t it_pos1;
iterator_t it_pos2;
int i = 0;

if(pvec_v1 == NULL)
{
    return -1;
}

vector_init(pvec_v1);

for(i = 1; i < 6; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i * 2);
}

printf("The vector v1 is ( ");
for(it_vec = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_vec, vector_end(pvec_v1));
    it_vec = iterator_next(it_vec))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_vec));
}
printf(")\n");

/* Initializing iterator_t it_pos1 and it_pos2 to the first element */
it_pos1 = iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 2);
it_pos2 = iterator_next(vector_begin(pvec_v1));

printf("The iterator it_pos1 initially points to the third element: %d\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(it_pos1));
printf("The iterator it_pos2 initially points to the second element: %d\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(it_pos2));
if(iterator_greater_equal(it_pos1, it_pos2))
{
    printf("The iterator it_pos1 is greater than or "
        "equal to the iterator it_pos2.\n");
}
else
{
    printf("The iterator it_pos1 is less than the iterator it_pos2.\n");
}

it_pos1 = iterator_prev(it_pos1);
printf("The iterator it_pos1 now points to the second element: %d\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(it_pos1));
if(iterator_greater_equal(it_pos1, it_pos2))
{
    printf("The iterator it_pos1 is greater than or "
        "equal to the iterator it_pos2.\n");
}

```



```

    }
    else
    {
        printf("The iterator it_pos1 is less than the iterator it_pos2.\n");
    }

    it_pos1 = iterator_prev(it_pos1);
    printf("The iterator it_pos1 now points to the first element: %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_pos1));
    if(iterator_greater_equal(it_pos1, it_pos2))
    {
        printf("The iterator it_pos1 is greater than or "
            "equal to the iterator it_pos2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The iterator it_pos1 is less than the iterator it_pos2.\n");
    }

    vector_destroy(pvec_v1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The vector v1 is ( 2 4 6 8 10 )
The iterator it_pos1 initially points to the third element: 6
The iterator it_pos2 initially points to the second element: 4
The iterator it_pos1 is greater than or equal to the iterator it_pos2.
The iterator it_pos1 now points to the second element: 4
The iterator it_pos1 is greater than or equal to the iterator it_pos2.
The iterator it_pos1 now points to the first element: 2
The iterator it_pos1 is less than the iterator it_pos2.

```

13. iterator_less

测试第一个迭代器是否小于第二个迭代器。

```

bool_t iterator_less(
    iterator_t it_first,
    iterator_t it_second
);

```

● Parameters

it_first: 第一个迭代器类型。
it_second: 第二个迭代器类型。

● Remarks

it_first 和 it_second 为 random_access_iterator_t 类型，否则程序的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/citerator.h> 或者任何 libcstl 头文件。

● Example

```
/*
 * iterator_less.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    iterator_t it_vec;
    iterator_t it_pos1;
    iterator_t it_pos2;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 1; i < 6; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 2);
    }

    printf("The vector v1 is ( ");
    for(it_vec = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_vec, vector_end(pvec_v1));
        it_vec = iterator_next(it_vec))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_vec));
    }
    printf(")\n");

    /* Initializing iterator_t it_pos1 and it_pos2 to the first element */
    it_pos1 = vector_begin(pvec_v1);
    it_pos2 = iterator_next(vector_begin(pvec_v1));

    printf("The iterator it_pos1 initially points to the first element: %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_pos1));
    printf("The iterator it_pos2 initially points to the second element: %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_pos2));
    if(iterator_less(it_pos1, it_pos2))
    {
        printf("The iterator it_pos1 is less than the iterator it_pos2.\n");
    }
    else
```

```

{
    printf("The iterator it_pos1 is greater than or "
           "equal to the iterator it_pos2.\n");
}

it_pos1 = iterator_next(it_pos1);
printf("The iterator it_pos1 now points to the second element: %d\n",
       *(int*)iterator_get_pointer(it_pos1));
if(iterator_less(it_pos1, it_pos2))
{
    printf("The iterator it_pos1 is less than the iterator it_pos2.\n");
}
else
{
    printf("The iterator it_pos1 is greater than or "
           "equal to the iterator it_pos2.\n");
}

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

The vector v1 is ( 2 4 6 8 10 )
The iterator it_pos1 initially points to the first element: 2
The iterator it_pos2 initially points to the second element: 4
The iterator it_pos1 is less than the iterator it_pos2.
The iterator it_pos1 now points to the second element: 4
The iterator it_pos1 is greater than or equal to the iterator it_pos2.

```

14. iterator_less_equal

测试第一个迭代器是否小于等于第二个迭代器。

```

bool_t iterator_less_equal(
    iterator_t it_first,
    iterator_t it_second
);

```

● Parameters

it_first: 第一个迭代器类型。
it_second: 第二个迭代器类型。

● Remarks

it_first 和 it_second 为 random_access_iterator_t 类型，否则程序的行为未定义。

● Requirements

头文件 <cstdlib/citerator.h> 或者任何 libcstdlib 头文件。

● Example

```

/*

```

```

* iterator_less_equal.c
* compile with : -lcstl
*/

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    iterator_t it_vec;
    iterator_t it_pos1;
    iterator_t it_pos2;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 1; i < 6; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 2);
    }

    printf("The vector v1 is ( ");
    for(it_vec = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_vec, vector_end(pvec_v1));
        it_vec = iterator_next(it_vec))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_vec));
    }
    printf(")\n");

    /* Initializing iterator_t it_pos1 and it_pos2 to the first element */
    it_pos1 = iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 2);
    it_pos2 = iterator_next(vector_begin(pvec_v1));

    printf("The iterator it_pos1 initially points to the third element: %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_pos1));
    printf("The iterator it_pos2 initially points to the second element: %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_pos2));
    if(iterator_less_equal(it_pos1, it_pos2))
    {
        printf("The iterator it_pos1 is less than or "
            "equal to the iterator it_pos2.\n");
    }
    else
    {

```

```

        printf("The iterator it_pos1 is greater than the iterator it_pos2.\n");
    }

    it_pos1 = iterator_prev(it_pos1);
    printf("The iterator it_pos1 now points to the second element: %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_pos1));
    if(iterator_less_equal(it_pos1, it_pos2))
    {
        printf("The iterator it_pos1 is less than or "
            "equal to the iterator it_pos2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The iterator it_pos1 is greater than the iterator it_pos2.\n");
    }

    it_pos1 = iterator_prev(it_pos1);
    printf("The iterator it_pos1 now points to the first element: %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_pos1));
    if(iterator_less_equal(it_pos1, it_pos2))
    {
        printf("The iterator it_pos1 is less than or "
            "equal to the iterator it_pos2.\n");
    }
    else
    {
        printf("The iterator it_pos1 is greater than the iterator it_pos2.\n");
    }

    vector_destroy(pvec_v1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The vector v1 is ( 2 4 6 8 10 )
The iterator it_pos1 initially points to the third element: 6
The iterator it_pos2 initially points to the second element: 4
The iterator it_pos1 is greater than the iterator it_pos2.
The iterator it_pos1 now points to the second element: 4
The iterator it_pos1 is less than or equal to the iterator it_pos2.
The iterator it_pos1 now points to the first element: 2
The iterator it_pos1 is less than or equal to the iterator it_pos2.

```

15. iterator_minus

求两个迭代器的差。

```

int iterator_minus(
    iterator_t it_first,
    iterator_t it_second
);

```

- **Parameters**

it_first: 第一个迭代器类型。

it_second: 第二个迭代器类型。

- **Remarks**

it_first 和 it_second 为 random_access_iterator_t 类型，否则程序的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/citerator.h> 或者任何 libcstdlib 头文件。

- **Example**

请参考 iterator_at 操作函数。

16. iterator_next

获得指向下一个数据的迭代器。

```
iterator_t iterator_next(  
    iterator_t it_iter  
);
```

- **Parameters**

it_iter: 迭代器类型。

- **Remarks**

it_iter 为 input_iterator_t, forward_iterator_t, bidirectional_iterator_t, random_access_iterator_t 类型，否则程序的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/citerator.h> 或者任何 libcstdlib 头文件。

- **Example**

```
/*  
 * iterator_next.c  
 * compile with : -lcstdlib  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstdlib/cvector.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);  
    iterator_t it_vec;  
    iterator_t it_pos;  
    int i = 0;  
  
    if(pvec_v1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
}
```

```

vector_init(pvec_v1);

for(i = 0; i < 6; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i * 2);
}

printf("The vector v1 is ( ");
for(it_vec = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_vec, vector_end(pvec_v1));
    it_vec = iterator_next(it_vec))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_vec));
}
printf("\n");

it_pos = vector_begin(pvec_v1);

printf("The iterator it_pos initially points to the first element: %d\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));

it_pos = iterator_next(it_pos);
printf("The iterator it_pos now points to the second element: %d\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));

it_pos = iterator_next_n(it_pos, 3);
printf("The iterator it_pos now points to the fifth element: %d\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));

it_pos = iterator_next_n(it_pos, -2);
printf("The iterator it_pos now points to the third element: %d\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

The vector v1 is ( 0 2 4 6 8 10 )
The iterator it_pos initially points to the first element: 0
The iterator it_pos now points to the second element: 2
The iterator it_pos now points to the fifth element: 8
The iterator it_pos now points to the third element: 4

```

17. iterator_next_n

获得指向下 n 个数据的迭代器。

```

iterator_t iterator_next_n(
    iterator_t it_iter,
    int n_step

```

```
);
```

- **Parameters**

it_iter: 迭代器类型。
n_step: 迭代器向前移动的步数。

- **Remarks**

it_iter 为 random_access_iterator_t 类型，否则程序的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/citerator.h> 或者任何 libcstdlib 头文件。

- **Example**

请参考 iterator_next 操作函数。

18. iterator_not_equal

测试两个迭代器是否不等。

```
bool_t iterator_not_equal(  
    iterator_t it_first,  
    iterator_t it_second  
);
```

- **Parameters**

it_first: 第一个迭代器类型。
it_second: 第二个迭代器类型。

- **Remarks**

it_first 和 it_second 为 input_iterator_t, forward_iterator_t, bidirectional_iterator_t, random_access_iterator_t 类型，否则程序的行为未定义。如果 it_first 和 it_second 类型不同则认为不等。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/citerator.h> 或者任何 libcstdlib 头文件。

- **Example**

```
/*  
 * iterator_not_equal.c  
 * compile with : -lcstdlib  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstdlib/cvector.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);  
    iterator_t it_vec;  
    iterator_t it_pos1;  
    iterator_t it_pos2;  
    int i = 0;  
  
    if(pvec_v1 == NULL)
```



```

{
    return -1;
}

vector_init(pvec_v1);

for(i = 1; i < 6; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i * 2);
}

printf("The vector v1 is ( ");
for(it_vec = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_vec, vector_end(pvec_v1));
    it_vec = iterator_next(it_vec))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_vec));
}
printf("\n");

/* Initializing iterator_t it_pos1 and it_pos2 to the first element */
it_pos1 = vector_begin(pvec_v1);
it_pos2 = vector_begin(pvec_v1);

printf("The iterator it_pos1 initially points to the first element: %d\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(it_pos1));
if(iterator_not_equal(it_pos1, it_pos2))
{
    printf("The iterators are not equal.\n");
}
else
{
    printf("The iterators are equal.\n");
}

it_pos1 = iterator_next(it_pos1);
printf("The iterator it_pos1 now points to the second element: %d\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(it_pos1));
if(iterator_not_equal(it_pos1, it_pos2))
{
    printf("The iterators are not equal.\n");
}
else
{
    printf("The iterators are equal.\n");
}

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```
The vector v1 is ( 2 4 6 8 10 )
The iterator it_pos1 initially points to the first element: 2
The iterators are equal.
The iterator it_pos1 now points to the second element: 4
The iterators are not equal.
```

19. iterator_prev

获得指向前一个数据的迭代器。

```
iterator_t iterator_prev(
    iterator_t it_iter
);
```

● Parameters

it_iter: 迭代器类型。

● Remarks

it_iter 为 `bidirectional_iterator_t`, `random_access_iterator_t` 类型, 否则程序的行为未定义。

● Requirements

头文件 `<cstl/citerator.h>` 或者任何 `libcstl` 头文件。

● Example

```
/*
 * iterator_prev.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    iterator_t it_vec;
    iterator_t it_pos;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 0; i < 6; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 2);
    }
}
```

```

printf("The vector v1 is ( ");
for(it_vec = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_vec, vector_end(pvec_v1));
    it_vec = iterator_next(it_vec))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_vec));
}
printf("\n");

it_pos = iterator_prev(vector_end(pvec_v1));

printf("The iterator it_pos initially points to the last element: %d\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));

it_pos = iterator_prev(it_pos);
printf("The iterator it_pos now points to the fifth element: %d\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));

it_pos = iterator_prev_n(it_pos, 3);
printf("The iterator it_pos now points to the second element: %d\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));

it_pos = iterator_prev_n(it_pos, -2);
printf("The iterator it_pos now points to the fourth element: %d\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

The vector v1 is ( 0 2 4 6 8 10 )
The iterator it_pos initially points to the last element: 10
The iterator it_pos now points to the fifth element: 8
The iterator it_pos now points to the second element: 2
The iterator it_pos now points to the fourth element: 6

```

20. iterator_prev_n

返回指向前 n 个数据的迭代器。

```

iterator_t iterator_prev_n(
    iterator_t it_iter,
    int n_step
);

```

● Parameters

it_iter: 迭代器类型。
n_step: 迭代器向前移动的步数。

● Remarks

it_iter 为 random_access_iterator_t 类型，否则程序的行为未定义。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/citerator.h> 或者任何 libcstdlib 头文件。

- **Example**

请参考 iterator_prev 操作函数。

21. iterator_set_value

设置迭代器指向的数据。

```
void iterator_set_value(  
    iterator_t it_iter,  
    const void* cpv_value  
);
```

- **Parameters**

it_iter: 迭代器类型。

cpv_value: 要设置的数据内容。

- **Remarks**

it_iter 为 output_iterator_t, forward_iterator_t, bidirectional_iterator_t, random_access_iterator_t 类型，否则程序的行为未定义。不能使用 iterator_set_value 操作修改关联容器中的数据值。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/citerator.h> 或者任何 libcstdlib 头文件。

- **Example**

```
/*  
 * iterator_set_value.c  
 * compile with : -lcstdlib  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstdlib/cvector.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);  
    iterator_t it_vec;  
    iterator_t it_pos;  
    int n_value = 0;  
    int i = 0;  
  
    if(pvec_v1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    vector_init(pvec_v1);  
  
    for(i = 0; i < 6; ++i)
```

```

{
    vector_push_back(pvec_v1, i * 2);
}

printf("The vector v1 is ( ");
for(it_vec = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_vec, vector_end(pvec_v1));
    it_vec = iterator_next(it_vec))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_vec));
}
printf("\n");

it_pos = vector_begin(pvec_v1);
n_value = 100;
iterator_set_value(it_pos, &n_value);

it_pos = iterator_next_n(it_pos, 3);
n_value = -999;
iterator_set_value(it_pos, &n_value);

printf("After setting value, the vector v1 is ( ");
for(it_vec = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_vec, vector_end(pvec_v1));
    it_vec = iterator_next(it_vec))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_vec));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

The vector v1 is ( 0 2 4 6 8 10 )
After setting value, the vector v1 is ( 100 2 4 -999 8 10 )

```

第二节 迭代器辅助函数

迭代器辅助函数为所有类型的迭代器提供了只有 `random_access_iterator_t` 类型才能使用的操作函数，如一次迭代多步和获得迭代器之间的距离。

● Operation Functions

<code>iterator_advance</code>	第一迭代多步。
<code>iterator_distance</code>	获得两个迭代器之间的距离。

1. iterator_advance

一次迭代多步。

```
iterator_t iterator_advance(  
    iterator_t it_iter,  
    int n_step  
);
```

- **Parameters**

it_iter: 迭代器类型。

n_step: 迭代器向前移动的步数。

- **Remarks**

it_iter 所有类型的迭代器，但是如果只有 bidirectional_iterator_t 和 random_iterator_t 可以使用负值，其他类型迭代器使用负值将使用绝对值代替。

- **Requirements**

头文件 <cstl/iterator.h> 或者任何 libcstl 头文件。

- **Example**

```
/*  
 * iterator_advance.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/clist.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    list_t* plist_l1 = create_list(int);  
    iterator_t it_l;  
    iterator_t it_pos;  
    int i = 0;  
  
    if(plist_l1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    list_init(plist_l1);  
  
    for(i = 0; i < 10; ++i)  
    {  
        list_push_back(plist_l1, i);  
    }  
  
    printf("The list is ( ");  
    for(it_l = list_begin(plist_l1);  
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));  
        it_l = iterator_next(it_l))  
    {
```

```

    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_1));
}
printf("\n");

it_pos = list_begin(plist_11);
printf("The iterator it_pos initinally points to the first element: %d\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));

it_pos = iterator_advance(it_pos, 4);
printf("The iterator it_pos is advanced 4 steps forward to "
    "point to the fifth element: %d\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));

it_pos = iterator_advance(it_pos, -3);
printf("The iterator it_pos is moved 3 steps backward to "
    "point to the second element: %d\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));

list_destroy(plist_11);

return 0;
}

```

● Output

```

The list is ( 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 )
The iterator it_pos initinally points to the first element: 0
The iterator it_pos is advanced 4 steps forward to point to the fifth element: 4
The iterator it_pos is moved 3 steps backward to point to the second element: 1

```

2. iterator_distance

计算两个迭代器的距离。

```

int iterator_distance(
    iterator_t it_first,
    iterator_t it_second
);

```

● Parameters

it_first: 第一个迭代器类型。
it_second: 第二个迭代器类型。

● Remarks

it_first 和 it_second 为所有迭代器类型。

● Requirements

头文件 <cstl/citerator.h> 或者任何 libcstl 头文件。

● Example

```

/*
 * iterator_distance.c
 * compile with : -lcstl

```

```

*/

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    iterator_t it_l;
    iterator_t it_pos;
    int i = 0;

    if(plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);

    for(i = -1; i < 10; ++i)
    {
        list_push_back(plist_l1, i * 2);
    }

    printf("The list is ( ");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf(")\n");

    it_pos = list_begin(plist_l1);
    printf("The iterator it_pos initinally points to the first element: %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));

    it_pos = iterator_advance(it_pos, 7);
    printf("The iterator it_pos is advanced 4 steps forward to "
        "point to the eighth element: %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));

    printf("The distance from list_begin to it_pos is: %d\n",
        iterator_distance(list_begin(plist_l1), it_pos));

    list_destroy(plist_l1);

    return 0;
}

```

● Output

```
The list is ( -2 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 )
```



```
The iterator it_pos initinally points to the first element: -2
The iterator it_pos is advanced 4 steps forward to point to the eighth element: 12
The distance from list_begin to it_pos is: 7
```

第四章 算法

libcstl 提供的算法是通用的，它能够处理多种容器中的数据，这些处理过程是通过操作容器的迭代器来实现的。算法以迭代器组成的数据区间为对象，对其进行相应的操作。对于不同类型的容器，它的迭代器的种类不同，算法对于这些组成数据区间的迭代器类型是有要求的，迭代器的能力关系是：

random_access_iterator_t > bidirectional_iterator_t > forward_iterator_t > input_iterator_t/output_iterator_t
input_iterator_t 和 output_iterator_t 的能力属于同一个等级，但是能力是不同的。能力等级高的迭代器类型支持能力等级低的迭代器类型的所有操作，例如 bidirectional_iterator_t 支持所有 forward_iterator_t 的操作，此外它还支持一些后者不支持的操作，所以对于算法来说，一个算法要求一种类型的迭代器时，所有高于这个迭代器类型的迭代器都可以支持这个算法，例如一个算法支持 input_iterator_t，那么 random_access_iterator_t， bidirectional_iterator_t， forward_iterator_t 同样支持这个算法，但是 output_iterator_t 不支持这个算法。下面给出的算法函数原型的参数都是算法支持的能力最低的迭代器类型。

为了提供算法的可扩展行，同一个算法通常有几个变形，一个算法带有不同的后缀表示它们的功能有所不同：

- `_if` 后缀，为算法提供一个可扩展的版本，要求使用者提供一个自定义的规则，算法使用这个规则来代替默认的规则。例如 `algo_find_if` 在数据区间中查找满足指定规则的数据，而不是相等的数据。
- `_copy` 后缀，将算法的结果拷贝到目的数据区间，而不修改源数据。这样的算法返回目的数据区间中被覆盖的数据的末尾。

根据功能算法可以分为多个组，有些算法修改数据，有些算法不修改数据，有些算法只修改数据的顺序等等。最基本的算法使用默认的规则实现，这些默认规则通常是数据类型的小于操作函数。此外由于某些容器中的数据不能够被修改，如关联容器，那么修改数据的算法不能够应用到这些数据的迭代器构成的数据区间上。有些算法的功能，某些容器些提供了相应的操作函数，而且容器提供的操作函数效率更好，因为它们熟知容器内部结构，所以在使用这些算法的时候要有些考虑能否通过容器操作实现。

libcstl 提供通用的算法和数值算法，它们分别在 `<cstl/calgorithm.h>` 和 `<cstl/numeric.h>` 中声明。

第一节 通用算法

大部分算法使用数据类型的小于操作函数作为默认的比较规则，有些算法要求使用数据类型的等于操作函数作为默认的比较规则，如果数据类型没有提供等于操作函数，那么算法使用小于比较函数代替等于比较函数，如果数据类型没有提供小于比较函数，算法使用默认的比较规则进行比较。当算法要求输入自定的比较规则时，用户输入 `NULL`，算法使用默认的比较规则。

● Algorithm Functions

<code>algo_adjacent_find</code>	查找数据区间中两个相邻相等的数据。
<code>algo_adjacent_find_if</code>	查找数据区间中两个相邻并且符合指定规则的数据。
<code>algo_binary_search</code>	在使用默认比较规则排序的数据区间中查找指定数据。
<code>algo_binary_search_if</code>	在使用指定比较规则排序的数据区间中查找指定数据。
<code>algo_copy</code>	向目的数据区间中拷贝数据。
<code>algo_copy_backward</code>	以逆序的方式向目的数据区间拷贝数据。
<code>algo_copy_n</code>	向目的数据区间拷贝 <code>n</code> 个数据。
<code>algo_count</code>	统计数据区间中指定数据的个数。

algo_count_if	统计数据区间中符合指定规则的数据的个数。
algo_equal	测试两个数据区间是否相等。
algo_equal_if	使用指定规则测试两个数据区间是否相等。
algo_equal_range	返回使用默认比较规则排序的数据区间中包含指定数据的范围。
algo_equal_range_if	返回使用指定比较规则排序的数据区间中包含指定数据的范围。
algo_fill	使用指定数据填充数据区间。
algo_fill_n	使用指定的数据向数据区间中填充 n 个数据。
algo_find	在数据区间中查找指定的数据。
algo_find_end	在数据区间中查找最后一个出现的子数据区间。
algo_find_end_if	在数据区间中查找最有一个符合指定规则的子数据区间。
algo_find_first_of	在数据区间中查找第一个同时出现在第二个数据区间中的数据。
algo_find_first_of_if	在数据区间中查找第一个与第二个数据区间中任意数据满足指定规则的数据。
algo_find_if	在数据区间中查找满足指定规则的数据。
algo_for_each	对数据区间中的每一个数据执行指定的规则。
algo_generate	使用指定的规则产生的数据填充数据区间。
algo_generate_n	使用指定的规则产生的数据填充数据区间中的 n 个数据。
algo_includes	测试第一个有序数据区间中是否包含第二个有序数据区间的全部数据。
algo_includes_if	测试第一个使用指定比较规则排序的数据区间是否包含第二个使用指定比较规则排序的数据区间中所有的数据。
algo_inplace_merge	合并一个数据区间中的两个有序部分。
algo_inplace_merge_if	合并一个数据区间中两个使用指定比较规则排序的部分。
algo_is_heap	测试一个数据区间是否为堆。
algo_is_heap_if	测试一个数据区间是否为符合指定规则的堆。
algo_is_sorted	测试一个数据区间是否有序。
algo_is_sorted_if	测试一个数据区间是否是符合指定比较规则的有序区间。
algo_iter_swap	交换两个迭代器所指的数据内容。
algo_lexicographical_compare	将两个数据区间进行字典顺序比较。
algo_lexicographical_compare_3way	将两个数据区间进行字典顺序比较，返回 3 种结果。
algo_lexicographical_compare_3way_if	将两个数据区间依指定规则按照字典顺序比较，返回 3 种结果。
algo_lexicographical_compare_if	将两个数据区间依指定顺序按照字典顺序比较。
algo_lower_bound	在有序的数据区间中查找第一个等于指定数据的位置。
algo_lower_bound_if	在使用指定比较规则排序的数据区间中查找第一个等于指定数据的位置。
algo_make_heap	将一个数据区间转换成堆。
algo_make_heap_if	将一个数据区间转换成符合指定规则的堆。
algo_max	比较两个迭代器指向的数据，返回大的数据的迭代器。
algo_max_element	返回指向数据区间中最大的数据的迭代器。
algo_max_element_if	使用指定规则比较，返回指向数据区间中最大的数据的迭代器。
algo_max_if	使用指定的比较规则比较两个迭代器指向的数据，返回大的数据的迭代器。

algo_merge	合并两个有序数据区间。
algo_merge_if	合并两个使用指定比较规则排序的数据区间。
algo_min	比较两个迭代器所指的数据，返回较小的数据的迭代器。
algo_min_element	返回数据区间中指向最小数据的迭代器。
algo_min_element_if	使用指定的比较规则，返回数据区间中指向最小数据的迭代器。
algo_min_if	使用指定的比较规则比较两个迭代器指向的数据，返回较小的数据的迭代器。
algo_mismatch	返回两个数据区间中不等的数据迭代器对。
algo_mismatch_if	使用指定的比较规则，返回两个数据区间中不等的数据迭代器对。
algo_next_permutation	返回数据区间的下一个的排列。
algo_next_permutation_if	使用指定的比较规则，返回数据区间的下一个排列。
algo_nth_element	以第 n 个数据为界限将数据区间范围小于 n 和大于 n 的两部分。
algo_nth_element_if	以第 n 个数据为界限使用指定的比较规则将数据区间分为小于 n 和大于 n 的两部分。
algo_partial_sort	将数据区间部分排序。
algo_partial_sort_copy	将数据区间部分排序，将结果拷贝到目的数据区间。
algo_partial_sort_copy_if	使用指定比较规则将数据区间部分排序，将结果拷贝到目的数据区间。
algo_partial_sort_if	使用指定比较规则将数据区间部分排序。
algo_partition	按照指定规则将数据分为两部分。
algo_pop_heap	将堆中优先级最高的数据移除。
algo_pop_heap_if	将符合指定规则的堆中优先级最高的数据移除。
algo_prev_permutation	返回当前数据区间的上一个排列。
algo_prev_permutation_if	使用指定规则，返回当前数据区间的上一个排列。
algo_push_heap	向堆中添加一个数据。
algo_push_heap_if	向符合指定规则的堆中添加一个数据。
algo_random_sample	将数据区间中的数据随机抽样。
algo_random_sample_if	使用指定函数产生随机数，将数据区间中的数据随机抽样。
algo_random_sample_n	将数据区间中的数据随机抽出 n 个数据。
algo_random_sample_n_if	使用指定函数产生随机数，将数据区间中的数据随机抽样。
algo_random_shuffle	将数据区间中的数据随机重排。
algo_random_shuffle_if	使用指定的函数产生随机数，将数据区间中的数据随机重排。
algo_remove	移除数据区间中的指定数据。
algo_remove_copy	移除数据区间中的指定数据，将结果拷贝到目的数据区间中。
algo_remove_copy_if	移除数据区间中符合指定规则的数据，将结果拷贝到目的数据区间中。
algo_remove_if	移除数据区间中符合指定规则的数据。
algo_replace	替换数据区间中指定的数据。
algo_replace_copy	替换数据区间中指定的数据，并将结果拷贝到目的数据区间中。
algo_replace_copy_if	替换数据区间中符合指定规则的数据，将结果拷贝到目的数据区间中。
algo_replace_if	替换数据区间中符合指定规则的数据。

algo_reverse	将数据区间中的数据逆序。
algo_reverse_copy	将数据区间中的数据逆序，并将结果拷贝到目的数据区间中。
algo_rotate	将数据区间中的两部分数据调换。
algo_rotate_copy	将数据区间中的两部分数据调换，将结果拷贝到目的数据区间中。
algo_search	在数据区间中查找子数据区间。
algo_search_end	在数据区间中查找最后一个子数据区间。
algo_search_end_if	在数据区间中查找最后一个符合指定规则的子数据区间。
algo_search_if	在数据区间中查找符合指定规则的子数据区间。
algo_search_n	在数据区间中查找连续 n 个指定数据。
algo_search_n_if	在数据区间中查找连续 n 个符合指定规则的数据。
algo_set_difference	求两个数据区间的差集。
algo_set_difference_if	按照指定规则求两个数据区间的差集。
algo_set_intersection	求两个数据区间的交集。
algo_set_intersection_if	按照指定规则求两个数据区间的交集。
algo_set_symmetric_difference	求两个数据区间的对称差集。
algo_set_symmetric_difference_if	按照指定规则求两个数据区间的对称差集。
algo_set_union	求两个数据区间的并集。
algo_set_union_if	按照指定规则求两个数据区间的并集。
algo_sort	将数据区间排序。
algo_sort_heap	将堆转化成有序的数据区间。
algo_sort_heap_if	将符合指定规则的对转化成有序的数据区间。
algo_sort_if	按照指定规则将数据区间中的数据排序。
algo_stable_sort	将数据区间中的数据进行稳定排序。
algo_stable_sort_if	将数据区间中的数据按照指定规则进行稳定排序。
algo_stable_partition	将数据区间中的数据进行稳定的划分。
algo_swap	交换两个迭代器所指的数据内容。
algo_swap_ranges	交换两个数据区间中的数据。
algo_transform	将数据区间中的数据按照指定规则转换到目的数据区间。
algo_transform_binary	将两个数据区间中的数据按照指定规则转换到目的数据区间。
algo_unique	将数据区间中相邻且相等的数据移除。
algo_unique_copy	将数据区间中相邻且相等的数据移除并拷贝到目的数据区间。
algo_unique_copy_if	将数据区间中相邻且符合指定规则的数据移除并将结果拷贝到目的数据区间。
algo_unique_if	将数据区间中相邻且符合指定规则的数据移除。
algo_upper_bound	返回有序数据区间中第一个大于指定数据的位置。
algo_upper_bound_if	返回按照指定规则排序的数据区间中第一个大于指定数据的位置。

1. algo_adjacent_find algo_adjacent_find_if

查找数据区间中相邻且符合指定规则的数据位置。

```
forward_iterator_t algo_adjacent_find(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last
);

forward_iterator_t algo_adjacent_find_if(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last,
    binary_function_t bfun_op
);
```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
bfun_op: 比较函数。

● Remarks

返回数据区间中第一对相邻且符合规则的第一个数据的迭代器。
这个算法默认使用数据类型的等于操作函数。

● Requirements

头文件 <cstdlib/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_adjacent_find.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/clist.h>
#include <cstdlib/calgorithm.h>

static void _twice(const void* cpv_first, const void* cpv_second, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_iterator_t it_l;

    if(plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);

    list_push_back(plist_l1, 50);
    list_push_back(plist_l1, 40);
    list_push_back(plist_l1, 10);
```

```

list_push_back(plist_l1, 20);
list_push_back(plist_l1, 20);

printf("list l1 = ( ");
for(it_l = list_begin(plist_l1);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf(")\n");

it_l = algo_adjacent_find(list_begin(plist_l1), list_end(plist_l1));
if(iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1)))
{
    printf("There are not two adjacent elements that are equal.\n");
}
else
{
    printf("There are two adjacent elements that are equal.\n"
        "They have a value of %d.\n", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}

it_l = algo_adjacent_find_if(list_begin(plist_l1), list_end(plist_l1), _twice);
if(iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1)))
{
    printf("There are not two adjacent elements "
        "where the second is twice the first.\n");
}
else
{
    printf("There are two adjacent elements "
        "where the second is twice the first.\n"
        "They have values of %d & %d.\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_l),
        *(int*)iterator_get_pointer(iterator_next(it_l)));
}

list_destroy(plist_l1);

return 0;
}

static void _twice(const void* cpv_first, const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = *(int*)cpv_first * 2 == *(int*)cpv_second ? true : false;
}

```

● Output

```

list l1 = ( 50 40 10 20 20 )
There are two adjacent elements that are equal.

```


They have a value of 20.
There are two adjacent elements where the second is twice the first.
They have values of 10 & 20.

2. algo_binary_search algo_binary_search_if

在有序的数据区间中查找符合规则的数据。

```
bool_t algo_binary_search(  
    forward_iterator_t it_first,  
    forward_iterator_t it_last,  
    element  
);  
  
bool_t algo_binary_search_if(  
    forward_iterator_t it_first,  
    forward_iterator_t it_last,  
    element,  
    binary_function_t bfun_op  
);
```

- **Parameters**

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
element: 指定的数据。
bfun_op: 比较函数。

- **Remarks**

有序的数据区间中包含之地的数据返回 true 否则返回 false。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/algorithm.h>。

- **Example**

```
/*  
 * algo_binary_search.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstdlib/cvector.h>  
#include <cstdlib/clist.h>  
#include <cstdlib/calgorithm.h>  
#include <cstdlib/cfunctional.h>  
  
/* Return whether modulus of elem1 is less than modulus of elem2 */  
static void _mod_lesser(const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second, void* pv_output);  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    list_t* plist_l1 = create_list(int);  
    list_iterator_t it_l;  
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
```

```

vector_iterator_t it_v;
int i = 0;

if(plist_l1 == NULL || pvec_v1 == NULL)
{
    return -1;
}

list_init(plist_l1);
vector_init(pvec_v1);

list_push_back(plist_l1, 50);
list_push_back(plist_l1, 10);
list_push_back(plist_l1, 30);
list_push_back(plist_l1, 20);
list_push_back(plist_l1, 25);
list_push_back(plist_l1, 5);
list_sort(plist_l1);

printf("l1 = ( ");
for(it_l = list_begin(plist_l1);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf(")\n");

if(algo_binary_search(list_begin(plist_l1), list_end(plist_l1), 10))
{
    printf("There is an element in list l1 with a value equal to 10.\n");
}
else
{
    printf("There is no element in list l1 with a value equal to 10.\n");
}

/* a binary_search under the binary predicate greater */
list_sort_if(plist_l1, fun_greater_int);
if(algo_binary_search_if(list_begin(plist_l1),
    list_end(plist_l1), 10, fun_greater_int))
{
    printf("There is an element in list l1 "
        "with a value equal to 10 under greater than.\n");
}
else
{
    printf("There is no element in list l1 "
        "with a value equal to 10 under greater than.\n");
}

```



```

/* a binary_search under the user-defined binary predicate mod_lessor */
for(i = -2; i <= 4; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i);
}
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), _mod_lessor);

printf("Ordred under mod_lessor, vector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

if(algo_binary_search_if(vector_begin(pvec_v1),
    vector_end(pvec_v1), -3, _mod_lessor))
{
    printf("There is an element with a value equal to -3 under mod_lessor.\n");
}
else
{
    printf("There is no element with a value equal to -3 under mod_lessor.\n");
}

list_destroy(plist_l1);
vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

static void _mod_lessor(const void* cpv_first,
    const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = abs(*(int*)cpv_first) < abs(*(int*)cpv_second) ?
        true : false;
}

```

● Output

```

l1 = ( 5 10 20 25 30 50 )
There is an element in list l1 with a value equal to 10.
There is an element in list l1 with a value equal to 10 under greater than.
Ordred under mod_lessor, vector v1 = ( 0 -1 1 -2 2 3 4 )
There is an element with a value equal to -3 under mod_lessor.

```

3. algo_copy

将数据区间中的数据拷贝到目的数据区间中。

```
output_iterator_t algo_copy(
```

```
input_iterator_t it_first,
input_iterator_t it_last,
output_iterator_t it_result
);
```

- **Parameters**

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
it_result: 目的数据区间开始位置。

- **Remarks**

返回目的数据区间中拷贝数据的末尾。

目的数据区间必须至少和源数据区间一样大，否则程序的行为是未定义的。此外关联容器不能作为目的数据区间。

- **Requirements**

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

- **Example**

```
/*
 * algo_copy.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);

    for(i = 0; i < 6; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 10);
    }
    for(i = 0; i < 11; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v2, i * 3);
    }
}
```

```

printf("v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");
printf("v2 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* To copy the first 3 elements of v1 into the middle of v2 */
algo_copy(vector_begin(pvec_v1), iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 3),
    iterator_next_n(vector_begin(pvec_v2), 4));
printf("v2 with v1 insert = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* To shift the elements inserted into v2 two positions to the left */
algo_copy(iterator_next_n(vector_begin(pvec_v2), 4),
    iterator_next_n(vector_begin(pvec_v2), 7),
    iterator_next_n(vector_begin(pvec_v2), 2));
printf("v2 with shifted insert = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2);

return 0;
}

```

● Output

```
v1 = ( 0 10 20 30 40 50 )
```

```
v2 = ( 0 3 6 9 12 15 18 21 24 27 30 )  
v2 with v1 insert = ( 0 3 6 9 0 10 20 21 24 27 30 )  
v2 with shifted insert = ( 0 3 0 10 20 10 20 21 24 27 30 )
```

4. algo_copy_backward

以逆序的方式向目的数据区间中拷贝数据。

```
bidirectional_iterator_t algo_copy_backward(  
    bidirectional_iterator_t it_first,  
    bidirectional_iterator_t it_last,  
    bidirectional_iterator_t it_result  
);
```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
it_result: 目的数据区间开始位置。

● Remarks

返回目的数据区间中拷贝数据的末尾。

目的数据区间必须至少和源数据区间一样大，否则程序的行为是未定义的。此外关联容器不能作为目的数据区间。

● Requirements

头文件 <cstdlib/calgorithm.h>。

● Example

```
/*  
 * algo_copy_backward.c  
 * compile with : -lcstdl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstdl/cvector.h>  
#include <cstdl/calgorithm.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);  
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);  
    vector_iterator_t it_v;  
    int i = 0;  
  
    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    vector_init(pvec_v1);  
    vector_init(pvec_v2);  
  
    for(i = 0; i < 6; ++i)
```

```

{
    vector_push_back(pvec_v1, i * 10);
}
for(i = 0; i < 11; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v2, i * 3);
}

printf("v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");
printf("v2 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

/* To copy the first 3 elements of v1 into the middle of v2 */
algo_copy_backward(vector_begin(pvec_v1),
    iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 3),
    iterator_next_n(vector_begin(pvec_v2), 7));
printf("v2 with v1 insert = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

/* To shift the elements inserted into v2 two positions to the left */
algo_copy_backward(iterator_next_n(vector_begin(pvec_v2), 4),
    iterator_next_n(vector_begin(pvec_v2), 7),
    iterator_next_n(vector_begin(pvec_v2), 9));
printf("v2 with shifted insert = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

```

```

vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2);

return 0;
}

```

● Output

```

v1 = ( 0 10 20 30 40 50 )
v2 = ( 0 3 6 9 12 15 18 21 24 27 30 )
v2 with v1 insert = ( 0 3 6 9 0 10 20 21 24 27 30 )
v2 with shifted insert = ( 0 3 6 9 0 10 0 10 20 27 30 )

```

5. algo_copy_n

向目的数据区间中拷贝 n 个数据。

```

output_iterator_t algo_copy_n(
    input_iterator_t it_first,
    size_t t_count,
    output_iterator_t it_result
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
t_count: 拷贝的数据的个数。
it_result: 目的数据区间开始位置。

● Remarks

返回目的数据区间中拷贝数据的末尾。

源数据区间和目的数据区间必须至少包含 n 个数据，否则程序的行为是未定义的。此外关联容器不能作为目的的数据区间。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```

/*
 * algo_copy_n.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

```

```

if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL)
{
    return -1;
}

vector_init(pvec_v1);
vector_init(pvec_v2);

for(i = 0; i < 6; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i * 10);
}
for(i = 0; i < 11; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v2, i * 3);
}

printf("v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");
printf("v2 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

/* To copy the first 3 elements of v1 into the middle of v2 */
algo_copy_n(vector_begin(pvec_v1), 3,
    iterator_next_n(vector_begin(pvec_v2), 4));
printf("v2 with v1 insert = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

/* To shift the elements inserted into v2 two positions to the left */
algo_copy_n(iterator_next_n(vector_begin(pvec_v2), 4), 3,
    iterator_next_n(vector_begin(pvec_v2), 2));
printf("v2 with shifted insert = ( ");

```

```

for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2);

return 0;
}

```

● Output

```

v1 = ( 0 10 20 30 40 50 )
v2 = ( 0 3 6 9 12 15 18 21 24 27 30 )
v2 with v1 insert = ( 0 3 6 9 0 10 20 21 24 27 30 )
v2 with shifted insert = ( 0 3 0 10 20 10 20 21 24 27 30 )

```

6. algo_count

统计数据区间中指定数据的个数。

```

size_t algo_count(
    input_iterator_t it_first,
    input_iterator_t it_last,
    element
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
element: 指定的数据。

● Remarks

返回目的数据区间中包含指定数据的个数。
 这个算法默认使用数据类型的等于操作函数。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```

/*
 * algo_count.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

```



```

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    vector_push_back(pvec_v1, 10);
    vector_push_back(pvec_v1, 20);
    vector_push_back(pvec_v1, 10);
    vector_push_back(pvec_v1, 40);
    vector_push_back(pvec_v1, 10);

    printf("v1 = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    printf("The number of 10s in v1 is: %u.\n",
        algo_count(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), 10));

    vector_destroy(pvec_v1);

    return 0;
}

```

● Output

```

v1 = ( 10 20 10 40 10 )
The number of 10s in v1 is: 3.

```

7. algo_count_if

统计数据区间中包含符合指定规则的数据的个数。

```

size_t algo_count_if(
    input_iterator_t it_first,
    input_iterator_t it_last,
    unary_function_t ufun_op
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。

ufun_op: 指定的函数。

- **Remarks**

返回目的数据区间中包含指定数据的个数。

- **Requirements**

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

- **Example**

```
/*
 * algo_count_if.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

static void _greater10(const void* cpv_input, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    vector_push_back(pvec_v1, 10);
    vector_push_back(pvec_v1, 20);
    vector_push_back(pvec_v1, 10);
    vector_push_back(pvec_v1, 40);
    vector_push_back(pvec_v1, 10);

    printf("v1 = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    printf("The number of elements in v1 greater than 10 is: %u.\n",
        algo_count_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), _greater10));

    vector_destroy(pvec_v1);

    return 0;
}
```

```

}

static void _greater10(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = *(int*)cpv_input > 10 ? true : false;
}

```

● Output

```

v1 = ( 10 20 10 40 10 )
The number of elements in v1 greater than 10 is: 2.

```

8. algo_equal algo_equal_if

测试两个数据区间是否相等。

```

bool_t algo_equal(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    input_iterator_t it_first2
);

bool_t algo_equal_if(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    input_iterator_t it_first2,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

it_first1: 第一个数据区间的开始位置。
it_last1: 第一个数据区间的末尾位置。
it_first2: 第二个数据区间的开始位置。
bfun_op: 比较函数。

● Remarks

如果第一个数据区间中的数据和第二个数据区间中的对应的数据都满足指定的比较规则，返回 `true` 否则返回 `false`。第二个数据区间必须至少和第一个数据区间一样大。这个算法默认使用类型的等于操作函数。

● Requirements

头文件 `<cstl/calgorithm.h>`。

● Example

```

/*
 * algo_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

static void _twice(const void* cpv_first, const void* cpv_second, void* pv_output);

```

```

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    bool_t b_result = false;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || pvec_v3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);
    vector_init(pvec_v3);

    for(i = 0; i < 6; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 5);
        vector_push_back(pvec_v2, i * 5);
        vector_push_back(pvec_v3, i * 10);
    }

    printf("v1 = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    printf("v2 = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    printf("v3 = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v3);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v3));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");
}

```

```

/* Test v1 and v2 for equality under identity */
if(algo_equal(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
    vector_begin(pvec_v2)))
{
    printf("The vectors v1 and v2 are equal under equality.\n");
}
else
{
    printf("The vectors v1 and v2 are not equal under equality.\n");
}

/* Test v1 and v3 for equality under identity */
if(algo_equal(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
    vector_begin(pvec_v3)))
{
    printf("The vectors v1 and v3 are equal under equality.\n");
}
else
{
    printf("The vectors v1 and v3 are not equal under equality.\n");
}

/* Test v1 and v3 for equality under twice */
if(algo_equal_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
    vector_begin(pvec_v3), _twice))
{
    printf("The vectors v1 and v3 are equal under twice.\n");
}
else
{
    printf("The vectors v1 and v3 are not equal under twice.\n");
}

vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2);
vector_destroy(pvec_v3);

return 0;
}

static void _twice(const void* cpv_first, const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = *(int*)cpv_first * 2 == *(int*)cpv_second ? true : false;
}

```

● Output

```

v1 = ( 0 5 10 15 20 25 )
v2 = ( 0 5 10 15 20 25 )
v3 = ( 0 10 20 30 40 50 )
The vectors v1 and v2 are equal under equality.
The vectors v1 and v3 are not equal under equality.

```

The vectors v1 and v3 are equal under twice.

9. algo_equal_range algo_equal_range_if

返回有序数据区间中等于指定数据的范围。

```
range_t algo_equal_range(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last,
    element
);

range_t algo_equal_range_if(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last,
    element
    binary_function_t bfun_op
);
```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
element: 指定的数据。
bfun_op: 比较函数。

● Remarks

返回一个范围，范围的开始是数据区间中第一个等于指定数据的位置，末尾是第一个大于指定数据的位置，如果数据区间中不包含该数据这个范围为空，如果数据区间中没有大于等于指定数据，那么范围的开始和末尾都指向数据区间的末尾。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_equal_range.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

/* Return whether modulus of elem1 is less than modulus of elem2 */
static void _mod_lesser(const void* cpv_first,
    const void* cpv_second, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3 = create_vector(int);
```

```

vector_iterator_t it_v;
range_t r_result;
int i = 0;

if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || pvec_v3 == NULL)
{
    return -1;
}

vector_init(pvec_v1);
vector_init(pvec_v2);
vector_init(pvec_v3);

for(i = -1; i <= 4; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i);
}
for(i = -3; i <= 0; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i);
}

algo_sort(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
printf("Original vector v1 with range sorted by the "
       "binary predicate less than is v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

vector_assign(pvec_v2, pvec_v1);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v2), vector_end(pvec_v2), fun_greater_int);
printf("Original vector v2 with range sorted by the "
       "binary predicate greater than is v2 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

vector_assign(pvec_v3, pvec_v1);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v3), vector_end(pvec_v3), _mod_lesser);
printf("Original vector v3 with range sorted by the "
       "binary predicate greater than is v3 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v3);

```

```

    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v3));
    it_v = iterator_next(it_v)
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* equal_range of 3 in v1 with default binary predicate less than */
r_result = algo_equal_range(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), 3);
printf("The lower_bound in v1 for the element with a value of 3 is: %d.\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(r_result.it_begin));
printf("The upper_bound in v1 for the element with a value of 3 is: %d.\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(r_result.it_end));
printf("The equal_range in v1 for the element with a value of 3 is: ( ");
for(it_v = r_result.it_begin;
    !iterator_equal(it_v, r_result.it_end);
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* equal_range of 3 in v2 with the binary predicate greater than */
r_result = algo_equal_range_if(vector_begin(pvec_v2),
    vector_end(pvec_v2), 3, fun_greater_int);
printf("The lower_bound in v2 for the element with a value of 3 is: %d.\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(r_result.it_begin));
printf("The upper_bound in v2 for the element with a value of 3 is: %d.\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(r_result.it_end));
printf("The equal_range in v2 for the element with a value of 3 is: ( ");
for(it_v = r_result.it_begin;
    !iterator_equal(it_v, r_result.it_end);
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* equal_range of 3 in v3 with the binary predicate _mod_lesser */
r_result = algo_equal_range_if(vector_begin(pvec_v3),
    vector_end(pvec_v3), 3, _mod_lesser);
printf("The lower_bound in v3 for the element with a value of 3 is: %d.\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(r_result.it_begin));
printf("The upper_bound in v3 for the element with a value of 3 is: %d.\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(r_result.it_end));
printf("The equal_range in v3 for the element with a value of 3 is: ( ");
for(it_v = r_result.it_begin;
    !iterator_equal(it_v, r_result.it_end);
    it_v = iterator_next(it_v))
{

```



```

        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    vector_destroy(pvec_v1);
    vector_destroy(pvec_v2);
    vector_destroy(pvec_v3);

    return 0;
}

static void _mod_lessor(const void* cpv_first,
    const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = abs(*(int*)cpv_first) < abs(*(int*)cpv_second) ?
        true : false;
}

```

● Output

```

Original vector v1 with range sorted by the binary predicate less than is v1 = ( -3
-2 -1 -1 0 0 1 2 3 4 )
Original vector v2 with range sorted by the binary predicate greater than is v2 =
( 4 3 2 1 0 0 -1 -1 -2 -3 )
Original vector v3 with range sorted by the binary predicate greater than is v3 =
( 0 0 -1 -1 1 -2 2 -3 3 4 )
The lower_bound in v1 for the element with a value of 3 is: 3.
The upper_bound in v1 for the element with a value of 3 is: 4.
The equal_range in v1 for the element with a value of 3 is: ( 3 )
The lower_bound in v2 for the element with a value of 3 is: 3.
The upper_bound in v2 for the element with a value of 3 is: 2.
The equal_range in v2 for the element with a value of 3 is: ( 3 )
The lower_bound in v3 for the element with a value of 3 is: -3.
The upper_bound in v3 for the element with a value of 3 is: 4.
The equal_range in v3 for the element with a value of 3 is: ( -3 3 )

```

10. algo_fill

向数据区间中填充指定的数据。

```

void algo_fill(
    forward_iterator_t t_first,
    forward_iterator_t t_last,
    element
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
element: 指定的数据。

● Remarks

关联容器不能作为被填充的数据区间。

● Requirements

头文件 <cstdlib/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_fill.c
 * compile with : -lcstdl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cvector.h>
#include <cstdlib/calgorithm.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 0; i < 10; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 5);
    }

    printf("Vector v1 = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    /* Fill the last 5 positions with a value of 2 */
    algo_fill(iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 5), vector_end(pvec_v1), 2);

    printf("Modified v1 = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    vector_destroy(pvec_v1);
}
```

```
    return 0;
}
```

● Output

```
Vector v1 = ( 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 )
Modified v1 = ( 0 5 10 15 20 2 2 2 2 2 )
```

11. algo_fill_n

向数据区间中填充 n 个数据

```
output_iterator_t algo_fill_n(
    forward_iterator_t it_first,
    size_t t_size,
    element
);
```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
n_size: 填充数据的数据。
element: 指定的数据。

● Remarks

返回数据区间中被填充的数据的末尾迭代器。
要保证数据区间至少有 n 个数据。关联容器不能作为被填充的数据区间。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_fill_n.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
```

```

for(i = 0; i < 10; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i * 5);
}

printf("Vector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

/* Fill the last 5 positions with a value of 2 */
algo_fill_n(iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 5), 5, 2);

printf("Modified v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

Vector v1 = ( 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 )
Modified v1 = ( 0 5 10 15 20 2 2 2 2 2 )

```

12. algo_find

在数据区间中查找指定的数据。

```

input_iterator_t algo_find(
    input_iterator_t it_first,
    input_iterator_t it_last,
    element
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
element: 指定的数据。

● Remarks

返回目的数据区间中指定数据的迭代器，如果数据区间中不包含指定的数据，返回数据区间的末尾。
这个算法默认使用数据类型的等于操作函数。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_find.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_iterator_t it_l;

    if(plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);

    list_push_back(plist_l1, 40);
    list_push_back(plist_l1, 20);
    list_push_back(plist_l1, 10);
    list_push_back(plist_l1, 30);
    list_push_back(plist_l1, 10);

    printf("l1 = ( ");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf(")\n");

    it_l = algo_find(list_begin(plist_l1), list_end(plist_l1), 10);
    if(iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1)))
    {
        printf("There is no 10 in list l1.\n");
    }
    else
    {
        printf("There is a 10 in list l1 and it is followed by a %d.\n",
            *(int*)iterator_get_pointer(iterator_next(it_l)));
    }

    list_destroy(plist_l1);

    return 0;
}
```

- **Output**

```
l1 = ( 40 20 10 30 10 )  
There is a 10 in list l1 and it is followed by a 30.
```

13. `algo_find_end` `algo_find_end_if`

在数据区间中查找最后一个符合规则的子数据区间。

```
forward_iterator_t algo_find_end(  
    forward_iterator_t it_first1,  
    forward_iterator_t it_last1,  
    forward_iterator_t it_first2,  
    forward_iterator_t it_last2  
);  
  
forward_iterator_t algo_find_end_if(  
    forward_iterator_t it_first1,  
    forward_iterator_t it_last1,  
    forward_iterator_t it_first2,  
    forward_iterator_t it_last2,  
    binary_function_t bfun_op  
);
```

- **Parameters**

it_first1: 第一个数据区间的开始位置。
it_last1: 第一个数据区间的末尾位置。
it_first2: 子数据区间的开始位置。
it_last2: 子数据区间的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

- **Remarks**

返回目的数据区间中最后一个符合规则的子数据区间的第一个数据的迭代器，如果不包含这个子数据区间，返回数据区间的末尾。

这个算法默认使用数据类型的等于操作函数。

这个算法与 `algo_search_end` 和 `algo_search_end_if` 功能相同，为了兼容 SGI STL 的接口保留这两个算法。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/calgorithm.h>`。

- **Example**

请参考 `algo_search_end` 和 `algo_search_end_if` 算法。

14. `algo_find_first_of` `algo_find_first_of_if`

在第一个数据区间中查找第一个出现在第二个数据区间中出任意数据。

```
input_iterator_t algo_find_first_of(  
    input_iterator_t it_first1,  
    input_iterator_t it_last1,  
    forward_iterator_t it_first2,  
    forward_iterator_t it_last2
```

```
);

input_iterator_t algo_find_first_of_if(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    forward_iterator_t it_first2,
    forward_iterator_t it_last2,
    binary_function_t bfun_op
);
```

● Parameters

it_first1: 第一个数据区间的开始位置。
it_last1: 第一个数据区间的末尾位置。
it_first2: 第二个数据区间的开始位置。
it_last2: 第二个数据区间的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

返回第一个同时出现在第一个和第二个数据区间中的数据的位置，如果没有返回第一个数据区间的末尾。
 这个算法默认使用数据类型的等于操作函数。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_find_first_of.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/clist.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

static void _twice(const void* cpv_first, const void* cpv_second, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    vector_iterator_t it_v;
    list_iterator_t it_l;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);
    list_init(plist_l1);

    for(i = 0; i <= 5; ++i)
```

```

{
    vector_push_back(pvec_v1, i * 5);
}
for(i = 0; i <= 5; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i * 5);
}
for(i = 2; i <= 4; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v2, i * 10);
}
for(i = 3; i <= 4; ++i)
{
    list_push_back(plist_l1, i * 5);
}

printf("Vector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");
printf("List l1 = ( ");
for(it_l = list_begin(plist_l1);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf(")\n");
printf("Vector v2 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

/* Searching v1 for first match to l1 under identity */
it_v = algo_find_first_of(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
    list_begin(plist_l1), list_end(plist_l1));

if(iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1)))
{
    printf("There is no match of l1 in v1.\n");
}
else
{
    printf("There is at least one match of l1 in v1\n"
        "and the first one begins at position %d.\n",
        iterator_distance(vector_begin(pvec_v1), it_v));
}

/* Searching v1 for a match to v2 under the binary predicate twice */
it_v = algo_find_first_of_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
    vector_begin(pvec_v2), vector_end(pvec_v2), _twice);
if(iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1)))

```



```

    {
        printf("There is no match of v2 in v1.\n");
    }
    else
    {
        printf("There is a sequence of elements in v1 that are equivalent\n"
               "to those in v2 under the binary predicate twice\n"
               "and the first one begins at position %d.\n",
               iterator_distance(vector_begin(pvec_v1), it_v));
    }

    vector_destroy(pvec_v1);
    vector_destroy(pvec_v2);
    list_destroy(plist_l1);

    return 0;
}

static void _twice(const void* cpv_first, const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = *(int*)cpv_first * 2 == *(int*)cpv_second ? true : false;
}

```

● Output

```

Vector v1 = ( 0 5 10 15 20 25 0 5 10 15 20 25 )
List l1 = ( 15 20 )
Vector v2 = ( 20 30 40 )
There is at least one match of l1 in v1
and the first one begins at position 3.
There is a sequence of elements in v1 that are equivalent
to those in v2 under the binary predicate twice
and the first one begins at position 2.

```

15. algo_find_if

在数据区间中查找符合指定规则的数据。

```

input_iterator_t algo_find_if(
    input_iterator_t it_first,
    input_iterator_t it_last,
    unary_function_t ufun_op
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
ufun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

返回目的数据区间中符合指定规则的迭代器，如果数据区间中不包含这样的数据，返回数据区间的末尾。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```

/*
 * algo_find_if.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/clist.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

static void _greater10(const void* cpv_input, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_iterator_t it_l;

    if(plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    list_init(plist_l1);

    list_push_back(plist_l1, 40);
    list_push_back(plist_l1, 20);
    list_push_back(plist_l1, 10);
    list_push_back(plist_l1, 30);
    list_push_back(plist_l1, 10);

    printf("l1 = ( ");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf(")\n");

    it_l = algo_find_if(list_begin(plist_l1), list_end(plist_l1), _greater10);
    if(iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1)))
    {
        printf("There is no element greater than 10 in list l1.\n");
    }
    else
    {
        printf("There is an element greater than 10 in list l1 is %d.\n",
            *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }

    list_destroy(plist_l1);

    return 0;
}

static void _greater10(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = *(int*)cpv_input > 10 ? true : false;
}

```

● Output

```
l1 = ( 40 20 10 30 10 )
There is an element greater than 10 in list l1 is 40.
```

16. algo_for_each

对于数据区间中的每一个数据都指向指定的操作。

```
void algo_for_each(
    input_iterator_t it_first,
    input_iterator_t it_last,
    unary_function_t ufun_op
);
```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
ufun_op: 指定的操作规则。

● Remarks

这个算法扩展性很强，通过指定的操作函数可以指定不同的功能，但是当指定的操作函数要修改数据的内容时，关联容器不能作为目的数据区间。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_for_each.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

static void _print(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    printf("%d ", *(int*)cpv_input);
}

static void _mult_5(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    *(int*)cpv_input *= 5;
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
```

```

for(i = -4; i <= 2; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i);
}

/* Using for_each to print each elements of vector */
printf("The original vector v1 = ( ");
algo_for_each(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), _print);
printf("\n");

/* Using for_each to multiply each elements */
algo_for_each(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), _mult_5);

/* Using for_each to print each elements of vector */
printf("The modified vector v1 = ( ");
algo_for_each(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), _print);
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

The original vector v1 = ( -4 -3 -2 -1 0 1 2 )
The modified vector v1 = ( -20 -15 -10 -5 0 5 10 )

```

17. algo_generate

使用指定的函数产生的数据填充数据区间。

```

void algo_generate(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last,
    unary_function_t ufun_op
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
ufun_op: 指定的生成数据的函数。

● Remarks

这个算法使用数据生成函数产生数据并填充数据区间，关联容器不能作为目的数据区间。

● Requirements

头文件 <cstdlib/calgorithm.h>。

● Example

```

/*
 * algo_generate.c
 * compile with : -lcstdl
 */

```

```

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/cdeque.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

static void _random(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    srand((unsigned)time(NULL) + rand());
    *(int*)pv_output = rand();
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    deque_t* pdeq_q1 = create_deque(int);
    deque_iterator_t it_q;

    if(pvec_v1 == NULL || pdeq_q1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init_n(pvec_v1, 5);
    deque_init_n(pdeq_q1, 5);

    algo_generate(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), _random);
    printf("Vector v1 is ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    algo_generate(deque_begin(pdeq_q1), deque_end(pdeq_q1), _random);
    printf("Deque q1 is ( ");
    for(it_q = deque_begin(pdeq_q1);
        !iterator_equal(it_q, deque_end(pdeq_q1));
        it_q = iterator_next(it_q))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
    }
    printf(")\n");

    vector_destroy(pvec_v1);
    deque_destroy(pdeq_q1);

    return 0;
}

```

● Output

```

Vector v1 is ( 317509817 323919728 1152247880 782498064 233499208 )
Deque q1 is ( 1377238285 538400351 1405670055 700144904 162907430 )

```

18. algo_generate_n

使用指定的函数生成的数据填充数据区间中的 n 个数据。

```
output_iterator_t algo_generate_n(  
    output_iterator_t it_first,  
    size_t t_count,  
    unary_function_t ufun_op  
);
```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
t_count: 填充数据的个数。
ufun_op: 指定的生成数据的函数。

● Remarks

返回数据区间中被填充的数据的末尾。
必须保证数据区间至少包含 n 个数据，否则程序的行为是未定义的。
这个算法使用数据生成函数产生数据并填充数据区间，关联容器不能作为目的数据区间。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*  
 * algo_generate_n.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <stdlib.h>  
#include <time.h>  
#include <cstl/cvector.h>  
#include <cstl/cdeque.h>  
#include <cstl/calgorithm.h>  
  
static void _random(const void* cpv_input, void* pv_output)  
{  
    srand((unsigned)time(NULL) + rand());  
    *(int*)pv_output = rand();  
}  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);  
    vector_iterator_t it_v;  
    deque_t* pdeq_q1 = create_deque(int);  
    deque_iterator_t it_q;  
  
    if(pvec_v1 == NULL || pdeq_q1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    vector_init_n(pvec_v1, 5);  
    deque_init_n(pdeq_q1, 5);
```

```

    algo_generate_n(vector_begin(pvec_v1), 5, _random);
    printf("Vector v1 is ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    algo_generate_n(deque_begin(pdeq_q1), 3, _random);
    printf("Deque q1 is ( ");
    for(it_q = deque_begin(pdeq_q1);
        !iterator_equal(it_q, deque_end(pdeq_q1));
        it_q = iterator_next(it_q))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
    }
    printf(")\n");

    vector_destroy(pvec_v1);
    deque_destroy(pdeq_q1);

    return 0;
}

```

● Output

```

Vector v1 is ( 259608207 1736347665 722267104 687102819 1704715307 )
Deque q1 is ( 1684494256 1801747599 165435036 0 0 )

```

19. algo_includes algo_includes_if

测试第一个有序的数据区间是否包含第二个有序数据区间的全部数据。

```

bool_t algo_includes(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    input_iterator_t it_first2,
    input_iterator_t it_last2
);

bool_t algo_includes_if(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    input_iterator_t it_first2,
    input_iterator_t it_last2,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

it_first1: 第一个数据区间的开始位置。
it_last1: 第一个数据区间的末尾位置。
it_first2: 第二个数据区间的开始位置。
it_last2: 第二个数据区间的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

如果第一个有序的数据区间包含第二个有序的数据区间的全部内容，返回 true，否则返回 false。
第二个算法要保证两个数据区间都是按照指定的比较规则排序的。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_includes.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

static void _mod_lesser(const void* cpv_first,
                      const void* cpv_second, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1a = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v1b = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2a = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2b = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3a = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3b = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    bool_t b_result;
    int i = 0;

    if(pvec_v1a == NULL || pvec_v1b == NULL ||
        pvec_v2a == NULL || pvec_v2b == NULL ||
        pvec_v3a == NULL || pvec_v3b == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1a);
    vector_init(pvec_v1b);
    vector_init(pvec_v2a);
    vector_init(pvec_v2b);
    vector_init(pvec_v3a);
    vector_init(pvec_v3b);

    /* Constructing vectors v1a and v1b with default less than ordering */
    for(i = -2; i <= 4; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1a, i);
    }
    for(i = -2; i <= 3; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1b, i);
    }
    printf("Original vector v1a with range sorted by the\n"
           "binary predicate less than is v1a = ( ");
```



```

for(it_v = vector_begin(pvec_v1a);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1a));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");
printf("Original vector v1b with range sorted by the\n"
       "binary predicate less than is v1b = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1b);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1b));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Constructing vectors v2a and v2b with ranges sorted by greater */
vector_assign(pvec_v2a, pvec_v1a);
vector_assign(pvec_v2b, pvec_v1b);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v2a), vector_end(pvec_v2a), fun_greater_int);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v2b), vector_end(pvec_v2b), fun_greater_int);
vector_pop_back(pvec_v2a);
printf("Original vector v2a with range sorted by the\n"
       "binary predicate greater than is v2a = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2a);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2a));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");
printf("Original vector v2b with range sorted by the\n"
       "binary predicate greater than is v2b = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2b);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2b));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Constructing vectors v3a and v3b with ranges sorted by mod_lessor */
vector_assign(pvec_v3a, pvec_v1a);
vector_assign(pvec_v3b, pvec_v1b);
algo_reverse(vector_begin(pvec_v3a), vector_end(pvec_v3a));
vector_pop_back(pvec_v3a);
vector_pop_back(pvec_v3a);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v3a), vector_end(pvec_v3a), _mod_lessor);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v3b), vector_end(pvec_v3b), _mod_lessor);
printf("Original vector v3a with range sorted by the\n"
       "binary predicate mod_lessor is v3a = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v3a);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v3a));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");
printf("Original vector v3b with range sorted by the\n"

```

```

        "binary predicate mod_lesser is v3b = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v3b);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v3b));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/*
 * To test for inclusion under an ascending order
 * with the default binary predicate less
 */
b_result = algo_includes(vector_begin(pvec_v1a), vector_end(pvec_v1a),
    vector_begin(pvec_v1b), vector_end(pvec_v1b));
if(b_result)
{
    printf("All the elements in vector v1b are contained in vector v1a.\n");
}
else
{
    printf("At least one of the elements in vector v1b "
        "is not contained in vector v1a.\n");
}

/*
 * To test for inclusion under an ascending order
 * with the default binary predicate greater
 */
b_result = algo_includes_if(vector_begin(pvec_v2a), vector_end(pvec_v2a),
    vector_begin(pvec_v2b), vector_end(pvec_v2b), fun_greater_int);
if(b_result)
{
    printf("All the elements in vector v2b are contained in vector v2a.\n");
}
else
{
    printf("At least one of the elements in vector v2b "
        "is not contained in vector v2a.\n");
}

/*
 * To test for inclusion under an ascending order
 * with the default binary predicate mod_lesser
 */
b_result = algo_includes_if(vector_begin(pvec_v3a), vector_end(pvec_v3a),
    vector_begin(pvec_v3b), vector_end(pvec_v3b), _mod_lesser);
if(b_result)
{
    printf("All the elements in vector v3b are contained in vector v3a.\n");
}
else
{
    printf("At least one of the elements in vector v3b "
        "is not contained in vector v3a.\n");
}

vector_destroy(pvec_v1a);
vector_destroy(pvec_v1b);
vector_destroy(pvec_v2a);

```

```

    vector_destroy(pvec_v2b);
    vector_destroy(pvec_v3a);
    vector_destroy(pvec_v3b);

    return 0;
}

static void _mod_lesser(const void* cpv_first,
    const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = abs(*(int*)cpv_first) < abs(*(int*)cpv_second) ?
        true : false;
}

```

● Output

Original vector v1a with range sorted by the
binary predicate less than is v1a = (-2 -1 0 1 2 3 4)
Original vector v1b with range sorted by the
binary predicate less than is v1b = (-2 -1 0 1 2 3)
Original vector v2a with range sorted by the
binary predicate greater than is v2a = (4 3 2 1 0 -1)
Original vector v2b with range sorted by the
binary predicate greater than is v2b = (3 2 1 0 -1 -2)
Original vector v3a with range sorted by the
binary predicate mod_lesser is v3a = (0 1 2 3 4)
Original vector v3b with range sorted by the
binary predicate mod_lesser is v3b = (0 -1 1 -2 2 3)
All the elements in vector v1b are contained in vector v1a.
At least one of the elements in vector v2b is not contained in vector v2a.
At least one of the elements in vector v3b is not contained in vector v3a.

20. algo_inplace_merge algo_inplace_merge_if

将一个数据区间的两个连续的有序部分合并成一个有序的数据区间。

```

void algo_inplace_merge(
    bidirectional_iterator_t it_first,
    bidirectional_iterator_t it_middle,
    bidirectional_iterator_t it_last
);

void algo_inplace_merge_if(
    bidirectional_iterator_t it_first,
    bidirectional_iterator_t it_middle,
    bidirectional_iterator_t it_last,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间第一个有序部分的开始位置。
it_middle: 数据区间第一个有序部分的末尾位置，第二个有序部分的开始位置。
it_last: 数据区间第二个有序部分的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

第二个算法要保证数据区间的两部分都是按照指定的比较规则排序的。

● Requirements

头文件 <cstdlib/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_inplace_merge.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

static void _mod_lesser(const void* cpv_first,
                      const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = abs(*(int*)cpv_first) < abs(*(int*)cpv_second) ?
        true : false;
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    vector_iterator_t it_break1;
    vector_iterator_t it_break2;
    vector_iterator_t it_break3;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || pvec_v3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);
    vector_init(pvec_v3);

    for(i = 0; i <= 5; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }
    for(i = -5; i <= 0; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }

    printf("Original vector v1 with subrangs sorted by the\n"
           "binary predicate less than is v1 = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
```

```

    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Constructing vector v2 with range sorted by greater */
vector_assign(pvec_v2, pvec_v1);
it_break2 = algo_find(vector_begin(pvec_v2), vector_end(pvec_v2), -5);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v2), it_break2, fun_greater_int);
algo_sort_if(it_break2, vector_end(pvec_v2), fun_greater_int);
printf("Original vector v2 with subrangs sorted by the\n"
       "binary predicate greater than is v2 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Constructing vector v3 with range sorted by greater */
vector_assign(pvec_v3, pvec_v1);
it_break3 = algo_find(vector_begin(pvec_v3), vector_end(pvec_v3), -5);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v3), it_break3, _mod_lesser);
algo_sort_if(it_break3, vector_end(pvec_v3), fun_greater_int);
printf("Original vector v3 with subrangs sorted by the\n"
       "binary predicate greater than is v3 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v3);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v3));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

it_break1 = algo_find(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), -5);
algo_inplace_merge(vector_begin(pvec_v1), it_break1, vector_end(pvec_v1));
printf("Merged inplace with default order,\nvector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* To merge inplace in desceding order, specify binary predicate greater */
algo_inplace_merge_if(vector_begin(pvec_v2), it_break2,
    vector_end(pvec_v2), fun_greater_int);
printf("Merged inplace with default order,\nvector v2 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Applying a user defined binary predicate mod_lesser */
algo_inplace_merge_if(vector_begin(pvec_v3), it_break3,
    vector_end(pvec_v3), _mod_lesser);

```

```

printf("Merged inplace with default order,\nvector v3 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v3);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v3));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2);
vector_destroy(pvec_v3);

return 0;
}

```

● Output

```

Original vector v1 with subrangs sorted by the
binary predicate less than is v1 = ( 0 1 2 3 4 5 -5 -4 -3 -2 -1 0 )
Original vector v2 with subrangs sorted by the
binary predicate greater than is v2 = ( 5 4 3 2 1 0 0 -1 -2 -3 -4 -5 )
Original vector v3 with subrangs sorted by the
binary predicate greater than is v3 = ( 0 1 2 3 4 5 0 -1 -2 -3 -4 -5 )
Merged inplace with default order,
vector v1 = ( -5 -4 -3 -2 -1 0 0 1 2 3 4 5 )
Merged inplace with default order,
vector v2 = ( 5 4 3 2 1 0 0 -1 -2 -3 -4 -5 )
Merged inplace with default order,
vector v3 = ( 0 0 1 -1 2 -2 3 -3 4 -4 5 -5 )

```

21. algo_is_heap algo_is_heap_if

测试一个数据区间是否是符合指定比较规则的堆。

```

bool_t algo_is_heap(
    random_access_iterator_t it_first,
    random_access_iterator_t it_last
);

bool_t algo_is_heap_if(
    random_access_iterator_t it_first,
    random_access_iterator_t it_last,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

如果数据区间是堆，返回 true，否则返回 false。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_is_heap.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 1; i <= 9; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }
    algo_random_shuffle(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));

    printf("Vector v1 is:\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");
    if(algo_is_heap(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1)))
    {
        printf("The range is less-than heap.\n");
    }
    else
    {
        printf("The range is not less-than heap.\n");
    }
    if(algo_is_heap_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), fun_greater_int))
    {
        printf("The range is greater-than heap.\n");
    }
    else
    {
        printf("The range is not greater-than heap.\n");
    }

    /* Make v1 a heap with default less than ordering */
    algo_make_heap(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
    printf("The heap version of vector v1 is:\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
```

```

        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v)
    }
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");
if(algo_is_heap(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1)))
{
    printf("The range is less-than heap.\n");
}
else
{
    printf("The range is not less-than heap.\n");
}
if(algo_is_heap_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), fun_greater_int))
{
    printf("The range is greater-than heap.\n");
}
else
{
    printf("The range is not greater-than heap.\n");
}

/* Make v1 a heap with greater than ordering */
algo_make_heap_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), fun_greater_int);
printf("The greater-than heap version of vector v1 is:\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");
if(algo_is_heap(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1)))
{
    printf("The range is less-than heap.\n");
}
else
{
    printf("The range is not less-than heap.\n");
}
if(algo_is_heap_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), fun_greater_int))
{
    printf("The range is greater-than heap.\n");
}
else
{
    printf("The range is not greater-than heap.\n");
}

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

Vector v1 is:
( 9 8 5 1 7 3 2 6 4 )
The range is not less-than heap.

```



```
The range is not greater-than heap.
The heap version of vector v1 is:
( 9 8 5 6 7 3 2 1 4 )
The range is less-than heap.
The range is not greater-than heap.
The greater-than heap version of vector v1 is:
( 1 4 2 6 7 3 5 9 8 )
The range is not less-than heap.
The range is greater-than heap.
```

22. `algo_is_sorted` `algo_is_sorted_if`

测试数据区间是否按照指定的比较规则排序。

```
bool_t algo_is_sorted(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last
);

bool_t algo_is_sorted_if(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last,
    binary_function_t bfun_op
);
```

- **Parameters**

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

- **Remarks**

如果数据区间是按照指定规则排序的，返回 `true`，否则返回 `false`。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/calgorithm.h>`。

- **Example**

```
/*
 * algo_is_sort.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }
}
```

```

}

vector_init(pvec_v1);

for(i = 0; i <= 5; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i * 2);
}
for(i = 0; i <= 5; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i * 2 + 1);
}

printf("Original vector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");
if(algo_is_sorted(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1)))
{
    printf("Vector is sorted with predicate less than.\n");
}
else
{
    printf("Vector is not sorted with predicate less than.\n");
}
if(algo_is_sorted_if(vector_begin(pvec_v1),
    vector_end(pvec_v1), fun_greater_int))
{
    printf("Vector is sorted with predicate greater than.\n");
}
else
{
    printf("Vector is not sorted with predicate greater than.\n");
}

algo_sort(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
printf("Sorted vector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");
if(algo_is_sorted(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1)))
{
    printf("Vector is sorted with predicate less than.\n");
}
else
{
    printf("Vector is not sorted with predicate less than.\n");
}
if(algo_is_sorted_if(vector_begin(pvec_v1),
    vector_end(pvec_v1), fun_greater_int))
{
    printf("Vector is sorted with predicate greater than.\n");
}

```

```

}
else
{
    printf("Vector is not sorted with predicate greater than.\n");
}

/* To sort in descending order. */
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), fun_greater_int);
printf("Resorted (greater) vector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");
if(algo_is_sorted(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1)))
{
    printf("Vector is sorted with predicate less than.\n");
}
else
{
    printf("Vector is not sorted with predicate less than.\n");
}
if(algo_is_sorted_if(vector_begin(pvec_v1),
    vector_end(pvec_v1), fun_greater_int))
{
    printf("Vector is sorted with predicate greater than.\n");
}
else
{
    printf("Vector is not sorted with predicate greater than.\n");
}

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

Original vector v1 = ( 0 2 4 6 8 10 1 3 5 7 9 11 )
Vector is not sorted with predicate less than.
Vector is not sorted with predicate greater than.
Sorted vector v1 = ( 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 )
Vector is sorted with predicate less than.
Vector is not sorted with predicate greater than.
Resorted (greater) vector v1 = ( 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 )
Vector is not sorted with predicate less than.
Vector is sorted with predicate greater than.

```

23. algo_iter_swap

交换两个迭代器指向的数据的内容。

```

void algo_iter_swap(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_second
);

```

● Parameters

it_first: 第一个数据的迭代器。
it_second: 第二个数据的迭代器。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_iter_swap.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/cdeque.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    deque_t* pdq_dq1 = create_deque(int);
    deque_t* pdq_dq2 = create_deque(int);
    deque_iterator_t it_dq;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pdq_dq1 == NULL || pdq_dq2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    deque_init(pdq_dq1);
    deque_init(pdq_dq2);

    deque_push_back(pdq_dq1, 5);
    deque_push_back(pdq_dq1, 1);
    deque_push_back(pdq_dq1, 10);

    printf("The original deque dq1 = ( ");
    for(it_dq = deque_begin(pdq_dq1);
        !iterator_equal(it_dq, deque_end(pdq_dq1));
        it_dq = iterator_next(it_dq))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_dq));
    }
    printf(")\n");

    /* Exchanging first and last elements with iter_swap */
    algo_iter_swap(deque_begin(pdq_dq1), iterator_prev(deque_end(pdq_dq1)));

    printf("The deque dq1 with first and last element swap is = ( ");
    for(it_dq = deque_begin(pdq_dq1);
        !iterator_equal(it_dq, deque_end(pdq_dq1));
        it_dq = iterator_next(it_dq))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_dq));
    }
}
```

```

}
printf("\n");

/* Swapping the second and last elements with swap */
algo_swap(iterator_prev(deque_end(pdq_dq1)),
          iterator_next(deque_begin(pdq_dq1)));

printf("The deque dq1 with the second and last element swap is = ( ");
for(it_dq = deque_begin(pdq_dq1);
    !iterator_equal(it_dq, deque_end(pdq_dq1));
    it_dq = iterator_next(it_dq))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_dq));
}
printf("\n");

/* Swapping a vector element with a deque element */
for(i = 0; i < 4; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i);
}
for(i = 4; i < 6; ++i)
{
    deque_push_back(pdq_dq2, i);
}

printf("Vector v1 is ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");
printf("Deque dq2 is ( ");
for(it_dq = deque_begin(pdq_dq2);
    !iterator_equal(it_dq, deque_end(pdq_dq2));
    it_dq = iterator_next(it_dq))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_dq));
}
printf("\n");

algo_iter_swap(vector_begin(pvec_v1), deque_begin(pdq_dq2));

printf("After exchanging first elements:\n");
printf("Vector v1 is ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");
printf("Deque dq2 is ( ");
for(it_dq = deque_begin(pdq_dq2);
    !iterator_equal(it_dq, deque_end(pdq_dq2));
    it_dq = iterator_next(it_dq))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_dq));
}

```

```

    }
    printf("\n");

    vector_destroy(pvec_v1);
    deque_destroy(pdq_dq1);
    deque_destroy(pdq_dq2);

    return 0;
}

```

● Output

```

The original deque dq1 = ( 5 1 10 )
The deque dq1 with first and last element swap is = ( 10 1 5 )
The deque dq1 with the second and last element swap is = ( 10 5 1 )
Vector v1 is ( 0 1 2 3 )
Deque dq2 is ( 4 5 )
After exchanging first elements:
Vector v1 is ( 4 1 2 3 )
Deque dq2 is ( 0 5 )

```

24. algo_lexicographical_compare algo_lexicographical_compare_if

将两个数据区间中的数据逐个对比。

```

bool_t algo_lexicographical_compare(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    input_iterator_t it_first2,
    input_iterator_t it_last2
);

bool_t algo_lexicographical_compare_if(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    input_iterator_t it_first2,
    input_iterator_t it_last2,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

it_first1: 第一个数据区间的开始位置。
it_last1: 第一个数据区间的末尾位置。
it_first2: 第二个数据区间的开始位置。
it_last2: 第二个数据区间的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

如果第一个数据区间中的数据小于第二个数据区间中的对应数据，那么返回 **true**，如果大于返回 **false**。

如果第一个数据区间中的数据和第二个数据区间中的数据对应相等，第一个数据区间数据的个数小于第二个数据区间的个数返回 **true**，否则返回 **false**。

● Requirements

头文件 `<cstl/calgorithm.h>`。

● Example

```
/*
 * algo_lexicographical_compare.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/clist.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

static void _twice(const void* cpv_first, const void* cpv_second, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_iterator_t it_l;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);
    list_init(plist_l1);

    for(i = 0; i < 6; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 5);
        vector_push_back(pvec_v2, i * 10);
    }
    for(i = 0; i < 7; ++i)
    {
        list_push_back(plist_l1, i * 5);
    }

    printf("Vector v1 = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");
    printf("Vector v2 = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");
    printf("List l1 = ( ");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
```

```

        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf("\n");

    /* Self lexicographical_comparison of v1 under identity */
    if(algo_lexicographical_compare(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
        vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1)))
    {
        printf("Vector v1 is lexicographically less than v1.\n");
    }
    else
    {
        printf("Vector v1 is not lexicographically less than v1.\n");
    }

    /* lexicographical_comparison of v1 and l1 under identity */
    if(algo_lexicographical_compare(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
        list_begin(plist_l1), list_end(plist_l1)))
    {
        printf("Vector v1 is lexicographically less than l1.\n");
    }
    else
    {
        printf("Vector v1 is not lexicographically less than l1.\n");
    }

    if(algo_lexicographical_compare_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
        vector_begin(pvec_v2), vector_end(pvec_v2), _twice))
    {
        printf("Vector v1 is lexicographically less than v2 under twice.\n");
    }
    else
    {
        printf("Vector v1 is not lexicographically less than v2 under twice.\n");
    }

    vector_destroy(pvec_v1);
    vector_destroy(pvec_v2);
    list_destroy(plist_l1);

    return 0;
}

static void _twice(const void* cpv_first, const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = *(int*)cpv_first * 2 < *(int*)cpv_second ? true : false;
}

```

● Output

```

Vector v1 = ( 0 5 10 15 20 25 )
Vector v2 = ( 0 10 20 30 40 50 )
List l1 = ( 0 5 10 15 20 25 30 )
Vector v1 is not lexicographically less than v1.
Vector v1 is lexicographically less than l1.
Vector v1 is not lexicographically less than v2 under twice.

```


25. algo_lexicographical_compare_3way algo_lexicographical_compare_3way_if

将两个数据区间中的数据进行逐个比较，返回三种结果。

```
int algo_lexicographical_compare_3way(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    input_iterator_t it_first2,
    input_iterator_t it_last2
);

int algo_lexicographical_compare_3way_if(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    input_iterator_t it_first2,
    input_iterator_t it_last2,
    binary_function_t bfun_op
);
```

● Parameters

it_first1: 第一个数据区间的开始位置。
it_last1: 第一个数据区间的末尾位置。
it_first2: 第二个数据区间的开始位置。
it_last2: 第二个数据区间的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

如果第一个数据区间中的数据小于第二个数据区间中的对应数据，那么返回值小于 0，如果大于返回值大于 0。

如果第一个数据区间中的数据和第二个数据区间中的数据对应相等，第一个数据区间数据的个数小于第二个数据区间的个数返回值小于 0，数据个数相等返回值等于 0，否则返回值大于 0。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_lexicographical_compare_3way.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/clist.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

static void _twice(const void* cpv_first, const void* cpv_second, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_iterator_t it_l;
    int n_result = 0;
```

```

int i = 0;

if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || plist_l1 == NULL)
{
    return -1;
}

vector_init(pvec_v1);
vector_init(pvec_v2);
list_init(plist_l1);

for(i = 0; i < 6; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i * 5);
    vector_push_back(pvec_v2, i * 10);
}
for(i = 0; i < 7; ++i)
{
    list_push_back(plist_l1, i * 5);
}

printf("Vector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");
printf("Vector v2 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");
printf("List l1 = ( ");
for(it_l = list_begin(plist_l1);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf(")\n");

/* Self lexicographical_comparison of v1 under identity */
n_result = algo_lexicographical_compare_3way(vector_begin(pvec_v1),
    vector_end(pvec_v1), vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
if(n_result < 0)
{
    printf("Vector v1 is lexicographically less than v1.\n");
}
else if(n_result == 0)
{
    printf("Vector v1 is lexicographically equal to v1.\n");
}
else
{
    printf("Vector v1 is lexicographically greater than v1.\n");
}

```

```

}

/* lexicographical_comparison of v1 and l1 under identity */
n_result = algo_lexicographical_compare_3way(vector_begin(pvec_v1),
      vector_end(pvec_v1), list_begin(plist_l1), list_end(plist_l1));
if(n_result < 0)
{
    printf("Vector v1 is lexicographically less than l1.\n");
}
else if(n_result == 0)
{
    printf("Vector v1 is lexicographically equal to l1.\n");
}
else
{
    printf("Vector v1 is lexicographically greater than l1.\n");
}

n_result = algo_lexicographical_compare_if(vector_begin(pvec_v1),
      vector_end(pvec_v1), vector_begin(pvec_v2), vector_end(pvec_v2), _twice);
if(n_result < 0)
{
    printf("Vector v1 is lexicographically less than v2 under twice.\n");
}
else if(n_result == 0)
{
    printf("Vector v1 is lexicographically equal to v2 under twice.\n");
}
else
{
    printf("Vector v1 is lexicographically greater than v2 under twice.\n");
}

vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2);
list_destroy(plist_l1);

return 0;
}

static void _twice(const void* cpv_first, const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = *(int*)cpv_first * 2 < *(int*)cpv_second ? true : false;
}

```

● Output

```

Vector v1 = ( 0 5 10 15 20 25 )
Vector v2 = ( 0 10 20 30 40 50 )
List l1 = ( 0 5 10 15 20 25 30 )
Vector v1 is not lexicographically less than v1.
Vector v1 is lexicographically less than l1.
Vector v1 is not lexicographically less than v2 under twice.

```

26. algo_lower_bound algo_lower_bound_if

在有序的数据区间中查找第一个等于指定数据的位置。

```
forward_iterator_t algo_lower_bound(
```

```

    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last,
    element
);

forward_iterator_t algo_lower_bound_if(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last,
    element,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
element: 指定的数据。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

算法返回按照指定规则比较规则排序的数据区间中等于指定数据的第一个位置，如果数据区间中不包含指定数据就返回第一个大于指定数据的位置。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```

/*
 * algo_lower_bound.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

/* Return whether modulus of elem1 is less than modulus of elem2 */
static void _mod_lesser(const void* cpv_first,
    const void* cpv_second, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || pvec_v3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);
    vector_init(pvec_v3);

```

```

for(i = -1; i <= 4; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i);
}
for(i = -3; i <= 0; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i);
}

algo_sort(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
printf("Original vector v1 with range sorted by the "
       "binary predicate less than is v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_assign(pvec_v2, pvec_v1);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v2), vector_end(pvec_v2), fun_greater_int);
printf("Original vector v2 with range sorted by the "
       "binary predicate greater than is v2 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_assign(pvec_v3, pvec_v1);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v3), vector_end(pvec_v3), _mod_lesser);
printf("Original vector v3 with range sorted by the "
       "binary predicate greater than is v3 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v3);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v3));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* lower_bound of 3 in v1 with default binary predicate less than */
it_v = algo_lower_bound(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), 3);
printf("The lower_bound in v1 for the element with a value of 3 is: %d.\n",
       *(int*)iterator_get_pointer(it_v));

/* lower_bound of 3 in v2 with the binary predicate greater than */
it_v = algo_lower_bound_if(vector_begin(pvec_v2),
                           vector_end(pvec_v2), 3, fun_greater_int);
printf("The lower_bound in v2 for the element with a value of 3 is: %d.\n",
       *(int*)iterator_get_pointer(it_v));

/* lower_bound of 3 in v3 with the binary predicate _mod_lesser */
it_v = algo_lower_bound_if(vector_begin(pvec_v3),
                           vector_end(pvec_v3), 3, _mod_lesser);
printf("The lower_bound in v3 for the element with a value of 3 is: %d.\n",

```

```

        *(int*)iterator_get_pointer(it_v));

vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2);
vector_destroy(pvec_v3);

return 0;
}

static void _mod_lessor(const void* cpv_first,
                        const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = abs(*(int*)cpv_first) < abs(*(int*)cpv_second) ?
        true : false;
}

```

● Output

```

Original vector v1 with range sorted by the binary predicate less than is v1 = ( -3
-2 -1 -1 0 0 1 2 3 4 )
Original vector v2 with range sorted by the binary predicate greater than is v2 =
( 4 3 2 1 0 0 -1 -1 -2 -3 )
Original vector v3 with range sorted by the binary predicate greater than is v3 =
( 0 0 -1 -1 1 -2 2 -3 3 4 )
The lower_bound in v1 for the element with a value of 3 is: 3.
The lower_bound in v2 for the element with a value of 3 is: 3.
The lower_bound in v3 for the element with a value of 3 is: -3.

```

27. algo_make_heap algo_make_heap_if

将数据区间转换成符合指定比较规则的堆。

```

void algo_make_heap(
    random_access_iterator_t it_first,
    random_access_iterator_t it_last
);

void algo_make_heap_if(
    random_access_iterator_t it_first,
    random_access_iterator_t it_last,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```

/*
 * algo_make_heap.c
 * compile with : -lcstl
 */

```

```

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 1; i <= 9; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }
    algo_random_shuffle(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));

    printf("Vector v1 is:\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    /* Make v1 a heap with default less than ordering */
    algo_make_heap(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
    printf("The heap version of vector v1 is:\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    /* Make v1 a heap with greater than ordering */
    algo_make_heap_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), fun_greater_int);
    printf("The greater-than heap version of vector v1 is:\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    vector_destroy(pvec_v1);

    return 0;
}

```

● Output

```
Vector v1 is:
( 6 3 2 1 7 8 4 9 5 )
The heap version of vector v1 is:
( 9 7 8 5 6 2 4 1 3 )
The greater-than heap version of vector v1 is:
( 1 3 2 5 6 8 4 9 7 )
```

28. algo_max algo_max_if

按照指定比较规则比较两个迭代器所指的数据，返回数据较大迭代器。

```
input_iterator_t algo_max(
    input_iterator_t it_first,
    input_iterator_t it_second
);

input_iterator_t algo_max_if(
    input_iterator_t it_first,
    input_iterator_t it_last,
    binary_function_t bfun_op
);
```

● Parameters

it_first: 第一个数据的迭代器。
it_second: 第二个数据的迭代器。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_max.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/cset.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(set_t<int>);
    vector_iterator_t it_v;
    set_t* pset_s1 = create_set(int);
    set_iterator_t it_s;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pset_s1 == NULL)
    {
        return -1;
    }
}
```



```

vector_init(pvec_v1);
set_init(pset_s1);

set_insert(pset_s1, 0);
set_insert(pset_s1, 1);
set_insert(pset_s1, 2);
vector_push_back(pvec_v1, pset_s1);
vector_push_back(pvec_v1, pset_s1);
set_clear(pset_s1);
set_insert(pset_s1, 0);
set_insert(pset_s1, 2);
set_insert(pset_s1, 4);
vector_push_back(pvec_v1, pset_s1);

for(it_v = vector_begin(pvec_v1), i = 1;
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v), ++i)
{
    printf("Set s%d ( ", i);
    for(it_s = set_begin((set_t*)iterator_get_pointer(it_v));
        !iterator_equal(it_s, set_end((set_t*)iterator_get_pointer(it_v)));
        it_s = iterator_next(it_s))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
    }
    printf(")\n");
}

it_v = algo_max(vector_begin(pvec_v1), iterator_next(vector_begin(pvec_v1)));
printf("The max set between the frist and the second is ( ");
for(it_s = set_begin((set_t*)iterator_get_pointer(it_v));
    !iterator_equal(it_s, set_end((set_t*)iterator_get_pointer(it_v)));
    it_s = iterator_next(it_s))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
printf(")\n");

it_v = algo_max(vector_begin(pvec_v1), iterator_prev(vector_end(pvec_v1)));
printf("The max set between the frist and the third is ( ");
for(it_s = set_begin((set_t*)iterator_get_pointer(it_v));
    !iterator_equal(it_s, set_end((set_t*)iterator_get_pointer(it_v)));
    it_s = iterator_next(it_s))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
printf(")\n");

it_v = algo_max_if(vector_begin(pvec_v1),
    iterator_next(vector_begin(pvec_v1)), fun_greater_set);
printf("The max set between the frist and the second under greater than is ( ");
for(it_s = set_begin((set_t*)iterator_get_pointer(it_v));
    !iterator_equal(it_s, set_end((set_t*)iterator_get_pointer(it_v)));
    it_s = iterator_next(it_s))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
printf(")\n");

```

```

    it_v = algo_max_if(vector_begin(pvec_v1),
        iterator_prev(vector_end(pvec_v1)), fun_greater_set);
    printf("The max set between the frist and the third under greater than is ( ");
    for(it_s = set_begin((set_t*)iterator_get_pointer(it_v));
        !iterator_equal(it_s, set_end((set_t*)iterator_get_pointer(it_v)));
        it_s = iterator_next(it_s))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
    }
    printf(")\n");

    vector_destroy(pvec_v1);
    set_destroy(pset_s1);

    return 0;
}

```

● Output

```

Set s1 ( 0 1 2 )
Set s2 ( 0 1 2 )
Set s3 ( 0 2 4 )
The max set between the frist and the second is ( 0 1 2 )
The max set between the frist and the third is ( 0 2 4 )
The max set between the frist and the second under greater than is ( 0 1 2 )
The max set between the frist and the third under greater than is ( 0 1 2 )

```

29. algo_max_element algo_max_element_if

返回数据区间中最大数据的迭代器。

```

forward_iterator_t algo_max_element(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last
);

forward_iterator_t algo_max_element_if(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Requirements

头文件 <cstdlib/calgorithm.h>。

● Example

```

/*
 * algo_max_element.c
 * compile with : -lcstl
 */

```

```

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

static void _mod_lesser(const void* cpv_first,
    const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = abs(*(int*)cpv_first) < abs(*(int*)cpv_second) ?
        true : false;
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 0; i <= 3; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }
    for(i = 1; i <= 4; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * -2);
    }

    printf("Vector v1 is ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    it_v = algo_max_element(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
    printf("The largest element in v1 is : %d.\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_v));

    it_v = algo_max_element_if(vector_begin(pvec_v1),
        vector_end(pvec_v1), _mod_lesser);
    printf("The largest element in v1 under the mod_lesser is : %d.\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_v));

    vector_destroy(pvec_v1);

    return 0;
}

```

● Output

```
Vector v1 is ( 0 1 2 3 -2 -4 -6 -8 )
```

```
The largest element in v1 is : 3.  
The largest element in v1 under the mod_lesser is : -8.
```

30. algo_merge algo_merge_if

将两个有序数据区间合并到目的数据区间中，合并后的数据区间仍然有序。

```
output_iterator_t algo_merge(  
    input_iterator_t it_first1,  
    input_iterator_t it_last1,  
    input_iterator_t it_first2,  
    input_iterator_t it_last2,  
    output_iterator_t it_result  
);  
  
output_iterator_t algo_merge_if(  
    input_iterator_t it_first1,  
    input_iterator_t it_last1,  
    input_iterator_t it_first2,  
    input_iterator_t it_last2,  
    output_iterator_t it_result,  
    binary_function_t bfun_op  
);
```

● Parameters

it_first1: 第一个数据区间的开始位置。
it_last1: 第一个数据区间的末尾位置。
it_first2: 第二个数据区间的开始位置。
it_last2: 第二个数据区间的末尾位置。
it_result: 目的数据区间的开始位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

返回目的数据区间中合并后的有序数据区间的末尾。

两个有序的源数据区间必须是按照相同的比较规则排序的，同时目的数据区间要足够大，至少是两个源数据区间中数据的和。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*  
 * algo_merge.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cvector.h>  
#include <cstl/calgorithm.h>  
#include <cstl/cfunctional.h>  
  
static void _mod_lesser(const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second, void* pv_output);  
  
int main(int argc, char* argv[])
```

```

{
    vector_t* pvec_v1a = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v1b = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2a = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2b = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3a = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3b = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    vector_iterator_t it_result;
    int i = 0;

    if(pvec_v1a == NULL || pvec_v1b == NULL || pvec_v1 == NULL ||
        pvec_v2a == NULL || pvec_v2b == NULL || pvec_v2 == NULL ||
        pvec_v3a == NULL || pvec_v3b == NULL || pvec_v3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1a);
    vector_init(pvec_v1b);
    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2a);
    vector_init(pvec_v2b);
    vector_init(pvec_v2);
    vector_init(pvec_v3a);
    vector_init(pvec_v3b);
    vector_init(pvec_v3);

    /* Constructing vectors v1a and v1b with default less than ordering */
    for(i = 0; i <= 5; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1a, i);
    }
    for(i = -5; i <= 0; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1b, i);
    }
    vector_resize(pvec_v1, 12);
    printf("Original vector v1a with range sorted by the\n"
        "binary predicate less than is v1a = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1a);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1a));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");
    printf("Original vector v1b with range sorted by the\n"
        "binary predicate less than is v1b = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1b);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1b));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");
}

```

```

/* Constructing vectors v2a and v2b with ranges sorted by greater */
vector_assign(pvec_v2a, pvec_v1a);
vector_assign(pvec_v2b, pvec_v1b);
vector_assign(pvec_v2, pvec_v1);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v2a), vector_end(pvec_v2a), fun_greater_int);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v2b), vector_end(pvec_v2b), fun_greater_int);
printf("Original vector v2a with range sorted by the\n"
       "binary predicate greater than is v2a = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2a);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2a));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");
printf("Original vector v2b with range sorted by the\n"
       "binary predicate greater than is v2b = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2b);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2b));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Constructing vectors v3a and v3b with ranges sorted by mod_lessor */
vector_assign(pvec_v3a, pvec_v1a);
vector_assign(pvec_v3b, pvec_v1b);
vector_assign(pvec_v3, pvec_v1);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v3a), vector_end(pvec_v3a), _mod_lessor);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v3b), vector_end(pvec_v3b), _mod_lessor);
printf("Original vector v3a with range sorted by the\n"
       "binary predicate mod_lessor is v3a = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v3a);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v3a));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");
printf("Original vector v3b with range sorted by the\n"
       "binary predicate greater than is v3b = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v3b);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v3b));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* To merge inplace in ascending order with the default binary predicate less */
it_result = algo_merge(vector_begin(pvec_v1a), vector_end(pvec_v1a),
                       vector_begin(pvec_v1b), vector_end(pvec_v1b), vector_begin(pvec_v1));
printf("Merged inplac with default order\n"
       "vector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, it_result);
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}

```

```

    }
    printf("\n");

    /* To merge inplace in ascending order with the specify binary predicate greater
    */
    it_result = algo_merge_if(vector_begin(pvec_v2a), vector_end(pvec_v2a),
        vector_begin(pvec_v2b), vector_end(pvec_v2b), vector_begin(pvec_v2),
        fun_greater_int);
    printf("Merged inplace with binary predicate greater order\n"
        "vector v2 = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
        !iterator_equal(it_v, it_result);
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    /* To merge inplace in ascending order with the user_defined binary predicate
    mod_lesser */
    it_result = algo_merge_if(vector_begin(pvec_v3a), vector_end(pvec_v3a),
        vector_begin(pvec_v3b), vector_end(pvec_v3b), vector_begin(pvec_v3),
        mod_lesser);
    printf("Merged inplace with binary predicate mod_lesser order\n"
        "vector v3 = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v3);
        !iterator_equal(it_v, it_result);
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    vector_destroy(pvec_v1a);
    vector_destroy(pvec_v1b);
    vector_destroy(pvec_v1);
    vector_destroy(pvec_v2a);
    vector_destroy(pvec_v2b);
    vector_destroy(pvec_v2);
    vector_destroy(pvec_v3a);
    vector_destroy(pvec_v3b);
    vector_destroy(pvec_v3);

    return 0;
}

static void mod_lesser(const void* cpv_first,
    const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = abs(*(int*)cpv_first) < abs(*(int*)cpv_second) ?
        true : false;
}

```

● Output

Original vector v1a with range sorted by the
binary predicate less than is v1a = (0 1 2 3 4 5)
Original vector v1b with range sorted by the
binary predicate less than is v1b = (-5 -4 -3 -2 -1 0)

```

Original vector v2a with range sorted by the
binary predicate greater than is v2a = ( 5 4 3 2 1 0 )
Original vector v2b with range sorted by the
binary predicate greater than is v2b = ( 0 -1 -2 -3 -4 -5 )
Original vector v3a with range sorted by the
binary predicate mod_lesser is v3a = ( 0 1 2 3 4 5 )
Original vector v3b with range sorted by the
binary predicate greater than is v3b = ( 0 -1 -2 -3 -4 -5 )
Merged inplace with default order
vector v1 = ( -5 -4 -3 -2 -1 0 0 1 2 3 4 5 )
Merged inplace with binary predicate greater order
vector v2 = ( 5 4 3 2 1 0 0 -1 -2 -3 -4 -5 )
Merged inplace with binary predicate mod_lesser order
vector v3 = ( 0 0 1 -1 2 -2 3 -3 4 -4 5 -5 )

```

31. algo_min algo_min_if

按照指定比较规则比较两个迭代器所指的数据，返回数据较小迭代器。

```

input_iterator_t algo_min(
    input_iterator_t it_first,
    input_iterator_t it_second
);

input_iterator_t algo_min_if(
    input_iterator_t it_first,
    input_iterator_t it_last,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

it_first: 第一个数据的迭代器。
it_second: 第二个数据的迭代器。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Requirements

头文件 <cstdlib/calgorithm.h>。

● Example

```

/*
 * algo_min.c
 * compile with : -lcstdl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdl/cvector.h>
#include <cstdl/cset.h>
#include <cstdl/calgorithm.h>
#include <cstdl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(set_t<int>);
    vector_iterator_t it_v;
    set_t* pset_s1 = create_set(int);
    set_iterator_t it_s;

```



```

int i = 0;

if(pvec_v1 == NULL || pset_s1 == NULL)
{
    return -1;
}

vector_init(pvec_v1);
set_init(pset_s1);

set_insert(pset_s1, 0);
set_insert(pset_s1, 1);
set_insert(pset_s1, 2);
vector_push_back(pvec_v1, pset_s1);
vector_push_back(pvec_v1, pset_s1);
set_clear(pset_s1);
set_insert(pset_s1, 0);
set_insert(pset_s1, 2);
set_insert(pset_s1, 4);
vector_push_back(pvec_v1, pset_s1);

for(it_v = vector_begin(pvec_v1), i = 1;
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v), ++i)
{
    printf("Set s%d ( ", i);
    for(it_s = set_begin((set_t*)iterator_get_pointer(it_v));
        !iterator_equal(it_s, set_end((set_t*)iterator_get_pointer(it_v)));
        it_s = iterator_next(it_s))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
    }
    printf(")\n");
}

it_v = algo_min(vector_begin(pvec_v1), iterator_next(vector_begin(pvec_v1)));
printf("The min set between the frist and the second is ( ");
for(it_s = set_begin((set_t*)iterator_get_pointer(it_v));
    !iterator_equal(it_s, set_end((set_t*)iterator_get_pointer(it_v)));
    it_s = iterator_next(it_s))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
printf(")\n");

it_v = algo_min(vector_begin(pvec_v1), iterator_prev(vector_end(pvec_v1)));
printf("The min set between the frist and the third is ( ");
for(it_s = set_begin((set_t*)iterator_get_pointer(it_v));
    !iterator_equal(it_s, set_end((set_t*)iterator_get_pointer(it_v)));
    it_s = iterator_next(it_s))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
}
printf(")\n");

it_v = algo_min_if(vector_begin(pvec_v1),
    iterator_next(vector_begin(pvec_v1)), fun_greater_set);
printf("The min set between the frist and the second under greater than is ( ");
for(it_s = set_begin((set_t*)iterator_get_pointer(it_v));
    !iterator_equal(it_s, set_end((set_t*)iterator_get_pointer(it_v)));

```

```

        it_s = iterator_next(it_s))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
    }
    printf("\n");

    it_v = algo_min_if(vector_begin(pvec_v1),
        iterator_prev(vector_end(pvec_v1)), fun_greater_set);
    printf("The min set between the frist and the third under greater than is ( ");
    for(it_s = set_begin((set_t*)iterator_get_pointer(it_v));
        !iterator_equal(it_s, set_end((set_t*)iterator_get_pointer(it_v)));
        it_s = iterator_next(it_s))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_s));
    }
    printf("\n");

    vector_destroy(pvec_v1);
    set_destroy(pset_s1);

    return 0;
}

```

● Output

```

Set s1 ( 0 1 2 )
Set s2 ( 0 1 2 )
Set s3 ( 0 2 4 )
The min set between the frist and the second is ( 0 1 2 )
The min set between the frist and the third is ( 0 1 2 )
The min set between the frist and the second under greater than is ( 0 1 2 )
The min set between the frist and the third under greater than is ( 0 2 4 )

```

32. algo_min_element algo_min_element_if

返回数据区间中最小数据的迭代器。

```

forward_iterator_t algo_min_element(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last
);

forward_iterator_t algo_min_element_if(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Requirements

头文件 <cstdlib/calgorithm.h>。

● Example

```

/*
 * algo_min_element.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

static void _mod_lessor(const void* cpv_first,
                        const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = abs(*(int*)cpv_first) < abs(*(int*)cpv_second) ?
        true : false;
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 0; i <= 3; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }
    for(i = 1; i <= 4; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * -2);
    }

    printf("Vector v1 is ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    it_v = algo_min_element(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
    printf("The smallest element in v1 is : %d.\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_v));

    it_v = algo_min_element_if(vector_begin(pvec_v1),
        vector_end(pvec_v1), _mod_lessor);
    printf("The smallest element in v1 under the mod_lessor is : %d.\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_v));

    vector_destroy(pvec_v1);

    return 0;
}

```

```
}
```

● Output

```
Vector v1 is ( 0 1 2 3 -2 -4 -6 -8 )  
The smallest element in v1 is : -8.  
The smallest element in v1 under the mod_lesser is : 0.
```

33. `algo_mismatch` `algo_mismatch_if`

将两个数据区间中的数据逐个比较，找出第一处不匹配的位置。

```
range_t algo_mismatch(  
    input_iterator_t it_first1,  
    input_iterator_t it_last1,  
    input_iterator_t it_first2  
);  
  
range_t algo_mismatch_if(  
    input_iterator_t it_first1,  
    input_iterator_t it_last1,  
    input_iterator_t it_first2,  
    binary_function_t bfun_op  
);
```

● Parameters

it_first1: 第一个数据区间的开始位置。
it_last1: 第一个数据区间的末尾位置。
it_first2: 第二个数据区间的开始位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

返回两个数据区间中第一处不匹配的位置，`it_begin` 表示第一个数据区间中的位置，`it_end` 表示第二个数据区间中的位置。

要求第二个数据区间必须足够大，至少和第一个数据区间包含的数据数目相同。

● Requirements

头文件 `<cstl/calgorithm.h>`。

● Example

```
/*  
 * algo_mismatch.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cvector.h>  
#include <cstl/clist.h>  
#include <cstl/calgorithm.h>  
  
static void _twice(const void* cpv_first, const void* cpv_second, void* pv_output);  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
```

```

vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
vector_iterator_t it_v;
list_t* plist_l1 = create_list(int);
list_iterator_t it_l;
range_t r_result;
int i = 0;

if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || plist_l1 == NULL)
{
    return -1;
}

vector_init(pvec_v1);
vector_init(pvec_v2);
list_init(plist_l1);

for(i = 0; i < 6; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i * 5);
    vector_push_back(pvec_v2, i * 10);
}
for(i = 0; i < 8; ++i)
{
    list_push_back(plist_l1, i * 5);
}

printf("Vector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");
printf("Vector v2 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");
printf("List l1 = ( ");
for(it_l = list_begin(plist_l1);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf(")\n");

/* Test v1 and l1 for mismatch under identity */
r_result = algo_mismatch(vector_begin(pvec_v1),
    vector_end(pvec_v1), list_begin(plist_l1));
if(iterator_equal(r_result.it_begin, vector_end(pvec_v1)))
{
    printf("The two ranges do not differ.\n");
}
else
{

```

```

        printf("The first mismatch is between %d and %d.\n",
            *(int*)iterator_get_pointer(r_result.it_begin),
            *(int*)iterator_get_pointer(r_result.it_end));
    }

    /* Modifying l1 */
    list_insert(plist_l1, iterator_advance(list_begin(plist_l1), 2), 100);
    printf("Modified l1 = ( ");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf(")\n");

    /* Testing v1 with modified l1 for mismatch under identity */
    r_result = algo_mismatch(vector_begin(pvec_v1),
        vector_end(pvec_v1), list_begin(plist_l1));
    if(iterator_equal(r_result.it_begin, vector_end(pvec_v1)))
    {
        printf("The two ranges do not differ.\n");
    }
    else
    {
        printf("The first mismatch is between %d and %d.\n",
            *(int*)iterator_get_pointer(r_result.it_begin),
            *(int*)iterator_get_pointer(r_result.it_end));
    }

    /* Test v1 and v2 for mismatch under the binary predicate twice */
    r_result = algo_mismatch_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
        vector_begin(pvec_v2), _twice);
    if(iterator_equal(r_result.it_begin, vector_end(pvec_v1)))
    {
        printf("The two ranges do not differ under the binary predicate twice.\n");
    }
    else
    {
        printf("The first mismatch is between %d and %d.\n",
            *(int*)iterator_get_pointer(r_result.it_begin),
            *(int*)iterator_get_pointer(r_result.it_end));
    }

    vector_destroy(pvec_v1);
    vector_destroy(pvec_v2);
    list_destroy(plist_l1);

    return 0;
}

static void _twice(const void* cpv_first, const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = *(int*)cpv_first * 2 == *(int*)cpv_second ? true : false;
}

```

● Output

```

Vector v1 = ( 0 5 10 15 20 25 )
Vector v2 = ( 0 10 20 30 40 50 )

```

```
List l1 = ( 0 5 10 15 20 25 30 35 )
The two ranges do not differ.
Modified l1 = ( 0 5 100 10 15 20 25 30 35 )
The first mismatch is between 10 and 100.
The two ranges do not differ under the binary predicate twice.
```

34. algo_next_permutation algo_next_permutation_if

获得数据区间当前中数据的下一个排序。

```
bool_t algo_next_permutation(
    bidirectional_iterator_t it_first,
    bidirectional_iterator_t it_last
);

bool_t algo_next_permutation_if(
    bidirectional_iterator_t it_first,
    bidirectional_iterator_t it_last,
    binary_function_t bfun_op
);
```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

如果对于数据区间中当前数据排序存在下一个排列，则返回 true，并将数据调正成下一个排列，否则返回 false，并将数据调整成整个数据区间的第一个排列。

● Requirements

头文件 <cstdlib/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_next_permutation.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <cstl/cdeque.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

static void _mod_lesser(const void* cpv_first,
    const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = abs(*(int*)cpv_first) < abs(*(int*)cpv_second) ?
        true : false;
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    deque_t* pdeq_q1 = create_deque(int);
```

```

deque_iterator_t it_q;
vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
vector_iterator_t it_v;
bool_t b_result = false;
int i = 0;

if(pdeq_q1 == NULL || pvec_v1 == NULL)
{
    return -1;
}

deque_init(pdeq_q1);
vector_init(pvec_v1);

deque_push_back(pdeq_q1, 5);
deque_push_back(pdeq_q1, 1);
deque_push_back(pdeq_q1, 10);

printf("The original deque of q1 = ( ");
for(it_q = deque_begin(pdeq_q1);
    !iterator_equal(it_q, deque_end(pdeq_q1));
    it_q = iterator_next(it_q))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
}
printf(")\n");

b_result = algo_next_permutation(deque_begin(pdeq_q1), deque_end(pdeq_q1));
if(b_result)
{
    printf("The lexicographically next permutation exists and has\n"
           "replaced the original ordering of the sequence in q1.\n");
}
else
{
    printf("The lexicographically next permutation doesn't exists and\n"
           "the lexicographically smallest permutation has replaced the\n"
           "original ordering of the sequence in q1.\n");
}
printf("After one application of next_permutation q1 = ( ");
for(it_q = deque_begin(pdeq_q1);
    !iterator_equal(it_q, deque_end(pdeq_q1));
    it_q = iterator_next(it_q))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
}
printf(")\n");

for(i = -3; i <= 3; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i);
}

printf("Vector v1 is ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}

```



```

printf("\n");

algo_next_permutation_if(vector_begin(pvec_v1),
    vector_end(pvec_v1), _mod_lesser);
printf("After the first next_permutation, vector v1 is:\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

for(i = 1; i <= 5; ++i)
{
    algo_next_permutation_if(vector_begin(pvec_v1),
        vector_end(pvec_v1), _mod_lesser);
    printf("After another next_permutation, vector v1 is:\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");
}

deque_destroy(pdeq_q1);
vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

The original deque of q1 = ( 5 1 10 )
The lexicographically next permutation exists and has
replaced the original ordering of the sequence in q1.
After one application of next_permutation q1 = ( 5 10 1 )
Vector v1 is ( -3 -2 -1 0 1 2 3 )
After the first next_permutation, vector v1 is:
( -3 -2 -1 0 1 3 2 )
After another next_permutation, vector v1 is:
( -3 -2 -1 0 2 1 3 )
After another next_permutation, vector v1 is:
( -3 -2 -1 0 2 3 1 )
After another next_permutation, vector v1 is:
( -3 -2 -1 0 3 1 2 )
After another next_permutation, vector v1 is:
( -3 -2 -1 0 3 2 1 )
After another next_permutation, vector v1 is:
( -3 -2 -1 1 0 2 3 )

```

35. algo_nth_element algo_nth_element_if

按照指定规则，根据数据区间中第n个数据，将数据区间分为小于等于n和大于等于n两部分。

```

void algo_nth_element(
    random_access_iterator_t it_first,

```

```

    random_access_iterator_t it_nth,
    random_access_iterator_t it_last
);

void algo_nth_element_if(
    random_access_iterator_t it_first,
    random_access_iterator_t it_nth,
    random_access_iterator_t it_last,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_nth: 数据区间第 n 个数据的位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

执行后第 n 个数据之前的数据都小于等于第 n 个数据，后面的数据都大于等于第 n 个数据。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```

/*
 * algo_nth_element.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 0; i <= 5; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 3);
    }
    for(i = 0; i <= 5; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 3 + 1);
    }
    for(i = 0; i <= 5; ++i)

```

```

{
    vector_push_back(pvec_v1, i * 3 + 2);
}

printf("Original vector:\nv1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

algo_nth_element(vector_begin(pvec_v1),
    iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 3), vector_end(pvec_v1));
printf("Position 3 partitioned vector:\nv1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

/* To sort in descending order, specify binary predicate greater */
algo_nth_element_if(vector_begin(pvec_v1),
    iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 4),
    vector_end(pvec_v1), fun_greater_int);
printf("Position 4 partitioned vector:\nv1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

Original vector:
v1 = ( 0 3 6 9 12 15 1 4 7 10 13 16 2 5 8 11 14 17 )
Position 3 partitioned vector:
v1 = ( 0 2 1 3 4 5 6 8 7 9 13 16 10 15 12 11 14 17 )
Position 4 partitioned vector:
v1 = ( 17 16 15 14 13 10 11 12 9 7 8 6 5 4 3 1 2 0 )

```

36. algo_partial_sort algo_partial_sort_if

按照指定的比较规则将数据区间中的数据进行部分排序。

```

void algo_partial_sort(
    random_access_iterator_t it_first,
    random_access_iterator_t it_middle,
    random_access_iterator_t it_last

```

```
);

void algo_partial_sort_if(
    random_access_iterator_t it_first,
    random_access_iterator_t it_middle,
    random_access_iterator_t it_last,
    binary_function_t bfun_op
);
```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_middle: 数据区间中被排序的数据区间的末尾。
it_last: 数据区间的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

执行后数据区间的前半部分被排序，后半部分是无序的。

● Requirements

头文件 <cstdlib/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_partial_sort.c
 * compile with : -lcstdl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cvector.h>
#include <cstdlib/calgorithm.h>
#include <cstdlib/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 0; i <= 5; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 2);
    }
    for(i = 0; i <= 5; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 2 + 1);
    }

    printf("Original vector:\nv1 = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
```

```

        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v)
    }
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

algo_partial_sort(vector_begin(pvec_v1),
    iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 6), vector_end(pvec_v1));
printf("Partially sorted vector:\nv1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* To partially sort in descending order, specify binary predicate */
algo_partial_sort_if(vector_begin(pvec_v1),
    iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 8),
    vector_end(pvec_v1), fun_greater_int);
printf("Partially resorted (greater) vector:\nv1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

Original vector:
v1 = ( 0 2 4 6 8 10 1 3 5 7 9 11 )
Partially sorted vector:
v1 = ( 0 1 2 3 4 5 10 8 6 7 9 11 )
Partially resorted (greater) vector:
v1 = ( 11 10 9 8 7 6 5 4 0 1 2 3 )

```

37. algo_partial_sort_copy algo_partial_sort_copy_if

按照指定的比较规则将数据区间中的数据进行部分排序，将结果拷贝到目的数据区间中。

```

random_access_iterator_t algo_partial_sort_copy(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    random_access_iterator_t it_first2,
    random_access_iterator_t t_last2
);

random_access_iterator_t algo_partial_sort_copy_if(
    input_iterator_t it_first1,

```

```

    input_iterator_t it_last1,
    random_access_iterator_t it_first2,
    random_access_iterator_t it_last2,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

it_first1: 第一个数据区间的开始位置。
it_last1: 第一个数据区间的末尾位置。
it_first2: 第二个数据区间的开始位置。
it_last2: 第二个数据区间的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

返回第二个数据区间中排序数据的末尾。

算法根据第二个数据区间的个数来计算第一个数据区间中被排序的数据的个数，将排序的结果拷贝到第二个数据区间中，同时返回被拷贝的数据的末尾。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```

/*
 * algo_partial_sort_copy.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/clist.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    vector_iterator_t it_end;
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_iterator_t it_l;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);
    list_init(plist_l1);

    for(i = 0; i < 10; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }

```

```

algo_random_shuffle(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));

list_push_back(plist_l1, 60);
list_push_back(plist_l1, 50);
list_push_back(plist_l1, 20);
list_push_back(plist_l1, 30);
list_push_back(plist_l1, 40);
list_push_back(plist_l1, 10);

printf("Vector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

printf("List l1 = ( ");
for(it_l = list_begin(plist_l1);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf(")\n");

/* Copying a partially sorted copy of l1 into v1 */
it_end = algo_partial_sort_copy(list_begin(plist_l1), list_end(plist_l1),
    vector_begin(pvec_v1), iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 3));
printf("List l1 vector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");
printf("The first v1 element one position beyond\n"
    "the first l1 element inserted was %d.\n",
    *(int*)iterator_get_pointer(it_end));

/* Copying a partially sorted with greater copy of l1 to v2 */
for(i = 0; i < 10; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v2, i);
}
algo_random_shuffle(vector_begin(pvec_v2), vector_end(pvec_v2));
it_end = algo_partial_sort_copy_if(list_begin(plist_l1), list_end(plist_l1),
    vector_begin(pvec_v2), iterator_next_n(vector_begin(pvec_v2), 6),
    fun_greater_int);
printf("List l1 vector v2 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");
printf("The first v2 element one position beyond\n"

```

```

        "the first l1 element inserted was %d.\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_end));

vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2);
list_destroy(plist_l1);

return 0;
}

```

● Output

```

Vector v1 = ( 5 7 4 3 8 9 6 0 1 2 )
List l1 = ( 60 50 20 30 40 10 )
List l1 vector v1 = ( 10 20 30 3 8 9 6 0 1 2 )
The first v1 element one position beyond
the first l1 element inserted was 3.
List l1 vector v2 = ( 60 50 40 30 20 10 8 6 2 9 )
The first v2 element one position beyond
the first l1 element inserted was 8.

```

38. algo_partition

按照指定规则将数据区间分为满足指定规则的数据和不满足指定规则的数据两部分。

```

forward_iterator_t algo_partition(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last,
    unary_function_t ufun_op
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
ufun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

返回满足指定规则的数据区间的末尾。

算法根据指定的规则将满足指定规则的数据放在数据区间的前部，不满足指定规则的数据放在数据区间的后部。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```

/*
 * algo_partition.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

static void _greater_5(const void* cpv_input, void* pv_output)
{

```



```

    *(bool_t*)pv_output = *(int*)cpv_input > 5 ? true : false;
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 0; i <= 10; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }
    algo_random_shuffle(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));

    printf("Vector v1 is ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    /* Partition the range with predicate greater5 */
    algo_partition(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), _greater_5);

    printf("The partitioned set of elements in v1 is ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    vector_destroy(pvec_v1);

    return 0;
}

```

● Output

```

Vector v1 is ( 7 2 10 8 4 5 9 3 1 6 0 )
The partitioned set of elements in v1 is ( 7 6 10 8 9 5 4 3 1 2 0 )

```

39. algo_pop_heap algo_pop_heap_if

将堆中优先级最高的数据移除。

```

void algo_pop_heap(
    random_access_iterator_t it_first,

```

```

    random_access_iterator_t it_last
);

void algo_pop_heap_if(
    random_access_iterator_t it_first,
    random_access_iterator_t it_last,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

数据区间必须是满足指定比较规则的堆。算法执行后堆中最高优先级的数据被转移到数据区间的最后一个位置，其余的数据仍然是堆。

● Requirements

头文件 <cstdlib/calgorithm.h>。

● Example

```

/*
 * algo_pop_heap.c
 * compile with : -lcstdl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cvector.h>
#include <cstdlib/calgorithm.h>
#include <cstdlib/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 1; i <= 9; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }
    algo_random_shuffle(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));

    /* Make v1 a heap with default less than ordering */
    algo_make_heap(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
    printf("The heap version of vector v1 is:\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));

```

```

        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    /* Add an element to the heap */
    vector_push_back(pvec_v1, 10);
    algo_push_heap(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
    printf("The reheaped v1 with 10 added is:\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    /* Remove the largest element form the heap */
    algo_pop_heap(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
    printf("The heap v1 with 10 removed is:\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    /* Make v1 a heap with greater than ordering */
    algo_make_heap_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), fun_greater_int);
    printf("The greater-than heaped version of vector v1 is:\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    vector_push_back(pvec_v1, 0);
    algo_push_heap_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), fun_greater_int);
    printf("The greater-than reheaped v1 with 0 added is:\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    algo_pop_heap_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), fun_greater_int);
    printf("The greater-than heap v1 with 0 removed is:\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

```

```

    vector_destroy(pvec_v1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The heap version of vector v1 is:
( 9 8 5 7 6 1 2 3 4 )
The reheaped v1 with 10 added is:
( 10 9 5 7 8 1 2 3 4 6 )
The heap v1 with 10 removed is:
( 9 8 5 7 6 1 2 3 4 10 )
The greater-than heaped version of vector v1 is:
( 1 3 2 4 6 5 9 7 8 10 )
The greater-than reheaped v1 with 0 added is:
( 0 1 2 4 3 5 9 7 8 10 6 )
The greater-than heap v1 with 0 removed is:
( 1 3 2 4 6 5 9 7 8 10 0 )

```

40. algo_prev_permutation algo_prev_permutation_if

返回当前数据区间中数据的上一个排列。

```

bool_t algo_prev_permutation(
    bidirectional_iterator_t it_first,
    bidirectional_iterator_t it_last
);

bool_t algo_prev_permutation_if(
    bidirectional_iterator_t it_first,
    bidirectional_iterator_t it_last,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

如果对于数据区间中当前数据排序存在上一个排列，则返回 true，并将数据调整成上一个排列，否则返回 false，并将数据调整成整个数据区间的最后一个排列。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```

/*
 * algo_prev_permutation.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>

```

```

#include <stdlib.h>
#include <cstl/cdeque.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

static void _mod_lesser(const void* cpv_first,
    const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = abs(*(int*)cpv_first) < abs(*(int*)cpv_second) ?
        true : false;
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    deque_t* pdeq_q1 = create_deque(int);
    deque_iterator_t it_q;
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    bool_t b_result = false;
    int i = 0;

    if(pdeq_q1 == NULL || pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    deque_init(pdeq_q1);
    vector_init(pvec_v1);

    deque_push_back(pdeq_q1, 5);
    deque_push_back(pdeq_q1, 1);
    deque_push_back(pdeq_q1, 10);

    printf("The original deque of q1 = ( ");
    for(it_q = deque_begin(pdeq_q1);
        !iterator_equal(it_q, deque_end(pdeq_q1));
        it_q = iterator_next(it_q))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
    }
    printf(")\n");

    b_result = algo_prev_permutation(deque_begin(pdeq_q1), deque_end(pdeq_q1));
    if(b_result)
    {
        printf("The lexicographically next permutation exists and has\n"
            "replaced the original ordering of the sequence in q1.\n");
    }
    else
    {
        printf("The lexicographically next permutation doesn't exists and\n"
            "the lexicographically smallest permutation has replaced the\n"
            "original ordering of the sequence in q1.\n");
    }
    printf("After one application of prev_permutation q1 = ( ");
    for(it_q = deque_begin(pdeq_q1);
        !iterator_equal(it_q, deque_end(pdeq_q1));
        it_q = iterator_next(it_q))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
    }

```

```

}
printf("\n");

for(i = -3; i <= 3; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i);
}

printf("Vector v1 is ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

algo_prev_permutation_if(vector_begin(pvec_v1),
    vector_end(pvec_v1), _mod_lesser);
printf("After the first prev_permutation, vector v1 is:\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

for(i = 1; i <= 5; ++i)
{
    algo_prev_permutation_if(vector_begin(pvec_v1),
        vector_end(pvec_v1), _mod_lesser);
    printf("After another prev_permutation, vector v1 is:\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");
}

deque_destroy(pdeq_q1);
vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

The original deque of q1 = (5 1 10)
 The lexicographically next permutation exists and has
 replaced the original ordering of the sequence in q1.
 After one application of prev_permutation q1 = (1 10 5)
 Vector v1 is (-3 -2 -1 0 1 2 3)
 After the first prev_permutation, vector v1 is:
 (-3 -2 0 3 2 1 -1)
 After another prev_permutation, vector v1 is:
 (-3 -2 0 3 -1 2 1)
 After another prev_permutation, vector v1 is:

```
( -3 -2 0 3 -1 1 2 )
After another prev_permutation, vector v1 is:
( -3 -2 0 2 3 1 -1 )
After another prev_permutation, vector v1 is:
( -3 -2 0 2 -1 3 1 )
After another prev_permutation, vector v1 is:
( -3 -2 0 2 -1 1 3 )
```

41. algo_push_heap algo_push_heap_if

向堆中添加一个数据。

```
void algo_push_heap(
    random_access_iterator_t it_first,
    random_access_iterator_t it_last
);

void algo_push_heap_if(
    random_access_iterator_t it_first,
    random_access_iterator_t it_last,
    binary_function_t bfun_op
);
```

- **Parameters**

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

- **Remarks**

数据区间的最后一个数据要向堆中添加的数据，除了最后一个数据，数据区间前面的数据是堆。算法执行后，真个数据区间变成堆。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/calgorithm.h>。

- **Example**

```
/*
 * algo_push_heap.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cvector.h>
#include <cstdlib/calgorithm.h>
#include <cstdlib/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
```

```

        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 1; i <= 9; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }
    algo_random_shuffle(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));

    printf("Vector v1 is:\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    /* Make v1 a heap with default less than ordering */
    algo_make_heap(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
    printf("The heap version of vector v1 is:\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    /* Add an element to the heap */
    vector_push_back(pvec_v1, 10);
    printf("The heap v1 with 10 pushed back is:\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    algo_push_heap(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
    printf("The reheaped v1 with 10 added is:\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }

```



```

printf("\n");

/* Make v1 a heap with greater than ordering */
algo_make_heap_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), fun_greater_int);
printf("The greater-than heaped version of vector v1 is:\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_push_back(pvec_v1, 0);
printf("The greater-than heap v1 with 0 pushed back is:\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

algo_push_heap_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), fun_greater_int);
printf("The greater-than reheaped v1 with 0 added is:\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

Vector v1 is:
( 8 4 9 6 1 3 7 2 5 )
The heap version of vector v1 is:
( 9 6 8 5 1 3 7 2 4 )
The heap v1 with 10 pushed back is:
( 9 6 8 5 1 3 7 2 4 10 )
The reheaped v1 with 10 added is:
( 10 9 8 5 6 3 7 2 4 1 )
The greater-than heaped version of vector v1 is:
( 1 2 3 4 6 8 7 5 10 9 )
The greater-than heap v1 with 0 pushed back is:
( 1 2 3 4 6 8 7 5 10 9 0 )
The greater-than reheaped v1 with 0 added is:

```

```
( 0 1 3 4 2 8 7 5 10 9 6 )
```

42. algo_random_sample algo_random_sample_if

从第一个数据区间中随机抽出数据填充第二个数据区间。

```
random_access_iterator_t algo_random_sample(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    random_access_iterator_t it_first2,
    random_access_iterator_t it_last2
);

random_access_iterator_t algo_random_sample_if(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    random_access_iterator_t it_first2,
    random_access_iterator_t it_last2,
    unary_function_t ufun_op
);
```

● Parameters

it_first1: 第一个数据区间的开始位置。
it_last1: 第一个数据区间的末尾位置。
it_first2: 第二个数据区间的开始位置。
it_last2: 第二个数据区间的末尾位置。
ufun_op: 指定的随机数生成函数。

● Remarks

返回第二个数据区间中被抽出的数据的末尾。

算法从第一个数据区间中随机抽出数据填充到第二个数据区间中，随机抽出的数据不重复。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_random_sample.c
 * compile with : -lcslt
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/cdeque.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    deque_t* pdeq_dq1 = create_deque(int);
    deque_iterator_t it_dq;
```

```

int i = 0;

if(pvec_v1 == NULL || pdeq_dq1 == NULL)
{
    return -1;
}

vector_init(pvec_v1);
deque_init_n(pdeq_dq1, 10);

for(i = 0; i < 15; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i);
}

printf("The original vector v1 is: ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

algo_random_sample(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
    deque_begin(pdeq_dq1), deque_end(pdeq_dq1));

printf("The random sample dq1 is : ( ");
for(it_dq = deque_begin(pdeq_dq1);
    !iterator_equal(it_dq, deque_end(pdeq_dq1));
    it_dq = iterator_next(it_dq))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_dq));
}
printf("\n");

deque_resize(pdeq_dq1, 20);
algo_random_sample(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
    deque_begin(pdeq_dq1), deque_end(pdeq_dq1));

printf("The random sample dq1 is : ( ");
for(it_dq = deque_begin(pdeq_dq1);
    !iterator_equal(it_dq, deque_end(pdeq_dq1));
    it_dq = iterator_next(it_dq))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_dq));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);
deque_destroy(pdeq_dq1);

```

```
    return 0;
}
```

● Output

```
The original vector v1 is: ( 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 )
The random sample dq1 is : ( 0 12 2 3 11 5 6 7 8 9 )
The random sample dq1 is : ( 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 0 0 0 0 0 )
```

43. algo_random_sample_n algo_random_sample_n_if

从第一个数据区间中随机抽出 n 个数据填充到目的数据区间。

```
output_iterator_t algo_random_sample_n(
    input_iterator_t it_first,
    input_iterator_t it_last,
    output_iterator_t it_result,
    size_t t_count
);

output_iterator_t algo_random_sample_n_if(
    input_iterator_t it_first,
    input_iterator_t it_last,
    output_iterator_t it_result,
    size_t it_count,
    unary_function_t ufun_op
);
```

● Parameters

it_first: 第一个数据区间的开始位置。
it_last: 第一个数据区间的末尾位置。
it_result: 第二个数据区间的开始位置。
t_count: 随机抽取的数据的个数。
ufun_op: 指定的随机数生成函数。

● Remarks

返回第二个数据区间中被抽出的数据的末尾。

算法从第一个数据区间中随机抽出 n 个数据填充到第二个数据区间中，随机抽出的数据不重复。必须保证第二个数据区间至少包含 n 个数据。

● Requirements

头文件 <cstdlib/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_random_sample_n.c
 * compile with : -lcsl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cvector.h>
#include <cstdlib/cdeque.h>
```

```

#include <cstl/calgorithm.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    deque_t* pdeq_dq1 = create_deque(int);
    deque_iterator_t it_dq;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pdeq_dq1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    deque_init_n(pdeq_dq1, 20);

    for(i = 0; i < 15; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }

    printf("The original vector v1 is: ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    algo_random_sample_n(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
        deque_begin(pdeq_dq1), 10);

    printf("The random sample 10 dq1 is : ( ");
    for(it_dq = deque_begin(pdeq_dq1);
        !iterator_equal(it_dq, deque_end(pdeq_dq1));
        it_dq = iterator_next(it_dq))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_dq));
    }
    printf(")\n");

    algo_random_sample_n(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
        deque_begin(pdeq_dq1), 20);

    printf("The random sample 20 dq1 is : ( ");
    for(it_dq = deque_begin(pdeq_dq1);
        !iterator_equal(it_dq, deque_end(pdeq_dq1));
        it_dq = iterator_next(it_dq))

```

```

{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_dq));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);
deque_destroy(pdeq_dq1);

return 0;
}

```

● Output

```

The original vector v1 is: ( 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 )
The random sample 10 dq1 is : ( 0 1 2 5 7 9 10 12 13 14 0 0 0 0 0 0 0 0 0 )
The random sample 20 dq1 is : ( 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 0 0 0 0 0 )

```

44. algo_random_shuffle algo_random_shuffle_if

对数据区间中的数据进行随机重排。

```

void algo_random_shuffle(
    random_access_iterator_t it_first,
    random_access_iterator_t it_last
);

void algo_random_shuffle_if(
    random_access_iterator_t it_first,
    random_access_iterator_t it_last,
    unary_function_t ufun_op
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
ufun_op: 指定的随机数生成函数。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```

/*
 * algo_random_shuffle.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;

```

```

int i = 0;

if(pvec_v1 == NULL)
{
    return -1;
}

vector_init(pvec_v1);

for(i = 0; i <= 9; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i);
}

printf("The original version of vector v1 is: ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Shuffle once */
algo_random_shuffle(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
printf("Vector v1 after one shuffle is:      ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Shuffle again */
algo_random_shuffle(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
printf("Vector v1 after another shuffle is:   ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```
The original version of vector v1 is: ( 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 )
Vector v1 after one shuffle is:      ( 7 2 1 8 0 3 4 5 6 9 )
Vector v1 after another shuffle is:  ( 7 9 1 2 0 4 6 8 3 5 )
```

45. algo_remove

移除数据区间中的指定数据。

```
forward_iterator_t algo_remove(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last,
    element
);
```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
element: 指定的数据。

● Remarks

返回移除数据后有效数据区间的末尾。
这个算法并不是真正的删除数据，而是使用后面的数据覆盖要删除的数据。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_remove.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_remove;
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 0; i < 10; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
```



```

}
for(i = 0; i < 4; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, 7);
}

algo_random_shuffle(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
printf("The original vector v1 is ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

it_remove = algo_remove(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), 7);

printf("Vector v1 with value 7 removed is ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* To change the sequence size, use erase */
vector_erase_range(pvec_v1, it_remove, vector_end(pvec_v1));

printf("Vector v1 resized with value 7 removed is ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

The original vector v1 is ( 2 7 8 9 7 3 6 5 0 7 7 7 4 1 )
Vector v1 with value 7 removed is ( 2 8 9 3 6 5 0 4 1 7 7 7 4 1 )
Vector v1 resized with value 7 removed is ( 2 8 9 3 6 5 0 4 1 )

```

46. algo_remove_copy

将数据区间中指定的数据移除，将结果拷贝到目的数据区间。

```
output_iterator_t algo_remove_copy(  
    input_iterator_t it_first,  
    input_iterator_t it_last,  
    output_iterator_t it_result,  
    element  
);
```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
it_result: 目的数据区间的开始位置。
element: 指定的数据。

● Remarks

返回目的数据区间中拷贝的数据区间的末尾。
这个算法将源数据区间中非指定数据拷贝到目的数据区间。目的数据区间要足够大。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*  
 * algo_remove_copy.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cvector.h>  
#include <cstl/calgorithm.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);  
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);  
    vector_iterator_t it_v;  
    int i = 0;  
  
    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    vector_init(pvec_v1);  
    vector_init(pvec_v2);  
  
    for(i = 0; i < 10; ++i)  
    {  
        vector_push_back(pvec_v1, i);  
    }  
}
```

```

for(i = 0; i < 4; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, 7);
}

algo_random_shuffle(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
printf("The original vector v1 is ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_resize(pvec_v2, vector_size(pvec_v1));
it_v = algo_remove_copy(vector_begin(pvec_v1),
    vector_end(pvec_v1), vector_begin(pvec_v2), 7);

printf("Vector v1 is left unchanged as ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");
printf("Vector v2 is a copy of v1 with the value 7 removed ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2);

return 0;
}

```

● Output

```

The original vector v1 is ( 8 7 3 9 7 7 6 4 7 2 7 5 1 0 )
Vector v1 is left unchanged as ( 8 7 3 9 7 7 6 4 7 2 7 5 1 0 )
Vector v2 is a copy of v1 with the value 7 removed ( 8 3 9 6 4 2 5 1 0 0 0 0 0 0 )

```

47. algo_remove_copy_if

移除数据区间中符合指定规则的数据，将结果拷贝到目的数据区间。

```
output_iterator_t algo_remove_copy_if(
    input_iterator_t it_first,
    input_iterator_t it_last,
    output_iterator_t it_result,
    unary_function_t ufun_op
);
```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
it_result: 目的数据区间的开始位置。
ufun_op: 指定的规则。

● Remarks

返回目的数据区间中拷贝的数据区间的末尾。
这个算法将源数据区间中不符合指定规则的数据拷贝到目的数据区间。目的数据区间要足够大。

● Requirements

头文件 <cstdlib/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_remove_copy_if.c
 * compile with : -lcstdl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cvector.h>
#include <cstdlib/calgorithm.h>

static void _greater_6(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = *(int*)cpv_input > 6 ? true : false;
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    vector_iterator_t it_end;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);

    for(i = 0; i < 10; ++i)
    {
```

```

        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }
    for(i = 0; i < 4; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, 7);
    }

    algo_random_shuffle(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
    printf("The original vector v1 is ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    vector_resize(pvec_v2, vector_size(pvec_v1));
    it_end = algo_remove_copy_if(vector_begin(pvec_v1),
        vector_end(pvec_v1), vector_begin(pvec_v2), _greater_6);

    printf("Vector v1 is left unchanged as ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");
    printf("Vector v2 is a copy of v1 with the value greater 6 removed ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
        !iterator_equal(it_v, it_end);
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    vector_destroy(pvec_v1);
    vector_destroy(pvec_v2);

    return 0;
}

```

● Output

```

The original vector v1 is ( 7 7 7 7 2 3 6 0 8 5 9 1 7 4 )
Vector v1 is left unchanged as ( 7 7 7 7 2 3 6 0 8 5 9 1 7 4 )
Vector v2 is a copy of v1 with the value greater 6 removed ( 2 3 6 0 5 1 4 )

```

48. algo_remove_if

移除数据区间中符合指定规则的数据。

```
forward_iterator_t algo_remove_if(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last,
    unary_function_t ufun_op
);
```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
ufun_op: 指定的规则。

● Remarks

返回移除数据后有效数据区间的末尾。
这个算法并不是真正的删除数据，而是使用后面的数据覆盖要删除的数据。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_remove_if.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

static void _greater_6(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = *(int*)cpv_input > 6 ? true : false;
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    vector_iterator_t it_end;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 0; i <= 9; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }
}
```

```

}
for(i = 0; i <= 3; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i);
}
algo_random_shuffle(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));

printf("Vector v1 is ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Remove elements satisfying predicate greater5 */
it_end = algo_remove_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), _greater_6);

printf("Vector v1 with elements satisfying greater6 removed is ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, it_end);
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* To change the sequence size, use erase */
vector_erase_range(pvec_v1, it_end, vector_end(pvec_v1));

printf("Vector v1 resized elements satisfying greater6 removed is ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

Vector v1 is ( 0 9 1 8 0 1 2 3 2 7 4 3 6 5 )
Vector v1 with elements satisfying greater6 removed is ( 0 1 0 1 2 3 2 4 3 6 5 )
Vector v1 resized elements satisfying greater6 removed is ( 0 1 0 1 2 3 2 4 3 6 5 )

```

49. algo_replace

将数据区间中指定的数据替换。

```
void algo_replace(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last,
    old_element,
    new_element
);
```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
old_element: 被替换的数据。
new_element: 替换的数据。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_replace.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 0; i < 10; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }
    for(i = 0; i < 4; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, 7);
    }

    algo_random_shuffle(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
```



```

printf("The original vector v1 is:\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Replace elements with a value of 7 with a value of 700 */
algo_replace(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), 7, 700);

printf("The vector v1 with a value 700 replacing that of 7 is:\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

The original vector v1 is:
( 4 8 7 6 0 7 7 9 2 3 7 5 7 1 )
The vector v1 with a value 700 replacing that of 7 is:
( 4 8 700 6 0 700 700 9 2 3 700 5 700 1 )

```

50. algo_replace_copy

将数据区间中指定的数据替换，将结果拷贝到目的数据区间。

```

void algo_replace_copy(
    input_iterator_t it_first,
    input_iterator_t it_last,
    output_iterator_t it_result,
    old_element,
    new_element
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
it_result: 目的数据区间的开始位置。
old_element: 被替换的数据。
new_element: 替换的数据。

● Requirements

头文件 <cstdlib/calgorithm.h>。

● Remarks

目的数据区间至少要和源数据区间一样大。

● Example

```
/*
 * algo_replace_copy.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cvector.h>
#include <cstdlib/clist.h>
#include <cstdlib/calgorithm.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_iterator_t it_l;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    list_init_n(plist_l1, 15);

    for(i = 0; i < 10; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }
    for(i = 0; i < 4; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, 7);
    }

    algo_random_shuffle(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
    for(i = 0; i < 16; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, 1);
    }

    printf("The original vector v1 is:\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
```

```

{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/*
 * Replace elements in one part of a vector with a value of 7
 * with a value 70 and copy into another part of the vector
 */
algo_replace_copy(vector_begin(pvec_v1),
    iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 14),
    iterator_prev_n(vector_end(pvec_v1), 15), 7, 70);

printf("The vector v1 with a value 70 replacing that of 7 is:\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/*
 * Replace elements in a vector with a value of 70
 * with a value of 1 and copy into a list
 */
algo_replace_copy(vector_begin(pvec_v1),
    iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 14),
    list_begin(plist_l1), 7, 1);

printf("The list copy l1 of v1 with the value 0 replacing that of 7 is:\n( ");
for(it_l = list_begin(plist_l1);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);
list_destroy(plist_l1);

return 0;
}

```

● Output

The original vector v1 is:
(6 1 7 3 2 5 7 9 7 4 7 8 7 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1)
The vector v1 with a value 70 replacing that of 7 is:
(6 1 7 3 2 5 7 9 7 4 7 8 7 0 1 6 1 70 3 2 5 70 9 70 4 70 8 70 0 1)
The list copy l1 of v1 with the value 0 replacing that of 7 is:

```
( 6 1 1 3 2 5 1 9 1 4 1 8 1 0 0 )
```

51. algo_replace_copy_if

将数据区间中符合指定规则的数据替换，将结果拷贝到目的数据区间。

```
output_iterator_t algo_replace_copy_if(
    input_iterator_t it_first,
    input_iterator_t it_last,
    output_iterator_t it_result,
    unary_function_t ufun_op,
    element
);
```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
it_result: 目的数据区间的开始位置。
ufun_op: 指定的规则。
element: 替换的数据。

● Remarks

返回目的数据区间中拷贝的数据区间的末尾。
目的数据区间至少要和源数据区间一样大。

● Requirements

头文件 <cstdlib/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_replace_copy_if.c
 * compile with : -lcstdl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdl/cvector.h>
#include <cstdl/clist.h>
#include <cstdl/calgorithm.h>

static void _greater_6(const void* cpv_input, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_iterator_t it_l;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }
}
```

```

}

vector_init(pvec_v1);
list_init_n(plist_l1, 15);

for(i = 0; i < 10; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i);
}
for(i = 0; i < 4; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, 7);
}

algo_random_shuffle(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
for(i = 0; i < 16; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, 1);
}

printf("The original vector v1 is:\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

/*
 * Replace elements in one part of a vector with a value that greater than 6
 * with a value 70 and copy into another part of the vector
 */
algo_replace_copy_if(vector_begin(pvec_v1),
    iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 14),
    iterator_prev_n(vector_end(pvec_v1), 15), _greater_6, 70);

printf("The vector v1 with a value 70 replacing those greater"
    " than 6 in the 1st half & copied into the 2nd half is:\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

/*
 * Replace elements in a vector with a value that greater than 6
 * with a value of 1 and copy into a list

```

```

    */
    algo_replace_copy_if(vector_begin(pvec_v1),
        iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 14),
        list_begin(plist_l1), _greater_6, -1);

    printf("The list copy l1 of v1 with the value -1 replacing "
        "those greater than 6 is:\n( ");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
    }
    printf(")\n");

    vector_destroy(pvec_v1);
    list_destroy(plist_l1);

    return 0;
}

static void _greater_6(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = *(int*)cpv_input > 6 ? true : false;
}

```

● Output

```

The original vector v1 is:
( 7 7 4 7 0 3 2 6 7 8 5 9 7 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 )
The vector v1 with a value 70 replacing those greater than 6 in the 1st half &
copied into the 2nd half is:
( 7 7 4 7 0 3 2 6 7 8 5 9 7 1 1 70 70 4 70 0 3 2 6 70 70 5 70 70 1 1 )
The list copy l1 of v1 with the value -1 replacing those greater than 6 is:
( -1 -1 4 -1 0 3 2 6 -1 -1 5 -1 -1 1 0 )

```

52. algo_replace_if

将数据区间中符合指定规则的数据替换。

```

void algo_replace_if(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last,
    unary_function_t ufun_op,
    element
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
ufun_op: 指定的规则。
element: 替换的数据。

● Requirements

头文件 <cstdlib/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_replace_if.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cvector.h>
#include <cstdlib/calgorithm.h>

static void _greater_6(const void* cpv_input, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 0; i < 10; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }
    for(i = 0; i < 4; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, 7);
    }

    algo_random_shuffle(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
    printf("The original vector v1 is:\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    /* Replace elements satisfying the predicate greater6 with a value of 70 */
    algo_replace_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), _greater_6, 70);

    printf("The vector v1 with a value 700 replacing those"
           " elements satisfying the greater 6 predicate is:\n( ");
```

```

    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    vector_destroy(pvec_v1);

    return 0;
}

static void _greater_6(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = *(int*)cpv_input > 6 ? true : false;
}

```

● Output

The original vector v1 is:
 (7 0 7 7 4 9 8 2 3 7 6 1 7 5)
 The vector v1 with a value 700 replacing those elements satisfying the greater 6 predicate is:
 (70 0 70 70 4 70 70 2 3 70 6 1 70 5)

53. algo_reverse

将数据区间中的数据逆序。

```

void algo_reverse(
    bidirectional_iterator_t it_first,
    bidirectional_iterator_t it_last
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。

● Requirements

头文件 <cstdlib/calgorithm.h>。

● Example

```

/*
 * algo_reverse.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

int main(int argc, char* argv[])
{

```



```

vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
vector_iterator_t it_v;
int i = 0;

if(pvec_v1 == NULL)
{
    return -1;
}

vector_init(pvec_v1);

for(i = 0; i <= 9; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i);
}

printf("The original vector v1 is: ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Reverse the elements in the vector */
algo_reverse(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));

printf("The modified vector v1 with values reversed is: ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

The original vector v1 is: ( 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 )
The modified vector v1 with values reversed is: ( 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 )

```

54. algo_reverse_copy

将数据区间中的数据逆序，将结果拷贝到目的数据区间。

```
output_iterator_t algo_reverse_copy(
```

```
    bidirectional_iterator_t it_first,  
    bidirectional_iterator_t it_last,  
    output_iterator_t it_result  
);
```

- **Parameters**

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
it_result: 目的数据区间的开始位置。

- **Requirements**

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

- **Remarks**

目的数据区间至少要和源数据区间一样大。

- **Example**

```
/*  
 * algo_reverse_copy.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cvector.h>  
#include <cstl/calgorithm.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);  
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);  
    vector_iterator_t it_v;  
    int i = 0;  
  
    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    vector_init(pvec_v1);  
    vector_init_n(pvec_v2, 10);  
  
    for(i = 0; i <= 9; ++i)  
    {  
        vector_push_back(pvec_v1, i);  
    }  
  
    printf("The original vector v1 is: ( ");  
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);  
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));  
        it_v = iterator_next(it_v))  
    {
```

```

        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    /* Reverse the elements in the vector */
    algo_reverse_copy(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
        vector_begin(pvec_v2));

    printf("The cppy v2 of the reversed vector v1 is: ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    printf("The original vector v1 remains unmodified as: ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    vector_destroy(pvec_v1);
    vector_destroy(pvec_v2);

    return 0;
}

```

● Output

```

The original vector v1 is: ( 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 )
The cppy v2 of the reversed vector v1 is: ( 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 )
The original vector v1 remains unmodified as: ( 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 )

```

55. algo_rotate

交换数据区间中两个相邻的部分。

```

forward_iterator_t algo_rotate(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_middle,
    forward_iterator_t it_last
);

```

● Parameters

- it_first:** 数据区间第一个有序部分的开始位置。
- it_middle:** 数据区间第一个有序部分的末尾位置，第二个有序部分的开始位置。
- it_last:** 数据区间第二个有序部分的末尾位置。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_rotate.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/cdeque.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    deque_t* pdeq_q1 = create_deque(int);
    deque_iterator_t it_q;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pdeq_q1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    deque_init(pdeq_q1);

    for(i = -3; i <= 5; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }
    for(i = 0; i <= 5; ++i)
    {
        deque_push_back(pdeq_q1, i);
    }

    printf("Vector v1 is ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    algo_rotate(vector_begin(pvec_v1),
        iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 3), vector_end(pvec_v1));
    printf("After rotating, vector v1 is ( ");
```

```

for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

printf("The original deque q1 is ( ");
for(it_q = deque_begin(pdeq_q1);
    !iterator_equal(it_q, deque_end(pdeq_q1));
    it_q = iterator_next(it_q))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
}
printf("\n");

i = 1;
while(i <= iterator_distance(deque_begin(pdeq_q1), deque_end(pdeq_q1)))
{
    algo_rotate(deque_begin(pdeq_q1),
        iterator_next(deque_begin(pdeq_q1)), deque_end(pdeq_q1));
    printf("After the rotation of a single deque element to the back q1 is ( ");
    for(it_q = deque_begin(pdeq_q1);
        !iterator_equal(it_q, deque_end(pdeq_q1));
        it_q = iterator_next(it_q))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
    }
    printf("\n");
    i++;
}

vector_destroy(pvec_v1);
deque_destroy(pdeq_q1);

return 0;
}

```

● Output

```

Vector v1 is ( -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 )
After rotating, vector v1 is ( 0 1 2 3 4 5 -3 -2 -1 )
The original deque q1 is ( 0 1 2 3 4 5 )
After the rotation of a single deque element to the back q1 is ( 1 2 3 4 5 0 )
After the rotation of a single deque element to the back q1 is ( 2 3 4 5 0 1 )
After the rotation of a single deque element to the back q1 is ( 3 4 5 0 1 2 )
After the rotation of a single deque element to the back q1 is ( 4 5 0 1 2 3 )
After the rotation of a single deque element to the back q1 is ( 5 0 1 2 3 4 )
After the rotation of a single deque element to the back q1 is ( 0 1 2 3 4 5 )

```

56. algo_rotate_copy

交换数据区间中相邻两部分数据，将结果拷贝到目的数据区间。

```
output_iterator_t algo_rotate_copy(  
    forward_iterator_t it_first,  
    forward_iterator_t it_middle,  
    forward_iterator_t it_last,  
    output_iterator_t it_result  
);
```

● Parameters

it_first: 数据区间第一个有序部分的开始位置。
it_middle: 数据区间第一个有序部分的末尾位置，第二个有序部分的开始位置。
it_last: 数据区间第二个有序部分的末尾位置。
it_result: 目的数据区间的开始位置。

● Remarks

返回目的数据区间中拷贝的数据的末尾。
要保证目的数据区间至少和源数据区间一样大。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*  
 * algo_rotate_copy.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cvector.h>  
#include <cstl/cdeque.h>  
#include <cstl/calgorithm.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);  
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);  
    vector_iterator_t it_v;  
    deque_t* pdeq_q1 = create_deque(int);  
    deque_t* pdeq_q2 = create_deque(int);  
    deque_iterator_t it_q;  
    int i = 0;  
  
    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL ||  
       pdeq_q1 == NULL || pdeq_q2 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    vector_init(pvec_v1);  
    vector_init_n(pvec_v2, 9);
```

```

deque_init(pdeq_q1);
deque_init_n(pdeq_q2, 6);

for(i = -3; i <= 5; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i);
}
for(i = 0; i <= 5; ++i)
{
    deque_push_back(pdeq_q1, i);
}

printf("Vector v1 is ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

algo_rotate_copy(vector_begin(pvec_v1),
    iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 3),
    vector_end(pvec_v1), vector_begin(pvec_v2));
printf("After rotating, vector v2 is ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

printf("The original deque q1 is ( ");
for(it_q = deque_begin(pdeq_q1);
    !iterator_equal(it_q, deque_end(pdeq_q1));
    it_q = iterator_next(it_q))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
}
printf("\n");

i = 1;
while(i <= iterator_distance(deque_begin(pdeq_q1), deque_end(pdeq_q1)))
{
    algo_rotate_copy(deque_begin(pdeq_q1),
        iterator_next(deque_begin(pdeq_q1)),
        deque_end(pdeq_q1), deque_begin(pdeq_q2));
    printf("After the rotation of a single deque element to the back q2 is ( ");
    for(it_q = deque_begin(pdeq_q2);

```

```

        !iterator_equal(it_q, deque_end(pdeq_q2));
        it_q = iterator_next(it_q)
    }
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
}
printf("\n");
i++;
}

vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2);
deque_destroy(pdeq_q1);
deque_destroy(pdeq_q2);

return 0;
}

```

● Output

```

Vector v1 is ( -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 )
After rotating, vector v2 is ( 0 1 2 3 4 5 -3 -2 -1 )
The original deque q1 is ( 0 1 2 3 4 5 )
After the rotation of a single deque element to the back q2 is ( 1 2 3 4 5 0 )
After the rotation of a single deque element to the back q2 is ( 1 2 3 4 5 0 )
After the rotation of a single deque element to the back q2 is ( 1 2 3 4 5 0 )
After the rotation of a single deque element to the back q2 is ( 1 2 3 4 5 0 )
After the rotation of a single deque element to the back q2 is ( 1 2 3 4 5 0 )
After the rotation of a single deque element to the back q2 is ( 1 2 3 4 5 0 )

```

57. algo_search algo_search_if

在第一个数据区间中查找子数据区间出现的第一个位置。

```

forward_iterator_t algo_search(
    forward_iterator_t it_first1,
    forward_iterator_t it_last1,
    forward_iterator_t it_first2,
    forward_iterator_t it_last2
);

forward_iterator_t algo_search_if(
    forward_iterator_t it_first1,
    forward_iterator_t it_last1,
    forward_iterator_t it_first2,
    forward_iterator_t it_last2,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

it_first1: 第一个数据区间的开始位置。
it_last1: 第一个数据区间的末尾位置。
it_first2: 子数据区间的开始位置。
it_last2: 子数据区间的末尾位置。

bfun_op: 指定的比较规则。

- **Remarks**

返回目的数据区间中第一个符合规则的子数据区间的第一个数据的迭代器，如果不包含这个子数据区间，返回数据区间的末尾。

这个算法默认使用数据类型的等于操作函数。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/calgorithm.h>。

- **Example**

```
/*
 * algo_search.c
 * compile with : -lcstdl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cvector.h>
#include <cstdlib/clist.h>
#include <cstdlib/calgorithm.h>

static void _twice(const void* cpv_first, const void* cpv_second, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    vector_iterator_t it_v;
    list_iterator_t it_l;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);
    list_init(plist_l1);

    for(i = 0; i <= 5; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 5);
    }
    for(i = 0; i <= 5; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 5);
    }
    for(i = 2; i <= 4; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v2, i * 10);
    }
}
```

```

}
for(i = 4; i <= 5; ++i)
{
    list_push_back(plist_l1, i * 5);
}

printf("Vector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");
printf("List l1 = ( ");
for(it_l = list_begin(plist_l1);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");
printf("Vector v2 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Searching v1 for first match to l1 under identity */
it_v = algo_search(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
    list_begin(plist_l1), list_end(plist_l1));

if(iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1)))
{
    printf("There is no match of l1 in v1.\n");
}
else
{
    printf("There is at least one match of l1 in v1\n"
        "and the first one begins at position %d.\n",
        iterator_distance(vector_begin(pvec_v1), it_v));
}

/* Searching v1 for a match to v2 under the binary predicate twice */
it_v = algo_search_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
    vector_begin(pvec_v2), vector_end(pvec_v2), _twice);
if(iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1)))

```

```

{
    printf("There is no match of v2 in v1.\n");
}
else
{
    printf("There is a sequence of elements in v1 that are equivalent\n"
           "to those in v2 under the binary predicate twice\n"
           "and the first one begins at position %d.\n",
           iterator_distance(vector_begin(pvec_v1), it_v));
}

vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2);
list_destroy(plist_l1);

return 0;
}

static void _twice(const void* cpv_first, const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = *(int*)cpv_first * 2 == *(int*)cpv_second ? true : false;
}

```

● Output

```

Vector v1 = ( 0 5 10 15 20 25 0 5 10 15 20 25 )
List l1 = ( 20 25 )
Vector v2 = ( 20 30 40 )
There is at least one match of l1 in v1
and the first one begins at position 4.
There is a sequence of elements in v1 that are equivalent
to those in v2 under the binary predicate twice
and the first one begins at position 2.

```

58. algo_search_end algo_search_end_if

在数据区间中查找最后一个符合规则的子数据区间。

```

forward_iterator_t algo_search_end(
    forward_iterator_t it_first1,
    forward_iterator_t it_last1,
    forward_iterator_t it_first2,
    forward_iterator_t it_last2
);

forward_iterator_t algo_search_end_if(
    forward_iterator_t it_first1,
    forward_iterator_t it_last1,
    forward_iterator_t it_first2,
    forward_iterator_t it_last2,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

it_first1: 第一个数据区间的开始位置。
it_last1: 第一个数据区间的末尾位置。
it_first2: 子数据区间的开始位置。
it_last2: 子数据区间的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

返回目的数据区间中最后一个符合规则的子数据区间的第一个数据的迭代器，如果不包含这个子数据区间，返回数据区间的末尾。

这个算法默认使用数据类型的等于操作函数。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_search_end.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/clist.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

static void _twice(const void* cpv_first, const void* cpv_second, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    vector_iterator_t it_v;
    list_iterator_t it_l;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);
    list_init(plist_l1);

    for(i = 0; i <= 5; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 5);
    }
    for(i = 0; i <= 5; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 5);
```

```

}
for(i = 2; i <= 4; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v2, i * 10);
}
for(i = 1; i <= 4; ++i)
{
    list_push_back(plist_l1, i * 5);
}

printf("Vector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");
printf("List l1 = ( ");
for(it_l = list_begin(plist_l1);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");
printf("Vector v2 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Searching v1 for first match to l1 under identity */
it_v = algo_search_end(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
    list_begin(plist_l1), list_end(plist_l1));

if(iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1)))
{
    printf("There is no match of l1 in v1.\n");
}
else
{
    printf("There is at least one match of l1 in v1\n"
        "and the last one begins at position %d.\n",
        iterator_distance(vector_begin(pvec_v1), it_v));
}

```

```

/* Searching v1 for a match to v2 under the binary predicate twice */
it_v = algo_search_end_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
    vector_begin(pvec_v2), vector_end(pvec_v2), _twice);
if(iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1)))
{
    printf("There is no match of v2 in v1.\n");
}
else
{
    printf("There is a sequence of elements in v1 that are equivalent\n"
        "to those in v2 under the binary predicate twice\n"
        "and the last one begins at position %d.\n",
        iterator_distance(vector_begin(pvec_v1), it_v));
}

vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2);
list_destroy(plist_l1);

return 0;
}

static void _twice(const void* cpv_first, const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = *(int*)cpv_first * 2 == *(int*)cpv_second ? true : false;
}

```

● Output

```

Vector v1 = ( 0 5 10 15 20 25 0 5 10 15 20 25 )
List l1 = ( 5 10 15 20 )
Vector v2 = ( 20 30 40 )
There is at least one match of l1 in v1
and the last one begins at position 7.
There is a sequence of elements in v1 that are equivalent
to those in v2 under the binary predicate twice
and the last one begins at position 8.

```

59. algo_search_n algo_search_n_if

在数据区间中搜索第一个有连续 n 个指定数据出现的位置。

```

forward_iterator_t algo_search_n(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last,
    size_t t_count,
    element
);

forward_iterator_t algo_search_n_if(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last,
    size_t t_count,
    element,

```

```
binary_function_t bfun_op
);
```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
t_count: 要搜索的指定数据的个数。
element: 指定的数据数据。
bfun_op: 指定的比较规则函数。

● Remarks

返回数据区间中第一个出现连续 n 个指定数据的位置迭代器，如果没有出现连续 n 个指定数据，那么返回数据区间的末尾。

● Requirements

头文件 `<cstl/calgorithm.h>`。

● Example

```
/*
 * algo_search_n.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

static void _twice(const void* cpv_first, const void* cpv_second, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 0; i <= 5; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 5);
    }
    for(i = 0; i <= 2; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, 5);
    }
    for(i = 0; i <= 5; ++i)
    {
```

```

    vector_push_back(pvec_v1, i * 5);
}
for(i = 0; i <= 3; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, 10);
}
for(i = 0; i <= 2; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, 5);
}

printf("Vector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

/* Searching v1 for first match to (5 5 5) under identity */
it_v = algo_search_n(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), 3, 5);
if(iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1)))
{
    printf("There is no match for a sequence (5 5 5) in v1.\n");
}
else
{
    printf("There is at least one match of a sequence (5 5 5)"
        " in v1 and the first one begins at position %d.\n",
        iterator_distance(vector_begin(pvec_v1), it_v));
}

/* Searching v1 for first match to (5 5 5 5) under twice */
it_v = algo_search_n_if(vector_begin(pvec_v1),
    vector_end(pvec_v1), 4, 5, _twice);
if(iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1)))
{
    printf("There is no match for a sequence (5 5 5 5) in v1"
        " under the equivalence predicate twice.\n");
}
else
{
    printf("There is a match of a sequence (5 5 5 5) "
        "under the equivalence predicate twice"
        " in v1 and the first one begins at position %d.\n",
        iterator_distance(vector_begin(pvec_v1), it_v));
}

vector_destroy(pvec_v1);

```



```

    return 0;
}

static void _twice(const void* cpv_first, const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = *(int*)cpv_first == *(int*)cpv_second * 2 ? true : false;
}

```

● Output

Vector v1 = (0 5 10 15 20 25 5 5 5 0 5 10 15 20 25 10 10 10 10 5 5 5)
 There is at least one match of a sequence (5 5 5) in v1 and the first one begins at position 6.
 There is a match of a sequence (5 5 5 5) under the equivalence predicate twice in v1 and the first one begins at position 15.

60. algo_set_difference algo_set_difference_if

求两个有序数据区间的差集。

```

output_iterator_t algo_set_difference(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    input_iterator_t it_first2,
    input_iterator_t it_last2,
    output_iterator_t it_result
);

output_iterator_t algo_set_difference_if(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    input_iterator_t it_first2,
    input_iterator_t it_last2,
    output_iterator_t it_result,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

it_first1: 第一个数据区间的开始位置。
it_last1: 第一个数据区间的末尾位置。
it_first2: 第二个数据区间的开始位置。
it_last2: 第二个数据区间的末尾位置。
it_result: 目的数据区间的开始位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

返回目的数据区间中合并后的有序数据区间的末尾。
 目的数据区间要足够大。

● Requirements

头文件 <cstdlib/calgorithm.h>。

● Example

```

/*
 * algo_set_difference.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

static void _mod_lesser(const void* cpv_first,
    const void* cpv_second, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1a = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v1b = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2a = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2b = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3a = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3b = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    vector_iterator_t it_result;
    int i = 0;

    if(pvec_v1a == NULL || pvec_v1b == NULL || pvec_v1 == NULL ||
        pvec_v2a == NULL || pvec_v2b == NULL || pvec_v2 == NULL ||
        pvec_v3a == NULL || pvec_v3b == NULL || pvec_v3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1a);
    vector_init(pvec_v1b);
    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2a);
    vector_init(pvec_v2b);
    vector_init(pvec_v2);
    vector_init(pvec_v3a);
    vector_init(pvec_v3b);
    vector_init(pvec_v3);

    /* Constructing vectors v1a and v1b with default less than ordering */
    for(i = -1; i <= 4; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1a, i);
    }
    for(i = -3; i <= 0; ++i)
    {

```

```

        vector_push_back(pvec_v1b, i);
    }
    vector_resize(pvec_v1, 12);
    printf("Original vector v1a with range sorted by the\n"
           "binary predicate less than is v1a = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1a);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1a));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");
    printf("Original vector v1b with range sorted by the\n"
           "binary predicate less than is v1b = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1b);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1b));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    /* Constructing vectors v2a and v2b with ranges sorted by greater */
    vector_assign(pvec_v2a, pvec_v1a);
    vector_assign(pvec_v2b, pvec_v1b);
    vector_assign(pvec_v2, pvec_v1);
    algo_sort_if(vector_begin(pvec_v2a), vector_end(pvec_v2a), fun_greater_int);
    algo_sort_if(vector_begin(pvec_v2b), vector_end(pvec_v2b), fun_greater_int);
    printf("Original vector v2a with range sorted by the\n"
           "binary predicate greater than is v2a = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v2a);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2a));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");
    printf("Original vector v2b with range sorted by the\n"
           "binary predicate greater than is v2b = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v2b);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2b));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    /* Constructing vectors v3a and v3b with ranges sorted by mod_lesser */
    vector_assign(pvec_v3a, pvec_v1a);

```

```

vector_assign(pvec_v3b, pvec_v1b);
vector_assign(pvec_v3, pvec_v1);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v3a), vector_end(pvec_v3a), _mod_lesser);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v3b), vector_end(pvec_v3b), _mod_lesser);
printf("Original vector v3a with range sorted by the\n"
       "binary predicate mod_lesser is v3a = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v3a);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v3a));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");
printf("Original vector v3b with range sorted by the\n"
       "binary predicate greater than is v3b = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v3b);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v3b));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/*
 * To combine int a difference in ascending order
 * with the default binary predicate less
 */
it_result = algo_set_difference(vector_begin(pvec_v1a), vector_end(pvec_v1a),
    vector_begin(pvec_v1b), vector_end(pvec_v1b), vector_begin(pvec_v1));
printf("Difference of source ranges with default order\n"
       "vector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, it_result);
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/*
 * To combine int a difference in ascending order
 * with the specify binary predicate greater
 */
it_result = algo_set_difference_if(vector_begin(pvec_v2a), vector_end(pvec_v2a),
    vector_begin(pvec_v2b), vector_end(pvec_v2b), vector_begin(pvec_v2),
    fun_greater_int);
printf("Difference of source ranges with binary predicate greater order\n"
       "vector v2 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);

```

```

        !iterator_equal(it_v, it_result);
        it_v = iterator_next(it_v)
    }
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/*
 * To combine int a difference in ascending order
 * with the user_defined binary predicate mod_lesser
 */
it_result = algo_set_difference_if(vector_begin(pvec_v3a), vector_end(pvec_v3a),
    vector_begin(pvec_v3b), vector_end(pvec_v3b), vector_begin(pvec_v3),
    _mod_lesser);
printf("Difference of source ranges with binary predicate mod_lesser order\n"
    "vector v3 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v3);
    !iterator_equal(it_v, it_result);
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1a);
vector_destroy(pvec_v1b);
vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2a);
vector_destroy(pvec_v2b);
vector_destroy(pvec_v2);
vector_destroy(pvec_v3a);
vector_destroy(pvec_v3b);
vector_destroy(pvec_v3);

return 0;
}

static void _mod_lesser(const void* cpv_first,
    const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = abs(*(int*)cpv_first) < abs(*(int*)cpv_second) ?
        true : false;
}

```

● Output

Original vector v1a with range sorted by the
 binary predicate less than is v1a = (-1 0 1 2 3 4)
 Original vector v1b with range sorted by the
 binary predicate less than is v1b = (-3 -2 -1 0)
 Original vector v2a with range sorted by the
 binary predicate greater than is v2a = (4 3 2 1 0 -1)

```
Original vector v2b with range sorted by the
binary predicate greater than is v2b = ( 0 -1 -2 -3 )
Original vector v3a with range sorted by the
binary predicate mod_lesser is v3a = ( 0 -1 1 2 3 4 )
Original vector v3b with range sorted by the
binary predicate greater than is v3b = ( 0 -1 -2 -3 )
Difference of source ranges with default order
vector v1 = ( 1 2 3 4 )
Difference of source ranges with binary predicate greater order
vector v2 = ( 4 3 2 1 )
Difference of source ranges with binary predicate mod_lesser order
vector v3 = ( 1 4 )
```

61. algo_set_intersection algo_set_intersection_if

求两个有序数据区间的交集。

```
output_iterator_t algo_set_intersection(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    input_iterator_t it_first2,
    input_iterator_t it_last2,
    output_iterator_t it_result
);

output_iterator_t algo_set_intersection_if(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    input_iterator_t it_first2,
    input_iterator_t it_last2,
    output_iterator_t it_result,
    binary_function_t bfun_op
);
```

● Parameters

it_first1: 第一个数据区间的开始位置。
it_last1: 第一个数据区间的末尾位置。
it_first2: 第二个数据区间的开始位置。
it_last2: 第二个数据区间的末尾位置。
it_result: 目的数据区间的开始位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

返回目的数据区间中合并后的有序数据区间的末尾。
目的数据区间要足够大。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_set_intersection.c
 * compile with : -lcstl
```

```

*/

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

static void _mod_lesser(const void* cpv_first,
    const void* cpv_second, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1a = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v1b = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2a = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2b = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3a = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3b = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    vector_iterator_t it_result;
    int i = 0;

    if(pvec_v1a == NULL || pvec_v1b == NULL || pvec_v1 == NULL ||
        pvec_v2a == NULL || pvec_v2b == NULL || pvec_v2 == NULL ||
        pvec_v3a == NULL || pvec_v3b == NULL || pvec_v3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1a);
    vector_init(pvec_v1b);
    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2a);
    vector_init(pvec_v2b);
    vector_init(pvec_v2);
    vector_init(pvec_v3a);
    vector_init(pvec_v3b);
    vector_init(pvec_v3);

    /* Constructing vectors v1a and v1b with default less than ordering */
    for(i = -1; i <= 3; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1a, i);
    }
    for(i = -3; i <= 1; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1b, i);
    }
    vector_resize(pvec_v1, 12);

```

```

printf("Original vector v1a with range sorted by the\n"
      "binary predicate less than is v1a = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1a);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1a));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");
printf("Original vector v1b with range sorted by the\n"
      "binary predicate less than is v1b = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1b);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1b));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Constructing vectors v2a and v2b with ranges sorted by greater */
vector_assign(pvec_v2a, pvec_v1a);
vector_assign(pvec_v2b, pvec_v1b);
vector_assign(pvec_v2, pvec_v1);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v2a), vector_end(pvec_v2a), fun_greater_int);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v2b), vector_end(pvec_v2b), fun_greater_int);
printf("Original vector v2a with range sorted by the\n"
      "binary predicate greater than is v2a = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2a);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2a));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");
printf("Original vector v2b with range sorted by the\n"
      "binary predicate greater than is v2b = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2b);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2b));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Constructing vectors v3a and v3b with ranges sorted by mod_lessor */
vector_assign(pvec_v3a, pvec_v1a);
vector_assign(pvec_v3b, pvec_v1b);
vector_assign(pvec_v3, pvec_v1);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v3a), vector_end(pvec_v3a), _mod_lessor);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v3b), vector_end(pvec_v3b), _mod_lessor);

```



```

printf("Original vector v3a with range sorted by the\n"
      "binary predicate mod_lesser is v3a = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v3a);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v3a));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");
printf("Original vector v3b with range sorted by the\n"
      "binary predicate greater than is v3b = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v3b);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v3b));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/*
 * To combine int a intersection in ascending order
 * with the default binary predicate less
 */
it_result = algo_set_intersection(vector_begin(pvec_v1a), vector_end(pvec_v1a),
    vector_begin(pvec_v1b), vector_end(pvec_v1b), vector_begin(pvec_v1));
printf("Intersection of source ranges with default order\n"
      "vector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, it_result);
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/*
 * To combine int a intersection in ascending order
 * with the specify binary predicate greater
 */
it_result = algo_set_intersection_if(vector_begin(pvec_v2a),
vector_end(pvec_v2a),
    vector_begin(pvec_v2b), vector_end(pvec_v2b), vector_begin(pvec_v2),
    fun_greater_int);
printf("Intersection of source ranges with binary predicate greater order\n"
      "vector v2 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, it_result);
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}

```

```

}
printf("\n");

/*
 * To combine into an intersection in ascending order
 * with the user_defined binary predicate mod_lessor
 */
it_result = algo_set_intersection_if(vector_begin(pvec_v3a),
vector_end(pvec_v3a),
    vector_begin(pvec_v3b), vector_end(pvec_v3b), vector_begin(pvec_v3),
    _mod_lessor);
printf("Intersection of source ranges with binary predicate mod_lessor order\n"
    "vector v3 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v3);
    !iterator_equal(it_v, it_result);
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1a);
vector_destroy(pvec_v1b);
vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2a);
vector_destroy(pvec_v2b);
vector_destroy(pvec_v2);
vector_destroy(pvec_v3a);
vector_destroy(pvec_v3b);
vector_destroy(pvec_v3);

return 0;
}

static void _mod_lessor(const void* cpv_first,
    const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = abs(*(int*)cpv_first) < abs(*(int*)cpv_second) ?
        true : false;
}

```

● Output

Original vector v1a with range sorted by the
binary predicate less than is v1a = (-1 0 1 2 3)
Original vector v1b with range sorted by the
binary predicate less than is v1b = (-3 -2 -1 0 1)
Original vector v2a with range sorted by the
binary predicate greater than is v2a = (3 2 1 0 -1)
Original vector v2b with range sorted by the
binary predicate greater than is v2b = (1 0 -1 -2 -3)
Original vector v3a with range sorted by the
binary predicate mod_lessor is v3a = (0 -1 1 2 3)

```
Original vector v3b with range sorted by the
binary predicate greater than is v3b = ( 0 -1 1 -2 -3 )
Intersection of source ranges with default order
vector v1 = ( -1 0 1 )
Intersection of source ranges with binary predicate greater order
vector v2 = ( 1 0 -1 )
Intersection of source ranges with binary predicate mod_less order
vector v3 = ( 0 -1 1 2 3 )
```

62. algo_set_symmetric_difference algo_set_symmetric_difference_if

计算两个有序数据区间的对称差集。

```
output_iterator_t algo_set_symmetric_difference(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    input_iterator_t it_first2,
    input_iterator_t it_last2,
    output_iterator_t it_result
);

output_iterator_t algo_set_symmetric_difference_if(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    input_iterator_t it_first2,
    input_iterator_t it_last2,
    output_iterator_t it_result,
    binary_function_t bfun_op
);
```

● Parameters

it_first1: 第一个数据区间的开始位置。
it_last1: 第一个数据区间的末尾位置。
it_first2: 第二个数据区间的开始位置。
it_last2: 第二个数据区间的末尾位置。
it_result: 目的数据区间的开始位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

返回目的数据区间中合并后的有序数据区间的末尾。
目的数据区间要足够大。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_set_symmetric_difference.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
```

```

#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

static void _mod_lessor(const void* cpv_first,
    const void* cpv_second, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1a = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v1b = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2a = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2b = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3a = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3b = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    vector_iterator_t it_result;
    int i = 0;

    if(pvec_v1a == NULL || pvec_v1b == NULL || pvec_v1 == NULL ||
        pvec_v2a == NULL || pvec_v2b == NULL || pvec_v2 == NULL ||
        pvec_v3a == NULL || pvec_v3b == NULL || pvec_v3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1a);
    vector_init(pvec_v1b);
    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2a);
    vector_init(pvec_v2b);
    vector_init(pvec_v2);
    vector_init(pvec_v3a);
    vector_init(pvec_v3b);
    vector_init(pvec_v3);

    /* Constructing vectors v1a and v1b with default less than ordering */
    for(i = -1; i <= 4; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1a, i);
    }
    for(i = -3; i <= 0; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1b, i);
    }
    vector_resize(pvec_v1, 12);
    printf("Original vector v1a with range sorted by the\n"
        "binary predicate less than is v1a = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1a);

```

```

        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1a));
        it_v = iterator_next(it_v)
    }
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");
printf("Original vector v1b with range sorted by the\n"
       "binary predicate less than is v1b = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1b);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1b));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Constructing vectors v2a and v2b with ranges sorted by greater */
vector_assign(pvec_v2a, pvec_v1a);
vector_assign(pvec_v2b, pvec_v1b);
vector_assign(pvec_v2, pvec_v1);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v2a), vector_end(pvec_v2a), fun_greater_int);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v2b), vector_end(pvec_v2b), fun_greater_int);
printf("Original vector v2a with range sorted by the\n"
       "binary predicate greater than is v2a = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2a);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2a));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");
printf("Original vector v2b with range sorted by the\n"
       "binary predicate greater than is v2b = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2b);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2b));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Constructing vectors v3a and v3b with ranges sorted by mod_lesser */
vector_assign(pvec_v3a, pvec_v1a);
vector_assign(pvec_v3b, pvec_v1b);
vector_assign(pvec_v3, pvec_v1);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v3a), vector_end(pvec_v3a), _mod_lesser);
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v3b), vector_end(pvec_v3b), _mod_lesser);
printf("Original vector v3a with range sorted by the\n"
       "binary predicate mod_lesser is v3a = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v3a);

```

```

        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v3a));
        it_v = iterator_next(it_v)
    }
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");
printf("Original vector v3b with range sorted by the\n"
       "binary predicate greater than is v3b = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v3b);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v3b));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/*
 * To combine int a symmetric_difference in ascending order
 * with the default binary predicate less
 */
it_result = algo_set_symmetric_difference(vector_begin(pvec_v1a),
vector_end(pvec_v1a),
    vector_begin(pvec_v1b), vector_end(pvec_v1b), vector_begin(pvec_v1));
printf("Symmetric difference of source ranges with default order\n"
       "vector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, it_result);
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/*
 * To combine int a symmetric_difference in ascending order
 * with the specify binary predicate greater
 */
it_result = algo_set_symmetric_difference_if(vector_begin(pvec_v2a),
vector_end(pvec_v2a),
    vector_begin(pvec_v2b), vector_end(pvec_v2b), vector_begin(pvec_v2),
    fun_greater_int);
printf("Symmetric difference of source ranges with binary predicate greater
order\n"
       "vector v2 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, it_result);
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}

```

```

printf("\n");

/*
 * To combine into a symmetric_difference in ascending order
 * with the user_defined binary predicate mod_less
 */
it_result = algo_set_symmetric_difference_if(vector_begin(pvec_v3a),
vector_end(pvec_v3a),
    vector_begin(pvec_v3b), vector_end(pvec_v3b), vector_begin(pvec_v3),
    _mod_less);
printf("Symmetric difference of source ranges with binary predicate mod_less
order\n"
    "vector v3 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v3);
    !iterator_equal(it_v, it_result);
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1a);
vector_destroy(pvec_v1b);
vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2a);
vector_destroy(pvec_v2b);
vector_destroy(pvec_v2);
vector_destroy(pvec_v3a);
vector_destroy(pvec_v3b);
vector_destroy(pvec_v3);

return 0;
}

static void _mod_less(const void* cpv_first,
    const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = abs(*(int*)cpv_first) < abs(*(int*)cpv_second) ?
        true : false;
}

```

● Output

Original vector v1a with range sorted by the
 binary predicate less than is v1a = (-1 0 1 2 3 4)
 Original vector v1b with range sorted by the
 binary predicate less than is v1b = (-3 -2 -1 0)
 Original vector v2a with range sorted by the
 binary predicate greater than is v2a = (4 3 2 1 0 -1)
 Original vector v2b with range sorted by the
 binary predicate greater than is v2b = (0 -1 -2 -3)
 Original vector v3a with range sorted by the
 binary predicate mod_less is v3a = (0 -1 1 2 3 4)
 Original vector v3b with range sorted by the

```
binary predicate greater than is v3b = ( 0 -1 -2 -3 )
Symmetric difference of source ranges with default order
vector v1 = ( -3 -2 1 2 3 4 )
Symmetric difference of source ranges with binary predicate greater order
vector v2 = ( 4 3 2 1 -2 -3 )
Symmetric difference of source ranges with binary predicate mod_lesser order
vector v3 = ( 1 4 )
```

63. algo_set_union algo_set_union_if

计算两个有序数据区间的并集。

```
output_iterator_t algo_set_union(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    input_iterator_t it_first2,
    input_iterator_t it_last2,
    output_iterator_t it_result
);

output_iterator_t algo_set_union_if(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    input_iterator_t it_first2,
    input_iterator_t it_last2,
    output_iterator_t it_result,
    binary_function_t bfun_op
);
```

● Parameters

it_first1: 第一个数据区间的开始位置。
it_last1: 第一个数据区间的末尾位置。
it_first2: 第二个数据区间的开始位置。
it_last2: 第二个数据区间的末尾位置。
it_result: 目的数据区间的开始位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

返回目的数据区间中合并后的有序数据区间的末尾。
目的数据区间要足够大。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_set_union.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
```



```

#include <cstl/cfunctional.h>

static void _mod_lessor(const void* cpv_first,
    const void* cpv_second, void* pv_output);

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1a = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v1b = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2a = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2b = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3a = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3b = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    vector_iterator_t it_result;
    int i = 0;

    if(pvec_v1a == NULL || pvec_v1b == NULL || pvec_v1 == NULL ||
        pvec_v2a == NULL || pvec_v2b == NULL || pvec_v2 == NULL ||
        pvec_v3a == NULL || pvec_v3b == NULL || pvec_v3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1a);
    vector_init(pvec_v1b);
    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2a);
    vector_init(pvec_v2b);
    vector_init(pvec_v2);
    vector_init(pvec_v3a);
    vector_init(pvec_v3b);
    vector_init(pvec_v3);

    /* Constructing vectors v1a and v1b with default less than ordering */
    for(i = -1; i <= 3; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1a, i);
    }
    for(i = -3; i <= 1; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1b, i);
    }
    vector_resize(pvec_v1, 12);
    printf("Original vector v1a with range sorted by the\n"
        "binary predicate less than is v1a = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1a);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1a));

```

```

        it_v = iterator_next(it_v)
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");
    printf("Original vector v1b with range sorted by the\n"
           "binary predicate less than is v1b = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1b);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1b));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    /* Constructing vectors v2a and v2b with ranges sorted by greater */
    vector_assign(pvec_v2a, pvec_v1a);
    vector_assign(pvec_v2b, pvec_v1b);
    vector_assign(pvec_v2, pvec_v1);
    algo_sort_if(vector_begin(pvec_v2a), vector_end(pvec_v2a), fun_greater_int);
    algo_sort_if(vector_begin(pvec_v2b), vector_end(pvec_v2b), fun_greater_int);
    printf("Original vector v2a with range sorted by the\n"
           "binary predicate greater than is v2a = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v2a);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2a));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");
    printf("Original vector v2b with range sorted by the\n"
           "binary predicate greater than is v2b = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v2b);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2b));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    /* Constructing vectors v3a and v3b with ranges sorted by mod_lessor */
    vector_assign(pvec_v3a, pvec_v1a);
    vector_assign(pvec_v3b, pvec_v1b);
    vector_assign(pvec_v3, pvec_v1);
    algo_sort_if(vector_begin(pvec_v3a), vector_end(pvec_v3a), _mod_lessor);
    algo_sort_if(vector_begin(pvec_v3b), vector_end(pvec_v3b), _mod_lessor);
    printf("Original vector v3a with range sorted by the\n"
           "binary predicate mod_lessor is v3a = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v3a);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v3a));

```

```

        it_v = iterator_next(it_v)
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");
    printf("Original vector v3b with range sorted by the\n"
           "binary predicate greater than is v3b = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v3b);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v3b));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    /* To combine int a union in ascending order with the default binary predicate
less */
    it_result = algo_set_union(vector_begin(pvec_v1a), vector_end(pvec_v1a),
        vector_begin(pvec_v1b), vector_end(pvec_v1b), vector_begin(pvec_v1));
    printf("Union of source ranges with default order\n"
           "vector v1 = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, it_result);
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    /* To combine int a union in ascending order with the specify binary predicate
greater */
    it_result = algo_set_union_if(vector_begin(pvec_v2a), vector_end(pvec_v2a),
        vector_begin(pvec_v2b), vector_end(pvec_v2b), vector_begin(pvec_v2),
        fun_greater_int);
    printf("Union of source ranges with binary predicate greater order\n"
           "vector v2 = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
        !iterator_equal(it_v, it_result);
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    /* To combine int a union in ascending order with the user_defined binary
predicate mod_lesser */
    it_result = algo_set_union_if(vector_begin(pvec_v3a), vector_end(pvec_v3a),
        vector_begin(pvec_v3b), vector_end(pvec_v3b), vector_begin(pvec_v3),
        _mod_lesser);
    printf("Union of source ranges with binary predicate mod_lesser order\n"

```

```

        "vector v3 = ( ";
for(it_v = vector_begin(pvec_v3);
    !iterator_equal(it_v, it_result);
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1a);
vector_destroy(pvec_v1b);
vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2a);
vector_destroy(pvec_v2b);
vector_destroy(pvec_v2);
vector_destroy(pvec_v3a);
vector_destroy(pvec_v3b);
vector_destroy(pvec_v3);

return 0;
}

static void _mod_lesser(const void* cpv_first,
    const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = abs(*(int*)cpv_first) < abs(*(int*)cpv_second) ?
        true : false;
}

```

● Output

```

Original vector v1a with range sorted by the
binary predicate less than is v1a = ( -1 0 1 2 3 )
Original vector v1b with range sorted by the
binary predicate less than is v1b = ( -3 -2 -1 0 1 )
Original vector v2a with range sorted by the
binary predicate greater than is v2a = ( 3 2 1 0 -1 )
Original vector v2b with range sorted by the
binary predicate greater than is v2b = ( 1 0 -1 -2 -3 )
Original vector v3a with range sorted by the
binary predicate mod_lesser is v3a = ( 0 -1 1 2 3 )
Original vector v3b with range sorted by the
binary predicate greater than is v3b = ( 0 -1 1 -2 -3 )
Union of source ranges with default order
vector v1 = ( -3 -2 -1 0 1 2 3 )
Union of source ranges with binary predicate greater order
vector v2 = ( 3 2 1 0 -1 -2 -3 )
Union of source ranges with binary predicate mod_lesser order
vector v3 = ( 0 -1 1 2 3 )

```

64. algo_sort algo_sort_if

将数据区间中的数据按照指定比较规则排序。

```
void algo_sort(
```

```

    random_access_iterator_t it_first,
    random_access_iterator_t it_last
);

void algo_sort_if(
    random_access_iterator_t it_first,
    random_access_iterator_t it_last,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```

/*
 * algo_sort.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 0; i <= 5; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 2);
    }
    for(i = 0; i <= 5; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 2 + 1);
    }

    printf("Original vector v1 = ( ");

```

```

for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

algo_sort(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
printf("Sorted vector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* To sort in descending order. */
algo_sort_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), fun_greater_int);
printf("Resorted (greater) vector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

Original vector v1 = ( 0 2 4 6 8 10 1 3 5 7 9 11 )
Sorted vector v1 = ( 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 )
Resorted (greater) vector v1 = ( 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 )

```

65. algo_sort_heap algo_sort_heap_if

将一个堆转换成有序的数据区间。

```

void algo_sort_heap(
    random_access_iterator_t it_first,
    random_access_iterator_t it_last
);

void algo_sort_heap_if(
    random_access_iterator_t it_first,
    random_access_iterator_t it_last,

```

```
    binary_function_t bfun_op  
);
```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

排序前的数据区间必须是符合指定规则的堆。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*  
 * algo_sort_heap.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cvector.h>  
#include <cstl/calgorithm.h>  
#include <cstl/cfunctional.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);  
    vector_iterator_t it_v;  
    int i = 0;  
  
    if(pvec_v1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    vector_init(pvec_v1);  
  
    for(i = 1; i <= 9; ++i)  
    {  
        vector_push_back(pvec_v1, i);  
    }  
    algo_random_shuffle(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));  
  
    printf("Vector v1 is:\n( ");  
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);  
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));  
        it_v = iterator_next(it_v))  
    {  
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));  
    }  
    printf(")\n");
```

```

/* Make v1 a heap with default less than ordering */
algo_make_heap(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
printf("The heap version of vector v1 is:\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Sort heap v1 with default less-than ordering */
algo_sort_heap(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
printf("The heap v1 becomes the sorted range:\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Make v1 a heap with greater than ordering */
algo_make_heap_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), fun_greater_int);
printf("The greater-than heaped version of vector v1 is:\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

algo_sort_heap_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), fun_greater_int);
printf("The greater-than heap v1 becomes the sorted range:\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output


```
Vector v1 is:
( 6 3 9 7 2 1 8 5 4 )
The heap version of vector v1 is:
( 9 7 8 5 2 1 6 3 4 )
The heap v1 becomes the sorted range:
( 1 2 3 4 5 6 7 8 9 )
The greater-than heaped version of vector v1 is:
( 1 2 3 4 5 6 7 8 9 )
The greater-than heap v1 becomes the sorted range:
( 9 8 7 6 5 4 3 2 1 )
```

66. algo_stable_sort algo_stable_sort_if

将数据区间按照指定规则进行稳定排序。

```
void algo_stable_sort(
    random_access_iterator_t it_first,
    random_access_iterator_t it_last
);

void algo_stable_sort_if(
    random_access_iterator_t it_first,
    random_access_iterator_t it_last,
    binary_function_t bfun_op
);
```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

这个算法保证了相等的数据在排序后顺序保持不变，但是这个算法在排序效率上不如非稳定排序算法。

● Requirements

头文件 <cstdlib/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_stable_sort.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cvector.h>
#include <cstdlib/calgorithm.h>
#include <cstdlib/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;
```

```

if(pvec_v1 == NULL)
{
    return -1;
}

vector_init(pvec_v1);

for(i = 0; i <= 5; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i * 2);
}
for(i = 0; i <= 5; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, i * 2);
}

printf("Original vector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

algo_stable_sort(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
printf("Sorted vector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

/* To sort in descending order. */
algo_stable_sort_if(vector_begin(pvec_v1),
    vector_end(pvec_v1), fun_greater_int);
printf("Resorted (greater) vector v1 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```
Original vector v1 = ( 0 2 4 6 8 10 0 2 4 6 8 10 )
Sorted vector v1 = ( 0 0 2 2 4 4 6 6 8 8 10 10 )
Resorted (greater) vector v1 = ( 10 10 8 8 6 6 4 4 2 2 0 0 )
```

67. algo_stable_partition

按照指定规则将数据区间分为满足指定规则的数据和不满足指定规则的数据两部分。

```
forward_iterator_t algo_stable_partition(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last,
    unary_function_t bfun_op
);
```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
ufun_op: 指定的比较规则。

● Remarks

返回满足指定规则的数据区间的末尾。

算法根据指定的规则将满足指定规则的数据放在数据区间的前部，不满足指定规则的数据放在数据区间的后部。这个算法实现的是稳定的划分。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_stable_partition.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>

static void _greater_5(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = *(int*)cpv_input > 5 ? true : false;
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    vector_iterator_t it_result;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
```

```

        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 0; i <= 10; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }
    for(i = 0; i <= 4; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }
    algo_random_shuffle(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));

    printf("Vector v1 is ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    /* Partition the range with predicate greater5 */
    it_result = algo_stable_partition(
        vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), _greater_5);

    printf("The partitioned set of elements in v1 is ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    printf("The first element in v1 to fail to satisfy "
        "the predicate greater 5 is : %d\n",
        *(int*)iterator_get_pointer(it_result));

    vector_destroy(pvec_v1);

    return 0;
}

```

● Output

```

Vector v1 is ( 2 9 4 0 8 3 6 1 7 2 4 5 10 1 3 0 )
The partitioned set of elements in v1 is ( 9 8 6 7 10 2 4 0 3 1 2 4 5 1 3 0 )
The first element in v1 to fail to satisfy the predicate greater 5 is : 2

```

68. algo_swap

交换两个迭代器指向的数据的内容。

```
void algo_swap(  
    forward_iterator_t it_first,  
    forward_iterator_t it_second  
);
```

- **Parameters**

it_first: 第一个数据的迭代器。
it_second: 第二个数据的迭代器。

- **Remarks**

这个算法和 algo_iter_swap 算法功能相同。

- **Requirements**

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

- **Example**

请参考 algo_iter_swap 算法。

69. algo_swap_ranges

交换两个数据区间中的数据。

```
forward_iterator_t algo_swap_ranges(  
    forward_iterator_t it_first1,  
    forward_iterator_t it_last1,  
    forward_iterator_t it_first2  
);
```

- **Parameters**

it_first1: 第一个数据区间的开始位置。
it_last1: 第一个数据区间的末尾位置。
it_first2: 第二个数据区间的开始位置。

- **Remarks**

返回交换数据后第二个数据区间的末尾。
第二个数据区间要至少和第一个数据区间一样大。

- **Requirements**

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

- **Example**

```
/*  
 * algo_swap_ranges.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cvector.h>  
#include <cstl/cdeque.h>
```

```

#include <cstl/calgorithm.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    deque_t* pdeq_q1 = create_deque(int);
    deque_iterator_t it_q;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pdeq_q1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    deque_init(pdeq_q1);

    for(i = 0; i <= 5; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }
    for(i = 4; i <= 9; ++i)
    {
        deque_push_back(pdeq_q1, 6);
    }

    printf("Vector v1 is ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    printf("Deque q1 is ( ");
    for(it_q = deque_begin(pdeq_q1);
        !iterator_equal(it_q, deque_end(pdeq_q1));
        it_q = iterator_next(it_q))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
    }
    printf("\n");

    algo_swap_ranges(vector_begin(pvec_v1),
        vector_end(pvec_v1), deque_begin(pdeq_q1));

    printf("After the swap_range, vector v1 is ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));

```

```

        it_v = iterator_next(it_v)
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    printf("After the swap_range, deque q1 is ( ");
    for(it_q = deque_begin(pdeq_q1);
        !iterator_equal(it_q, deque_end(pdeq_q1));
        it_q = iterator_next(it_q))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_q));
    }
    printf("\n");

    vector_destroy(pvec_v1);
    deque_destroy(pdeq_q1);

    return 0;
}

```

● Output

```

Vector v1 is ( 0 1 2 3 4 5 )
Deque q1 is ( 6 6 6 6 6 6 )
After the swap_range, vector v1 is ( 6 6 6 6 6 6 )
After the swap_range, deque q1 is ( 0 1 2 3 4 5 )

```

70. algo_transform algo_transform_binary

通过指定的规则将源数据区间中的数据转换到目的数据区间。

```

output_iterator_t algo_transform(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    output_iterator_t it_result,
    unary_function_t ufun_op
);

output_iterator_t algo_transform_binary(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    input_iterator_t it_first2,
    output_iterator_t it_result,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

it_first1: 第一个数据区间的开始位置。
it_last1: 第一个数据区间的末尾位置。
it_first2: 第二个数据区间的开始位置。
it_result: 目的数据区间的开始位置。
ufun_op: 一元转换函数。

bfun_op: 二元转换函数。

- **Remarks**

返回目的数据区间中转换后的数据的末尾。

第一个算法是将一个源数据区间通过转换函数转换到目的数据区间，第二个是将两个源数据区间通过转换函数转换到目的数据区间。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/calgorithm.h>。

- **Example**

```
/*
 * algo_transform.c
 * compile with : -lcstdl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cvector.h>
#include <cstdlib/calgorithm.h>
#include <cstdlib/cfunctional.h>

static void _mult_valu_2(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    *(int*)pv_output = *(int*)cpv_input * 2;
}

static void _mult_valu_5(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    *(int*)pv_output = *(int*)cpv_input * 5;
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || pvec_v3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init_n(pvec_v2, 7);
    vector_init_n(pvec_v3, 7);

    for(i = -4; i <= 2; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }

    printf("Original vector v1 = ( ");
```



```

for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Modifying the vector v1 in place */
algo_transform(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
    vector_begin(pvec_v1), _mult_valu_2);
printf("The elements of the vector v1 multiplied by 2 in place is ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Using transform to multiply each element by a factor of 5 */
algo_transform(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
    vector_begin(pvec_v2), _mult_valu_5);
printf("Mutiplying the elements of the vector v2 by factor 5 is ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/*
 * The second version of transform used to multiply the
 * elements of the vectors v1 and v2 pairwise
 */
algo_transform_binary(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
    vector_begin(pvec_v2), vector_begin(pvec_v3), fun_multiplies_int);
printf("Mutiplying the elements of the vector v3 is ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v3);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v3));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2);
vector_destroy(pvec_v3);

```

```
    return 0;
}
```

● Output

```
Original vector v1 = ( -4 -3 -2 -1 0 1 2 )
The elements of the vector v1 multiplied by 2 in place is ( -8 -6 -4 -2 0 2 4 )
Mutiplying the elements of the vector v2 by factor 5 is ( -40 -30 -20 -10 0 10 20 )
Mutiplying the elements of the vector v3 is ( 320 180 80 20 0 20 80 )
```

71. algo_unique algo_unique_if

将数据区间中相邻且符合条件的重复数据移除。

```
forward_iterator_t algo_unique(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last
);

forward_iterator_t algo_unique_if(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last,
    binary_function_t bfun_op
);
```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
bfun_op: 指定的比较规则函数。

● Remarks

返回数据区间中处理后的数据的末尾。
两个算法是将数据区间中符合条件的重复的数据去掉，保留数据的唯一性。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_unique.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

static void _mod_equal(const void* cpv_first,
    const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = abs(*(int*)cpv_first) == abs(*(int*)cpv_second) ?
```

```

        true : false;
    }
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    vector_iterator_t it_end;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 0; i <= 3; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, 5);
        vector_push_back(pvec_v1, -5);
    }
    for(i = 0; i <= 3; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, 4);
    }
    vector_push_back(pvec_v1, 7);

    printf("Vector v1 is ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    it_end = algo_unique(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
    printf("Removing adjacent duplicates from vector v1 gives\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, it_end);
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    it_end = algo_unique_if(vector_begin(pvec_v1), it_end, _mod_equal);
    printf("Removing adjacent duplicates from vector v1 "
        "under the mod_equal gives\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);

```

```

        !iterator_equal(it_v, it_end);
        it_v = iterator_next(it_v)
    }
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

it_end = algo_unique_if(vector_begin(pvec_v1), it_end, fun_greater_int);
printf("Removing adjacent duplicates from vector v1 "
      "under the greater gives\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, it_end);
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```

Vector v1 is ( 5 -5 5 -5 5 -5 5 -5 4 4 4 4 7 )
Removing adjacent duplicates from vector v1 gives
( 5 -5 5 -5 5 -5 5 -5 4 7 )
Removing adjacent duplicates from vector v1 under the mod_equal gives
( 5 4 7 )
Removing adjacent duplicates from vector v1 under the greater gives
( 5 7 )

```

72. algo_unique_copy algo_unique_copy_if

将数据区间中符合指定规则的重复数据移除，将结果拷贝到目的数据区间。

```

output_iterator_t algo_unique_copy(
    input_iterator_t it_first,
    input_iterator_t it_last,
    output_iterator_t it_result
);

output_iterator_t algo_unique_copy_if(
    input_iterator_t it_first,
    input_iterator_t it_last,
    output_iterator_t it_result,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。

it_result: 目的数据区间的开始位置。

bfun_op: 指定的比较规则函数。

● Remarks

返回目的数据区间中拷贝数据的末尾。

两个算法是将数据区间中符合条件的重复的数据去掉，保留数据的唯一性，将结果拷贝到目的数据区间。要保证目的数据区间足够大。

● Requirements

头文件 <cstl/calgorithm.h>。

● Example

```
/*
 * algo_unique_copy.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

static void _mod_equal(const void* cpv_first,
                      const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = abs(*(int*)cpv_first) == abs(*(int*)cpv_second) ?
        true : false;
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    vector_iterator_t it_end;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);

    for(i = 0; i <= 1; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, 5);
        vector_push_back(pvec_v1, -5);
    }
    for(i = 0; i <= 2; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, 4);
    }
}
```

```

vector_push_back(pvec_v1, 7);
for(i = 0; i <= 5; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, 10);
}

printf("Vector v1 is\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

it_end = algo_unique_copy(vector_begin(pvec_v1),
    iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 8),
    iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 8));
printf("Copying the first half of the vector to the second half\n"
    "while removing adjacent duplicates gives\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, it_end);
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

for(i = 0; i <= 7; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v1, 10);
}

it_end = algo_unique_copy_if(vector_begin(pvec_v1),
    iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 14),
    iterator_next_n(vector_begin(pvec_v1), 14), _mod_equal);
printf("Copying the first half of the vector to the second half\n"
    "while removing adjacent duplicates under mod_equal gives\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, it_end);
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

vector_destroy(pvec_v1);

return 0;
}

```

● Output

```
Vector v1 is
( 5 -5 5 -5 4 4 4 7 10 10 10 10 10 )
Copying the first half of the vector to the second half
while removing adjacent duplicates gives
( 5 -5 5 -5 4 4 4 7 5 -5 5 -5 4 7 )
Copying the first half of the vector to the second half
while removing adjacent duplicates under mod_equal gives
( 5 -5 5 -5 4 4 4 7 5 -5 5 -5 4 7 5 4 7 5 4 7 )
```

73. `algo_upper_bound` `algo_upper_bound_if`

返回数据区间中第一个大于指定数据的位置。

```
forward_iterator_t algo_upper_bound(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last,
    element
);

forward_iterator_t algo_upper_bound_if(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last,
    element
    binary_function_t bfun_op
);
```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
element: 指定的数据。
bfun_op: 指定的比较规则函数。

● Remarks

返回数据区间中第一个大于指定数据的位置，如果没有就返回数据区间的末尾。

● Requirements

头文件 `<cstl/calgorithm.h>`。

● Example

```
/*
 * algo_upper_bound.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

/* Return whether modulus of elem1 is less than modulus of elem2 */
static void _mod_lesser(const void* cpv_first,
    const void* cpv_second, void* pv_output);
```

```

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || pvec_v3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);
    vector_init(pvec_v3);

    for(i = -1; i <= 4; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }
    for(i = -3; i <= 0; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
    }

    algo_sort(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1));
    printf("Original vector v1 with range sorted by the "
           "binary predicate less than is v1 = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    vector_assign(pvec_v2, pvec_v1);
    algo_sort_if(vector_begin(pvec_v2), vector_end(pvec_v2), fun_greater_int);
    printf("Original vector v2 with range sorted by the "
           "binary predicate greater than is v2 = ( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf(")\n");

    vector_assign(pvec_v3, pvec_v1);
    algo_sort_if(vector_begin(pvec_v3), vector_end(pvec_v3), _mod_lesser);

```



```

printf("Original vector v3 with range sorted by the "
      "binary predicate greater than is v3 = ( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v3);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v3));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* upper_bound of 3 in v1 with default binary predicate less than */
it_v = algo_upper_bound(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), 3);
printf("The upper_bound in v1 for the element with a value of 3 is: %d.\n",
      *(int*)iterator_get_pointer(it_v));

/* upper_bound of 3 in v2 with the binary predicate greater than */
it_v = algo_upper_bound_if(vector_begin(pvec_v2),
    vector_end(pvec_v2), 3, fun_greater_int);
printf("The upper_bound in v2 for the element with a value of 3 is: %d.\n",
      *(int*)iterator_get_pointer(it_v));

/* upper_bound of 3 in v3 with the binary predicate _mod_lesser */
it_v = algo_upper_bound_if(vector_begin(pvec_v3),
    vector_end(pvec_v3), 3, _mod_lesser);
printf("The upper_bound in v3 for the element with a value of 3 is: %d.\n",
      *(int*)iterator_get_pointer(it_v));

vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2);
vector_destroy(pvec_v3);

return 0;
}

static void _mod_lesser(const void* cpv_first,
    const void* cpv_second, void* pv_output)
{
    *(bool_t*)pv_output = abs(*(int*)cpv_first) < abs(*(int*)cpv_second) ?
        true : false;
}

```

● Output

```

Original vector v1 with range sorted by the binary predicate less than is v1 = ( -3
-2 -1 -1 0 0 1 2 3 4 )
Original vector v2 with range sorted by the binary predicate greater than is v2 =
( 4 3 2 1 0 0 -1 -1 -2 -3 )
Original vector v3 with range sorted by the binary predicate greater than is v3 =
( 0 0 -1 -1 1 -2 2 -3 3 4 )
The upper_bound in v1 for the element with a value of 3 is: 4.
The upper_bound in v2 for the element with a value of 3 is: 2.
The upper_bound in v3 for the element with a value of 3 is: 4.

```

第二节 数值算法

数值算法的主要目的是处理容器中数值类型的数据的计算，所以普通的数值算法只能应用在数据类型是 C 内建类型 (除了 C 字符串类型) 的容器上，要想在保存 libcstl 内建类型和用户自定义类型的容器上使用数值算法，就必须使用带有 _if 后缀的算法版本，同时提供自定义的函数。数值算法都在 < cstl/numeric.h > 中声明。

● Algorithm Functions

algo_accumulate	计算数据区间中所有数据的和。
algo_accumulate_if	对数据区间中所有的数据进行指定的计算。
algo_adjacent_difference	计算数据区间中相邻数据的差。
algo_adjacent_difference_if	对数据区间中相邻的数据执行指定的计算。
algo_inner_product	计算两个数据区间的内积。
algo_inner_product_if	根据指定的算法计算两个数据区间的内积。
algo_iota	根据初始值对数据区间中的数据进行填充。
algo_partial_sum	计算数据区间的局部和。
algo_partial_sum_if	根据指定的算法计算数据区间的局部和。
algo_power	计算数据的幂。
algo_power_if	根据指定的算法计算数据的幂。

1. algo_accumulate algo_accumulate_if

计算数据区间中数据的和。

```
void algo_accumulate(  
    input_iterator_t it_first,  
    input_iterator_t it_last,  
    element,  
    void* pv_output  
);  
  
void algo_accumulate_if(  
    input_iterator_t it_first,  
    input_iterator_t it_last,  
    element,  
    binary_function_t bfun_op,  
    void* pv_output  
);
```

● Parameters

- it_first: 数据区间的开始位置。
- it_last: 数据区间的末尾位置。
- element: 初始化值。
- bfun_op: 指定的算法函数。
- pv_output: 指向输出值的指针。

● Remarks

algo_accumulate 的计算过程是:

*pv_output = element + *it_first + *(it_first + 1) + ... + *(it_last - 1)

algo_accumulate_if 的计算过程是:

*pv_output = element bfun_op *it_first bfun_op *(it_first + 1) bfun_op ... bfun_op *(it_last - 1)

● Requirements

头文件 <cstl/cnumeric.h>。

● Example

```
/*
 * algo_accumulate.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/cnumeric.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_vec1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_vec2 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_vec3 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_vec4 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_vec;
    int n_sum = 0;
    int n_product = 0;
    int i = 0;

    if(pvec_vec1 == NULL || pvec_vec2 == NULL ||
        pvec_vec3 == NULL || pvec_vec4 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    /* The first function for the accumulated sums */
    vector_init(pvec_vec1);
    for(i = 1; i < 21; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_vec1, i);
    }
    vector_init_n(pvec_vec2, vector_size(pvec_vec1));

    printf("The original vector vec1 is:\n( ");
    for(it_vec = vector_begin(pvec_vec1);
        !iterator_equal(it_vec, vector_end(pvec_vec1));
        it_vec = iterator_next(it_vec))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_vec));
    }
    printf("\n");
```

```

algo_accumulate(vector_begin(pvec_vec1), vector_end(pvec_vec1), 0, &n_sum);
printf("The sum of the integers from 1 to 20 is: %d\n", n_sum);

/* Construction a vector of partial sums */
for(it_vec = vector_begin(pvec_vec1), i = 0;
    !iterator_equal(it_vec, vector_end(pvec_vec1));
    it_vec = iterator_next(it_vec), ++i)
{
    algo_accumulate(vector_begin(pvec_vec1), iterator_next(it_vec),
        0, vector_at(pvec_vec2, i));
}

printf("The vector of partial sums is:\n( ");
for(it_vec = vector_begin(pvec_vec2);
    !iterator_equal(it_vec, vector_end(pvec_vec2));
    it_vec = iterator_next(it_vec))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_vec));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_vec1);
vector_destroy(pvec_vec2);

/* The second function for the accumulated product */
vector_init(pvec_vec3);
for(i = 1; i < 11; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_vec3, i);
}
vector_init_n(pvec_vec4, vector_size(pvec_vec3));

printf("The original vector vec3 is:\n( ");
for(it_vec = vector_begin(pvec_vec3);
    !iterator_equal(it_vec, vector_end(pvec_vec3));
    it_vec = iterator_next(it_vec))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_vec));
}
printf("\n");

algo_accumulate_if(vector_begin(pvec_vec3), vector_end(pvec_vec3),
    1, fun_multiplies_int, &n_product);
printf("The product of the integers from 1 to 10 is: %d.\n", n_product);

/* Constructing a vector of partial products */
for(it_vec = vector_begin(pvec_vec3), i = 0;
    !iterator_equal(it_vec, vector_end(pvec_vec3));
    it_vec = iterator_next(it_vec), ++i)
{

```

```

        algo_accumulate_if(vector_begin(pvec_vec3), iterator_next(it_vec),
                            1, fun_multiplies_int, vector_at(pvec_vec4, i));
    }

    printf("The vector of partial products is:\n( ");
    for(it_vec = vector_begin(pvec_vec4);
        !iterator_equal(it_vec, vector_end(pvec_vec4));
        it_vec = iterator_next(it_vec))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_vec));
    }
    printf(")\n");

    vector_destroy(pvec_vec3);
    vector_destroy(pvec_vec4);

    return 0;
}

```

● Output

```

The original vector vec1 is:
( 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 )
The sum of the integers from 1 to 20 is: 210
The vector of partial sums is:
( 1 3 6 10 15 21 28 36 45 55 66 78 91 105 120 136 153 171 190 210 )
The original vector vec3 is:
( 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 )
The product of the integers from 1 to 10 is: 3628800.
The vector of partial products is:
( 1 2 6 24 120 720 5040 40320 362880 3628800 )

```

2. algo_adjacent_difference algo_adjacent_difference_if

计算相邻数据的差。

```

output_iterator_t algo_adjacent_difference(
    input_iterator_t it_first,
    input_iterator_t it_last,
    output_iterator_t it_result
);

output_iterator_t algo_adjacent_difference_if(
    input_iterator_t it_first,
    input_iterator_t it_last,
    output_iterator_t it_result,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
it_result: 目的数据区间的开始位置。
bfun_op: 指定的算法函数。

● Remarks

返回目的数据区间拷贝的数据的末尾。

要保证目的数据区间至少和源数据区间一样大。

algo_adjacent_difference 执行后目的数据区间的数据:

*it_first, *(it_first + 1) - *it_first, *(it_first + 2) - *(it_first + 1), ..., *(it_last - 1) - *(it_last - 2)

algo_adjacent_difference_if 执行后目的数据区间的数据:

*it_first, *(it_first + 1) bfun_op *it_first, *(it_first + 2) bfun_op *(it_first + 1), ..., *(it_last - 1) bfun_op *(it_last - 2)

● Requirements

头文件 <cstdlib/cnumeric.h>。

● Example

```
/*
 * algo_adjacent_difference.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cvector.h>
#include <cstdlib/clist.h>
#include <cstdlib/cnumeric.h>
#include <cstdlib/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_iterator_t it_l;
    iterator_t it_end;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init_n(pvec_v1, 10);
    vector_init_n(pvec_v2, 10);
    list_init(plist_l1);

    for(i = 1; i <= 10; ++i)
    {
        list_push_back(plist_l1, i * i);
    }

    printf("The input list l1 is\n( ");
    for(it_l = list_begin(plist_l1);
        !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
        it_l = iterator_next(it_l))
    {
```

```

    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

/*
 * The first function for the adjacent_difference of elements
 * in a list output to a vector.
 */
it_end = algo_adjacent_difference(list_begin(plist_l1),
    list_end(plist_l1), vector_begin(pvec_v1));

printf("Output vector containing adjacent_differences is:\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, it_end);
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/*
 * The second function for used to compute the adjacent
 * products of the elements in a list.
 */
it_end = algo_adjacent_difference_if(list_begin(plist_l1), list_end(plist_l1),
    vector_begin(pvec_v2), fun_multiplies_int);

printf("Output vector with the adjacent products is:\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, it_end);
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Computation of adjacent_differences in place */
it_end = algo_adjacent_difference(list_begin(plist_l1),
    list_end(plist_l1), list_begin(plist_l1));

printf("In place output adjacent_differences in list l1 is:\n( ");
for(it_l = list_begin(plist_l1);
    !iterator_equal(it_l, it_end);
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);

```

```

vector_destroy(pvec_v2);
list_destroy(plist_l1);

return 0;
}

```

● Output

```

The input list l1 is
( 1 4 9 16 25 36 49 64 81 100 )
Output vector containing adjacent_differences is:
( 1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 )
Output vector with the adjacent products is:
( 1 4 36 144 400 900 1764 3136 5184 8100 )
In place output adjacent_differences in list l1 is:
( 1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 )

```

3. algo_inner_product algo_inner_product_if

计算两个数据区间的内积。

```

void algo_inner_product(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    input_iterator_t it_first2,
    element,
    void* pv_output
);

void algo_inner_product_if(
    input_iterator_t it_first1,
    input_iterator_t it_last1,
    input_iterator_t it_first2,
    element,
    binary_function_t it_binary_op1,
    binary_function_t it_binary_op2,
    void* pv_output
);

```

● Parameters

it_first1: 第一个数据区间的开始位置。
it_last1: 第一个数据区间的末尾位置。
it_first2: 第二个数据区间的开始位置。
element: 初始化值。
bfun_op1: 指定的算法函数。
bfun_op2: 指定的算法函数。
pv_output: 指向输出值的指针。

● Remarks

要保证第二个数据区间至少和第一个数据区间一样大。

algo_inner_product 执行的过程:

$$*pv_output = element + (*it_first1 * *it_first2) + [*(it_first1 + 1) * *(it_first2 + 1)] + \dots + [*(it_last1 - 1) * *(it_first2 + it_last - it_first - 1)]$$

algo_inner_product_if 执行后目的数据区间的数据:


```
*pv_output = element bfun_op1 (*it_first1 bfun_op2 *it_first2) bfun_op1 [*(it_first1 + 1) bfun_op2 *(it_first2 + 1)]
bfun_op1 ... bfun_op1 [*(it_last1 - 1) bfun_op2 *(it_first2 + it_last - it_first - 1)]
```

● Requirements

头文件 <cstl/cnumeric.h>。

● Example

```
/*
 * algo_inner_product.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/clist.h>
#include <cstl/cnumeric.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_iterator_t it_l;
    int i = 0;
    int n_result = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || pvec_v3 == NULL || plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init_n(pvec_v2, 7);
    vector_init_n(pvec_v3, 7);
    list_init(plist_l1);

    for(i = 1; i <= 7; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i);
        list_push_back(plist_l1, i);
    }

    printf("The original vector v1 is:\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
}
```

```

printf("\n");
printf("The original list l1 is:\n( ");
for(it_l = list_begin(plist_l1);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

/* The first function for the inner product */
algo_inner_product(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
    list_begin(plist_l1), 0, &n_result);

printf("The inner_product of the vector v1 and the list l1 is: %d.\n",
    n_result);

/* Constructing a vector of partial inner_products between v1 and l1 */
for(it_v = vector_begin(pvec_v1), i = 0;
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v), ++i)
{
    algo_inner_product(vector_begin(pvec_v1), iterator_next(it_v),
        list_begin(plist_l1), 0, vector_at(pvec_v2, i));
}

printf("The vector of partial inner_products between v1 and l1 is:\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* The second function used to compute the product of the element-wise sums */
algo_inner_product_if(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
    list_begin(plist_l1), 1, fun_multiplies_int, fun_plus_int, &n_result);

printf("The sum of the element-wise products of v1 and l1 is: %d.\n",
    n_result);

/* Constructing a vector of partial sums of element-wise products */
for(it_v = vector_begin(pvec_v1), i = 0;
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v), ++i)
{
    algo_inner_product_if(vector_begin(pvec_v1), iterator_next(it_v),
        list_begin(plist_l1), 1, fun_multiplies_int,
        fun_plus_int, vector_at(pvec_v3, i));
}

```

```

}

printf("The vector of partial sums of element-wise products "
      "between v1 and l1 is:\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v3);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v3));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2);
vector_destroy(pvec_v3);
list_destroy(plist_l1);

return 0;
}

```

● Output

```

The original vector v1 is:
( 1 2 3 4 5 6 7 )
The original list l1 is:
( 1 2 3 4 5 6 7 )
The inner_product of the vector v1 and the list l1 is: 140.
The vector of partial inner_products between v1 and l1 is:
( 1 5 14 30 55 91 140 )
The sum of the element-wise products of v1 and l1 is: 645120.
The vector of partial sums of element-wise products between v1 and l1 is:
( 2 8 48 384 3840 46080 645120 )

```

4. algo_iota

根据初始值填充数据区间。

```

void algo_iota(
    forward_iterator_t it_first,
    forward_iterator_t it_last,
    element
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
element: 初始化值。

● Remarks

algo_iota 执行之后数据区间中的数据:

*it_first = element, *(it_first + 1) = element + 1, *(it_first + 2) = element + 2, ..., *(it_last - 1) = element + it_last - it_first - 1

● Requirements

头文件 <cstdlib/cnumeric.h>。

● Example

```
/*
 * algo_iota.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cvector.h>
#include <cstdlib/cnumeric.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_vec1 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_vec;

    if(pvec_vec1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init_n(pvec_vec1, 10);

    algo_iota(vector_begin(pvec_vec1), vector_end(pvec_vec1), 7);
    printf("The vector vec1 is:");
    for(it_vec = vector_begin(pvec_vec1);
        !iterator_equal(it_vec, vector_end(pvec_vec1));
        it_vec = iterator_next(it_vec))
    {
        printf(" %d", *(int*)iterator_get_pointer(it_vec));
    }
    printf("\n");

    vector_destroy(pvec_vec1);

    return 0;
}
```

● Output

The vector vec1 is: 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

5. algo_partial_sum algo_partial_sum_if

计算数据区间局部和。

```
output_iterator_t algo_partial_sum(
    input_iterator_t it_first,
    input_iterator_t it_last,
    output_iterator_t it_result
);

output_iterator_t algo_partial_sum_if(
```

```

    input_iterator_t it_first,
    input_iterator_t it_last,
    output_iterator_t it_result,
    binary_function_t bfun_op
);

```

● Parameters

it_first: 数据区间的开始位置。
it_last: 数据区间的末尾位置。
it_result: 目的数据区间的开始位置。
bfun_op: 指定的算法函数。

● Remarks

返回目的数据区间拷贝的数据的末尾。
 要保证目的数据区间至少和源数据区间一样大。
 algo_partial_sum 执行后目的数据区间的数据:
 *it_first, *it_first + *(it_first + 1), *it_first + *(it_first + 1) + *(it_first + 2), ...
 algo_partial_sum_if 执行后目的数据区间的数据:
 *it_first, *it_first bfun_op *(it_first + 1), *it_first bfun_op *(it_first + 1) bfun_op *(it_first + 2), ...

● Requirements

头文件 <cstl/numeric.h>。

● Example

```

/*
 * algo_partial_sum.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/clist.h>
#include <cstl/numeric.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    list_t* plist_l1 = create_list(int);
    list_iterator_t it_l;
    iterator_t it_end;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || plist_l1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init_n(pvec_v1, 10);
    vector_init_n(pvec_v2, 10);
    list_init_n(plist_l1, 10);

```

```

algo_iota(list_begin(plist_l1), list_end(plist_l1), 1);
printf("The input list l1 is:\n( ");
for(it_l = list_begin(plist_l1);
    !iterator_equal(it_l, list_end(plist_l1));
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}
printf("\n");

/*
 * The first function for the partial sums of
 * elements in a list output to a vector.
 */
it_end = algo_partial_sum(list_begin(plist_l1), list_end(plist_l1),
    vector_begin(pvec_v1));
printf("The output vector conatining the partial sums is:\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
    !iterator_equal(it_v, it_end);
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/*
 * The second function used to compute
 * the partial product of the elements in a list.
 */
it_end = algo_partial_sum_if(list_begin(plist_l1), list_end(plist_l1),
    vector_begin(pvec_v2), fun_multiplies_int);
printf("The output vector with the partial products is:\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, it_end);
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf("\n");

/* Computation of partial sums in place */
it_end = algo_partial_sum(list_begin(plist_l1),
    list_end(plist_l1), list_begin(plist_l1));
printf("The in place output partial_sum list l1 is:\n( ");
for(it_l = list_begin(plist_l1);
    !iterator_equal(it_l, it_end);
    it_l = iterator_next(it_l))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_l));
}

```

```

    }
    printf("\n");

    vector_destroy(pvec_v1);
    vector_destroy(pvec_v2);
    list_destroy(plist_l1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The input list l1 is:
( 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 )
The output vector conatining the partial sums is:
( 1 3 6 10 15 21 28 36 45 55 )
The output vector with the partial products is:
( 1 2 6 24 120 720 5040 40320 362880 3628800 )
The in place output partial_sum list l1 is:
( 1 3 6 10 15 21 28 36 45 55 )

```

6. algo_power algo_power_if

计算数据的幂。

```

void algo_power(
    iterator_t it_iter,
    size_t t_power,
    void* pv_output
);

void algo_power_if(
    iterator_t it_iter,
    size_t t_power,
    binary_function_t bfun_op,
    void* pv_output
);

```

● Parameters

it_iter: 底数的迭代器。
t_power: 幂指数。
bfun_op: 指定的算法函数。
pv_output: 指向输出值的指针。

● Remarks

algo_power 的计算过程是:
 $*pv_output = *it_iter * *it_iter * \dots * *it_iter$
 algo_power_if 的计算过程是:
 $*pv_output = *it_iter \text{ bfun_op } *it_iter \text{ bfun_op } \dots \text{ bfun_op } *it_iter$

● Requirements

头文件 <cstl/cnumeric.h>。

● Example

```

/*
 * algo_power.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/cnumeric.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_iterator_t it_v;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init_n(pvec_v1, 10);
    vector_init_n(pvec_v2, 10);

    algo_iota(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1), 1);

    /* The first function for power */
    printf("The original vector v1 is:\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");

    for(it_v = vector_begin(pvec_v1), i = 0;
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
        it_v = iterator_next(it_v), ++i)
    {
        algo_power(it_v, 3, vector_at(pvec_v2, i));
    }

    printf("The power result vector v2 is:\n( ");
    for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
        !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
        it_v = iterator_next(it_v))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
    }
    printf("\n");
}

```



```

/* The second function for multiplus */
for(it_v = vector_begin(pvec_v1), i = 0;
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v1));
    it_v = iterator_next(it_v), ++i)
{
    algo_power_if(it_v, 3, fun_plus_int, vector_at(pvec_v2, i));
}

printf("The multiplus result vector v2 is:\n( ");
for(it_v = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_v, vector_end(pvec_v2));
    it_v = iterator_next(it_v))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_v));
}
printf(")\n");

vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2);

return 0;
}

```

● Output

```

The original vector v1 is:
( 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 )
The power result vector v2 is:
( 1 8 27 64 125 216 343 512 729 1000 )
The multiplus result vector v2 is:
( 3 6 9 12 15 18 21 24 27 30 )

```

第五章 函数

通过使用 `libcstl` 函数可以对算法进行扩展，修改算法的行为。算法只接受两种类型的函数，一元函数和二元函数，一元函数和二元函数不能兼容。在调用算法的时候，用户可以使用自定义的函数，也可以使用 `libcstl` 提供的预定义的函数。本章首先给出了两种函数的定义，然后按照功能分别给出了预定义的函数，对于每一组预定义的函数给出了一个例子。

第一节 函数的定义

函数分为一元函数和二元函数：

● Typedefs

<code>unary_function_t</code>	一元函数。
<code>binary_function_t</code>	二元函数。

1. unary_function_t

一元函数的定义。

```
typedef void (*unary_function_t) (  
    const void* cpv_input,  
    void* pv_output  
);
```

- **Parameters**

cpv_input: 输入参数。
pv_output: 输出参数。

- **Remarks**

要求输入产生和输出参数不能为 NULL。

- **Requirements**

任何 libcstl 头文件。

- **Example**

参考其他 libcstl 函数。

2. binary_function_t

二元函数定义。

```
typedef void (*binary_function_t) (  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);
```

- **Parameters**

cpv_first: 第一个输入参数。
cpv_second: 第二个输入参数。
pv_output: 输出参数。

- **Remarks**

要求输入产生和输出参数不能为 NULL。

- **Requirements**

任何 libcstl 头文件。

- **Example**

参考其他 libcstl 函数。

第二节 算数函数

算数函数主要对数值类型的数据进行计算。

- **Functions**

fun_plus_char	将两个有符号字符型数据相加。
fun_plus_uchar	将两个无符号字符型数据相加。
fun_plus_short	将两个有符号短整型数据相加。
fun_plus_ushort	将两个无符号短整型数据相加。
fun_plus_int	将两个有符号整型数据相加。
fun_plus_uint	将两个无符号整型数据相加。
fun_plus_long	将两个有符号长整型数据相加。
fun_plus_ulong	将两个无符号长整型数据相加。
fun_plus_float	将两个浮点数据相加。
fun_plus_double	将两个双精度浮点数据相加。
fun_plus_long_double	将两个长双精度浮点数据相加。
fun_minus_char	将两个有符号字符类型数据相减。
fun_minus_uchar	将两个无符号字符类型数据相减。
fun_minus_short	将两个有符号短整型数据相减。
fun_minus_ushort	将两个无符号短整型数据相减。
fun_minus_int	将两个有符号整型数据相减。
fun_minus_uint	将两个无符号整型数据相减。
fun_minus_long	将两个有符合长整型数据相减。
fun_minus_ulong	将两个无符号长整型数据相减。
fun_minus_float	将两个浮点数据相减。
fun_minus_double	将两个双精度浮点数据相减。
fun_minus_long_double	将两个长双精度浮点数据相减。
fun_multiplies_char	将两个有符号字符数据相乘。
fun_multiplies_uchar	将两个无符号字符数据相乘。
fun_multiplies_short	将两个有符号短整型数据相乘。
fun_multiplies_ushort	将两个无符号短整型数据相乘。
fun_multiplies_int	将两个有符号整型数据相乘。
fun_multiplies_uint	将两个无符号整型数据相乘。
fun_multiplies_long	将两个有符号长整型数据相乘。
fun_multiplies_ulong	将两个无符号长整型数据相乘。
fun_multiplies_float	将两个浮点数据相乘。
fun_multiplies_double	将两个双精度浮点数据相乘。
fun_multiplies_long_double	将两个长双精度浮点数据相乘。
fun_divides_char	将两个有符号字符数据相除。
fun_divides_uchar	将两个无符号字符数据相除。
fun_divides_short	将两个有符号短整型数据相除。
fun_divides_ushort	将两个无符号短整型数据相除。

fun_divides_int	将两个有符号整型数据相除。
fun_divides_uint	将两个无符号整型数据相除。
fun_divides_long	将两个有符号长整型数据相除。
fun_divides_ulong	将两个无符号长整型数据相除。
fun_divides_float	将两个浮点数据相除。
fun_divides_double	将两个双精度浮点数据相除。
fun_divides_long_double	将两个长双精度浮点数据相除。
fun_modulus_char	将两个有符号字符数据取余。
fun_modulus_uchar	将两个无符号字符数据取余。
fun_modulus_short	将两个有符号短整型数据取余。
fun_modulus_ushort	将两个无符号短整型数据取余。
fun_modulus_int	将两个有符号整型数据取余。
fun_modulus_uint	将两个无符号整型数据取余。
fun_modulus_long	将两个有符号长整型数据取余。
fun_modulus_ulong	将两个无符号长整型数据取余。
fun_negate_char	将有符号字符数据取反。
fun_negate_short	将有符号短整型数据取反。
fun_negate_int	将有符号整型数据取反。
fun_negate_long	将有符号长整型数据取反。
fun_negate_float	将浮点数据取反。
fun_negate_double	将双精度浮点数据取反。
fun_negate_long_double	将长双精度浮点数据取反。

1. fun_plus_char fun_plus_uchar fun_plus_short fun_plus_ushort fun_plus_int fun_plus_uint fun_plus_long fun_plus_ulong fun_plus_float fun_plus_double fun_plus_long_double

将两个数据相加。

```
void fun_plus_char(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_plus_uchar(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_plus_short(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
```

```

    void* pv_output
);

void fun_plus_ushort(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_plus_int(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_plus_uint(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_plus_long(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_plus_ulong(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_plus_float(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_plus_double(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_plus_long_double(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

```

● Parameters

- cpv_first:** 第一个输入参数。
- cpv_second:** 第二个输入参数。

pv_output: 输出参数。

- **Remarks**

要求输入产生和输出参数不能为 NULL。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cfunctional.h>。

- **Example**

```
/*
 * fun_plus.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3 = create_vector(int);
    iterator_t it_pos;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || pvec_v3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);
    vector_init_n(pvec_v3, 6);

    for(i = 0; i <= 5; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 4);
        vector_push_back(pvec_v2, i * -2 - 4);
    }

    printf("The vector v1 = ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v1));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf("\n");
    printf("The vector v2 = ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v2);
```

```

        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v2));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf("\n");

    algo_transform_binary(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
        vector_begin(pvec_v2), vector_begin(pvec_v3), fun_plus_int);

    printf("The element-wise sums are: ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v3);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v3));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf("\n");

    vector_destroy(pvec_v1);
    vector_destroy(pvec_v2);
    vector_destroy(pvec_v3);

    return 0;
}

```

● Output

```

The vector v1 = 0 4 8 12 16 20
The vector v2 = -4 -6 -8 -10 -12 -14
The element-wise sums are: -4 -2 0 2 4 6

```

2. fun_minus_char fun_minus_uchar fun_minus_short fun_minus_ushort fun_minus_int fun_minus_uint fun_minus_long fun_minus_ulong fun_minus_float fun_minus_double fun_minus_long_double

两个数据相减。

```

void fun_minus_char(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_minus_uchar(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_minus_short(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,

```

```

    void* pv_output
);

void fun_minus_ushort(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_minus_int(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_minus_uint(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_minus_long(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_minus_ulong(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_minus_float(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_minus_double(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_minus_long_double(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

```

● Parameters

- cpv_first:** 第一个输入参数。
- cpv_second:** 第二个输入参数。

pv_output: 输出参数。

- **Remarks**

要求输入产生和输出参数不能为 NULL。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cfunctional.h>。

- **Example**

```
/*
 * fun_minus.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3 = create_vector(int);
    iterator_t it_pos;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || pvec_v3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);
    vector_init_n(pvec_v3, 6);

    for(i = 0; i <= 5; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 4 + 1);
        vector_push_back(pvec_v2, i * 3 - 1);
    }

    printf("The vector v1 = ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v1));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf("\n");
    printf("The vector v2 = ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v2);
```

```

        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v2));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf("\n");

    algo_transform_binary(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
        vector_begin(pvec_v2), vector_begin(pvec_v3), fun_minus_int);

    printf("The element-wise difference between v1 and v2 are: ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v3);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v3));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf("\n");

    vector_destroy(pvec_v1);
    vector_destroy(pvec_v2);
    vector_destroy(pvec_v3);

    return 0;
}

```

● Output

```

The vector v1 = 1 5 9 13 17 21
The vector v2 = -1 2 5 8 11 14
The element-wise difference between v1 and v2 are: 2 3 4 5 6 7

```

3. **fun_multiplies_char fun_multiplies_uchar fun_multiplies_short fun_multiplies_ushort fun_multiplies_int fun_multiplies_uint fun_multiplies_long fun_multiplies_ulong fun_multiplies_float fun_multiplies_double fun_multiplies_long_double**

两个数据相乘。

```

void fun_multiplies_char(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_multiplies_uchar(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_multiplies_short(

```

```

    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_multiplies_ushort(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_multiplies_int(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_multiplies_uint(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_multiplies_long(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_multiplies_ulong(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_multiplies_float(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_multiplies_double(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_multiplies_long_double(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

```

● Parameters

cpv_first: 第一个输入参数。
cpv_second: 第二个输入参数。
pv_output: 输出参数。

- **Remarks**

要求输入产生和输出参数不能为 NULL。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cfunctional.h>。

- **Example**

```
/*
 * fun_multiplies.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3 = create_vector(int);
    iterator_t it_pos;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || pvec_v3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);
    vector_init_n(pvec_v3, 6);

    for(i = 1; i <= 6; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 2);
        vector_push_back(pvec_v2, i * 3);
    }

    printf("The vector v1 = ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v1));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf("\n");
}
```

```

printf("The vector v2 = ");
for(it_pos = vector_begin(pvec_v2);
    !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v2));
    it_pos = iterator_next(it_pos))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
}
printf("\n");

algo_transform_binary(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
    vector_begin(pvec_v2), vector_begin(pvec_v3), fun_multiplies_int);

printf("The element-wise products of vectors v1 & v2 are: ");
for(it_pos = vector_begin(pvec_v3);
    !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v3));
    it_pos = iterator_next(it_pos))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2);
vector_destroy(pvec_v3);

return 0;
}

```

● Output

```

The vector v1 = 2 4 6 8 10 12
The vector v2 = 3 6 9 12 15 18
The element-wise products of vectors v1 & v2 are: 6 24 54 96 150 216

```

4. fun_divides_char fun_divides_uchar fun_divides_short fun_divides_ushort fun_divides_int fun_divides_uint fun_divides_long fun_divides_ulong fun_divides_float fun_divides_double fun_divides_long_double

两个数据相除。

```

void fun_divides_char(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_divides_uchar(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_divides_short(

```

```

    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_divides_ushort(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_divides_int(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_divides_uint(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_divides_long(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_divides_ulong(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_divides_float(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_divides_double(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_divides_long_double(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

```

- Parameters

cpv_first: 第一个输入参数。
cpv_second: 第二个输入参数。
pv_output: 输出参数。

- **Remarks**

要求输入产生和输出参数不能为 NULL。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cfunctional.h>。

- **Example**

```
/*
 * fun_divides.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(double);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(double);
    vector_t* pvec_v3 = create_vector(double);
    iterator_t it_pos;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || pvec_v3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);
    vector_init_n(pvec_v3, 6);

    for(i = 0; i <= 5; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 7.0);
    }
    for(i = 1; i <= 6; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v2, i * 2.0);
    }

    printf("The vector v1 = ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v1));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
```

```

        printf("%lf ", *(double*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf("\n");
    printf("The vector v2 = ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v2);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v2));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%lf ", *(double*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf("\n");

    algo_transform_binary(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
        vector_begin(pvec_v2), vector_begin(pvec_v3), fun_divides_double);

    printf("The element-wise quotients are: ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v3);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v3));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%lf ", *(double*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf("\n");

    vector_destroy(pvec_v1);
    vector_destroy(pvec_v2);
    vector_destroy(pvec_v3);

    return 0;
}

```

● Output

```

The vector v1 = 0.000000 7.000000 14.000000 21.000000 28.000000 35.000000
The vector v2 = 2.000000 4.000000 6.000000 8.000000 10.000000 12.000000
The element-wise quotients are: 0.000000 1.750000 2.333333 2.625000 2.800000
2.916667

```

5. fun_modulus_char fun_modulus_uchar fun_modulus_short fun_modulus_ushort fun_modulus_int fun_modulus_uint fun_modulus_long fun_modulus_ulong

取得第一个数据除以第二个数据得到的余数。

```

void fun_modulus_char(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_modulus_uchar(
    const void* cpv_first,

```



```

    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_modulus_short(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_modulus_ushort(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_modulus_int(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_modulus_uint(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_modulus_long(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_modulus_ulong(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

```

- **Parameters**

cpv_first: 第一个输入参数。
cpv_second: 第二个输入参数。
pv_output: 输出参数。

- **Remarks**

要求输入产生和输出参数不能为 NULL。

- **Requirements**

头文件 <cstdlib/cfunctional.h>。

- **Example**

```
/*
```

```

* fun_modulus.c
* compile with : -lcstl
*/

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3 = create_vector(int);
    iterator_t it_pos;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || pvec_v3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);
    vector_init_n(pvec_v3, 6);

    for(i = 1; i <= 6; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 5);
        vector_push_back(pvec_v2, i * 3);
    }

    printf("The vector v1 = ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v1));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf("\n");
    printf("The vector v2 = ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v2);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v2));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf("\n");

    algo_transform_binary(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
        vector_begin(pvec_v2), vector_begin(pvec_v3), fun_modulus_int);
}

```

```

printf("The element-wise remainders of the modular division are: ");
for(it_pos = vector_begin(pvec_v3);
    !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v3));
    it_pos = iterator_next(it_pos))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v1);
vector_destroy(pvec_v2);
vector_destroy(pvec_v3);

return 0;
}

```

● Output

The vector v1 = 5 10 15 20 25 30

The vector v2 = 3 6 9 12 15 18

The element-wise remainders of the modular division are: 2 4 6 8 10 12

6. fun_negate_char fun_negate_short fun_negate_int fun_negate_long fun_negate_float fun_negate_double fun_negate_long_double

对数据取反。

```

void fun_negate_char(
    const void* cpv_input,
    void* pv_output
);

void fun_negate_short(
    const void* cpv_input,
    void* pv_output
);

void fun_negate_int(
    const void* cpv_input,
    void* pv_output
);

void fun_negate_long(
    const void* cpv_input,
    void* pv_output
);

void fun_negate_float(
    const void* cpv_input,
    void* pv_output
);

void fun_negate_double(
    const void* cpv_input,

```

```

    void* pv_output
);

void fun_negate_long_double(
    const void* cpv_input,
    void* pv_output
);

```

● Parameters

cpv_input: 输入参数。
pv_output: 输出参数。

● Remarks

要求输入产生和输出参数不能为 NULL。

● Requirements

头文件 <cstl/cfunctional.h>。

● Example

```

/*
 * fun_negate.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    iterator_t it_pos;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init_n(pvec_v2, 8);

    for(i = -2; i <= 5; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 5);
    }

    printf("The vector v1 = ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v1));

```

```

        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf("\n");

    algo_transform(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
        vector_begin(pvec_v2), fun_negate_int);

    printf("The negated element of the vector = ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v2);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v2));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf("\n");

    vector_destroy(pvec_v1);
    vector_destroy(pvec_v2);

    return 0;
}

```

● Output

```

The vector v1 = -10 -5 0 5 10 15 20 25
The negated element of the vector = 10 5 0 -5 -10 -15 -20 -25

```

第三节 逻辑函数

逻辑函数是对数据之间的关系进行比较，逻辑函数都是谓词。

● Functions

fun_equal_char	测试两个有符号字符型数据是否相等。
fun_equal_uchar	测试两个无符号字符型数据是否相等。
fun_equal_short	测试两个有符号短整型数据是否相等。
fun_equal_ushort	测试两个无符号短整型数据是否相等。
fun_equal_int	测试两个有符号整型数据是否相等。
fun_equal_uint	测试两个无符号整型数据是否相等。
fun_equal_long	测试两个有符号长整型数据是否相等。
fun_equal_ulong	测试两个无符号长整型数据是否相等。
fun_equal_float	测试两个浮点数据是否相等。
fun_equal_double	测试两个双精度浮点数据是否相等。
fun_equal_long_double	测试两个长双精度浮点数据是否相等。
fun_equal_cstr	测试两个 C 字符串数据是否相等。

fun_equal_vector	测试两个 vector_t 类型的数据是否相等。
fun_equal_deque	测试两个 deque_t 类型的数据是否相等。
fun_equal_list	测试两个 list_t 类型的数据是否相等。
fun_equal_slist	测试两个 slist_t 类型的数据是否相等。
fun_equal_queue	测试两个 queue_t 类型的数据是否相等。
fun_equal_stack	测试两个 stack_t 类型的数据是否相等。
fun_equal_string	测试两个 string_t 类型的数据是否相等。
fun_equal_pair	测试两个 pair_t 类型的数据是否相等。
fun_equal_set	测试两个 set_t 类型的数据是否相等。
fun_equal_map	测试两个 map_t 类型的数据是否相等。
fun_equal_multiset	测试两个 multiset_t 类型的数据是否相等。
fun_equal_multimap	测试两个 multimap_t 类型的数据是否相等。
fun_equal_hash_set	测试两个 hash_set_t 类型的数据是否相等。
fun_equal_hash_map	测试两个 hash_map_t 类型的数据是否相等。
fun_equal_hash_multiset	测试两个 hash_multiset_t 类型的数据是否相等。
fun_equal_hash_multimap	测试两个 hash_multimap_t 类型的数据是否相等。
fun_not_equal_char	测试两个有符号字符型数据是否不等。
fun_not_equal_uchar	测试两个无符号字符型数据是否不等。
fun_not_equal_short	测试两个有符号短整型数据是否不等。
fun_not_equal_ushort	测试两个无符号短整型数据是否不等。
fun_not_equal_int	测试两个有符号整型数据是否不等。
fun_not_equal_uint	测试两个无符号整型数据是否不等。
fun_not_equal_long	测试两个有符号长整型数据是否不等。
fun_not_equal_ulong	测试两个无符号长整型数据是否不等。
fun_not_equal_float	测试两个浮点数据是否不等。
fun_not_equal_double	测试两个双精度浮点数据是否不等。
fun_not_equal_long_double	测试两个长双精度浮点数据是否不等。
fun_not_equal_cstr	测试两个 C 字符串数据是否不等。
fun_not_equal_vector	测试两个 vector_t 类型的数据是否不等。
fun_not_equal_deque	测试两个 deque_t 类型的数据是否不等。
fun_not_equal_list	测试两个 list_t 类型的数据是否不等。
fun_not_equal_slist	测试两个 slist_t 类型的数据是否不等。
fun_not_equal_queue	测试两个 queue_t 类型的数据是否不等。
fun_not_equal_stack	测试两个 stack_t 类型的数据是否不等。
fun_not_equal_string	测试两个 string_t 类型的数据是否不等。
fun_not_equal_pair	测试两个 pair_t 类型的数据是否不等。
fun_not_equal_set	测试两个 set_t 类型的数据是否不等。

fun_not_equal_map	测试两个 map_t 类型的数据是否不等。
fun_not_equal_multiset	测试两个 multiset_t 类型的数据是否不等。
fun_not_equal_multimap	测试两个 multimap_t 类型的数据是否不等。
fun_not_equal_hash_set	测试两个 hash_set_t 类型的数据是否不等。
fun_not_equal_hash_map	测试两个 hash_map_t 类型的数据是否不等。
fun_not_equal_hash_multiset	测试两个 hash_multiset_t 类型的数据是否不等。
fun_not_equal_hash_multimap	测试两个 hash_multimap_t 类型的数据是否不等。
fun_greater_char	测试第一个有符号字符型数据是否大于第二个数据。
fun_greater_uchar	测试第一个无符号字符型数据是否大于第二个数据。
fun_greater_short	测试第一个有符号短整型数据是否大于第二个数据。
fun_greater_ushort	测试第一个无符号短整型数据是否大于第二个数据。
fun_greater_int	测试第一个有符号整型数据是否大于第二个数据。
fun_greater_uint	测试第一个无符号整型数据是否大于第二个数据。
fun_greater_long	测试第一个有符号长整型数据是否大于第二个数据。
fun_greater_ulong	测试第一个无符号长整型数据是否大于第二个数据。
fun_greater_float	测试第一个浮点数据是否大于第二个数据。
fun_greater_double	测试第一个双精度浮点数据是否大于第二个数据。
fun_greater_long_double	测试第一个长双精度浮点数据是否大于第二个数据。
fun_greater_cstr	测试第一个 C 字符串数据是否大于第二个数据。
fun_greater_vector	测试第一个 vector_t 类型的数据是否大于第二个数据。
fun_greater_deque	测试第一个 deque_t 类型的数据是否大于第二个数据。
fun_greater_list	测试第一个 list_t 类型的数据是否大于第二个数据。
fun_greater_slist	测试第一个 slist_t 类型的数据是否大于第二个数据。
fun_greater_queue	测试第一个 queue_t 类型的数据是否大于第二个数据。
fun_greater_stack	测试第一个 stack_t 类型的数据是否大于第二个数据。
fun_greater_string	测试第一个 string_t 类型的数据是否大于第二个数据。
fun_greater_pair	测试第一个 pair_t 类型的数据是否大于第二个数据。
fun_greater_set	测试第一个 set_t 类型的数据是否大于第二个数据。
fun_greater_map	测试第一个 map_t 类型的数据是否大于第二个数据。
fun_greater_multiset	测试第一个 multiset_t 类型的数据是否大于第二个数据。
fun_greater_multimap	测试第一个 multimap_t 类型的数据是否大于第二个数据。
fun_greater_hash_set	测试第一个 hash_set_t 类型的数据是否大于第二个数据。
fun_greater_hash_map	测试第一个 hash_map_t 类型的数据是否大于第二个数据。
fun_greater_hash_multiset	测试第一个 hash_multiset_t 类型的数据是否大于第二个数据。
fun_greater_hash_multimap	测试第一个 hash_multimap_t 类型的数据是否大于第二个数据。
fun_greater_equal_char	测试第一个有符号字符型数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_uchar	测试第一个无符号字符型数据是否大于等于第二个数据。

fun_greater_equal_short	测试第一个有符号短整型数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_ushort	测试第一个无符号短整型数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_int	测试第一个有符号整型数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_uint	测试第一个无符号整型数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_long	测试第一个有符号长整型数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_ulong	测试第一个无符号长整型数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_float	测试第一个浮点数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_double	测试第一个双精度浮点数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_long_double	测试第一个长双精度浮点数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_cstr	测试第一个 C 字符串数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_vector	测试第一个 <code>vector_t</code> 类型的数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_deque	测试第一个 <code>deque_t</code> 类型的数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_list	测试第一个 <code>list_t</code> 类型的数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_slist	测试第一个 <code>slist_t</code> 类型的数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_queue	测试第一个 <code>queue_t</code> 类型的数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_stack	测试第一个 <code>stack_t</code> 类型的数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_string	测试第一个 <code>string_t</code> 类型的数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_pair	测试第一个 <code>pair_t</code> 类型的数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_set	测试第一个 <code>set_t</code> 类型的数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_map	测试第一个 <code>map_t</code> 类型的数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_multiset	测试第一个 <code>multiset_t</code> 类型的数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_multimap	测试第一个 <code>multimap_t</code> 类型的数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_hash_set	测试第一个 <code>hash_set_t</code> 类型的数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_hash_map	测试第一个 <code>hash_map_t</code> 类型的数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_hash_multiset	测试第一个 <code>hash_multiset_t</code> 类型的数据是否大于等于第二个数据。
fun_greater_equal_hash_multimap	测试第一个 <code>hash_multimap_t</code> 类型的数据是否大于等于第二个数据。
fun_less_char	测试第一个有符号字符型数据是否小于第二个数据。
fun_less_uchar	测试第一个无符号字符型数据是否小于第二个数据。
fun_less_short	测试第一个有符号短整型数据是否小于第二个数据。
fun_less_ushort	测试第一个无符号短整型数据是否小于第二个数据。
fun_less_int	测试第一个有符号整型数据是否小于第二个数据。
fun_less_uint	测试第一个无符号整型数据是否小于第二个数据。
fun_less_long	测试第一个有符号长整型数据是否小于第二个数据。
fun_less_ulong	测试第一个无符号长整型数据是否小于第二个数据。
fun_less_float	测试第一个浮点数据是否小于第二个数据。
fun_less_double	测试第一个双精度浮点数据是否小于第二个数据。
fun_less_long_double	测试第一个长双精度浮点数据是否小于第二个数据。

fun_less_cstr	测试第一个 C 字符串数据是否小于第二个数据。
fun_less_vector	测试第一个 <code>vector_t</code> 类型的数据是否小于第二个数据。
fun_less_deque	测试第一个 <code>deque_t</code> 类型的数据是否小于第二个数据。
fun_less_list	测试第一个 <code>list_t</code> 类型的数据是否小于第二个数据。
fun_less_slist	测试第一个 <code>slist_t</code> 类型的数据是否小于第二个数据。
fun_less_queue	测试第一个 <code>queue_t</code> 类型的数据是否小于第二个数据。
fun_less_stack	测试第一个 <code>stack_t</code> 类型的数据是否小于第二个数据。
fun_less_string	测试第一个 <code>string_t</code> 类型的数据是否小于第二个数据。
fun_less_pair	测试第一个 <code>pair_t</code> 类型的数据是否小于第二个数据。
fun_less_set	测试第一个 <code>set_t</code> 类型的数据是否小于第二个数据。
fun_less_map	测试第一个 <code>map_t</code> 类型的数据是否小于第二个数据。
fun_less_multiset	测试第一个 <code>multiset_t</code> 类型的数据是否小于第二个数据。
fun_less_multimap	测试第一个 <code>multimap_t</code> 类型的数据是否小于第二个数据。
fun_less_hash_set	测试第一个 <code>hash_set_t</code> 类型的数据是否小于第二个数据。
fun_less_hash_map	测试第一个 <code>hash_map_t</code> 类型的数据是否小于第二个数据。
fun_less_hash_multiset	测试第一个 <code>hash_multiset_t</code> 类型的数据是否小于第二个数据。
fun_less_hash_multimap	测试第一个 <code>hash_multimap_t</code> 类型的数据是否小于第二个数据。
fun_less_equal_char	测试第一个有符号字符型数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_uchar	测试第一个无符号字符型数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_short	测试第一个有符号短整型数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_ushort	测试第一个无符号短整型数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_int	测试第一个有符号整型数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_uint	测试第一个无符号整型数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_long	测试第一个有符号长整型数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_ulong	测试第一个无符号长整型数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_float	测试第一个浮点数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_double	测试第一个双精度浮点数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_long_double	测试第一个长双精度浮点数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_cstr	测试第一个 C 字符串数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_vector	测试第一个 <code>vector_t</code> 类型的数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_deque	测试第一个 <code>deque_t</code> 类型的数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_list	测试第一个 <code>list_t</code> 类型的数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_slist	测试第一个 <code>slist_t</code> 类型的数据是否小于等于第二个数据。
fun_greater_equal_queue	测试第一个 <code>queue_t</code> 类型的数据是否小于等于第二个数据。
fun_greater_equal_stack	测试第一个 <code>stack_t</code> 类型的数据是否小于等于第二个数据。
fun_greater_equal_string	测试第一个 <code>string_t</code> 类型的数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_pair	测试第一个 <code>pair_t</code> 类型的数据是否小于等于第二个数据。

fun_less_equal_set	测试第一个 set_t 类型的数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_map	测试第一个 map_t 类型的数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_multiset	测试第一个 multiset_t 类型的数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_multimap	测试第一个 multimap_t 类型的数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_hash_set	测试第一个 hash_set_t 类型的数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_hash_map	测试第一个 hash_map_t 类型的数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_hash_multiset	测试第一个 hash_multiset_t 类型的数据是否小于等于第二个数据。
fun_less_equal_hash_multimap	测试第一个 hash_multimap_t 类型的数据是否小于等于第二个数据。

1. fun_equal_char fun_equal_uchar fun_equal_short fun_equal_ushort fun_equal_int fun_equal_uint fun_equal_long fun_equal_ulong fun_equal_float fun_equal_double fun_equal_long_double fun_equal_cstr fun_equal_vector fun_equal_deque fun_equal_list fun_equal_slist fun_equal_queue fun_equal_stack fun_equal_string fun_equal_pair fun_equal_set fun_equal_map fun_equal_multiset fun_equal_multimap fun_equal_hash_set fun_equal_hash_map fun_equal_hash_multiset fun_equal_hash_multimap

测试两个数据是否相等。

```
void fun_equal_char(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_equal_uchar(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_equal_short(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_equal_ushort(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_equal_int(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);
```

```
void fun_equal_uint(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_equal_long(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_equal_ulong(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_equal_float(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_equal_double(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_equal_long_double(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_equal_cstr(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_equal_vector(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_equal_deque(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);
```

```
void fun_equal_list(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_equal_slist(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_equal_queue(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_equal_stack(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_equal_string(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_equal_pair(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_equal_set(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_equal_map(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_equal_multiset(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);
```

```

void fun_equal_multimap(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_equal_hash_set(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_equal_hash_map(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_equal_hash_multiset(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_equal_hash_multimap(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

```

- **Parameters**

cpv_first: 第一个输入参数。
cpv_second: 第二个输入参数。
pv_output: 输出参数。

- **Remarks**

要求输入产生和输出参数不能为 NULL。pv_output 必须是 bool_t 类型。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cfunctional.h>。

- **Example**

```

/*
 * fun_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

```

```

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3 = create_vector(int);
    iterator_t it_pos;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || pvec_v3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);
    vector_init_n(pvec_v3, 6);

    for(i = 0; i <= 5; i += 2)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 2);
        vector_push_back(pvec_v1, i * 2 + 1);
        vector_push_back(pvec_v2, i * -2);
        vector_push_back(pvec_v2, i * 2 + 1);
    }

    printf("The vector v1 = ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v1));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf("\n");
    printf("The vector v2 = ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v2);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v2));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf("\n");

    algo_transform_binary(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
        vector_begin(pvec_v2), vector_begin(pvec_v3), fun_equal_int);

    printf("The result of the element-wise equal to comparison between v1 & v2 is:
");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v3);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v3));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {

```

```

        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf("\n");

    vector_destroy(pvec_v1);
    vector_destroy(pvec_v2);
    vector_destroy(pvec_v3);

    return 0;
}

```

● Output

The vector v1 = 0 1 4 5 8 9

The vector v2 = 0 1 -4 5 -8 9

The result of the element-wise equal to comparison between v1 & v2 is: 1 1 0 1 0 1

2. **fun_not_equal_char fun_not_equal_uchar fun_not_equal_short
 fun_not_equal_ushort fun_not_equal_int fun_not_equal_uint
 fun_not_equal_long fun_not_equal_ulong fun_not_equal_float
 fun_not_equal_double fun_not_equal_long_double fun_not_equal_cstr
 fun_not_equal_vector fun_not_equal_deque fun_not_equal_list
 fun_not_equal_slist fun_not_equal_queue fun_not_equal_stack
 fun_not_equal_string fun_not_equal_pair fun_not_equal_set
 fun_not_equal_map fun_not_equal_multiset fun_not_equal_multimap
 fun_not_equal_hash_set fun_not_equal_hash_map
 fun_not_equal_hash_multiset fun_not_equal_hash_multimap**

测试两个数据是否不等。

```

void fun_not_equal_char(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_uchar(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_short(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_ushort(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

```

```
);

void fun_not_equal_int(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_uint(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_long(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_ulong(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_float(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_double(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_long_double(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_cstr(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_vector(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
```



```
);

void fun_not_equal_deque(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_list(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_slist(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_queue(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_stack(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_string(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_pair(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_set(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_map(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
```

```

);

void fun_not_equal_multiset(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_multimap(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_hash_set(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_hash_map(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_hash_multiset(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_not_equal_hash_multimap(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

```

● Parameters

cpv_first: 第一个输入参数。
cpv_second: 第二个输入参数。
pv_output: 输出参数。

● Remarks

要求输入产生和输出参数不能为 NULL。pv_output 必须是 bool_t 类型。

● Requirements

头文件 <cstl/cfunctional.h>。

● Example

```

/*
 * fun_not_equal.c
 * compile with : -lcstl

```

```

*/

#include <stdio.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v1 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v2 = create_vector(int);
    vector_t* pvec_v3 = create_vector(int);
    iterator_t it_pos;
    int i = 0;

    if(pvec_v1 == NULL || pvec_v2 == NULL || pvec_v3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v1);
    vector_init(pvec_v2);
    vector_init_n(pvec_v3, 6);

    for(i = 0; i <= 5; i += 2)
    {
        vector_push_back(pvec_v1, i * 2);
        vector_push_back(pvec_v1, i * 2 + 1);
        vector_push_back(pvec_v2, i * -2);
        vector_push_back(pvec_v2, i * 2 + 1);
    }

    printf("The vector v1 = ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v1);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v1));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf("\n");
    printf("The vector v2 = ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v2);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v2));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf("\n");

    algo_transform_binary(vector_begin(pvec_v1), vector_end(pvec_v1),
        vector_begin(pvec_v2), vector_begin(pvec_v3), fun_not_equal_int);
}

```

```

    printf("The result of the element-wise not equal to comparison between v1 & v2
is: ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v3);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v3));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf("\n");

    vector_destroy(pvec_v1);
    vector_destroy(pvec_v2);
    vector_destroy(pvec_v3);

    return 0;
}

```

● Output

```

The vector v1 = 0 1 4 5 8 9
The vector v2 = 0 1 -4 5 -8 9
The result of the element-wise not equal to comparison between v1 & v2 is: 0 0 1 0 1
0

```

3. **fun_greater_char fun_greater_uchar fun_greater_short fun_greater_ushort
fun_greater_int fun_greater_uint fun_greater_long fun_greater_ulong
fun_greater_float fun_greater_double fun_greater_long_double
fun_greater_cstr fun_greater_vector fun_greater_deque fun_greater_list
fun_greater_slist fun_greater_queue fun_greater_stack fun_greater_string
fun_greater_pair fun_greater_set fun_greater_map fun_greater_multiset
fun_greater_multimap fun_greater_hash_set fun_greater_hash_map
fun_greater_hash_multiset fun_greater_hash_multimap**

测试第一个数据是否大于第二个数据。

```

void fun_greater_char(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_uchar(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_short(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

```

```
void fun_greater_ushort(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_greater_int(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_greater_uint(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_greater_long(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_greater_ulong(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_greater_float(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_greater_double(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_greater_long_double(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_greater_cstr(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);
```

```
void fun_greater_vector(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_greater_deque(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_greater_list(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_greater_slist(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_greater_queue(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_greater_stack(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_greater_string(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_greater_pair(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_greater_set(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);
```

```

void fun_greater_map(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_multiset(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_multimap(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_hash_set(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_hash_map(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_hash_multiset(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_hash_multimap(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

```

● Parameters

cpv_first: 第一个输入参数。
cpv_second: 第二个输入参数。
pv_output: 输出参数。

● Remarks

要求输入产生和输出参数不能为 NULL。pv_output 必须是 bool_t 类型。

● Requirements

头文件 <cstl/cfunctional.h>。

● Example

```
/*
 * fun_greater.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v = create_vector(int);
    iterator_t it_pos;
    int i = 0;

    if(pvec_v == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v);

    for(i = 0; i < 8; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v, rand() % 10000);
    }

    printf("The original vector v1 = ( ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf(")\n");

    algo_sort(vector_begin(pvec_v), vector_end(pvec_v));
    printf("The sorted vector v1 = ( ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf(")\n");

    algo_sort_if(vector_begin(pvec_v), vector_end(pvec_v), fun_greater_int);
    printf("The resorted vector v1 = ( ");
```



```

for(it_pos = vector_begin(pvec_v) ;
    !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v)) ;
    it_pos = iterator_next(it_pos))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v);

return 0;
}

```

● Output

```

The original vector v1 = ( 9383 886 2777 6915 7793 8335 5386 492 )
The sorted vector v1 = ( 492 886 2777 5386 6915 7793 8335 9383 )
The resorted vector v1 = ( 9383 8335 7793 6915 5386 2777 886 492 )

```

4. **fun_greater_equal_char fun_greater_equal_uchar fun_greater_equal_short
fun_greater_equal_ushort fun_greater_equal_int fun_greater_equal_uint
fun_greater_equal_long fun_greater_equal_ulong fun_greater_equal_float
fun_greater_equal_double fun_greater_equal_long_double
fun_greater_equal_cstr fun_greater_equal_vector fun_greater_equal_deque
fun_greater_equal_list fun_greater_equal_slist fun_greater_equal_queue
fun_greater_equal_stack fun_greater_equal_string fun_greater_equal_pair
fun_greater_equal_set fun_greater_equal_map fun_greater_equal_multiset
fun_greater_equal_multimap fun_greater_equal_hash_set
fun_greater_equal_hash_map fun_greater_equal_hash_multiset
fun_greater_equal_hash_multimap**

测试第一个数据是否大于等于第二个数据。

```

void fun_greater_equal_char(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_uchar(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_short(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_ushort(

```

```
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_int(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_uint(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_long(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_ulong(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_float(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_double(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_long_double(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_cstr(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_vector(
```

```
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_deque(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_list(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_slist(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_queue(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_stack(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_string(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_pair(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_set(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_map(
```

```

    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_multiset(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_multimap(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_hash_set(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_hash_map(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_hash_multiset(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_greater_equal_hash_multimap(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

```

- **Parameters**

cpv_first: 第一个输入参数。
cpv_second: 第二个输入参数。
pv_output: 输出参数。

- **Remarks**

要求输入产生和输出参数不能为 NULL。pv_output 必须是 bool_t 类型。

- **Requirements**

头文件 <ctl/cfunctional.h>。

- **Example**

```

/*
 * fun_greater_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v = create_vector(int);
    iterator_t it_pos;
    int i = 0;

    if(pvec_v == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v);

    vector_push_back(pvec_v, 6262);
    vector_push_back(pvec_v, 6262);
    for(i = 0; i < 5; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v, rand() % 10000);
    }

    printf("The original vector v1 = ( ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf(")\n");

    algo_sort(vector_begin(pvec_v), vector_end(pvec_v));
    printf("The sorted vector v1 = ( ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf(")\n");

    algo_sort_if(vector_begin(pvec_v), vector_end(pvec_v), fun_greater_equal_int);
    printf("The resorted vector v1 = ( ");

```

```

for(it_pos = vector_begin(pvec_v) ;
    !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v)) ;
    it_pos = iterator_next(it_pos))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
}
printf("\n");

vector_destroy(pvec_v);

return 0;
}

```

● Output

```

The original vector v1 = ( 6262 6262 9383 886 2777 6915 7793 )
The sorted vector v1 = ( 886 2777 6262 6262 6915 7793 9383 )
The resorted vector v1 = ( 9383 7793 6915 6262 6262 2777 886 )

```

5. **fun_less_char fun_less_uchar fun_less_short fun_less_ushort fun_less_int
fun_less_uint fun_less_long fun_less_ulong fun_less_float fun_less_double
fun_less_long_double fun_less_cstr fun_less_vector fun_less_deque
fun_less_list fun_less_slist fun_less_queue fun_less_stack fun_less_string
fun_less_pair fun_less_set fun_less_map fun_less_multiset
fun_less_multimap fun_less_hash_set fun_less_hash_map
fun_less_hash_multiset fun_less_hash_multimap**

测试第一个数据是否小于第二个数据。

```

void fun_less_char(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_uchar(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_short(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_ushort(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

```

```
void fun_less_int(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_less_uint(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_less_long(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_less_ulong(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_less_float(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_less_double(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_less_long_double(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_less_cstr(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_less_vector(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);
```

```
void fun_less_deque(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_less_list(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_less_slist(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_less_queue(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_less_stack(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_less_string(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_less_pair(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_less_set(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);  
  
void fun_less_map(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);
```



```

void fun_less_multiset(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_multimap(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_hash_set(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_hash_map(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_hash_multiset(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_hash_multimap(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

```

● Parameters

cpv_first: 第一个输入参数。
cpv_second: 第二个输入参数。
pv_output: 输出参数。

● Remarks

要求输入产生和输出参数不能为 NULL。pv_output 必须是 bool_t 类型。

● Requirements

头文件 <cstdlib/cfunctional.h>。

● Example

```

/*
 * fun_less.c
 * compile with : -lcstl
 */

```

```

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v = create_vector(int);
    iterator_t it_pos;
    int i = 0;

    if(pvec_v == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init(pvec_v);

    for(i = 0; i < 8; ++i)
    {
        vector_push_back(pvec_v, rand() % 10000);
    }

    printf("The original vector v1 = ( ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf(")\n");

    algo_sort_if(vector_begin(pvec_v), vector_end(pvec_v), fun_less_int);
    printf("The sorted vector v1 = ( ");
    for(it_pos = vector_begin(pvec_v);
        !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v));
        it_pos = iterator_next(it_pos))
    {
        printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
    }
    printf(")\n");

    vector_destroy(pvec_v);

    return 0;
}

```

● Output

```

The original vector v1 = ( 9383 886 2777 6915 7793 8335 5386 492 )
The sorted vector v1 = ( 492 886 2777 5386 6915 7793 8335 9383 )

```

6. `fun_less_equal_char` `fun_less_equal_uchar` `fun_less_equal_short`
`fun_less_equal_ushort` `fun_less_equal_int` `fun_less_equal_uint`
`fun_less_equal_long` `fun_less_equal_ulong` `fun_less_equal_float`
`fun_less_equal_double` `fun_less_equal_long_double` `fun_less_equal_cstr`
`fun_less_equal_vector` `fun_less_equal_deque` `fun_less_equal_list`
`fun_less_equal_slist` `fun_less_equal_queue` `fun_less_equal_stack`
`fun_less_equal_string` `fun_less_equal_pair` `fun_less_equal_set`
`fun_less_equal_map` `fun_less_equal_multiset` `fun_less_equal_multimap`
`fun_less_equal_hash_set` `fun_less_equal_hash_map`
`fun_less_equal_hash_multiset` `fun_less_equal_hash_multimap`

测试第一个数据是否小于等于第二个数据。

```
void fun_less_equal_char(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);
```

```
void fun_less_equal_uchar(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);
```

```
void fun_less_equal_short(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);
```

```
void fun_less_equal_ushort(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);
```

```
void fun_less_equal_int(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);
```

```
void fun_less_equal_uint(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);
```

```
void fun_less_equal_long(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);
```

```
);

void fun_less_equal_ulong(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_equal_float(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_equal_double(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_equal_long_double(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_equal_cstr(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_equal_vector(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_equal_deque(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_equal_list(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_equal_slist(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
```

```
);

void fun_less_equal_queue(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_equal_stack(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_equal_string(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_v_equal_pair(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_equal_set(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_equal_map(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_equal_multiset(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_equal_multimap(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_equal_hash_set(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);
```

```
);

void fun_less_equal_hash_map(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_equal_hash_multiset(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

void fun_less_equal_hash_multimap(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);
```

● Parameters

cpv_first: 第一个输入参数。
cpv_second: 第二个输入参数。
pv_output: 输出参数。

● Remarks

要求输入产生和输出参数不能为 NULL。pv_output 必须是 bool_t 类型。

● Requirements

头文件 <cstl/cfunctional.h>。

● Example

```
/*
 * fun_less_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <cstl/cvector.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v = create_vector(int);
    iterator_t it_pos;
    int i = 0;

    if(pvec_v == NULL)
    {
        return -1;
    }
}
```

```

vector_init(pvec_v);

for(i = 0; i < 5; ++i)
{
    vector_push_back(pvec_v, rand() % 10000);
}
vector_push_back(pvec_v, 2836);
vector_push_back(pvec_v, 2836);
vector_push_back(pvec_v, 2836);

printf("The original vector v1 = ( ");
for(it_pos = vector_begin(pvec_v);
    !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v));
    it_pos = iterator_next(it_pos))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
}
printf(")\n");

algo_sort_if(vector_begin(pvec_v), vector_end(pvec_v), fun_less_equal_int);
printf("The sorted vector v1 = ( ");
for(it_pos = vector_begin(pvec_v);
    !iterator_equal(it_pos, vector_end(pvec_v));
    it_pos = iterator_next(it_pos))
{
    printf("%d ", *(int*)iterator_get_pointer(it_pos));
}
printf(")\n");

vector_destroy(pvec_v);

return 0;
}

```

● Output

```

The original vector v1 = ( 9383 886 2777 6915 7793 2836 2836 2836 )
The sorted vector v1 = ( 886 2777 2836 2836 2836 6915 7793 9383 )

```

第四节 逻辑函数

逻辑函数是对数据进行逻辑运算，逻辑函数只适用于 bool_t 类型的数据。

● Functions

fun_logical_and_bool	对两个 bool_t 类型的数据进行逻辑与运算。
fun_logical_or_bool	对两个 bool_t 类型的数据进行逻辑或运算。
fun_logical_not_bool	对 bool_t 类型的数据进行逻辑非运算。

1. fun_logical_and_bool

对两个 bool_t 类型的数据进行逻辑与运算。

```
void fun_logical_and_bool(  
    const void* cpv_first,  
    const void* cpv_second,  
    void* pv_output  
);
```

● Parameters

cpv_first: 第一个输入参数。
cpv_second: 第二个输入参数。
pv_output: 输出参数。

● Remarks

要求输入产生和输出参数不能为 NULL。

● Requirements

头文件 <cstl/cfunctional.h>。

● Example

```
/*  
 * fun_logical_and.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <stdlib.h>  
#include <cstl/cdeque.h>  
#include <cstl/calgorithm.h>  
#include <cstl/cfunctional.h>  
  
static void _print_bool(const void* cpv_input, void* pv_output)  
{  
    if(*(bool_t*)cpv_input)  
    {  
        printf("true ");  
    }  
    else  
    {  
        printf("false ");  
    }  
}  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    deque_t* pdeq_d1 = create_deque(bool_t);  
    deque_t* pdeq_d2 = create_deque(bool_t);  
    deque_t* pdeq_d3 = create_deque(bool_t);  
    int i = 0;  
  
    if(pdeq_d1 == NULL || pdeq_d2 == NULL || pdeq_d3 == NULL)  
    {
```



```

        return -1;
    }

    deque_init(pdeq_d1);
    deque_init(pdeq_d2);
    deque_init_n(pdeq_d3, 7);

    for(i = 0; i < 7; ++i)
    {
        deque_push_back(pdeq_d1, (bool_t)(rand() % 2));
        deque_push_back(pdeq_d2, (bool_t)(rand() % 2));
    }

    printf("The original deque d1 = ( ");
    algo_for_each(deque_begin(pdeq_d1), deque_end(pdeq_d1), _print_bool);
    printf("\n");
    printf("The original deque d2 = ( ");
    algo_for_each(deque_begin(pdeq_d2), deque_end(pdeq_d2), _print_bool);
    printf("\n");

    algo_transform_binary(deque_begin(pdeq_d1), deque_end(pdeq_d1),
        deque_begin(pdeq_d2), deque_end(pdeq_d3), fun_logical_and_bool);

    printf("The deque which is the conjunction of d1 & d2 is d3 = ( ");
    algo_for_each(deque_begin(pdeq_d3), deque_end(pdeq_d3), _print_bool);
    printf("\n");

    deque_destroy(pdeq_d1);
    deque_destroy(pdeq_d2);
    deque_destroy(pdeq_d3);

    return 0;
}

```

● Output

```

The original deque d1 = ( true true true false true false false )
The original deque d2 = ( false true true false true true true )
The deque which is the conjunction of d1 & d2 is d3 = ( false true true false true
false false )

```

2. fun_logical_or_bool

对两个 `bool_t` 类型的数据进行逻辑或运算。

```

void fun_logical_or_bool(
    const void* cpv_first,
    const void* cpv_second,
    void* pv_output
);

```

● Parameters

`cpv_first`: 第一个输入参数。

cpv_second: 第二个输入参数。
pv_output: 输出参数。

- **Remarks**

要求输入产生和输出参数不能为 NULL。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cfunctional.h>。

- **Example**

```
/*
 * fun_logical_or.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <cstl/cdeque.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

static void _print_bool(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    if(*(bool_t*)cpv_input)
    {
        printf("true ");
    }
    else
    {
        printf("false ");
    }
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    deque_t* pdeq_d1 = create_deque(bool_t);
    deque_t* pdeq_d2 = create_deque(bool_t);
    deque_t* pdeq_d3 = create_deque(bool_t);
    int i = 0;

    if(pdeq_d1 == NULL || pdeq_d2 == NULL || pdeq_d3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    deque_init(pdeq_d1);
    deque_init(pdeq_d2);
    deque_init_n(pdeq_d3, 7);

    for(i = 0; i < 7; ++i)
    {
        deque_push_back(pdeq_d1, (bool_t)(rand() % 2));
        deque_push_back(pdeq_d2, (bool_t)(rand() % 2));
    }
}
```

```

}

printf("The original deque d1 = ( ");
algo_for_each(deque_begin(pdeq_d1), deque_end(pdeq_d1), _print_bool);
printf("\n");
printf("The original deque d2 = ( ");
algo_for_each(deque_begin(pdeq_d2), deque_end(pdeq_d2), _print_bool);
printf("\n");

algo_transform_binary(deque_begin(pdeq_d1), deque_end(pdeq_d1),
    deque_begin(pdeq_d2), deque_end(pdeq_d3), fun_logical_or_bool);

printf("The deque which is the disjunction of d1 & d2 is d3 = ( ");
algo_for_each(deque_begin(pdeq_d3), deque_end(pdeq_d3), _print_bool);
printf("\n");

deque_destroy(pdeq_d1);
deque_destroy(pdeq_d2);
deque_destroy(pdeq_d3);

return 0;
}

```

● Output

```

The original deque d1 = ( true true true false true false false )
The original deque d2 = ( false true true false true true true )
The deque which is the disjunction of d1 & d2 is d3 = ( true true true false true
true true )

```

3. fun_logical_not_bool

对 `bool_t` 类型的数据进行逻辑非运算。

```

void fun_logical_not_bool(
    const void* cpv_input,
    void* pv_output
);

```

● Parameters

cpv_input: 输入参数。
pv_output: 输出参数。

● Remarks

要求输入产生和输出参数不能为 NULL。

● Requirements

头文件 `<ctl/cfunctional.h>`。

● Example

```

/*
 * fun_logical_not.c

```

```

* compile with : -lcstl
*/

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <cstl/cdeque.h>
#include <cstl/calgorithm.h>
#include <cstl/cfunctional.h>

static void _print_bool(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    if(*(bool_t*)cpv_input)
    {
        printf("true ");
    }
    else
    {
        printf("false ");
    }
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    deque_t* pdeq_d1 = create_deque(bool_t);
    deque_t* pdeq_d2 = create_deque(bool_t);
    int i = 0;

    if(pdeq_d1 == NULL || pdeq_d2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    deque_init(pdeq_d1);
    deque_init_n(pdeq_d2, 7);

    for(i = 0; i < 7; ++i)
    {
        deque_push_back(pdeq_d1, (bool_t)(rand() % 2));
    }

    printf("The original deque d1 = ( ");
    algo_for_each(deque_begin(pdeq_d1), deque_end(pdeq_d1), _print_bool);
    printf(")\n");

    algo_transform(deque_begin(pdeq_d1), deque_end(pdeq_d1),
        deque_begin(pdeq_d2), fun_logical_not_bool);

    printf("The deque with its values negated is d2 = ( ");
    algo_for_each(deque_begin(pdeq_d2), deque_end(pdeq_d2), _print_bool);
    printf(")\n");

    deque_destroy(pdeq_d1);
    deque_destroy(pdeq_d2);
}

```

```
    return 0;
}
```

● Output

```
The original deque d1 = ( true false true true true true false )
The deque with its values negated is d2 = ( false true false false false false
true )
```

第五节 其他函数

包括一个随机数生成函数，和两个默认函数。其中默认函数不指定任何动作。

● Functions

fun_random_number	产生以输入数据为上限的随机数。
fun_default_unary	默认的一元函数。
fun_default_binary	默认的二元函数。

1. fun_random_number

产生以输入数据为上限的数据数。

```
void fun_random_number(
    const void* cpv_input,
    void* pv_output
);
```

● Parameters

cpv_input: 输入参数。

pv_output: 输出参数。

● Remarks

要求输入产生和输出参数不能为 NULL。生成的随机数是正整数，如果输入数据是 0，那么生成的随机数也是 0。

● Requirements

头文件 <cstdlib/cfunctional.h>。

● Example

```
/*
 * fun_random_number.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cvector.h>
#include <cstdlib/calgorithm.h>
#include <cstdlib/cfunctional.h>

static void _print_int(const void* cpv_input, void* pv_output)
```

```

{
    printf("%d ", *(int*)cpv_input);
}

static void _fill_random(const void* cpv_input, void* pv_output)
{
    int n_upuer_bound = 10000;
    fun_random_number(&n_upuer_bound, (int*)cpv_input);
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    vector_t* pvec_v = create_vector(int);

    if(pvec_v == NULL)
    {
        return -1;
    }

    vector_init_n(pvec_v, 10);

    printf("The original vector v = ( ");
    algo_for_each(vector_begin(pvec_v), vector_end(pvec_v), _print_int);
    printf(")\n");

    algo_for_each(vector_begin(pvec_v), vector_end(pvec_v), _fill_random);

    printf("The filled vector v = ( ");
    algo_for_each(vector_begin(pvec_v), vector_end(pvec_v), _print_int);
    printf(")\n");

    vector_destroy(pvec_v);

    return 0;
}

```

● Output

The original vector v = (0 0 0 0 0 0 0 0 0 0)

The filled vector v = (4441 8735 3052 3969 3749 8885 7977 3171 5155 3622)

第六章 字符串

字符串是一种特殊的容器，它保存 `char` 类型的数据，提供许多字符串常用的操作，但是不会像使用 C 字符串那样有长度的限制和权衡内存的烦恼。

第一节 类型定义

- **Typedefs**

<code>string_t</code>	libcstl 字符串类型。
<code>string_iterator_t</code>	libcstl 字符串的迭代器类型。
<code>NPOS</code>	表示无效位置或者是剩余最大长度的常量。

1. `string_t`

`string_t` 是 libcstl 字符串类型。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/cstring.h>`

- **Example**

请参考 `string_t` 类型的其他操作函数。

2. `string_iterator_t`

`string_iterator_t` 是 libcstl 字符串的迭代器类型。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/cstring.h>`

- **Example**

请参考 `string_t` 类型的其他操作函数。

3. `NPOS`

表示无效位置或者是剩余最大长度的常量。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/cstring.h>`

- **Example**

请参考 `string_t` 类型的其他操作函数。

第二节 操作函数

● Operation Functions

create_string	创建 libcurl 字符串类型。
string_append	向 libcurl 字符串的末尾添加 libcurl 字符串。
string_append_char	向 libcurl 字符串的末尾添加字符。
string_append_cstr	向 libcurl 字符串的末尾添加 C 字符串。
string_append_range	向 libcurl 字符串的末尾添加指定的数据区间中的字符。
string_append_substr	向 libcurl 字符串的末尾添加 C 子字符串。
string_append_substring	向 libcurl 字符串的末尾添加 libcurl 子字符串。
string_assign	使用 libcurl 字符串给 libcurl 字符串赋值。
string_assign_char	使用字符给 libcurl 字符串赋值。
string_assign_cstr	使用 C 字符串给 libcurl 字符串赋值。
string_assign_range	使用指定数据区间中的字符给 libcurl 字符串赋值。
string_assign_substr	使用 C 子字符串给 libcurl 字符串赋值。
string_assign_substring	使用 libcurl 子字符串给 libcurl 字符串赋值。
string_at	使用下标对 libcurl 字符串中的字符进行随机访问。
string_begin	返回指向 libcurl 字符串开头的迭代器。
string_c_str	将 libcurl 字符串转换成 C 字符串。
string_capacity	返回未重新分配内存前 libcurl 字符串的容量。
string_clear	清空 libcurl 字符串。
string_compare	对两个 libcurl 字符串进行比较。
string_compare_cstr	将 libcurl 字符串与 C 字符串比较。
string_compare_substr_cstr	将 libcurl 子字符串与 C 字符串比较。
string_compare_substr_string	将 libcurl 子字符串和 libcurl 字符串比较。
string_compare_substr_substr	将 libcurl 子字符串和 C 子字符串比较。
string_compare_substr_substring	将 libcurl 子字符串和 libcurl 子字符串比较。
string_connect	将两个 libcurl 字符串链接。
string_connect_char	将 libcurl 字符串与字符链接。
string_connect_cstr	将 libcurl 字符串与 C 字符串链接。
string_copy	将 libcurl 子字符串拷贝到缓冲区中。
string_data	将 libcurl 字符串转换成字符数组。
string_destroy	销毁 libcurl 字符串。
string_empty	测试 libcurl 字符串是否为空。
string_end	返回 libcurl 字符串末尾位置的迭代器。
string_equal	测试两个 libcurl 字符串是否相等。
string_equal_cstr	测试 libcurl 字符串和 C 字符串是否相等。
string_erase	删除指定位置的字符。

string_erase_range	删除指定数据区间的字符。
string_erase_substring	删除指定 libcstl 子字符串。
string_find	从指定的位置查找 libcstl 字符串第一次出现的位置。
string_find_char	从指定的位置查找指定字符第一次出现的位置。
string_find_cstr	从指定的位置查找 C 字符串第一次出现的位置。
string_find_first_not_of	从指定的位置查找 libcstl 字符串以外的字符第一次出现的位置。
string_find_first_not_of_char	从指定的位置查找指定的字符以外的字符第一次出现的位置。
string_find_first_not_of_cstr	从指定的位置查找 C 字符串以外的字符第一次出现的位置。
string_find_first_not_of_subcstr	从指定的位置查找 C 子字符串以外的字符第一次出现的位置。
string_find_first_of	从指定的位置查找 libcstl 字符串中任意字符第一次出现的位置。
string_find_first_of_char	从指定的位置查找指定字符第一次出现的位置。
string_find_first_of_cstr	从指定的位置查找 C 字符串中任意字符第一次出现的位置。
string_find_first_of_subcstr	从指定的位置查找 C 子字符串中任意字符第一次出现的位置。
string_find_last_not_of	从指定的位置向前查找 libcstl 字符串以外的字符最后一次出现的位置。
string_find_last_not_of_char	从指定的位置向前查找指定字符以外的字符最后一次出现的位置。
string_find_last_not_of_cstr	从指定的位置向前查找 C 字符串以外的字符最后一次出现的位置。
string_find_last_not_of_subcstr	从指定的位置向前查找 C 子字符串以外的字符最后一次出现的位置。
string_find_last_of	从指定的位置向前查找 libcstl 字符串中任意字符最后一次出现的位置。
string_find_last_of_char	从指定的位置向前查找指定字符最后一次出现的位置。
string_find_last_of_cstr	从指定的位置向前查找 C 字符串中任意字符最后一次出现的位置。
string_find_last_of_subcstr	从指定的位置向前查找 C 子字符串中任意字符最后一次出现的位置。
string_find_subcstr	从指定的位置查找 C 子字符串第一次出现的位置。
string_getline	从流中获得一行。
string_getline_delimiter	从流中获得一行，换行符有用户指定。
string_greater	测试第一个 libcstl 字符串是否大于第二个 libcstl 字符串。
string_greater_cstr	测试第一个 libcstl 字符串是否大于第二个 C 字符串。
string_greater_equal	测试第一个 libcstl 字符串是否大于等于第二个 libcstl 字符串。
string_greater_equal_cstr	测试第一个 libcstl 字符串是否大于等于第二个 C 字符串。
string_init	初始化一个空 libcstl 字符串。
string_init_char	使用多个字符初始化 libcstl 字符串。
string_init_copy	使用 libcstl 字符串初始化 libcstl 字符串。
string_init_copy_range	使用指定数据区间内的字符初始化 libcstl 字符串。
string_init_copy_substring	使用 libcstl 子字符串初始化 libcstl 字符串。
string_init_cstr	使用 C 字符串初始化 libcstl 字符串。
string_init_subcstr	使用 C 子字符串初始化 libcstl 字符串。
string_input	从流中获得输入，保存在 libcstl 字符串中。
string_insert	向指定位置插入字符。

string_insert_char	向指定位置插入多个字符。
string_insert_cstr	向指定位置插入 C 字符串。
string_insert_n	向指定位置插入多个字符。
string_insert_range	向指定位置插入数据区间中的字符。
string_insert_string	向指定位置插入 libcstl 字符串。
string_insert_subcstr	向指定位置插入 C 子字符串。
string_insert_substring	向指定位置插入 libcstl 子字符串。
string_length	返回 libcstl 字符串的长度。
string_less	测试第一个 libcstl 字符串是否小于第二个 libcstl 字符串。
string_less_cstr	测试第一个 libcstl 字符串是否小于第二个 C 字符串。
string_less_equal	测试第一个 libcstl 字符串是否小于等于第二个 libcstl 字符串。
string_less_equal_cstr	测试第一个 libcstl 字符串是否小于等于第二个 C 字符串。
string_max_size	返回 libcstl 字符串能够保存字符数量的最大值。
string_not_equal	测试两个 libcstl 字符串是否不等。
string_not_equal_cstr	测试 libcstl 字符串和 C 字符串是否不等。
string_output	将 libcstl 字符串输出到流中。
string_push_back	向 libcstl 字符串末尾添加一个字符。
string_range_replace	将指定的数据区间替换成 libcstl 字符串。
string_range_replace_char	将指定的数据区间替换成多个字符。
string_range_replace_cstr	将指定的数据区间替换成 C 字符串。
string_range_replace_subcstr	将指定的数据区间替换成 C 子字符串。
string_range_replace_substring	将指定的数据区间替换成 libcstl 子字符串。
string_replace	将指定的 libcstl 子字符串替换成 libcstl 字符串。
string_replace_char	将指定的 libcstl 子字符串替换成多个字符。
string_replace_cstr	将指定的 libcstl 子字符串替换成 C 字符串。
string_replace_range	将指定的数据区间替换成数据区间中的字符。
string_replace_subcstr	将指定的 libcstl 子字符串替换成 C 子字符串。
string_replace_substring	将指定的 libcstl 子字符串替换成 libcstl 子字符串。
string_reserve	重新设置 libcstl 字符串的容量。
string_resize	重新设置 libcstl 字符串中字符的个数。
string_rfind	从指定的位置向前查找 libcstl 字符串最后一次出现的位置。
string_rfind_char	从指定的位置向前查找指定字符最后一次出现的位置。
string_rfind_cstr	从指定的位置向前查找 C 字符串最后一次出现的位置。
string_rfind_subcstr	从指定的位置向前查找 C 子字符串最后一次出现的位置。
string_size	返回 libcstl 字符串中字符的个数。
string_substr	返回 libcstl 子字符串。
string_swap	交换两个 libcstl 字符串的内容。

1. create_string

创建 string_t 类型。

```
string_t* create_string(void);
```

- **Requirements**

头文件 <cstl/cstring.h>。

- **Example**

请参考 string_t 类型的其他操作函数。

2. string_append string_append_char string_append_cstr string_append_range string_append_subcstr string_append_substring

向 string_t 类型后面添加字符串。

```
void string_append(  
    string_t* pstr_string,  
    const string_t* cpstr_append  
);  
  
void string_append_char(  
    string_t* pstr_string,  
    size_t t_count,  
    char c_char  
);  
  
void string_append_cstr(  
    string_t* pstr_string,  
    const char* s_cstr  
);  
  
void string_append_range(  
    string_t* pstr_string,  
    string_iterator_t it_begin,  
    string_iterator_t it_end  
);  
  
void string_append_subcstr(  
    string_t* pstr_string,  
    const char* s_cstr,  
    size_t t_len  
);  
  
void string_append_substring(  
    string_t* pstr_string,  
    const string_t* cpstr_append,  
    size_t t_pos,  
    size_t t_len  
);
```

- **Parameters**

pstr_string: 指向 string_t 类型的指针。

cpstr_append: 指向被添加的 `string_t` 类型的指针。
t_count: 被添加的字符的个数。
c_char: 被添加的字符。
s_cstr: 被添加的 C 字符串。
it_begin: 被添加的数据区间的开始。
it_end: 被添加的数据区间的末尾。
t_len: 被添加的子串的长度。
t_pos: 被添加的子串的开始位置。

● Requirements

头文件 `<cstl/cstring.h>`。

● Example

```
/*
 * string_append.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1a = create_string();
    string_t* pstr_str1b = create_string();
    string_t* pstr_str2a = create_string();
    string_t* pstr_str2b = create_string();
    string_t* pstr_str3a = create_string();
    string_t* pstr_str4a = create_string();
    string_t* pstr_str5a = create_string();
    string_t* pstr_str6a = create_string();
    string_t* pstr_str6b = create_string();

    if(pstr_str1a == NULL || pstr_str1b == NULL ||
        pstr_str2a == NULL || pstr_str2b == NULL ||
        pstr_str3a == NULL || pstr_str4a == NULL ||
        pstr_str5a == NULL || pstr_str6a == NULL ||
        pstr_str6b == NULL)
    {
        return -1;
    }

    /* Appending one string to another */
    string_init_cstr(pstr_str1a, "Hello ");
    string_init_cstr(pstr_str1b, "World.");

    string_append(pstr_str1a, pstr_str1b);
    printf("The appended string str1a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1a));

    string_destroy(pstr_str1a);
    string_destroy(pstr_str1b);
}
```

```

/* Appending part of one string to another */
string_init_cstr(pstr_str2a, "Hello ");
string_init_cstr(pstr_str2b, "Wide World.");

string_append_substring(pstr_str2a, pstr_str2b, 5, 5);
printf("The appended string str2a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2a));

string_destroy(pstr_str2a);
string_destroy(pstr_str2b);

/* Appending a c-string to a string */
string_init_cstr(pstr_str3a, "Hello ");

string_append_cstr(pstr_str3a, "World.");
printf("The appended string str3a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str3a));

string_destroy(pstr_str3a);

/* Appending part of a c-string to a string */
string_init_cstr(pstr_str4a, "Hello ");

string_append_subcstr(pstr_str4a, "Out There", 3);
printf("The appended string str4a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str4a));

string_destroy(pstr_str4a);

/* Appending characters to a string */
string_init_cstr(pstr_str5a, "Hello ");

string_append_char(pstr_str5a, 4, '!');
printf("The appended string str5a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str5a));

string_destroy(pstr_str5a);

/* Appending a range of one string to another */
string_init_cstr(pstr_str6a, "Hello ");
string_init_cstr(pstr_str6b, "Wide World ");

string_append_range(pstr_str6a, iterator_next_n(string_begin(pstr_str6b), 5),
    iterator_prev(string_end(pstr_str6b)));
printf("The appended string str6a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str6a));

string_destroy(pstr_str6a);
string_destroy(pstr_str6b);

return 0;
}

```

● Output

```

The appended string str1a is "Hello World.".
The appended string str2a is "Hello World".
The appended string str3a is "Hello World.".

```

The appended string str4a is "Hello Out".
The appended string str5a is "Hello !!!!".
The appended string str6a is "Hello World".

3. string_assign string_assign_char string_append_cstr string_append_range string_append_substr string_assign_substring

为 string_t 类型赋值。

```
void string_assign(  
    string_t* pstr_string,  
    const string_t* cpstr_assign  
);  
  
void string_assign_char(  
    string_t* pstr_string,  
    size_t t_count,  
    char c_char  
);  
  
void string_assign_cstr(  
    string_t* pstr_string,  
    const char* s_cstr  
);  
  
void string_assign_range(  
    string_t* pstr_string,  
    string_iterator_t it_begin,  
    string_iterator_t t_end  
);  
  
void string_assign_substr(  
    string_t* pstr_string,  
    const char* s_cstr,  
    size_t t_len  
);  
  
void string_assign_substring(  
    string_t* pstr_string,  
    const string_t* cpstr_assign,  
    size_t t_pos,  
    size_t t_len  
);
```

● Parameters

- pstr_string:** 指向 string_t 类型的指针。
- cpstr_assign:** 指向被赋值的 string_t 类型的指针。
- t_count:** 被赋值的字符的个数。
- c_char:** 被赋值的字符。
- s_cstr:** 被赋值的 C 字符串。
- it_begin:** 被赋值的数据区间的开始。
- it_end:** 被赋值的数据区间的末尾。
- t_len:** 被赋值的子串的长度。
- t_pos:** 被赋值的子串的开始位置。

● Requirements

头文件 <cstring.h>。

● Example

```
/*
 * string_assign.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1a = create_string();
    string_t* pstr_str1b = create_string();
    string_t* pstr_str2a = create_string();
    string_t* pstr_str2b = create_string();
    string_t* pstr_str3a = create_string();
    string_t* pstr_str4a = create_string();
    string_t* pstr_str5a = create_string();
    string_t* pstr_str6a = create_string();
    string_t* pstr_str6b = create_string();

    if(pstr_str1a == NULL || pstr_str1b == NULL ||
        pstr_str2a == NULL || pstr_str2b == NULL ||
        pstr_str3a == NULL || pstr_str4a == NULL ||
        pstr_str5a == NULL || pstr_str6a == NULL ||
        pstr_str6b == NULL)
    {
        return -1;
    }

    /* Assigning one string to another */
    string_init_cstr(pstr_str1a, "Hello ");
    string_init_cstr(pstr_str1b, "World.");

    string_assign(pstr_str1a, pstr_str1b);
    printf("The assigned string str1a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1a));

    string_destroy(pstr_str1a);
    string_destroy(pstr_str1b);

    /* Assigning part of one string to another */
    string_init_cstr(pstr_str2a, "Hello ");
    string_init_cstr(pstr_str2b, "Wide World.");

    string_assign_substring(pstr_str2a, pstr_str2b, 5, 5);
    printf("The assigned string str2a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2a));

    string_destroy(pstr_str2a);
```

```

string_destroy(pstr_str2b);

/* Assigning a c-string to a string */
string_init_cstr(pstr_str3a, "Hello ");

string_assign_cstr(pstr_str3a, "World.");
printf("The assigned string str3a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str3a));

string_destroy(pstr_str3a);

/* Assigning part of a c-string to a string */
string_init_cstr(pstr_str4a, "Hello ");

string_assign_subcstr(pstr_str4a, "Out There", 3);
printf("The assigned string str4a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str4a));

string_destroy(pstr_str4a);

/* Assigning characters to a string */
string_init_cstr(pstr_str5a, "Hello ");

string_assign_char(pstr_str5a, 4, '!');
printf("The assigned string str5a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str5a));

string_destroy(pstr_str5a);

/* Assigning a range of one string to another */
string_init_cstr(pstr_str6a, "Hello ");
string_init_cstr(pstr_str6b, "Wide World ");

string_assign_range(pstr_str6a, iterator_next_n(string_begin(pstr_str6b), 5),
    iterator_prev(string_end(pstr_str6b)));
printf("The assigned string str6a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str6a));

string_destroy(pstr_str6a);
string_destroy(pstr_str6b);

return 0;
}

```

● Output

```

The assigned string str1a is "World.".
The assigned string str2a is "World".
The assigned string str3a is "World.".
The assigned string str4a is "Out".
The assigned string str5a is "!!!!".
The assigned string str6a is "World".

```

4. string_at

使用下标对 string_t 中的字符随机访问。

```
char* string_at(
```



```
const string_t* cpstr_string,  
size_t t_pos  
);
```

- **Parameters**

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。
t_pos: 被访问的字符在 string_t 中的下标。

- **Remarks**

返回被访问的字符的指针，使用非法下标导致操作函数的行为是未定义的。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cstring.h>。

- **Example**

```
/*  
 * string_at.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cstring.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    string_t* pstr_str1 = create_string();  
  
    if(pstr_str1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    string_init_cstr(pstr_str1, "Hello world");  
  
    printf("The original string str1 is : \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));  
  
    printf("The character with an index of 6 in string str1 is %c.\n",  
        *(char*)string_at(pstr_str1, 6));  
  
    *(char*)string_at(pstr_str1, 6) = 'W';  
  
    printf("After modifying, the string str1 is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));  
  
    string_destroy(pstr_str1);  
  
    return 0;  
}
```

- **Output**

The original string str1 is : "Hello world".
The character with an index of 6 in string str1 is w.
After modifying, the string str1 is "Hello World".

5. string_begin

返回 `string_t` 类型中开始位置的迭代器。

```
string_iterator_t string_begin(  
    const string_t* cpstr_string  
);
```

- **Parameters**

`cpstr_string`: 指向 `string_t` 类型的指针。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/cstring.h>`。

- **Example**

```
/*  
 * string_begin.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cstring.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    string_t* pstr_str1 = create_string();  
    string_t* pstr_str2 = create_string();  
    string_iterator_t it_str;  
    char c_first;  
  
    if(pstr_str1 == NULL || pstr_str2 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    string_init_cstr(pstr_str1, "No way out.");  
    string_init(pstr_str2);  
  
    it_str = string_begin(pstr_str1);  
    printf("The first character of the string str1 is: '%c'.\n",  
        *(char*)iterator_get_pointer(it_str));  
    printf("The full original string str1 is: \"%s\".\n",  
        string_c_str(pstr_str1));  
  
    c_first = 'G';  
    iterator_set_value(it_str, &c_first);  
    printf("The first character of the modified string str1 is: '%c'.\n",  
        *(char*)iterator_get_pointer(it_str));  
    printf("The full modified string str1 is: \"%s\".\n",  
        string_c_str(pstr_str1));  
  
    if(iterator_equal(string_begin(pstr_str2), string_end(pstr_str2)))  
    {
```

```

        printf("The string str2 is empty.\n");
    }
    else
    {
        printf("The string str2 is not empty.\n");
    }

    string_destroy(pstr_str1);
    string_destroy(pstr_str2);

    return 0;
}

```

● Output

```

The first character of the string str1 is: 'N'.
The full original string str1 is: "No way out.".
The first character of the modified string str1 is: 'G'.
The full modified string str1 is: "Go way out.".
The string str2 is empty.

```

6. string_c_str

将 string_t 类型转换成 C 字符串类型。

```

const char* string_c_str(
    const string_t* cpstr_string
);

```

● Parameters

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。

● Remarks

返回以 '\0' 结尾的 C 字符串指针，不能通过这个指针来修改 string_t 中的数据。

● Requirements

头文件 <cstl/cstring.h>。

● Example

```

/*
 * string_c_str.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1 = create_string();
    const char* s_str = NULL;

    if(pstr_str1 == NULL)

```

```

{
    return -1;
}

string_init_cstr(pstr_str1, "Hello world");

printf("The original string str1 is \"%s\".\n",
        string_c_str(pstr_str1));
printf("The length of the string str1 is %d.\n",
        string_length(pstr_str1));

s_str = string_c_str(pstr_str1);
printf("The c-style string s_str is \"%s\".\n", s_str);
printf("The length of c-style string s_str is %d.\n", strlen(s_str));

string_destroy(pstr_str1);

return 0;
}

```

● Output

```

The original string str1 is "Hello world".
The length of the string str1 is 11.
The c-style string s_str is "Hello world".
The length of c-style string s_str is 11.

```

7. string_capacity

返回未重新分配内存前 string_t 的容量。

```

size_t string_capacity(
    const string_t* cpstr_string
);

```

● Parameters

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/cstring.h>。

● Example

```

/*
 * string_capacity.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1 = create_string();

```

```

if(pstr_str1 == NULL)
{
    return -1;
}

string_init_cstr(pstr_str1, "Hello world");

printf("The original string str1 is \"%s\".\n",
       string_c_str(pstr_str1));
printf("The current size of original string str1 is %d.\n",
       string_size(pstr_str1));
printf("The current length of original string str1 is %d.\n",
       string_length(pstr_str1));
printf("The capacity of original string str1 is %d.\n",
       string_capacity(pstr_str1));
printf("The max_size of original string str1 is %u.\n",
       string_max_size(pstr_str1));

string_erase_substring(pstr_str1, 6, 5);
printf("The modified string str1 is \"%s\".\n",
       string_c_str(pstr_str1));
printf("The current size of modified string str1 is %d.\n",
       string_size(pstr_str1));
printf("The current length of modified string str1 is %d.\n",
       string_length(pstr_str1));
printf("The capacity of modified string str1 is %d.\n",
       string_capacity(pstr_str1));
printf("The max_size of modified string str1 is %u.\n",
       string_max_size(pstr_str1));

string_destroy(pstr_str1);

return 0;
}

```

● Output

```

The original string str1 is "Hello world".
The current size of original string str1 is 11.
The current length of original string str1 is 11.
The capacity of original string str1 is 21.
The max_size of original string str1 is 4294967294.
The modified string str1 is "Hello ".
The current size of modified string str1 is 6.
The current length of modified string str1 is 6.
The capacity of modified string str1 is 21.
The max_size of modified string str1 is 4294967294.

```

8. string_clear

清空 string_t 中的字符。

```
void string_clear(
```

```
string_t* pstr_string  
);
```

- **Parameters**

pstr_string: 指向 string_t 类型的指针。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cstring.h>。

- **Example**

```
/*  
 * string_clear.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cstring.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    string_t* pstr_str1 = create_string();  
  
    if(pstr_str1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    string_init_cstr(pstr_str1, "Hello world");  
  
    printf("The original string str1 is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));  
  
    string_clear(pstr_str1);  
    printf("The modified string str1 is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));  
  
    if(iterator_equal(string_begin(pstr_str1), string_end(pstr_str1)))  
    {  
        printf("The string str1 is empty.\n");  
    }  
    else  
    {  
        printf("The string str1 is not empty.\n");  
    }  
  
    string_destroy(pstr_str1);  
  
    return 0;  
}
```

- **Output**

```
The original string str1 is "Hello world".  
The modified string str1 is "".  
The string str1 is empty.
```

9. `string_compare` `string_compare_cstr` `string_compare_substring_cstr` `string_compare_substring_string` `string_compare_substring_subcstr` `string_compare_substring_substring`

将 `string_t` 与字符串进行比较。

```
int string_compare(  
    const string_t* cpstr_string,  
    const string_t* cpstr_compare  
);  
  
int string_compare_cstr(  
    const string_t* cpstr_string,  
    const char* s_cstr  
);  
  
int string_compare_substring_cstr(  
    const string_t* cpstr_string,  
    size_t t_pos,  
    size_t t_len,  
    const char* s_cstr  
);  
  
int string_compare_substring_string(  
    const string_t* cpstr_string,  
    size_t t_pos,  
    size_t t_len,  
    const string_t* cpstr_compare  
);  
  
int string_compare_substring_subcstr(  
    const string_t* cpstr_string,  
    size_t t_pos,  
    size_t t_len,  
    const char* s_cstr,  
    size_t t_cstrlen);  
  
int string_compare_substring_substring(  
    const string_t* cpstr_string,  
    size_t t_pos,  
    size_t t_len,  
    const string_t* cpstr_compare,  
    size_t t_comparepos,  
    size_t t_comparelen);
```

● Parameters

`cpstr_string`: 指向 `string_t` 类型的指针。
`cpstr_compare`: 指向被比较的 `string_t` 类型的指针。

s_cstr: 被比较的 C 字符串。
t_pos: 子串的开始位置。
t_len: 子串的长度。
t_cstrlen: 被比较的 C 子字符串的长度。
t_comparepos: 被比较的子串的开始位置。
t_comparelen: 被比较的子串的长度。

● Remarks

返回值小于 0 表示第一个字符串小于第二个字符串，等于 0 表示两个字符串相等，大于 0 表示第一个字符串大于第二个字符串。无效的位置将导致操作函数未定义。

● Requirements

头文件 <cstl/cstring.h>。

● Example

```
/*
 * string_compare.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1a = create_string();
    string_t* pstr_str1b = create_string();
    string_t* pstr_str2a = create_string();
    string_t* pstr_str2b = create_string();
    string_t* pstr_str3a = create_string();
    string_t* pstr_str3b = create_string();
    string_t* pstr_str4a = create_string();
    string_t* pstr_str5a = create_string();
    string_t* pstr_str6a = create_string();
    int n_result = 0;

    if(pstr_str1a == NULL || pstr_str1b == NULL ||
        pstr_str2a == NULL || pstr_str2b == NULL ||
        pstr_str3a == NULL || pstr_str3b == NULL ||
        pstr_str4a == NULL || pstr_str5a == NULL ||
        pstr_str6a == NULL)
    {
        return -1;
    }

    /* Compares a string to a string */
    string_init_cstr(pstr_str1a, "CAB");
    string_init_cstr(pstr_str1b, "CAB");

    printf("The first string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1a));
    printf("The second string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1b));
    n_result = string_compare(pstr_str1a, pstr_str1b);
```



```

if(n_result < 0)
{
    printf("The first string is less than the second string.\n");
}
else if(n_result == 0)
{
    printf("The first string is equal to the second string.\n");
}
else
{
    printf("The first string is greater the second string.\n");
}

string_destroy(pstr_str1a);
string_destroy(pstr_str1b);

/* Compares part of a string to a string */
string_init_cstr(pstr_str2a, "AACAB");
string_init_cstr(pstr_str2b, "CAB");

printf("The first string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2a));
printf("The second string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2b));
n_result = string_compare_substring_string(pstr_str2a, 2, 3, pstr_str2b);
if(n_result < 0)
{
    printf("The first string is less than the second string.\n");
}
else if(n_result == 0)
{
    printf("The first string is equal to the second string.\n");
}
else
{
    printf("The first string is greater the second string.\n");
}

string_destroy(pstr_str2a);
string_destroy(pstr_str2b);

/* Compares part of a string to part of a string */
string_init_cstr(pstr_str3a, "AACAB");
string_init_cstr(pstr_str3b, "DCABD");

printf("The first string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str3a));
printf("The second string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str3b));
n_result = string_compare_substring_substring(
    pstr_str3a, 2, 3, pstr_str3b, 1, 3);
if(n_result < 0)
{
    printf("The first string is less than the second string.\n");
}

```

```

}
else if(n_result == 0)
{
    printf("The first string is equal to the second string.\n");
}
else
{
    printf("The first string is greater the second string.\n");
}

string_destroy(pstr_str3a);
string_destroy(pstr_str3b);

/* Compares a string to a c-string */
string_init_cstr(pstr_str4a, "ABC");

printf("The first string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str4a));
printf("The second string is \"%s\".\n", "DEF");
n_result = string_compare_cstr(pstr_str4a, "DEF");
if(n_result < 0)
{
    printf("The first string is less than the second string.\n");
}
else if(n_result == 0)
{
    printf("The first string is equal to the second string.\n");
}
else
{
    printf("The first string is greater the second string.\n");
}

string_destroy(pstr_str4a);

/* Compares part of a string to a c-string */
string_init_cstr(pstr_str5a, "AACAB");

printf("The first string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str5a));
printf("The second string is \"%s\".\n", "CAB");
n_result = string_compare_substring_cstr(pstr_str5a, 2, 3, "CAB");
if(n_result < 0)
{
    printf("The first string is less than the second string.\n");
}
else if(n_result == 0)
{
    printf("The first string is equal to the second string.\n");
}
else
{

```

```

    printf("The first string is greater the second string.\n");
}

string_destroy(pstr_str5a);

/* Compares part of a string to part of a c-string */
string_init_cstr(pstr_str6a, "AACAB");

printf("The first string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str6a));
printf("The second string is \"%s\".\n", "ACAB");
n_result = string_compare_substring_subcstr(pstr_str6a, 1, 3, "ACAB", 3);
if(n_result < 0)
{
    printf("The first string is less than the second string.\n");
}
else if(n_result == 0)
{
    printf("The first string is equal to the second string.\n");
}
else
{
    printf("The first string is greater the second string.\n");
}

string_destroy(pstr_str6a);

return 0;
}

```

● Output

```

The first string is "CAB".
The second string is "CAB".
The first string is equal to the second string.
The first string is "AACAB".
The second string is "CAB".
The first string is equal to the second string.
The first string is "AACAB".
The second string is "DCABD".
The first string is equal to the second string.
The first string is "ABC".
The second string is "DEF".
The first string is less than the second string.
The first string is "AACAB".
The second string is "CAB".
The first string is equal to the second string.
The first string is "AACAB".
The second string is "ACAB".
The first string is equal to the second string.

```

10. string_connect string_connect_char string_connect_cstr

将 string_t 类型与字符串链接。

```
void string_connect(
```

```

    string_t* pstr_string,
    const string_t* cpstr_src
);

void string_connect_char(
    string_t* pstr_string,
    char c_char
);

void string_connect_cstr(
    string_t* pstr_string,
    const char* s_cstr
);

```

● Parameters

pstr_string: 指向 string_t 类型的指针。
c_char: 被链接的字符。
s_cstr: 被链接的 C 字符串。

● Requirements

头文件 <cstl/cstring.h>。

● Example

```

/*
 * string_connect.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1a = create_string();
    string_t* pstr_str1b = create_string();
    string_t* pstr_str2a = create_string();
    string_t* pstr_str3a = create_string();

    if(pstr_str1a == NULL || pstr_str1b == NULL ||
        pstr_str2a == NULL || pstr_str3a == NULL)
    {
        return -1;
    }

    /* Appending one string to another */
    string_init_cstr(pstr_str1a, "Hello ");
    string_init_cstr(pstr_str1b, "World");

    printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1a));
    string_connect(pstr_str1a, pstr_str1b);
    printf("The appended string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1a));
}

```

```

string_destroy(pstr_str1a);
string_destroy(pstr_str1b);

/* Appending c-string to a string */
string_init_cstr(pstr_str2a, "Hello ");

printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2a));
string_connect_cstr(pstr_str2a, "Out There");
printf("The appended string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2a));

string_destroy(pstr_str2a);

/* Appending a single character to a string */
string_init_cstr(pstr_str3a, "Hello");

printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str3a));
string_connect_char(pstr_str3a, '!');
printf("The appended string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str3a));

string_destroy(pstr_str3a);

return 0;
}

```

● Output

```

The original string is "Hello ".
The appended string is "Hello World".
The original string is "Hello ".
The appended string is "Hello Out There".
The original string is "Hello".
The appended string is "Hello!".

```

11. string_copy

将 string_t 中指定的子串拷贝到缓冲区中。

```

size_t string_copy(
    const string_t* cpstr_string,
    char* s_buffer,
    size_t t_copysize,
    size_t t_pos
);

```

● Parameters

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。
s_buffer: 指向缓冲区的指针。
t_copysize: 缓冲区大小。
t_pot: string_t 中开始拷贝的位置。

● Remarks

返回实际被拷贝的字符个数，这个操作函数不会自动添加'\0'。

● Requirements

头文件 <cstring.h>。

● Example

```
/*
 * string_copy.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1 = create_string();
    char ac_array1[20] = {'\0'};
    char ac_array2[10] = {'\0'};
    size_t t_copy = 0;

    if(pstr_str1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    string_init_cstr(pstr_str1, "Hello world");

    printf("The original string str1 is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));

    t_copy = string_copy(pstr_str1, ac_array1, 15, 0);
    printf("The number of copied character in array1 is %u.\n", t_copy);
    printf("The copied characters array1 is \"%s\".\n", ac_array1);

    t_copy = string_copy(pstr_str1, ac_array2, 5, 6);
    printf("The number of copied character in array2 is %u.\n", t_copy);
    printf("The copied characters array2 is \"%s\".\n", ac_array2);

    string_destroy(pstr_str1);

    return 0;
}
```

● Output

```
The original string str1 is "Hello world".
The number of copied character in array1 is 12.
The copied characters array1 is "Hello world".
The number of copied character in array2 is 5.
The copied characters array2 is "world".
```

12. string_data

将 string_t 转换成字符数组。

```
const char* string_data(
```

```
const string_t* cpstr_string  
) ;
```

- **Parameters**

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。

- **Remarks**

返回指向字符数组的指针，这个操作函数不会在末尾添加'\0'，不能通过这个指针来修改 string_t 中的数据。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cstring.h>。

- **Example**

```
/*  
 * string_data.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cstring.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    string_t* pstr_str1 = create_string();  
    const char* s_str = NULL;  
  
    if(pstr_str1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    string_init_cstr(pstr_str1, "Hello world");  
  
    printf("The original string str1 is \"%s\".\n",  
        string_data(pstr_str1));  
    printf("The length of the string str1 is %d.\n",  
        string_length(pstr_str1));  
  
    s_str = string_data(pstr_str1);  
    printf("The c-style string s_str is \"%s\".\n", s_str);  
    printf("The length of c-style string s_str is %d.\n", strlen(s_str));  
  
    string_destroy(pstr_str1);  
  
    return 0;  
}
```

- **Output**

```
The original string str1 is "Hello world".  
The length of the string str1 is 11.  
The c-style string s_str is "Hello world".  
The length of c-style string s_str is 11.
```

13. string_destroy

销毁 string_t 类型。

```
extern void string_destroy(  
    string_t* pstr_string  
);
```

- **Parameters**

pstr_string: 指向 string_t 类型的指针。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cstring.h>。

- **Example**

请参考 string_t 类型的其他操作函数。

14. string_empty

测试 string_t 是否为空。

```
bool_t string_empty(  
    const string_t* cpstr_string  
);
```

- **Parameters**

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。

- **Remarks**

string_t 为空返回 true，否则返回 false。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cstring.h>。

- **Example**

```
/*  
 * string_empty.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cstring.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    string_t* pstr_str1 = create_string();  
    string_t* pstr_str2 = create_string();  
  
    if(pstr_str1 == NULL || pstr_str2 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
}
```



```

}

string_init_cstr(pstr_str1, "Hello world");
string_init(pstr_str2);

printf("The original string str1 is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));
if(string_empty(pstr_str1))
{
    printf("The string str1 is empty.\n");
}
else
{
    printf("The string str1 is not empty.\n");
}

if(string_empty(pstr_str2))
{
    printf("The string str2 is empty.\n");
}
else
{
    printf("The string str2 is not empty.\n");
}

string_destroy(pstr_str1);
string_destroy(pstr_str2);

return 0;
}

```

● Output

```

The original string str1 is "Hello world".
The string str1 is not empty.
The string str2 is empty.

```

15. string_end

返回 string_t 末尾位置的迭代器。

```

string_iterator_t string_end(
    const string_t* cpstr_string
);

```

● Parameters

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/cstring.h>。

● Example

```

/*

```

```

* string_end.c
* compile with : -lcstl
*/

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1 = create_string();
    string_t* pstr_str2 = create_string();
    string_iterator_t it_str;
    char c_last;

    if(pstr_str1 == NULL || pstr_str2 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    string_init_cstr(pstr_str1, "No way out.");
    string_init(pstr_str2);

    it_str = string_end(pstr_str1);
    it_str = iterator_prev_n(it_str, 2);
    printf("The last character of the string str1 is: '%c'.\n",
        *(char*)iterator_get_pointer(it_str));
    printf("The full original string str1 is: \"%s\".\n",
        string_c_str(pstr_str1));

    c_last = 'T';
    iterator_set_value(it_str, &c_last);
    printf("The last character of the modified string str1 is: '%c'.\n",
        *(char*)iterator_get_pointer(it_str));
    printf("The full modified string str1 is: \"%s\".\n",
        string_c_str(pstr_str1));

    if(iterator_equal(string_begin(pstr_str2), string_end(pstr_str2)))
    {
        printf("The string str2 is empty.\n");
    }
    else
    {
        printf("The string str2 is not empty.\n");
    }

    string_destroy(pstr_str1);
    string_destroy(pstr_str2);

    return 0;
}

```

● Output

The last character of the string str1 is: 't'.
The full original string str1 is: "No way out."
The last character of the modified string str1 is: 'T'.
The full modified string str1 is: "No way ouT".
The string str2 is empty.

16. string_equal string_equal_cstr

测试 string_t 与另一个字符串是否相等。

```
bool_t string_equal(  
    const string_t* cpstr_string,  
    const string_t* cpstr_equal  
);  
  
bool_t string_equal_cstr(  
    const string_t* cpstr_string,  
    const char* s_cstr  
);
```

- **Parameters**

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。
cpstr_equal: 指向被比较的 string_t 类型的指针。
s_cstr: 被比较的 C 字符串。

- **Remarks**

两个字符串相等返回 true，否则返回 false。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cstring.h>。

- **Example**

```
/*  
 * string_equal.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cstring.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    string_t* pstr_str1a = create_string();  
    string_t* pstr_str1b = create_string();  
    string_t* pstr_str2a = create_string();  
  
    if(pstr_str1a == NULL || pstr_str1b == NULL || pstr_str2a == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    /* Comparsion between string and string */  
    string_init_cstr(pstr_str1a, "pluck");
```

```

string_init_cstr(pstr_str1b, "strum");

printf("The string str1a = \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1a));
printf("The string str1b = \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1b));
if(string_equal(pstr_str1a, pstr_str1b))
{
    printf("The strings str1a and str1b are equal.\n");
}
else
{
    printf("The strings str1a and str1b are not equal.\n");
}

string_destroy(pstr_str1a);
string_destroy(pstr_str1b);

/* Comparision between string and c-string */
string_init_cstr(pstr_str2a, "pluck");

printf("The string str2a = \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2a));
printf("The c-string = \"%s\".\n", "pluck");
if(string_equal_cstr(pstr_str2a, "pluck"))
{
    printf("The strings str2a and c-string are equal.\n");
}
else
{
    printf("The strings str2a and c-string are not equal.\n");
}

string_destroy(pstr_str2a);

return 0;
}

```

● Output

```

The string str1a = "pluck".
The string str1b = "strum".
The strings str1a and str1b are not equal.
The string str2a = "pluck".
The c-string = "pluck".
The strings str2a and c-string are equal.

```

17. string_erase string_erase_range string_erase_substring

从 string_t 中删除指定的字符或者子串。

```

string_iterator_t string_erase(
    string_t* pstr_string,
    string_iterator_t it_pos
);

```

```
string_iterator_t string_erase_range(
    string_t* pstr_string,
    string_iterator_t it_begin,
    string_iterator_t it_end
);

void string_erase_substring(
    string_t* pstr_string,
    size_t t_pos,
    size_t t_len
);
```

● Parameters

pstr_string: 指向 string_t 类型的指针。
it_pos: 指向被删除的字符的迭代器。
it_begin: 指向被删除的数据区间的开始。
it_end: 指向被删除的数据区间的末尾。
t_pos: 被删除的子串的开始位置。
t_len: 被删除的子串的长度。

● Remarks

前两个操作函数返回指向被删除的数据面的迭代器。

● Requirements

头文件 <cstl/cstring.h>。

● Example

```
/*
 * string_erase.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1 = create_string();
    string_t* pstr_str2 = create_string();
    string_t* pstr_str3 = create_string();
    string_iterator_t it_str;

    if(pstr_str1 == NULL || pstr_str2 == NULL || pstr_str3 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    /* Erasing a character pointed to by an iterator */
    string_init_cstr(pstr_str1, "Hello World");

    printf("The original string str1 is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));
    it_str = string_erase(pstr_str1, iterator_next_n(string_begin(pstr_str1), 5));
```

```

printf("The first element after those removed is '%c'.\n",
      *(char*)iterator_get_pointer(it_str));
printf("The modified string str1 is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));

string_destroy(pstr_str1);

/* Erasing a range demarcated by iterators */
string_init_cstr(pstr_str2, "Hello World");

printf("The original string str2 is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2));
it_str = string_erase_range(pstr_str2,
    iterator_next_n(string_begin(pstr_str2), 3),
    iterator_prev(string_end(pstr_str2)));
printf("The first element after those removed is '%c'.\n",
      *(char*)iterator_get_pointer(it_str));
printf("The modified string str2 is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2));

string_destroy(pstr_str2);

/* Erasing a number of characters after a character */
string_init_cstr(pstr_str3, "Hello computer");

printf("The original string str3 is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str3));
string_erase_substring(pstr_str3, 6, 8);
printf("The modified string str3 is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str3));

string_destroy(pstr_str3);

return 0;
}

```

● Output

```

The original string str1 is "Hello World".
The first element after those removed is 'W'.
The modified string str1 is "HelloWorld".
The original string str2 is "Hello World".
The first element after those removed is 'd'.
The modified string str2 is "Held".
The original string str3 is "Hello computer".
The modified string str3 is "Hello ".

```

18. string_find string_find_char string_find_cstr string_find_subcstr

在 string_t 中查找字符串第一出现的位置。

```

size_t string_find(
    const string_t* cpstr_string,
    const string_t* cpstr_find,
    size_t t_pos
);

size_t string_find_char(
    const string_t* cpstr_string,

```

```

    char c_char,
    size_t t_pos
);

size_t string_find_cstr(
    const string_t* cpstr_string,
    const char* s_cstr,
    size_t t_pos
);

size_t string_find_subcstr(
    const string_t* cpstr_string,
    const char* s_cstr,
    size_t t_pos,
    size_t t_len
);

```

● Parameters

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。
cpstr_find: 指向被查找的 string_t 类型的指针。
t_pos: 子串的开始位置。
c_char: 被查找的字符。
s_cstr: 被查找的 C 字符串。
t_len: 被查找的 C 子字符串的长度。

● Remarks

返回被查找的字符串第一次出现的位置，如果没有这样的字符串就返回 NPOS。

● Requirements

头文件 <cstl/cstring.h>。

● Example

```

/*
 * string_find.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1a = create_string();
    string_t* pstr_str1b = create_string();
    string_t* pstr_str2a = create_string();
    string_t* pstr_str3a = create_string();
    string_t* pstr_str4a = create_string();
    size_t t_pos = 0;

    if(pstr_str1a == NULL || pstr_str1b == NULL ||
        pstr_str2a == NULL || pstr_str3a == NULL ||
        pstr_str4a == NULL)

```

```

{
    return -1;
}

/* searching a string for a substring as specified by a string */
string_init_cstr(pstr_str1a, "clearly this perfectly unclear.");
string_init_cstr(pstr_str1b, "clear");

printf("The original string str1a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1a));
t_pos = string_find(pstr_str1a, pstr_str1b, 0);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the first element of \"clear\"
           \"in str1a is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("the substring \"clear\" was not found in str1a.\n");
}

t_pos = string_find(pstr_str1a, pstr_str1b, 5);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the first element of \"clear\"
           \"after the 5th position in str1a is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("the substring \"clear\" was not found in str1a.\n");
}

string_destroy(pstr_str1a);
string_destroy(pstr_str1b);

/* searching a string for a substring as specified by a c-string */
string_init_cstr(pstr_str2a, "This is a sample string for this program.");

printf("The original string str2a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2a));
t_pos = string_find_cstr(pstr_str2a, "sample", 0);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the first element of \"sample\"
           \"in str2a is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("the substring \"sample\" was not found in str2a.\n");
}

t_pos = string_find_cstr(pstr_str2a, "programming", 0);

```



```

if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the first element of \"programming\"
           \"in str2a is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("the substring \"programming\" was not found in str2a.\n");
}

string_destroy(pstr_str2a);

/* searching a string for a substring as specified by part of a c-string */
string_init_cstr(pstr_str3a, "Let me make this perfectly clear.");

printf("The original string str3a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str3a));
t_pos = string_find_subcstr(pstr_str3a, "this for you", 0, 4);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the first element of \"this\"
           \"in str3a is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("the substring \"this\" was not found in str3a.\n");
}

t_pos = string_find_subcstr(pstr_str3a, "this for you", 0, NPOS);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the first element of \"this for you\"
           \"in str3a is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("the substring \"this for you\" was not found in str3a.\n");
}

string_destroy(pstr_str3a);

/* searching a string for a substring as specified by a single character */
string_init_cstr(pstr_str4a, "Hello Everyone");

printf("The original string str4a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str4a));
t_pos = string_find_char(pstr_str4a, 'e', 3);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the first element of 'e'
           \"after 3rd in str4a is %u.\n", t_pos);
}

```

```

else
{
    printf("the substring 'e' was not found in str4a.\n");
}

t_pos = string_find_char(pstr_str4a, 'x', 0);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the first element of 'x' in str4a is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("the substring 'x' was not found in str4a.\n");
}

string_destroy(pstr_str4a);

return 0;
}

```

● Output

The original string str1a is "clearly this perfectly unclear."
 The index of the first element of "clear" in str1a is 0.
 The index of the first element of "clear" after the 5th position in str1a is 25.
 The original string str2a is "This is a sample string for this program."
 The index of the first element of "sample" in str2a is 10.
 the substring "programming" was not found in str2a.
 The original string str3a is "Let me make this perfectly clear."
 The index of the first element of "this" in str3a is 12.
 the substring "this for you" was not found in str3a.
 The original string str4a is "Hello Everyone".
 The index of the first element of 'e' after 3rd in str4a is 8.
 the substring 'x' was not found in str4a.

19. string_find_first_not_of string_find_first_not_of_char string_find_first_not_of_cstr string_find_first_not_of_substr

从 string_t 指定的位置查找字符串以外的字符第一次出现的位置。

```

size_t string_find_first_not_of(
    const string_t* cpstr_string,
    const string_t* cpstr_find,
    size_t t_pos
);

size_t string_find_first_not_of_char(
    const string_t* cpstr_string,
    char c_char,
    size_t t_pos
);

size_t string_find_first_not_of_cstr(
    const string_t* cpstr_string,

```

```

    const char* s_cstr,
    size_t t_pos
);

size_t string_find_first_not_of_subcstr(
    const string_t* cpstr_string,
    const char* s_cstr,
    size_t t_pos,
    size_t t_len
);

```

● Parameters

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。
cpstr_find: 指向被查找的 string_t 类型的指针。
t_pos: 子串的开始位置。
c_char: 被查找的字符。
s_cstr: 被查找的 C 字符串。
t_len: 被查找的 C 子字符串的长度。

● Remarks

返回被查找的字符串第一次出现的位置，如果没有这样的字符串就返回 NPOS。

● Requirements

头文件 <cstl/cstring.h>。

● Example

```

/*
 * string_find_first_not_of.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <string.h>
#include <cstl/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1a = create_string();
    string_t* pstr_str1b = create_string();
    string_t* pstr_str1c = create_string();
    string_t* pstr_str2a = create_string();
    string_t* pstr_str3a = create_string();
    string_t* pstr_str4a = create_string();
    size_t t_pos = 0;

    if(pstr_str1a == NULL || pstr_str1b == NULL || pstr_str1c == NULL ||
        pstr_str2a == NULL || pstr_str3a == NULL || pstr_str4a == NULL)
    {
        return -1;
    }

    /* Searching a string for a substring as specified by a string */
    string_init_cstr(pstr_str1a, "12-ab-12-ab");

```

```

string_init_cstr(pstr_strlb, "ba3");
string_init_cstr(pstr_strlc, "12");

printf("The original string strla is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_strla));
t_pos = string_find_first_not_of(pstr_strla, pstr_strlb, 5);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the 1st non occurrence of an element of 'ba3' "
           "in strla after the 5th position is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("Elements other than those in the substring 'ba3' "
           "were not found in the string strla.\n");
}

t_pos = string_find_first_not_of(pstr_strla, pstr_strlc, 0);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the 1st non occurrence of an element of '12' "
           "in strla position is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("Elements other than those in the substring '12' "
           "were not found in the string strla.\n");
}

string_destroy(pstr_strla);
string_destroy(pstr_strlb);
string_destroy(pstr_strlc);

/* Searching a string for a substring as specified by a c-string */
string_init_cstr(pstr_str2a, "BBB-111");

printf("The original string str2a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2a));
t_pos = string_find_first_not_of_cstr(pstr_str2a, "B1", 6);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the 1st non occurrence of an element of 'B1' "
           "in str2a after the 6th position is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("Elements other than those in the substring 'B1' "
           "were not found in the string str2a.\n");
}

t_pos = string_find_first_not_of_cstr(pstr_str2a, "B2", 0);
if(t_pos != NPOS)

```

```

{
    printf("The index of the 1st non occurrence of an element of 'B2' "
           "in str2a position is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("Elements other than those in the substring 'B2' "
           "were not found in the string str2a.\n");
}

string_destroy(pstr_str2a);

/* Searching a string for a substring as specified by part of a c-string */
string_init_cstr(pstr_str3a, "444-555-GGG");

printf("The original string str3a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str3a));
t_pos = string_find_first_not_of_cstr(pstr_str3a, "45G", 0);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the 1st non occurrence of an element of '45G' "
           "in str3a is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("Elements other than those in the substring '45G' "
           "were not found in the string str3a.\n");
}

t_pos = string_find_first_not_of_subcstr(pstr_str3a, "45G", t_pos + 1, 2);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the 1st non occurrence of an element of '45G' "
           "in str3a position is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("Elements other than those in the substring '45G' "
           "were not found in the string str3a.\n");
}

string_destroy(pstr_str3a);

/* Searching a string for a substring as specified by a single character */
string_init_cstr(pstr_str4a, "xddd-1234-abcd");

printf("The original string str4a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str4a));
t_pos = string_find_first_not_of_char(pstr_str4a, 'd', 2);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the 1st non occurrence of an element of 'd' "

```

```

        "in str4a is %u.\n", t_pos);
    }
    else
    {
        printf("Elements other than those in the substring 'd' "
               "were not found in the string str4a.\n");
    }

    t_pos = string_find_first_not_of_char(pstr_str4a, 'x', 0);
    if(t_pos != NPOS)
    {
        printf("The index of the 1st non occurrence of an element of 'x' "
               "in str4a position is %u.\n", t_pos);
    }
    else
    {
        printf("Elements other than those in the substring 'x' "
               "were not found in the string str4a.\n");
    }

    string_destroy(pstr_str4a);

    return 0;
}

```

● Output

The original string str1a is "12-ab-12-ab".
 The index of the 1st non occurrence of an element of 'ba3' in str1a after the 5th position is 5.
 The index of the 1st non occurrence of an element of '12' in str1a position is 2.
 The original string str2a is "BBB-111".
 Elements other than those in the substring 'B1' were not found in the string str2a.
 The index of the 1st non occurrence of an element of 'B2' in str2a position is 3.
 The original string str3a is "444-555-GGG".
 The index of the 1st non occurrence of an element of '45G' in str3a is 3.
 The index of the 1st non occurrence of an element of '45G' in str3a position is 7.
 The original string str4a is "xddd-1234-abcd".
 The index of the 1st non occurrence of an element of 'd' in str4a is 4.
 The index of the 1st non occurrence of an element of 'x' in str4a position is 1.

20. string_find_first_of string_find_first_of_char string_find_first_of_cstr string_find_first_of_subcstr

从 string_t 指定的位置查找字符串中任意字符第一次出现的位置。

```

size_t string_find_first_of(
    const string_t* cpstr_string,
    const string_t* cpstr_find,
    size_t t_pos
);

size_t string_find_first_of_char(
    const string_t* cpstr_string,

```

```

    char c_char,
    size_t t_pos
);

size_t string_find_first_of_cstr(
    const string_t* cpstr_string,
    const char* s_cstr,
    size_t t_pos
);

size_t string_find_first_of_subcstr(
    const string_t* cpstr_string,
    const char* s_cstr,
    size_t t_pos,
    size_t t_len
);

```

● Parameters

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。
cpstr_find: 指向被查找的 string_t 类型的指针。
t_pos: 子串的开始位置。
c_char: 被查找的字符。
s_cstr: 被查找的 C 字符串。
t_len: 被查找的 C 子字符串的长度。

● Remarks

返回被查找的字符串第一次出现的位置，如果没有这样的字符串就返回 NPOS。

● Requirements

头文件 <cstdlib/cstring.h>。

● Example

```

/*
 * string_find_first_of.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <string.h>
#include <cstdlib/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1a = create_string();
    string_t* pstr_str1b = create_string();
    string_t* pstr_str1c = create_string();
    string_t* pstr_str2a = create_string();
    string_t* pstr_str3a = create_string();
    string_t* pstr_str4a = create_string();
    size_t t_pos = 0;

    if(pstr_str1a == NULL || pstr_str1b == NULL || pstr_str1c == NULL ||
        pstr_str2a == NULL || pstr_str3a == NULL || pstr_str4a == NULL)

```

```

{
    return -1;
}

/* Searching a string for a substring as specified by a string */
string_init_cstr(pstr_str1a, "12-ab-12-ab");
string_init_cstr(pstr_str1b, "ba3");
string_init_cstr(pstr_str1c, "a2");

printf("The original string str1a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1a));
t_pos = string_find_first_of(pstr_str1a, pstr_str1b, 5);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the 1st occurrence of an element of 'ba3' "
           "in str1a after the 5th position is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("Elements other than those in the substring 'ba3' "
           "were not found in the string str1a.\n");
}

t_pos = string_find_first_of(pstr_str1a, pstr_str1c, 0);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the 1st occurrence of an element of 'a2' "
           "in str1a position is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("Elements other than those in the substring 'a2' "
           "were not found in the string str1a.\n");
}

string_destroy(pstr_str1a);
string_destroy(pstr_str1b);
string_destroy(pstr_str1c);

/* Searching a string for a substring as specified by a c-string */
string_init_cstr(pstr_str2a, "ABCD-1234-ABCD-1234");

printf("The original string str2a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2a));
t_pos = string_find_first_of_cstr(pstr_str2a, "B1", 6);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the 1st occurrence of an element of 'B1' "
           "in str2a after the 6th position is %u.\n", t_pos);
}
else
{

```



```

        printf("Elements other than those in the substring 'B1' "
               "were not found in the string str2a.\n");
    }

    t_pos = string_find_first_of_cstr(pstr_str2a, "D2", 0);
    if(t_pos != NPOS)
    {
        printf("The index of the 1st occurrence of an element of 'D2' "
               "in str2a position is %u.\n", t_pos);
    }
    else
    {
        printf("Elements other than those in the substring 'D2' "
               "were not found in the string str2a.\n");
    }

    string_destroy(pstr_str2a);

    /* Searching a string for a substring as specified by part of a c-string */
    string_init_cstr(pstr_str3a, "123-abc-123-abc-456-EFG-456-EFG");

    printf("The original string str3a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str3a));
    t_pos = string_find_first_of_cstr(pstr_str3a, "5G", 0);
    if(t_pos != NPOS)
    {
        printf("The index of the 1st occurrence of an element of '5G' "
               "in str3a is %u.\n", t_pos);
    }
    else
    {
        printf("Elements other than those in the substring '5G' "
               "were not found in the string str3a.\n");
    }

    t_pos = string_find_first_of_subcstr(pstr_str3a, "5GF", t_pos + 1, 2);
    if(t_pos != NPOS)
    {
        printf("The index of the 1st occurrence of an element of '5GF' "
               "in str3a position is %u.\n", t_pos);
    }
    else
    {
        printf("Elements other than those in the substring '5GF' "
               "were not found in the string str3a.\n");
    }

    string_destroy(pstr_str3a);

    /* Searching a string for a substring as specified by a single character */
    string_init_cstr(pstr_str4a, "abcd-1234-abcd-1234");

```

```

printf("The original string str4a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str4a));
t_pos = string_find_first_of_char(pstr_str4a, 'd', 5);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the 1st occurrence of an element of 'd' "
           "in str4a is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("Elements other than those in the substring 'd' "
           "were not found in the string str4a.\n");
}

t_pos = string_find_first_of_char(pstr_str4a, 'x', 0);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the 1st occurrence of an element of 'x' "
           "in str4a position is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("Elements other than those in the substring 'x' "
           "were not found in the string str4a.\n");
}

string_destroy(pstr_str4a);

return 0;
}

```

● Output

The original string str1a is "12-ab-12-ab".
 The index of the 1st occurrence of an element of 'ba3' in str1a after the 5th position is 9.
 The index of the 1st occurrence of an element of 'a2' in str1a position is 1.
 The original string str2a is "ABCD-1234-ABCD-1234".
 The index of the 1st occurrence of an element of 'B1' in str2a after the 6th position is 11.
 The index of the 1st occurrence of an element of 'D2' in str2a position is 3.
 The original string str3a is "123-abc-123-abc-456-EFG-456-EFG".
 The index of the 1st occurrence of an element of '5G' in str3a is 17.
 The index of the 1st occurrence of an element of '5GF' in str3a position is 22.
 The original string str4a is "abcd-1234-abcd-1234".
 The index of the 1st occurrence of an element of 'd' in str4a is 13.
 Elements other than those in the substring 'x' were not found in the string str4a.

21. string_find_last_not_of string_find_last_not_of_char string_find_last_not_of_cstr string_find_last_not_of_subcst

从 string_t 指定的位置向前查找字符串以外的字符最后一次出现的位置。

```
size_t string_find_last_not_of(
```

```

    const string_t* cpstr_string,
    const string_t* cpstr_find,
    size_t t_pos
);

size_t string_find_last_not_of_char(
    const string_t* cpstr_string,
    char c_char,
    size_t t_pos
);

size_t string_find_last_not_of_cstr(
    const string_t* cpstr_string,
    const char* s_cstr,
    size_t t_pos
);

size_t string_find_last_not_of_subcstr(
    const string_t* cpstr_string,
    const char* s_cstr,
    size_t t_pos,
    size_t t_len
);

```

● Parameters

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。
cpstr_find: 指向被查找的 string_t 类型的指针。
t_pos: 子串的开始位置。
c_char: 被查找的字符。
s_cstr: 被查找的 C 字符串。
t_len: 被查找的 C 子字符串的长度。

● Remarks

返回被查找的字符串最后一次出现的位置，如果没有这样的字符串就返回 NPOS。

● Requirements

头文件 <cstdlib/cstring.h>。

● Example

```

/*
 * string_find_last_not_of.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <string.h>
#include <cstdlib/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1a = create_string();
    string_t* pstr_str1b = create_string();
    string_t* pstr_str1c = create_string();
    string_t* pstr_str2a = create_string();

```

```

string_t* pstr_str3a = create_string();
string_t* pstr_str4a = create_string();
size_t t_pos = 0;

if(pstr_str1a == NULL || pstr_str1b == NULL || pstr_str1c == NULL ||
    pstr_str2a == NULL || pstr_str3a == NULL || pstr_str4a == NULL)
{
    return -1;
}

/* Searching a string for a substring as specified by a string */
string_init_cstr(pstr_str1a, "12-ab-12-ab");
string_init_cstr(pstr_str1b, "b-a");
string_init_cstr(pstr_str1c, "12");

printf("The original string str1a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1a));
t_pos = string_find_last_not_of(pstr_str1a, pstr_str1b, 5);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the last non occurrence of an element of 'b-a' "
        "in str1a before the 5th position is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("Elements other than those in the substring 'b-a' "
        "were not found in the string str1a.\n");
}

t_pos = string_find_last_not_of(pstr_str1a, pstr_str1c, NPOS);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the last non occurrence of an element of '12' "
        "in str1a position is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("Elements other than those in the substring '12' "
        "were not found in the string str1a.\n");
}

string_destroy(pstr_str1a);
string_destroy(pstr_str1b);
string_destroy(pstr_str1c);

/* Searching a string for a substring as specified by a c-string */
string_init_cstr(pstr_str2a, "BBB-111");

printf("The original string str2a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2a));
t_pos = string_find_last_not_of_cstr(pstr_str2a, "B1", 6);
if(t_pos != NPOS)

```

```

{
    printf("The index of the last non occurrence of an element of 'B1' "
           "in str2a before the 6th position is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("Elements other than those in the substring 'B1' "
           "were not found in the string str2a.\n");
}

t_pos = string_find_last_not_of_cstr(pstr_str2a, "B-1", NPOS);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the last non occurrence of an element of 'B-1' "
           "in str2a position is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("Elements other than those in the substring 'B-1' "
           "were not found in the string str2a.\n");
}

string_destroy(pstr_str2a);

/* Searching a string for a substring as specified by part of a c-string */
string_init_cstr(pstr_str3a, "444-555-GGG");

printf("The original string str3a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str3a));
t_pos = string_find_last_not_of_cstr(pstr_str3a, "45G", NPOS);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the last non occurrence of an element of '45G' "
           "in str3a is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("Elements other than those in the substring '45G' "
           "were not found in the string str3a.\n");
}

t_pos = string_find_last_not_of_subcstr(pstr_str3a, "45G", 6, t_pos - 1);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the last non occurrence of an element of '45G' "
           "in str3a position is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("Elements other than those in the substring '45G' "
           "were not found in the string str3a.\n");
}

```

```

}

string_destroy(pstr_str3a);

/* Searching a string for a substring as specified by a single character */
string_init_cstr(pstr_str4a, "dddd-1dd4-abdd");

printf("The original string str4a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str4a));
t_pos = string_find_last_not_of_char(pstr_str4a, 'd', 7);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the last non occurrence of an element of 'd' "
           "in str4a is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("Elements other than those in the substring 'd' "
           "were not found in the string str4a.\n");
}

t_pos = string_find_last_not_of_char(pstr_str4a, 'x', NPOS);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the last non occurrence of an element of 'x' "
           "in str4a position is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("Elements other than those in the substring 'x' "
           "were not found in the string str4a.\n");
}

string_destroy(pstr_str4a);

return 0;
}

```

● Output

```

The original string str1a is "12-ab-12-ab".
The index of the last non occurrence of an element of 'b-a' in str1a before the 5th
position is 1.
The index of the last non occurrence of an element of '12' in str1a position is 10.
The original string str2a is "BBB-111".
The index of the last non occurrence of an element of 'B1' in str2a before the 6th
position is 3.
Elements other than those in the substring 'B-1' were not found in the string str2a.
The original string str3a is "444-555-GGG".
The index of the last non occurrence of an element of '45G' in str3a is 7.
Elements other than those in the substring '45G' were not found in the string str3a.
The original string str4a is "dddd-1dd4-abdd".
The index of the last non occurrence of an element of 'd' in str4a is 5.
The index of the last non occurrence of an element of 'x' in str4a position is 13.

```

22. string_find_last_of string_find_last_of_char string_find_last_of_cstr string_find_last_of_substr

从 string_t 指定的位置向前查找字符串中任意字符最后一次出现的位置。

```
size_t string_find_last_of(  
    const string_t* cpstr_string,  
    const string_t* cpstr_find,  
    size_t t_pos  
);  
  
size_t string_find_last_of_char(  
    const string_t* cpstr_string,  
    char c_char,  
    size_t t_pos  
);  
  
size_t string_find_last_of_cstr(  
    const string_t* cpstr_string,  
    const char* s_cstr,  
    size_t t_pos  
);  
  
size_t string_find_last_of_substr(  
    const string_t* cpstr_string,  
    const char* s_cstr,  
    size_t t_pos,  
    size_t t_len  
);
```

● Parameters

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。
cpstr_find: 指向被查找的 string_t 类型的指针。
t_pos: 子串的开始位置。
c_char: 被查找的字符。
s_cstr: 被查找的 C 字符串。
t_len: 被查找的 C 子字符串的长度。

● Remarks

返回被查找的字符串最后一次出现的位置，如果没有这样的字符串就返回 NPOS。

● Requirements

头文件 <cstl/cstring.h>。

● Example

```
/*  
 * string_find_last_of.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <string.h>  
#include <cstl/cstring.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])
```

```

{
    string_t* pstr_str1a = create_string();
    string_t* pstr_str1b = create_string();
    string_t* pstr_str1c = create_string();
    string_t* pstr_str2a = create_string();
    string_t* pstr_str3a = create_string();
    string_t* pstr_str4a = create_string();
    size_t t_pos = 0;

    if(pstr_str1a == NULL || pstr_str1b == NULL || pstr_str1c == NULL ||
        pstr_str2a == NULL || pstr_str3a == NULL || pstr_str4a == NULL)
    {
        return -1;
    }

    /* Searching a string for a substring as specified by a string */
    string_init_cstr(pstr_str1a, "12-ab-12-ab");
    string_init_cstr(pstr_str1b, "ba3");
    string_init_cstr(pstr_str1c, "a2");

    printf("The original string str1a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1a));
    t_pos = string_find_last_of(pstr_str1a, pstr_str1b, 8);
    if(t_pos != NPOS)
    {
        printf("The index of the last occurrence of an element of 'ba3' "
            "in str1a before the 8th position is %u.\n", t_pos);
    }
    else
    {
        printf("Elements other than those in the substring 'ba3' "
            "were not found in the string str1a.\n");
    }

    t_pos = string_find_last_of(pstr_str1a, pstr_str1c, NPOS);
    if(t_pos != NPOS)
    {
        printf("The index of the last occurrence of an element of 'a2' "
            "in str1a position is %u.\n", t_pos);
    }
    else
    {
        printf("Elements other than those in the substring 'a2' "
            "were not found in the string str1a.\n");
    }

    string_destroy(pstr_str1a);
    string_destroy(pstr_str1b);
    string_destroy(pstr_str1c);

    /* Searching a string for a substring as specified by a c-string */

```



```

string_init_cstr(pstr_str2a, "ABCD-1234-ABCD-1234");

printf("The original string str2a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2a));
t_pos = string_find_last_of_cstr(pstr_str2a, "B1", 12);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the last occurrence of an element of 'B1' "
           "in str2a before the 12th position is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("Elements other than those in the substring 'B1' "
           "were not found in the string str2a.\n");
}

t_pos = string_find_last_of_cstr(pstr_str2a, "D2", NPOS);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the last occurrence of an element of 'D2' "
           "in str2a position is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("Elements other than those in the substring 'D2' "
           "were not found in the string str2a.\n");
}

string_destroy(pstr_str2a);

/* Searching a string for a substring as specified by part of a c-string */
string_init_cstr(pstr_str3a, "123-abc-123-abc-456-EFG-456-EFG");

printf("The original string str3a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str3a));
t_pos = string_find_last_of_cstr(pstr_str3a, "5G", NPOS);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the last occurrence of an element of '5G' "
           "in str3a is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("Elements other than those in the substring '5G' "
           "were not found in the string str3a.\n");
}

t_pos = string_find_last_of_subcstr(pstr_str3a, "5EF", t_pos - 1, 2);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the last occurrence of an element of '5EF' "
           "in str3a position is %u.\n", t_pos);
}

```

```

    }
    else
    {
        printf("Elements other than those in the substring '5EF' "
               "were not found in the string str3a.\n");
    }

    string_destroy(pstr_str3a);

    /* Searching a string for a substring as specified by a single character */
    string_init_cstr(pstr_str4a, "abcd-1234-abcd-1234");

    printf("The original string str4a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str4a));
    t_pos = string_find_last_of_char(pstr_str4a, 'd', 14);
    if(t_pos != NPOS)
    {
        printf("The index of the last occurrence of an element of 'd' "
               "in str4a is %u.\n", t_pos);
    }
    else
    {
        printf("Elements other than those in the substring 'd' "
               "were not found in the string str4a.\n");
    }

    t_pos = string_find_last_of_char(pstr_str4a, 'x', NPOS);
    if(t_pos != NPOS)
    {
        printf("The index of the last occurrence of an element of 'x' "
               "in str4a position is %u.\n", t_pos);
    }
    else
    {
        printf("Elements other than those in the substring 'x' "
               "were not found in the string str4a.\n");
    }

    string_destroy(pstr_str4a);

    return 0;
}

```

● Output

The original string str1a is "12-ab-12-ab".
 The index of the last occurrence of an element of 'ba3' in str1a before the 8th position is 4.
 The index of the last occurrence of an element of 'a2' in str1a position is 9.
 The original string str2a is "ABCD-1234-ABCD-1234".
 The index of the last occurrence of an element of 'B1' in str2a before the 12th position is 11.
 The index of the last occurrence of an element of 'D2' in str2a position is 16.
 The original string str3a is "123-abc-123-abc-456-EFG-456-EFG".

The index of the last occurrence of an element of '5G' in str3a is 30.
The index of the last occurrence of an element of '5EF' in str3a position is 28.
The original string str4a is "abcd-1234-abcd-1234".
The index of the last occurrence of an element of 'd' in str4a is 13.
Elements other than those in the substring 'x' were not found in the string str4a.

23. string_getline string_getline_delimiter

从流中获得一行保存在 string_t 中。

```
bool_t string_getline(  
    string_t* pstr_string,  
    FILE* fp_stream  
);  
  
bool_t string_getline_delimiter(  
    string_t* pstr_string,  
    FILE* fp_stream,  
    char c_delimiter  
);
```

- **Parameters**

pstr_string: 指向 string_t 类型的指针。
fp_stream: 指向获取数据的流。
c_delimiter: 自定义的换行字符。

- **Remarks**

成功的从流中获得数据返回 true，否则返回 false。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cstring.h>。

- **Example**

```
/*  
 * string_getline.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cstring.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    string_t* pstr_str1 = create_string();  
  
    if(pstr_str1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    string_init(pstr_str1);  
  
    printf("Enter a sentence:\n");
```

```

string_getline(pstr_str1, stdin);
printf("%s\n", string_c_str(pstr_str1));

printf("Enter a sentence (use <space> as the delimiter):\n");
string_getline_delimiter(pstr_str1, stdin, ' ');
printf("%s\n", string_c_str(pstr_str1));

string_destroy(pstr_str1);

return 0;
}

```

- **Output**

根据用户的输入获得输出结果。

24. string_greater string_greater_cstr

测试第一个 string_t 是否大于第二个字符串。

```

bool_t string_greater(
    const string_t* cpstr_string,
    const string_t* cpstr_greater
);

bool_t string_greater_cstr(
    const string_t* cpstr_string,
    const char* s_cstr
);

```

- **Parameters**

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。
cpstr_greater: 指向被比较的 string_t 类型的指针。
s_cstr: 被比较的 C 字符串。

- **Remarks**

第一个 string_t 大于第二个字符串返回 true，否则返回 false。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cstring.h>。

- **Example**

```

/*
 * string_greater.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1a = create_string();
    string_t* pstr_str1b = create_string();
}

```

```

string_t* pstr_str2a = create_string();

if(pstr_str1a == NULL || pstr_str1b == NULL || pstr_str2a == NULL)
{
    return -1;
}

/* Comparsion between string and string */
string_init_cstr(pstr_str1a, "strict");
string_init_cstr(pstr_str1b, "strum");

printf("The string str1a = \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1a));
printf("The string str1b = \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1b));
if(string_greater(pstr_str1a, pstr_str1b))
{
    printf("The string str1a is greater than the string str1b.\n");
}
else
{
    printf("The string str1a is not greater than the string str1b.\n");
}

string_destroy(pstr_str1a);
string_destroy(pstr_str1b);

/* Comparsion between string and c-string */
string_init_cstr(pstr_str2a, "strict");

printf("The string str2a = \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2a));
printf("The c-string = \"%s\".\n", "strict");
if(string_greater_cstr(pstr_str2a, "strict"))
{
    printf("The string str2a is greater than the c-string.\n");
}
else
{
    printf("The string str2a is not greater than the c-string.\n");
}

string_destroy(pstr_str2a);

return 0;
}

```

● Output

```

The string str1a = "strict".
The string str1b = "strum".
The string str1a is not greater than the string str1b.
The string str2a = "strict".
The c-string = "strict".
The string str2a is not greater than the c-string.

```

25. string_greater_equal string_greater_equal_cstr

测试第一个 `string_t` 是否大于等于第二个字符串。

```
bool_t string_greater_equal(  
    const string_t* cpstr_string,  
    const string_t* cpstr_greater  
);  
  
bool_t string_greater_equal_cstr(  
    const string_t* cpstr_string,  
    const char* s_cstr  
);
```

● Parameters

cpstr_string: 指向 `string_t` 类型的指针。
cpstr_greater: 指向被比较的 `string_t` 类型的指针。
s_cstr: 被比较的 C 字符串。

● Remarks

第一个 `string_t` 大于等于第二个字符串返回 `true`，否则返回 `false`。

● Requirements

头文件 `<cstl/cstring.h>`。

● Example

```
/*  
 * string_greater_equal.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cstring.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    string_t* pstr_str1a = create_string();  
    string_t* pstr_str1b = create_string();  
    string_t* pstr_str2a = create_string();  
  
    if(pstr_str1a == NULL || pstr_str1b == NULL || pstr_str2a == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    /* Comparsion between string and string */  
    string_init_cstr(pstr_str1a, "strict");  
    string_init_cstr(pstr_str1b, "strum");  
  
    printf("The string str1a = \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1a));  
    printf("The string str1b = \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1b));  
    if(string_greater_equal(pstr_str1a, pstr_str1b))  
    {
```

```

        printf("The string str1a is greater than or equal to the string str1b.\n");
    }
    else
    {
        printf("The string str1a is less than the string str1b.\n");
    }

    string_destroy(pstr_str1a);
    string_destroy(pstr_str1b);

    /* Comparsion between string and c-string */
    string_init_cstr(pstr_str2a, "strict");

    printf("The string str2a = \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2a));
    printf("The c-string = \"%s\".\n", "strict");
    if(string_greater_equal_cstr(pstr_str2a, "strict"))
    {
        printf("The string str2a is greater than or equal to the c-string.\n");
    }
    else
    {
        printf("The string str2a is less than the c-string.\n");
    }

    string_destroy(pstr_str2a);

    return 0;
}

```

● Output

```

The string str1a = "strict".
The string str1b = "strum".
The string str1a is less than the string str1b.
The string str2a = "strict".
The c-string = "strict".
The string str2a is greater than or equal to the c-string.

```

26. string_init string_init_char string_init_copy string_init_copy_range string_init_copy_substring string_init_cstr string_init_subcstr

初始化 string_t 类型。

```

void string_init(
    string_t* pstr_string
);

```

```

void string_init_char(
    string_t* pstr_string,
    size_t t_count,
    char c_char
);

```

```

void string_init_copy(
    string_t* pstr_string,
    const string_t* cpstr_src
);

void string_init_copy_range(
    string_t* pstr_string,
    string_iterator_t it_begin,
    string_iterator_t it_end
);

void string_init_copy_substring(
    string_t* pstr_string,
    const string_t* cpstr_src,
    size_t t_pos,
    size_t t_len
);

void string_init_cstr(
    string_t* pstr_string,
    const char* s_cstr
);

void string_init_subcstr(
    string_t* pstr_string,
    const char* s_cstr,
    size_t t_cstrlen
);

```

● Parameters

pstr_string: 指向 string_t 类型的指针。
t_count: 初始化的字符个数。
c_char: 初始化的字符。
cpstr_src: 指向初始化的 string_t 类型的指针。
it_begin: 初始化的数据区间的开始。
it_end: 初始化的数据区间的末尾。
t_pos: 初始化的子串的开始位置。
t_len: 初始化的子串的长度。
s_cstr: 初始化的 C 字符串。
t_cstrlen: 初始化的 C 子字符串的长度。

● Requirements

头文件 <cstl/cstring.h>。

● Example

```

/*
 * string_init.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstring.h>

```



```

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1 = create_string();
    string_t* pstr_str2 = create_string();
    string_t* pstr_str3 = create_string();
    string_t* pstr_str4 = create_string();
    string_t* pstr_str5 = create_string();
    string_t* pstr_str6 = create_string();
    string_t* pstr_str7 = create_string();

    if(pstr_str1 == NULL || pstr_str2 == NULL || pstr_str3 == NULL ||
        pstr_str4 == NULL || pstr_str5 == NULL || pstr_str6 == NULL ||
        pstr_str7 == NULL);

    /* Create an empty string */
    string_init(pstr_str1);
    printf("The string str1 is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));

    /* Initialize string with const c string */
    string_init_cstr(pstr_str2, "libcstl");
    printf("The string str2 is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2));

    /* Initialize string with sub const c string */
    string_init_subcstr(pstr_str3, "Hello Out There.", 5);
    printf("The string str3 is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str3));

    /* Initialize string with a number of characters of a specific value */
    string_init_char(pstr_str4, 5, '9');
    printf("The string str4 is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str4));

    /* Initialize string with another initialized string */
    string_init_copy(pstr_str5, pstr_str2);
    printf("The string str5 is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str5));

    /* Initialize string with sub string */
    string_init_copy_substring(pstr_str6, pstr_str2, 3, 4);
    printf("The string str6 is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str6));

    /* Initialize string with string range */
    string_init_copy_range(pstr_str7,
        iterator_next_n(string_begin(pstr_str2), 3), string_end(pstr_str2));
    printf("The string str7 is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str7));

    string_destroy(pstr_str1);
    string_destroy(pstr_str2);
    string_destroy(pstr_str3);
    string_destroy(pstr_str4);
    string_destroy(pstr_str5);
    string_destroy(pstr_str6);
    string_destroy(pstr_str7);
}

```

```
    return 0;
}
```

● Output

```
The string str1 is "".
The string str2 is "libcstl".
The string str3 is "Hello".
The string str4 is "99999".
The string str5 is "libcstl".
The string str6 is "cstl".
The string str7 is "cstl".
```

27. string_input

从流中获得输入并保存在字符串中。

```
void string_input(
    string_t* pstr_string,
    FILE* fp_stream
);
```

● Parameters

pstr_string: 指向 string_t 类型的指针。
fp_stream: 指向获取数据的流。

● Remarks

从流中获得数据一直到输入结果。

● Requirements

头文件 <cstl/cstring.h>。

● Example

```
/*
 * string_input.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1 = create_string();

    if(pstr_str1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    string_init(pstr_str1);

    printf("The original string is: \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));
    printf("Input a string (try input:\n\"Hello world\nMy world!\n\"")
```

```

        "\nand enter the end of input):\n");
string_input(pstr_str1, stdin);
printf("The input string is:\n\"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));

string_destroy(pstr_str1);

return 0;
}

```

● Output

```

The original string is: "".
Input a string (try input:
"Hello world
My world!
"
and enter the end of input):
The input string is:
"abcdefghij
alidfowie
Windows
Linux
FreeBSD
AIX
Mac
".

```

28. **string_insert string_insert_char string_insert_cstr string_insert_n string_insert_range string_insert_string string_insert_subcstr string_insert_substring**

向 `string_t` 中插入数据。

```

string_iterator_t string_insert(
    string_t* pstr_string,
    string_iterator_t it_pos,
    char c_char
);

void string_insert_char(
    string_t* pstr_string,
    size_t t_pos,
    size_t t_count,
    char c_char
);

void string_insert_cstr(
    string_t* pstr_string,
    size_t t_pos,
    const char* s_cstr
);

string_iterator_t string_insert_n(
    string_t* pstr_string,
    string_iterator_t it_pos,

```

```

    size_t t_count,
    char c_char
);

void string_insert_range(
    string_t* pstr_string,
    string_iterator_t it_pos,
    string_iterator_t it_begin,
    string_iterator_t it_end
);

void string_insert_string(
    string_t* pstr_string,
    size_t t_pos,
    const string_t* cpstr_insert
);

void string_insert_subcstr(
    string_t* pstr_string,
    size_t t_pos,
    const char* s_cstr,
    size_t t_len
);

void string_insert_substring(
    string_t* pstr_string,
    size_t t_pos,
    const string_t* cpstr_insert,
    size_t t_startpos,
    size_t t_len
);

```

● Parameters

- pstr_string:** 指向 string_t 类型的指针。
- it_pos:** 插入数据的位置。
- t_pos:** 插入数据的位置。
- c_char:** 插入的字符。
- t_count:** 插入的字符个数。
- s_cstr:** 插入的 C 字符串。
- it_begin:** 插入的数据区间的开始。
- it_end:** 插入的数据区间的末尾。
- cpstr_insert:** 指向插入的 string_t 类型的指针。
- t_len:** 插入的子串的长度。
- t_startpos:** 插入的 string_t 子字符串的开始位置。

● Remarks

迭代器版本的插入操作函数返回插入后指向第一个新字符的迭代器。

● Requirements

头文件 <cstl/cstring.h>。

● Example

```

/*
 * string_insert.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1a = create_string();
    string_t* pstr_str2a = create_string();
    string_t* pstr_str3a = create_string();
    string_t* pstr_str3b = create_string();
    string_t* pstr_str4a = create_string();
    string_t* pstr_str4b = create_string();
    string_t* pstr_str5a = create_string();
    string_t* pstr_str6a = create_string();
    string_t* pstr_str7a = create_string();
    string_t* pstr_str8a = create_string();
    string_t* pstr_str8b = create_string();
    string_iterator_t it_str;

    if(pstr_str1a == NULL || pstr_str2a == NULL ||
        pstr_str3a == NULL || pstr_str3b == NULL ||
        pstr_str4a == NULL || pstr_str4b == NULL ||
        pstr_str5a == NULL || pstr_str6a == NULL ||
        pstr_str7a == NULL || pstr_str8a == NULL ||
        pstr_str8b == NULL)
    {
        return -1;
    }

    /* Inserting a character at aspecified position in the string */
    string_init_cstr(pstr_str1a, "ABCDEF");

    printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1a));
    string_insert(pstr_str1a, iterator_next_n(string_begin(pstr_str1a), 4), 'e');
    printf("The string with a character inserted is \"%s\".\n",
        string_c_str(pstr_str1a));

    string_destroy(pstr_str1a);

    /* Inserting a number of characters at aspecified position in the string */
    string_init_cstr(pstr_str2a, "ABCDHIJ");

    printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2a));
    string_insert_n(pstr_str2a, iterator_next_n(string_begin(pstr_str2a), 4),
        3, 'e');
    printf("The string with a number of characters inserted is \"%s\".\n",
        string_c_str(pstr_str2a));
}

```

```

string_destroy(pstr_str2a);

/* Inserting a string at a given position */
string_init_cstr(pstr_str3a, "Bye");
string_init_cstr(pstr_str3b, "Good");

printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str3a));
string_insert_string(pstr_str3a, 0, pstr_str3b);
printf("The string with a string inserted at position 0 is \"%s\".\n",
       string_c_str(pstr_str3a));

string_destroy(pstr_str3a);
string_destroy(pstr_str3b);

/* Inserting part of a string at a given position */
string_init_cstr(pstr_str4a, "Good ");
string_init_cstr(pstr_str4b, "Bye Bye Baby");

printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str4a));
string_insert_substring(pstr_str4a, 5, pstr_str4b, 8, 4);
printf("The string with part of a string inserted at position 5 is \"%s\".\n",
       string_c_str(pstr_str4a));

string_destroy(pstr_str4a);
string_destroy(pstr_str4b);

/* Inserting a c-string at a given position */
string_init_cstr(pstr_str5a, "way");

printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str5a));
string_insert_cstr(pstr_str5a, 0, "a");
printf("The string with a c-string inserted at position 0 is \"%s\".\n",
       string_c_str(pstr_str5a));

string_destroy(pstr_str5a);

/* Inserting part of a c-string at a given position */
string_init_cstr(pstr_str6a, "Good");

printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str6a));
string_insert_subcstr(pstr_str6a, 4, "Bye Bye Baby", 3);
printf("The string with part of a c-string inserted at position 4 is \"%s\".\n",
       string_c_str(pstr_str6a));

string_destroy(pstr_str6a);

/* Inserting a number of characters at a given position */
string_init_cstr(pstr_str7a, "The number is: .");

printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str7a));
string_insert_char(pstr_str7a, 15, 3, '3');
printf("The string with a number of characters inserted at position 15

```

```

is \"%s\\\".\\n\",
    string_c_str(pstr_str7a));

string_destroy(pstr_str7a);

/* Inserting a range at a specified position in the string */
string_init_cstr(pstr_str8a, "ABCDHIJ");
string_init_cstr(pstr_str8b, "abcdefgh");

printf("The original string is \"%s\\\".\\n\", string_c_str(pstr_str8a));
string_insert_range(pstr_str8a, iterator_next_n(string_begin(pstr_str8a), 4),
    iterator_next_n(string_begin(pstr_str8b), 4),
    iterator_prev(string_end(pstr_str8b)));
printf("The string with a range inserted at specified position is \"%s\\\".\\n\",
    string_c_str(pstr_str8a));

string_destroy(pstr_str8a);
string_destroy(pstr_str8b);

return 0;
}

```

● Output

```

The original string is "ABCDEF".
The string with a character inserted is "ABCDeEF".
The original string is "ABCDHIJ".
The string with a number of characters inserted is "ABCDeeeHIJ".
The original string is "Bye".
The string with a string inserted at position 0 is "GoodBye".
The original string is "Good ".
The string with part of a string inserted at position 5 is "Good Baby".
The original string is "way".
The string with a c-string inserted at position 0 is "away".
The original string is "Good".
The string with part of a c-string inserted at position 4 is "GoodBye".
The original string is "The number is: .".
The string with a number of characters inserted at position 15 is "The number is:
333.".
The original string is "ABCDHIJ".
The string with a range inserted at specified position is "ABCDefgHIJ".

```

29. string_length

获得 string_t 类型的长度。

```

size_t string_length(
    const string_t* cpstr_string
);

```

● Parameters

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。

● Remarks

这个操作函数与 string_size() 功能相同。

● Requirements

头文件 <cstdlib/cstring.h>。

● Example

```
/*
 * string_length.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1 = create_string();

    if(pstr_str1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    string_init_cstr(pstr_str1, "Hello world");

    printf("The original string str1 is \"%s\".\n",
        string_c_str(pstr_str1));
    printf("The current size of original string str1 is %d.\n",
        string_size(pstr_str1));
    printf("The current length of original string str1 is %d.\n",
        string_length(pstr_str1));
    printf("The capacity of original string str1 is %d.\n",
        string_capacity(pstr_str1));
    printf("The max_size of original string str1 is %u.\n",
        string_max_size(pstr_str1));

    string_erase_substring(pstr_str1, 6, 5);
    printf("The modified string str1 is \"%s\".\n",
        string_c_str(pstr_str1));
    printf("The current size of modified string str1 is %d.\n",
        string_size(pstr_str1));
    printf("The current length of modified string str1 is %d.\n",
        string_length(pstr_str1));
    printf("The capacity of modified string str1 is %d.\n",
        string_capacity(pstr_str1));
    printf("The max_size of modified string str1 is %u.\n",
        string_max_size(pstr_str1));

    string_destroy(pstr_str1);

    return 0;
}
```


● Output

```
The original string str1 is "Hello world".
The current size of original string str1 is 11.
The current length of original string str1 is 11.
The capacity of original string str1 is 21.
The max_size of original string str1 is 4294967294.
The modified string str1 is "Hello ".
The current size of modified string str1 is 6.
The current length of modified string str1 is 6.
The capacity of modified string str1 is 21.
The max_size of modified string str1 is 4294967294.
```

30. string_less string_less_cstr

测试第一个 string_t 是否小于第二个字符串。

```
bool_t string_less(
    const string_t* cpstr_string,
    const string_t* cpstr_less
);

bool_t string_less_cstr(
    const string_t* cpstr_string,
    const char* s_cstr
);
```

● Parameters

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。
cpstr_less: 指向被比较的 string_t 类型的指针。
s_cstr: 被比较的 C 字符串。

● Remarks

第一个 string_t 小于第二个字符串返回 true，否则返回 false。

● Requirements

头文件 <cstl/cstring.h>。

● Example

```
/*
 * string_less.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1a = create_string();
    string_t* pstr_str1b = create_string();
    string_t* pstr_str2a = create_string();

    if(pstr_str1a == NULL || pstr_str1b == NULL || pstr_str2a == NULL)
    {
```

```

        return -1;
    }

    /* Comparision between string and string */
    string_init_cstr(pstr_str1a, "strict");
    string_init_cstr(pstr_str1b, "strum");

    printf("The string str1a = \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1a));
    printf("The string str1b = \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1b));
    if(string_less(pstr_str1a, pstr_str1b))
    {
        printf("The string str1a is less than the string str1b.\n");
    }
    else
    {
        printf("The string str1a is not less than the string str1b.\n");
    }

    string_destroy(pstr_str1a);
    string_destroy(pstr_str1b);

    /* Comparision between string and c-string */
    string_init_cstr(pstr_str2a, "strict");

    printf("The string str2a = \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2a));
    printf("The c-string = \"%s\".\n", "strict");
    if(string_less_cstr(pstr_str2a, "strict"))
    {
        printf("The string str2a is less than the c-string.\n");
    }
    else
    {
        printf("The string str2a is not less than the c-string.\n");
    }

    string_destroy(pstr_str2a);

    return 0;
}

```

● Output

```

The string str1a = "strict".
The string str1b = "strum".
The string str1a is less than the string str1b.
The string str2a = "strict".
The c-string = "strict".
The string str2a is not less than the c-string.

```

31. string_less_equal string_less_equal_cstr

测试第一个 string_t 是否小于等于第二个字符串。

```
bool_t string_less_equal(
    const string_t* cpstr_string,
    const string_t* cpstr_less
);

bool_t string_less_equal_cstr(
    const string_t* cpstr_string,
    const char* s_cstr
);
```

● Parameters

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。
cpstr_less: 指向被比较的 string_t 类型的指针。
s_cstr: 被比较的 C 字符串。

● Remarks

第一个 string_t 小于第二个字符串返回 true，否则返回 false。

● Requirements

头文件 <cstl/cstring.h>。

● Example

```
/*
 * string_less_equal.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1a = create_string();
    string_t* pstr_str1b = create_string();
    string_t* pstr_str2a = create_string();

    if(pstr_str1a == NULL || pstr_str1b == NULL || pstr_str2a == NULL)
    {
        return -1;
    }

    /* Comparision between string and string */
    string_init_cstr(pstr_str1a, "strict");
    string_init_cstr(pstr_str1b, "strum");

    printf("The string str1a = \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1a));
    printf("The string str1b = \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1b));
    if(string_less_equal(pstr_str1a, pstr_str1b))
    {
        printf("The string str1a is less than or equal to the string str1b.\n");
    }
    else
```

```

{
    printf("The string str1a is greater than the string str1b.\n");
}

string_destroy(pstr_str1a);
string_destroy(pstr_str1b);

/* Comparision between string and c-string */
string_init_cstr(pstr_str2a, "strict");

printf("The string str2a = \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2a));
printf("The c-string = \"%s\".\n", "strict");
if(string_less_equal_cstr(pstr_str2a, "strict"))
{
    printf("The string str2a is less than or equal to the c-string.\n");
}
else
{
    printf("The string str2a is greater than the c-string.\n");
}

string_destroy(pstr_str2a);

return 0;
}

```

● Output

```

The string str1a = "strict".
The string str1b = "strum".
The string str1a is less than or equal to the string str1b.
The string str2a = "strict".
The c-string = "strict".
The string str2a is less than or equal to the c-string.

```

32. string_max_size

返回 string_t 能够保存字符数量的最大值。

```

size_t string_max_size(
    const string_t* cpstr_string
);

```

● Parameters

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/cstring.h>。

● Example

```

/*
 * string_max_size.c
 * compile with : -lcstl

```

```

*/

#include <stdio.h>
#include <cstdlib/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1 = create_string();

    if(pstr_str1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    string_init_cstr(pstr_str1, "Hello world");

    printf("The original string str1 is \"%s\".\n",
        string_c_str(pstr_str1));
    printf("The current size of original string str1 is %d.\n",
        string_size(pstr_str1));
    printf("The current length of original string str1 is %d.\n",
        string_length(pstr_str1));
    printf("The capacity of original string str1 is %d.\n",
        string_capacity(pstr_str1));
    printf("The max_size of original string str1 is %u.\n",
        string_max_size(pstr_str1));

    string_erase_substring(pstr_str1, 6, 5);
    printf("The modified string str1 is \"%s\".\n",
        string_c_str(pstr_str1));
    printf("The current size of modified string str1 is %d.\n",
        string_size(pstr_str1));
    printf("The current length of modified string str1 is %d.\n",
        string_length(pstr_str1));
    printf("The capacity of modified string str1 is %d.\n",
        string_capacity(pstr_str1));
    printf("The max_size of modified string str1 is %u.\n",
        string_max_size(pstr_str1));

    string_destroy(pstr_str1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The original string str1 is "Hello world".
The current size of original string str1 is 11.
The current length of original string str1 is 11.
The capacity of original string str1 is 21.
The max_size of original string str1 is 4294967294.
The modified string str1 is "Hello ".
The current size of modified string str1 is 6.
The current length of modified string str1 is 6.

```

```
The capacity of modified string str1 is 21.  
The max_size of modified string str1 is 4294967294.
```

33. string_not_equal string_not_equal_cstr

测试 string_t 与另一个字符串是否不等。

```
bool_t string_not_equal(  
    const string_t* cpstr_string,  
    const string_t* cpstr_equal  
);  
  
bool_t string_not_equal_cstr(  
    const string_t* cpstr_string,  
    const char* s_cstr  
);
```

- **Parameters**

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。
cpstr_equal: 指向被比较的 string_t 类型的指针。
s_cstr: 被比较的 C 字符串。

- **Remarks**

两个字符串不等返回 true，否则返回 false。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cstring.h>。

- **Example**

```
/*  
 * string_not_equal.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cstring.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    string_t* pstr_str1a = create_string();  
    string_t* pstr_str1b = create_string();  
    string_t* pstr_str2a = create_string();  
  
    if(pstr_str1a == NULL || pstr_str1b == NULL || pstr_str2a == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    /* Comparsion between string and string */  
    string_init_cstr(pstr_str1a, "pluck");  
    string_init_cstr(pstr_str1b, "strum");  
  
    printf("The string str1a = \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1a));
```

```

printf("The string str1b = \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1b));
if(string_not_equal(pstr_str1a, pstr_str1b))
{
    printf("The strings str1a and str1b are not equal.\n");
}
else
{
    printf("The strings str1a and str1b are equal.\n");
}

string_destroy(pstr_str1a);
string_destroy(pstr_str1b);

/* Comparision between string and c-string */
string_init_cstr(pstr_str2a, "pluck");

printf("The string str2a = \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2a));
printf("The c-string = \"%s\".\n", "pluck");
if(string_not_equal_cstr(pstr_str2a, "pluck"))
{
    printf("The strings str2a and c-string are not equal.\n");
}
else
{
    printf("The strings str2a and c-string are equal.\n");
}

string_destroy(pstr_str2a);

return 0;
}

```

● Output

```

The string str1a = "pluck".
The string str1b = "strum".
The strings str1a and str1b are not equal.
The string str2a = "pluck".
The c-string = "pluck".
The strings str2a and c-string are equal.

```

34. string_output

将 string t 中的内容输出到流中。

```

void string_output(
    const string_t* cpstr_string,
    FILE* fp_stream
);

```

● Parameters

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。
fp_stream: 指向获取数据的流。

- **Requirements**

头文件 <cstring.h>。

- **Example**

```
/*
 * string_output.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1 = create_string();

    if(pstr_str1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    string_init_cstr(pstr_str1, "Hello! This is the insertion operator.");

    string_output(pstr_str1, stdout);
    printf("\n");

    string_destroy(pstr_str1);

    return 0;
}
```

- **Output**

```
Hello! This is the insertion operator.
```

35. string_push_back

向 string_t 末尾添加一个字符。

```
void string_push_back(
    string_t* pstr_string,
    char c_char
);
```

- **Parameters**

pstr_string: 指向 string_t 类型的指针。

c_char: 被添加的字符。

- **Requirements**

头文件 <cstring.h>。

- **Example**


```

/*
 * string_push_back.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1 = create_string();

    if(pstr_str1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    string_init_cstr(pstr_str1, "abc");

    printf("The original string str1 is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));

    string_push_back(pstr_str1, 'd');
    printf("The last chatacter of the modified string str1 is now '%c'.\n",
        *(char*)iterator_get_pointer(iterator_prev(string_end(pstr_str1))));

    printf("The modified string str1 is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));

    string_destroy(pstr_str1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The original string str1 is "abc".
The last chatacter of the modified string str1 is now 'd'.
The modified string str1 is "abcd".

```

36. string_range_replace string_range_replace_char string_range_replace_cstr string_range_replace_subcstr string_range_replace_substring string_replace string_replace_char string_replace_cstr string_replace_range string_replace_subcstr string_replace_substring

替换 string_t 中的指定子串。

```

void string_range_replace(
    string_t* pstr_string,
    string_iterator_t it_begin,
    string_iterator_t it_end,
    const string_t* cpstr_replace
);

void string_range_replace_char(
    string_t* pstr_string,

```

```

        string_iterator_t it_begin,
        string_iterator_t it_end,
        size_t t_count,
        char c_char
    );

void string_range_replace_cstr(
    string_t* pstr_string,
    string_iterator_t it_begin,
    string_iterator_t it_end,
    const char* s_cstr
);

void string_range_replace_subcstr(
    string_t* pstr_string,
    string_iterator_t it_begin,
    string_iterator_t it_end,
    const char* s_cstr,
    size_t t_length
);

void string_range_replace_substring(
    string_t* pstr_string,
    string_iterator_t it_begin,
    string_iterator_t it_end,
    const string_t* cpstr_replace,
    size_t t_position,
    size_t t_length
);

void string_replace(
    string_t* pstr_string,
    size_t t_pos,
    size_t t_len,
    const string_t* cpstr_replace
);

void string_replace_char(
    string_t* pstr_string,
    size_t t_pos,
    size_t t_len,
    size_t t_count,
    char c_char
);

void string_replace_cstr(
    string_t* pstr_string,
    size_t t_pos,
    size_t t_len,
    const char* s_cstr
);

void string_replace_range(

```

```

    string_t* pstr_string,
    string_iterator_t it_begin,
    string_iterator_t it_end,
    string_iterator_t it_first,
    string_iterator_t it_last
);

void string_replace_subcstr(
    string_t* pstr_string,
    size_t t_pos,
    size_t t_len,
    const char* s_cstr,
    size_t t_length
);

void string_replace_substring(
    string_t* pstr_string,
    size_t t_pos,
    size_t t_len,
    const string_t* cpstr_replace,
    size_t t_position,
    size_t t_length
);

```

● Parameters

- pstr_string:** 指向 string_t 类型的指针。
- it_begin:** 被替换的数据区间的开始。
- it_end:** 被替换的数据区间的末尾。
- cpstr_replace:** 指向替换的 string_t 类型的指针。
- t_count:** 替换的字符个数。
- c_char:** 替换的字符。
- s_cstr:** 替换的 C 字符串。
- t_length:** 替换的子串的长度。
- t_position:** 替换的子串的开始位置。
- t_pos:** 被替换的子串的开始位置。
- t_len:** 被替换的子串的长度。
- it_first:** 替换的数据区间的开始。
- it_last:** 替换的数据区间的末尾。

● Requirements

头文件 <cstl/cstring.h>。

● Example

```

/*
 * string_replace.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])

```

```

{
    string_t* pstr_str1a = create_string();
    string_t* pstr_str1b = create_string();
    string_t* pstr_str2a = create_string();
    string_t* pstr_str2b = create_string();
    string_t* pstr_str3a = create_string();
    string_t* pstr_str4a = create_string();
    string_t* pstr_str5a = create_string();
    string_t* pstr_str6a = create_string();
    string_t* pstr_str6b = create_string();
    string_t* pstr_str7a = create_string();
    string_t* pstr_str7b = create_string();
    string_t* pstr_str8a = create_string();
    string_t* pstr_str9a = create_string();
    string_t* pstr_str10a = create_string();
    string_t* pstr_str11a = create_string();
    string_t* pstr_str11b = create_string();

    if(pstr_str1a == NULL || pstr_str1b == NULL ||
        pstr_str2a == NULL || pstr_str2b == NULL ||
        pstr_str3a == NULL || pstr_str4a == NULL ||
        pstr_str5a == NULL || pstr_str6a == NULL ||
        pstr_str6b == NULL || pstr_str7a == NULL ||
        pstr_str7b == NULL || pstr_str8a == NULL ||
        pstr_str9a == NULL || pstr_str10a == NULL ||
        pstr_str11a == NULL || pstr_str11b == NULL)
    {
        return -1;
    }

    /* Replace part of the string with characters from a string */
    string_init_cstr(pstr_str1a, "AAAAAAA");
    string_init_cstr(pstr_str1b, "BBB");

    printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1a));
    printf("The replace string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1b));
    string_replace(pstr_str1a, 1, 3, pstr_str1b);
    printf("The result string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1a));

    string_destroy(pstr_str1a);
    string_destroy(pstr_str1b);

    /* Replace part of the string with characters from part of a string */
    string_init_cstr(pstr_str2a, "AAAAAAA");
    string_init_cstr(pstr_str2b, "BBB");

    printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2a));
    printf("The replace string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2b));
    string_replace_substring(pstr_str2a, 1, 3, pstr_str2b, 1, 2);
    printf("The result string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2a));
}

```

```

string_destroy(pstr_str2a);
string_destroy(pstr_str2b);

/* Replace part of the string with characters from a c-string */
string_init_cstr(pstr_str3a, "AAAAAAA");

printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str3a));
printf("The replace string is \"%s\".\n", "CCC");
string_replace_cstr(pstr_str3a, 5, 3, "CCC");
printf("The result string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str3a));

string_destroy(pstr_str3a);

/* Replace part of the string with characters from part of a c-string */
string_init_cstr(pstr_str4a, "AAAAAAA");

printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str4a));
printf("The replace string is \"%s\".\n", "CCC");
string_replace_subcstr(pstr_str4a, 4, 3, "CCC", 1);
printf("The result string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str4a));

string_destroy(pstr_str4a);

/* Replace part of the string with characters */
string_init_cstr(pstr_str5a, "AAAAAAA");

printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str5a));
printf("The replace character is '%c'.\n", 'C');
string_replace_char(pstr_str5a, 1, 3, 4, 'C');
printf("The result string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str5a));

string_destroy(pstr_str5a);

/* Replace part of the string, delineated with iterator,
   with characters from a string */
string_init_cstr(pstr_str6a, "AAAAAAA");
string_init_cstr(pstr_str6b, "BBB");

printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str6a));
printf("The replace string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str6b));
string_range_replace(pstr_str6a, string_begin(pstr_str6a),
    iterator_next_n(string_begin(pstr_str6a), 3), pstr_str6b);
printf("The result string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str6a));

string_destroy(pstr_str6a);
string_destroy(pstr_str6b);

/* Replace part of the string, delineated with iterator,
   with characters from part of a string */
string_init_cstr(pstr_str7a, "AAAAAAA");
string_init_cstr(pstr_str7b, "BBB");

```

```

printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str7a));
printf("The replace string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str7b));
string_range_replace_substring(pstr_str7a, string_begin(pstr_str7a),
    iterator_next_n(string_begin(pstr_str7a), 3), pstr_str7b, 1, 2);
printf("The result string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str7a));

string_destroy(pstr_str7a);
string_destroy(pstr_str7b);

/* Replace part of the string, delineated with iterator,
   with characters from a c-string */
string_init_cstr(pstr_str8a, "AAAAAAA");

printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str8a));
printf("The replace string is \"%s\".\n", "CCC");
string_range_replace_cstr(pstr_str8a,
    iterator_next_n(string_begin(pstr_str8a), 5),
    string_end(pstr_str8a), "CCC");
printf("The result string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str8a));

string_destroy(pstr_str8a);

/* Replace part of the string, delineated with iterator,
   with characters from part of a c-string */
string_init_cstr(pstr_str9a, "AAAAAAA");

printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str9a));
printf("The replace string is \"%s\".\n", "CCC");
string_range_replace_subcstr(pstr_str9a,
    iterator_next_n(string_begin(pstr_str9a), 4),
    iterator_next_n(string_begin(pstr_str9a), 7), "CCC", 1);
printf("The result string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str9a));

string_destroy(pstr_str9a);

/* Replace part of the string, delineated with iterator, with characters */
string_init_cstr(pstr_str10a, "AAAAAAA");

printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str10a));
printf("The replace character is '%c'.\n", 'C');
string_range_replace_char(pstr_str10a, iterator_next(string_begin(pstr_str10a)),
    iterator_next_n(string_begin(pstr_str10a), 4), 4, 'C');
printf("The result string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str10a));

string_destroy(pstr_str10a);

/*
 * Replace part of the string, delineated with iterators,
 * with characters from a string delineated with iterators.
 */
string_init_cstr(pstr_str11a, "OOOOOOOO");

```

```

string_init_cstr(pstr_str11b, "PPPP");

printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str11a));
printf("The replace string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str11b));
string_replace_range(pstr_str11a, iterator_next(string_begin(pstr_str11a)),
    iterator_next_n(string_begin(pstr_str11a), 3), string_begin(pstr_str11b),
    iterator_next_n(string_begin(pstr_str11b), 2));
printf("The result string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str11a));

string_destroy(pstr_str11a);
string_destroy(pstr_str11b);

return 0;
}

```

● Output

```

The original string is "AAAAAAAA".
The replace string is "BBB".
The result string is "ABBBAAAA".
The original string is "AAAAAAAA".
The replace string is "BBB".
The result string is "ABBBAAAA".
The original string is "AAAAAAAA".
The replace string is "CCC".
The result string is "AAAAACCC".
The original string is "AAAAAAAA".
The replace string is "CCC".
The result string is "AAAACA".
The original string is "AAAAAAAA".
The replace character is 'C'.
The result string is "ACCCCAAAA".
The original string is "AAAAAAAA".
The replace string is "BBB".
The result string is "BBBAAAAA".
The original string is "AAAAAAAA".
The replace string is "BBB".
The result string is "BBBAAAAA".
The original string is "AAAAAAAA".
The replace string is "CCC".
The result string is "AAAAACCC".
The original string is "AAAAAAAA".
The replace string is "CCC".
The result string is "AAAACA".
The original string is "AAAAAAAA".
The replace character is 'C'.
The result string is "ACCCCAAAA".
The original string is "OOOOOOOO".
The replace string is "PPPP".
The result string is "OPPOOOOO".

```

37. string_reserve

重新设置 string_t 的容量。

```

void string_reserve(
    string_t* pstr_string,

```

```
    size_t t_reserveize  
);
```

- **Parameters**

pstr_string: 指向 `string_t` 类型的指针。
t_reserveize: 新容量值。

- **Remarks**

容量不会减少。

- **Requirements**

头文件 `<cstl/cstring.h>`。

- **Example**

```
/*  
 * string_reserve.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cstring.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    string_t* pstr_str1 = create_string();  
  
    if(pstr_str1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    string_init_cstr(pstr_str1, "Hello world");  
  
    printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));  
    printf("The current size of original string is %u.\n",  
        string_size(pstr_str1));  
    printf("The capacity of original string is %u.\n",  
        string_capacity(pstr_str1));  
  
    string_reserve(pstr_str1, 40);  
    printf("The string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));  
    printf("The current size of original string is %u.\n",  
        string_size(pstr_str1));  
    printf("The new capacity of original string is %u.\n",  
        string_capacity(pstr_str1));  
  
    string_reserve(pstr_str1, 0);  
    printf("The string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));  
    printf("The current size of original string is %u.\n",  
        string_size(pstr_str1));  
    printf("The new capacity of original string is %u.\n",  
        string_capacity(pstr_str1));  
}
```



```

    string_destroy(pstr_str1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The original string is "Hello world".
The current size of original string is 11.
The capacity of original string is 21.
The string is "Hello world".
The current size of original string is 11.
The new capacity of original string is 40.
The string is "Hello world".
The current size of original string is 11.
The new capacity of original string is 40.

```

38. string_resize

重新设置 string_t 中字符的个数。

```

void string_resize(
    string_t* pstr_string,
    size_t t_resize,
    char c_char
);

```

● Parameters

pstr_string: 指向 string_t 类型的指针。
t_resize: 新字符个数值。
c_char: 填充字符。

● Remarks

当字符个数增长时使用指定的字符填充。

● Requirements

头文件 <cstl/cstring.h>。

● Example

```

/*
 * string_resize.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1 = create_string();

    if(pstr_str1 == NULL)
    {

```

```

        return -1;
    }

    string_init_cstr(pstr_str1, "Hello world");

    printf("The original string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));
    printf("The current size of string is %u.\n", string_size(pstr_str1));
    printf("The capacity of original string is %u.\n", string_capacity(pstr_str1));

    string_resize(pstr_str1, string_size(pstr_str1) + 2, '!');
    printf("The resized string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));
    printf("The current size of string is %u.\n", string_size(pstr_str1));
    printf("The capacity of original string is %u.\n", string_capacity(pstr_str1));

    string_resize(pstr_str1, string_size(pstr_str1) + 20, 'x');
    printf("The resized string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));
    printf("The current size of string is %u.\n", string_size(pstr_str1));
    printf("The capacity of original string is %u.\n", string_capacity(pstr_str1));

    string_resize(pstr_str1, string_size(pstr_str1) - 28, 'o');
    printf("The resized string is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));
    printf("The current size of string is %u.\n", string_size(pstr_str1));
    printf("The capacity of original string is %u.\n", string_capacity(pstr_str1));

    string_destroy(pstr_str1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The original string is "Hello world".
The current size of string is 11.
The capacity of original string is 21.
The resized string is "Hello world!!".
The current size of string is 13.
The capacity of original string is 21.
The resized string is "Hello world!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!".
The current size of string is 33.
The capacity of original string is 52.
The resized string is "Hello".
The current size of string is 5.
The capacity of original string is 52.

```

39. string_rfind string_rfind_char string_rfind_cstr string_rfind_substr

从 string_t 指定的位置向前查找字符串最后一次出现的位置。

```

size_t string_rfind(
    const string_t* cpstr_string,
    const string_t* cpstr_find,
    size_t t_pos
);

```

```

size_t string_rfind_char(
    const string_t* cpstr_string,
    char c_char,
    size_t t_pos
);

size_t string_rfind_cstr(
    const string_t* cpstr_string,
    const char* s_cstr,
    size_t t_pos
);

size_t string_rfind_subcstr(
    const string_t* cpstr_string,
    const char* s_cstr,
    size_t t_pos,
    size_t t_len
);

```

● Parameters

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。
cpstr_find: 指向被查找的 string_t 类型的指针。
t_pos: 子串的开始位置。
c_char: 被查找的字符。
s_cstr: 被查找的 C 字符串。
t_len: 被查找的 C 子字符串的长度。

● Remarks

返回被查找的字符串最后一次出现的位置，如果没有这样的字符串就返回 NPOS。

● Requirements

头文件 <cstl/cstring.h>。

● Example

```

/*
 * string_rfind.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1a = create_string();
    string_t* pstr_str1b = create_string();
    string_t* pstr_str2a = create_string();
    string_t* pstr_str3a = create_string();
    string_t* pstr_str4a = create_string();
    size_t t_pos = 0;

    if(pstr_str1a == NULL || pstr_str1b == NULL ||

```

```

    pstr_str2a == NULL || pstr_str3a == NULL ||
    pstr_str4a == NULL)
{
    return -1;
}

/* searching a string for a substring as specified by a string */
string_init_cstr(pstr_str1a, "clearly this perfectly unclear.");
string_init_cstr(pstr_str1b, "clear");

printf("The original string str1a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1a));
t_pos = string_rfind(pstr_str1a, pstr_str1b, NPOS);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the first element of \"clear\" "
           "in str1a is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("the substring \"clear\" was not found in str1a.\n");
}

t_pos = string_rfind(pstr_str1a, pstr_str1b, 5);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the first element of \"clear\" "
           "after the 5th position in str1a is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("the substring \"clear\" was not found in str1a.\n");
}

string_destroy(pstr_str1a);
string_destroy(pstr_str1b);

/* searching a string for a substring as specified by a c-string */
string_init_cstr(pstr_str2a, "This is a sample string for this program.");

printf("The original string str2a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2a));
t_pos = string_rfind_cstr(pstr_str2a, "sample", NPOS);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the first element of \"sample\" "
           "in str2a is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("the substring \"sample\" was not found in str2a.\n");
}

```

```

t_pos = string_rfind_cstr(pstr_str2a, "programming", NPOS);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the first element of \"programming\" "
           "in str2a is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("the substring \"programming\" was not found in str2a.\n");
}

string_destroy(pstr_str2a);

/* searching a string for a substring as specified by part of a c-string */
string_init_cstr(pstr_str3a, "Let me make this perfectly clear.");

printf("The original string str3a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str3a));
t_pos = string_rfind_subcstr(pstr_str3a, "this for you", NPOS, 4);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the first element of \"this\" "
           "in str3a is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("the substring \"this\" was not found in str3a.\n");
}

t_pos = string_rfind_subcstr(pstr_str3a, "this for you", NPOS, NPOS);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the first element of \"this for you\" "
           "in str3a is %u.\n", t_pos);
}
else
{
    printf("the substring \"this for you\" was not found in str3a.\n");
}

string_destroy(pstr_str3a);

/* searching a string for a substring as specified by a single character */
string_init_cstr(pstr_str4a, "Hello Everyone");

printf("The original string str4a is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str4a));
t_pos = string_rfind_char(pstr_str4a, 'e', 3);
if(t_pos != NPOS)
{
    printf("The index of the first element of 'e' "
           "after 3rd in str4a is %u.\n", t_pos);
}

```

```

    }
    else
    {
        printf("the substring 'e' was not found in str4a.\n");
    }

    t_pos = string_rfind_char(pstr_str4a, 'x', NPOS);
    if(t_pos != NPOS)
    {
        printf("The index of the first element of 'x' in str4a is %u.\n", t_pos);
    }
    else
    {
        printf("the substring 'x' was not found in str4a.\n");
    }

    string_destroy(pstr_str4a);

    return 0;
}

```

● Output

The original string str1a is "clearly this perfectly unclear."
 The index of the first element of "clear" in str1a is 25.
 The index of the first element of "clear" after the 5th position in str1a is 0.
 The original string str2a is "This is a sample string for this program."
 The index of the first element of "sample" in str2a is 10.
 the substring "programming" was not found in str2a.
 The original string str3a is "Let me make this perfectly clear."
 The index of the first element of "this" in str3a is 12.
 the substring "this for you" was not found in str3a.
 The original string str4a is "Hello Everyone".
 The index of the first element of 'e' after 3rd in str4a is 1.
 the substring 'x' was not found in str4a.

40. string_size

返回 string_t 中字符的个数。

```

size_t string_size(
    const string_t* cpstr_string
);

```

● Parameters

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。

● Remarks

这个操作函数与 string_length() 功能相同。

● Requirements

头文件 <cstring.h>。

● Example

```

/*
 * string_size.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1 = create_string();

    if(pstr_str1 == NULL)
    {
        return -1;
    }

    string_init_cstr(pstr_str1, "Hello world");

    printf("The original string str1 is \"%s\".\n",
        string_c_str(pstr_str1));
    printf("The current size of original string str1 is %d.\n",
        string_size(pstr_str1));
    printf("The current length of original string str1 is %d.\n",
        string_length(pstr_str1));
    printf("The capacity of original string str1 is %d.\n",
        string_capacity(pstr_str1));
    printf("The max_size of original string str1 is %u.\n",
        string_max_size(pstr_str1));

    string_erase_substring(pstr_str1, 6, 5);
    printf("The modified string str1 is \"%s\".\n",
        string_c_str(pstr_str1));
    printf("The current size of modified string str1 is %d.\n",
        string_size(pstr_str1));
    printf("The current length of modified string str1 is %d.\n",
        string_length(pstr_str1));
    printf("The capacity of modified string str1 is %d.\n",
        string_capacity(pstr_str1));
    printf("The max_size of modified string str1 is %u.\n",
        string_max_size(pstr_str1));

    string_destroy(pstr_str1);

    return 0;
}

```

● Output

```

The original string str1 is "Hello world".
The current size of original string str1 is 11.
The current length of original string str1 is 11.
The capacity of original string str1 is 21.

```

The max_size of original string str1 is 4294967294.
The modified string str1 is "Hello ".
The current size of modified string str1 is 6.
The current length of modified string str1 is 6.
The capacity of modified string str1 is 21.
The max_size of modified string str1 is 4294967294.

41. string_substr

返回 string_t 中指定的子串。

```
string_t* string_substr(  
    const string_t* cpstr_string,  
    size_t t_pos,  
    size_t t_len  
);
```

- **Parameters**

cpstr_string: 指向 string_t 类型的指针。
t_pos: 子串的开始位置。
t_len: 子串的长度。

- **Remarks**

成功返回一个已经初始化的 string_t 类型的指针，否则返回 NULL。用户在使用这个返回的 string_t 的指针是不需要在初始化，但是使用之后要销毁。

- **Requirements**

头文件 <cstl/cstring.h>。

- **Example**

```
/*  
 * string_substr.c  
 * compile with : -lcstl  
 */  
  
#include <stdio.h>  
#include <cstl/cstring.h>  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    string_t* pstr_str1 = create_string();  
    string_t* pstr_sub1 = NULL;  
    string_t* pstr_sub2 = NULL;  
  
    if(pstr_str1 == NULL)  
    {  
        return -1;  
    }  
  
    string_init_cstr(pstr_str1, "Heterological paradoxes are persistent.");  
  
    printf("The original string str1 is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));
```



```

pstr_sub1 = string_substr(pstr_str1, 6, 7);
printf("The substring1 copied is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_sub1));

pstr_sub2 = string_substr(pstr_str1, 0, NPOS);
printf("The substring2 copied is \"%s\".\n", string_c_str(pstr_sub2));

string_destroy(pstr_str1);
string_destroy(pstr_sub1);
string_destroy(pstr_sub2);

return 0;
}

```

● Output

The original string str1 is "Heterological paradoxes are persistent."
The substring1 copied is "logical".
The substring2 copied is "Heterological paradoxes are persistent".

42. string_swap

交换两个 string_t 中的内容。

```

void string_swap(
    string_t* pstr_first,
    string_t* pstr_second
);

```

● Parameters

pstr_first: 指向第一个 string_t 类型的指针。
pstr_second: 指向第二个 string_t 类型的指针。

● Requirements

头文件 <cstl/cstring.h>。

● Example

```

/*
 * string_swap.c
 * compile with : -lcstl
 */

#include <stdio.h>
#include <cstl/cstring.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    string_t* pstr_str1 = create_string();
    string_t* pstr_str2 = create_string();

    if(pstr_str1 == NULL || pstr_str2 == NULL)
    {
        return -1;
    }
}

```

```
string_init_cstr(pstr_str1, "Tweedledee");
string_init_cstr(pstr_str2, "Tweedledum");

printf("Before swapping string str1 and str2:\n");
printf("The str1 = \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));
printf("The str2 = \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2));

string_swap(pstr_str1, pstr_str2);

printf("After swapping string str1 and str2:\n");
printf("The str1 = \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str1));
printf("The str2 = \"%s\".\n", string_c_str(pstr_str2));

string_destroy(pstr_str1);
string_destroy(pstr_str2);

return 0;
}
```

● Output

```
Before swapping string str1 and str2:
The str1 = "Tweedledee".
The str2 = "Tweedledum".
After swapping string str1 and str2:
The str1 = "Tweedledum".
The str2 = "Tweedledee".
```

第七章 附录