

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)

Факультет информационных технологий и прикладной
математики

Кафедра вычислительной математики и программирования

Лабораторная работа №3 по курсу «Дискретный анализ»

Студент: А. В. Семин
Преподаватель: А. А. Кухтичев
Группа: М8О-206Б
Дата:
Оценка:
Подпись:

Москва, 2022

Лабораторная работа №3

Задача: Исследование качества программ.

Для реализации словаря из предыдущей лабораторной работы, необходимо провести исследование скорости выполнения и потребления оперативной памяти. В случае выявления ошибок или явных недочётов, требуется их исправить.

Результатом лабораторной работы является отчёт, состоящий из:

1. Дневника выполнения работы, в котором отражено что и когда делалось, какие средства использовались и какие результаты были достигнуты на каждом шаге выполнения лабораторной работы.
2. Выводов о найденных недочётах.
3. Сравнение работы исправленной программы с предыдущей версией.
4. Общих выводов о выполнении лабораторной работы, полученном опыте.

Минимальный набор используемых средств должен содержать утилиту `gprof` и библиотеку `dmalloc`, однако их можно заменять на любые другие аналогичные или более развитые утилиты (например, `Valgrind` или `Shark`) или добавлять к ним новые (например, `gcov`).

1 Описание

Для анализа работы программы будем использовать утилиты `valgrind`, `gprof` и `perf`.

1. Valgrind

Valgrind предназначен для отладки использования памяти, обнаружения утечек памяти, а также профилирования. Valgrind является по сути виртуальной машиной, использующей методы JIT-компиляции, среди которых – динамическая перекомпиляция. Valgrind транслирует программу во временную, более простую форму, называемую промежуточным представлением и работает с этим представлением. Утечки памяти одни из самых трудных для обнаружения ошибок, потому что они не вызывают никаких внешних проблем, до тех пор, пока у вас не закончится память и вам не удастся вызвать `malloc`. В самом деле, при работе с языками C или C++, которые не имеют сборки мусора, почти половину времени вы можете потратить на правильное освобождение памяти. И даже одна ошибка может дорого обойтись, если ваша программа работает достаточно долго и следует этой ветви кода.

2. Gprof

Gprof – инструмент для анализа производительности UNIX приложений. Gprof вносит в программу дополнительный код на этапе компиляции, для извлечения необходимой информации. Это один из старейших профайлеров, доступных для операционных систем типа UNIX. Он входит в состав пакета `gcc`, и потому может быть использован для профилирования программ, написанных на любом поддерживаемом им языке (а это не только C/C++, но и Objective-C, Ada, Java). Сам по себе `gprof` не является инструментом профилирования, а лишь позволяет отобразить профильную статистику, которая накапливается приложением во время работы (само собой разумеется, по умолчанию никакое приложение этого не делает, но может начать, если собрать программу с аргументом `'-pg'`).

3. Gcov

Gcov — свободно распространяемая утилита для исследования покрытия кода. Gcov генерирует точное количество исполнений для каждого оператора в программе и позволяет добавить аннотации к исходному коду. Gcov поставляется как стандартная утилита в составе пакета GCC.

2 Используемые средства

1. Valgrind

```
a@WIN-THNQL51M105:~/Desktop/DA/lab3/valgr# g++ -Wall -Wextra -g lab2.cpp
-o valgr
a@WIN-THNQL51M105:~/Desktop/DA/lab3/valgr# valgrind ./valgr <test.txt
==4221== Memcheck,a memory error detector
==4221== Copyright (C) 2002-2017,and GNU GPL'd,by Julian Seward et al.
==4221== Using Valgrind-3.15.0 and LibVEX; rerun with -h for copyright
info
==4221== Command: ./valgr
==4221==
OK
Exist
OK
OK: 18446744073709551615
OK: 1
OK
NoSuchWord
==4221==
==4221== HEAP SUMMARY:
==4221==      in use at exit: 122,880 bytes in 6 blocks
==4221==    total heap usage: 15 allocs,9 frees,197,254 bytes allocated
==4221==
==4221== LEAK SUMMARY:
==4221==    definitely lost: 0 bytes in 0 blocks
==4221==    indirectly lost: 0 bytes in 0 blocks
==4221==    possibly lost: 0 bytes in 0 blocks
==4221==    still reachable: 122,880 bytes in 6 blocks
==4221==    suppressed: 0 bytes in 0 blocks
==4221== Rerun with --leak-check=full to see details of leaked memory
==4221==
==4221== For lists of detected and suppressed errors,rerun with: -s
==4221== ERROR SUMMARY: 0 errors from 0 contexts (suppressed: 0 from 0)
```

Из полученных результатов можно увидеть, что явных утечек нет, но достижения утечка в 122,880 байт.

С помощью ключа `--leak-check=full` можно получить больше информации об утечках. Например, можно установить, что причиной возможных утечек яв-

ляются методы `sync` with `stdio`.

2. Gprof

Далее проверка времени выполнения программы с помощью Gprof. Для этого надо скомпилировать программу с флагом -pg.

```
a@WIN-THNQL51M105:~/Desktop/DA/lab3/gprof# g++ -Wall -Wextra -pg benchmark.cpp -o
test_gprof
a@WIN-THNQL51M105:~/Desktop/DA/lab3/gprof# ./test_gprof >/dev/null
a@WIN-THNQL51M105:~/Desktop/DA/lab3/gprof# ls
avl.h  benchmark.cpp  da_lab2.cpp  detail_avl.h  generator.py  gmon.out  main.cpp  makefile
test_gprof  wrapper.sh
a@WIN-THNQL51M105:~/Desktop/DA/lab3/gprof# gprof test_gprof gmon.out >profile-data.txt
a@WIN-THNQL51M105:~/Desktop/DA/lab3/gprof# cat profile-data.txt
Flat profile:
```

Each sample counts as 0.01 seconds.

%	cumulative	self		self	total	
time	seconds	seconds	calls	ms/call	ms/call	name
6.67	0.18	0.18	77585158	0.00	0.00	void std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>::Insert(TAvl<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>::TAvlNode*,std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>::TAvlNode*)
6.67	0.36	0.18	2222008	0.00	0.00	void std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>::Reheight(TAvl<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>::TAvlNode*)
6.30	0.53	0.17	71099550	0.00	0.00	void std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>::TAvlNode*)
5.56	0.68	0.15	2222008	0.00	0.00	std::__Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>>,std::allocator<std::__Rb_tree_node<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>>>::M_get_insert_unique_pos(std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>::S_key(std::__Rb_tree_node<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>>const*)
5.19	0.82	0.14	118732749	0.00	0.00	std::__Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>>,std::allocator<std::__Rb_tree_node<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>>const*)
4.82	0.95	0.13	277633680	0.00	0.00	TAvl<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>::TAvlNode const*)
4.45	1.07	0.12	66215747	0.00	0.00	TAvl<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>::TAvlNode const*)
3.89	1.18	0.11	203662318	0.00	0.00	bool std::operator<<(char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>::TAvlNode const*)
3.71	1.28	0.10	118732749	0.00	0.00	std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>>::M_get_insert_unique_pos(std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>::S_key(std::__Rb_tree_node<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>>const*)

```

3.34      1.37      0.09 1111004      0.00      0.00  TAvl<std::__cxx11::basic_string<char,std::c
long long>::Remove(TAvl<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>
long long>::TAvlNode*,std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>
2.59      1.44      0.07 118732749      0.00      0.00  __gnu_cxx::__aligned_membuf<std::pair<std::
long long>>::M_ptr() const
2.59      1.51      0.07 71099550      0.00      0.00  unsigned long long const& std::max<unsigned
long long>(unsigned long long const&,unsigned long long const&)
2.59      1.58      0.07 67717290      0.00      0.00  TAvl<std::__cxx11::basic_string<char,std::c
long long>::Balance(TAvl<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>
long long>::TAvlNode const*)
2.59      1.65      0.07 1111004      0.00      0.00  TAvl<std::__cxx11::basic_string<char,std::c
long long>::Search(TAvl<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>
long long>::TAvlNode*,std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>
2.22      1.71      0.06 41281958      0.00      0.00  std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<char,
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>
long long>>>::S_left(std::_Rb_tree_node_base*)
2.04      1.76      0.06 49213654      0.00      0.00  bool std::operator><char,std::char_traits<char>
1.85      1.81      0.05 8888032      0.00      0.00  std::__cxx11::basic_string<char,std::char_t
(*) (char*,unsigned long,char const*,__va_list_tag*),unsigned long,char const*,...)
1.85      1.86      0.05 2222008      0.00      0.00  std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<char,
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>
long long>>>::M_lower_bound(std::_Rb_tree_node<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::
long long>>*,std::_Rb_tree_node_base*,std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,st
1.85      1.91      0.05 2111005      0.00      0.00  TAvl<std::__cxx11::basic_string<char,std::c
long long>::TAvlNode::TAvlNode(std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allo
long long)
1.67      1.96      0.05 77585158      0.00      0.00  bool __gnu_cxx::__is_null_pointer<char>(char
1.48      2.00      0.04 65195182      0.00      0.00  std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<char,
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>
long long>>>::S_right(std::_Rb_tree_node_base*)
1.48      2.04      0.04 1111004      0.00      0.00  std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<char,
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>
long long>>>::equal_range(std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator
1.48      2.08      0.04      main
1.30      2.11      0.04 118732749      0.00      0.00  std::_Rb_tree_node<std::pair<std::__cxx11:
long long>>::M_valptr() const
1.30      2.15      0.04 1111004      0.00      0.00  std::map<std::__cxx11::basic_string<char,st
long long>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>
long long>>>::erase(std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>
1.11      2.18      0.03 77585158      0.00      0.00  std::iterator_traits<char*>::difference_typ
std::__distance<char*>(char*,char*,std::random_access_iterator_tag)
1.11      2.21      0.03 77585158      0.00      0.00  std::iterator_traits<char*>::iterator_categ
std::__iterator_category<char*>(char* const&)
1.11      2.24      0.03 8888032      0.00      0.00  std::__cxx11::basic_string<char,std::char_t
1.11      2.27      0.03 8888032      0.00      0.00  std::__cxx11::to_string(int)

```

```

1.11      2.30      0.03 2111005      0.00      0.00 __gnu_cxx::new_allocator<std::_Rb_tree_node
long long>>>::deallocate(std::_Rb_tree_node<std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::char
long long>>*,unsigned long)
0.93      2.32      0.03 118732749      0.00      0.00 std::_Select1st<std::pair<std::_cxx11::ba
long long>>::operator()(std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::a
long long>const&) const
0.74      2.34      0.02 13332048      0.00      0.00 std::chrono::time_point<std::chrono::_V2::s
const
0.74      2.36      0.02 8888032      0.00      0.00 void std::_cxx11::basic_string<char,std::c
0.74      2.38      0.02 6666024      0.00      0.00 std::chrono::duration<long,std::ratio<1l,10
const&)>
0.74      2.40      0.02 2222008      0.00      0.00 TAvl<std::_cxx11::basic_string<char,std::c
long long>::Add(std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>,un
long long)
0.74      2.42      0.02 2222008      0.00      0.00 std::pair<std::_Rb_tree_iterator<std::pair<
long long>>,bool>std::_Rb_tree<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allo
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::M_insert_unique<std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>
long long>>(std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>&&)
0.74      2.44      0.02 2222008      0.00      0.00 int& std::forward<int&>(std::remove_referen
0.74      2.46      0.02 2111005      0.00      0.00 std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,s
long long>::pair(std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocato
long long>&&)
0.74      2.48      0.02 2111005      0.00      0.00 std::_Rb_tree_iterator<std::pair<std::_cxx
long long>>std::_Rb_tree<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::M_insert_<std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::
long long>,std::_Rb_tree<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::Alloc_node>(std::_Rb_tree_node_base*,std::_Rb_tree_node_base*,std::pair<std::_c
long long>&&,std::_Rb_tree<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocato
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::Alloc_node&)
0.74      2.50      0.02 1111004      0.00      0.00 TAvl<std::_cxx11::basic_string<char,std::c
long long>::Delete(std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>
0.74      2.52      0.02 893897      0.00      0.00 TAvl<std::_cxx11::basic_string<char,std::c
long long>::RemoveMin(TAvl<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocato
long long>::TAvlNode*,TAvl<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocato
long long>::TAvlNode*)
0.74      2.54      0.02 726639      0.00      0.00 TAvl<std::_cxx11::basic_string<char,std::c
long long>::RotateRight(TAvl<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::alloca
long long>::TAvlNode*)
0.56      2.56      0.02 77585158      0.00      0.00 std::iterator_traits<char*>::difference_typ
std::distance<char*>(char*,char*)

```

```

0.37      2.57      0.01 118732749      0.00      0.00  __gnu_cxx::__aligned_membuf<std::pair<std:
long long>>::_M_addr() const
0.37      2.58      0.01 19998072      0.00      0.00  std::chrono::duration<long,std::ratio<1l,10
const
0.37      2.59      0.01 8888032      0.00      0.00  void std::__cxx11::basic_string<char,std::c
0.37      2.60      0.01 6666024      0.00      0.00  std::common_type<std::chrono::duration<long
std::chrono::operator-(<std::chrono::_V2::system_clock,std::chrono::duration<long,std::ratio<1l,
0.37      2.61      0.01 6666024      0.00      0.00  std::common_type<std::chrono::duration<long
std::chrono::operator-(<long,std::ratio<1l,1000000000l>,long,std::ratio<1l,1000000000l>>(<std::ch
0.37      2.62      0.01 4222010      0.00      0.00  __gnu_cxx::__aligned_membuf<std::pair<std::
long long>>::_M_addr()
0.37      2.63      0.01 2222008      0.00      0.00  std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,s
long long>::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>,i
0.37      2.64      0.01 2222008      0.00      0.00  std::pair<std::_Rb_tree_iterator<std::pair<
long long>>,bool>::pair<std::_Rb_tree_iterator<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::c
long long>>,bool,true>(<std::_Rb_tree_iterator<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::ch
long long>>&&,bool&&)
0.37      2.65      0.01 2222008      0.00      0.00  std::remove_reference<std::pair<std::__cxx1
long long>&>::type&& std::move<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>
long long>&>(<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<ch
long long>&)
0.37      2.66      0.01 2222008      0.00      0.00  std::__cxx11::basic_string<char,std::char_t
std::forward<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>>(<std:
0.37      2.67      0.01 2111005      0.00      0.00  TAvl<std::__cxx11::basic_string<char,std::c
long long>::TAvlNode::~~TAvlNode()
0.37      2.68      0.01 2111005      0.00      0.00  std::_Rb_tree_node<std::pair<std::__cxx11:
long long>>* std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocato
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::_Alloc_node::operator()(<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_trait
long long>>(<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>&&) const
0.37      2.69      0.01 2111005      0.00      0.00  std::allocator_traits<std::allocator<std::_
long long>>>::deallocate(std::allocator<std::_Rb_tree_node<std::pair<std::__cxx11::basic_strin
long long>>&,std::_Rb_tree_node<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<cha
long long>>*,unsigned long)
0.37      2.70      0.01 2007373      0.00      0.00  TAvl<std::__cxx11::basic_string<char,std::c
long long>::RotateLeft(TAvl<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocat
long long>::TAvlNode*)
0.00      2.70      0.00 14777035      0.00      0.00  std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,s
long long>&& std::forward<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std:
long long>>(<std::remove_reference<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<ch
long long>>::type&)
0.00      2.70      0.00 10405436      0.00      0.00  std::_Rb_tree_iterator<std::pair<std::__cx
long long>>::_Rb_tree_iterator(std::_Rb_tree_node_base*)
0.00      2.70      0.00 8444020      0.00      0.00  std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<ch
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::_M_get_Node_allocator()

```



```

0.00      2.70      0.00 6666024      0.00      0.00 std::chrono::duration<long,std::ratio<1l,10
const
0.00      2.70      0.00 6666024      0.00      0.00 std::enable_if<std::chrono::__is_duration<std::
std::chrono::duration_cast<std::chrono::duration<long,std::ratio<1l,1000000l>>,long,std::ratio<
0.00      2.70      0.00 6666024      0.00      0.00 std::chrono::duration<long,std::ratio<1l,10
0.00      2.70      0.00 6666024      0.00      0.00 std::chrono::duration<long,std::ratio<1l,10
const&)>
0.00      2.70      0.00 6555021      0.00      0.00 std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<ch
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::_M_end()
0.00      2.70      0.00 5444011      0.00      0.00 std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<ch
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::_S_key(std::_Rb_tree_node_base const*)
0.00      2.70      0.00 5337913      0.00      0.00 std::remove_reference<std::__cxx11::basic_s
std::move<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>&>(std::_
0.00      2.70      0.00 4444017      0.00      0.00 std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<ch
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::_M_begin()
0.00      2.70      0.00 4444016      0.00      0.00 std::_Rb_tree_iterator<std::pair<std::__cxx
long long>>&& std::forward<std::_Rb_tree_iterator<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std
long long>>>(std::remove_reference<std::_Rb_tree_iterator<std::pair<std::__cxx11::basic_string<
long long>>>::type&&)
0.00      2.70      0.00 4333013      0.00      0.00 std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,s
long long>::~~pair()
0.00      2.70      0.00 4333012      0.00      0.00 std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::bas
long long>>::operator()(std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::a
long long>&) const
0.00      2.70      0.00 4222010      0.00      0.00 __gnu_cxx::__aligned_membuf<std::pair<std::
long long>>::_M_ptr()
0.00      2.70      0.00 4222010      0.00      0.00 std::_Rb_tree_node<std::pair<std::__cxx11::
long long>>::_M_valptr()
0.00      2.70      0.00 4222010      0.00      0.00 operator new(unsigned long,void*)
0.00      2.70      0.00 3333016      0.00      0.00 std::_Rb_tree_const_iterator<std::pair<std:
long long>>::_Rb_tree_const_iterator(std::_Rb_tree_iterator<std::pair<std::__cxx11::basic_strin
long long>>>const&)
0.00      2.70      0.00 2222008      0.00      0.00 std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<ch
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::size() const
0.00      2.70      0.00 2222008      0.00      0.00 std::map<std::__cxx11::basic_string<char,st
long long>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>
long long>>>::insert(std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allo
long long>&&)
0.00      2.70      0.00 2222008      0.00      0.00 std::_Rb_tree_node_base*& std::forward<std:
0.00      2.70      0.00 2222008      0.00      0.00 bool&& std::forward<bool>(std::remove_refer
0.00      2.70      0.00 2222008      0.00      0.00 std::operator!=(std::_Rb_tree_const_iterato

```

```

long long>>>const&,std::_Rb_tree_const_iterator<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::c
long long>>>const&)
0.00      2.70      0.00 2111005      0.00      0.00 void __gnu_cxx::new_allocator<std::_Rb_tree
long long>>>::~destroy<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::all
long long>>>(std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>*)
0.00      2.70      0.00 2111005      0.00      0.00 __gnu_cxx::new_allocator<std::_Rb_tree_node
long long>>>::allocate(unsigned long,void const*)
0.00      2.70      0.00 2111005      0.00      0.00 void __gnu_cxx::new_allocator<std::_Rb_tree
long long>>>::construct<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::a
long long>,std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char
long long>>>(std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>*,std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>&&)
0.00      2.70      0.00 2111005      0.00      0.00 __gnu_cxx::new_allocator<std::_Rb_tree_node
long long>>>::max_size() const
0.00      2.70      0.00 2111005      0.00      0.00 void std::allocator_traits<std::allocator<s
long long>>>::~destroy<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::al
long long>>>(std::allocator<std::_Rb_tree_node<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::ch
long long>>>&,std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<c
long long>>*)
0.00      2.70      0.00 2111005      0.00      0.00 std::allocator_traits<std::allocator<std::_
long long>>>::allocate(std::allocator<std::_Rb_tree_node<std::pair<std::__cxx11::basic_string<
long long>>>&,unsigned long)
0.00      2.70      0.00 2111005      0.00      0.00 void std::allocator_traits<std::allocator<s
long long>>>::construct<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::
long long>,std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char
long long>>>(std::allocator<std::_Rb_tree_node<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::ch
long long>>>&,std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<c
long long>>*,std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>&&)
0.00      2.70      0.00 2111005      0.00      0.00 std::pair<std::_Rb_tree_node_base*,std::_Rb
long long>>>*,&,std::_Rb_tree_node_base*&,true>(std::_Rb_tree_node<std::pair<std::__cxx11::basic_
long long>>>*,&,std::_Rb_tree_node_base*&)
0.00      2.70      0.00 2111005      0.00      0.00 std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<ch
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::_Alloc_node::_Alloc_node(std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>&)
0.00      2.70      0.00 2111005      0.00      0.00 std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<ch
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::_M_get_node()
0.00      2.70      0.00 2111005      0.00      0.00 std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<ch
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::_M_put_node(std::_Rb_tree_node<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::cha

```

```

long long>>*)
0.00      2.70      0.00 2111005      0.00      0.00 std::_Rb_tree<std::_cxx11::basic_string<ch
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::_M_drop_node(std::_Rb_tree_node<std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::ch
long long>>*)
0.00      2.70      0.00 2111005      0.00      0.00 std::_Rb_tree_node<std::pair<std::_cxx11::
long long>>* std::_Rb_tree<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocato
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::_M_create_node<std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,s
long long>>>(std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>&&)
0.00      2.70      0.00 2111005      0.00      0.00 std::_Rb_tree<std::_cxx11::basic_string<ch
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::_M_destroy_node(std::_Rb_tree_node<std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std:
long long>>*)
0.00      2.70      0.00 2111005      0.00      0.00 void std::_Rb_tree<std::_cxx11::basic_stri
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::_M_construct_node<std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char
long long>>(std::_Rb_tree_node<std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>
long long>>*,std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<ch
long long>>&&)
0.00      2.70      0.00 2111005      0.00      0.00 std::_Rb_tree_node<std::pair<std::_cxx11::
long long>>&& std::forward<std::_Rb_tree_node<std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::ch
long long>>&&>(std::remove_reference<std::_Rb_tree_node<std::pair<std::_cxx11::basic_string<ch
long long>>&&>::type&)
0.00      2.70      0.00 1517400      0.00      0.00 std::_Rb_tree<std::_cxx11::basic_string<ch
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::begin()
0.00      2.70      0.00 1517400      0.00      0.00 std::operator==(std::_Rb_tree_iterator<std:
long long>>const&,std::_Rb_tree_iterator<std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_tr
long long>>const&)
0.00      2.70      0.00 1111008      0.00      0.00 std::_Rb_tree<std::_cxx11::basic_string<ch
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::end()
0.00      2.70      0.00 1111008      0.00      0.00 std::operator==(std::_Rb_tree_const_iterato
long long>>const&,std::_Rb_tree_const_iterator<std::pair<std::_cxx11::basic_string<char,std::c
long long>>const&)
0.00      2.70      0.00 1111004      0.00      0.00 TAvl<std::_cxx11::basic_string<char,std::c
long long>::Find(std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>)
0.00      2.70      0.00 1111004      0.00      0.00 std::_Rb_tree_const_iterator<std::pair<std:
long long>>::operator++(int)
0.00      2.70      0.00 1111004      0.00      0.00 std::map<std::_cxx11::basic_string<char,st
long long>,std::less<std::_cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>

```

```

long long>>>::find(std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>
0.00      2.70      0.00 1111004      0.00      0.00  std::pair<std::_Rb_tree_iterator<std::pair<
long long>>>,std::_Rb_tree_iterator<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<
long long>>>::pair<std::_Rb_tree_iterator<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_t
long long>>>,std::_Rb_tree_iterator<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<
long long>>>,true>(std::_Rb_tree_iterator<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_tr
long long>>>&&,std::_Rb_tree_iterator<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits
long long>>>&&)
0.00      2.70      0.00 1111004      0.00      0.00  std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<ch
long long>>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::M_erase_aux(std::_Rb_tree_const_iterator<std::pair<std::__cxx11::basic_string<ch
long long>>>)
0.00      2.70      0.00 1111004      0.00      0.00  std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<ch
long long>>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::M_erase_aux(std::_Rb_tree_const_iterator<std::pair<std::__cxx11::basic_string<ch
long long>>>,std::_Rb_tree_const_iterator<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_tr
long long>>>)
0.00      2.70      0.00 1111004      0.00      0.00  std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<ch
long long>>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::M_upper_bound(std::_Rb_tree_node<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::
long long>>>*,std::_Rb_tree_node_base*,std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,st
0.00      2.70      0.00 1111004      0.00      0.00  std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<ch
long long>>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::find(std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>>
0.00      2.70      0.00 1111004      0.00      0.00  std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<ch
long long>>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::erase(std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>
0.00      2.70      0.00 602276      0.00      0.00  TAvl<std::__cxx11::basic_string<char,std::c
long long>>::BigRotateRight(TAvl<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::all
long long>>::TAvlNode*)
0.00      2.70      0.00 406391      0.00      0.00  std::_Rb_tree_iterator<std::pair<std::__cxx
long long>>::operator--()
0.00      2.70      0.00 111003      0.00      0.00  std::pair<std::_Rb_tree_node_base*,std::_Rb
const&
0.00      2.70      0.00 45972      0.00      0.00  TAvl<std::__cxx11::basic_string<char,std::c
long long>>::BigRotateLeft(TAvl<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allo
long long>>::TAvlNode*)
0.00      2.70      0.00      1      0.00      0.00  _GLOBAL__sub_I_number_of_nodes
0.00      2.70      0.00      1      0.00      0.00  __static_initialization_and_destruction_0(i
0.00      2.70      0.00      1      0.00      0.00  TDetailAvl::TDetailAvl()
0.00      2.70      0.00      1      0.00      4.74  TDetailAvl::~~TDetailAvl()
0.00      2.70      0.00      1      0.00      4.74  TAvl<std::__cxx11::basic_string<char,std::c
long long>>::TreeDelete(TAvl<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocat
long long>>::TAvlNode*)

```

```

0.00      2.70      0.00      1      0.00      0.00  TAvl<std::__cxx11::basic_string<char,std::c
long long>::~TAvl()
0.00      2.70      0.00      1      0.00      4.74  TAvl<std::__cxx11::basic_string<char,std::c
long long>::~~TAvl()
0.00      2.70      0.00      1      0.00      0.00  __gnu_cxx::new_allocator<std::_Rb_tree_node
long long>>>::new_allocator()
0.00      2.70      0.00      1      0.00      0.00  __gnu_cxx::new_allocator<std::_Rb_tree_node
long long>>>::~~new_allocator()
0.00      2.70      0.00      1      0.00      0.00  std::allocator<std::_Rb_tree_node<std::pair
long long>>>::allocator()
0.00      2.70      0.00      1      0.00      0.00  std::allocator<std::_Rb_tree_node<std::pair
long long>>>::~~allocator()
0.00      2.70      0.00      1      0.00      0.00  std::_Rb_tree_header::_M_reset()
0.00      2.70      0.00      1      0.00      0.00  std::_Rb_tree_header::_Rb_tree_header()
0.00      2.70      0.00      1      0.00      0.00  std::_Rb_tree_key_compare<std::less<std::__
0.00      2.70      0.00      1      0.00      0.00  std::map<std::__cxx11::basic_string<char,st
long long,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>
long long>>>::map()
0.00      2.70      0.00      1      0.00      23.40  std::map<std::__cxx11::basic_string<char,st
long long,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<char>
long long>>>::~~map()
0.00      2.70      0.00      1      0.00      0.00  std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<ch
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::_Rb_tree_impl<std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,st
0.00      2.70      0.00      1      0.00      0.00  std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<ch
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::_Rb_tree_impl<std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,st
0.00      2.70      0.00      1      0.00      23.40  std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<ch
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::_M_erase(std::_Rb_tree_node<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_t
long long>>*)
0.00      2.70      0.00      1      0.00      0.00  std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<ch
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::_Rb_tree()
0.00      2.70      0.00      1      0.00      23.40  std::_Rb_tree<std::__cxx11::basic_string<ch
long long>,std::_Select1st<std::pair<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std
long long>>,std::less<std::__cxx11::basic_string<char,std::char_traits<char>,std::allocator<cha
long long>>>::~~_Rb_tree()

```

% the percentage of the total running time of the
time program used by this function.

cumulative a running sum of the number of seconds accounted
seconds for by this function and those listed above it.

`self` the number of seconds accounted for by this
`seconds` function alone. This is the major sort for this
listing.

`calls` the number of times this function was invoked,if
this function is profiled,else blank.

`self` the average number of milliseconds spent in this
`ms/call` function per call,if this function is profiled,
else blank.

`total` the average number of milliseconds spent in this
`ms/call` function and its descendents per call,if this
function is profiled,else blank.

`name` the name of the function. This is the minor sort
for this listing. The index shows the location of
the function in the gprof listing. If the index is
in parenthesis it shows where it would appear in
the gprof listing if it were to be printed.

Copyright (C) 2012-2020 Free Software Foundation,Inc.

% time – это процент от общего времени исполнения программы, затраченный на выполнение этой функции. Логично, что сумма time'ов по всем строкам должна составлять 100

'cumulative seconds' ('секунды нарастающим итогом') – это общее время в секундах, которое затратил компьютер на выполнение этой функции, плюс время, затраченное на выполнение всех функций, перечисленных выше в этой таблице.

'self seconds' ('собственные секунды') – это количество секунд, подсчитанных только для этой функции. Листинг простого профиля сперва упорядочивается по этому количеству.

'calls' ('вызовы') – общее количество вызовов этой функции. Если функция ни разу не вызывалась или количество вызовов не может быть определено, то поле 'calls' остается пустым.

'self ms call' ('собственные миллисекунды на вызов') – это среднее количество миллисекунд, затраченных этой функцией на вызов, если эта функция профилируется. Иначе это поле остается пустым для этой функции.

'total ms call' ('всего миллисекунд на вызов') – это собой среднее количество миллисекунд, затраченных этой функцией и ее подпрограммами на вызов, если

эта функция профилируется. Иначе это поле остается пустым для этой функции.

‘name’ – имя функции. Листинг простого профиля упорядочивается по этому полю в алфавитном порядке после упорядочения по полю ‘self seconds’.

3. Gcov

Для использования утилиты gcov, необходимо скомпилировать программу с ключом `-coverage`. После запуска полученной программы и завершения ее работы, будет сгенерирован файл с расширением gcda, содержащий информацию о покрытии кода.

```
a@WIN-THNQL51M105:~/Desktop/DA/lab3/gcov# g++ --coverage lab2.cpp -o gcovt
a@WIN-THNQL51M105:~/Desktop/DA/lab3/gcov# ./gcovt <test.txt
OK
Exist
OK
OK: 18446744073709551615
OK: 1
OK
NoSuchWord
a@WIN-THNQL51M105:~/Desktop/DA/lab3/gcov# ls
gcovt  lab2.cpp  lab2.gcda  lab2.gcno  test.txt
```

Файл можно преобразовать в html-формат.

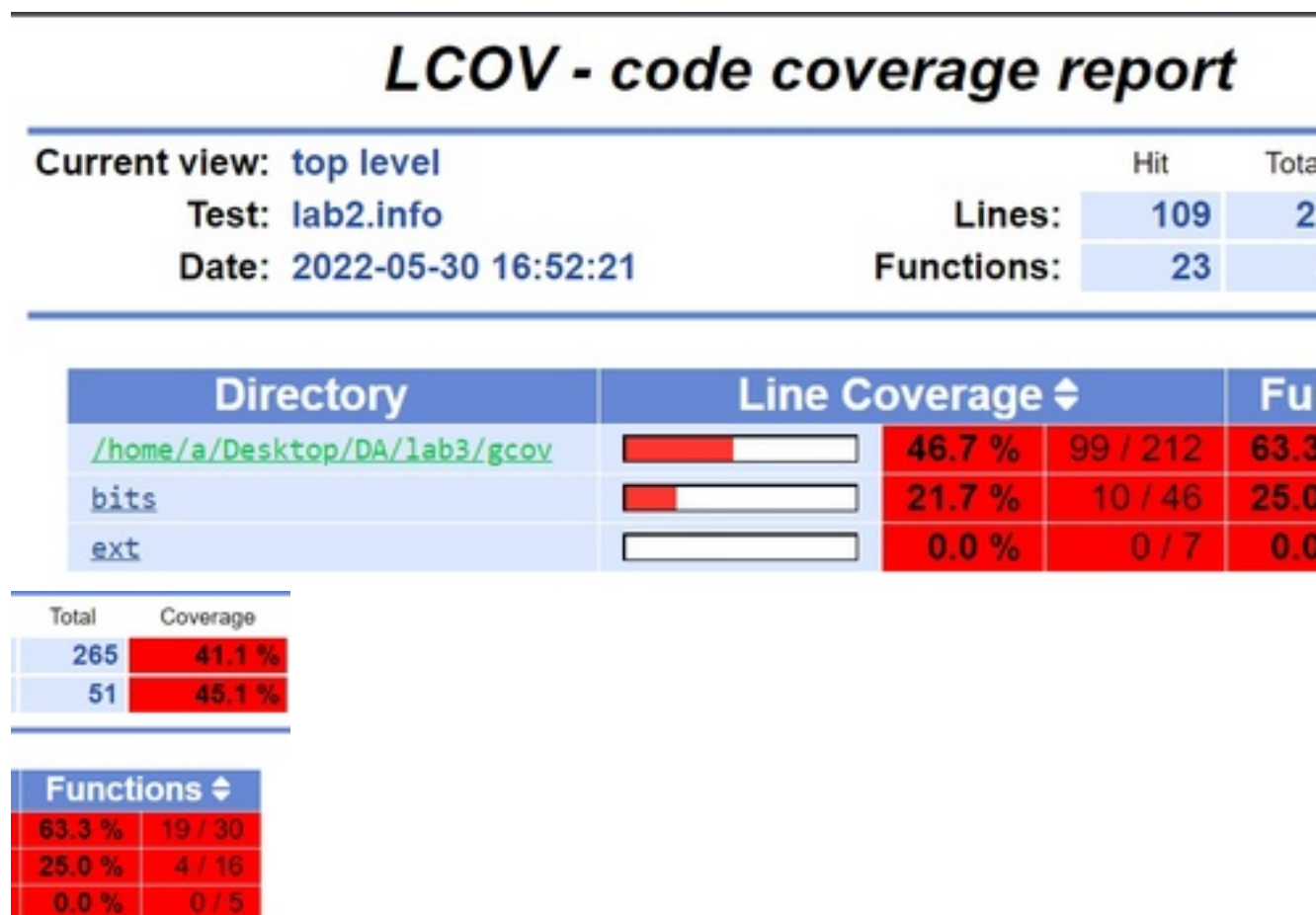
```
a@WIN-THNQL51M105:~/Desktop/DA/lab3/gcov# genhtml -o report lab2.info
Reading data file lab2.info
Found 13 entries.
Found common filename prefix "/usr/include/c++/9"
Writing .css and .png files.
Generating output.
Processing file /home/a/Desktop/DA/lab3/gcov/lab2.cpp
Processing file bits/alloc_traits.h
Processing file bits/ios_base.h
Processing file bits/char_traits.h
Processing file bits/basic_string.tcc
Processing file bits/stl_iterator_base_types.h
a@WIN-THNQL51M105:~/Desktop/DA/lab3/gcov#
```

```

Processing file bits/basic_string.h
Processing file bits/stl_iterator_base_funcs.h
Processing file bits/stl_algobase.h
Processing file ext/alloc_traits.h
Processing file ext/type_traits.h
Processing file ext/new_allocator.h
Writing directory view page.
Overall coverage rate:
lines.....: 41.1% (109 of 265 lines)
functions...: 45.1% (23 of 51 functions)

```

Следующим образом выглядит созданный html-файл:



Overall coverage состоит из проверки покрытия не только моей программы, но и задействованных библиотек.

3 Выводы

Выполнив вторую лабораторную работу по курсу «Дискретный анализ», я изучил различные виды средств поиска утечек памяти и профилирования, которые являются очень полезными в использовании для дальнейшей отладки программ.

Рассмотренные мной средства открывают широкий спектр возможностей. Они позволяют не только проверять утечки памяти в программе, а дают возможность понять, в какой части кода эта утечка находится (это выполняет `valgrind`), найти наиболее подходящую функцию для оптимизации (`gprof`), узнать покрытие программы, задействованный код (`gcov`).

Список литературы

- [1] Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн. *Алгоритмы: построение и анализ, 2-е издание.* — Издательский дом «Вильямс», 2007. Перевод с английского: И. В. Красиков, Н. А. Орехова, В. Н. Романов. — 1296 с. (ISBN 5-8459-0857-4 (рус.))