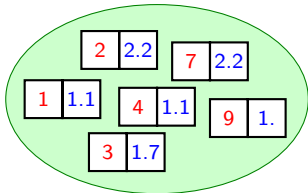


STL: map<>

👉 *Ассоциативный контейнер map* – контейнер для хранения пар:
ключ, величина

std::map<int, double>

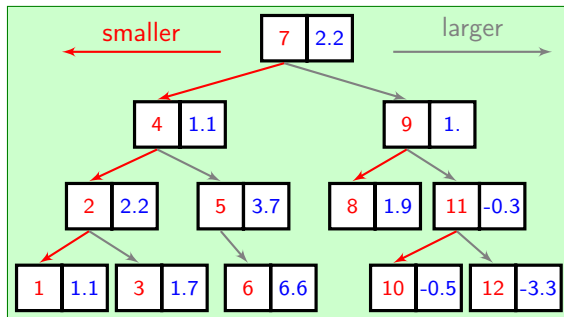


map: ассоциативный массив $m[key] = value$

- ключ (key) играет роль индекса массива
- величина (value) — то что хранится в элементе с этим индексом

- ✓ В **map** не может быть двух элементов с одинаковыми ключами
- ✓ Элементы **map** автоматически сортируются по ключу

STL map: сбалансированное бинарное дерево



- 👉 сортировка обеспечивает быстрое нахождение элемента по ключу: бинарный поиск
- 👉 для ключа нужна операция сравнения: например `оператор<()`
- 👉 значение ключа изменить нельзя, иначе сортировка нарушится

STL map: элементарные операции

```
#include <map>           // заголовочный файл
```

Декларация map : параметры шаблона

<code>map<Tkey, Tel></code>	ключи сортируются с помощью <code>operator<()</code>
<code>map<Tkey, Tel, TOp></code>	задание сортировки <code>TOp()</code> (type of <code>Op()</code>)

Создание и копирование

<code>map m</code>	пустой <code>map</code>
<code>map m(Op)</code>	пустой <code>map</code> с функцией сортировки <code>Op</code>
<code>map m1(m2)</code>	копирующий конструктор
<code>map m(beg, end)</code>	создаёт <code>map</code> с копией из <code>[beg, end)</code>
<code>map m {{k1, v1}, {k2, v2}, ...}</code>	инициализация списком (C++11)

Пример `map<int,double>`

```
typedef map<int,double> Mmap; // shorten the writing

Mmap mm {{5,0.2}, {7,0.6}, {1,0.75} };
mm[2] = 1.0;           // insert one more element, see next slide

for ( Mmap::iterator it = mm.begin(); it != mm.end(); ++it ) {
    cout << "mm[" << it->first << "]= " << it->second << ", ";
}
cout << endl; // mm[1]= 0.75, mm[2]= 1, mm[5]= 0.2, mm[7]= 0.6,
```

Обратите внимание

👉 порядок вывода отсортирован по ключу

`it->first` – доступ к ключу

`it->second` – доступ к значению

STL map: operator[]

👉 `map::operator[const Key& key]` – доступ по ключу с возможным созданием нового элемента:

- ✓ если ключ найден, возвращается ссылка на ассоциированное с ключом значение
- ✓ если ключа нет, **создается новая пара с этим ключом**, значение создается конструктором по умолчанию и возвращается ссылка на него

Так делать не надо, иначе появятся новые элементы!

```
for ( int i = 1; i <= 7; i++ ) {  
    cout << " mm[" << i << "] = " << mm[i] << ", ";  
}  
cout << endl; // mm[1]= 0.75, mm[2]= 1, mm[3]= 0, mm[4]= 0,  
              // mm[5]= 0.2, mm[6]= 0, mm[7]= 0.6,
```

STL map: функция at()

(C++11)

at(key): аналог at(index) для vector

- ✓ возвращает ссылку на значение элемента с ключом key
- ✓ возбуждает исключение out_of_range если элемент с таким ключом отсутствует

Пример

```
try {  
    cerr << " mm[1]= " << mm.at(1) << endl;    // mm[1]= 0.75  
    cerr << " mm[100]= " << mm.at(100) << endl;  
} catch(out_of_range& e) {  
    cerr << " Exception: " << e.what() << endl;  
mm[100]= Exception: map::at  
}
```

Цикл for-range для map

```
cout << " mm= { ";  
for ( const auto& p : mm ) {  
    cout << "{" << p.first << ", " << p.second << "} ";  
}  
cout << "}" << endl;  
mm= { {1,0.75} {2,1} {3,0} {4,0} {5,0.2} {6,0} {7,0.6} }
```

Здесь p – объект специального класса для пары:

- p.first – ключ, всегда константа
- p.second – значение

👉 сравните с циклом по итераторам

```
for ( auto it = mm.begin(); it != mm.end(); ++it ) {  
    cout << it->first << ", " << it->second; // it указывает на пару  
}
```

STL: класс pair

`pair<T1,T2>`

- ☞ Контейнер `map` использует вспомогательный класс `pair` для хранения элементов: один элемент `map` это объект класса `pair<Key,Value>`
- ☞ Класс `pair<T1,T2>` содержит два элемента типа `T1` и `T2` соответственно

Члены класса `pair<T1,T2>`

<code>pair(const T1&, const T2&)</code>	конструктор
<code>first</code>	первый объект пары
<code>second</code>	второй объект пары

Функции в классе pair

- ❶ Глобальная функция `make_pair()` для создания пары, эквивалентна вызову конструктора `pair<T1,T2>(x,y)` и существует «для удобства»

```
template <class T1, class T2>
pair<T1,T2> make_pair(const T1& x, const T2& y);
```

- ❷ Оператор сравнения:

```
template <class T1, class T2>
bool operator<(const pair<T1,T2>& x,const pair<T1,T2>& y);
```

- ✓ возвращает `true` если `x.first < y.first` и `false` если `y.first < x.first`
- ✓ если первые элементы «равны», сравниваются вторые элементы

👉 для сравнения между элементами пары используется только `operator<()`

STL map: задание функции сравнения

Функцию для сортировки ключей можно определить:

- 1 с помощью `operator<()` для типа `Key`:

```
map<Key,Elem> Map1;
```

- 2 с помощью объекта-функции: создается класс `Compare` в котором определяется оператор `bool operator()(TKey k1,TKey k2)`

```
map<Key,Elem,Compare> Map2;
```

☞ в шаблоне указывается имя класса

- 3 с помощью «внешней функции» `bool FunCmp(TKey k1,TKey k2)`

```
map<Key,Elem,PointerFunCmp> Map3(FunCmp);
```

☞ в шаблоне всегда указывается тип функции сравнения, а функция передается как аргумент конструктору

STL: объекты-функции

Function object or functor

- 👉 STL широко использует объекты-функции – объекты имеющие свойства функций, так как для них определён `operator()`

Пример: `map` ("имя месяца", число дней)

- задаем класс `ClsCmp` с оператором(`()`) для сравнение двух строк:

```
struct ClsCmp {  
    bool operator()(const char* s1, const char* s2) const  
        {return strcmp(s1, s2) < 0;}  
};
```

- определяем `map` с функцией сравнения из `ClsCmp`:

```
map<const char*, int, ClsCmp> months;
```


STL map: функции сравнения

1 внешняя функция

```
bool FunCmp(const char* s1, const char* s2) {  
    return strcmp(s1, s2) < 0;  
}  
  
typedef bool (*FUNCPTR)(const char*, const char*); // указатель на ф-ю  
map<const char*, int, FUNCPTR> months(FunCmp);
```


2 лямбда функция

```
auto LymCmp = [](const char* s1, const char* s2) -> bool {  
    return strcmp(s1, s2) < 0;  
};  
  
map<const char*, int, decltype(LymCmp)> months(LymCmp);
```

 обратите внимание на оператор `decltype`

Пример использования

```
map<const char*, int, ClcCmp> months;  
// map<const char*, int, FUNCPTR> months(FunCmp);  
// map<const char*, int, decltype(LymCmp)> months(LymCmp);  
  
months["january"] = 31;  
months["february"] = 28;  
months["march"] = 31;  
months["april"] = 30;  
for ( const auto& m : months ) {  
    cout << m.first << " -> " << m.second << " days" << endl;  
}  
  
april -> 30 days  
february -> 28 days  
january -> 31 days  
march -> 31 days
```

 более «просто» использовать `string` для ключа: `map<string, int>`

STL map: функции вставки и удаления

<code>m.insert(elem)</code>	вставляет элемент и возвращает пару: позицию нового элемента и код выполнения
<code>m.insert(elem,pos)</code>	то же самое! <code>pos</code> используется только как «намёк» (hint) где может находиться <code>elem</code>
<code>m.insert(beg,end)</code>	вставляет элементы из диапазона <code>[beg,end)</code>
<code>m.erase(elem)</code>	удаляет все элементы со значением <code>elem</code> и возвращает число удалённых элементов
<code>m.erase(pos)</code>	удаляет элемент на позиции <code>pos</code>
<code>m.erase(beg,end)</code>	удаляет элементы в диапазоне <code>[beg,end)</code>
<code>m.clear()</code>	удаляет все элементы

STL map: вставка

❶ с помощью operator[]

```
typedef map<int,double> Mmap;    // shorten the writing
Mmap mm = {{1,1.}, {2,1.}};    // map for these examples
mm[3] = 3.; // new pair {3,3.}
mm[2] = 2.; // no inserting, change value!
cout << mm[2] << ", " << mm[3] << endl; // 2, 3
```

👉 вставка невозможна если у Value нет конструктора по умолчанию

❷ с помощью insert(pair<Key,Value>)

👉 в отличие от vector или list надо как-то создать пару

```
mm.insert(Mmap::value_type(4,4.)); // use map<K,V>::value_type()
cout << "mm[4]=" << mm[4] << endl; // mm[4]=4
mm.insert(pair<int,double>(5,5.)); // use pair<K,V> ctor
mm.insert(make_pair(6,6.));        // use make_pair()
cout << mm[5] << ", " << mm[6] << endl; // 5, 6
```

... insert() продолжение

👉 нельзя вставить пару с ключом уже имеющимся в map и

map::insert() возвращает информацию об успешности вставки

```
pair<Mmap::iterator,bool> pp = mm.insert(Mmap::value_type(2,4.));  
cout << pp.second << endl; // 0 - fail to insert  
Mmap::iterator& it = pp.first; // iterator to pair with Key  
cout << " mm[" << it->first << "]= " << it->second << endl; // mm[2]= 2
```

③ с помощью emplace(key,value)

(C++11)

👉 работает как insert(), но пару создает «на лету»

```
auto pe = mm.emplace(7,7); // creating in place  
cout << pe.second << endl; // 1 - success  
cout << mm[7] << endl;    // 7
```


STL map: удаление

удаляем из контейнера элементы с нулевым значением

```
mm = {{1,1}, {6,1}, {7,1}, {5,0}, {8,0}, {4,0}, {2,0}};  
for ( auto it = mm.begin(); it != mm.end(); ) {  
    if( it->second == 0 ) {  
        // mm.erase(it++);      // C++98  
        it = mm.erase(it);      // C++11  
    } else {  
        ++it;  
    }  
}  
cout << " fin: mm= " << mm << endl; // fin: mm= { {1,1} {6,1} {7,1} }
```

☞ C++98: `mm.erase(it)` ничего не возвращает, поэтому приходится использовать `mm.erase(it++)`: увеличение итератора происходит до вызова функции, а удаляется старое значение `it`

☞ C++11: `mm.erase(it)` возвращает позицию следующего элемента

STL map: функции поиска по ключу

<code>m.find(k)</code>	позиция элемента с ключом <code>k</code> или <code>m.end()</code>
<code>m.lower_bound(k)</code>	первая позиция в которую элемент с ключом <code>k</code> может быть вставлен (первый элемент с <code>key >= k</code>)
<code>m.upper_bound(k)</code>	последняя позиция в которую элемент с ключом <code>k</code> может быть вставлен (первый элемент с <code>key > k</code>)
<code>m.equal_range(k)</code>	возвращает пару <code>lower_bound(k)</code> , <code>upper_bound(k)</code>
<code>m.count(k)</code>	число элементов с ключом <code>k</code>
<code>m.contains(k)</code>	проверяет, есть ли элемент с ключом <code>k</code>

C++20

Пример: цикл с проверкой существования ключа

```
Mmap m2 = {{1,1}, {5,5}, {7,7}};  
for(int i = 1; i <= 7; i++) {  
    // проверка, что что-то найдено  
    if( auto it = m2.find(i); it != m2.end() ) { // C++17  
        cout << " m2[" << it->first << "]= " << it->second << ", ";  
    }  
}  
cout << endl; // m2[1]= 1,  m2[5]= 5,  m2[7]= 7,
```

C++17: инициализация внутри if/switch вместо старой конструкции

```
auto it = m2.find(i);  
if( it != m2.end() ) ...
```

STL: set<>

Ассоциативный контейнер set

- ☞ Неформальное определение: то же что и `map`, но хранятся только ключи
- ☞ Почти все функции из `map` есть и в `set` (нет `operator[]` и `at()`)

Пример: set<>

```
#include <set>           // header for set!
#include <algorithm>
#include <iterator>
using namespace std;
// удобная печать для коротких set<int>
ostream& operator << (ostream& out, const set<int> & S) {
    for( const auto& s:S ) { out << s << " "; }
    return out;
}
```

... продолжение set<>

```
set<int> s1 = {1,2,3,4,5};
set<int> s2 = {5,3,7,9,1};
cout << " s1= " << s1 << ", s2= " << s2 << endl;
    s1= 1 2 3 4 5, s2= 1 3 5 7 9

auto ret = s2.insert(7); // try to insert existing key
if ( !ret.second )
    cout << " 7 already exist in s2" << endl; // 7 already exist in s2

set<int> intersect12;
set_intersection( s1.begin(),s1.end(),           // 1-st
                  s2.begin(),s2.end(),           // 2-nd
                  inserter(intersect12, intersect12.begin())); // result
cout << " intersect12= " << intersect12 << endl; // intersect12= 1 3 5

s1.erase(s1.begin(),s1.find(3)); // erase in range [...]
cout << " s1= " << s1 << endl;    // s1= 3 4 5
```

STL: multiset<> и multimap<>

std::multiset и std::multimap

- Неформальное определение: то же, что `set` и `map`, но могут существовать элементы с одинаковыми ключами
- Функции такие же как у `set` и `map` соответственно

Пример: multiset<>

```
multiset<int> u12(s1.begin(),s1.end());  
u12.insert(s2.begin(),s2.end());  
cout << " u12= " << u12 << endl; // u12= 1 3 3 4 5 5 7 9  
auto ipos = u12.find(3);  
cout << " 3 has position: "  
    << distance(u12.begin(),ipos)+1 << endl; // 3 has position: 2
```

STL: tuple<>

(C++11)

tuple<T1,T2,...,Tn>

- Расширяет концепцию `pair` на случай трех или более переменных
- Используются вариативные шаблоны (*variadic template*)

```
#include <tuple>          // header for tuple!
// 1) constructors
tuple<int,bool,string> tu(1,true,"tu"); // C++11
tuple tu17 {1,true,"tu"}; // template argument deduction: C++17
// 2) get access to elements of tuple: get<idx>(tuple)
cout << std::boolalpha << " tu= " // <iomanip> header
<<get<0>(tu)<<" "<<get<1>(tu)<<" "<<get<2>(tu)<<endl; // tu= 1 true t
// 3) get<idx>(tuple) return reference
get<2>(tu) = "TUPLE"; // assign value to 2-nd element
cout << get<2>(tu) << endl; // TUPLE
```

👉 в `get<idx>`, `idx` – константа времени компиляции

```
cout << get<5>(tu); // ERROR: tu has only three elements
for ( size_t i=0; i < 3; ++i )
    cout << get<i>(tu); // ERROR: i is no compile-time value
```

«замена» цикла: `apply utility with fold expression` **C++17**

```
// apply(Fun,Tuple): call function with elements of tuple as arguments
// fold expression: reduces parameters in a binary operator
apply( [] (auto&&... args){((cout<<args<<" "), ...) <<'\n';}, tu);
```

упаковка и распаковка `tuple`: `make_tuple()`, `tie()`

```
auto tu2 = make_tuple(2,false,"tu2"); // packing values into tuple

int i; bool b; string s;
tie(i,b,s) = tu2; // unpacking tuple into variables
cout<<"i="<<i<<" b="<<b<<" s="<<s<<endl; // i=2 b=false s=tu2
const auto& [j,c,t] = tu2; // binding declaration: C++17
cout<<"j="<<j<<" c="<<c<<" t="<<t<<endl; // j=2 c=false t=tu2
```


Функция возвращающая несколько значений: tuple<>

```
tuple<double,bool> mysqrt(double x) { // return result,ok_flag
    if( x < 0 ) return make_tuple(0,false);
    return make_tuple(sqrt(x),true);
}

for ( auto x : {-1.1,4.1} ) {
    auto [res,ok] = mysqrt(x);
    if( ok ) {
        cout << "mysqrt("<< x <<")=" << res << endl;
    } else {
        cout << "Negative x="<< x << " in mysqrt()" << endl;
    }
}
```

Output:

Negative x=-1.1 in mysqrt()

mysqrt(4.1)=2.02485