Языки программирования
Лекция 10

ПМИ Семестр 2

Демяненко Я.М.

2025

Ассоциативные контейнеры

- map<K, V> — по сути, бинарное дерево поиска, то есть скорость поиска log(n)
- set<K> — множество, так же является бинарным деревом поиска
- multimap<K,V> — map с повторяющимися ключами
- multiset<K> — set с повторяющимися значениями
- unordered_map<K, V> — хеш-таблица O(1)
- unordered_set<K> — хеш-таблица
- unordered_multiset<K> — хеш-таблица
- unordered_multimap <K,V> — хеш-таблица

У каждой реализации есть свои достоинства и недостатки

Важно, чтобы **базовые операции** для ассоциативных контейнеров:

- вставка insert,
- удаление erase,
- поиск find

выполнялись как **в среднем**, так и **в худшем** случае за время **O(log n)**.

Сбалансированные деревья поиска vs хэш-таблицы

Для **сбалансированных** деревьев поиска (в том числе для красно-чёрных деревьев) это условие **выполнено**.

В реализациях, основанных на **хэш-таблицах**, **среднее время** оценивается как O(1), что **лучше**, чем в реализациях, основанных на **деревьях поиска**.

Но при этом **не гарантируется высокая скорость** выполнения отдельной операции: **время** операции **вставки в худшем** случае оценивается как **O(n)**. Она выполняется долго, когда коэффициент заполнения становится высоким и необходимо перестроить индекс хэш-таблицы.

Хэш-таблицы плохи также тем, что на их основе **нельзя реализовать быстро работающие** дополнительные операции **min**, **max** и алгоритм **обхода всех** хранимых пар в порядке возрастания или **убывания ключей**.

Ассоциативные контейнеры

Ассоциативные контейнеры **обладают многими свойствами**, присущими **последовательным** контейнерам, поскольку они **поддерживают обход элементов** данных **в виде линейной последовательности**.

Они предоставляют **двунаправленные итераторы**, обход с использованием которых даёт отсортированный порядок элементов в случае с упорядоченными контейнерами.

Сортировка через мультимножество

В некоторых случаях (например, когда элементы данных представляют собой **большие структуры**) **сортировка** последовательности элементов может быть выполнена более эффективно путем **вставки их в мультимножество и обхода мультимножества**, чем обобщённым алгоритмом сортировки или соответствующей функцией-членом списка.

Пример. Даны три множества, содержащих сведения о студентах, неуспевающих по предметам: языки программирования, математический анализ, дифференциальные уравнения. Сведения содержат фамилию, имя, отчество и номер зачётной книжки, используемый в качестве уникального ключа. Найти студентов, неуспевающих по всем трём дисциплинам для формирования приказа на отчисление.

```
class Student {
private:
  string name;
  string recordBook;  // номер зачётной книжки (уникальное значение)
public:
  Student(string nm="noname", string rB="********"): name(nm),recordBook(rB) {}

  friend bool operator<(const Student & p1,const Student & p2){
    return p1.recordBook < p2.recordBook;
  }
  string Name() { return name; }
};
```

Операции сравнения

Множество **set** не должно содержать повторяющихся значений.

Тем не менее, реализовывать операцию сравнения ключей на равенство не требуется, поскольку проверка на совпадение реализуется через две операции operator<.

Определение эквивалентности x == y сводится к выражению

$$!(x < y)\&\&!(y < x) \text{ или } !((x < y)||(y < x))$$

Компараторы

Бывают случаи, когда необходимы **сравнения по разным ключам**, а операция operator< реализует только одно сравнение.

В этих случаях есть возможность **определить класс для сравнения** значений пользовательского типа.
Такие классы называются **компараторами**.

Например, если сведения о студенте содержат баллы рейтинга rating, можно определить компаратор для упорядочения по баллам:

```
class StudentRating{
public:
  bool operator() (const Student & p1, const Student & p2){
    return p1.getrating() < p2.getrating();
  }
}
```

Поскольку у разных студентов могут быть одинаковые баллы, для упорядочения по рейтингу используем **multiset с двумя параметрами**: **тип элементов** множества и **компаратор**.

```
multiset<Student, StudentRating > s1;
```

```
#include <iostream>
#include <set>
#include <algorithm>
#include <string>
#include <iterator>

int main(){
  set<Student> MA, DE, PL;
  // здесь заполняются множества задолжников по: MA, DE, PL, например, с использованием
операции insert:
  MA.insert(Student("First Student", "MM11111"));
  …
```

Функция-член **insert** классов **set и multiset** получает единственный аргумент и **вставляет копию** этого **аргумента**.

В случае **multiset** элемент всегда вставляется и **результатом вставки** является **позиция** итератора **iterator**, указывающая во множестве на элемент с заданным значением ключа.

Для класса **set** дополнительно указывается, **был** ли **уже** этот элемент во множестве **или** он был **добавлен** в текущей операции. Поэтому в классе set **тип возвращаемого значения** имеет вид **pair<iterator, bool>**.

Использовать такой результат можно следующим образом:

```
set <int> s;
pair<it, bool> a = s.insert(1);                    // можно auto a = s.insert(1);
if (a.second)                                      // проверяем, вставлен или уже был такой элемент
  cout <<"добавлено "<< *(a.first);
else
  cout <<"уже есть во множестве "<<*(a.first);
```

```
  set<Student> expelledProj;
  insert_iterator<set<Student>> it_ex(expelledProj, expelledProj.begin());

  set_intersection(MA.begin(),MA.end(),DE.begin(),DE.end(),it_ex);

  for(Student t :expelledProj) {
    cout << t.Name() << " ";
  }
  cout << endl;

  set<Student> expelled;
  set_intersection(expelledProj.begin(), expelledProj.end(), PL.begin(), PL.end(), inserter(expelled,
expelled.begin()));

  for (Student t : expelled) {
    cout << t.Name() << " ";
  }

  return 0;
}
```

Алгоритмы для теоретико-множественных операций

В библиотеке имеются алгоритмы для выполнения теоретико-множественных операций:

includes,
set_union,
set_intersection,
set_difference,
set_symmetric_difference.

Эти операции работают с любыми **отсортированными** контейнерами, включая ассоциативные.

В случае неупорядоченных контейнеров алгоритмы для теоретико-множественных операций завершаются ошибкой времени выполнения.

Пример. Использовать map для подсчёта частоты вхождения слов в текст

```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <vector>
#include <map>
#include <algorithm>
#include <iterator>
#include <string>

using namespace std;

int main() {
  ifstream ifs("source.txt");
  if (!ifs.is_open()) {
    cout<<"Не могу открыть файл словаря "<<"source.txt"<<endl;
    exit(1);
  }
```

```
typedef istream_iterator<string> string_input;

 vector<string> text;
 map<string, int> dictionary;

 copy(string_input(ifs), string_input(), back_inserter(text));
 for (string s: text) {
   ++dictionary[s];
 }
 for (auto s : dictionary) {
   cout << s.first<<" - "<<s.second;
 }
 return 0;
}
```

Операция обращения по индексу

Операция обращения по индексу позволяет работать с map как с массивом, используя в качестве индекса ключ.

Если элемента с заданным ключом в контейнере map нет, то он добавляется.
При этом ассоциированное по этому ключу значение заполняется значением по умолчанию. Для типа int это 0.

Причём это не зависит от того, обращение по индексу входит в lvalue или rvalue выражения.

В примере это позволяет не делать проверку на существование элемента в контейнере.
В любом случае используется только
++dictionary[s];

Поскольку при обращении по индексу возможно неявное добавление элемента в map с указанием только ключа, то **для** типа **ассоциированного значения необходим конструктор по умолчанию**.

Частотный словарь

Просмотр содержимого частотного словаря организуется с помощью цикла foreach по словарю.

Автоматически определяемый тип для параметра s представляет пару **pair<string, int>**.

Доступ к данным в паре осуществляется через поля **first** и **second**.

```
for (auto s : dictionary) {
  cout << s.first<<" - "<<s.second;
 }
```

Пример. Разработать структуру данных для хранения информации о лекторах, дисциплинах, которые они читают, и форме отчётности по этой дисциплине.

```
#include <map>
#include <string>
#include <iostream>
using namespace std;

typedef map <string, map <string, string>> plan;

int main() {
  plan A;
```

```
 map<string,string> p ;
  p["ALG"] = "exam";
  p.insert(pair<string, string>("LOG", "exam"));
  p.insert(pair<string, string>("ML", "credit"));
  A.insert(pair<string, map<string, string>>("Hoar", p));

  A["Winner"]["PL"] = "exam";
  A["Winner"]["FL"] = "credit";
  A["Turing"]["TPL"] = "exam";
  A["Turing"]["TML"] = "credit";
  A["Virt"] = p;

  for (auto t : A) {
    cout << t.first<<endl;
    for (auto s : t.second) {
      cout << s.first << " " << s.second << endl;
    }
  }
  return 0;
}
```

Для чего нужны итераторы ?

Итераторы

Итераторы — **посредники** между контейнерами и обобщенными алгоритмами

Они позволяют создавать обобщённые алгоритмы без учёта того, как именно хранятся последовательности данных, а контейнеры — без необходимости написания большого количества исходного текста работающих с ними алгоритмов

Однако по причинам эффективности **невозможно** обеспечить возможность работы **каждого** обобщённого **алгоритма с каждым контейнером**

Чтобы определить **применимость алгоритма к контейнеру**, необходимо знать **тип итератора**, удовлетворяющего минимальным требованиям алгоритма, и тип итератора, предоставляемый контейнером

Основные типы итераторов

- итераторы ввода
- итераторы вывода
- однонаправленные (последовательные) итераторы
- двунаправленные итераторы
- итераторы произвольного доступа

Допустимые для итераторов операции: ++

Тип итератора определяет набор допустимых для него операций.

Для всех типов итераторов определены операции ++ и *.

Операция ++ имеет одинаковую семантику.

Допустимые для итераторов операции: *

Операция * для итераторов **ввода** возвращает значение элементов коллекции, **не допуская их изменение**.

Для итератора **вывода** операция * предназначена для изменения элементов коллекции, **не допуская их прочтение**.

Для остальных типов итераторов операция * позволяет выполнять оба действия над элементами коллекции.

Допустимые для итераторов операции:

Двунаправленные и произвольного доступа дополнительно имеют операцию – –.

Допустимые для итераторов операции: +, -

Итераторы произвольного доступа, кроме того, имеют операцию смещения на произвольное количество элементов.

Правила для итераторов

Каждый итератор, имеющий больший набор операций может использоваться вместо более ограниченного в операциях итератора.

Алгоритмы библиотеки STL поддерживают принцип наименьших требований.