Семестр 2. Лекция 5. Ассоциативные контейнеры. Алгоритмы.

Евгений Линский

30 Марта 2018

Ассоциативные контейнеры (C++ 98)

Ассоциативные контейнеры:

- переупорядочивают элементы для быстрого поиска O(logN)
- возможные реализации: дерево поиска O(logN)
- set, map, multiset, multimap

Особенности:

1. Требуют отношение порядка: для элементов должен быть определен `operator<(...)`
2. Нет произвольного доступа по индексу

Общие члены контейнеров

Методы:

1. Конструктор по умолчанию, конструктор копирования, оператор присваивания, деструктор.
2. `begin()`, `end()`
3. Операторы сравнения: `==`, `!=`, `>`, `>=`, `<`, `<=`.
4. `size()`, `empty()`.
5. `swap(obj2)`
6. `clear`.

Ассоциативные контейнеры

Общие методы:

1. `erase` по key
2. `insert` с подсказкой (итератор)
3. `count` число элементов с заданным key
4. `find` поиск на точное совпадение (возвращает итератор)
5. `lower_bound`, `upper_bound`, `equal_range` — возвращает итератор на первый элемент не меньше key, ..., ...

set, multiset

- set — элементы являются уникальными (дубликат не добавится)
- multiset — дубликаты допустимы
- реализуются бинарным деревом поиска, в вершине хранится key

```
#include <set>

std::set<int> s;
s.insert(10);
s.insert(20);
s.insert(10);
//Пытаемся добавить 10, но в set не может содержаться
//несколько одинаковых объектов, поэтому объект не добавляется
//В данный момент s.size() == 2
// ----------------
std::multiset<int> ms;
ms.insert(1);
ms.insert(2);
ms.insert(2); // ms.size() == 3
std::cout << ms.count(2) << '\n';
```

set, multiset

Порядок не сохраняется:

```
std::set<int> s;
s.insert(10);
s.insert(6);
s.insert(20);
s.insert(5);
s.insert(1);
for (std::set<int>::iterator it = s.begin();
  it != s.end(); ++it) {
   std::cout << *it <<" ";
}
//Выведет, соответственно, 1 5 6 10 20.
```

set, multiset

Изменить добавленный элемент нельзя:

```
std::set<int> s;
s.insert(10);
std::set<int>::iterator it = s.find(10);
*it = 5; //присваивание запрещено!
```

1. Почему?

set, multiset

Изменить добавленный элемент нельзя:

```
std::set<int> s;
s.insert(10);
std::set<int>::iterator it = s.find(10);
*it = 5; //присваивание запрещено!
```

1. Почему?
2. Если просто изменить значение в вершине дерева поиска, то нарушится порядок.

map, multimap

- map — элементы являются уникальными (дубликат не добавится)
- multimap — дубликаты допустимы
- реализуются бинарным деревом поиска, в вершине хранится пара: key, value

Особые методы: operator[]

std::pair

Вспомогательный класс:

```
template<class F, class S>
struct pair {
    ... // constructors
    F   first;
    S   second;
};


template<class F, class S>
pair<F, S> make_pair(F const& f, S const& s);

template<class Key, class T, ...> class map {
  ...
  typedef pair<const Key, T> value_type;
} ;
```

map, multimap

```
std::map<string,int> phonebook;
phonebook.insert(std::pair<string, int>("Mary", 2128506));
// А почему работает магия make_pair?
phonebook.insert(std::make_pair("Alex", 9286385));
phonebook.insert(std::make_pair("Bob",  2128506));
...
std::map<string,int>::iterator it = phonebook.find("John");
if ( it != phonebook.end())
    std::cout << "Jonh's p/n is " << it->second << "\n";

for(it = phonebook.begin(); it != phonebook.end(); ++it)
    std::cout << it->first << ": " << it->second << "\n";
```

Ограничения map::operator[]

1. Работает только с неконстантным map.
2. Требует наличие конструктора по умолчанию у T.

```
T & operator[](Key const& k) {
    iterator i = find(k);
    if (i == end())
        i = insert(value_type(k, T())).first;
    return i->second;
}
```

3. Работает за $O(\log n)$. $\Rightarrow$ Не стоит работать с map как с массивом!

Ограничения map::operator[]

```
m["vasya"] = 1000000;
m["petya"] = 2000000;

int p = m["kolya"];
// если "kolya" нет в map, то будет создан новый элемент с
("kolya", 0)
```

Инвалидация в set и map

Неправильный вариант

```
std::map<string, int> m;
std::map<string, int>::iterator it = m.begin();
for( ; it != m.end(); ++it)
    if (it->second == 0)
        m.erase(it);
```

Правильный вариант

```
for( ; it != m.end(); )
    if (it->second == 0) m.erase(it++);
    else ++it;
```

C++11

```
for( ; it != m.end(); )
    if (it->second == 0) it = m.erase(it);
    else ++it;
```

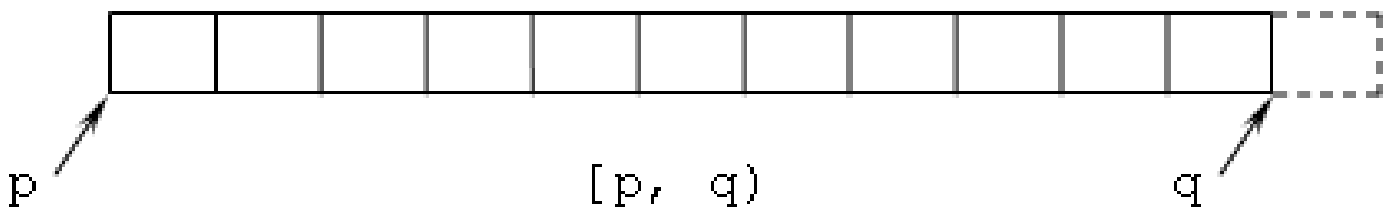
Использование собственного компаратора

```
struct Person {
    string name;
    string surname;
};
bool operator<(Person const& a, Person const& b) {
    return a.name < b.name ||
           (a.name == b.name && a.surname < b.surname);
}
std::set<Person> s1; // unique by name+surname

struct PersonComp {
    bool operator()(Person const& a, Person const& b) const
        return a.surname < b.surname;
    }
};

std::set<Person, PersonComp> s2; // unique by surnames
```

Итераторы

"Вспомнить все"

- Итераторы предназначены для перебора элементов контейнеров
  - *std::vector<int>::iterator*
  - *std::list<double>::iterator*
- Их универсальность позволяет писать код, не зависящий от типа контейнера (например, алгоритмы в STL)
- Итераторы имеют семантику и синтаксис указателей:
  - Поддерживают операции ++, *, ->
  - Последовательность задается двумя итераторами



Функторы

Функторы — это классы, объекты которых похожи на функцию, в них перегружен оператор ().

```
struct sum_sq {
    int operator()(int a, int b) const {
        return a * a + b * b;
    }
};

sum_sq f;
int res = f(3, 4);
```

Функторы

Похоже по синтаксису на функцию, но это все-таки класс ("внутри" можно хранить данные).

```
struct cmp {
    int value;
    cmp(int v) : value(v) {}

    bool operator ()(int a) const {
        return a < value;
    }
};

cmp f(2);
bool b = f(13);
```

- Если функтор возвращает bool, то его называют предикатом
- *template <class It, class UnaryPredicate>*, тип UnaryPredicate – предикат с одним параметром.

Функторы

Еще пример.

```
struct accum {
    int acc;
    accum() : acc(0) {}

    void operator ()(int a) {
        acc += a;
    }
};

accum f;
f(13);
f(16);
cout << f.acc; // 29
```

Алгоритмы

- В STL более 100 алгоритмов.
- Мы рассмотрим только некоторые примеры.
  - Микро-алгоритмы
  - Алгоритмы, не модифицирующие последовательности
  - Алгоритмы типа find
  - Модифицирующие алгоритмы

Микро-алгоритмы

- swap(T &a, T &b)
- iter_swap(It p, It q)
  Меняет местами значения элементов, на которые указывают итераторы.
- max(const T &a,const T &b)
- min(const T &a,const T &b)

Пример использования предиката

- У *max* и *min* алгоритмов есть версии с тремя параметрами.
- Третий параметр принимает бинарный (два параметра) предикат, задающий упорядоченность объектов.

```
struct Person {
    int age;
    string name;
    string city;
    Person(...) {...}
};
struct by_city {
    bool operator()(const Person& p1,
        const Person& p2) const {
            return p1.city < p2.city;
    }
};
Person p1(30, "V", "Msc");  Person p1(15, "K", "Spb");
by_city f;
std::max<Person, by_city> (p1, p2, f);
std::max(p1, p2, by_city());
```

Немодифицирующие алгоритмы

- size_t count(It p, It q, const T &x)
  Возвращает, сколько раз элемент со значением x входит в последовательность, заданную итераторами p и q.
- size_t count_if(It p, It q, Pr pred)
  Возвращает, сколько раз предикат pred возвращает значение true.

```
vector<int> v;
v.push_back(...);
vector<int>::iterator p = v.begin();
vector<int>::iterator q = v.end();
count_if(p, q, divides_by(8)); //how many elements
divisible by 8
```

Алгоритмы типа find

- find(It p, It q, const T &x)
  Возвращает итератор на первое вхождение элемента x в последовательность, заданную итераторами p и q.
- find_if(It p, It q, Pr pred)
  Возвращает итератор на первый элемент, для которого предикат pred вернул значение true.
- min_element(It p, It q)
- max_element(It p, It q)

Алгоритмы типа find

- equal(It p, It q, Itr i)
  Сравнивает две последовательности на эквивалентность. Вторая последовательность задается одним итератором, так как последовательности должны быть одинаковой длины. Если вторая короче, то undefined behaviour.
- pair <It, Itr> mismach(It p, It q, Itr i)
  Возвращает пару итераторов, указывающую на первое несовпадение последовательностей.
- F for_each(It p, It q, F func)
  Для каждого элемента последовательности применяет функтор func. Возвращает функтор func после его применения ко всем элементам.

```
accum a; // from slide 5
a = for_each(v.begin(), v.end(), a); // Sum all elements
```

Модифицирующее алгоритмы

- fill(It p, It q, const T &x)
  Заполняют последовательность значениями, равными значению x.
- generate(It p, It q, F gen)
  Заполняют последовательность значениями, сгенерированными функтором gen (например, генератором случайных чисел).
- copy(It p, It q, Itr out)
  Копирует в out
- reverse(It p, It q)
- sort(It p, It q)
- transform(It p, It q, Itr out, F func)
  К каждому элементу входящей последовательности применяет функтор func и записывает результат в последовательность, начинающуюся с итератора out.

Реализация алгоритмов

```
template<class InputIt, class OutputIt>
OutputIt copy(InputIt first, InputIt last,
     OutputIt d_first) {

     while (first != last) {
          *d_first++ = *first++;
     }
     return d_first;
}

vector<int> v;
list<int> l;
copy(v.begin(), v.end(), l.begin());
```

Реализация алгоритмов

```
template<class InputIt, class OutputIt,
             class UnaryPredicate>
OutputIt copy_if(InputIt first, InputIt last,
                 OutputIt d_first,
                 UnaryPredicate pred) {
    while (first != last) {
        if (pred(*first))
            *d_first++ = *first;
        first++;
    }
    return d_first;
}
copy_if(v.begin(), v.end(), l.begin(), divide_by(8));
```

value_type

Как записать тип pivot?

```
template<class It>
void q_sort(It p, It q) {
    ??? pivot = *p;
}
```

"Протащим" T из vector в vector::iterator.

```
template <class T>
class vector {
    T *array;
    class iterator  {
        typedef T value_type;
    };
};
```

```
template<class It>
void q_sort(It p, It q) {
    It::value_type pivot = *p;
}
```

Есть еще iterator::pointer, iterator::reference, iterator::iterator_category

iterator_category

- Random access iterator (RA)
  Самый сильный итератор: поддерживает ++, - -, арифметические операции типа +=.
- Bidirectional iterator (BiDi) Поддерживает только ++, - -. Это более слабый итератор.
- Forward iterator (Fwd) (обсудим в другой раз) Поддерживает только ++.

У std::vector и std::deque RA итераторы, у остальных контейнеров – BiDi.

iterator_category

```
template <class T>
class vector {
    T *array;
    class iterator  {
        typedef ra_tag iterator_category;
    };
};
```

```
template <class T>
class list {
    Node *head;
    class iterator  {
        typedef bidi_tag iterator_category;
    };
};
```

distance и advance

- std::advance(it, n) Продвигает итератор на n позиций вперед (аналогично p += n для указателей).
  Для RA итераторов использует +=, для BiDi - ++.
- std::distance(it1, it2) Возвращает расстояние между итераторами.

Реализация advance

```
template <class Iterator>
Iterator advance(Iterator it, int amount)
{
  typedef Iterator::iterator_category tag;
  advance(it, amount, tag());
}
```

Но можно было, конечно, и так:

```
advance(it, amount, Iterator::iterator_category());
```

Реализация advance. RA и BiDi.

```
template <class RAIterator>
RAIterator advance(RAIterator it, int amount, ra_tag t) {
    return it + amount;
}

template <class BiDiIterator >
BiDiIterator advance(BiDi it, int amount, bidi_tag t)
{
  for (;amount; --amount) ++it;
  return it;
}
```