Вступ до ітераторів у Сі++

Ітератор - це об'єкт (як вказівник), який вказує на елемент всередині контейнера. Ми можемо використовувати ітератори для переміщення по вмісту контейнера. Їх можна уявити як щось подібне до вказівника, що вказує на певне місце, і ми можемо отримати доступ до вмісту з цього конкретного місця.
Ітератори забезпечують доступ до елементів контейнера. За допомогою ітераторів дуже зручно перебирати елементи. Ітератор описується типом iterator. Але для кожного контейнера конкретний тип ітератору буде відрізнятися. Так, ітератор для контейнеру list <int> представляє собою тип list <int> :: iterator, а ітератор контейнеру vector <int> представляє собою тип vector <int> :: iterator і так далі. Для отримання ітераторів контейнери в Сі++ мають такі методи, як begin() і end(). Функція begin () повертає ітератор, який вказує на перший елемент контейнера (при наявності в контейнері елементів). Функція end() повертає ітератор, який вказує на наступну позицію після останнього елемента, тобто по суті на кінець контейнера. Якщо контейнер порожній, то ітератори, які повертаються обома методами begin() і end() збігаються. Якщо ітератор begin не дорівнює ітератору end, то між ними є як мінімум один елемент. Обидві ці функції повертають ітератор для конкретного типу контейнеру.
Приклад.

```
int ar[]= { 1,2,3,4 }
std::vector<int> v(ar,ar+4) ;
std::vector<int>::iterator iter = v.begin();  // отримуємо ітератор
```

В даному випадку створюється вектор - контейнер типу vector, який містить значення типу int. І цей контейнер ініціалізується числами {1, 2, 3, 4}. І через метод begin () можна отримати ітератор для цього контейнера. Причому цей ітератор буде вказувати на перший елемент контейнеру.

Операції з ітераторами та види ітераторів

З ітераторами можна проводити наступні операції:

- *Ітератор (розіменування) – отримання елементу, на який вказує ітератор. Якщо цей елемент має члени або методи то за допомогою оператору → (або через оператори дужок, зірочка та крапка) можна отримати доступ до них безпосередньо з ітератору.
- ++Ітератор(інкремент – можлива як префіксна (рекомендовано) так і постфіксна форма) – переміщення ітератору вперед для звернення до наступного елементу.
- --iter (декремент – можлива як префіксна (рекомендовано) так і постфіксна

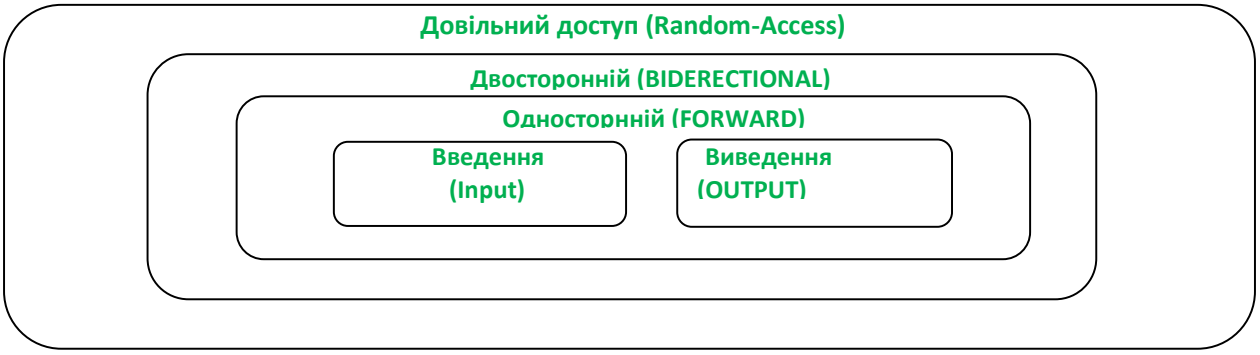
форма) – переміщення ітератору назад для звернення до попереднього елемента. ***Ітератори контейнера forward_list не підтримують операцію декременту***.

- iter1 == iter2 (порівняння) – два ітератори рівні, якщо вони вказують на один і той самий елемент.
- iter1! = iter2 (негативне порівняння) – два ітератори не рівні, якщо вони вказують на різні елементи.
- Оператор присвоєння (оператор =) – присвоює ітератор (позицію елемента, на яку він посилається).
- Деякі ітератори підтримують додавання/віднімання цілого числа, порівняння(>, <) та оператор доступу квадратні дужки [].

Наприклад, використовуємо ітератори для перебору елементів вектору:

```
vector<int>::iterator iter = v.begin();  // отримуємо ітератор
while(iter!=v.end())        // поки не досягнемо кінця вектору
        {
                std::cout << *iter << std::endl; // виводимо результат як значення вказівника
                ++iter;         // рухаємося по вектору інкрементуючи ітератор
        }
```

Ітератори відіграють важливу роль у підключенні алгоритму з контейнерами разом з маніпуляціями даними, що зберігаються всередині контейнерів. Найбільш очевидною формою ітератору є вказівник. Вказівник може вказувати на елементи в масиві і може перебирати їх за допомогою оператору інкременту (++). Але не всі ітератори мають всю функціональність вказівників. Залежно від функціональності ітераторів вони можуть бути класифіковані на п'ять категорій, як показано на діаграмі нижче, причому зовнішнє є найпотужнішим, а отже, внутрішнє є найменш потужним з точки зору функціональності.



Не кожен з цих ітераторів підтримується всіма контейнерами в STL, різні контейнери підтримують різні ітератори, наприклад, вектори підтримують ітератори довільного доступу, в той час як списки підтримують двонаправлені ітератори. Весь список наведено в таблиці:

Контейнер	Тип підтримуваних ітераторів
Вектор (vector)	Довільного доступу
Список (list)	Двонаправлений
Дек (deque)	Довільного доступу
Масив (array)	Довільного доступу
Однонаправлений список (forward_list)	Однонаправлений ітератор
Відображення (map)	Двонаправлений
Мультивідображення (multimap)	Двонаправлений
Множина (set)	Двонаправлений
Мультимножина (multiset)	Двонаправлений
Стек (Stack)	Немає ітераторів
Черга (Queue)	Немає ітераторів
Черга з пріорітетами (Priority Queue)	Немає ітераторів

Таким чином, грунтуючись на функціональності ітераторів, вони можуть бути розділені на п'ять основних категорій:

1. Ітератори вводу **(Input Iterators**): Вони є найслабкішими з усіх ітераторів і мають дуже обмежену функціональність. Вони можуть використовуватися тільки в алгоритмах з одним проходом, тобто в тих алгоритмах, які обробляють контейнер послідовно, так що жоден елемент не доступний більш ніж один раз.
2. Ітератори виводу(**Output Iterators**): Так само, як і ітератори вводу, вони також дуже обмежені у своїй функціональності і можуть бути використані тільки в алгоритмі з одним проходом, але не для доступу до елементів, а для визначення(зміни) елементів.
3. Однонаправлений ітератор (**Forward Iterator**): Вони мають вищу ієрархію, ніж вхідні і вихідні ітератори, і містять всі функції, присутні в цих двох ітераторах. Але, як випливає з назви, вони також можуть рухатися лише у прямому напрямку, і це теж один крок за один раз.
4. Двонаправлені ітератори (**Bidirectional Iterators**): Вони мають всі особливості форвард ітераторів разом з але вони можуть рухатися в обох напрямках, тому їх звуть двонаправленими.
5. Ітератори прямого доступу (**Random-Access Iterators**): Вони є найпотужнішими ітераторами. Вони не обмежуються переміщенням послідовно, як свідчить їх назва, вони можуть безпосередньо звертатися до

будь-якого елемента всередині контейнера. Їх функціональні можливості такі ж, як і у вказівників.

Наступна таблиця показує різницю в їх функціональності щодо різних операцій, які вони можуть виконувати.

Тип ітератору	Доступ	Читання	Запис	Рух	Порівняння
Введення	->	= *i		++	==, !=
Виведення			*i=	++	
Форвард	->	= *i	*i=	++	==, !=
Двонаправлений		= *i	*i=	++, --	==, !=
Прямого доступу	->, []	= *i	*i=	++,--, +=, -=, +, -	==, !=, <, >,>=, <=

Можна побачити, що оператори які використовуються для ітераторів мають інтерфейс, що точно збігається з інтерфейсом звичайних вказівників у мовах Сі та Сі++, за допомогою яких можна обійти елементи і в звичайному масиві.
Різниця полягає в тому, що ітератор є інтелектуальним вказівником, тобто може обходити більш складні структури даних. Внутрішня поведінка ітераторів залежить від структури даних, по якій вони переміщаються. З цієї причини кожен контейнерний тип передбачає свій власний вид ітераторів. У результаті ітератори мають загальний інтерфейс, але різні типи. Це безпосередньо приводить до концепції узагальненого програмування: *операції використовують однаковий інтерфейс, але мають різні типи*, тому можна використовувати шаблони для формулювання узагальнених операцій, що застосовуються до довільних типів, що задовольняють зазначеному інтерфейсу.

Методи контейнерів для роботи з ітераторами

Усі контейнерні класи (послідовні контейнери та асоціативні контейнери) мають однакові основні функції-члени, що дозволяють переміщати ітератори по елементах контейнера.
Методи роботи з ітераторами:

- begin() – повертає ітератор на перший об’єкт вектору
- end() – повертає ітератор на останній об’єкт вектору
  Починаючі зі стандарту С++11 додано ще наступні варіанти доступу до ітераторів:
- rbegin() – повертає ітератор на останній об’єкт вектору як на початковий (reverse beginning). Рухається з останнього елементу до першого;
- rend() – повертає ітератор на перший об’єкт вектору як на останній (reverse beginning). Рухається з останнього елементу до першого;
- cbegin() – повертає константний ітератор на перший елемент;
- cend() – повертає константний ітератор на останній елемент;

- crbegin() – повертає константний реверсивний оператор на початок;
- crend() – повертає константний реверсивний оператор на кінець вектору.

Функція begin()повертає ітератор, що представляє початок контейнера, тобто позицію першого елемента, якщо такий мається в контейнері.
Функція end() повертає ітератор, що представляє кінець контейнера, тобто позицію, що слідує за останнім елементом.
Такий ітератор називається позамежним (past-the-end iterator).

Таким чином, функції – члени begin()і end() визначають напіввідкритий діапазон (half-open range), що включає перший елемент і не включає останній.
Напіввідкритий діапазон має дві переваги.
1. Існує простий критерій зупинки циклу при обході всіх елементів: цикл продовжується, поки не буде досягнута позиція end().
2. Він дозволяє уникнути спеціальної обробки порожніх діапазонів. Для порожніх діапазонів позиція begin() збігається з позицією end(). Наступний приклад демонструє використання ітераторів для виводу на екран всіх елементів списку(це варіант попереднього прикладу, але з використанням ітераторів):

```
// iterator, begin() and end()
#include<iostream>
#include<iterator> // for iterators
#include<vector> // for vectors
using namespace std;
int main() {
vector<int> ar = { 1, 2, 3, 4, 5 };

// Declaring iterator to a vector
vector<int>::iterator ptr;

// Displaying vector elements using begin() and end()
cout << "The vector elements are : ";
for(ptr = ar.begin(); ptr < ar.end(); ptr++)
cout << *ptr << " ";
}
```

З Ci++11 для отримання константного ітератору const_iterator можна використовувати та методи отримання cbegin() та cend():

```
    std::vector<int> v { 1, 2, 3, 4, 5 };
  //std::vector<int>::const_iterator iter;
    for ( auto iter = v.cbegin(); iter != v.cend(); ++iter){
          std::cout << *iter << " ";
```

```
            // це неможливо бо ітератор константний
            //*iter = (*iter) * (*iter);
        }
        std::cout << std::endl;
```

Результат:

```
1 2 3 4 5
```

Реверсивні ітератори (Ci++11)

Реверсивні ітератори дозволяють перебирати елементи контейнеру в зворотному напрямку. Для отримання реверсивного ітератору використовують методи контейнерів rbegin() та rend(), а сам ітератор утворює тип reverse_iterator.
Так саме для реверсивного ітератору існує константна форма const_reverse_iterator яку можна отримати за допомогою методів crbegin() и crend():

```
std::vector<int> v { 1, 2, 3, 4, 5 };
      for (std::vector<int>::reverse_iterator iter = v.rbegin(); iter != v.rend(); ++iter){
            std::cout << *iter << " ";
          *iter = (*iter) * (*iter);
        }
        std::cout << "\n";

     for (std::vector<int>::const_reverse_iterator iter = v.crbegin(); iter != v.crend();
++iter)
        {
            std::cout << *iter << " ";
            // неможливо бо ітератор константний
            //*iter = (*iter) * (*iter);
        }
```

Результат:

```
5 4 3 2 1
25 16 9 4 1
```

Функції роботи з ітераторами бібліотеки iterator

В бібліотеці <iterator> визначені деякі додаткові до стандартних функцій корисні функції для маніпулювання з ітераторами.
Серед них можна виділити наступні:

- advance(iter, n) - інкрементує ітератор iter на визначену кількість позицій n.

```
int mas[] ={1,2,3,4,5, 10,20,30};

std::vector<int> ar(mas,mas+5);
std::vector<int>::iterator ptr = ar.begin();
std::advance(ptr, 3);
//ptr += 3; // буде виконувати те саме
std::cout << "Third element is : "<<*ptr;

std::list<int> list1(mas,mas+5);
std::list<int> list2(mas+6,mas+8);
std::list<int>::iterator ptr2 = list1.begin();
std::advance(ptr2, 3);
//ptr += 3; // А ось для списку цей варіант некоректний
std::cout << "Third element is : "<<*ptr2;
```

- inserter(cont, iter) - функція для вставки елементів в будь-яку позицію контейнеру. Аргументи — контейнер та ітератор на позицію куди треба вставляти елементи. Функція повертає insert_iterator який дозволяє вставити елементи в інший контейнер.

```
#include<vector> // for vectors
#include<deque> // for deque
#include<list> // for list
// друк елементів будь-якої колекції
template<class Coll> void printCollect(Coll & v){
 typename Coll::const_iterator it = v.begin();
 for(;it!=v.end();++it){
   std::cout<<*it<<" ";
 }
 std::cout<<"\n";
}

int main() {
int mas[] ={1,2,3,4,5, 10,20,30};
std::vector<int> resulting(mas,mas+5); // куди вставляємо
std::vector<int> to_insert(mas+6,mas+8); // що вставляємо
std::vector<int>::iterator ptr = resulting.begin();
std::advance(ptr, 3); // на 3 позицію ітератор
//ptr += 3; // для вектору це те саме що і попередній рядок
```

```
std::cout << "Third element is : "<<*ptr<<"\n";
std::insert_iterator<std::vector<int> > ari = inserter(resulting, ptr); // куди вставляти
//std::insert_iterator<std::vector<int> > ari(resulting, ptr);
// копіюємо вміст to_insert(без 1-го ел-ту) в resulting
std::copy(to_insert.begin()+1, to_insert.end(), ari);
std::cout << "The new vector after inserting elements is : ";
printCollect(resulting);
// те саме для списку
std::list<int> list1(mas,mas+5);
std::list<int>::iterator ptr2 = list1.begin();
std::advance(ptr2, 3);
//ptr += 3; // а ось для списку це некоректно
std::cout << "Third element is : "<<*ptr2<<"\n";
std::copy(to_insert .begin(), to_insert.end(), inserter(list1,ptr2));
std::cout << "The new list after inserting elements is : ";
printCollect(list1);
}
```

Результат:

```
Third element is : 4
The new vector after inserting elements is : 1 2 3 30 4 5
Third element is : 4
The new list after inserting elements is : 1 2 3 20 30 4 5
```

- back_inserter(), front_inserter(). Аналогічно до функції inserter визначені функції back_inserter(), front_inserter() які вставляють відповідно в початок та кінець колекції.

```
 std::deque<int> foo,bar;
 for (int i=1; i<=5; i++){ foo.push_back(i); bar.push_back(i*10); }

 std::copy (bar.begin(),bar.end(),std::front_inserter(foo));

 std::cout << "foo after front insert contains:";
 /*for ( std::deque<int>::iterator it = foo.begin(); it!= foo.end(); ++it )
       std::cout << ' ' << *it;
 std::cout << '\n';*/
printCollect(foo);
```

```
 std::vector<int> foo1,bar1;
 for (int i=1; i<=5; i++)
 { foo1.push_back(i); bar1.push_back(i*10); }

 std::copy (bar1.begin(),bar1.end(),back_inserter(foo1));

 std::cout << "foo after back insert contains:";
/*  for ( std::vector<int>::iterator it = foo.begin(); it!= foo.end(); ++it )
       std::cout << ' ' << *it;
 std::cout << '\n';
*/
printCollect(foo1);
```

Результат:

```
foo after front insert contains:50 40 30 20 10 1 2 3 4 5
foo after back insert contains:1 2 3 4 5 10 20 30 40 50
```

- distance

Також можна вказати функцію distance, що визначає відстань між двома ітераторами:

```
std::vector<int> v(mas+1,mas+7);
   std::cout << "distance(first, last) = "
          << std::distance(v.begin(), v.end()) << '\n'
          << "distance(last, first) = "
          << std::distance(v.end(), v.begin()) << '\n';
           //the behavior is undefined (until C++11)
```

Результат:

```
distance(first, last) = 6
distance(last, first) = -6
```

З C++11 додано також наступні функції:

- begin(coll) — повертає ітератор на початок колекції;
- end(coll) - повертає ітератор на кінець колекції;
- next(iter, n) - функція повертає новий ітератор, що вказує на позицію яка слідує за тією що стала після застосування n разів інкременту для iter;
- prev(iter, n) - функція повертає новий ітератор, що вказує на позицію яка передує той позиції, що стала після застосування n разів декременту для iter.

```
#include<iostream>
```

```
#include<iterator> // for iterators
#include<vector> // for vectors
using namespace std;

template <class Coll> void printColl(const Coll & v){
 for(const auto & x: v){
  cout<< x <<" ";
}
cout<<endl;
}

int main(){
vector<int> ar = { 1, 2, 3, 4, 5 };

// Declaring iterators to a vector
vector<int>::iterator ptr = begin(ar);
vector<int>::iterator ftr = end(ar);

// Using next() to return new iterator
auto it = next(ptr, 3); // points to 4

// Using prev() to return new iterator
auto it1 = prev(ftr, 3); // points to 3

// Displaying iterator position
cout << "The position of new iterator using next() is : ";
cout << *it << " " << endl;

// Displaying iterator position
cout << "The position of new iterator using prev()  is : ";
cout << *it1 << " " << endl;

  int foo[] = {10,20,30,40,50, 60};
  std::vector<int> bar;

  // iterate foo: inserting into bar
 // be carefull - this fails if size of collection is odd!!!!!
  for (auto it = std::begin(foo); it!=std::end(foo); advance(it,2))
    bar.push_back(*it);

  // iterate bar: print contents:
  std::cout << "bar contains:";
```

```
 /*for (auto it = std::begin(bar); it!=std::end(bar); ++it)
   std::cout << ' ' << *it;
 std::cout << '\n';
*/
 printColl(bar);
}
```

Результат:

```
The position of new iterator using next() is : 4
The position of new iterator using prev()  is : 3
bar contains:10 30 50
```

Створення власного ітератору

Оскільки ми знаймо методи ітераторів, то неважко власноруч створити власний ітератор.

```
#include <iostream>
using namespace std;
#define MAXSIZE 100
// власний шаблон-огортка над масивом
template<class Type>class MyMasiv{
 Type mas[MAXSIZE];
 int size;
 public:
// створимо власний ітератор для цього класу
    class iterator{
        Type *current;
        public:
         // перевантажимо оператори
          iterator() { current = 0; }
          void operator++() {
                current++;
          }
          void operator+=(int temp) {
                current += temp;
          }
          void operator-=(int temp) {
                current -= temp;
          }
          void operator=(Type& temp) {
              current = &temp;
          }
```

```
        bool operator!=(Type& temp) {
            return current != &temp;
        }
        bool operator==(Type& temp) {
            return current == &temp;
        }
        // будемо виводити всі числа поділени навпіл
        Type operator *() {
           return *current / 2;
        }
        Type* operator ->() {
          return current; }
        };
   // методи нашого масиву
     MyMasiv(){
         size = 0;
      }

    void add(int temp){
        size++;
       mas[size - 1] = temp;
    }
   void del(){
      size--;
     mas[size + 1] = 0;
   }
   void show(){
     cout << "Массив:\n";
     for (int i = 0;i < size;i++)
              cout << mas[i] << ' ';
         cout << endl;
    }
  // методи для отримання ітераторів
   Type& begin() { return mas[0]; }
   Type& end() { return mas[size]; }
};


int main(){

 MyMasiv<int> a;
for (int i = 0;i < 5;i++){
```

```
    a.add(i*2);
  }

MyMasiv<int>::iterator it;
for (it = a.begin();it!=a.end();++it){
   cout << *it << ' ';

}
}
```
Результат:
0 1 2 3 4

Асоціативні контейнери

Асоціативні контейнери — це контейнери які зберігають відсортовані дані використовуючи їх хеш-значення. Такі контейнери містять Сі++ реалізацію зокрема таких колекцій як Hashtable(Java) та Dictionary(Python), тобто це структури які оптимізовані під пошук у великій кількість даних та там де неважливий порядок введення даних, але важливе їх значення та порядок у якому вони будуть зберігатись.

Множина (Set)

Множина (Set) - це тип асоціативних контейнерів, в яких кожен елемент повинен бути унікальним, оскільки значення елемента його ідентифікує. Значення елемента не може бути змінено після його додавання до набору, хоча можна видалити та додати змінене значення цього елемента. Методи, які пов’язані з Set можуть бути розбити на наступні групи:

- Ідентифікатори та модифікатори обсягу ()
- Модифікатори даних
- Методи пошуку
- Робота з ітераторами

До Сі++11 шаблон класу множина мав наступні конструктори
1) конструктор за замовченням (default constructor), що створює порожню множину
2) Копіконструктор — копіює вміст іншого деку
3) Конструктор за інтервалом (range constructor) — костpуює множину за двома ітераторами іншої колекції.

Ідентифікатори та модифікатори обсягу (Capacity)

- size() – кількість елементів колекції;

- max_size() – максимально можлива кількість елементів колекції;
- empty() – якщо порожня колекція повертає true, інакше false.

Модифікатори даних (Modification):

- insert(const g) – додає новий елемент ‘g’ до множини;
- insert (iterator position, const g) – додає елемент ‘g’ в позицію вказану ітертором;
- erase(iterator position) – видаляє елемент з позиції вказаної ітертором;
- erase(const g)– видаляє значення ‘g’ з множини;
- clear() – видаляє всі елементи колекції.

Починаючи з C++11 додали також настпні методи:

- emplace()– вставляє елемент в множину, якщо цього елементу ще в неї міститься;
- emplace_hint()– повертає ітертор на елемент,я кий вставляється в множину, якщо цього елементу до цього там не було;
- swap()– обмінює вміст двох множин ода в іншу.

Методи пошуку (Searching) та спостереження (Observation):

- key_comp() / value_comp() – повертає об’єкт, що вказує як елементи множини впорядкована (‘<‘ за замовченням).
- find(const g) – повертає ітератор на елемент ‘g’ якщо він є у множині, або ітератр на кінець множини, якщо його немає.
- count(const g) – повертає 1 або 0 в залежності від того є ‘g’ в множині або немає.
- lower_bound(const g) – повертає ітератор на перший елемент, що еквіалентний ‘g’ або на перший елемент, що точно більший за ‘g’;
- upper_bound(const g) – повертає ітератор на перший елемент, що еквіалентний ‘g’ або на останній елемент, що точно менший за ‘g’;
- equal_range((const g) – повертає ітератор на тип пара (key_comp) в якому перше поле pair::first яквівалентне lower bound, а pair::second еквівалентне upper bound.

Робота з ітераторами (iterators) — аналогічно до послідовних контейнерів:

- begin() – повертає ітератор на перший об’єкт вектору
- end() – повертає ітератор на останній об’єкт вектору

Починаючі зі стандарту C++11 додано ще наступні варіанти доступу до ітераторів:

- rbegin() – повертає ітератор на останній об’єкт вектору як на початковий (reverse beginning). Рухається з останнього елементу до першого;
- rend() – повертає ітератор на перший об’єкт вектору як на останній (reverse beginning). Рухається з останнього елементу до першого;
- cbegin() – повертає константний ітератор на перший елемент;
- cend() – повертає константний ітератор на останній елемент;
- crbegin() – повертає константний реверсивний оператор на початок;
- crend() – повертає константний реверсивний оператор на кінець вектору.

Крім того, для множини (як і для інших колекцій) перевизначений оператор присвоєння (operator=).

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

using namespace std;
// function comarator — порядок визначається квадратом числа
bool fncomp (int lhs, int rhs) {return lhs*lhs<rhs*rhs;}

//class Comparator — порядок по спаданню, а не зростанню
struct Classcomp {
  bool operator() (const int& lhs, const int& rhs) const
  {return lhs>rhs;}
};
// для множини з одним параметром конструктора
template<typename T>
void printSet(const set<T> v){
   typename set<T>::iterator itr;
   for(itr=v.begin(); itr!=v.end();++itr){
     cout <<"  "<<*itr;
   }
    cout<< endl;
}
// для множини з двома параметрами конструктору
template<typename T, class U>
void printSet(const set<T,U> v){
   typename set<T,U>::iterator itr;
   for(itr=v.begin(); itr!=v.end();++itr){
     cout <<"  "<<*itr;
   }
    cout<< endl;
}

int main (){
   set<int> first_set;                     // empty set of ints
   int myints[]= {10,-20,30,40,50,50,40};
   set<int> second_set(myints,myints+7);       // range
   set<int> third_set (second_set);               // a copy of second
   set<int> fourth_set (third_set.begin(), third_set.end());  // iterator ctor.
```

```
  cout<<"2,3,4 set:";
  printSet(fourth_set);

  cout<<"set size:"<< second_set.size()<<endl;
  cout<<"set max size:"<< second_set.max_size()<<endl;
  cout<<"how many of 20 there"<< second_set.count(20)<< " of " <<
*second_set.find(20)<<endl;
  cout<<"how many of 50 there"<< second_set.count(50)<<" of " <<
*second_set.find(50)<<endl;
  cout<<"equal range for 20: " << *second_set.equal_range(20).first << ", " <<
*second_set.equal_range(20).second<<endl;

  set<int,Classcomp> fifth_set;              // class as Compare

  bool(*fn_pt)(int,int) = fncomp;
  set<int,bool(*)(int,int)> sixth_set (fn_pt);  // function pointer as Compare
 set <int,greater <int> > seventh_set;
 //insert elements in random order
 seventh_set.insert(40);
 seventh_set.insert(30);
seventh_set.insert(60);
seventh_set.insert(-20);
seventh_set.insert(50);
seventh_set.insert(30); // only one 30 will be added to the set
seventh_set.insert(10);
 for (set<int,greater <int> >::iterator it = seventh_set.begin();
it!=seventh_set.end();++it){
   first_set.insert(*it);
   fifth_set.insert(*it);
   sixth_set.insert(*it);
 }
 cout<<"1 and 7th set:";
 printSet(first_set);
 cout<<"5th set:";
 printSet(fifth_set);
 cout<<"6th set:";
 printSet(sixth_set);

// видалити всі елменти до 30 в second_set
 cout << "second_set after removal of elements less than 30:";
 second_set.erase(second_set.begin(), second_set.find(30));
 printSet(second_set);
```

```
 // видалити елемент 50 в  third_set
 int num;
 num = third_set.erase (50);
 cout << "third_set.erase(50) : ";
 cout << num << " removed " ;
 printSet(third_set);

//lower bound та upper bound для seventh_set
cout << "seventh_set.lower_bound(40) : "<< *seventh_set.lower_bound(40) << endl;
cout << "seventh_set.upper_bound(40) : "<< *seventh_set.upper_bound(40) << endl;

// lower bound та upper bound для second_set
cout << "second_set.lower_bound(40) : "<< *second_set.lower_bound(40) << endl;
cout << "second_set.upper_bound(40) : "<< *second_set.upper_bound(40) << endl;
}
```

Результат:

```
2,3,4 set:     -20     10      30      40      50
set size:5
set max size:461168601842738790
how many of 20 there 0 of 5
how many of 50 there 1 of 50
equal range for 20: 30, 30
1 and 7th set:       -20     10      30      40      50      60
5th set:       60      50      40      30      10      -20
6th set:       10      -20     30      40      50      60
second_set after removal of elements less than 30:       30      40      50
third_set.erase(50) : 1 removed        -20     10      30      40
seventh_set.lower_bound(40) : 40
seventh_set.upper_bound(40) : 30
second_set.lower_bound(40) : 40
second_set.upper_bound(40) : 50
```

Мультимножини (Multiset)

Мультимножини - це тип асоціативних контейнерів, який схожий на множини, але відмінність полягає в тому, що елементи можуть повторюватись (тобто не обов’язкова унікальність елементів).

Методи для роботи з мультимножиною класифікуються так само як і для множини:

- Ідентифікатори та модифікатори обсягу ()
- Модифікатори даних
- Методи пошуку
- Робота з ітераторами

До Сі++11 шаблон класу множина мав наступні конструктори
1) конструктор за замовченням (default constructor), що створює порожню множину
2) Копіконструктор — копіює вміст іншого деку
3) Конструктор за інтервалом (range constructor) — костpуює множину за двома ітераторами іншої колекції.

Ідентифікатори та модифікатори обсягу (Capacity):

- size() – кількість елементів колекції;
- max_size() – максимально можлива кількість елементів колекції;
- empty() – якщо порожня колекція повертає true, інакше false.

Модифікатори даних (Modification):

- insert(const g) – додає новий елемент ‘g’ до множини;
- insert (iterator position, const g) – додає елемент ‘g’ в позицію вказану ітертором;
- erase(iterator position) – видаляє елемент з позиції вказаної ітератором;
- erase(const g) – видаляє значення ‘g’ з множини;
- clear() – видаляє всі елементи колекції.

Починаючи з С++11 додали також наступні методи:

- emplace() – вставляє елемент в множину, якщо цього елементу ще в неї міститься;
- emplace_hint() – повертає ітертор на елемент, який вставляється в множину, якщо цього елементу до цього там не було;
- swap() – обмінює вміст двох множин одна в іншу.

Методи пошуку (Searching):

- key_comp() / value_comp() – повертає об’єкт, що вказує як елементи множини впорядкована (‘<‘ за замовченням);
- find(const g) – повертає ітератор на елемент ‘g’ якщо він є у множині, або ітератр на кінець множини, якщо його немає;
- count(const g) – повертає кількість входжень елементу ‘g’ в мультимножину;
- lower_bound(const g) – повертає ітератор на перший елемент, що еквіалентний ‘g’ або на перший елемент, що точно більший за ‘g’;
- upper_bound(const g) – повертає ітератор на перший елемент, що еквіалентний ‘g’ або на останній елемент, що точно менший за ‘g’;
- equal_range((const g) – повертає ітератор на тип пара (key_comp) в якому перше поле pair::first яквівалентне lower bound, а pair::second еквівалентне upper bound.

Робота з ітераторами (iterators) — аналогічно до множини та послідовних контейнерів.

Крім того, для множини (як і для інших колекцій) перевизначений оператор присвоєння (operator=).

```
#include <iostream>
#include <set>
#include <vector>
//#include <iterator>

using namespace std;
// function comarator
bool fncomp (int lhs, int rhs) {return lhs*lhs<rhs*rhs;}

//class Comparator
struct Classcomp {
  bool operator() (const int& lhs, const int& rhs) const
  {return lhs>rhs;}
};

template<class T>
void printSet(const T & v){
   typename T::iterator itr;
   for(itr=v.begin(); itr!=v.end();++itr){
     cout <<"  "<<*itr;
   }
    cout<< endl;
}

int main (){
   multiset<int> first_set;                    // empty set of ints
   int myints[]= {10,-20,30,40,50,50,40};

   multiset<int> second_set(myints,myints+7);       // range
   multiset<int> third_set (second_set);              // a copy of second
   //set<int> fourth_set (third_set.begin(), third_set.end());  // iterator constructor
   vector<int> v(third_set.begin(), third_set.end());
   multiset<int> fourth_set (v.begin(), v.end());
   cout<<"2,3,4 set:";
   printSet(fourth_set);

   cout<<"set size:"<< second_set.size()<<endl;
   cout<<"set max size:"<< second_set.max_size()<<endl;
```

```
  cout<<"how many of 20 there "<< second_set.count(20)<< " of " <<
*second_set.find(20)<<endl;
  cout<<"how many of 50 there "<< second_set.count(50)<<" of " <<
*second_set.find(50)<<endl;
  cout<<"equal range for 20: " << *second_set.equal_range(20).first << ", " <<
*second_set.equal_range(20).second<<endl;

  multiset<int,Classcomp> fifth_set;              // class as Compare

  bool(*fn_pt)(int,int) = fncomp;
  multiset<int,bool(*)(int,int)> sixth_set (fn_pt);  // function pointer as Compare

 multiset <int,greater <int> > seventh_set;
 //insert elements in random order
 seventh_set.insert(40);
 seventh_set.insert(30);
 seventh_set.insert(60);
 seventh_set.insert(-20);
 seventh_set.insert(50);
 seventh_set.insert(30); // only one 30 will be added to the set
 seventh_set.insert(10);
 for (multiset<int,greater <int> >::iterator it = seventh_set.begin();
it!=seventh_set.end();++it){
   first_set.insert(*it);
   fifth_set.insert(*it);
   sixth_set.insert(*it);
 }
 cout<<"1 and 7th set:";
 printSet(first_set);
 cout<<"5th set:";
 printSet(fifth_set);
 cout<<"6th set:";
 printSet(sixth_set);

// remove all elements up to 30 in
 cout << "second_set after removal of elements less than 30:";
 second_set.erase(second_set.begin(), second_set.find(30));
 printSet(second_set);
  // remove element with value 50 in
 int num;
 num = third_set.erase (50);
 cout << "third_set.erase(50) : ";
```

```
  cout << num << " removed " ;

  printSet(third_set);

//lower bound and upper bound for set seventh_set
cout << "seventh_set.lower_bound(40) : "<< *seventh_set.lower_bound(40) << endl;
cout << "seventh_set.upper_bound(40) : "<< *seventh_set.upper_bound(40) << endl;

//lower bound and upper bound for set second_set
cout << "second_set.lower_bound(40) : "<< *second_set.lower_bound(40) << endl;
cout << "second_set.upper_bound(40) : "<< *second_set.upper_bound(40) << endl;
}
```

Результат:

```
2,3,4 set:    -20    10    30    40    40    50    50
set size:7
set max size:461168601842738790
how many of 20 there 0 of 7
how many of 50 there 2 of 50
equal range for 20: 30, 30
1 and 7th set:      -20    10    30    30    40    50    60
5th set:      60    50    40    30    30    10    -20
6th set:      10    -20    30    30    40    50    60
second_set after removal of elements less than 30:      30    40    40    50    50
third_set.erase(50) : 2 removed      -20    10    30    40    40
seventh_set.lower_bound(40) : 40
seventh_set.upper_bound(40) : 30
second_set.lower_bound(40) : 40
second_set.upper_bound(40) : 50
```

Зауважимо, що другий необов’язковий параметр у конструкторі множини або мультимножини — це так званий функціональний об’єкт, що вказує на те за яким критерієм сортуються значення в множині.
Так для впорядкування множини у спадаючому порядку можна записати:

```
typedef set<int,greater<int>> IntSet;
```

Об'єкт greater<>— це стандартний функціональний об'єкт, що вказує, що об’єкти сортуються за зростанням (докладніше про це — в розділі про функтори).

Відображення (Map)

Відображення — асоціативний контейнер, який зберігає дані у вигляді пари (ключ, значення). При цьому дані відсортовані по значенню ключа та кожен ключ — унікальний.

Методи для роботи з відображенням класифікуються так само як і для множини:

- Ідентифікатори та модифікатори обсягу ()
- Модифікатори даних
- Методи пошуку
- Робота з ітераторами

До Сі++11 шаблон класу відображення мав наступні конструктори
1) конструктор за замовченням (default constructor), що створює порожню множину
2) Копіконструктор — копіює вміст іншого деку
3) Конструктор за інтервалом (range constructor) — костpyює відображення за двома ітераторами на колекцію, що складється з пар об'єктів.

Ідентифікатори та модифікатори обсягу (Capacity)

- size() – кількість елементів колекції;
- max_size() – максимально можлива кількість елементів колекції;
- empty() – якщо порожня колекція повертає true, інакше false.

Модифікатори даних (Modification):

- insert(const pair g) – додає нову пару ключ/значення 'g' до відображення;
- оператор "квадратні дужки" (operator[key])– отримує доступ до значення за ключем;
- at(key) - отримує доступ до значення за ключем (з виключенням при некоректному доступі);
- erase(iterator position1, iterator position2) – видаляє елемент з інтервалу вказаного ітераторами;
- erase(const g)– видаляє значення 'g' з відображення;
- clear() – видаляє всі елементи колекції.

Починаючи з С++11 додали також наступні методи:

- emplace() – вставляє пару в множину, якщо цього елементу ще в неї міститься;
- emplace_hint() – повертає ітератор на елемент, який вставляється в відображення, якщо цього елементу до цього там не було;
- swap() – обмінює вміст двох множин ода в іншу.

Методи пошуку (Searching):

- key_comp() / value_comp() – повертає об'єкт, що вказує як ключ/значення впорядковані ('<' за замовченням);
- find(const g) – повертає ітератор на значення ключа 'g' якщо він є у множині, або ітератор на кінець відображення, якщо його немає;
- count(const g) – повертає кількість входжень ключу 'g' в колекції;

- lower_bound(const g) – повертає ітератор на перший ключ, що еквіалентний ‘g’ або на перший елемент, що точно більший за ‘g’;
- upper_bound(const g) – повертає ітератор на перший ключ, що еквіалентний ‘g’ або на останній елемент, що точно менший за ‘g’;
- equal_range((const g) – повертає ітератор на тип пара (key_comp) в якому перше поле pair::first яквівалентне lower bound, а pair::second еквівалентне upper bound.

Робота з ітераторами (iterators): така сама як і для множини та контейнерів послідовного доступу.

```
#include <iostream>
#include <map>
#include <stdexcept>

using namespace std;

template <typename K, typename V>
void printMap(const map<K,V> & dict, string name){
   // printing map gquiz1
   typename map<K, V>::const_iterator itr;
   cout << "The map " << name <<" is : \n";
   for (itr = dict.begin(); itr != dict.end(); ++itr) {
      cout << " " << itr->first
           << " " << itr->second << " ";
   }
   cout << endl;
}

int main(){
   // empty map container
   map<int, int> dict1;

   // insert elements in random order
   dict1.insert(pair<int, int>(1, 40));
   dict1.insert(pair<int, int>(3, 30));
   dict1.insert(pair<int, int>(2, 60));
   dict1.insert(pair<int, int>(5, 20));
   dict1.insert(pair<int, int>(4, 50));
   dict1.insert(make_pair(7, 50));
   dict1.insert(make_pair(6, 10));
   //dict1.insert(make_pair(6, 15)); // replace old value
```

```
    printMap(dict1, "dict1");

    // assigning the elements from gquiz1 to gquiz2
    map<int, int> dict2(dict1.begin(), dict1.end());

    // access and change value by key
    dict2[6] = 20;
    dict2.at(7) = 30;
    try{
     dict2.at(8) = 30;
    }
    catch(out_of_range & ex){
     cout<<"error Incorrect key"<<ex.what()<<endl;
    }

    printMap(dict2, "dict2");

    // remove all elements up to
    // element with key=3 in dict2
    cout << "dict2 after removal of"
           " elements less than key=3 : ";
    dict2.erase(dict2.begin(), dict2.find(3));
    printMap(dict2, "dict2 erased: ");

    // remove all elements with key = 5
    int num;
    num = dict2.erase(5);
    cout << "dict2.erase(5) : " << num << " removed \n";

    printMap(dict2, "dict2 erased 5");
    // lower bound and upper bound for map gquiz1 key = 5
    cout << "dict1.lower_bound(5) : "  << "KEY = ";
    cout << dict1.lower_bound(5)->first << " ";
    cout << "   ELEMENT = "<< dict1.lower_bound(5)->second << endl;
}
```

Результат:

```
The map dict1 is :
 1 40  2 60  3 30  4 50  5 20  7 50
error Incorrect index map::at
The map dict2 is :
```

```
 1 40  2 60  3 30  4 50  5 20  6 20  7 30
dict2 after removal of elements less than key=3 : The map dict2 erased:  is :
 3 30  4 50  5 20  6 20  7 30
dict2.erase(5) : 1 removed
The map dict2 erased 5 is :
 3 30  4 50  6 20  7 30
dict1.lower_bound(5) : KEY = 5          ELEMENT = 20
```

Мультвідображення (Multimap)

Мультвідображення відрізняється від відображення можливістю додавати пари значень з еквівалентними ключами. Це виключає можливість використання квадратних дужок для доступу до елементів але розширює можливості додавання елементів.

```
#include <iostream>
#include <map>
#include <stdexcept>

using namespace std;

template <typename K, typename V>
void printMap(const multimap<K,V> & dict, string name){
   // printing map gquiz1
   typename multimap<K, V>::const_iterator itr;
   cout << "The map " << name <<" is : \n";
   for (itr = dict.begin(); itr != dict.end(); ++itr) {
      cout << " " << itr->first
           << " " << itr->second << " ";
   }
   cout << endl;
}

int main(){
   // empty map container
   multimap<string, string> dict1;

   // insert elements in random order
   dict1.insert(make_pair("1", "word1"));
   dict1.insert(make_pair("2", "word2"));
   dict1.insert(make_pair("1", "word3"));
   dict1.insert(make_pair("2", "word4"));
   dict1.insert(make_pair("3", "word5"));
   dict1.insert(make_pair("4", "word6"));
```

```
   dict1.insert(make_pair("5", "word7"));
   dict1.insert(make_pair("5", "word8"));

   printMap(dict1, "dict1");

   // assigning the elements from gquiz1 to gquiz2
   multimap<string, string> dict2(dict1.begin(), dict1.end());

   printMap(dict2, "dict2");

   // remove all elements up to
   // element with key=3 in dict2
   cout << "dict2 after removal of"
         " elements less than key=1 : \n";
   dict2.erase(dict2.begin(), dict2.find("2"));
   printMap(dict2, "dict2 erased: ");

   // remove all elements with key = 5
   int num;
   num = dict2.erase("4");
   cout << "dict2.erase(4) : " << num << " removed \n";

   printMap(dict2, "dict2 erased 4");
   // lower bound and upper bound for map gquiz1 key = 5
   cout << "dict1.lower_bound(5) : "  << "KEY = ";
   cout << dict1.lower_bound("5")->first << " ";
   cout << "   ELEMENT = "<< dict1.lower_bound("5")->second << endl;

   dict1.insert(make_pair("5", "word9"));
   dict1.insert(make_pair("6", "word10"));
   cout<<"all values with key=5:\n";
   pair       <multimap<string,string>::iterator,       multimap<string,string>::iterator>
eq_range;
   eq_range = dict1.equal_range("5");
   for (multimap<string,string>::iterator it=eq_range.first; it!=eq_range.second; ++it)
     cout << " " << it->second;

}
```

Результат:

```
The map dict1 is :
 1 word1  1 word3  2 word2  2 word4  3 word5  4 word6  5 word7  5 word8
The map dict2 is :
```

```
 1 word1  1 word3  2 word2  2 word4  3 word5  4 word6  5 word7  5 word8
dict2 after removal of elements less than key=1 :
The map dict2 erased:  is :
 2 word2  2 word4  3 word5  4 word6  5 word7  5 word8
dict2.erase(4) : 1 removed
The map dict2 erased 4 is :
 2 word2  2 word4  3 word5  5 word7  5 word8
dict1.lower_bound(5) : KEY = 5          ELEMENT = word7
all values with key=5:
 word7 word8 word
```

Контейнери та методи, що були додані в Сі++11

Деякі корисні нововведення Сі++11

У відповідності зі стандартом С++11 ключове слово auto дозволяє вказати точний тип ітератору (за умови, що ітератор був ініціалізованим під час оголошення, так що його тип можна вивести з його початкового значення). Таким чином, безпосередня ініціалізація ітератору за допомогою функції begin() дозволяє використовувати ключове слово auto для оголошення його типу:

```
for (auto pos = coll.begin(); pos != coll.end(); ++pos) {
        cout << *pos << ' ';
}
```

Легко бачити, що використання ключового слова auto робить код більш компактним.

Без ключового слова auto оголошення ітератору в циклі виглядало б у такий спосіб:

```
for (list<char>::const_iterator pos = coll.begin();
        pos != coll.end(); ++pos) {
        cout << *pos << ' ';
}
```

Інша перевага застосування auto полягає в тому, що цикл є стійким до змін коду, таким як модифікація типу контейнеру.

Однак у такої конструкції є недолік — ітератор втрачає свою константність, тобто з'являється ризик ненавмисного присвоювання. Вираз auto pos = coll.begin() робить ітератор pos неконстантним, тому що функція begin() повертає об'єкт типу контейнер::iterator.

Для того щоб зберегти константність ітератору, у стандарті С++11 передбачені функції

cbegin() і cend().

Вони повертають об'єкт типу контейнер::const_iterator.

Таким чином, в стандарті C++11 цикл, що дозволяє обходити всі елементи контейнеру без використання діапазонного циклу for, може мати наступний вигляд:

```
for (auto pos = coll.cbegin(); pos != coll.cend(); ++pos) {
...
}
```

Крім того, в Сі++11 з'явився цикл foreach типу, який дозволяє ітеруватись по контейнеру проходячи всі елементи колекції. Тобто, конструкція

```
for (type elem : coll) {
        ...
}
```

Інтерпретується як

```
for (auto pos=coll.begin(), end=coll.end(); pos!=end; ++pos) {
        type elem = *pos;
        ...
}
```

Приклади:

1) Виведення вектору можна записати настпним чином:

```
vector<string> v = {“aaa”,”bbb”, “cccc”};
for(string s: v){
  cout<<s;
}
```

Або більш універсально:

```
for(const auto & s: v){
  cout<<s;
}
```

Вставка контейнеру у контейнер

Всі асоціативні контейнери передбачають метод insert()для вставки нового елементу.

```
coll.insert(3);
coll.insert(1);
...
```

В C++11 можна просто:

```
coll.insert ( { 3, 1, 5, 4, 1, 6, 2 } );
```

Кожен вставлений елемент автоматично займає правильну позицію відповідно до критерію сортування.

Ініціалізація контейнеру

В Сі++11 додали більш зручну можливість ініціалізації контейнеру за допомогою фігурних дужок

```
vector<int> v{1,2,3,4,5};
```

Аналогічно, оскільки в нас є копіконструктор стола можлива і наступна ініціалізація

```
vector<int> v = {1,2,3,4,5};
```

Клас array

Введення класу масиву з C ++ 11 запропонувало кращу альтернативу для масивів C-стилю. Переваги класу масиву над масивом C-стилю:
• Класи масивів знають свій власний розмір, тоді як масиви C-стилю не мають цієї властивості. Тому при переході до функцій нам не потрібно передавати розмір масиву як окремий параметр.
• З масивом стилів C більший ризик розпаду масиву в вказівник. Класи масивів не розпадаються на вказівники.
• Класи масивів, як правило, є більш ефективними, легкими та надійними, ніж масиви C-стилю.
Методи array :

- **at()** - доступ до елементу за його номером;
- **get()** - ця функція також дозволяє отримати доступ до елементу масиву, але це не метод контейнеру, а дружня функція класу tuple.
- **operator[]** - доступ до елементу.

```
// C++ code to demonstrate working of array,
// to() and get()
#include<iostream>
#include<array> // for array, at()
#include<tuple> // for get()
using namespace std;
int main() {
// Initializing the array elements
array<int,6> ar = {1, 2, 3, 4, 5, 6};

// Printing array elements using at()
cout << "The array elemets are (using at()) : ";
for( inti=0; i<6; i++)
cout << ar.at(i) << " ";
```

```
cout << endl;

// Printing array elements using get()
cout << "The array elemets are (using get()) : ";
cout << get<0>(ar) << " "<< get<1>(ar) << " ";
cout << get<2>(ar) << " "<< get<3>(ar) << " ";
cout << get<4>(ar) << " "<< get<5>(ar) << " ";
cout << endl;

// Printing array elements using operator[]
cout << "The array elements are (using operator[]) : ";
for( inti=0; i<6; i++)
cout << ar[i] << " ";
cout << endl;
```

- **front()** - повертає перший елемент масиву.
- **back()** - повертає останній елемент масиву

```
// C++ code to demonstrate working of
// front() and back()
#include<iostream>
#include<array> // for front() and back()
using namespace std;
int main(){
// Initializing the array elements
array<int,6> ar = {1, 2, 3, 4, 5, 6};

// Printing first element of array
cout << "First element of array is : ";
cout << ar.front() << endl;

// Printing last element of array
cout<< "Last element of array is : ";
cout << ar.back() << endl;
```

- **size()** - розмір масиву (цього методу не має в Сі-масивах).
- **max_size()** - максимально можливий розмір масиву.

```
// C++ code to demonstrate working of
// size() and max_size()
#include<iostream>
#include<array> // for size() and max_size()
Using namespace std;
Int main() {
```

```
// Initializing the array elements
array<int,6> ar = {1, 2, 3, 4, 5, 6};

// Printing number of array elements
cout << "The number of array elements is : ";
cout << ar.size() << endl;

// Printing maximum elements array can hold
cout << "Maximum elements array can hold is : ";
cout << ar.max_size() << endl;
```

- **empty()** - чи порожній масив;
- **fill()** - метод дозволяє заповнити масив певним значенням.

```
#include<iostream>
#include<array> // for fill() and empty()
Using namespace std;
int main() {
// Declaring 1st array
array<int,6> ar;

// Declaring 2nd array
array<int,0> ar1;

// Checking size of array if it is empty
ar1.empty()? cout << "Array empty":
cout << "Array not empty";
cout << endl;

// Filling array with 0
ar.fill(0);

// Displaying array after filling
cout << "Array after filling operation is : ";
for( inti=0; i<6; i++)
cout << ar[i] << " ";
}
```

Клас forward_list

Однонаправлений список – в деяких ситуаціях працює швидше ніж

двонаправлений список, але методи доступу та роботи з ітератором тут відрізняються, оскільки на відміну від інших контейнерів ітератор тут може рухатись лише в одному напрямку.

Методи контейнеру список

Модифікатори:

- operator= – оператор присвоєння;
- assign(n,val) – присвоює значення контейнеру;

Доступ до елементів:

- front() – доступ до першого елементу

Робота з ітераторами:

- before_begin() – повертає ітератор перед початком списку;
- cbefore_begin() – повертає константний ітератор перед початком списку;
- begin() - повертає початковий ітератор;
- cbegin() - повертає константний початковий ітератор;
- end() - повертає ітератор на кінець списку;
- cend() - повертає константний ітератор на кінець списку;

Ідентифікатори обсягу:

- empty() - чи порожній контейнер;
- max_size - максимальна кількість елементів контейнеру;

Модификатори:

- clear() – очищення вмісту контейнеру;
- insert_after() – вставка елементів після даного ітератору;
- emplace_after() – створення елементів після даного ітератору;
- erase_after() – видаляє елемент після ітератору;
- push_front() – вставляє елемент в початок;
- emplace_front() – створює елемент на початку;
- pop_front() – видаляє перший елемент;
- resize() – змінює кількість виділених елементів масиву;
- swap() – обмін змісту двох списків;
- merge() – об’єднує два відсортованих списки;
- splice_after () – переміщує елементи з іншого forward_list;
- remove(g) – видаляє даний елемент або список елементів;
- remove_if(func) – видаляє елементи по вказаному критерію (func - функція або функціональний об’єкт);
- reverse() – інвертує список;
- unique() – видаляє послідовні однакові елементи;

- sort() – сортує список.

```
#include <forward_list>
#include <string>
#include <iostream>

template<typename T>
std::ostream& operator<<(std::ostream& s, const std::forward_list<T>& v) {
   s.put('[');
   char comma[3] = {'\0', ' ', '\0'};
   for (const auto& e : v) {
      s << comma << e;
      comma[0] = ',';
   }
   return s << ']';
}

int main() {
   // c++11 initializer list syntax:
   std::forward_list<std::string> words1 {"the", "frogurt", "is", "also", "cursed"};
   std::cout << "words1: " << words1 << '\n';

   // words2 == words1
   std::forward_list<std::string> words2(words1.begin(), words1.end());
   std::cout << "words2: " << words2 << '\n';

   // words3 == words1
   std::forward_list<std::string> words3(words1);
   std::cout << "words3: " << words3 << '\n';

   // words4 is {"Mo", "Mo", "Mo", "Mo", "Mo"}
   std::forward_list<std::string> words4(5, "Mo");
   std::cout << "words4: " << words4 << '\n';
}
```

Результат

```
words1: [the, frogurt, is, also, cursed]
```

words2: [the, frogurt, is, also, cursed]
words3: [the, frogurt, is, also, cursed]
words4: [Mo, Mo, Mo, Mo, Mo]