

OO Programozás

Iterátorok, string

Dr. Hatwagner F. Miklós

Széchenyi István Egyetem, Győr

https://github.com/wajzy/GKxB_INTM085

2023. december 5.

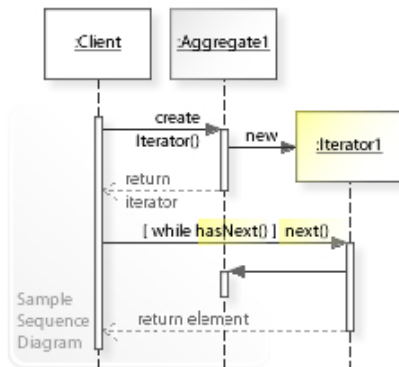
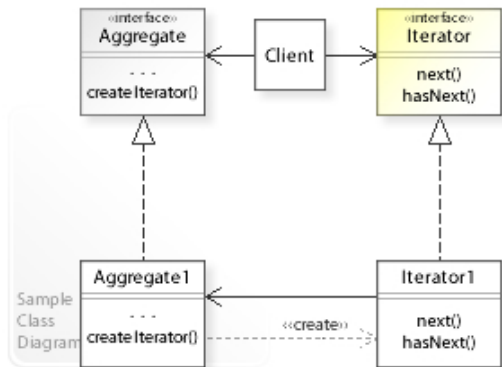
„Az informatikában programtervezési mintának (angolul Software Design Patterns) nevezik a gyakran előforduló programozási feladatokra adható általános, újrafelhasználható megoldásokat. Egy programtervezési minta rendszerint egymással együttműködő objektumok és osztályok leírása.”*

Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson, John Vlissides: Design Patterns
(*Elements of Reusable Object-Oriented Software*), Addison-Wesley, 1994

- Létrehozási minták
- Szerkezeti minták
- Viselkedési minták

Iterátor

„Az Iterátor (...) minta lényege, hogy segítségével szekvenciálisan érhetjük el egy aggregált objektum elemeit, a mögöttes megvalósítás megismerése nélkül.”*



Forrás


```
4 template<class T>
5 class Iterator {
6     protected:
7         T* p;
8     public:
9         virtual bool operator!=(const Iterator&) const = 0;
10        virtual Iterator& operator++() = 0; // prefix
11        virtual T& operator*() const = 0;
12 };

```

operator++

A postfix alak operátorának felültöltése:

```
virtual Iterator operator++(int) = 0;
```

Probléma: absztrakt osztály nem példányosítható → a visszatérési érték típusa nem lehet Iterator!

100

100

```

13     bool operator!=(const Iterator<char>& it) const override {
14         return p != static_cast<const MessageIterator&>(it).p;
15     }
16
17     MessageIterator& operator++() override {
18         ++p;
19         return *this;
20     }
21
22     char& operator*() const override {
23         return *p;
24     }
25 };

```

override

Azt állítjuk, hogy a tagfüggvény (felül)definiálja az öröklött függvényt → ha nem így van (pl. elgépelés), akkor hibaüzenettel leáll a fordítás.

static_cast

Az implicit és a felhasználó által definiált típuskonverzió kombinációja, szükség esetén hívja a konverziós konstruktort. *Fordítási időben* ellenőrzi a típusokat és eldönti, hogy az átalakítás végrehajtható-e. Használható primitív típusok közötti átalakításhoz, a származtatási hierarchiában történő fel- és lefelé lépéshez, vagy void mutatóról/ra történő konverzióhoz is.

Message5.h

```
27 class Message {
28     private:
29         char* pStr;
30         int len; // The length of str is also stored
31     public:
32         Message() { // default ctor
33             pStr = new char('\0');
34             len = 0;
35         }
36
37         Message(const char* s) { // conversion ctor
38             len = strlen(s);
39             pStr = new char[len + 1];
40             strcpy(pStr, s);
41         }
```

100

```

43     Message(const Message& m) : Message(m.pStr) {} // copy ctor
44
45     ~Message() { // dtor
46         delete[] pStr;
47     }
48
49     Message& operator=(const Message& m); // assignment op.
50
51     friend std::ostream& operator<<(std::ostream& os, const Message& m);
52
53     char& operator[](int i) {
54         if (i < 0 || i >= len) {
55             throw std::out_of_range("Message::operator []");
56         }
57         return pStr[i];
58     }

```



```
60     int length() const {
61         return len;
62     }
63
64     MessageIterator begin() const {
65         return MessageIterator(pStr);
66     }
67
68     MessageIterator end() const {
69         return MessageIterator(pStr + len);
70     }
71 };
```

```

3 Message& Message::operator=(const Message& m) {
4     if(&m == this) return *this;
5     delete[] pStr;
6     len = strlen(m.pStr);
7     pStr = new char[len + 1];
8     strcpy(pStr, m.pStr);
9     return *this;
10 }
11
12 std::ostream& operator<<(std::ostream& os, const Message& m) {
13     os << m.pStr;
14     return os;
15 }

```

```

18 template<class T>
19 class ListIterator : public Iterator<ListItem<T>> {
20     public:
21         ListIterator(ListItem<T>* i) {
22             // use 'this' to force the compiler to look
23             // for the name 'p' in the base class
24             this->p = i;
25             // Iterator<ListItem<T>>::p = i; // also OK
26         }
27
28         bool operator!=(const Iterator<ListItem<T>>& it) const override {
29             return this->p != static_cast<const ListIterator<T>&>(it).p;
30         }

```



```

32     ListIterator<T>& operator++() override {
33         this->p = this->p->next;
34         return *this;
35     }
36
37     ListItem<T>& operator*() const override {
38         return *(this->p);
39     }
40 };

```

1000

```
42 template<class T>
43 class LinkedList {
44     private:
45         ListItem<T>* front;
46         ListItem<T>* tail;
47     public:
48         LinkedList() {
49             front = tail = nullptr;
50         }
```

LinkedList.h

```
52     ~LinkedList() {  
53         for(ListItem<T>* current = front; current != nullptr;) {  
54             ListItem<T>* next = current->next;  
55             delete current;  
56             current = next;  
57         }  
58     }
```

```

60 void append(const T& i) {
61     ListItem<T>* latest = new ListItem<T>;
62     *latest = { i, nullptr };
63     if (tail == nullptr) {
64         front = latest;
65     } else {
66         tail->next = latest;
67     }
68     tail = latest;
69 };

```

LinkedList.h

```
71     ListIterator<T> begin() {  
72         return ListIterator<T>(front);  
73     }  
74  
75     ListIterator<T> end() {  
76         return ListIterator<T>(nullptr);  
77     }  
78 };
```

iteratorMain.cpp

```
1 #include <iostream>
2 #include "Message5.h"
3 #include "LinkedList.h"
4
5 int main() {
6     Message m = "Hello_C++_world!";
7
8     // using iterator
9     for (auto i = m.begin(); i != m.end(); ++i) {
10         std::cout << *i;
11     }
12     std::cout << std::endl;
```

iteratorMain.cpp

```
14 // range-based for loop, C++11
15 for (const auto& c : m) {
16     std::cout << c;
17 }
18 std::cout << std::endl;
19
20 // operator[]
21 try {
22     for (auto i = 0; i <= m.length(); i++) {
23         std::cout << m[i];
24     }
25 } catch (const std::out_of_range& e) {
26     std::cerr << "\nException caught: " << e.what() << std::endl;
27 }
```

100

```
29     LinkedList<int> l;  
30     l.append(1); l.append(2); l.append(3);  
31     for (auto i = l.begin(); i != l.end(); ++i) {  
32         std::cout << *i << '\t';  
33     }  
34     std::cout << std::endl;  
35 }
```

100

```
Hello C++ world!  
Hello C++ world!  
Hello C++ world!  
Exception caught: Message::operator[]  
1 2 3
```


Range-based for loop (C++11)

- Bejárhatók vele tömbök,
- iterátort (`begin()`, `end()`) biztosító *gyűjtemények* (ld. később),
- és kapcsos zárójelek között felsorolt értékek.
- A soron következő elem elérhető érték szerint és referenciával is.

range.cpp

```
3  int main() {
4      int array[] = {1, 2, 3};
5      for(const auto& i : array) { // reference
6          std::cout << i << ' ';
7      }
8      std::cout << std::endl;
9
10     for(auto i : array) { // value
11         std::cout << i << ' ';
12     }
13     std::cout << std::endl;
14
15     for(auto i : {4, 5, 6}) { // braced-init-list
16         std::cout << i << ' ';
17     }
18     std::cout << std::endl;
```

range.cpp

```
20  std::string text = "C++ is so cool!\n";
21  // explicit iterator usage
22  for(auto i=text.begin(); i!=text.end(); ++i) {
23      std::cout << *i;
24  }
25
26  // implicit iterator usage, range-based for loop
27  for(const auto& c : text) {
28      std::cout << c;
29  }
30
31  // overloaded [] operator
32  for(size_t i=0; i<text.length(); ++i) {
33      std::cout << text[i];
34  }
```

- Előjel nélküli egész típus, ami tetszőlegesen nagy objektum méretét (\rightarrow sizeof) képes megadni bájtokban mérve.
- Általában indexelésre és ciklusszámlálóként használják az ilyen típusú változókat.

C++ iterátorok

„Iterátor bármely olyan objektum, amely adatok (például egy tömb vagy egy gyűjtemény) valamely elemére mutatva operátorok egy halmazának (ami legalább a növelő (++) és indirekció * műveleteket tartalmazza) segítségével képes az adatok között iterálni.”*

A legkézenfekvőbb iterátor típus a *mutató*, de az összetett adatszerkezetek általában bonyolultabb megoldásokat igényelnek.

Bidirectional

A Forward iterátorok képességein túl a csökkentés ($--$) operátort is támogatja, bejárás hátrafelé.

Random access

Mint Bidirection, de támogatja még az összeadást ($+$, $+=$), kivonást ($-$, $-=$), az egyenlőtlenségi relációkat ($<$, $<=$, $>$, $>=$) és az indexelést ($[]$) is.

range.cpp

```
36 // random access iterator
37 auto it = text.begin();
38 for (size_t i=0; i<text.length(); ++i) {
39     std::cout << it[i];
40 }
41 }
```


Az `std::string` osztály néhány érdekes tulajdonsága:

- Fej fájl: `<string>`
- Az `std::basic_string<char>` sablonpéldány szinonimája (typedef)
- Inicializálható C-stringgel (`char*`), konverzió visszafelé: `string::c_str()`
- Dinamikus memóriakezelést használ
- Tartalma megváltoztatható (mutable)
- Számos felültöltött operátor, pl. összefűzés `+`, indexelés `[]`
- Megvalósítja a `RandomAccessIterator`t

stringDemo.cpp

```
1  #include <iostream>
2  #include <string>
3  #include <cctype>

15 int main() {
16     int i;
17     std::cout << "Enter an integer: ";
18     std::cin >> i;
19
20     std::string str;
21     std::cout << "Enter a line of text: ";
22     // getline(std::cin, str); // 'new line' after number cannot be converted
23     // to 'int' and remains in input buffer
24     getline(std::cin >> std::ws, str); // clears leading whitespaces
25     std::cout << "You've entered: " << i << ", " << str << std::endl;
```

`std::ws` → figyelmen kívül hagyja a kezdeti fehér karaktereket

Kimenet #1

```
Enter an integer: 5
```

```
Enter a line of text: hello
```

```
You've entered: 5, hello
```

Kimenet #2

```
Enter an integer: 5cats
```

```
Enter a line of text: You've entered: 5, cats
```

stringDemo.cpp

```
27  std::cout << "Capacity_of_the_string_is_"
28      << str.capacity() << "_chars.\n";
29  int len = str.length();
30  std::cout << "Length_of_the_string_is:" << len << "_chars.\n";
31  const char fillChar = '!';
32  str.resize(len+3, fillChar);
33  std::cout << "Resized_and_filled_with_" << fillChar
34      << ":_" << str << std::endl;
35  str.resize(len);
36  std::cout << "Undo_resize:" << str << std::endl;
37  std::cout << "Shrinking_string..._";
38  str.shrink_to_fit();
39  std::cout << "capacity_is_now_" << str.capacity() << "_chars.\n";
```

Kimenet #1

```
Enter an integer: 1
Enter a line of text: hello
You've entered: 1, hello
Capacity of the string is 15 chars.
Length of the string is: 5 chars.
Resized and filled with !: hello!!!
Undo resize: hello
Shrinking string... capacity is now 15 chars.
```

Kimenet #2

Enter an integer: 2

Enter a line of text: TheQuickBrownFoxJumpsOverTheLazyDog

You've entered: 2, TheQuickBrownFoxJumpsOverTheLazyDog

Capacity of the string is 60 chars.

Length of the string is: 35 chars.

Resized and filled with !: TheQuickBrownFoxJumpsOverTheLazyDog!!!

Undo resize: TheQuickBrownFoxJumpsOverTheLazyDog

Shrinking string... capacity is now 35 chars.

`capacity()`

A jelenleg lefoglalt memóriaterület mérete.

`length()`

A szöveg hossza.

`resize()`

Adott hosszúságúra alakítja a stringet. Ha eredetileg rövidebb volt, megadható, hogy milyen jelekkel töltse fel. Ha hosszabb volt, a végét levágja.

`shrink_to_fit()`

A lefoglalt, de nem használt memóriaterület felszabadítása iránti igény jelzése. Nem feltétlenül lesz teljesítve.

stringDemo.cpp

```
41 // to allow usage of the 's' suffix
42 using namespace std::string_literals;
43 std::cout << "std::string_literal_length:_"
44           << "std::string"s.length() << std::endl;
45 // std::string literal("std::string", 11);
```

Az `std::string_literals` névtér és az `s` végződés használatával egy `std::string` literál formálisan közvetlenül is létrehozható.

Kimenet

```
Enter an integer: 5
Enter a line of text: hello
...
std::string literal length: 11
```


stringDemo.cpp

```
47     std::cout << "Displaying the text char-by-char with constant iterator:\n";
48     for(auto it=str.cbegin(); it!=str.cend(); ++it) {
49         std::cout << *it;
50     }
51     std::cout << std::endl;
52     std::cout << "Reverse direction:\n";
53     for(auto it=str.crbegin(); it!=str.crend(); ++it) {
54         std::cout << *it;
55     }
56     std::cout << std::endl;
57     std::cout << "Ciphertext:" << caesar(str, 4) << std::endl;
58     std::cout << "Plain text:" << caesar(str, 26-4) << std::endl;
```

stringDemo.cpp

```
5  std::string& caesar(std::string& str, int shift) {
6      for(auto it=str.begin(); it!=str.end(); it++) {
7          if(isalpha(*it)) {
8              char alpha = islower(*it) ? 'a' : 'A';
9              *it = alpha + (*it-alpha+shift)%('z'-'a'+1);
10         }
11     }
12     return str;
13 }
```

Kimenet

Enter an integer: 5

Enter a line of text: hello

...

Displaying the text char-by-char with constant iterator:

hello

Reverse direction:

olleh

Ciphertext: lipps

Plain text: hello

Iterátorok:

`begin()`, `cbegin()`

A string elejére mutató (konstans) iterátor.

`end()`, `cend()`

A string végére mutató (konstans) iterátor.

`rbegin()`, `crbegin()`

A string végére mutató (konstans) iterátor, bejárás fordított irányban.

`rend()`, `crend()`

A string elejére mutató (konstans) iterátor, bejárás fordított irányban.

Caesar-rejtjelezés

stringDemo.cpp

```
60     std::cout << "Indices of letter 'e':\n";
61     for(auto i=str.find("e", 0); i!=std::string::npos;
62         i=str.find("e", i)) { // or try to use rfind()
63         std::cout << i++ << ' ';
64     }
65     std::cout << std::endl;
66     std::cout << "First half:" << str.substr(0, str.length()/2)
67         << std::endl;
68     str.insert(0, "<"); str.insert(str.length(), ">");
69     std::cout << "Inserting:" << str << std::endl;
70     str.erase(0, 1); str.erase(str.length()-1);
71     std::cout << "Erasing:" << str << std::endl;
72 }
```

Kimenet

```
Enter an integer: 42
```

```
Enter a line of text: Reverse engineering
```

```
...
```

```
Indices of letter 'e':
```

```
1 3 6 8 13 14
```

```
First half: Reverse e
```

```
Inserting: <Reverse engineering>
```

```
Erasing: Reverse engineering
```

`find(str, pos), rfind(str, pos)`

Rész-karakterlánc (`str`) keresése adott helyről (`pos`) indulva. Ha nincs találat, `npos`-sal tér vissza.

`substr(pos, count)`

Rész-karakterlánc előállítás `pos` helyről indulva, `count` hosszban.

`insert(index, s)`

Az `s` karakterlánc beszúrása `index` helyre.

`erase(index, count)`

Karakterek törlése az `index` helytől kezdve, `count` mennyiségben.

Standard Template Library (STL)

Gyűjtemények (containers)

dinamikus tömb (vector), láncolt lista (list, forward_list), leképezés (asszociatív tömb, szótár: map), halmaz (set), verem és sorok (stack, deque), stb.

Algoritmusok

pl. keresés, csere.

Iterátorok

elemek bejárása különféle irányokban és módokon

Függvény objektumok (functors)

Függvények paramétereként átadható objektumok. Ezek tagfüggvényeivel a hívott függvény viselkedése befolyásolható, pl. egy gyűjtemény elemei átalakíthatók a kívánt (paraméterezésnek megfelelő) módon.

Adapterek (adapters)

Más komponensek viselkedését módosítják, pl. egy iterátor bejárési irányát megfordítja.

A vector osztály

- Fej fájl: `<vector>`
- Dinamikus tömb osztálysablon
- Speciális eset: `vector<bool>` \rightarrow bithalmaz
- Tartalma megváltoztatható (mutable)
- Véletlen elérés: $\mathcal{O}(1)$, beszúrás/törlés a végén: amortizált $\mathcal{O}(1)$, tetszőleges helyen $\mathcal{O}(n)$.

vectorDemo.cpp

```
1  #include <iostream>
2  #include <vector>

12 int main() {
13     std::vector<int> iv1 = {1, 2, 3, 4, 5}; // initializer list
14     for(const auto& i : iv1) {
15         std::cout << i << ' ';
16     }
17     std::cout << std::endl;
18
19     std::vector<int> iv2 {6, 7, 8, 9, 10}; // uniform initialization
20     for(const auto& i : iv2) {
21         std::cout << i << ' ';
22     }
23     std::cout << std::endl;
```

vectorDemo.cpp

```
25     std::vector<int> iv3(5, 42); // constructor #1
26     for(auto i = iv3.cbegin(); i!=iv3.cend(); ++i) {
27         std::cout << *i << '␣';
28     }
29     std::cout << std::endl;
30
31     std::vector<int> iv4(5); // constructor #2
32     for(size_t i=0; i<iv4.size(); i++) {
33         std::cout << iv4[i] << '␣';
34     }
35     std::cout << std::endl;
```

vectorDemo.cpp

```
37  std::vector<int> iv5; // constructor #3
38  iv5.push_back(11); iv5.push_back(12); iv5.push_back(13);
39  for(size_t i=0; i<iv5.size(); i++) {
40      std::cout << iv5.at(i) << ' ';
41  }
42  std::cout << std::endl;
43
44  // 2x3 matrix of 1's
45  std::vector<std::vector<int>> im1(2, std::vector<int>(3, 1));
46  for(const auto& r : im1) {
47      for(const auto& c : r) {
48          std::cout << c << ' ';
49      }
50      std::cout << std::endl;
51  }
```

Kimenet

```
1 2 3 4 5
```

```
6 7 8 9 10
```

```
42 42 42 42 42
```

```
0 0 0 0 0
```

```
11 12 13
```

```
1 1 1
```

```
1 1 1
```

Inicializálás, példányosítás

- inicializáló listával
- explicit **konstruktor** hívással, pl.
 - `vector();`
 - `explicit vector(size_type count);`
 - `vector(size_type count, const T& value, const Allocator& alloc = Allocator());`

vectorDemo.cpp

```
53  std::vector<int> iv6 = {1, 2, 3, 4, 5};
54  std::cout << "Size_of_iv6:" << iv6.size() << std::endl;
55  std::cout << "Capacity:" << iv6.capacity() << std::endl;
56  std::cout << "Reserving memory..." << iv6.reserve(16);
57  std::cout << "Capacity:" << iv6.capacity() << std::endl;
58  std::cout << "Is it empty?" << (iv6.empty() ? "Yes" : "No") << std::endl;
59  std::cout << "Shrinking..." << iv6.resize(3); printForward(iv6);
60  std::cout << "Growing..." << iv6.resize(6); printForward(iv6);
61  std::cout << "Further growing..." << iv6.resize(9, -1); printForward(iv6);
62  std::cout << "Shrinking..." << iv6.shrink_to_fit();
63  std::cout << "Capacity:" << iv6.capacity() << std::endl;
```

vectorDemo.cpp

```
4  template<class T>
5  void printForward(const std::vector<T>& v) {
6      for(auto i=v.begin(); i!=v.end(); i++) {
7          std::cout << *i << ' ';
8      }
9      std::cout << std::endl;
10 }
```


Kimenet

Size of iv6: 5

Capacity: 5

Reserving memory... Capacity: 16

Is it empty? No

Shrinking... 1 2 3

Growing... 1 2 3 0 0 0

Further growing... 1 2 3 0 0 0 -1 -1 -1

Shrinking... Capacity: 9

`size()`

Tárolt elemek száma.

`capacity()`

Ennyi elem számára van lefoglalva memóriaterület.

`reserve(new_cap)`

Legalább `new_cap` elemszámú adatnak foglal le memóriaterületet.

`empty()`

Logikai igaz értékkel tér vissza, ha a vektor üres.

`resize(count)`, `resize(count, value)`

Ha `count` kisebb `size()`-nál, akkor az utolsó elemeket levágja. Ha nagyobb, akkor kibővíti a vektort és a `value` másolataival tölti fel az új elemeket.

`shrink_to_fit()`

Kezdeményezi (de nem feltétlenül hajtja végre) a kihasználatlan kapacitások törlését.

vectorDemo.cpp

```
65     std::cout << "First_element:_ " << iv6.front() << std::endl;
66     std::cout << "Last_element:_ " << iv6.back() << std::endl;
67     std::cout << "Element_at_idx._1:_ " << iv6[1] << std::endl;
68     std::cout << "Element_at_idx._2:_ " << iv6.at(2) << std::endl;
69     std::cout << "Elements_in_reverse_order_(using_pointers):_";
70     for(const int* pi = iv6.data()+iv6.size()-1; pi>=iv6.data(); pi--) {
71         std::cout << *pi << '_';
72     }
73     std::cout << "\nElements_in_reverse_order_(using_rev._it.):_";
74     for(std::vector<int>::const_reverse_iterator i = iv6.crbegin();
75         i!=iv6.crend(); i++) {
76         std::cout << *i << '_';
77     }
78     std::cout << std::endl;
```

Kimenet

First element: 1

Last element: -1

Element at idx. 1: 2

Element at idx. 2: 3

Elements in reverse order (using pointers): -1 -1 -1 0 0 0 3 2 1

Elements in reverse order (using rev. it.): -1 -1 -1 0 0 0 3 2 1

`front()`, `back()`

Visszaadják az első és utolsó tárolt elemet.

`operator[] (pos)`, `at (pos)`

Visszaadják a pos indexű elemet.

`data()`

Visszaadja a lefoglalt memóriaterület kezdőcímét.

`cbegin()`, `crend()`

Csak olvasásra alkalmas iterátorok az elemek fordított sorrendben történő eléréséhez.

vectorDemo.cpp

```
80  std::vector<int> iv7;
81  std::cout << "Assigning ... "; iv7.assign(3, 1); printForward(iv7);
82  std::cout << "Pushing ... "; iv7.push_back(2); printForward(iv7);
83  std::cout << "Popping ... "; iv7.pop_back(); printForward(iv7);
84  std::cout << "Inserting ... "; iv7.insert(iv7.end(), 2); printForward(iv7);
85  std::cout << "Erasing ... "; iv7.erase(iv7.end()-1); printForward(iv7);
86  std::cout << "Swapping vectors ... \n"; iv7.swap(iv6);
87  std::cout << "\tiv7: "; printForward(iv7);
88  std::cout << "\tiv6: "; printForward(iv6);
89  return 0;
90 }
```

Kimenet

```
Assigning... 1 1 1
Pushing... 1 1 1 2
Popping... 1 1 1
Inserting... 1 1 1 2
Erasing... 1 1 1
Swapping vectors...
    iv7: 1 2 3 0 0 0 -1 -1 -1
    iv6: 1 1 1
```

`assign(count, value)`

Lecseréli a vektor elemeit count darab value-ra.

`push_back(value), pop_back()`

Hozzáfűznek vagy eltávolítanak egy elemet a vektor végéhez, -ról.

`insert(pos, value), erase(pos)`

value beszúrása a pos iterátorral adott helyre, vagy egy elem törlése onnan.

`swap(other)`

Két vektor elemeinek és lefoglalt tárterületének felcserélése.

A deque osztály

- Fejfájl: <deque>
- Hasonló a dinamikus tömbhöz, de lehetővé teszi a gyors ($\mathcal{O}(1)$) beszúrást és törlést a gyűjtemény mindkét végén. Ezt jellemzően úgy éri el, hogy az elemeket nem összefüggő memóriaterületen tárolja, hanem több, egymástól függetlenül lefoglalt memóriaterületen.
- Véletlen elérés: $\mathcal{O}(1)$, beszúrás vagy törlés a széleket leszámítva $\mathcal{O}(n)$.
- Tartalma megváltoztatható (mutable).

dequeDemo.cpp

```
1 #include <iostream>
2 #include <deque>
3
4 template<class T>
5 void printForward(const std::deque<T>& dq) {
6     for(auto i=dq.cbegin(); i!=dq.cend(); i++) {
7         std::cout << *i << ' ';
8     }
9     std::cout << std::endl;
10 }
```

dequeDemo.cpp

```
12  int main() {
13      std::deque<int> dq;
14      dq.push_back(4);
15      dq.push_front(2);
16      dq.push_back(8);
17      dq.push_front(1);
18      printForward(dq);
19
20      dq.pop_front(); dq.pop_back();
21      printForward(dq);
22      return 0;
23  }
```

Kimenet

1 2 4 8

2 4

`push_front(), pop_front()`

Beszúrás / törlés a sor elején.