OO Programozás

Iterátorok, string

Dr. Hatwagner F. Miklós

Széchenyi István Egyetem, Győr

https://github.com/wajzy/GKxB_INTM085

2023. december 5.

Tervezési minta (design pattern)

„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."*

Első jelentős irodalom

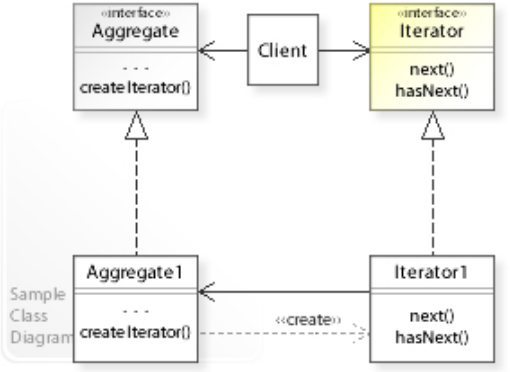
Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson, John Vlissides: Design Patterns (*Elements of Reusable Object-Oriented Software*), Addison-Wesley, 1994

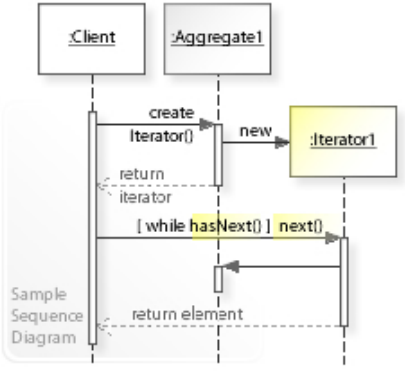
A szerzők által meghatározott kategóriák

- 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."*


«interface»
Aggregate
- - -
createIterator()
Client
«interface»
Iterator
next()
hasNext()
Aggregate1
- - -
createIterator()
«create»
Iterator1
next()
hasNext()
Sample
Class
Diagram


:Client
:Aggregate1
create
Iterator()
new
:Iterator1
return
iterator
[while hasNext()] next()
return element
Sample
Sequence
Diagram

Forrás

Feladat:

- Készítsünk saját iterátor interfészt, és azt megvalósító tényleges iterátorokat, melyekkel bejárható egy karakterlánc összes betűje, vagy egy láncolt lista elemei!
- A megvalósítás során törekedjünk a C/C++ programozók által jól ismert, mutatókhoz kapcsolódó operátorok alkalmazására!

  `hasNext()`

  `operator!=` → két iterátor ugyanazt az elemet teszi-e elérhetővé?

  `next()`

  `operator++` → iterátor léptetése a következő elemre

  `operator*` → az iterátor által kijelölt elem lekérése

Iterator.h

```
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`!

Message5.h

```
3  #include <cstring>
4  #include <stdexcept>
5  #include "Iterator.h"
6
7  class MessageIterator : public Iterator<char> {
8    public:
9      MessageIterator(char* s) {
10       p = s;
11     }
```

Message5.h

```
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.

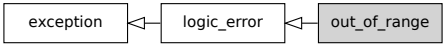
Message5.h

```
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     }
```

Message5.h

```
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      }
```

std::out_of_range



Message5.h

```
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  };
```

Message5.cpp

```
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 }
```

LinkedList.h

```
3  #include <iostream>
4  #include "Iterator.h"
5
6  template<class T>
7  struct ListItem {
8    T value;
9    ListItem<T>* next;
10 };
11
12 template<class T>
13 std::ostream& operator<<(std::ostream& os, const ListItem<T>& li) {
14   os << li.value;
15   return os;
16 }
```

LinkedList.h

```
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     }
```

LinkedList.h

```
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  };
```

LinkedList.h

```
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      }
```

LinkedList.h

```
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  }
```

iteratorMain.cpp

```
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  }
```

Kimenet

```
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    }
```

Az `std::size_t` típus

- 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.

Minden iterátor közös jellemzői:

- Azonos típusú értékből vagy referenciából másolással létrehozható (copy constructible).
- Azonos típusú érték vagy referencia hozzárendelhető (copy assignable).
- Megsemmisíthető (destructible), azaz skalár típus (felültöltés nélkül is értelmezhető rajta az összeadás művelet) vagy elérhető destruktorral rendelkező osztály, melynek minden nem statikus tagja is megsemmisíthető.
- Értelmezett rajta a növelés (++) operátor (prefix és suffix alakban is).

Kategóriák:

Input
: Csak olvasási célra, azaz *jobbértékként* indirekcióval (*, ->) elérhető a mutatott adat, támogatja az egyenlőségi (==, !=) operátorokat.

Output
: Csak írási célra, azaz *balértékként* elvégezhető rajta az indirekció, majd a hozzárendelés.

Forward
: Rendelkezik az input iterátorok képességeivel, és ha módosítható, akkor az output iterátorokéval is. Paraméterek vagy inicializáló értékek nélkül is létrehozható (default constructible). A szabványos gyűjtemények legalább ezt a típust megvalósítják.

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:

- Fejfájl: `<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 `RandomAccessIteratort`

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 előállítása `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`), vermek 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 bejárási irányát megfordítja.

A `vector` osztály

- Fejfájl: <vector>
- Dinamikus tömb osztálysablon
- Speciális eset: `vector<bool>` $\rightarrow$ bithalmaz
- Tartalma megváltoztatható (mutable)
- Véletlen elérés: konstans $\mathcal{O}(1)$, 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.

`crbegin()`, `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, -ről.

`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.