Standardowa biblioteka szablonów (STL)

Wykład 11

Pliki nagłówkowe języka C

- Wszystkie funkcje języka C zostały z przestrzeni globalnej przeniesione do przestrzenie nazw **std**
  - ```
    //standard
    #include <cstdio>
    using namespace std;
    int main()
    { printf ("Hello World!"); return
    0; }
    ```
  - ```
    //niepraktykowane
    #include <stdio.h>
    int main()
    { printf ("Hello World!"); return
    0; }
    ```
- Stary sposób dołączania też jest możliwy, ale niepraktykowany

ANSI-C++	ANSI-C
<cassert>	<assert.h>
<cctype>	<ctype.h>
<cerrno>	<errno.h>
<cfloat>	<float.h>
<ciso646>	<iso646.h>
<climits>	<limits.h>
<clocale>	<locale.h>
<cmath>	<math.h>
<csetjmp>	<setjmp.h>
<csignal>	<signal.h>
<cstdarg>	<stdarg.h>
<cstddef>	<stddef.h>
<cstdio>	<stdio.h>
<cstdlib>	<stdlib.h>
<cstring>	<string.h>
<ctime>	<time.h>
<cwchar>	<wchar.h>
<cwtype>	<wtype.h>

Standardowa biblioteka szablonów (STL)

- Rdzeniem standardowej biblioteki C++ jest tzw. standardowa biblioteka szablonów
- STL umożliwia zarządzanie kolekcjami danych przy użyciu wydajnych algorytmów, bez konieczności dogłębnego poznawania ich sposobu działania
- STL oferuje grupę klas kontenerowych zaspokajających rozmaite potrzeby wraz z algorytmami, które na nich operują
- STL wzbogaca język C++ o nowy poziom abstrakcji
  - Możemy zapomnieć o programowaniu dynamicznych tablic czy drzew oraz algorytmów do ich przeszukiwania
- Ze względu na swoją elastyczność STL wymaga objaśnienia
  - Trzeba się zapoznać z jego składnikami
  - Oraz nauczyć się wydajnego korzystania z dostarczonych algorytmów

Składniki STL

- **Kontenery** – służą do zarządzania kolekcjami obiektów określonego typu
  - Poszczególne kontenery mają różne zalety oraz wady i odzwierciedlają zróżnicowane potrzeby wobec kolekcji w tworzonych programach
- **Iteratory** – służą do poruszania się po kolekcjach
  - Oferują one interfejs wspólny dla każdego dowolnego typu kontenerowego
  - Interfejs iteratorów jest bardzo podobny operacji na wskaźnikach (możemy np. używać ++, *, ->)
- **Algorytmy** – służą do przetwarzania elementów kolekcji
  - Mogą one wyszukiwać, sortować, modyfikować lub po prostu wykorzystywać elementy
  - Algorytmy korzystają z iteratorów przez co mogą być używane do dowolnego typu kolekcji

Koncepcja STL

- Koncepcja biblioteki STL oparta jest na odseparowaniu danych od operacji
- Dane zarządzenie są przez klasy kontenerowe
- Operacje natomiast definiowane są przez konfigurowalne algorytmy
  - Operacje specyficzne dla danego kontenera są oczywiście implementowane w kontenerze
- Do łączenia danych i operacji używane są iteratory
- Koncepcja STL jest w pewnym sensie sprzeczna z ideą programowania zorientowanego obiektowo
  - Zamiast łączyć dane i algorytmy, rozdziela je
  - Wynika to z dużych możliwości takiego podejścia, ponieważ możliwe są dzięki temu różne kombinacje kontenerów i algorytmów z nimi współpracujących
- Biblioteka STL stanowi dobry przykład programowania uogólnionego (*generic programming*)

Rodzaje kontenerów

- **Kontenery sekwencyjne** – reprezentują kolekcje uporządkowane, w których każdy element posiada określoną pozycję
  - Pozycja zależy od momentu i miejsca wstawienia, ale nie zależy od samej wartości elementu
  - Należą do nich
    - `Vector` – wektor
    - `Deque` – kolejka dwustronna
    - `List` – lista
    - Łańcuchy – `string`, `basic_string<>`
      - Bardzo zbliżone do wektorów, ale ich elementami są znaki
- **Kontenery asocjacyjne** – będące kolekcjami sortowanymi
  - Położenie elementu zależy od jego wartości zgodnie z określonym kryterium sortowania
  - Należą do nich
    - `Set` – zbiór
    - `Mulitset` – wielozbiór
    - `Map` – mapa
    - `Multimap` – multimapa
    - Nie ma w standardzie `hash...` (www.stlport.com, www.boost.org)

Wspólne cechy kontenerów

- Wszystkie kontenery zapewniają semantykę wartości
  - Przy wstawianiu wykonywana jest kopia obiektu
  - Elementy kontenera mogą być wskaźnikami do obiektów
- Elementy w kontenerach mają określoną kolejność
  - Możemy wykonywać wielokrotne iteracje w tej samej kolejności po wszystkich elementach
- Operacje na kontenerach nie zapewniają bezpieczeństwa
  - Funkcja wywołująca musi zapewnić spełnienie wymagań przez parametry operacji
  - Funkcje biblioteczne STL na ogół nie rzucają wyjątków

Wspólne operacje

Operacja	Skutek	Operacja	Skutek
`ConType c`	Pusty kontener	`c1.swap(c2)`	Zamiana
`ConType c1(c2)`	Inicjalizuje c2	`swap(c1,c2)`	Zamiana funkcja globalna
`ConType c1(beg, end)`	Inicjalizuje zakresem	`c.begin()`	Iterator do pierwszego elem.
`c.~ConType()`	Zwalnia pamięć	`c.end()`	Iter. do ost. elem.
`c.size()`	Liczba elem.	`c.rbegin()`	Iter odwrotny p.
`c.empty()`	Czy pusty	`c.rend()`	Iter odwrotny k.
`c.max_size()`	Maksymalna liczba elem.	`c.insert(pos, ele)`	Wstawia kopie elem.
`==, !=, <, >,`	Operacje logiczne	`c.erase(beg, end)`	Usuwa elem. z zakresu
`c1 = c2`	Przypisanie	`c.clear()`	Opróżnia konten.

Typedefs

member type	definition	notes
value_type	The first template parameter (T)	
allocator_type	The second template parameter (Alloc)	defaults to: allocator<value_type>
reference	allocator_type::reference	for the default allocator: value_type&
const_reference	allocator_type::const_reference	for the default allocator: const value_type&
pointer	allocator_type::pointer	for the default allocator: value_type*
const_pointer	allocator_type::const_pointer	for the default allocator: const value_type*
iterator	a random access iterator to value_type	convertible to const_iterator
const_iterator	a random access iterator to const value_type	
reverse_iterator	reverse_iterator<iterator>	
const_reverse_iterator	reverse_iterator<const_iterator>	
difference_type	a signed integral type, identical to: iterator_traits<iterator>::difference_type	usually the same as ptrdiff_t
size_type	an unsigned integral type that can represent any non-negative value of difference_type	usually the same as size_t

Operacje porównania

- Operatory ==, !=, <, >, <=, >= zdefiniowane są według następujących reguł
  - Kontenery porównywane muszą być tego samego typu
  - Dwa kontenery są równe jeżeli ich elementy są równe i posiadają taką samą kolejność
  - W celu sprawdzenie czy jeden kontener jest mniejszy lub większy od innego przeprowadzane jest porównanie leksykograficzne

Porównanie leksykograficzne

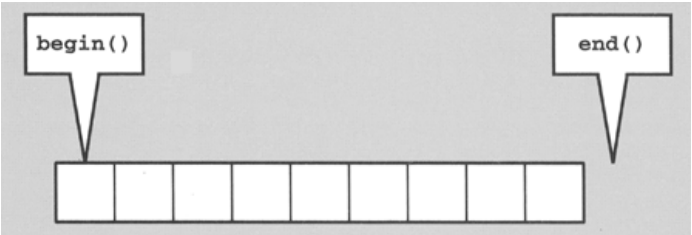
- Porównanie leksykograficzne polega na porównywanie element po elemencie, aż do wystąpienia takich przypadków
  - Jeżeli elementy nie są równe to wynik porównania jest wynikiem operacji
  - Jeżeli jeden ciąg nie posiada więcej elementów wówczas ciąg ten jest mniejszy od drugiego
  - W przypadku kiedy oba ciągi nie mają już elementów to są sobie równe

Iteratory

- Iteratory są obiektami, które potrafią nawigować po elementach kontenerów
- Podstawowe operacje definiowane dla iteratorów
  - **`operator*`** - zwraca element z aktualnej pozycji
  - **`operator++`** - przesuwa iterator na pozycję następną
  - **`operator==`** i **`!=`** zwracają wartość logiczną czy iteratory reprezentują tą samą (inną) pozycję
  - **`operator=`** - przypisanie
- Każdy kontener definiuje co najmniej dwa typy iteratorów
  - **`kontener::iterator`** – przeznaczony do nawigowania w trybie odczytu i zapisu
  - **`kontener::const_iterator`** – przeznaczony do nawigowania w trybie tylko do odczytu
  - Zrealizowane jest to za pomocą instrukcji **`typedef`**

Nawigowanie po kontenerach za pomocą iteratorów

- Wszystkie klasy kontenerowe zapewniają takie same podstawowe metody, które umożliwiają nawigowanie po ich elementach
  - `c.begin()` – zwraca iterator reprezentujący początek elementów w kontenerze, początkiem jest pozycja pierwszego elementu
  - `c.end()` – zwraca iterator reprezentujący koniec elementów w kontenerze, końcem jest pozycja za ostatnim elementem
  - Obie te funkcje definiują zakres półotwarty `[beg, end)`
    - Zaletą jest brak specjalnej obsługi zakresów pustych oraz proste kryterium zakończenia iteracji



Algorytmy

- Algorytmy służą do przetwarzania elementów kolekcji
  - Sortowanie, kopiowanie, przestawianie …
  - Algorytmu są funkcjami globalnymi, a nie składowymi kontenerów
  - Pozwala to na jednokrotną implementację algorytmu dla wszystkich kontenerów, a nie dla każdego z osobna
  - Algorytmy pracują na zakresach (co najmniej jednym)
  - Algorytmy są oczywiście szablonami umieszczonymi w przestrzeni nazw **`std`**
- W celu używania algorytmów trzeba dołączyć plik nagłówkowy **`<algorithm>`**

Zakresy

- Zakres może obejmować cały kontener, ale nie musi
  - Dlatego w algorytmach podajmy początek i koniec zakresu
    - `sort(coll.begin(), coll.end());`
  - Algorytmy nie sprawdzają poprawności zakresów!!!
    - Funkcja wywołująca musi zapewnić poprawność zakresów, dla których wywołuje algorytm
  - Każdy algorytm przetwarza zakresy półotwarte
    - `[początek, koniec)`
    - Nie jest brany pod uwagę ostatni element zakresu!!!

Wektory

- Wektor zarządza swoimi elementami w tablicy dynamicznej
  - Pozwala na dostęp swobodny za pomocą indeksu
  - Dodawanie i usuwanie elementów na końcu jest szybkie
  - Wstawienie lub usuniecie z innego miejsca niż koniec nie jest już tak szybkie, bo wymaga reorganizacji pamięci
    - Elementy wektora zajmują ciągły obszar w pamięci
- W celu wykorzystywania wektorów należy dołączyć odpowiedni nagłówek
  - `#include <vector>`

- Struktura wektora

Operacje

- Operacje tworzenia
  - `vector<T> c` - tworzy pusty wektor
  - `vector<T> c1(c2)` - tworzy kopię wektora
  - `vector<T> c(n)` - tworzy wektor o `n` elementach
  - `vector<T> c(n, elem)` - tworzy wektor o `n` elementach o wartości `elem`
  - `vector<T> c(beg, end)` - tworzy wektor inicjalizowany elementami z zakresu `[beg, end)`
- Operacje niemodyfikujące
  - Logiczne (np.. `==`, `!=`)
  - `c.size()`, `c.empty()`, `c.max_size()` - wspólne z innymi kontenerami
  - `c.capacity()` - zwraca pojemność wektora bez realokacji
  - `c.reserve(n)` - rezerwuje pamięć dla `n` elementów

Operacje...

- Operacje przypisania
  - `c1 = c2`
  - `c.assign(n, elem)` - przypisuje `n` kopii elementu `elem`
  - `c.assign(beg, end)` - przypisuje elementy z zakresu `[beg, end)`
  - `c1.swap(c2)` - zamienia `c1` z `c2`
  - `swap(c1, c2)` - zamienia `c1` z `c2`
- Operacje dostępu
  - `c.at(idx)` - zawraca element o indeksie `idx`, jeśli `idx` poza zakresem to zgłasza wyjątek
  - `c[idx]` - zawraca element o indeksie `idx` (brak kontroli zakresu), ale za to szybciej
  - `c.front()` - zwraca pierwszy element
  - `c.back()` - zwraca ostatni element
- Przykład cpp_11.1

Funkcje iteratorowe

- Iteratory wektorów są iteratorami dostępu swobodnego, można więc korzystać ze wszystkich algorytmów STL
  - **`c.begin()`** – zwraca iterator dostępu swobodnego dla pierwszego elementu
  - **`c.end()`** – zwraca iterator dostępu swobodnego dla pozycji za ostatnim elementem
  - **`c.rbegin()`** – zwraca iterator odwrotny dla pierwszego elementu iteracji odwrotnej
  - **`c.rend()`** – zwraca iterator odwrotny dla pozycji za ostatnim elementem iteracji odwrotnej
- Operowanie na wektorach może również odbywać się tak jak na zwykłych tablicach
  - Wystarczy podać adres pierwszego elementu wektora
- Przykład cpp_11.2

Wstawianie i usuwanie elementów

- Wektory zapewniają szybkie operacje wstawiania i usuwania na końcu zarządzanej przez siebie tablicy
  - Operacje wstawiania lub usunięcia w innych miejscach są długie bo wymagają reorganizacji pamięci
- `c.insert(pos, elem)` – wstawia na pozycji `pos` element `elem`, zwraca pozycję nowego elementu
- `c.insert(pos, n, elem)` – wstawia na pozycji `pos` `n` elementów `elem`, nic nie zwraca
- `c.insert(pos, beg, end)` – wstawia na pozycji `pos` kopię elementów z zakresu `[beg, end)`, nic nie zwraca
- `c.push_back(elem)` – wstawia na koniec kopię elementu
- `c.pop_back()` – usuwa ostatni element (nie zwraca go)

Wstawianie i usuwanie elementów…

- **`c.erase(pos)`** – usuwa element na pozycji **`pos`**, zwraca pozycję następnego elementu
- **`c.erase(beg, end)`** – usuwa element z zakresu **`[beg, end)`**, zwraca pozycję następnego elementu
- **`c.resize(n)`** – zmienia rozmiar na **`n`**
- **`c.resize(n, elem)`** – zmienia rozmiar na **`n`** i ustawia elementy na wartość **`elem`**
- **`c.clear()`** – opróżnia wektor
- Przykład cpp_11.3

Rozmiar, a pojemność

- Dobrym sposobem zapewniania optymalnej wydajności jest wcześniejsze zarezerwowanie pamięci, tak żeby wszystkie elementy się zmieściły w niej
- W odniesieniu do rozmiaru wektory udostępniają funkcję `capacity()`, która zwraca liczbę możliwych do pomieszczenie elementów bez reorganizacji pamięci
  - Realokacja unieważnia wszystkie referencje, wskaźniki i iteratory dotyczące elementów wektora
  - Realokacja zajmuje czas
- W celu wcześniejszego zaalokowania pamięci możemy
  - Podać wielkość wektora w konstruktorze
    ```
    std::vector<T> Vec(100); //wywoływane konstruktory domyślne
    ```
  - Zarezerwować odpowiednią ilość pamięci
    ```
    Vec.reserve(100); //zalecana wersja
    ```
- Pojemność wektora nigdy nie maleje nawet jeśli usuwamy elementy

Rozmiar, a pojemność…

- Wektory zajmują ciągły obszar pamięci
- Pojemność wektorów nigdy nie maleje
  - Gwarantuje to, że nawet przy usuwaniu elementów z wektora referencje, wskaźniki i iteratory pozostają ważne pod warunkiem, że pokazują na istniejące elementy
- Istnieje pośredni sposób na zmniejszenie pojemności wektora
  - Utworzenie nowego wektora za pomocą konstruktora z inicjalizacją lub użycie metody **swap**
- Przykład cpp_11.4

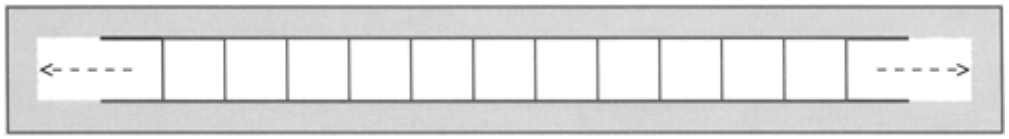
Obsługa wyjątków

- Wektory zapewniają tylko minimalną kontrolę błędów
  - Jedyną funkcją od której standard wymaga obsługi błędów to funkcja `c.at()`
  - Innymi wyjątkami mogą być tylko wyjątki standardowe takie jak np. `std::bad_alloc`
- Założenia co do funkcji składowych jeżeli funkcje zdefiniowane przez użytkownika mogą zgłaszać wyjątki
  - `c.push_back()` – nie powoduje żadnego skutku lub OK
  - `c.insert()` – j.w.
  - `c.pop_back()` – zawsze OK
  - `c.erase()` i `c.clear()` – OK jeżeli operacje kopiowania nie zgłaszają wyjątków
- Jeśli używane elementy nigdy nie zgłaszają wyjątków podczas operacji kopiowanie (konstruktor kopiujący oraz operator `=`) to każda operacja kończy się powodzeniem lub nie powoduje żadnego skutku
  - Przy założeniu, że destruktory nigdy nie rzucają wyjątków

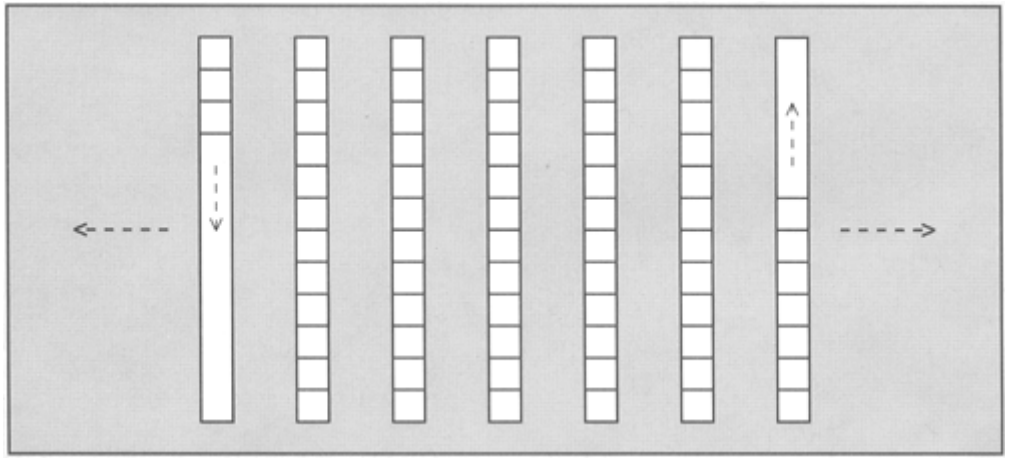
Kolejki dwustronne

- Kolejka dwustronna jest bardzo podobna do wektora
  - Inaczej Talia
- W celu wykorzystywania kolejek dwustronnych należy dołączyć odpowiedni nagłówek
  - `#include <deque>`
- Różnice w stosunku do wektorów
  - Dodawanie i usuwanie elementów na początku i na końcu jest szybkie
  - Opcje dostępu i ruchu iteratora są nieco wolniejsze
  - Kolejki nie zapewniają możliwości sterowania pojemnością ani momentem realokacji
  - Bloki pamięci mogą być zwalniane, czyli kolejka może zmaleć (zależne od implementacji)
- Podobieństwa do wektorów
  - Operacje wstawiania i usuwania w środku są wolne
  - Iteratory są iteratorami dostępu swobodnego

Wygląd kolejek



- Logiczna struktura kolejki



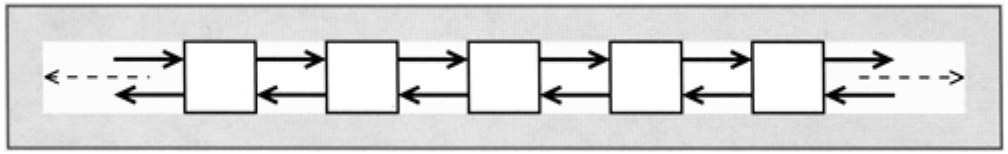
- Wewnętrzna struktura kolejki

Funkcje składowe

- Możliwości kolejek dwustronnych w stosunku do wektorów
  - Nie udostępniają metod
    - `c.capacity()`
    - `c.reserve()`
  - Udostępniają dodatkowo
    - `c.push_front(elem);`
    - `c.pop_front();`
  - Reszta metod jest taka sama (slajd 16), (slajd 17), (slajd 19)
  - W obsłudze wyjątków
    - `c.pop_front()` zachowuje się tak jak `c.pop_back()`
    - `c.push_front()` zachowuje się tak jak `c.push_back()`
- Przykład cpp_11.5

Listy

- Elementy listy zorganizowane są w postaci listy dwukierunkowej
  - Możliwe jest poruszanie się do przodu lub do tyłu wzdłuż jej elementów
  - Iteratory są dwukierunkowe, a nie dostępu swobodnego
- W celu wykorzystywania list należy dołączyć odpowiedni nagłówek
  - `#include <list>`
- Wewnętrzna struktura list zasadniczo różni się od struktury wektorów i kolejek dwustronnych



- Struktura listy

Możliwości list

- Lista nie zapewnia dostępu swobodnego
  - Aby dostać się do elementu np. 5 musimy przejść po kolei przez pierwsze cztery elementy
- Wstawianie i usuwanie na dowolnej pozycji jest szybkie
- Operacje wstawiania i usuwania nie powodują unieważnienia wskaźników, referencji i iteratorów do innych elementów
- Działanie na listach prawie zawsze kończy się powodzeniem albo nie powoduje żadnej zmiany

Operacje

- Operacje tworzenia są takie same jak dla wektora i kolejki dwustronnej (slajd 16)
  - Np. `list<t> c(n);`
- Operacje niemodyfikujące są takie same jak dla kolejki dwustronnej (slajd 26)
  - Nie ma funkcji `reserve()` oraz `capacity()`
- Operacje przypisania są takie same jak dla wektora i kolejki dwustronnej (slajd 17)
  - np. `c.assign(n, elem);`
  - `swap(c1, c2);`

Operacje dostępu do elementów

- Bezpośredni dostęp do elementów
  - `c.front()` – zwraca pierwszy element listy (bez sprawdzanie poprawności)
  - `c.back()` – zwraca ostatni element listy (bez sprawdzanie poprawności)
- W celu dostępu do wszystkich elementów listy musimy użyć iteratorów
  - Są one dwukierunkowe (np. nie można wywołać dla listy algorytmu `sort`)
  - Funkcje iteratorowe są takie same jak dla wektora i kolejek dwustronnych

Operacje wstawiania i usuwanie

- Listy udostępniają takie same funkcje jak kolejki dwustronne (slajd 26)
- Dodatkowo w stosunku do kolejek, zapewniają metody (specjalne wersje algorytmów przystosowane do pracy z listami)
  - `c.remove(val);` - usuwa elementy o wartości `val`
  - `c.remove_if(op);` - usuwa elementy takie, dla których wywołanie `op(elem) == true;` (`op` - predykat)
- Przykład cpp_11.6

Funkcje splatające

- Listy udostępniają także wydajne metody służące do zmiany kolejności oraz powiązań między poszczególnymi elementami
  - W obrębie jednej listy
  - Pomiędzy dwoma listami tego samego typu
- Metody
  - `c1.splice(pos, c2)` – przenosi wszystkie elementy `c2` do `c1` i umieszcza je przed pozycją `pos`
  - `c1.splice(pos, c2, c2pos)` – przenosi element z pozycji `c2pos` z listy `c2` do `c1` i umieszcza go przed pozycją `pos` (`c1` i `c2` mogą być tą samą listą)
  - `c1.splice(pos, c2, c2beg, c2end)` – przenosi wszystkie elementy z zakresu `[c2beg, c2end)` z listy `c2` do `c1` i umieszcza je przed pozycją `pos` (`c1` i `c2` mogą być tą samą listą)
  - `c1.merge(c2)` – przy założeniu że `c1` i `c2` są posortowane przenosi elementy z `c2` do `c1` przy zachowaniu posortowania elementów
  - `c1.merge(c2, op)` – j.w. ale z użycie funkcji `op()`

Funkcje inne

- Dalsze funkcje
  - `c.sort()` - sortuje listę przy użyciu `<`
  - `c.sort(op)` - sortuje listę używając do porównania `op()`
  - `c.unique()` - usuwa powtórzenia kolejnych elementów o tej samej wartości
  - `c.unique(op)` - j.w. ale gdy `op()` zwraca `true`
  - `c.reverse()` - odwraca kolejność wszystkich elementów listy
- Przykład cpp_11.7