IMD0030
LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO I

Aula 23 – *Standard Template Library* (STL)

Containers e Iterators

(material baseado nas notas de aula do Prof. Silvio Sampaio)

IMD INSTITUTO METRÓPOLE DIGITAL
UFRN UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

Objetivos desta aula

- Introduzir a *Standard Template Library* (STL) e seus elementos
- Para isso, estudaremos:
  - *Containers*
  - Iteradores (*iterators*)

Standard Template Library (STL)

"The Standard Template Library provides a set of well structured generic C++ components that work together in a seamless way."

Alexander Stepanov & Meng Lee, The Standard Template Library

Standard Template Library (STL)

- A *Standard Template Library* (STL) é um subconjunto da biblioteca padrão da linguagem de programação C++ que define ***containers* genéricos e funções para manipulá-los**
  - Os *containers* genéricos implementam essencialmente **tipos abstratos de dados** (TADs) utilizando *templates*, permitindo utilizar **qualquer tipo de dado/objeto**
- Principais vantagens do uso da STL
  - Redução do tempo de desenvolvimento, principalmente devido ao **reuso dos *containers* existentes**
    - Por exemplo, não é necessário implementar uma pilha: a própria STL provê uma pilha genérica e funções para inserir, remover, contabilizar elementos, etc.
  - **Facilidade de uso**
  - **Gerenciamento automático de memória**
    - Não é mais necessário preocupar-se com alocação dinâmica e liberação explícita de memória

Containers

Classes que implementam TADs que servem para **armazenar dados/objetos de qualquer tipo**

Containers

- Cada *container* implementa **regras** específicas que determinam como ele se comporta
  - Uma **lista** (*list*) permite inserir e remover elementos em qualquer posição
  - Uma **fila** (*queue*) permite apenas inserir elementos no seu fim e remover elementos de seu início
  - Um **deque** (*deque*) permite inserir e remover elementos tanto no início quanto no final
- Cada classe de *container* contém um conjunto de métodos que são utilizados para manipular os elementos que são nele armazenados
  - Principais métodos: **inserção**, **remoção**, **acesso**, **contagem**, **esvaziamento**
- *Containers* da STL são declarados em cabeçalhos específicos, dentro do *namespace* **`std`**

Containers

Containers	Descrição
`vector`	Vetor com número variável de elementos, que são armazenados sequencialmente em memória e podem ser acessados através da sua posição no vetor
`list`	Lista duplamente encadeada cujos elementos podem ser inseridos ou removidos em qualquer posição e pode ser percorrida tanto do início para o final quanto vice-versa
`queue`	TAD que implementa uma política FIFO (*first-in*, *first-out*): o primeiro elemento a ser inserido é o primeiro a ser removido
`deque`	TAD em que é possível inserir e remover elementos tanto no início quanto no final
`stack`	TAD que implementa uma política LIFO (*last-in*, *first-out*): o último elemento a ser inserido é o primeiro a ser removido
`set`	Conjunto ordenado de elementos que pode ou não conter duplicatas
`map`	*Container* que associa chaves a valores de forma ordenada: as chaves são utilizadas para recuperar os valores armazenados

Containers

Novos *containers* introduzidos no C++11

Containers	Descrição
`array`	Vetor com número fixo de elementos, que são armazenados sequencialmente em memória e podem ser acessados através da sua posição no vetor
`forward_list`	Lista simplesmente encadeada que só pode ser percorrida do início para o final
`unordered_set`	Conjunto não-ordenado de elementos que pode ou não conter duplicatas
`unordered_map`	*Container* que associa chaves a valores de forma não-ordenada: as chaves são utilizadas para recuperar os valores armazenados

Que *container* usar?

A escolha por um determinado *container* deve levar em consideração

- **como o *container* funciona**
  - Uma `queue` só permite inserir elementos no final e remover elementos do início
  - Um `set` não permite inserir elementos repetidos
  - Os elementos de uma `list` não podem ser acessados diretamente com o operador `[]`
- **a eficiência (complexidade computacional) das operações que podem ser realizadas**
  - O acesso a um elemento ou a inserção e remoção de elementos no fim de um `vector` são feitos em tempo constante (O(1)), porém a inserção e remoção de elementos em posições intermediárias são feitas em tempo linear (O(*n*))
  - A busca e o acesso a elementos em uma `list` são feitos em tempo linear (O(*n*)), porém a inserção e remoção de elementos é feita em tempo constante (O(1))

Vector

- Disponível através da inclusão da biblioteca `<vector>`
  - Referência: http://www.cplusplus.com/reference/vector/vector/
- Como trata-se de um *template*, é necessário indicar o tipo de dados/objetos que o vetor irá armazenar
- Construtores disponíveis para a instanciação de um vetor
  - Construtor padrão: cria um vetor vazio
  - Construtor parametrizado: cria um vetor com um determinado número de elementos
  - Construtor cópia: cria um vetor a partir de outro já existente

Vector

Principais métodos:

Método	Descrição
`push_back`	Insere um elemento no final do vetor
`pop_back`	Remove o último elemento do vetor
`size`	Retorna o número de elementos do vetor
`empty`	Verifica se o vetor está vazio
`operator[]`	Implementa a sobrecarga do operador `[]` para acessar um elemento em uma determinada posição
`operator=`	Implementa a sobrecarga do operador = para atribuir os elementos de um vetor a outro
`clear`	Remove todos os elementos do vetor

Lista completa disponível em http://www.cplusplus.com/reference/vector/vector/

Vector

Complexidade computacional das operações sobre um vetor

Operação	Complexidade computacional (pior caso)
Acesso a elementos	constante – O(1)
Inserção e remoção de elementos no final	constante – O(1)
Inserção e remoção de elementos no meio	linear – O(*n*)
Busca por elementos	linear – O(*n*)

Vector

Exemplo

```
#include <iostream>
using std::cout;

#include <string>
using std::string;

#include <vector>
using std::vector;

int main() {
    vector<int> v;                                  // Vetor de inteiros vazio
    for (int i = 1; i <= 10; i++) v.push_back(i);   // Insercao de elementos no vetor

    for (int i = 0; i < (int)v.size(); i++) {       // Iteracao sobre os elementos do vetor
       std::cout << v[i] << " ";                    // Acesso ao elemento indicado
    }

    return 0;
}
```

`List`

- Disponível através da inclusão da biblioteca `<list>`
  - Referência: http://www.cplusplus.com/reference/list/list/
- Como trata-se de um *template*, é necessário indicar o tipo de dados/objetos que a lista irá armazenar
- Construtores disponíveis para a instanciação de uma lista
  - Construtor padrão: cria uma lista vazia
  - Construtor parametrizado: cria uma lista com um determinado número de elementos
  - Construtor cópia: cria uma lista a partir de outra já existente

List

Principais métodos:

Método	Descrição
`push_front`	Insere um elemento no início da lista
`push_back`	Insere um elemento no final da lista
`pop_front`	Remove o primeiro elemento da lista
`pop_back`	Remove o último elemento da lista
`insert`	Insere um elemento em uma determinada posição da lista, utilizando um iterador
`erase`	Remove um elemento de uma determinada posição da lista, utilizando um iterador
`empty`	Verifica se a lista está vazia
`size`	Retorna o número de elementos da lista

Lista completa disponível em http://www.cplusplus.com/reference/list/list/

List

Complexidade computacional das operações sobre uma lista

Operação	Complexidade computacional (pior caso)
Inserção e remoção de elementos no início ou do final	constante – O(1)
Inserção e remoção de elementos no meio	constante – O(1)
Busca por elementos	linear – O(*n*)

List

Exemplo

```
#include <iostream>
using std::cout;

#include <list>
using std::list;

int main() {
    list<int> l;                          // Criacao de uma lista vazia de inteiros
    l.push_front(1);                      // Insercao de elemento no inicio da lista
    l.push_back(2);                       // Insercao de elemento no final da lista

    list<int>::iterator it = l.begin(); // Iterador aponta para o inicio da lista
    l.insert(it, 0);                      // Insercao de elemento na posicao do iterador

    for (it = l.begin(); it != l.end(); ++it)  // Iteracao sobre a lista usando o iterador
       std::cout << *it << " ";                // Impressao do elemento apontado por iterador

    return 0;
}
```

`Stack`

- Disponível através da inclusão da biblioteca `<stack>`
  - Referência: http://www.cplusplus.com/reference/stack/stack/
- Na STL, uma pilha é um **adaptador** para os *containers* sequenciais vetor, deque e lista, ou seja, pode ser implementada a partir desses *containers*
  - Por padrão, uma pilha é implementada a partir de um deque
- Como trata-se de um *template*, é necessário indicar o tipo de dados/objetos que a pilha irá armazenar
- **Não é possível** usar iteradores para percorrer uma pilha: apenas o elemento que está no topo da pilha pode ser acessado

Stack

Principais métodos:

Método	Descrição
`push`	Insere um elemento no topo da lista
`pop`	Remove o elemento que está no topo da lista
`top`	Retorna o elemento que está no topo da lista
`size`	Retorna o número de elementos presentes na pilha
`empty`	Verifica se a pilha está vazia

Lista completa disponível em http://www.cplusplus.com/reference/stack/stack/

Stack

Exemplo

```
#include <iostream>
using std::cout;

#include <stack>
using std::stack;

int main() {
    stack<int> s;                           // Criacao de uma pilha vazia de inteiros
    for (int i = 1; i <= 5; i++) {
       s.push(i);                           // Insercao de elementos na pilha
    }

    cout << "Elementos da pilha: ";
    while (!s.empty()) {
       cout << s.top() << " ";              // Impressao do elemento que esta no topo da pilha
       s.pop();                             // Remocao do elemento que esta no topo da pilha
    }

    return 0;
}
```

Queue

- Disponível através da inclusão da biblioteca `<queue>`
  - Referência: http://www.cplusplus.com/reference/queue/queue/
- Na STL, uma fila é um **adaptador** para os *containers* sequenciais deque e lista, ou seja, pode ser implementada a partir desses *containers*
  - Por padrão, uma fila é implementada a partir de um deque
- Como trata-se de um *template*, é necessário indicar o tipo de dados/objetos que a pilha irá armazenar
- **Não é possível** usar iteradores para percorrer uma fila: apenas o primeiro e o último elemento da fila podem ser acessados

Queue

Principais métodos:

Método	Descrição
`push`	Insere um elemento no fim da fila
`pop`	Remove o primeiro elemento da fila
`front`	Retorna o primeiro elemento da fila
`back`	Retorna o último elemento da fila
`size`	Retorna o número de elementos na fila
`empty`	Verifica se a fila está vazia

Lista completa disponível em http://www.cplusplus.com/reference/queue/queue/

Queue

Complexidade computacional das operações sobre uma fila

Operação	Complexidade computacional (pior caso)
Acesso ao primeiro elemento	constante – O(1)
Inserção de elementos no final	constante – O(1)
Remoção de elementos do início	constante – O(1)
Busca por elementos	linear – O(*n*)

Queue

Exemplo

```
#include <iostream>
using std::cout;

#include <string>
using std::string;

#include <queue>
using std::queue;

int main() {
   queue<string> q;                    // Criacao de uma fila vazia de strings
   q.push("Roberto");                  // Insercao de elementos na fila
   q.push("Antonio");
   cout << "Elementos da fila: ";
   while (!q.empty()) {
      cout << q.front() << " ";        // Impressao do primeiro elemento da fila
      q.pop();                         // Remocao do primeiro elemento da fila
   }

   return 0;
}
```

Deque

- Disponível através da inclusão da biblioteca `<deque>`
  - Referência: http://www.cplusplus.com/reference/deque/deque/
- Como trata-se de um *template*, é necessário indicar o tipo de dados/objetos que o deque irá armazenar
- Construtores disponíveis para a instanciação de um deque
  - Construtor default: cria um deque vazio
  - Construtor parametrizado: cria um deque com um determinado número de elementos
  - Construtor cópia: cria um deque a partir de outro já existente

Deque

Principais métodos:

Método	Descrição
`push_back`	Insere elemento no final do deque
`push_front`	Insere elemento no início do deque
`pop_back`	Remove o último elemento do deque
`pop_front`	Remove o primeiro elemento do deque
`size`	Retorna o número de elementos presentes no deque
`empty`	Verifica se o deque está vazio
`clear`	Esvazia o deque

Lista completa disponível em http://www.cplusplus.com/reference/deque/deque/

Deque

Complexidade computacional das operações sobre um deque

Operação	Complexidade computacional (pior caso)
Acesso ao primeiro e ao último elemento	constante – O(1)
Inserção de elementos no início ou no final	constante – O(1)
Remoção de elementos no início ou no final	constante – O(1)
Busca por elementos	linear – O(*n*)
Inserção de elementos no meio	linear – O(*n*)
Remoção de elementos no meio	linear – O(*n*)

Deque

Exemplo

```
#include <iostream>
using std::cout;

#include <deque>
using std::deque;

int main() {
    deque<int> d;                                       // Criacao de uma fila vazia de strings
    for (int i = 5; i >= 0; i--) d.push_front(i);       // Insercao de elementos no inicio (0-5)
    for (int i = 6; i <= 11; i++) d.push_back(i);       // Insercao de elementos no final (6-11)

    d.pop_back();                                       // Remocao do ultimo elemento do deque
    d.pop_front();                                      // Remocao do primeiro elemento do deque

    deque<int>::iterator it;
    for (it = d.begin(); it != d.end(); ++it) {         // Iterador sobre o deque
        cout << *it << " ";                             // Impressao dos elementos do deque
    }

    return 0;
}
```

`Set`

- Disponível através da inclusão da biblioteca `<set>`
  - Referência: http://www.cplusplus.com/reference/set/set/
- Como trata-se de um *template*, é necessário indicar o tipo de dados/objetos que o conjunto irá armazenar
- Variações:
  - `set`: não permite armazenar elementos repetidos
  - `multiset`: permite armazenar elementos repetidos

Set

Principais métodos:

Método	Descrição
`insert`	Insere um elemento no conjunto
`erase`	Remove um elemento do conjunto
`find`	Busca por um elemento no conjunto, retornando um iterador
`count`	Conta o número de ocorrências de um determinado elemento no conjunto
`size`	Retorna o número de elementos do conjunto
`empty`	Verifica se o conjunto está vazio
`clear`	Remove todos os elementos do conjunto

Lista completa disponível em http://www.cplusplus.com/reference/set/set/

Set

Exemplo

```
#include <iostream>
using std::cout;
using std::endl;

#include <string>
using std::string;

#include <set>
using std::set;

int main() {
    set<string> frutas;          // Criacao de um conjunto de strings vazio
    frutas.insert("banana");     // Insercao de elementos no conjunto
    frutas.insert("morango");
    frutas.insert("abacaxi");
```

Set

Exemplo (cont.)

```
    set<string>::iterator it = frutas.find("morango");    // Busca por elemento no conjunto
    if (it != frutas.end()) {
        cout << "Elemento encontrado" << endl;
    } else {
        cout << "Elemento nao encontrado" << endl;
    }

    return 0;
}
```

Map

- Disponível através da inclusão da biblioteca `<map>`
  - Referência: http://www.cplusplus.com/reference/map/map/
- Como trata-se de um *template*, é necessário indicar
  - o tipo das chaves do mapa
  - o tipo de dados/objetos aos quais as chaves serão associadas
- Variações:
  - `map`: permite associar apenas um valor para cada chave
  - `multimap`: permite associar uma mesma chave a mais de um valor

Map

Principais métodos:

Método	Descrição
`insert`	Insere um par *chave-valor* no mapa
`erase`	Remove um valor do mapa por meio de sua respectiva chave
`operator[]`	Acessa o valor associado a uma chave
`find`	Busca por um valor por meio de uma chave, retornando um iterador como um par *chave*-valor
`size`	Retorna o número de elementos do mapa
`empty`	Verifica se o mapa está vazio
`clear`	Remove todos os elementos do mapa

Lista completa disponível em http://www.cplusplus.com/reference/map/map/

Map

Exemplo

```
#include <iostream>
using std::cout;
using std::endl;

#include <map>
#include <string>

#include <utility>
using std::pair;

int main() {
    map<int, string> alunos;                          // Cria mapa vazio com chaves int e valores
string
    alunos.insert(pair< int, string>(1,"Maria"));     // Insercao de pares chave-valor
    alunos.insert(pair< int, string>(2,"Joao"));
    alunos[3] = "Ana";                                // Insercao de valor com chave 3
```

Map

Exemplo

```
    alunos.erase(2);                                    // Remocao de valor com chave 2
    map<int, string>::iterator it;
    for (it = alunos.begin(); it != alunos.end(); ++it)      // Impressao dos valores no mapa
       cout << it->first <<  " - " << it->second << endl;

    map<int, string>::iterator busca = alunos.find( 1);
    cout << "Codigo: " << busca->first <<  " - Nome: " << busca->second << endl;

    return 0;
}
```

Outros *containers*

Containers	Referência
`array`	http://www.cplusplus.com/reference/array/array/
`forward_list`	http://www.cplusplus.com/reference/forward_list/forward_list/
`map`	http://www.cplusplus.com/reference/map/map/
`multimap`	http://www.cplusplus.com/reference/map/multimap/
`set`	http://www.cplusplus.com/reference/set/set/
`multiset`	http://www.cplusplus.com/reference/set/multiset/
`unordered_map`	http://www.cplusplus.com/reference/unordered_map/unordered_map/
`unordered_multimap`	http://www.cplusplus.com/reference/unordered_map/unordered_multimap/
`unordered_set`	http://www.cplusplus.com/reference/unordered_set/unordered_set/
`unordered_multiset`	http://www.cplusplus.com/reference/unordered_set/unordered_multiset/

Iteradores (*iterators*)

Objetos usados para **acessar os elementos de um *container***, da mesma forma que um índice acessa os elementos de um arranjo

Iteradores

- Motivação: permitir uma maneira **unificada** de percorrer os elementos de um *container*
- Cada classe *container* define um iterador apropriado
  - `vector<int>::iterator it`
    instancia um iterador (`it`) para percorrer um `vector` de inteiros
  - `map<int, string>::iterator elemento`
    instancia um iterador (`elemento`) para acessar um `map` com chaves do tipo inteiro e valores do tipo *string*
  - `list<Estudante>::iterator valor`
    instancia um iterador (`valor`) para percorrer uma `list` de objetos da classe `Estudante`
- Iteradores ocultam os detalhes de implementação (principalmente o uso de ponteiros) das aplicações, tornando possível trocar o tipo de *container* e ainda assim usar o mesmo código

Iteradores

- Iteradores podem ser incrementados ou decrementados com os operadores `++` e `--`, podendo ir para a frente ou para trás enquanto percorrem o *container*
- Iteradores são de-referenciados com o operador `*`
  (uma vez que iteradores são implementados como ponteiros)

Iteradores

Para facilitar o uso de iteradores, todos os *containers* definem os seguintes métodos:

- `iterator begin()`: retorna iterador que aponta para o **primeiro elemento** do *container*
- `iterator end()`: retorna iterador que aponta para **uma posição após o último elemento** do *container*

```
#include <vector>
using std::vector;

int main() {
   vector<int> codigos;                // Vetor de inteiros
   vector<int>::iterator it;           // Iterador sobre o vetor de inteiros

   for (it = codigos.begin(); it != codigos.end(); ++it) {
      // Iteracao sobre os elementos do vetor utilizando o iterador it
   }

   return 0;
}
```

Iteradores

Para facilitar o uso de iteradores, todos os *containers* definem os seguintes métodos:

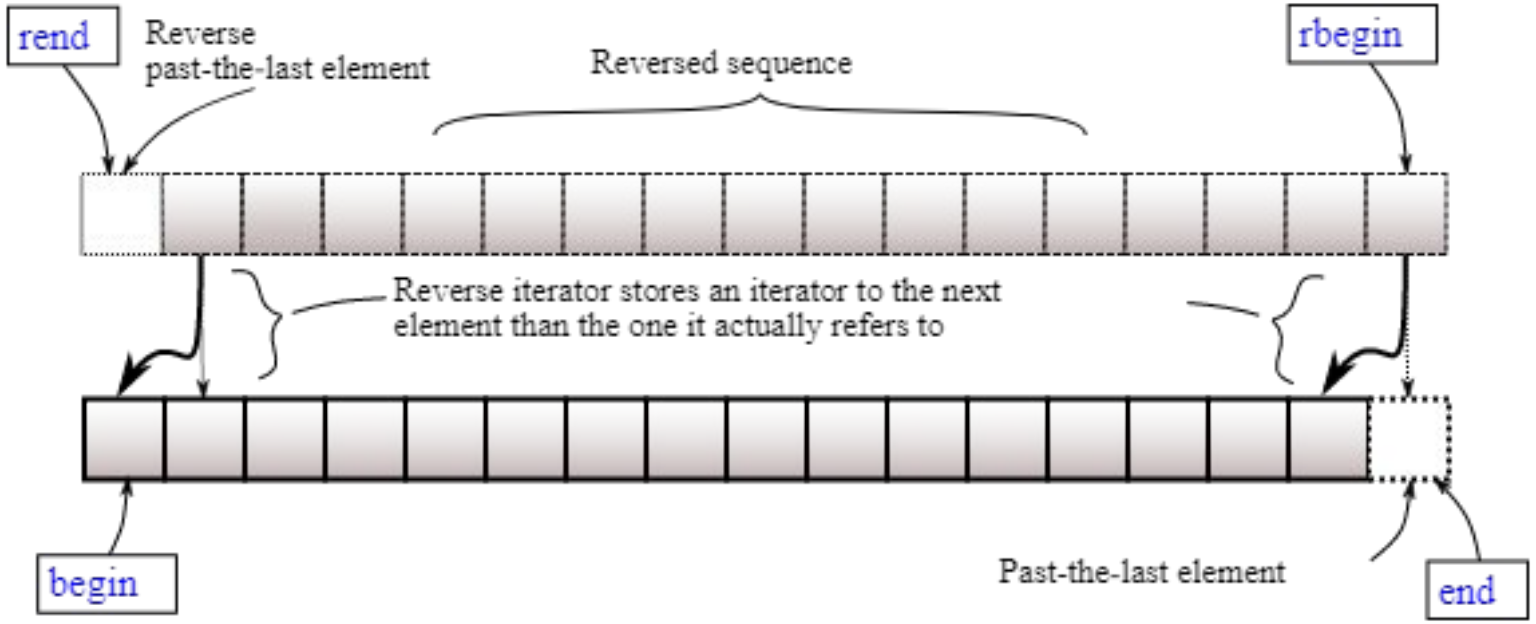
- `reverse_iterator rbegin()`: retorna **iterador reverso** para o **último elemento** do *container*
- `reverse_iterator rend()`: retorna um **iterador reverso** para **uma posição antes do primeiro elemento** do *container*

```
#include <vector>
using std::vector;

int main() {
   vector<int> codigos;                    // Vetor de inteiros
   vector<int>::reverse_iterator itr;    // Iterador reverso sobre o vetor de inteiros
   for (itr = codigos.rbegin(); itr != codigos.rend(); ++itr) {
      // Iteracao sobre os elementos do vetor utilizando o iterador itr
   }

   return 0;
}
```

Iteradores


rend
Reverse
past-the-last element
Reversed sequence
rbegin
Reverse iterator stores an iterator to the next
element than the one it actually refers to
begin
Past-the-last element
end

?