

Thư viện chuẩn C++ Standard Template Library (STL)

Thư viện khuôn mẫu chuẩn - STL

- Thư viện chuẩn C++ bao gồm 32 header file

<algorithm>	<ios>	<map>	<stack>
<bitset>	<iosfwd>	<memory>	<stdexcept>
<complex>	<iostream>	<new>	<streambuf>
<deque>	<istream>	<numeric>	<string>
<exception>	<iterator>	<ostream>	<typeinfo>
<fstream>	<limits>	<queue>	<utility>
<functional>	<list>	<set>	<valarray>
<iomanip>	<locale>	<sstream>	<vector>

Thư viện khuôn mẫu chuẩn - STL

- Thư viện chuẩn C++ gồm 2 phần:
 - Lớp **string**
 - Thư viện khuôn mẫu chuẩn – STL
- Ngoại trừ lớp string, ***tất cả các thành phần còn lại của thư viện*** đều là các khuôn mẫu
- Tác giả đầu tiên của STL là Alexander Stepanov, mục đích của ông là xây dựng một cách thể hiện tư tưởng lập trình tổng quát

Thư viện khuôn mẫu chuẩn - STL

- Các khái niệm trong STL được phát triển ***độc lập với C++***
 - Do đó, ban đầu, STL không phải là một thư viện C++, mà nó đã được chuyển đổi thành thư viện C++
 - Nhiều tư tưởng dẫn đến sự phát triển của STL đã được cài đặt phần nào trong Scheme, Ada, và C

Thư viện khuôn mẫu chuẩn - STL

- Một số lời khuyên về STL
 - STL được thiết kế đẹp và hiệu quả - không có thừa kế hay hàm ảo trong bất kỳ định nghĩa nào
 - Từ tư tưởng lập trình tổng quát dẫn tới những "khối cơ bản" (building block) mà có thể kết hợp với nhau theo đủ kiểu
 - Tuy làm quen với STL tốn không ít thời gian nhưng thành quả tiềm tàng về năng xuất rất xứng đáng với thời gian đầu tư
 - Tóm lại – hãy học và hãy sử dụng!
- Bài giảng này chỉ để giới thiệu một phần rất nhỏ của STL

Giới thiệu STL

- Ba thành phần chính của STL
 - Các thành phần rất mạnh xây dựng dựa trên template
 - Container: các cấu trúc dữ liệu template
 - Iterator: giống con trỏ, dùng để truy nhập các phần tử dữ liệu của các container
 - Algorithm: các thuật toán để thao tác dữ liệu, tìm kiếm, sắp xếp, v.v..

Giới thiệu về các Container

- 3 loại container
 - Sequence container – container chuỗi
 - các cấu trúc dữ liệu tuyến tính (vector, danh sách liên kết)
 - first-class container
 - **vector, deque, list**
 - Associative container – container liên kết
 - các cấu trúc phi tuyến, có thể tìm phần tử nhanh chóng
 - first-class container
 - các cặp khóa/giá trị
 - **set, multiset, map, multimap**
 - Container adapter – các bộ tương thích container
 - **stack, queue, priority_queue**

Các hàm thành viên STL

- Các hàm thành viên mọi container đều có
 - Default constructor, copy constructor, destructor
 - empty
 - max_size, size
 - = < <= > >= == !=
 - swap
- Các hàm thành viên của first-class container
 - begin, end
 - rbegin, rend
 - erase, clear

Giới thiệu về Iterator

- Iterator tương tự như con trỏ
 - trỏ tới các phần tử trong một container
 - các toán tử iterator cho mọi container
 - * truy nhập phần tử được trỏ tới
 - ++ trỏ tới phần tử tiếp theo
 - **begin()** trả về iterator trỏ tới phần tử đầu tiên
 - **end()** trả về iterator trỏ tới phần tử đặc biệt chặn cuối container

Các loại Iterator

- Input (ví dụ: **istream_iterator**)
 - Đọc các phần tử từ một container, hỗ trợ ++, += (chỉ tiến)
- Output (ví dụ: **ostream_iterator**)
 - Ghi các phần tử vào container, hỗ trợ ++, += (chỉ tiến)
- Forward (ví dụ: **hash_set<T> iterator**)
 - Kết hợp input iterator và output iterator
 - Multi-pass (có thể duyệt chuỗi nhiều lần)
- Bidirectional (Ví dụ: **list<T> iterator**)
 - Như forward iterator, nhưng có thể lùi (--, -=)
- Randomaccess (Ví dụ: **vector<T> iterator**)
 - Như bidirectional, nhưng còn có thể nhảy tới phần tử tùy ý

Các loại Iterator được hỗ trợ

- Sequence container
 - **vector**: random access
 - **deque**: random access
 - **list**: bidirectional
- Associative container
(hỗ trợ các loại bidirectional)
 - **set, multiset, map, multimap**
- Container adapter (không hỗ trợ iterator)
 - **stack, queue, priority_queue**

Các phép toán đối với Iterator

- Input iterator
 - `++` , `*p` , `->` , `==` , `!=`
- Output iterator
 - `++` , `*p=` , `p = p1`
- Forward iterator
 - Kết hợp các toán tử của input và output iterator
- Bidirectional iterator
 - các toán tử cho forward, và `--`
- Random iterator
 - các toán tử cho bidirectional, và
`+` , `+=` , `-` , `-=` , `>` , `>=` , `<` , `<=` , `[]`

Giới thiệu các thuật toán – Algorithm

- STL có các thuật toán được sử dụng tổng quát cho nhiều loại container
 - thao tác gián tiếp với các phần tử qua các iterator
 - thường dùng cho các phần tử trong một chuỗi
 - chuỗi xác định bởi một cặp iterator trở tới phần tử đầu tiên và cuối cùng của chuỗi
 - các thuật toán thường trả về iterator
 - ví dụ: **find()** trả về iterator trở tới phần tử cần tìm hoặc trả về **end()** nếu không tìm thấy
 - sử dụng các thuật toán được cung cấp giúp lập trình viên tiết kiệm thời gian và công sức

Sequence Container

- 3 loại sequence container:
 - **vector** – dựa theo mảng
 - **deque** – dựa theo mảng
 - **list** – danh sách liên kết hiệu quả cao

vector Sequence Container

- **vector**
 - **<vector>**
 - cấu trúc dữ liệu với các vùng nhớ liên tiếp
 - truy nhập các phần tử bằng toán tử []
 - sử dụng khi dữ liệu cần được sắp xếp và truy nhập dễ dàng
- Cơ chế hoạt động khi hết bộ nhớ
 - cấp phát một vùng nhớ liên lục lớn hơn
 - tự sao chép ra vùng nhớ mới
 - trả lại vùng nhớ cũ
- sử dụng randomaccess iterator

vector Sequence Container

- Khai báo
 - **std::vector <type> v;**
 - *type là kiểu dữ liệu của phần tử dữ liệu (int, float, v.v..)*
- Iterator
 - **std::vector<type>::iterator iterVar;**
 - trường hợp thông thường
 - **std::vector<type>::const_iterator iterVar;**
 - **const_iterator** không thể sửa đổi các phần tử
 - **std::vector<type>::reverse_iterator iterVar;**
 - Visits elements in reverse order (end to beginning)
 - Use **rbegin** to get starting point
 - Use **rend** to get ending point

vector Sequence Container

- Các hàm thành viên của **vector**
 - **v.push_back(value)**
 - thêm phần tử vào cuối (sequence container nào cũng có hàm này).
 - **v.size()**
 - kích thước hiện tại của vector
 - **v.capacity()**
 - kích thước có thể lưu trữ trước khi phải cấp phát lại
 - khi cấp phát lại sẽ cấp phát kích thước gấp đôi
 - **vector<type> v(a, a + SIZE)**
 - tạo vector từ SIZE phần tử đầu tiên của mảng a

vector Sequence Container

- Các hàm thành viên của **vector**
 - **v.insert(iterator, value)**
 - chèn *value* vào trước vị trí của *iterator*
 - **v.insert(iterator, array , array + SIZE)**
 - chèn vào vector *SIZE* phần tử đầu tiên của mảng *array*
 - **v.erase(iterator)**
 - xóa phần tử khỏi container
 - **v.erase(iter1, iter2)**
 - xóa bỏ các phần tử bắt đầu từ **iter1** đến hết phần tử liền trước **iter2**

vector Sequence Container

- Các hàm thành viên của **vector**
 - **v.clear()**
 - Xóa toàn bộ container
 - **v.front(), v.back()**
 - Trả về phần tử đầu tiên và cuối cùng
 - **v[elementNumber] = value;**
 - Gán giá trị **value** cho một phần tử
 - **v.at[elementNumber] = value;**
 - Như trên, nhưng kèm theo kiểm tra chỉ số hợp lệ
 - có thể ném ngoại lệ **out_of_bounds**

vector Sequence Container

- `ostream_iterator`
 - `std::ostream_iterator< type > Name(outputStream, separator);`
 - *type*: outputs values of a certain type
 - `outputStream`: iterator output location
 - `separator`: character separating outputs
- Example
 - `std::ostream_iterator< int > output(cout, " ");`
 - `std::copy(iterator1, iterator2, output);`
 - Copies elements from `iterator1` up to (not including) `iterator2` to output, an `ostream_iterator`

```

1  // Fig. 21.14: fig21_14.cpp
2  // Demonstrating standard library vector class template.
3  #include <iostream>
4
5  using std::cout;
6  using std::cin;
7  using std::endl;
8
9  #include <vector> // vector class-template definition
10
11 // prototype for function template printVector
12 template < class T >
13 void printVector( const std::vector< T > &integers2 );
14
15 int main()
16 {
17     const int SIZE = 6;
18     int array[ SIZE ] = { 1, 2, 3,
19
20     std::vector< int > integers;
21
22     cout << "The initial size of integers is: "
23         << integers.size()
24         << "\nThe initial capacity of integers is: "
25         << integers.capacity();
26

```

Tạo một **vector** chứa các giá trị **int**

Gọi các hàm thành viên.

```
27 // function push_back is in every sequence collection
28 integers.push_back( 2 );
29 integers.push_back( 3 );
30 integers.push_back( 4 );
31
32 cout << "\nThe size of integers is: " << integers.size()
33      << "\nThe capacity of integers is: "
34      << integers.capacity();
35
36 cout << "\n\nOutput array using pointer notation: ";
37
38 for ( int *ptr = array; ptr != array + SIZE; ++ptr )
39     cout << *ptr << ' ';
40
41 cout << "\n\nOutput vector using iterator notation: ";
42 printVector( integers );
43
44 cout << "\n\nReversed contents of vector integers: ";
45
```

sử dụng **push_back** để
thêm phần tử vào cuối
vector

```
46     std::vector< int >::reverse_iterator reverseIterator;
47
48     for ( reverseIterator = integers.rbegin();
49           reverseIterator != integers.rend();
50           ++reverseIterator )
51         cout << *reverseIterator << ' ';
52
53     cout << endl;
54
55     return 0;
56
57 } // end main
58
59 // function template for outputting vector elements
60 template < class T >
61 void printVector( const std::vector< T > &integers2 )
62 {
63     std::vector< T >::const_iterator constIterator;
64
65     for ( constIterator = integers2.begin();
66           constIterator != integers2.end();
67           constIterator++ )
68         cout << *constIterator << ' ';
69
70 } // end function printVector
```

Duyệt ngược vector bằng
một **reverse_iterator**.

Template function để
duyệt vector theo
chiều tiến.

```
The initial size of v is: 0
The initial capacity of v is: 0
The size of v is: 3
The capacity of v is: 4

Contents of array a using pointer notation: 1 2 3 4 5 6
Contents of vector v using iterator notation: 2 3 4
Reversed contents of vector v: 4 3 2
```

fig21_14.cpp
output (1 of 1)

Container Adapter

- Container adapter
 - **stack, queue và priority_queue**
 - Không phải first class container, cho nên
 - Không hỗ trợ iterator
 - Không cung cấp cấu trúc dữ liệu
 - Lập trình viên có thể chọn cách cài đặt (sử dụng cấu trúc dữ liệu nào)
 - đều cung cấp các hàm thành viên **push** và **pop** bên cạnh các hàm thành viên khác.

stack Adapter

- **stack**

- Header **<stack>**
- chèn và xóa tại một đầu
- Cấu trúc Last-in, first-out (LIFO)
- Có thể chọn cài đặt bằng **vector**, **list**, hoặc **deque** (mặc định)
- Khai báo

`stack<type, vector<type> > myStack;`

`stack<type, list<type> > myOtherStack;`

`stack<type> anotherStack; // default deque`

- chọn cài đặt là **vector**, **list** hay **deque** không làm thay đổi hành vi, chỉ ảnh hưởng tới hiệu quả (cài bằng **deque** và **vector** là nhanh nhất)

```
1 // Fig. 21.23: fig21_23.cpp
2 // Standard library adapter stack test program.
3 #include <iostream>
4
5 using std::cout;
6 using std::endl;
7
8 #include <stack> // stack adapter definition
9 #include <vector> // vector class-template definition
10 #include <list> // list class-template definition
11
12 // popElements function-template prototype
13 template< class T >
14 void popElements( T &stackRef );
15
16 int main()
17 {
18     // stack with default underlying deque
19     std::stack< int > intDequeStack;
20
21     // stack with underlying vector
22     std::stack< int, std::vector< int > > intVectorStack;
23
24     // stack with underlying list
25     std::stack< int, std::list< int > > intListStack;
26
```

fig21_23.cpp
(1 of 3)

Tạo stack bằng nhiều
kiểu cài đặt.



```
27 // push the values 0-9 onto each stack
28 for ( int i = 0; i < 10; ++i ) {
29     intDequeStack.push( i );
30     intVectorStack.push( i );
31     intListStack.push( i );
32
33 } // end for
34
35 // display and remove elements from each stack
36 cout << "Popping from intDequeStack: ";
37 popElements( intDequeStack );
38 cout << "\nPopping from intVectorStack: ";
39 popElements( intVectorStack );
40 cout << "\nPopping from intListStack: ";
41 popElements( intListStack );
42
43 cout << endl;
44
45 return 0;
46
47 } // end main
48
```

sử dụng hàm thành viên **push.** 3.cpp

```
49 // pop elements from stack object to which stackRef refers
50 template< class T >
51 void popElements( T &stackRef )
52 {
53     while ( !stackRef.empty() ) {
54         cout << stackRef.top() << ' '; // view top element
55         stackRef.pop();                // remove top element
56
57     } // end while
58
59 } // end function popElements
```

```
Popping from intDequeStack: 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
Popping from intVectorStack: 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
Popping from intListStack: 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
```

fig21_23.cpp
(3 of 3)

fig21_23.cpp
output (1 of 1)

Các thuật toán

- Trước STL
 - các thư viện của các hãng khác nhau không tương thích
 - Các thuật toán được xây dựng và gắn vào trong các lớp container
- STL tách rời các container và các thuật toán
 - lợi thế:
 - dễ bổ sung các thuật toán mới
 - hiệu quả hơn, tránh các lời gọi hàm ảo
 - header **<algorithm>**

remove, remove_if, remove_copy và remove_copy_if

- **remove**

- **remove(iter1, iter2, value);**
- Bỏ mọi phần tử có giá trị **value** trong khoảng **(iter1 - iter2)** theo cách sau:
 - Chuyển các phần tử có giá trị **value** xuống cuối
 - không thay đổi kích thước của container hoặc thực sự xóa các phần tử
- Trả về iterator tới kết thúc “mới” của container
- các phần tử sau kết thúc mới là không xác định

remove, remove_if, remove_copy và remove_copy_if

- **remove_copy**
 - **remove_copy(iter1, iter2, iter3, value);**
 - trong khoảng **iter1-iter2**, chép các phần tử khác **value** vào **iter3 (output iterator)**
 - **remove_if**
 - giống **remove**
 - trả về iterator tới phần tử cuối cùng
 - bỏ các phần tử mà hàm trả về **true**
- remove_if(iter1, iter2, function);**
- các phần tử được truyền cho **function**, hàm này trả về giá trị **bool**

remove, remove_if, remove_copy và remove_copy_if

- **remove_copy_if**
 - giống **remove_copy** và **remove_if**
remove_copy_if(iter1, iter2, iter3, function);

Các thuật toán toán học

- **random_shuffle(iter1, iter2)**
 - xáo trộn các phần tử trong khoảng một cách ngẫu nhiên
- **count(iter1, iter2, value)**
 - trả về số lần xuất hiện của **value** trong khoảng
- **count_if(iter1, iter2, function)**
 - đếm số phần tử làm **function** trả về **true**
- **min_element(iter1, iter2)**
 - trả về iterator tới phần tử nhỏ nhất
- **max_element(iter1, iter2)**
 - trả về iterator tới phần tử lớn nhất

Các thuật toán toán học

- **accumulate(iter1, iter2)**
 - trả về tổng các phần tử trong khoảng
- **for_each(iter1, iter2, function)**
 - Gọi hàm **function** cho mỗi phần tử trong khoảng
 - không sửa đổi phần tử
- **transform(iter1, iter2, iter3, function)**
 - gọi **function** cho mọi phần tử trong khoảng **iter1-iter2**, kết quả ghi vào **iter3**

Các thuật toán tìm kiếm và sắp xếp cơ bản

- **find(iter1, iter2, value)**
 - trả về iterator tới lần xuất hiện đầu tiên (trong khoảng) của **value**
- **find_if(iter1, iter2, function)**
 - như **find**
 - trả về iterator khi **function** trả về **true**
- **sort(iter1, iter2)**
 - sắp xếp các phần tử theo thứ tự tăng dần
- **binary_search(iter1, iter2, value)**

```
1 // Fig. 21.31: fig21_31.cpp
2 // Standard library search and sort algorithms.
3 #include <iostream>
4
5 using std::cout;
6 using std::endl;
7
8 #include <algorithm> // algorithm definitions
9 #include <vector>    // vector class-template definition
10
11 bool greater10( int value ); // prototype
12
13 int main()
14 {
15     const int SIZE = 10;
16     int a[ SIZE ] = { 10, 2, 17, 5, 16, 8, 13, 11, 20, 7 };
17
18     std::vector< int > v( a, a + SIZE );
19     std::ostream_iterator< int > output( cout, " " );
20
21     cout << "Vector v contains: ";
22     std::copy( v.begin(), v.end(), output );
23
24     // locate first occurrence of 16 in v
25     std::vector< int >::iterator location;
26     location = std::find( v.begin(), v.end(), 16 );
```

fig21_31.cpp
(1 of 4)

```
27
28     if ( location != v.end() )
29         cout << "\n\nFound 16 at location "
30             << ( location - v.begin() );
31     else
32         cout << "\n\n16 not found";
33
34     // locate first occurrence of 100 in v
35     location = std::find( v.begin(), v.end(), 100 );
36
37     if ( location != v.end() )
38         cout << "\n\nFound 100 at location "
39             << ( location - v.begin() );
40     else
41         cout << "\n\n100 not found";
42
43     // locate first occurrence of value greater than 10 in v
44     location = std::find_if( v.begin(), v.end(), greater10 );
45
46     if ( location != v.end() )
47         cout << "\n\nThe first value greater than 10 is "
48             << *location << "\n\nfound at location "
49             << ( location - v.begin() );
50     else
51         cout << "\n\nNo values greater than 10 were found";
52
```

fig21_31.cpp
(2 of 4)

```
53 // sort elements of v
54 std::sort( v.begin(), v.end() );
55
56 cout << "\n\nVector v after sort: ";
57 std::copy( v.begin(), v.end(), output );
58
59 // use binary_search to locate 13 in v
60 if ( std::binary_search( v.begin(), v.end(), 13 ) )
61     cout << "\n\n13 was found in v";
62 else
63     cout << "\n\n13 was not found in v";
64
65 // use binary_search to locate 100 in v
66 if ( std::binary_search( v.begin(), v.end(), 100 ) )
67     cout << "\n\n100 was found in v";
68 else
69     cout << "\n\n100 was not found in v";
70
71 cout << endl;
72
73 return 0;
74
75 } // end main
76
```

fig21_31.cpp
(3 of 4)

```
77 // determine whether argument is greater than 10
78 bool greater10( int value )
79 {
80     return value > 10;
81
82 } // end function greater10
```

fig21_31.cpp
(4 of 4)

```
Vector v contains: 10 2 17 5 16 8 13 11 20 7

Found 16 at location 4
100 not found

The first value greater than 10 is 17
found at location 2

Vector v after sort: 2 5 7 8 10 11 13 16 17 20

13 was found in v
100 was not found in v
```

fig21_31.cpp
output (1 of 1)

Function Object – functor

- (**<functional>**)
 - Các đối tượng có thể gọi như hàm bằng toán tử ()

STL function objects	Type
<code>divides< T ></code>	arithmetic
<code>equal_to< T ></code>	relational
<code>greater< T ></code>	relational
<code>greater_equal< T ></code>	relational
<code>less< T ></code>	relational
<code>less_equal< T ></code>	relational
<code>logical_and< T ></code>	logical
<code>logical_not< T ></code>	logical
<code>logical_or< T ></code>	logical
<code>minus< T ></code>	arithmetic
<code>modulus< T ></code>	arithmetic
<code>negate< T ></code>	arithmetic
<code>not_equal_to< T ></code>	relational
<code>plus< T ></code>	arithmetic
<code>multiplies< T ></code>	arithmetic

```

1  // Fig. 21.42: fig21_42.cpp
2  // Demonstrating function objects.
3  #include <iostream>
4
5  using std::cout;
6  using std::endl;
7
8  #include <vector>      // vector class-template definition
9  #include <algorithm>   // copy algorithm
10 #include <numeric>     // accumulate algorithm
11 #include <functional>  // binary_function definition
12
13 // binary function adds square of its second argument an
14 // running total in its first argument, then returns sum
15 int sumSquares( int total, int value )
16 {
17     return total + value * value;
18
19 } // end function sumSquares
20

```

fig21_42.cpp
(1 of 4)

Tạo một hàm để dùng
với **accumulate**.

```

21 // binary function class template defines overloaded operator()
22 // that adds square of its second argument and running total in
23 // its first argument, then returns sum
24 template< class T >
25 class SumSquaresClass : public std::binary_function< T, T, T > {
26
27 public:
28
29     // add square of value to total and return result
30     const T operator()( const T &total, const T &value )
31     {
32         return total + value * value;
33
34     } // end function operator()
35
36 }; // end class SumSquaresClass
37

```

fig21_42.cpp

Tạo một function object
(nó còn có thể đóng gói
dữ liệu).
Overload **operator()**.

```

38 int main()
39 {
40     const int SIZE = 10;
41     int array[] = { 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 };
42
43     std::vector< int > integers( array, array + SIZE );
44
45     std::ostream_iterator< int > output( cout, " " );
46
47     int result = 0;
48
49     cout << "vector v contains:\n";
50     std::copy( integers.begin(), integers.end(), output );
51
52     // calculate sum of squares of elements of vector integers
53     // using binary function sumSquares
54     result = std::accumulate( integers.begin(), integers.end(),
55                               0, sumSquares );
56
57     cout << "\n\nSum of squares of elements in integers using "
58           << "binary\nfunction sumSquares: " << result;
59

```

fig21_42.cpp
(3 of 4)

đầu tiên, **accumulate** truyền **0** và **phần tử thứ nhất** lần lượt làm các tham số. Sau đó, nó dùng kết quả trả về làm tham số thứ nhất, và lặp qua các phần tử còn lại.

```

60 // calculate sum of squares of elements of vector integers
61 // using binary-function object
62 result = std::accumulate( integers.begin(), integers.end(),
63     0, SumSquaresClass< int >() );
64
65 cout << "\n\nSum of squares of elements in integers using "
66     << "binary\nfunction object of type "
67     << "SumSquaresClass< int >: " << result << endl;
68
69 return 0;
70
71 } // end main

```

**dùng accumulate với
một function object.**

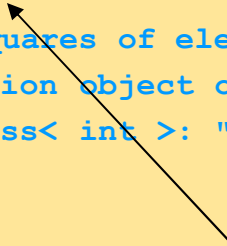


fig21_42.cpp
(4 of 4)

fig21_42.cpp
output (1 of 1)

vector v contains:
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Sum of squares of elements in integers using binary
function sumSquares: 385

Sum of squares of elements in integers using binary
function object of type SumSquaresClass< int >: 385