The Standard Template Library (STL)

ชวลิต ศรีสถาพรพัฒน์
แก้ไขปรับปรุงจากต้นฉบับของ อ.สุธี สุดประเสริฐ

Credits

- The C++ Programming Language (Third Edition) - Bjarne Stroustrup
- The Standard Template Library Tutorial - Johannes Weidl
- C++ References - http://www.cprogramming.com/tutorial/references.html
- Standard Template Library Programmer's Guide - http://www.sgi.com/tech/stl/

STL คืออะไร?

- The standard C++ library
  - general class, function, template, etc.
- สิ่งที่เราจะเรียนกันในครั้งนี้มีแค่
  - container : ใช้ในการสร้าง data structure แบบต่างๆ
  - iterator: ใช้ในการวนรอบข้อมูลใน container
  - algorithms และ member functions: algorithm ที่ใช้กับ container และ function ที่สามารถใช้ทำงานกับสมาชิกใน container

C++ : สิ่งที่ควรรู้ก่อน ใช้ STL

- Class
- References (Smart pointers)
- Templates

Classes

- คล้ายกับ struct ในภาษา C
- Object oriented programming (OOP)
- User-defined types
  - เราสามารถสร้างชนิดของข้อมูลใหม่ขึ้นมาได้ โดยการประกาศคลาสใหม่
  - เราสามารถกำหนดคุณสมบัติ (properties) และ กระบวนการทำงาน (method) ของคลาสได้
  - เราสามารถกำหนดความหมายเมื่อนำคลาสที่สร้างขึ้นไปใช้กับตัวดำเนินการ

Classes

```
class shape {
private:
   int x_pos;
   int y_pos;
   int color;
public:
   shape () : x_pos(0), y_pos(0), color(1) {}
   shape (int x, int y, int c = 1) : x_pos(x), y_pos(y), color(c) {}
   shape (const shape& s) : x_pos(s.x_pos), y_pos(s.y_pos), color(s.color) {}
  ~shape () {}
   shape& operator= (const shape& s) {
      x_pos = s.x_pos, y_pos = s.y_pos, color = s.color; return *this; }
   int get_x_pos () { return x_pos; }
   int get_y_pos () { return y_pos; }
   int get_color () { return color; }
   void set_x_pos (int x) { x_pos = x; }
   void set_y_pos (int y) { y_pos = y; }
   void set_color (int c) { color = c; }
   virtual void DrawShape () {}
   friend ostream& operator<< (ostream& os, const shape& s);
};
ostream& operator<< (ostream& os, const shape& s) {
   os <<  "shape: (" << s.x_pos << "," << s.y_pos << "," << s.color << ")";
   return os;
}
```

Classes

```
shape MyShape (12, 10, 4);

int color = MyShape.get_color();

shape NewShape = MyShape;
```

```
shape MyShape;
shape NewShape (MyShape);
```

References

- หลักการใหม่ที่มีเพิ่มขึ้นมาจากภาษา C ใช้ในการอ้างถึงตัวแปรโดยไม่ต้องใช้ pointer
  - ไม่สามารถใช้แทน pointer ได้ในทุกกรณี
- syntax: & เขียนตามหลังชนิดตัวแปร เช่น int& foo;
- ในการใช้งานจะแตกต่างจาก pointer คือ
  - ไม่ต้องใช้ * ในการอ้างค่ากลับ (dereference) และ ไม่ต้องใช้ & ในการให้ค่าที่อยู่ (address) ของตัวแปร
  - NULL reference ไม่มี
  - ต้องกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับ reference เมื่อมีการประกาศทันที
  - เมื่อกำหนดค่าให้กับ reference อ้างถึงตัวแปรใดแล้ว จะเปลี่ยนการอ้างถึงอีกไม่ได้

References

pointer

```
int x = 10;
int *p;

p = &x;
*p = 20;

printf("%d\n", x);
```

reference

```
int x = 10;
int &p = x;

p = 20;

printf("%d\n", x);
```

References

pointer

```
void swap(int *a, int *b)
{
    int tmp = *a;
    *a = *b;
    *b = tmp;
}
...
int x=10, y=20;
swap(&x, &y);
```

reference

```
void swap(int &a, int &b)
{
    int tmp = a;
    a = b;
    b = tmp;
}
...
int x=10, y=20;
swap(x, y);
```

Templates

- templates เป็นหลักการที่ช่วยให้เราออกแบบ function และ class โดยไม่ขึ้นกับชนิดของข้อมูล

- ตัวอย่างเช่น container ใช้หลักการนี้เพื่อทำให้ data structures ชนิดต่างๆ ไม่ขึ้นกับชนิดของข้อมูล

Templates: function templates - 1

```
template <class T> void swap(T *a, T *b)
{
    T tmp = *a;
    *a = *b;
    *b = tmp;
}
...
int x=10, y=20;
swap(&x, &y);

float m=9.5, n=2.3;
swap(&m, &n);
```

Templates: function templates - 2

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;

template <class T> void printArray(const T *array, const int count) {
    for (int i=0; i<count; i++)
        cout << array[i] << " ";
    cout << endl;
}
int main( int argc, char **argv )  {
    const int aCount = 5;
    const int bCount = 7;
    const int cCount = 6;
    int a[aCount] = {1,2,3,4,5};
    double b[bCount] = {1.1,2.2,3.3,4.4,5.5,6.6,7.7};
    char c[cCount] = "HELLO";

    cout << "Array a contains: ";
    printArray(a,aCount);
    cout << "Array b contains: ";
    printArray(b,bCount);
    cout << "Array c contains: ";
    printArray(c,cCount);
    return 0;
}
```

Templates: class templates - 1

```
template <class T> class vector
{
   T* v;
   int sz;
public:
   vector (int s) { v = new T [sz = s]; }
  ~vector () { delete[] v; }
   T& operator[] (int i) { return v[i]; }
   int get_size() { return sz; }
};
```

Templates: class templates - 2

```
#include <iostream>
#include <cstdio>
using namespace std;

template <class T> class vector {
   T* v;
   int sz;
public:
   vector (int s) { v = new T [sz = s]; }
   ~vector () { delete[] v; }
   T& operator[] (int i) { return v[i]; }
   int get_size() { return sz; }
};

int main() {
   vector<int> intStore(10);
   vector<double> doubleStore(20);

   doubleStore[0] = 5;
   cout << "doubleStore[0]=" << doubleStore[0] << endl;
   cout << "intStore[0]=" << intStore[0] << endl;
   return 0;
}
```

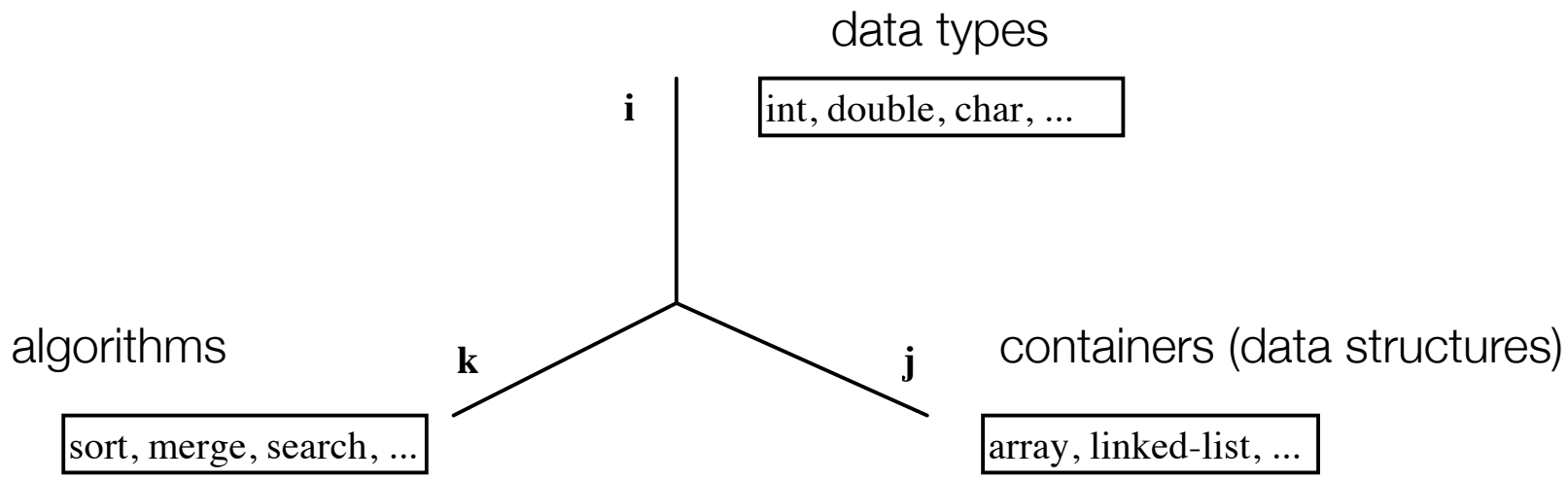
Templates: class templates - 3

```
#include<iostream>
#include<iomanip>
#include<vector>
using namespace std;

template <class T> class Stack {
  vector<T> s;
public:
  int size() { return s.size(); }
  void push(T x) {
    if (s.size() < 100)
      s.insert(s.begin(),x); }
  T pop() {
      T item = s[0];
      s.erase(s.begin());
      return item;
    }
  void purge() { s.erase(s.begin(),s.end()); }
  void print() {
    int i=0;
    printf("S:[");
    for (i=s.size()-1;i>=0;i--) {
      printf(" %d",s[i]);
    }
    printf(" ]\n");
  }
};
```

Templates: class templates - 4

```
int main() {
  Stack<int> s;
  int x;
  char cmd;

  while (1) {
    if (cmd != '\n')
         cout << "input>";
    scanf("%c",&cmd);
    if(cmd == 'p') {
       s.print();
    } else if (cmd == 'u') {
       scanf("%d",&x);
       s.push(x);
    } else if (cmd == 'o') {
       if (s.size() > 0)
          cout << s.pop() << endl;
    } else if (cmd == 'q') {
       break;
    }
  }
  return 0;
}
```

The idea behind STL



หากทำแบบถึกๆ เราจะมีโค้ดทั้งหมด (i * k * j) + j

หาก container ไม่ขึ้นกับ data types เราจะมีโค้ดทั้งหมด (k * j) + j

และหาก algorithm ไม่ขึ้นกับ containers เราจะมีโค้ดทั้งหมด k + j

Containers

Containers

- Containers แบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ
  - Sequence containers
    - vector, deque (double ended queue), list
  - Associative containers
    - set, multiset, map, mutlimap

Vector

- vector เทียบได้กับ array ในภาษา C แต่มีความสามารถที่พิเศษกว่ามากมาย เช่น
  - ไม่จำเป็นจองเนื้อที่ล่วงหน้า (แต่จะจองก็ได้) เพราะ vector สามารถขยายขนาดได้เอง ถ้าเราใส่ข้อมูลเกินขนาดของ vector ที่จองไว้
  - สามารถรู้จำนวนข้อมูลที่มีอยู่ใน vector ได้
  - สามารถลบข้อมูลในตำแหน่งที่ต้องการออกจาก vector ได้

Vector

```
#include <iostream>
#include <vector>

using namespace std;

int main()
{
  vector<int> v;
  cout << v.size() << “\n”; // 0
  v.push_back(3);
  v.push_back(5);
  cout << v.size() << “\n”; // 2
  cout << v[0] << “ “ << v[1] << “\n”; // 3 5
  return 0;
}
```

Vector

```
vector<int> v(3);
cout << v.size() << “\n”; // print 3
v[0] = 2;
v[1] = 3;
v[2] = 4;
v.push_back(5);
cout << v.size() << “\n”; // print 4
```

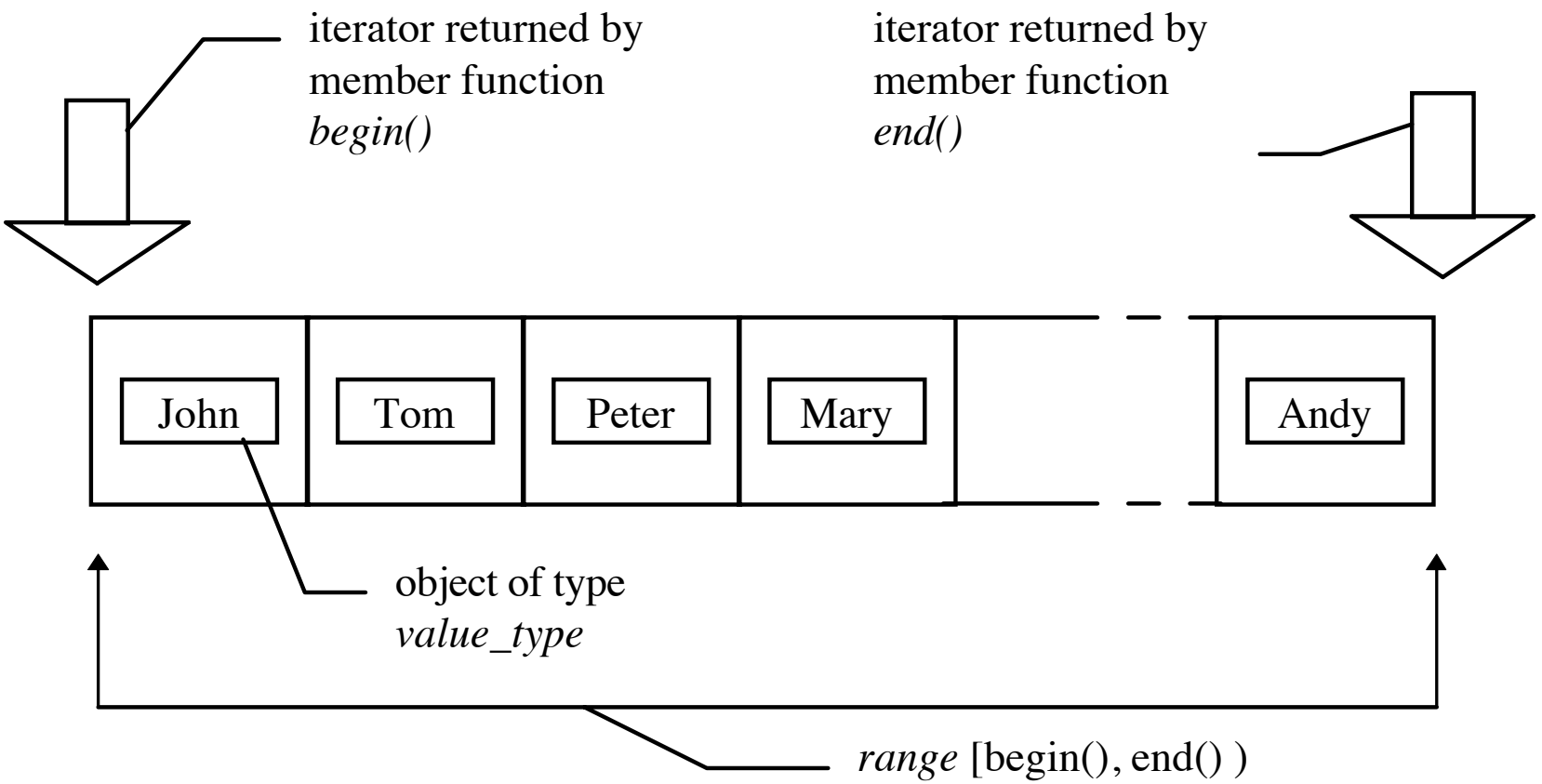
Iterator

- iterator ใช้สำหรับการอ้างถึงตำแหน่งของข้อมูลใน container
  - แต่ละ container จะมี iterator เฉพาะของตัวเอง แต่วิธีการใช้งานจะเหมือนกัน
- iterator มักจะถูกใช้ในการ
  - วนรอบข้อมูลใน container
  - เพิ่ม/ลบ ข้อมูล ในช่วงหรือตำแหน่งที่ต้องการ
  - กำหนดจุดเริ่มต้นในการค้นหาข้อมูล

Iterator

- รูปแบบการใช้งาน iterator จะเหมือนกับ pointer คือ
  - ใช้ + และ - ในการเลื่อนตำแหน่งการชี้ข้อมูล
  - ใช้ * ในอ้างกลับ (dereference)
- เราสามารถได้ค่าของ iterator จากคำสั่ง .begin() และ .end() ของ container ใดๆ

Iterator


iterator returned by
member function
begin()
iterator returned by
member function
end()
John
Tom
Peter
Mary
Andy
object of type
value_type
range [begin(), end())

Iterator

```
vector<int> v(3, 5); // [5, 5, 5]
...
for (vector<int>::iterator itr=v.begin(); itr != v.end(); ++itr) {
    cout << *itr << “\n”;
}
```

```
vector<int> w(1, 3); // [3]
w.insert(w.begin(), 2, 4); // [4, 4, 3]
w.insert(w.end(), v.begin(), v.end()); // [4, 4, 3, 5, 5, 5]
```

```
w.erase(w.begin()); // [4, 3, 5, 5, 5]
w.erase(w.end()-2, w.end()); // [4, 3, 5]
```

```
vector<int>::const_iterator p = find(w.begin(), w.end(), 4);
cout << (p != w.end()) ? “Found\n” : “Not found\n”;
```

List

- เปรียบเทียบได้กับ doubly-linked list
- รูปแบบการใช้งานเหมือน vector แต่ไม่สามารถอ้างถึงข้อมูลแบบ random access ได้
  - การอ้างถึงข้อมูลจะทำได้ผ่านทาง iterator อย่างเดียว
- ข้อดีของ list คือ การเพิ่มหรือลบข้อมูล เข้าไปใน list ที่ตำแหน่งใดๆ จะมีประสิทธิภาพมากกว่า vector

List

- list มีการทำงานแบบพิเศษที่ไม่มีใน vector ซึ่งเป็นการทำงานที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงข้อมูลใน list
  - splice : ลบข้อมูลจาก list หนึ่ง แล้วเอามาใส่ในอีก list หนึ่ง
  - sort : เรียงลำดับข้อมูลใน list
  - merge : ลบข้อมูลทั้งหมดใน list หนึ่ง แล้วเอามาใส่ในอีก list หนึ่ง (ถ้าข้อมูลใน list ทั้งสองเรียงลำดับอยู่แล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จากการ merge จะเรียงลำดับ)
- การทำงานเหล่านี้ จะไม่มีการทำซ้ำข้อมูลและเปลี่ยนตำแหน่งการเก็บของข้อมูล แต่จะใช้การเปลี่ยนแปลงตัวชี้ของข้อมูลใน list แทน

List : splice

fruit:
apple *pear*

citrus:
orange *grapefruit* *lemon*

```
list<string>::iterator p = find(fruit.begin(), fruit.end(), “pear”);
fruit.splice(p, citrus, citrus.begin());
```

fruit:
apple *orange* *pear*

citrus:
grapefruit *lemon*

List : splice

fruit:
apple *orange* *pear*

citrus:
grapefruit *lemon*

```
fruit.splice(fruit.begin(), citrus);
```

fruit:
grapefruit *lemon* *apple* *orange* *pear*

citrus:
<empty>

List : sort, merge

f1:
apple quince pear
f2:
lemon grapefruit orange lime

```
f1.sort();
f2.sort();
f1.merge(f2);
```

f1:
apple grapefruit lemon lime orange pear quince
f2:
<empty>

List : front operations

```
template <class T, class A = allocator<T> > class list {
public:
        // ...
        // element access:

        reference front();                  // reference to first element
        const_reference front() const;

        void push_front(const T&);          // add new first element
        void pop_front();                   // remove first element

        // ...
};
```

front operations มีประสิทธิภาพเท่ากับ back operation แต่ถ้าเป็นไปได้ควรใช้ back operation เพราะโปรแกรมที่เขียนจะสามารถใช้ container ตัวอื่น แทนได้

List : others

```
template <class T, class A = allocator<T> > class list {
public:
        // ...

        void remove(const T& val);
        template <class Pred> void remove_if(Pred p);

        void unique();                                  // remove duplicates using ==
        template <class BinPred> void unique(BinPred b);  // remove duplicates using b

        void reverse();                                 // reverse order of elements
};
```

List : remove

fruit:

apple *orange* *grapefruit* *lemon* *orange* *lime* *pear* *quince*

```
bool initial(string s, char c) {
    return s[0] == c ? true : false;
}
```

```
fruit.remove("orange"); // apple grapefruit lemon orange line pear quince
fruit.remove_if(initial('l')); // apple grapefruit pear quince
```

List : unique

```
fruit:
  apple pear apple apple pear
```

```
fruit.unique() // apple pear apple pear
```

```
fruit:
  apple pear apple apple pear
```

```
fruit.sort() // apple apple apple pear pear
fruit.unique() // apple pear
```

```
fruit:
  pear pear apple apple
```

```
fruit.unique(initial('p')) // pear apple apple
```

List : reverse

fruit:

banana cherry lime strawberry

```
fruit.reverse();
```

fruit:

strawberry lime cherry banana

Deque

- deque (อ่านว่า deck) หรือ double-ended queue
- deque สามารถเพิ่มหรือลบข้อมูล ที่ตำแหน่ง หัวและท้าย ได้มีประสิทธิภาพเท่ากับ list และ สามารถเข้าถึงข้อมูลแบบ random access ได้เหมือน vector และ มีประสิทธิภาพเท่ากัน
- การเพิ่มหรือลบข้อมูลในส่วนที่ไม่ใช่หัวและท้าย จะมีประสิทธิภาพที่แย่เหมือนกับ vector แต่ list จะทำได้ดีกว่า

Sequence adapters

- sequence adapters คือ containers พิเศษ ที่นำ sequence containers พื้นฐาน คือ vector, list และ deque มาใช้เป็นฐานในการสร้าง
    - stack, queue, priority queue

Stack

```
template <class T, class C = deque<T> > class std::stack {
protected:
        C c;
public:
        typedef typename C::value_type value_type;
        typedef typename C::size_type size_type;
        typedef C container_type;

        explicit stack(const C& a = C()) : c(a) { }

        bool empty() const { return c.empty(); }
        size_type size() const { return c.size(); }

        value_type& top() { return c.back(); }
        const value_type& top() const { return c.back(); }

        void push(const value_type& x) { c.push_back(x); }
        void pop() { c.pop_back(); }
};
```

Queue

```
template <class T, class C = deque<T> > class std::queue {
protected:
    C c;
public:
    typedef typename C::value_type value_type;
    typedef typename C::size_type size_type;
    typedef C container_type;

    explicit queue(const C& a = C()) : c(a) { }

    bool empty() const { return c.empty(); }
    size_type size() const { return c.size(); }

    value_type& front() { return c.front(); }
    const value_type& front() const { return c.front(); }

    value_type& back() { return c.back(); }
    const value_type& back() const { return c.back(); }

    void push(const value_type& x) { c.push_back(x); }
    void pop() { c.pop_front(); }
};
```

Priority queue

```
template <class T, class C = vector<T>, class Cmp = less<typename C::value_type> >
class std::priority_queue {
protected:
        C c;
        Cmp cmp;
public:
        typedef typename C::value_type value_type;
        typedef typename C::size_type size_type;
        typedef C container_type;

        explicit priority_queue(const Cmp& a1 = Cmp(), const C& a2 = C())
                : c(a2), cmp(a1) { }
        template <class In>
        priority_queue(In first, In last, const Cmp& = Cmp(), const C& = C());

        bool empty() const { return c.empty(); }
        size_type size() const { return c.size(); }

        const value_type& top() const { return c.front(); }

        void push(const value_type&);
        void pop();
};
```