标准模板库 STL(Standard Template Library)指南

刘振飞 liuzf@pku.org.cn 1999-10-20

目录

1 介绍

1.1 动机

在七十年代末，Alexander Stepanov 第一个发现一些算法不依赖于数据结构的特定实现，而仅仅和结构的一些基本语义属性相关。这些属性表达了一种能力，比如可以从数据结构的一个成员取得下一个成员，从头到尾“ 走过 ”结构中的元素〔就象排序算法不关心元素是存放在数组中或是线性表中〕。Stepanov 研究过一些算法可以用一种抽象的方式实现，而且不会影响效率。

1.2 STL 历史

1985 年，Stepanov 开发了基本 Ada 库，有人要求他在 C++中也这样做。但直到 1987 年，模板(Template)在 C++中还未实现，所以他的工作推迟了。1988 年，Stepanov 到 HP 实验室工作，并在 1992 年被任命为一个算法项目的经理。在此项目中，Alexander Stepanov 和 Meng Lee 写了一个巨大的库---标准模板库(STL：Standard Template Library)，意图定义一些通用算法而不影响效率。现在 STL 在国外已经成了新的编程手段。

1.3 STL 和 ANSI/ISO C++草案标准

1994 年 7 月 14 日，ANSI/ISO C++标准化委员会将 STL 采纳为草案标准。现在 Microsoft Visual C++ 5.0 以上及 Borland C++ 4.0 以上都支持 STL。STL 已经并将继续影响软件开发的方法，有了 STL，程序员可以写更少且更快的代码，把精力集中在问题解决上，而不必关心低层的算法和数据结构了。

1.4 内容安排

第 2 部分介绍 STL 需要的 C++基础，主要是类、函数对象和模板。
第 3 部分是概貌，介绍了关键的思想。
第 4 部分 step-by-step 的教 STL。
第 5 部分介绍剩余的 STL 部分。
第 6 部分是版权信息。
第 7 部分是参考文献。

2 C++基础

2.1 类

请读下面一段代码:

```
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;
}
```

如果你不能轻松的读懂上面的代码，或者对以下概念：
· 缺省构造函数(default constructor)、拷贝构造函数(copy constructor)、析构函数(destructor)
· 操作符重载(operator overloading)
· 虚函数(virtual function)
· put-to 操作符(operator <<)
· 友元(friend)、inline 函数
不是很熟悉的话，说明你还需要看看 C++的基础书籍。

2.2 函数对象(Function Objects)

所谓函数对象(function object)是定义了函数调用操作符(funiton-call operator，即operator())的对象。请看下面的例子：

```
class less
{
public:
    less(int v) : val(v) {}
    int operator()(int v)
    {
        return v < val;
    }
private:
    int val;
};
```

声明一个 less 对象：

```
    less less_than_five(5);
```

当调用 function-call operator 时，看判断出传入的参数是否小于 val：

```
    cout << “2 is less than 5: “ << (less_than_five(2) ? “yes” : “no”);
```

输出是：

```
    2 is less than 5: yes
```

函数对象在使用 STL 时非常重要，你需要熟悉这样的编码形式。在使用 STL 时，经常需要把函数对象作为算法的输入参数，或着实例化一个容器(container)时的输入参数。

2.3 模板(Template)

2.3.1 函数模板

请看下面的代码：

```
void swap(int& a, int& b)
{
    int tmp = a;
```

```
    a = b;
    b = tmp;
}
```

这个函数 swap 很简单：把两个整数的值交换一下。但当你写一个大程序时，经常需要交换 float、long、char 等变量，甚至如上面定义的 shape 变量，这时候你就需要把上面的代码修改一下，适应各自的参数类型，然后拷贝到很多处各自需要的地方。一旦需要对这块代码做些改动的时候，就必须把所有用到这块代码的地方一一做相应的修改，其烦无比！

解决这个问题的方法就是用模板(template)：

```
template <class T>
void swap(T& a, T& b)
{
    T tmp = a;
    a = b;
    b = tmp
}
```

注意这里 T 是任意的类型名字。看例子：

```
int a = 3, b =5;
shape MyShape, YourShape;
float fa = 3.01, fb = 5.02;
swap(a , b); //交换整数
swap(MyShape, YourShape); //交换自定义类的两个对象的值
swap(fa, fb); //交换浮点数
```

还可以看看两个函数模板例子：

```
template <class T>
T& min(T& a, T& b) //  取两个元素中的最小者
{
    return a < b ? a : b;
}
template <class T>
void pritn_to_cout(char* msg, T& obj) //  把一个元素输出到 cout 上
{
    cout << msg << “: “ << obj << endl;
}
```

使用后者时，要求类型 T 中定义了 put-to 操作符(operator <<)。

2.3.2 类模板

创建类模板的动机和容器类的使用是密切相关的。比如一个容器类栈(stack)，定义者并不关心栈中对象的类型，而使用 stack 者自己指定到底包含什么对象类型。

下面看一个向量(vector)例子：

```
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; }

};
```

现在你可以实例化不同类型的 vector 容器了：

```
vector<int>     int_vector(10);
vector<char>    char_vector(10);
vector<shape> shape_vector(10);
```

2.3.3 模板特化

也许在某些情况下，编译器对某种类型产生的模板代码不另你满意，你也可以为这种类型给出一个特定的实现，此之谓“模板特化(template specialization)”。比如，你想让 shape 类型的 vector 只包含一个对象，则可以特化 vector 模板如下：

```
class vector<shape>
{
    shape v;
public:
    vector(shape& s) : v(s) {}
    shape& operator[] (int i) { return v; }
    int get_size() { return 1; }
};
```

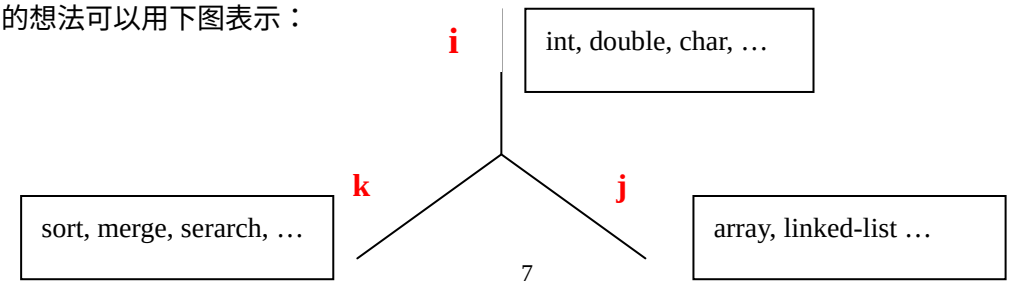
使用时：

```
shape MyShape;
vector<shape> single_shape_vector(MyShape);
```

STL 中有时会需要定义特定类型的算法或容器实现。

3 STL 概貌

STL 是个部件库(component library)，其中的部件包括有容器(container，储存任意类型对象的对象)和算法。只要用户对自己定义的部件做点小小的要求，STL 中的算法就可以工作在用户自定义的容器上，或者 STL 中的容器可以使用用户自定义的算法。隐藏在 STL 后面的想法可以用下图表示：



我们可以把软件部件想象成一个三位空间。第一维表示数据类型(int, double, char, …)，第二维表示容器(array, linked-list, …)，第三维表示算法(sort, merge, search, …)。

根据这个图示，需要设计 i*j*k 个不同的代码版本，比如整数数组的排序算法、double 数组的排序算法，double linked-list 的搜索算法…。通过使用数据类型作为参数的模板函数，第一维(i 轴)就可取消，而仅需要设计 j*k 个不同的代码。下一步是让算法可以工作在不同的容器上，这就意味着排序算法既可以用在 array 上，也可用在 linked-list 上。最后，只需要设计 j+k 个不同的代码版本了。

STL 具体化了上述思想，期望通过减少开发时间以简化软件开发，简化调试、维护并增加代码的可移植性。

STL 包含 5 个主要的部分，以后会有较详细的陈述：

· 算法(Algorithm)：能运行在不同容器(container)上的计算过程
· 容器(Container)：能够保留并管理对象的对象
· 迭代器(Iterator)：算法存取容器(algorithm-access to containers)的抽象，以便算法可以应用在不同的容器上
· 函数对象(Function Object)：定义了函数调用操作符(operator())的类
· 适应器(Adaptor)：封装一个部件以提供另外的接口(例如用 list 实现 stack)

3.1 STL 网上信息

STL 的 FTP 站点

HP 实验室(Alexander Stepanov 和 Meng Lee) ---

ftp://butler.hpl.hp.com/stl/

STL 的 WWW 站点

David Mussers 的 STL 主页 ---

http://www.cs.rpi.edu/~musser/stl.html

Link2go 上有关 C++编程的主页：

http://www.links2go.com/topic/C_and_C++_Programming_Languages

这三个地方我都去访问过。尤其第 3 个网址，其内容及其丰富，不仅仅有关 STL。

3.2 STL 文档

参考文献之

[6] 附件二

The Standard Template Libray 以及源代码, Alexander Stepanov & Meng Lee, 1995-10-31

是个 ZIP 文件，其中包含 Alexander Stepanov 和 Meng Lee 写的<<The Standard Template Library>>(1995-10-31 版)，这是 STL 鼻祖写的 STL 正式文档，定义严格、没有例子，很难懂(一些地方我还没理解)；但是 ZIP 文件中的 STL 源码却比较好懂，看起来不算太费劲 --- VC++中 STL 的实现源代码读起来可是极其痛苦的。

3.3 编译 STL 程序

Borland C++4.0 及以上的版本支持 STL。Microsoft Visual C++ 5.0 及以上的版本支持 STL。(VC++4.2 号称支持 STL，但支持的很差，极难用。现在有 VC++6.0，我们还是用最新的编译器吧!)

STL 使用时很简单：

```
//MyFile.cpp
#include “stdafx.h”
…
#include <vector> //include 你想用的 STL 头文件

using namespace std; //一定要写上这句话，因为 STL 都是在 std 名字空间中定义的

void F1()
{
…
vector <int> v(10); //现在你就可以放心大胆的使用 STL 了
…
}
```

4 学习 STL

4.1 容器(Container)

容器(Container)是能够保存其他类型的对象的类。容器形成了 STL 的关键部件。当书写任何类型软件的时候，把特定类型的元素集聚起来都是很至关重要的任务。

STL 中有顺序容器(Sequence Container)和关联容器(Associative Container)。

顺序容器组织成对象的有限线性集合，所有对象都是同一类型。STL 中三种基本顺序容器是：向量(Vector)、线性表(List)、双向队列(Deque)。

关联容器提供了基于 KEY 的数据的快速检索能力。元素被排好序，检索数据时可以二分搜索。STL 有四种关联容器。当一个 KEY 对应一个 Value 时，可以使用集合(Set)和映射(Map)；若对应同一 KEY 有多个元素被存储时，可以使用多集合(MultiSet)和多映射(MultiMap)。

STL 中支持的容器总结如下：

顺序容器(Sequence Container)	**向量(Vector)**
	双向队列(Deque)
	线性表(List)
关联容器(Associative Container)	**集合(Set)**
	多集合(MultiSet)
	映射(Map)
	多映射(MultiSet)

4.1.1 向量(Vector)

如果你要将所有 shape 对象保存在一个容器中，用 C++代码可以这样写：

```
shape my_shapes[max_size];
```

这里 max_size 是可以保存在 my_shapes 数组中的最大数量。

当你使用 STL 时，则可以这样写：

```
#include <vector>
using namespace std;
int main()
{
    vector<shape> my_shapes;
    // … 使用 my_shapes…
    return 0;
}
```

【此后的代码不再写#inlucde 行、using namespace std，以及 main()函数，直接写示例代码】

现在想得到容器中能保存的最大元素数量就可以用 vector 类的成员函数 max_size()：

```
vector<shape>::size_type max_size = my_shapes.max_size();
```

当前容器的实际尺寸 --- 已有的元素个数用 size()：

```
vector<shape>::size_type size = my_shapes.size();
```

就像 size_type 描述了 vector 尺寸的类型，value_type 说明了其中保存的对象的类型：

```
cout << “value type: “ << typeid(vector<float>::value_type).name();
```

输出：

```
value type: float
```

可以用 capacity()来取得 vector 中已分配内存的元素个数：

```
vector<int> v;
vector<int>::size_type capacity = v.capacity();
```

vector 类似于数组，可以使用下标[]访问：

```
vector<int> v(10);
v[0] = 101;
```

注意到这里预先给 10 个元素分配了空间。你也可以使用 vector 提供的插入函数来动态的扩展容器。成员函数 push_back()就在 vector 的尾部添加了一个元素：

```
v.push_back(3);
```

也可以用 insert()函数完成同样的工作：

```
v.insert(v.end(), 3);
```

这里 insert()成员函数需要两个参数：一个指向容器中指定位置的迭代器(iterator)，一个待插入的元素。insert()将元素插入到迭代器指定元素之前。

现在对迭代器(Iterator)做点解释。Iterator 是指针(pointer)的泛化，iterator 要求定义 operator*，它返回指定类型的值。Iterator 常常和容器联系在一起。例子：

```
vector<int> v(3);
v[0] = 5;
v[1] = 2;
v[2] = 7;
```

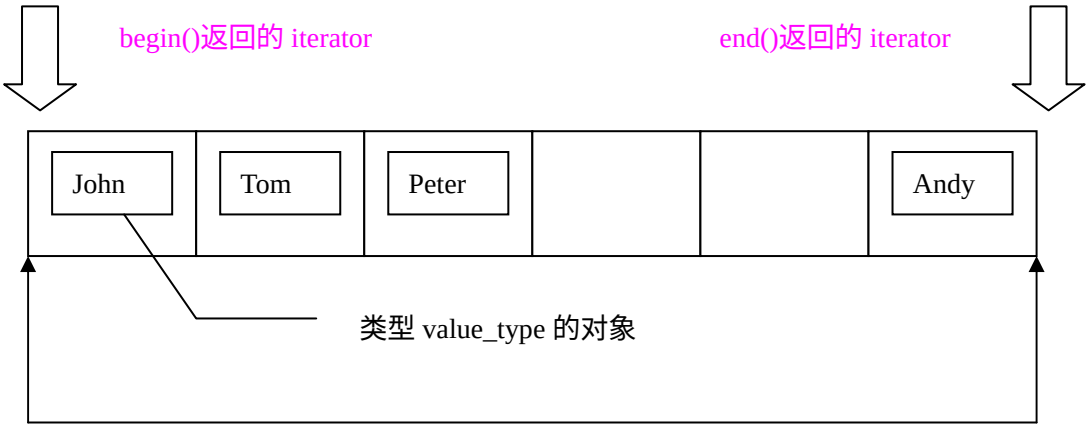
```
vector<int>::iterator first = v.begin();
vector<int>::iterator last = v.end();

while (first != last)
cout << *first++ << " ";
```

上面代码的输出是：

5 2 7

begin()返回的是 vector 中第一个元素的 iterator，而 end()返回的并**不**是最后一个元素的 iterator，而是 past the last element。在 STL 中叫 **past-the-end** iterator。



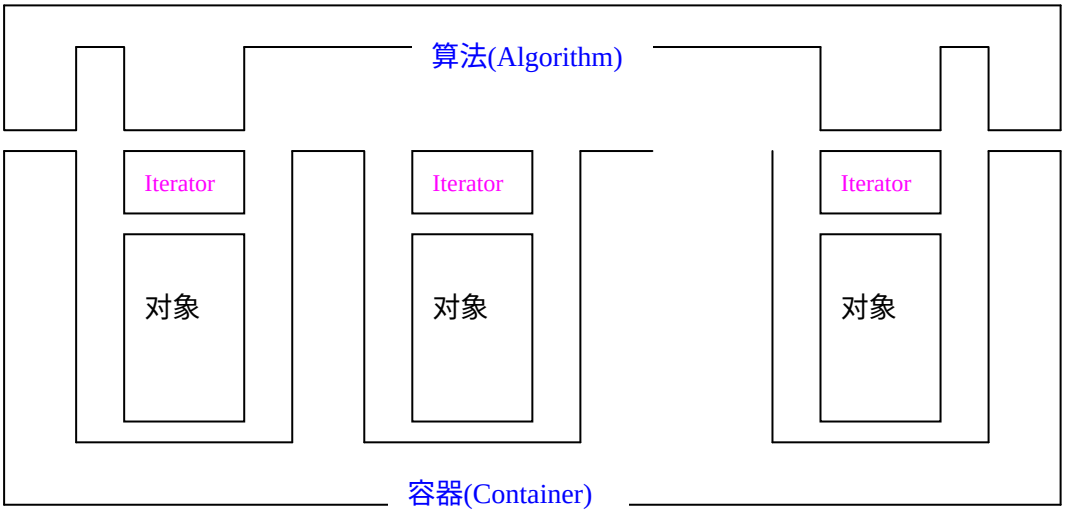
区间[being(), end())

两个迭代器给定的区间在 STL 中非常重要，因为 STL 算法中大量的使用区间。比如排序算法：

```
sort(begin_iterator, past_the_end_iterator);
```

第一个参数指向区间的第一个元素，而第二个参数指向区间的 path-the-end 元素。

有了迭代器作为媒介，我们就可以把算法(algorithm)和容器(container)分开实现了：



下面继续 vector 的内容。

你可以用以下的几种方法声明一个 vector 对象：

```
vector<float> v(5, 3.25); //初始化有 5 个元素，其值都是 3.25
vector<float> v_new1(v);
vector<float> v_new2 = v;
vector<float> v_new3(v.begin(), v.end());
```

这四个 vector 对象是相等的，可以用 operator==来判断。

其余常用的 vector 成员函数有：

empty()：判断 vector 是否为空

front()：取得 vector 的第一个元素

back()：取得 vector 的最后一个元素

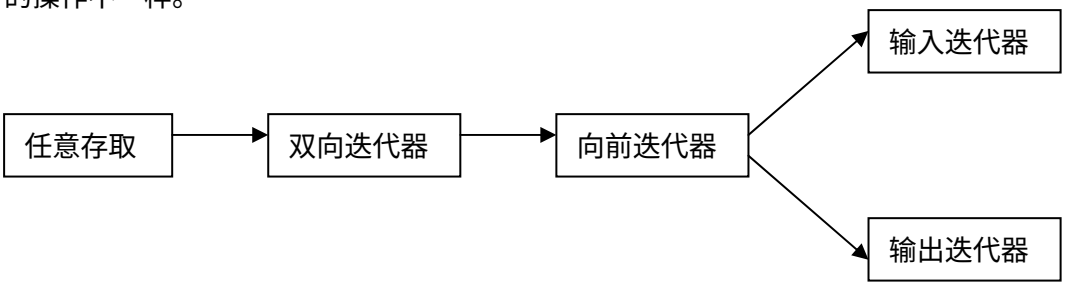
pop_back()：去掉最后一个元素

erase()：去掉某个 iterator 或者 iterator 区间指定的元素

到现在我们已经可以把一些对象存储在容器(container)中，并有几种手段来进行管理和维护。为了将算法应用到容器中的元素上，下面要对迭代器(Iterator)做进一步的解释。

4.2 迭代器(Iterator)

迭代器(Iterator)是指针(pointer)的泛化，它允许程序员以相同的方式处理不同的数据结构(容器)。STL 中有 5 中类型的迭代器，它们分别满足一定的要求。不同的迭代器要求定义的操作不一样。



箭头表示左边的迭代器一定满足右边迭代器需要的条件。比如某个算法需要一个双向迭代器(Bidirctional Iterator)，你可以把一个任意存取迭代器(Random Access Iterator)作为参数；但反之不行。

4.2.1 输入和输出迭代器

输入迭代器(Input Iterator)需要满足的条件：

- constructor
- assignment operator
- equality/inequality operator
- dereferenc operator
- pre/post increment operator

输入迭代器表示要从其中取出一个值，即从输入迭代器 X 中取值只可有以下三种形式：

V = *X++

V = *X, ++X

V = *X, X++

输出迭代器(Output Iterator)需要满足的条件：

- constructor
- assignment operator
- dereferenc operator
- pre/post increment operator

一个输出迭代器 X 只能有一个值 V 存储其中，在下一个存储之前，必须将 X 加一。即只可有以下三种形式之一：

*X++ = V

*X = V, ++X

*X = V, X++

注意，对输入和输出迭代器，一旦取出或放入值后，就只能前进(increment)，不可多次取出或放入。

4.2.2 向前迭代器

向前迭代器(Forward Iterator)需要满足的条件：

- constructor
- assignment operator
- equality/inequality operator
- dereferenc operator
- pre/post increment operator

和输入和输出迭代器比较而言，两个向前迭代器 r 和 s，若 r == s 则++r == ++s。而且既可取值，也可赋值：*X = V, V = *X。看一个例子：

```
template <class ForwardIterator, class T>
ForwardIterator find_linear(ForwardIterator first, ForwardIterator last, T& value)
{
    while (first != last)
        if (*first++ == value)
            return first;
    return last;
}
```

函数 find_linear()在一个容器中循环，如果找到指定的值，则返回该值的迭代器位置；否则返回 past-the-end 迭代器。下面用这个函数：

```
vector<int> v(3, 1);
v.push_back(7); // vector v:    1    1    1    7
vector<int>::iterator i = find_linear(v.begin(), v.end(), 7);
if (i != v.end())
    cout << *i;
else
    cout << “NOT FOUND”;
```

输出结果：7

4.2.3 双向迭代器

在向前迭代器的基础上，双向迭代器(Bidirectional Iterator)还满足以下需求：

- pre/post decrement operator

即双向迭代器不仅允许++，而且允许--。它允许一个算法走过(pass through)容器中的元素时，即可想前走，也可向后走。

我们看一个使用双向迭代器的多遍走过(multi-pass)算法 --- 气泡排序(Bubble Sort)：

```
template <class BidirectionalIterator, class Compare>
void bubble_sort(BidirectionalIterator first, BidirectionalIterator last, Compare comp)
{
    BidirectionalIterator left_el = first, right_el = first;
    right_el++;

    while (first != last)
    {
        while (right_el != last)
        {
            if (comp(*right_el, *left_el))
                iter_swap(left_el, right_el);
            right_el++;
            left_el++;
        }
        last--;
        left_el = first;
        right_el = first;
        right_el++;
    }
}
```

二元函数对象 Compare 由用户提供，得出两个参数的断言结果(true/false)。用法：

```
list<int> l; // list 类似于 vector，但不支持下标[]存取
//  填充  list
bubble_sort(l.begin(), l.end(), less<int>()); //  递增排序
bubble_sort(l.begin(), l.end(), greater<int>()); //递减排序
```

4.2.4 任意存取迭代器

在双向迭代器的基础上，任意存取迭代器(Random Access Iterator)还满足以下需求：

- opetrator+(int)
- opetrator+=(int)
- opetrator-(int)
- opetrator-=(int)
- opetrator-(random access iterator)
- opetrator[](int)

・opetrator>(random access iterator)
・opetrator<(random access iterator)
・opetrator>=(random access iterator)
・opetrator<=(random access iterator)
也就是说，任意存取迭代器可以“任意的”前进和后退。

4.3 算法和函数对象

STL 库中的算法都以迭代器类型为参数，这就和数据结果的具体实现分离开了。基于此，这些算法被称作基本算法(generic algorithm)。

4.3.1 如何创建基本算法

这里给出一个二分搜索的基本算法(generic bianry search algorithm)，可以看看基本算法的实现思路。

给定一个排好序的整数数组，要求二分搜索某个值的位置：

```
const int* binary_search(const int* array, int n, int x)
{
    const int* lo = array, *hi = array+n, *mid;
    while (lo != hi)
    {
        mid = lo+(hi-lo)/2;
        if (x == *mid)
            return mid;
        if (x < *mid)
            hi = mid;
        else
            lo = mid+1;
    }
    return 0;
}
```

为了让上述算法对任意类型的整数数组起作用，下面将之定义成模板函数：

```
template <class T>
const T* binary_search(const T* array, int n, const T& x)
{
    const T* lo = array, *hi = array+n, *mid;
    while (lo != hi)
    {
        mid = lo+(hi-lo)/2;
        if (x == *mid)
            return mid;
        if (x < *mid)
            hi = mid;
```

```
            else
                lo = mid+1;
        }
        return 0;
}
```

在上面的算法中，如果没有找到指定的值，则一个特殊的指针 NULL (0)被返回了，这就要求这个值存在。我们不想做这样的假定这样的值，可以不成功的搜索返回指针 array+n (就是 past-the-end)来代替：

```
template <class T>
const T* binary_search(const T* array, int n, const T& x)
{
        const T* lo = array, *hi = array+n, *mid;
        while (lo != hi)
        {
            mid = lo+(hi-lo)/2;
            if (x == *mid)
                return mid;
            if (x < *mid)
                hi = mid;
            else
                lo = mid+1;
        }
        return array+n;
}
```

为了代替给定数组及尺寸，我们可以给定第一个及 past-the-end 元素的指针：

```
template <class T>
const T* binary_search(T* first, T* last, const T& value)
{
        const T* lo = first, *hi = last, *mid;
        while (lo != hi)
        {
            mid = lo+(hi-lo)/2;
            if (value == *mid)
                return mid;
            if (value < *mid)
                hi = mid;
            else
                lo = mid+1;
        }
        return last;
}
```

现在可以看出，first 和 last 两个指针是任意类型的指针，即它们和类型 T 是没有关系的。这时就用到了迭代器(Iterator)的概念，因为这里排序要对容器任意存取，我们把 first 和 last 的类型命名为“ RandomAccessIterator ”。代码改写如下：

```
template <class RandomAccessIterator, class T>
RandomAccessIterator binary_search(RandomAccessIterator first, RandomAccessIterator last,
const T& value)
{
    RandomAccessIterator not_found = last, mid;
    while (first != last)
    {
        mid = first+(last-first)/2;
        if (value == *mid)
            return mid;
        if (value < *mid)
            last = mid;
        else
            first = mid+1;
    }
    return not_found;
}
```

上面这个基本二分搜索算法即使对内部类型(build in types)功能也一样：

```
int x[10]; // 10 个整数数组
int search_value; //  太搜索的值
//  初始化变量
int* i = binary_search(&x[0], &x[10], search_value);
if (i == &x[10])
    cout << “value NOT FOUND”;
else
    cout << “value found”;
```

所有 STL 中的算法都是用以上类似的办法定义的。

4.3.2 STL 算法

STL 中的算法可以分成四组：

组(Group)	***算法类型(Algorithm Type)***
1	不改变顺序的操作(Non-mutating sequence Operations)
2	改变顺序的操作(Mutating sequence Operations)
3	排序及相关操作(Sorting and related Operations)
4	常用的数字操作(Generalized numeric Operations)

Group1 中的操作不改变容器中元素的顺序，而 Group2 中的要改变。当然 Group3 排序操作也会改变元素的顺序，但把排序相关的操作独立于 Group1 列出来了。Group4 中是些常用的数字操作。

先看个 Group1 中的一个算法“ 对每个(for_each) ”，有三个参数，两个输入迭代器，一个函数对象。这个操作的意思是对[first, last)的每个元素都做一个 Function 操作：

```
template <class InputIterator, class Function>
```

```
Function for_each(InputIterator first, InputIterator last, Function f) {
    while (first != last) f(*first++);
    return f;
}
```

下面给一个使用 for_each 的例子：

```
template <class T>
class sum_up
{
public:
    void operator() (const T& value) { sum += value; }
    const T& read_sum()   { return sum; }
private:
    static T sum;
};

int sum_up<int>::sum = 0;

void main()
{
    deque<int> d(3, 2); //  两个元素：3 3
    sum_up<int> s;
    for_each(d.begin(), d.end(), s);
    cout << s.read_sum();
}
```

输出结果：6。注意到这里用到了函数对象 sum_up，它定义了 operator。所以函数对象是 STL 中一个非常重要的概念，屡屡用到。

Group1 中还有其他的操作，如“寻找(Find)”、“邻居寻找(Adjacent find)”、“计数(Count)”、“不匹配(Mismatch)”、“相等(Equal)”、“搜索(Search)”等。

说明，如果某个算法的后缀是_if，表示它自己提供断言(Predicate)函数，比如 find 算法有 find_if 的变种。

Group2 中的有算法“拷贝(Copy)”、“交换(Swap)”、“变换(Transform)”、“替换(Replace)”、“填充(Fill)”、“产生(Generate)”、“迁移(Remove)”、“唯一(Unique)”、“翻转(Reverse)”、“旋转(Rotate)”、“任意洗牌(Random shuffle)”、“分区(Partitions)”。

说明，如果某个算法的后缀有_copy，表示它要把一个迭代器区间的内容拷贝到另一个迭代器中。比如 replace 有 replace_copy 的变种。

Group3 中的排序算法都有两个版本，一个用函数对象做比较，一个用 operator<做比较。比如算法“排序(sort)”有两个版本：

```
void sort(RandomAccessIterator first, RandomAccessIterator last);
void sort(RandomAccessIterator first, RandomAccessIterator last, Compare comp) ;
```

Group3 中还有算法“第 N 个元素(Nth element)”、“二分搜索(Binary Search)”、“合并(Merge)”、“排好序的设置操作(Set operations on sorted structures)”、“堆操作(Heap Operations)”、“最大最小(Minimum and Maximum)”、“词典比较(Lexicographical

comparison)”、“置换产生器(Permutation generator)”。

Group4 中包含些常用的数字算法，比如“聚集(Accumulate)”、“内部乘积(Inner product)”、“局部和(Partial sum)”、“邻近不同(Adjacent difference)”。

由于时间和篇幅的关系，这里不可能对所有的算法一一解释了。用的时候你可以再看具体算法的说明。如果你搞明白算法实现，建议你读读 STL 的源码，我认为写的很漂亮，读起来感觉不错。(目前我也只读了部分代码)

4.4 适应器(Adaptor)

适应器(Adaptor)是提供接口映射的模板类(Adaptors are template classes that provide interface mappings)。适应器基于其他类来实现新的功能，成员函数可以被添加、隐藏，也可合并以得到新的功能。

4.4.1 容器适应器

栈(Stack)

栈可以用向量(vector)、线性表(list)或双向队列(deque)来实现：

```
stack<vector<int>> s1;
stack<list<int>>   s2;
stack<deque<int>> s3;
```

其成员函数有“判空(empty)”、“尺寸(Size)”、“栈顶元素(top)”、“压栈(push)”、“弹栈(pop)”等。

队列(Queue)

队列可以用线性表(list)或双向队列(deque)来实现(注意 vector container 不能用来实现 queue，因为 vector 没有成员函数 pop_front!)：

```
queue<list<int>>   q1;
queue<deque<int>>q2;
```

其成员函数有“判空(empty)”、“尺寸(Size)”、“首元(front)”、“尾元(backt)”、“加入队列(push)”、“弹出队列(pop)”等操作。

优先级队列(Priority Queue)

优先级队列可以用向量(vector)或双向队列(deque)来实现(注意 list container 不能用来实现 queue，因为 list 的迭代器不是任意存取 iterator，而 pop 中用到堆排序时是要求 random access iterator 的!)：

```
priority_queue<vector<int>, less<int>>      pq1;      // 使用递增 less<int>函数对象排序
priority_queue<deque<int>, greater<int>>    pq2;      // 使用递减 greater<int>函数对象排序
```

其成员函数有“判空(empty)”、“尺寸(Size)”、“栈顶元素(top)”、“压栈(push)”、“弹栈(pop)”等。

4.4.2 迭代适应器

逆向迭代器(Reverse Iterator)

顾名思义，逆向迭代器的递增是朝反方向前进的。对于顺序容器(vector, list 和 deque)，其成员函数 rbegin()和 rend()都返回了相应的逆向迭代器：

```
list<int> l;
for (int i = 1; i < 5; i++)
    l.push_back(i);
copy(l.rbegin(), l.rend(), ostream_iterator<int> (cout, " "));
```

输出结果是：4 3 2 1

插入迭代器(Insert Iterator)

插入迭代器简化了向容器中插入元素的工作。插入迭代器指定了向容器中插入元素的位置。STL 中有三种插入迭代器：

- 向后插入(back_insert_iterator)，在容器尾部插入
- 向前插入(front_insert_iterator)，在容器头部插入
- 插入(insert_iterator)，在容器中任一位置

STL 中提供了三个函数分别构造相应的插入迭代器：

- back_inserter
- front_inserter
- inserter

原始存储迭代器(Raw Storage Iterator)

该迭代器允许算法将其结果保存进没有初始化的内存中。

4.4.3 函数适应器

否认者(Negator)

有两个否认者 not1 和 not2 分别是一元和二元函数，它们分别使用一元和二元的谓词(Predicate)，返回的是谓词的结果的取反。

包扎者(Binder)

STL 中有两个包扎者函数 bind1st 和 bind2nd，可以将一些值限定在指定区间中。

函数指针的适应器(Adaptors for pointers to function)

STL 中的算法和容器一般都需要函数对象(function object)作为参数。如果想用到常用的 C++函数时，可以用 ptr_fun 把普通函数转换成函数对象。比如 ptr_fun(strcmp)就把常用的串比较函数 strcmp 包装成一个函数对象，就可用在 STL 算法和容器中了。

4.5 分配算符和内存处理

可移植性的一个主要问题是能够把有关内存模型的信息封装起来。这些信息有：

· 指针类型
· 指针差异的类型(ptrdiff_t)
· 内存模型中对象尺寸的类型(size_t)
· 内存分配和回收原语

STL 中提供的分配算符(allocator)对象封装了以上信息。STL 中的容器(container)都有一个 alllocator 参数，这样容器就不用关心内存模型信息了。

STL 中提供了缺省的 allocator 对象，各家编译器也提供其产品支持的不同的内存模型 allocator。对每一种内存模型都要提供以下几个模板函数：
· allocate：分配缓冲区
· deallocate：回收缓冲区
· construct：通过调用合适的拷贝构造函数将结果直接放入没有初始化的内存中
· destroy：调用指定指针的析构函数

5 其余的 STL 部件

5.1 各部件如何协同工作

STL 的容器(contianer)用来存储任意类型的对象。容器需要分配算符(allocator)为参数。分配算符(allocator)是能够封装所使用内存模型信息的对象，它提供内存原语以对内存进行统一的存取。每种内存模型都有自己特定的 allocator。Container 使用 allocator 完成对内存的操作，内存模型的改变只影响 allocator，而不会(在代码一级)影响 contianer 对象。

算法(algorithm)是计算顺序。两个算法不同在其本身的计算上，而非读取输入数据和写出输出数据的方法上。STL 为算法提供了统一的数据存取机制 --- 迭代器(iterator)。不同的迭代器提供不同存取方式。

函数对象(function object)用在和算法的结合中，用以扩展算法的效用。

适应器(adaptor)是接口映射，它们在基本或已有的部件上实现新的对象，以提供不同或扩展的能力。

在设计 STL 时，不同部件间的接口都定义的尽可能少。STL 的目的在于：
· 简化应用程序的设计
· 减少要写的代码函数
· 增加可理解度和可维护性
· 提供基本的质量保证

5.2 向量(Vector)

除了上面提到的 vector 成员函数之外，它还有一个 reserve()成员函数，用来预订给定的向量尺寸。reserve 可以减少存取元素时的内存重分配。

5.3 线性表(List)

和向量(vector)不一样，线性表(list)不支持对元素的任意存取(即不通过下标[]存取)。list 中提供的成员函数和 vector 类似，有 begin、end、rbegin、rend、push_back、pop_back，list 也提供对表首元素的操作 push_front、pop_front。两个线性表可以用 splice、merge 合并在一起，也可翻转(reverse)和排序(sort)，也可让表中同值的元素唯一(unique)。

5.4 双向队列(Deque)

象向量 vector 一样，双向队列(Deque)支持任意存取。它提供的成员函数还有 push_front、pop_front、insert、push、earse、pop 等。

5.5 迭代标签(Iterator Tag)

每个迭代器(iterator)必须定义表达式 iterator_tag()，它返回该迭代器的类别标签(category tag)。

STL 中有 5 个迭代器标签：input_iterator_tag、output_iterator_tag、forward_iterator_tag、bidirectional_iterator_tag、random_access_iterator_tag。

迭代器标签被用在编译时选择效率最高的算法(因为几乎所有的算法都用到迭代器)。

5.6 关联容器(Container)

关联容器(Associative Container)提供了快速检索基于关键词(Key)的数据的能力。和序列容器(vector、list、deque)一样，关联容器用来存储数据，而且设计关联容器时考虑到了优化数据检索的意图 --- 通过关键词(Key)作为标识把单一的数据记录组织到特定的结构中(如 tree)。STL 提供了不同的关联容器：集合(set)、多元集合(multiset)、映射(map)、多元映射(multimap)。

set 和 map 支持唯一关键词(unique key)，就是对每个 KEY，最多只保存一个元素(数据记录)。multiset 和 multimap 则支持相同关键词(equal key)，这样可有很多个元素可以用同一个 KEY 进行存储。set(multiset)和 map(multimap)之间的区别在于 set(multiset)中的存储数据内含了 KEY 表达式；而 map(multimap)则将 Key 表达式和对应的数据分开存放。

我们假设现在要保存某公司里雇员的信息。雇员信息类定义如下：

```
class employee_data
{
public:
    employee_data() : name(“”), skill(0), salary(0) {}
    employee_data(string n, int s, long sa) : name(n), skill(s), salary(sa) {}

    stirng name; // 雇员名字
    int skill; // 雇员职称
```

```
    long salary; // 雇员薪水

    friend ostream& operator<<(ostream& os, const employee_data& e);
};

ostream& operator<<(ostream& os, const employee_data& e)
{
    os << "employee: " << e.name << " " << e.skill << " " << e.salary;
    return os;
}
```

现在想把雇员数据保存在集合 set(multiset)中，关键词 KEY 包含在被保存的对象中：

```
class employee
{
public:
    employee(int ii, const employee_data& e) : identification_code(i), description(e) {}

    int identification_code; // 标识雇员的关键词
    employee_data description;

    bool operator<(const employee& e) const
    {
        return identification_code < e.identification_code;
    }
};
```

现在我们声明雇员集合 set(multiset)：

```
set<employee, less<employee>> employee_set;
multiset<employee, less<employee>> employee_multiset;
```

此时，employee 既是 Key type 又是 Value type。

如果我们想把雇员信息保存在映射 map(multimap)中，则如下声明：

```
map<int, employee_data, less<int>> employee_map;
multimap<int, employee_data, less<int>> employee_multimap;
```

此时 Key type 是 int，而 Value type 是 employee_data。

所有的关联容器都有以下成员函数：begin, end, rbegin, rend, empty, size, max_size, swap、insert、erase 等，其意义同顺序容器一样。下面我们用插入函数 insert 想关联容器中加入元素：

```
employee_data ed1("john", 1, 5000); // 雇员 John 的信息
employee_data ed2("tom", 5, 2000); // 雇员 tom 的信息
employee_data ed3("mary", 2, 3000); // 雇员 mary 的信息

employee e1(1010, ed1); // 雇员 John，证件号 1010(KEY)
employee e2(2020, ed2); // 雇员 tom，证件号 2020(KEY)
employee e3(3030, ed3); // 雇员 mary，证件号 3030(KEY)

employee_set.insert(e1); // 第一次，成功加入雇员 John 的信息
```

```
employee_set.insert(e1); // 第二次，不成功加入雇员 John 的信息。因为已经存在了
```

假定 John 和 Tom 在同一部门(部门代号：101)工作，而 Mary 在另一部门工作(部门代号：102)，现在把这三位用 multimap 来保存：

```
employee_multimap.insert(make_pair(101, ed1)); // 101 部门的 John
employee_multimap.insert(make_pair(101, ed2)); // 101 部门的 Tom
employee_multimap.insert(make_pair(102, ed3)); // 102 部门的 Mary
```

那么现在在 101 部门工作的雇员就有 2 人了：

```
multimap<int, employee_data, less<int>>::size_type count = employee_multimap.count(101);
```

有关关联容器成员函数的详细定义请参考 STL 源码。

6 版权信息

STL 可以自由的使用，只需要加上 HP 的版权说明即可：

```
/*
*
* Copyright (c) 1994
* Hewlett-Packard Company
*
* Permission to use, copy, modify, distribute and sell this
* software and its documentation for any purpose is hereby
* granted without fee, provided that the above copyright notice
* appear in all copies and that both that copyright notice and
* this permission notice appear in supporting documentation.
* Hewlett-Packard Company makes no representations about the
* suitability of this software for any purpose. It is provided
* "as is" without express or implied warranty.
*/
```

看微软的 STL 实现头文件，比如#include <vector>中，都有以上的版权提示。

7 文献

[1] Stroustrup, Bjarne：The C++ Programming Language – 2nd ed.
June, 1993

[2] Stepanov, Alex；Lee, Meng：The Standard Template Library
HP Labaratories, 1501 Page Mill Road, Palo Alto, CA 94304
October 31, 1995

[3] STL++
The Enhanced Standard Template Library, Tutorial & Reference Manual
Modena Software Inc., 236 N. Santa Cruz Ave, Suite 213, Los Gatos CA 95030
1994

[4] Standard Template Library Reference
Rensselaer Polytechnic Institute, 1994
includes as chapter 6
The STL Online Algorithm Reference
Cook, Robert Jr.；Musser, David R.；Zalewski, Kenneth J.
online at http://www.cs.rpi.edu/~musser/stl.html

[5] 附件一
The Standard Template Library Tutorial, Johannes Weidl, 1996-04-26


Stl-tut.zip

[6] 附件二
The Standard Template Libray 以及源代码, Alexander Stepanov & Meng Lee, 1995-10-31


Stl.zip

8 后话

本文我基本上是翻译 Johannes Weidl 的<<The Standard Template Library Tutorial>>一书，当然有节选，如果你想深入了解 STL，那么这本书(共 56 页)是个不错的开始。其中的大部分例子我都试过。

从网上看到的消息：VC++ 4.2 中就号称有 STL 的支持了，但有很多错误；到 VC++5.0 就可以了。我在 4.2 上试过确实不行，然后就直接安装 VC6.0 使用 STL 了。

在 MSDN Libray (April 1999)中有 STL 的详细文档说明以及 118 个 STL 的例子，可以帮助你理解和使用 STL 库。(MSDN 安装盘的位置在 748-domain 中，\\Soft_library\MSDN1\Library\199904\Setup，注意安装时选择“ VC++ Document ”，STL 文档就在其中。

实际上 STL 中有的功能在 MFC 中都有替代品。例如在 MFC 中有 CArray 等。不过，在你只能使用标准 C/C++如在 Unix 或 Linux 环境下要使用这些数据结构，使用 STL 是一个很好的选择。**STL 最大的特点是它使用的算法非常可靠且效率很高**，例如其中的二叉树算法就很经典。不过看 STL 源代码还是有点困难的，需要下点功夫。不过如果只是要使用可以不看源代码，使用起来很简单的。

我个人的建议是：目前我们程序都是用微软的工具开发的，还用它提供的开发工具生成程序框架，但自己的代码尽量少使用类库中的东东，转向使用 STL，因为 STL 现在是 C++ 标准的一部分而且效率很好。