# STL与泛型编程

## Part1 C++模板

### C++模板简介1

* **模板**（Templates）是c++的一种特性，允许函数或类（对象）通过泛型（generic types）的形式表现或运行。
* 模板可以使得函数或类在对应不同的**型别**（types）的时候正常工作，而无需为**每个类型**都写一份代码
* 一个简单的例子：
  + 如果要写一个取两个数中较大值函数Max，在不使用模板的情况下，我们不得不针对不同的类型（比如int，long，char）提供每一种类型的重载。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| int Max(int a, int b)  {  return ( a > b ) ? a : b  } | int Max(long a, long b)  {  return ( a > b ) ? a : b  } | int Max(char a, char b)  {  return ( a > b ) ? a : b  } |

### C++模板简介2

* 一个简单的例子（续）
  + 如果使用模板，则可以省去一堆冗余代码。

|  |
| --- |
| template <typename **T**> **T** Max(**T** a,**T** b)  {  return ( a > b ) ? a : b  } |

* C++主要有两种类型的模板
  + 类模板（Class Template）：使用泛型参数的类（class with generic parameters）
  + 函数模板（Function Template）：使用泛型参数的函数（functions with generic parameters）

### C++模板简介3

* 模板的实例化

模板的声明（declaration）其实并未给出一个函数或类的完全定义（definition），只是提供了一个函数或类的语法框架（syntactical skeleton）

* 实例化是指从模板构造出一个真正的类或者函数的过程，比如：template <typename T> struct Object{...};

可以用来构造诸如 Object<int>, Object<char>, Object<int \*> 等等不同型别的具体实例

* + 实例化有两种类型
    - **显式** 实例化-在代码中明确指定要针对哪种型别进行实例化
    - **隐式** 实例化-在首次使用时具体的情况使用那一种合适的型别进行实例化

### C++函数模板

#### C++函数模板1

* + 函数模板的定义：
    - **函数模板** 是参数化的一族函数
    - 通过函数模板可以定义出一系列的函数，这些函数都是基于同一套代码，但是可以作用在不同的型别的参数上

|  |  |
| --- | --- |
| **template** <**typename** T>  inline T Max(const T &a, const T &b)  {  return (a>b)?a:b;  } | * + 定义一个函数模板 * 定义一个函数模板，返回两个数中较大值，该函数有两个参数（a,b） * 参数型别未定，以模板参数T表示 * 模板参数由关键字typename引入 |

#### C++函数模板2

* + 定义函数模板（续）
    - 也可以使用class替代typename来定义型别参数

|  |
| --- |
| template <**class** T> inline T Max (const T &a, const T &b){...} |

* 从语法上来说class和typename没有任何的却别
* 但从语义上来说，class可能会导致误区，即只有类才能作为型别参数；而事实上所表达的意思不仅仅针对类，任何型别都可以
* class可以取代typename，但struct却不可以，一下语法上是错误的。

|  |
| --- |
| **//this is wrong!!!**  template <struct T> inline T Max(const T &a, const T &b) {...} |

* **请尽量使用typename**

#### C++函数模板3

* + 函数模板的使用
    - 调用Max， 用int， float，以及std::wstring作为模板参数替代**T**
    - 对于不同的型别，都从模板实例化出不同的函数实体
    - 但是不可以使用两个不同的型别来实例化Max，因为编译器在编译时已经知道了Max函数需要传递的型别

|  |  |
| --- | --- |
| int i=7, j=30;  \_tprintf(TEXT(“Max(i,j)=%d\n”), Max(i,j));  double e=7, f=30;  \_tprintf(TEXT(“Max(e,f)=%d\n”), Max(e,f));  std::wstring s1=TEXT(“mathmatics”), s=TEXT(“math”);  \_tprintf(TEXT(“Max(s1,s2)=%d\n”), Max(s1,s2).c\_str());  **Max(i, f); // compile error:template parameter ‘T’ is ambiguous** |  |

#### C++函数模板4

* + 模板实例化
    - 用具体的型别替代模板参数**T**的过程叫做实例化；从而产生了一个**模板实例**
    - 一旦使用函数模板，这种实例化过程便由编译器自动触发的，不需要额外去请求模板实例化
    - 如果实例化一种型别，而该型别内部并不支持函数所使用的操作，那么就会导致一个编译错误，如下所示：
      * std::complex 并没有重载”>”，也就是说该型别并不支持使用”>”比较大小，而Max函数使用”>”来判断C1，C2的大小，所以无法通过Max(c1,c2)得到预期的结果

|  |
| --- |
| std::complex<int> c1(1,2), c2(15,16); **//编译错误** |

#### C++函数模板5

* + 结论：模板被编译了两次
    - 没有实例化之前，检查模板本身是否有语法错误
    - 实例化期间，检查对模板代码的调用是否合法

#### C++函数模板6

* + 参数推导
    - 模板参数是由传递给模板函数的实参决定的
    - 不允许自动型别的转换：每个T必须严格匹配！

|  |
| --- |
| Max(1,2) //OK:两个实参的型别都是int  Max(1, 2.0) **//ERROR:第一个参数是int，第二个参数是double** |

* 一般有两种处理这种错误的方法：

1. 用static\_cast或强制类型转换

|  |
| --- |
| Max(**static\_cast**(double)(1), 20) |

1. 显示指定T的型别

|  |
| --- |
| Max<**double**> (1, 20) |

#### C++函数模板7

* 函数模板的重载
  + 函数模板也可以像普通的函数一样重载
  + 非模板函数可以和**同名**的模板函数存在
  + 编辑器通过函数模板**参数推导**来决定调用哪个重载

|  |
| --- |
| //普通函数  Inline int const &Max (const int &a, const int &b) ----❶  template <typename T>  Inline T const &Max (const T &a, const T &b) ----❷  template <typename T>  Inline T const &Max (const T &a, const T &b, const T &c, const T &d) ----❸ |

#### C++函数模板8

* 函数模板重载（续）
  + Max(7, 43, 68);调用----❸
  + Max(7.0, 42.0);调用Max<double>(参数推导) ----❷
  + Max(‘a’, ‘b’);调用Max<char>(参数推导) ----❷
  + Max(7, 42);调用非模板函数，参数类型为int ----❶，其他因素都相同的情况下，重载裁决过程调用**非模板**函数，而不是从模板实例化
  + Max<>(7, 42);调用Max<int>(参数推导) ----❷ 允许**空模板参数列表**
  + Max<double>(7,32);调用Max<double> 无需参数推导 ----❷
  + Max(‘a’, 42.7);调用**非模板**函数，参数类型为int ----❶ 对于型别不同的参数只能调用非模板函数（char 和double都可以转为int）

#### C++函数模板9

* 总结
  + 对于不同的实参型别，模板函数定义了一族函数
  + 函数模板可以根据传递的模板实参，进行参数推导过程
  + 可以显式指定模板的实参型别
  + 函数模板可以重载
  + 当重载函数模板时，将改变限制在：显式指定模板参数
  + 所有的重载版本的声明必须位于它们被调用的位置之前

### C++类模板

#### C++类模板1

* 与函数模板相似，类也可以通过参数泛化，从而可以构建出一族不同型别的类实例（对象）
* 类模板实参可以是某一性别或常量（仅限int和enum）

#### C++类模板2

* 一个类模板的例子：Stack<T>

|  |  |
| --- | --- |
| const std::size\_t DefaultStackSize=1024;  template <typename T, std::size\_t n= DefaultStackSize >  class Stack {  public:  void Push(const T const &element);  int Pop(T &element);  int Top(T &element) const;  private:  std::vector<T> m\_members;  std::size\_t m\_maxsize=n;  }; | * T可以是任意型别 * 模板实参也可以是一个int或enum型别的常量（此处是size\_t，本质是int型别） * N是编译时定义的常量 * N可以有默认值 * size\_t 型别的成员变量可以用n初始化 |

#### C++类模板3

* 类模板声明
  + 声明类模板与声明函数模板类似
  + 关键字class和typename都可以用，但还是倾向于typename

|  |
| --- |
| template <typename T, std::size\_t n> class Stack {...};  template <class T, std::size\_t n> class Stack {...}; |

* 在类模板内部，T可以像其他型别一样（比如int，char等）定义成员变量和成员函数

|  |
| --- |
| void Push(const T const &element);  int Pop(T &element);  int Top(T &element) const;  std::vector<T> m\_members; |

#### C++类模板4

* 类模板的声明（续）
  + 除了Copy constructor之外，如果在类模板中需要使用到这个类本身，比如定义operator =，那么应该使用期完成的定义（Stack<T>），而不是省略型别T。如下面的例子：

|  |
| --- |
| template <typename T, std::size\_t n> class Stack  {  public:  ...  Stack(const Stack<T, n> &); //copy constructor  Statck & operator= (const Stack<T, n> &); // assignment operator  ...  }; |

#### C++类模板5

* 类模板的实现
  + 要定义一个类模板的成员函数，则要指明其是一个模板函数，例如，Push函数的定义应当如下：

|  |
| --- |
| template <typename T, std::size\_t nMaxSize>  void Stack<T, nMaxSize>::Push(const T const &element)  {  If (m\_members.size() >= mMaxSize) {  return;  }  m\_members.push\_back(element);  } |

#### C++类模板6

* 类模板的实现（续）
  + Pop函数：从Stack中弹出顶部元素

|  |
| --- |
| template <typename T, std::size\_t nMaxSize>  int Stack<T, nMaxSize>::Pop(T &element)  {  If (m\_members.empty()) {  return 0;  }  element = m\_members.back(); //we have to first store the back element;  m\_member.pop\_back(); //because pop\_back of a vector removes;  return 1; //the last elment but doesn’t return it!  } |

#### C++类模板7

* 类模板的实现（续）
  + GetTop函数：获取Stack顶部元素，但没有Pop出该元素

|  |
| --- |
| template <typename T, std::size\_t nMaxSize>  int Stack<T, nMaxSize>::GetTop (T & element) const  {  If (m\_members.empty()) {  return 0;  }  element = m\_members.back();  return 1;  } |

#### C++类模板8

* 使用类模板
  + Stack<int> stack：定义了一个型别为int的Stack，大小为默认值
  + Stack<int, 100>stack:定义了一个型别为int， 大小为100的Stack
  + 将100个元素Push到Stack中

|  |
| --- |
| for (int i=0; i<100; ++i) {  stack.Push(i);  } |

* Pop出Stack顶部元素

|  |
| --- |
| I nt element;  stack.Pop(element); |

* + 获取Stack顶部元素

|  |
| --- |
| stack.GetTop(element); |

* + Stack的Stack定义：

|  |
| --- |
| **Stack<Stack <int>** ss **>**intStackStack (旧版本的编译器必须有个空格，否则认为>>操作符) |

#### C++类模板 9

* 类模板特化（speicalizations）
  + 允许对一个类模板的某些模板参数型别做特化
  + 特化的作用或好处在于：
    - 对于某种特殊的型别，可能可以做些特别的优化或提供不同的实现
    - 避免在实例化类的时候引起可能产生的诡异行为
* 特化一个类模板的时候也意味着需要特化其所有参数化的成员函数
* 如果要特化一个类，那么做法是：
  + 声明一个带template <>的类，即空参数列表
  + 在类名称后面紧跟的尖括号中显示指明型别，例如：
    - 在类名称后面紧跟的尖括号中显式指明型别，例如：

|  |
| --- |
| template<>  class Stack<std::wstring> {  ...  }; |

#### C++类模板 10

* 类模板特化（specializations）(续)
  + 特化后的具体实现可以和主模板的实现不一样，比如一下的特化增加了一个成员函数，并采用list作为元素存取的实现

|  |
| --- |
| template<> class Stack <std::wstring> {  public:  void SetStackSize(const std::size\_t n) {m\_mMaxSize=n;} //添加了一个新的成员函数  std:size\_t CurrentSize() const {return m\_member.size(); }  void Push(const std::wstring const &element);  int Pop(std::wstring &element);  int GetTop(std::wstring &element) const;  private:  std::size\_t m\_mMaxSize;  std::list<std::wstring> m\_members; //采用list作为的内部实现，替换了原来的vector  }; |

#### C++类模板 11

* 偏特化（parital specilizations）
  + 类模板也可以被偏特化，比如主模板如果定义为：

|  |
| --- |
| template <typename T1, typename T2> class MyClass {...}; //Primary -❶ |

* + 可能产生以下几种对于主模板的偏特化：
    - 将模板参数偏特化为同样型别：

|  |
| --- |
| template <typename T> class MyClass <T, T> {...}; // -❷ |

* 将第二个模板参数偏特化为int型别，不再是泛型的T

|  |
| --- |
| template <typename T> class MyClass <T, int> {...}; //-❸ |

* 将两个型别偏特化为指针：

|  |
| --- |
| template <typename T1, typename T2> class MyClass <T1 \*, T2 \*> {...}; //-❹ |

#### C++类模板12

* 偏特化（Partial specialization） (续)
  + 使用实例：

|  |  |
| --- | --- |
| 使用 | 原型 |
| MyClass<int, float> obj; | MyClass <T1, T2> - ❶ |
| MyClass< float, float> obj; | MyClass <T, T> -❷ |
| MyClass< float, int> obj; | MyClass<T, int> - ❸ |
| MyClass< int \*, float \*> obj; | MyClass<T \*, T\*> -❹ |

* 如果有不止一个偏特化同等程度地能够匹配某一个调用，那么该调用具有二义性，编译器不会通过编译

|  |  |
| --- | --- |
| 使用 | 原型 |
| MyClass <int, int> obj; | ERROR:mathes MyClass<T, T> and MyClass <T, int> |
| MyClass<int \*, int \*> obj; | ERROR:mathes MyClass<T, T> and MyClass <T 1 \*, T2 \*> |

#### C++类模板 13

* 默认模板实参
  + 类似函数的默认参数，对于类模板而言也可以定义其模板参数的默认值，这些值就叫做默认模板实参

|  |
| --- |
| template <typename T, typename **Tcontainer=std::vector<T>** ss > **//默认实参**  class Stack {  private:  Tcontainer m\_container;  }; |

* + Stack<int> intStack;使用默认的vector作为实参
  + Stack<std::wstring, std::list<std::wstring> > wstrStack; 指定list作为容器而非默认的vector

#### C++类模板 14

* 总结
  + 模板类的性质是，有一个或多个型别未被指定
  + 要使用一个模板类，就传入具体的型别作为实参；编译器会基于该型别来实例化类模板
  + 对于类模板而言，只有被调用到的成员函数才会被实例化
  + 类模板可以特定的型别特化（specializations）
  + 类模板也可以用特定的型别偏特化（parital specializations）
  + 类模板参数可有**默认值**

### C++操作符重载（Operator Overloading）

#### C++操作符重载1

* 关键字operator定义了一种特殊的函数，该函数的行为是将操作符应用于某一特定的型别，使之能够通过该操作符进行操作。比如：如果定义了string型别的operator+，那么连接两个字符串a和b的行为就可以用a+b进行操作
* 操作符重载给出了操作符不同的含义
* 编译器通过具体型别来识别某个操作符在该型别上的意义
* 本质上operator重载就是函数，即如果定义了string型别的Append函数，那么string型别的a+b和a.Append(b)是等价的
* 大多数内置的操作符支持重载，比如：

|  |
| --- |
| !,!=,%,%=,&,&=,&&, ||, (), \*, \*=,+,+=, -, -=, /, /=, ^, ^=, |, |=, <, <=, > , >=, =, ==, << ,<<=, >>, >>=, ~, [], new, delete |

#### C++操作符重载2

* 操作符重载的一般规则
  + 不可以用operator定义一种新的操作符， 比如\*\*
  + 对于内置型别（built-in type）, 不能再用operator重载
  + 操作符重载的两种情况：
    - 非静态成员函数
    - 静态全局函数（如果该全局函数需要访问的类的private或protected成员，则声明为friend成员）

|  |
| --- |
| class ComplexType {  public:  //non-static member  ComplexType operator <(const ComplexType &);  //global functions  Friend ComplexType operator+(int, ComplexType &);  }; |

#### C++操作符重载3

* 操作符重载的一般规则（续）
  + 一元操作符（Unary operators）如果声明为成员函数，则没有参数；如果声明为全局函数则有一个参数
  + 二元操作符（Binary operators）如果声明为成员函数，则有一个参数；如果声明为全局函数则有两个参数
  + 如果一个操作符既能用作一元，也能用作二元操作（如：&, \*, +, -），则可以分别重载
  + 操作符重载不能带有默认实参值
  + **除了operator=，所有其他的操作符重载可以被子类继承**

## Part 2 泛型编程

### 泛型编程-概观

* **泛型编程（Generic Programming）**是一种编程方法**，**这种方法将型别（type）以一种to-be-specified-later的方式给出，等到调用的时候，再以参数方式，通过具体的、特定的型别实例化（instantiate）一个具体的方法或对象
* 泛型编程作为一种编程的想法或思维，不依赖于具体的语言
* 大多数面向对象的语言（OO languages）都支持泛型编程，比如：c++, c#, java...
* C++里面的泛型是通过**模板**以及相关性质表现的

#### 关联特性（Traits）

##### 关联特性（Traits）1

* 什么是traits以及为什么使用traits？
  + 假设给定一个数组，计算数组中的所有元素的和：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| A[0] | A[1] | ... | A[n] |  |

* 我们可以直接写出如下的计算函数

|  |  |
| --- | --- |
| template <typename T> inline T Sigma(const T const \*start, const T const \* end)  {  T total = T(); //suppose T() actually creates a zero value  while () {  total += \*start++;  }   |  | | --- | | 需要考虑的一点：如果构建型别T的初始值0。此处姑且使用T()， 对于内置的型别，比如int,float等，该初始值是0 |   return total;  } |

* 当我们使用char型别调用模板函数时，问题来了：

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| char szNames[]=”abc”;  std::size\_t nLength=strlen(szNames);  char \*p = szNames;  char \*q=szNames+nLength;  printf(“Sigma(szNames)=%d\n”, **Sigma(p, q)**);  294=0x0126   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | 0000 | 0001 | 0010 | 0110 |  |  | | --- | | **该bit溢出**  **(overflowed)** |     char型别能hold住的  最大值是OxFF=255 | * 调用Sigma(szNames)的结果是38(=0x26)!而并非期盼的值(97+98+99=294) * 原因是显而易见的：char型别无法存下294这个值！ * 如果要得到正确的结果，我们不得不强制使用int型别：int s = Sigma<int>(p, q); * 但是这种不必要的转换是完全可以避免的！ |

##### 关联特性（Traits）2

* 什么是traits以及为什么使用traits?（续）
  + 解决的办法是：为每个Sigma函数的参数型别T创建一种关联(association)，关联的型别就是用来存储Sigma结果的型别
  + 这种关联可以看作是型别T的一种特性(characteristic of the typeT)，因此Sigma函数返回值的型别叫做T的trait
  + T与其trait的关系推演如下：

T 🡪 association🡪 characteristic of T🡪 another type🡪 **trait**!

* + **Traits**可以实现为模板类，而关联(association)则是针对每个具体型别T的特化。在这个例子里我们将traits命名为SigmaTraits，做traits模板(traits template)

##### 关联特性（Traits）3

* **Traits**实现

|  |  |
| --- | --- |
| template <typename T> class **SigmaTraits** { };  template <> class **SigmaTraits**<**char**> {  public: typedef int ReturnType;  };  template < > class **SigmaTraits**<**short**> {  public: typedef int ReturnType;  };  template < > class **SigmaTraits**<**int**> {  public: typedef long ReturnType;  };  template < > class **SigmaTraits**<**unsigned int**> {  public: typedef unsigned long ReturnType;  };  template < > class **SigmaTraits**<**float**> {  public: typedef double ReturnType;  }; | C:\Users\qt\AppData\Roaming\Tencent\Users\714049438\QQ\WinTemp\RichOle\08Z4J3R4MB73GSK{CEHPMOK.png |

##### 关联特性（Traits）4

* **Traits**实现（续）
  + 模板类SigmaTraits叫做traits template，它含有其参数型别T的一个特性（trait），即ReturnType
  + 现在Sigma函数可以改写如下：

|  |
| --- |
| template <typename T>  inline typename SigmaTraits<T>::ReturnType Sigma (const T const\* start,const T const\* end)  {  typedef typename SigmaTraits <T> ::ReturnType Retu rnType;  ReturnType s = ReturnType0;  while (start != end) {  s +=\*start++;  }  return s;  } |

##### 关联特性（Traits）5

* Traits实现（续）
* 现在如果我们以char为型别调用Sigma将得到预想中的结果：

|  |
| --- |
| char szNames[]="abc";  std::size\_t nLength=strlen(szNames);  char\*p= szNames;  char\*q= szNames+nLength;  printf("Sigma(szNames)=%d\n”,Sigma(p, q)); |

* 虽然传入参数T的型别是char，但是返回的型别却是int，原因就在template<>class SigmaTraits<char>特化将型别char的返回值变成int(通过typedef int ReturnType)

##### 关联特性（Traits）6

* Traits实现（续）
  + 现在如果我们以char为型别调用Sigma将得到预想中的结果：

|  |
| --- |
| char szNames[]="abc";  std::size\_t nLength=strlen(szNames);  char\*p= szNames;  char\*q= szNames+nLength;  printf("Sigma(szNames)=%d＼n“,**Sigma(p, q)**); |

* 虽然传入参数T的型别是char，但是返回的型别却是int，原因就在于template<>class SigmaTraits<char>特化将型别char的返回值变成了int(通过typedef int ReturnType)

#### 迭代器（Iterators）

##### 迭代器（1）

* 什么是迭代器？
* 迭代器是指针的泛化(generalization of pointers)
* 迭代器本身是一个对象，指向另外一个（可以被迭代的）对象
* 用来迭代一组对象，即如果迭代器指向一组对象中的某个元素，则通过increment以后它就可以指向下这组对象中的下一个元素
  + 在STL中迭代器是容器与算法之间的**接口**
* 算法通常以迭代器作为输入参数
* 容器只要提供一种方式，可以让迭代器访问容器中的元素即可

##### 迭代器（2）

* 迭代器的基本思想
  + 在STL中，迭代器最重要的思想就是分离算法和容器，使之不需要相互依赖
  + 迭代器将算法和容器粘合可以运用到多种不同的容受一对迭代器，分别指向(stick)在一起从而使得一种算法的实现器上，如下面的例子所示，find算法接容器的开始位置和最终位置

|  |
| --- |
| template < class \_lnlt, class \_Ty>  inline \_lnlt find(\_lnlt \_First, \_lnlt \_Last, const \_Ty& \_Val) {  // find first matching \_Val  for (; \_First != \_Last; ++\_First)  if (\*\_First = = \_Val)  break;  return (\_First);  } |

##### 迭代器（3）

* 迭代器的基本思想（续）
  + find算法对于不同的容器，比如vector, list，deque均适用：

|  |
| --- |
| std::vector<int> v(...);  std::list<int> l(...);  std::deque<int> d(...);  std::vector<int>::iterator itv = std::find(v.begin0, v.end0, elementToFind)  std ::list<int> ::iterator itl = std ::find (l.begin (), l.end (), elementTo Find)  std::deque <int> ::iterator it3 = std ::find(d.begin (), d.end0, elementToFind) |

* 每种容器都有其对应的迭代器

## Part 3 容器（Containers）

|  |
| --- |
| Vector |
| Deque |
| List |
| Stack |
| Queue |
| Map and Multimap |
| Set and Multiset |

#### Vector

##### Vector（1）

* 概述
  + Vector是一个能够存放任意型别的动态数组
  + Vector的数据结构和操作与数组(array)类似，在内存中的表现形式是一段地址连续的空间
  + Vector与数组的区别在于，数组大小往往是定义是就固定的(比如：char buffer[256]);Vector支持动态空间大小调整，随着元素的加入，vector内部会自动扩充内存空间。
  + 为了使用vector，必须用include指令包含如下文件，并通过std命名

|  |
| --- |
| #include <vector>  int main() {  std::vector v;  } |

##### Vector（2）

* 创建Vector

|  |  |
| --- | --- |
| 常用方式 | 代码 |
| 创建一个T型别的空vector | std::vector<T> v; |
| 创建一个容量是n的T型别的vector | std::vector<T> v(n); |
| 创建一个容量是n的T型别的vector，并且都初始化为i | std::vector<T> v(n, i); |
| 创建一个已有v的拷贝 | std::vector<T> copyOfV(v); |
| 通过一个数组创建一个vector | int array[ ] = {1, 2, 3, 4, 5, 6J 7, 8, 9, 10 };  std::vector<int> v(array, array + 10); |

##### Vector（3）

* 向Vector添加元素
  + 向vector添加元素的方法为调用其push\_back函数，表示将元素添加至其尾部：

|  |
| --- |
| std::vector<std::wstring> v3;  for (std::size\_t i = O; i < 10; i++)  {  std::wstringstream wss;  WSS << TEXT(”String[") << i << TEXT(”]”);  v3.push\_back(wss.str());  } |

##### Vector（4）

* 判断vector是否为空、获取vector大小
  + 如果要判断vector是否为空则调用empty()函数
  + 如果要获取vector大小则调用size()函数

|  |
| --- |
| std::vector<std::wstring> v3;  bool isEmpty = v3.empty();  int array[] = { 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 };  std::vector<int> v(array, array + 10);  std::size vSize = v.size(); |

##### Vector（5）

* 访问vector中元素
  + 要访问vector中的元素，有两种方法：
    - 调用vector::at();
    - 调用vector::operator[]
* 两者的区别在于：
  + operator[]提供了类似数组的存取方式，但不做边界检查，可能越界，但访问效率更高
  + at()进行边界检查，如果访问越界则抛出exception，但访问效率不如operator[]

##### Vector（6）

* 访问vector中元素（续）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| std::vector<std::wstring> v;  v.reserve(10);   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | String[0] | String[1] | String[2] | ????? |   for (std::size\_t i = 0; i < 3; i++) {  std::wstringstream wss;  WSS << TEXT(" String[") << i << TEXT("] ");  v.push\_back(wss.str0);   |  | | --- | | 预留了10个wstring空间，  push\_back了3个，v[5]访问越界 |   }  try {  std::wstring wszl = vl[5] ; // not bounds checked - will not throw  std::wstring wsz2 = v.at(5); //11 bounds checked - will throw if out of range  }  catch (const std::exception& ex) {  Console::WriteLine(ex.wha());  } |

##### Vector（7）

* 删除-vector中元素
  + clear:清除整个vector
  + pop\_back:弹出vector尾部元素
  + erase:删除vector中某一位置的元素
    - 用法一：指定iterator出删除某一元素

|  |
| --- |
| std::vector<int>::const\_iterator it = v.begin();  v.erase(it + 1); 11 erase the second element in the vector |

* 用法二：通过某一条件函数找到vector中需要删除的元素。所谓条件函数是一个按照用户定义的条件返回true/false的函数对象。我们以remove\_if为例说明：

##### Vector（8）

* 删除vector中元素（续）
  + 假设一个vector由下列元素构成，我们的目标是要删除vector中所有含有C++的字符串的元素：

|  |
| --- |
| std::vector<std::wstring> v;  v.push\_back(TEXT("Standard Template Library”));  v.push\_back(TEXT("The C++ Programming Languate");  v.push\_back(TEXT("Windows Internals”));  v.push\_back(TEXT("Prog ramming Applications for Windows”));  v.push\_back(TEXT("Design Patterns“));  v.push\_back(TEXT(" Effective C++");  v.push\_back(TEXT("More Effective C++ "); |

##### Vector （9）

* 删除vector中元素（续）
  + remove.if函数定义在algorithm中，故需include <algorithm>
  + 定义筛选器：一个一元函数对象(unary\_fu nction)，关键在于重载operator()

|  |
| --- |
| struct ContainsString : public std::unary\_function<std::wstring, bool>  {  ContainsString(const std::wstring& wszMatch) : m\_wszMatch(wszMatch) { }  bool operator ()(const std::wstring &wszStringToMatch) const  {  return (wszStringToMatch.find(m\_wszMatch) != -1);  }  std::wstring m\_wszMatch;  } |

##### Vector（10）

* 删除vector中元素（续）
  + 在erase函数中调用remove\_if执行删除：

|  |  |
| --- | --- |
| v.erase(std::remove\_if(  v.begin (),  v.end ),  ContainsString(L¨C++“)  ), v.end()); |  |

* remove\_if是不是真正remove了vector中的元素呢？

##### Vector（11）

* 删除vector中元素（续）
  + remove.if其实真正的做的是针对ContainsString条件对给出了erase函数需要操作的iterator位置，如下图所示：

|  |  |
| --- | --- |
| 0 | Standard Template Library |
| 1 | The C++ Programming Languate |
| 2 | Windows Internals |
| 3 | Programming Applications for Windows |
| 4 | Design Patterns |
| 5 | Effective C++ |
| 6 | More Effective C++ |

|  |  |
| --- | --- |
| 0 | Standard Template Library |
| 1 | Windows Internals |
| 2 | Programming Applications for Windows |
| 3 | Design Patterns |
| 4 | ???????? |
| 5 | ???????? |
| 6 | ???????? |

remove\_if

|  |  |
| --- | --- |
| before | after |

#### Deque

##### Deque（1）

* 概述
  + Deque是一个能够存放任意型别的**双向队列**
  + Deque提供的函数与vector类似，新增了两个函数：
    - push\_front:在头部插入一个元素
    - pop\_front:在头部弹出一个元素
  + Deque采用了与vector不同内存管理方法：大块分配内存
  + 为了使用deque，必须用include指令包含如下文件，并通过std命名空间去访问：

|  |
| --- |
| #include <deque>  int main() {  std::deque dq;  } |

#### List

##### list（1）

* 概述
  + List是一个能够存放任意型别的双向链表(doubly Iinked list)

|  |
| --- |
|  |

* 可以向List中接入一个子链表(sub-list)
* -为了使用List，必须用include指令包含如下文件，并通过std命名空间去访问：

|  |
| --- |
| #include <list>  int main() {  std::list templist;  } |

##### list（2）

* Iist的优势
  + Iist的优势在于其弹性(scala bility)，可随意插入和删除元素，所需之操作仅是改变下一节点中的前项(Previous)和后项(Next)的链接
  + 对于插入、删除和替换等需要重排序列的操作，效率极高
  + 对于移动元素到另一个list、把一个排好序的list合并到另一个Iist之操作，

实际上之改变list节点间的链接，没有发生元素复制

* Iist的劣势
  + 只能以连续的方式存取Iist中的元素一查找任意元素的平均时间和Iist的长度成线型比例
  + 对于查找、随机存取等元素定位操作，效率低在每个元素节点上增加一些较为严重的开销：即每个节点的前向和后向指针

##### list（3）

* 创建List

|  |  |
| --- | --- |
| 常用方式 | 代码 |
| 创建一个T型别的空list | std::list<T> l; |
| 创建一个容量是n的T型别的I．st | std::list<T> l(n); |
| 创建一个容量是n的T型别的I．st，并且都初始化为x | std::list <T> l(nl x); |
| 创建一个已有I．st的拷贝 | std::list<T> copyOfList(l); |
| 通过一个数组创建一个I．st | std::wstring array[ ] = {  TEXT("Str-1"), TEXT("Str-2"), TEXT("Str-3")  };  std ::list < std ::wstring > l(a rray, array + 3); |

##### list（4）

* 向list添加元素
  + 向list添加元素的方法为调用其push\_back、push\_front函数，表示将元素添加至其尾部或头部：

|  |
| --- |
| std::list<std::wstring> l;  l. push\_back(TEXT("Some text pushed at back"));  l.push\_front(TEXT("Some text pushed at front")); |

##### list（5）

* 判断Iist是否为空、获取vector大小
  + 如果要判断list是否为空则调用empty()函数
  + 如果要获取Iist大小则调用size()函数

|  |
| --- |
| std::list< std::wstring > l;  std::wstring array[] = {TEXT("Str-l"), TEXT("Str-2"), TEXT("Str-3") };  std::list< std ::wstring > l(array, array+3);  std::size listSize = l.size(); |

##### list（6）

* 删除list中元素
  + clear:清除整个list，内部是调用erase(begin(), end())
  + pop\_back:弹出list尾部元素

|  |
| --- |
| std::wstring array[]=(TEXT("Str-1"), TEXT("Str-2"), TEXT("Str-3"));  std::list<std::wstring>l(array, array+3)j  l.pop\_back() //”Str-3" is removed |

* + pop\_front:弹出list头部元素

|  |
| --- |
| std::wstring array[]={TEXT("Str-1"), TEXT("Str-2"), TEXT("Str-3"));  std::list<std::wstring>l(array, array+3);  l.pop\_front();//”Str-l" is removed |

* + remove:删除list中指定的元素

|  |
| --- |
| std::wstring array[] = { TEXT("Str-1"), TEXT("Str-2"), TEXT("Str-3") };  std::list< std ::wstring > l(array, array+3);  l.remove (TEXT("Str- 2 ")); // "Str-2" is removed |

##### list（7）

* 删除list中元素（续）
  + remove\_if:通过某一条件函数找到list中需要删除的元素。例如，假设一个list由下列元素构成，我们的目标是要删除list中所有含有”C++”的字符串的元素：

|  |
| --- |
| std::list< std::wstring > l;  l.push\_back(TEXT("Standard Template Library”))；  l.push\_back(TEXT("The C++ Programming Languate”));  l.push\_back(TEXT("Windows Internals”));  l.push\_back(TEXT("Programming Applications for Windows”));  l.push\_back(TEXT("Design Patterns”));  l.push\_back(TEXT(" Effective C++ "));  l.push\_back(TEXT("More Effective C++")); |

##### list（8）

* 删除list中元素（续）
  + 我们还需要定义条件函数对象ContainsString：

|  |
| --- |
| struct ContainsString : public std::unary\_function<std::wstring, bool> {  ContainsString(const std::wstring& wszMatch) : m\_wszMatch(wszMatch) { }  bool operator()(const std::wstring& wszStringToMatch) const {  return (wszStringToMatch.find(m\_wszMatch) 1= -1);  }  std::wstring m\_wszMatch;  }; |

##### list（9）

* 删除list中元素（续）
  + 调用remove\_if:

|  |
| --- |
| // remove string that contains "C++"  l.remove\_if(ContainsString(TEXT(“C++”))); |

* erase:删除list中某一位置的元素
  + 用法一：指定iterator出删除某一元素

|  |
| --- |
| std ::list< std::wstring > ::const\_iterator it = l.begin();  l.erase(it); // erase the front element in the list |

* 用法二：通过某一条件函数找到list中需要删除的元素。所谓条件函数是一个按照用户定义的条件返回true/false的函数对象。用法与remove\_if类似：

|  |
| --- |
| l.erase(std ::remove\_if(l.begin(),l.end(),ContainsString(L”C++")); |

##### list（10）

* 向Iist中插入元素
  + lnsert:list中某一位置插入的元素

|  |
| --- |
| std::list<std ::wstring>::const\_iterator it = l.begin ();  l.insert(it, anotherList.begin(), anotherList.end()); |

##### list（11）

* 粘接list
  + splice实现list粘接的功能，即将一个list的部分元素或全部元素删除，拼插入到另一个list

|  |  |
| --- | --- |
| std::list< std::wstring > list2 | |
| 0 | [Str-1] |
| 1 | [Str-2] |
| 2 | [Str-3] |

* + 假设现在有两个list:

|  |  |
| --- | --- |
| std::list<std::wstring > list1 | |
| 0 | Standard Template Library |
| 1 | The C++ Programming Language |
| 2 | Windows Internals |
| 3 | Programming Applications for Windows |
| 4 | Design Patterns |
| 5 | Effective C++ |
| 6 | More Effective C++ |

##### list（12）

* 粘接list（续）
  + 将list2粘接到list1头部，同时list2被清空：

|  |  |
| --- | --- |
| std::list<std::wstring>::const\_iterator itl = listl.begin();  listl.splice(itl, list2); |  |

|  |  |
| --- | --- |
| std::list<std::wstring > list1 | |
| 0 | Standard Template Library |
| 1 | The C++ Programming Language |
| 2 | Windows Internals |
| 3 | Programming Applications for Windows |
| 4 | Design Patterns |
| 5 | Effective C++ |
| 6 | More Effective C++ |

|  |
| --- |
| [Str-1] |
| [Str-2] |
| [Str-3] |

|  |
| --- |
| *it 1* |

|  |
| --- |
| std::list< std::wstring > list2 |
| <empty> |

##### list（13）

* 粘接list（续）
  + 将it1指向” The C++ Programming Language”，将此字符串粘接到Iist2:

|  |
| --- |
| it1++; //move the iterator forward or: std::advance(itl, 1);  list2.splice(list2.begin(),list1, it1); |

字符串”The C++Programming Language”添加到list2头部，同时从list1中it1指向的位置删除

|  |
| --- |
| std::list<std::wstring > list1 |
| [Str-1] |
| [Str-2] |
| [Str-3] |
| Standard Template Library |
| The C++ Programming Language |
| Windows Internals |
| Programming Applications for Windows |
| Design Patterns |
| Effective C++ |
| More Effective C++ |

|  |
| --- |
| *it 1* |

|  |
| --- |
| *it 1++* |

|  |
| --- |
| std::list<std::wstring > list2 |
| The C++ Programming Language |

##### list（14）

* 粘接list（续）
  + 把list1开头的三个字符”[Str-1]”、 ”[Str-2]”、 ”[Str-3]”粘到其余字符串之后：

|  |
| --- |
| itl=list1.begin();  std::advance(it1,3);  list1.splice(listl.begin(), list1, it1, list1.end()); |

|  |  |
| --- | --- |
|  | it1以及list1.end()框定了需要splice的数据的范围listl.end() |

|  |
| --- |
| std::list<std::wstring > list1 |
| [Str-1] |
| [Str-2] |
| [Str-3] |
| Standard Template Library |
| The C++ Programming Language |
| Windows Internals |
| Programming Applications for Windows |
| Design Patterns |
| Effective C++ |
| More Effective C++ |

|  |
| --- |
| *it 1* |

|  |
| --- |
| *list.begin()* |

|  |
| --- |
| *advance(it1,3)* |

|  |
| --- |
| *list.end()* |

#### Stack

##### Stack（1）

* 概述
  + Stack是一种先进后出(First In Last Out)的数据结构，只有一个出口
  + Stack支持的操作：增加元素(push)、移除元素(pop)、获取最顶端元素(top)
  + 只能访问Stack的顶层元素，不允许遍历
  + 欲使用Stack，必须包含<stack>头文件

|  |  |
| --- | --- |
|  | #include <stack>  int main() {  std::stack s;  } |

##### Stack(2)

* Stack的底层数据结构
  + 杏看Stack定义可知，STL Stack是以deque作为默认的底层结构：

|  |
| --- |
| template <class \_Ty, class \_Container=deque<\_Ty> >  class stack {  ...  } |

* 可以看做是对deque的“包装”或者“适配”，它修改了deque的接口，并提供top()、pop()、push()接口
* 因为stack不允许遍历，故其没有iterator

##### Stack(3)

* 以List作为Stack的底层数据结构
  + 除了deque，还可以list作为stack的底层结构：

|  |
| --- |
| std::stack<int, std::list<int> > s;  s.push(l);  s.push(2);  std::wcout << s.size() << std::endl;  std::wcout << s.top() << std::endl;  std::wcout << s.top() << std::endl; |

### Queue

##### Queue(1)

* 概述
  + Queue是一种先进先出(First In First Out)的数据结构，有两个出口
  + Queue支持的操作：增加元素(push)、移除元素(pop)、获取最前端元素(front)、获取最后的元素(back)
  + 只能访问queue的最前或最后元素，不允许遍历
  + 欲使用queue，必须包含<queue>头文件

|  |  |
| --- | --- |
|  | #include <queue>  int main() {  std::queue q;  } |

##### Queue(2)

* Queue的底层数据结构
  + 查看queue定义可知，STL queue是以deque作为默认的底层结构：

|  |
| --- |
| template<class \_Ty, class \_Container=deque<\_Ty> >  class queue {  ...  } |

* 可以看做是对deque的“包装”或者“适配”，它修改了deque的接口，并提供front0、back()、pop()、push()接口
* 因为queue不允许遍历，故其没有iterator

##### Queue(3)

* 以list作为Stack的底层数据结构
  + 除了deque，还可以list作为queue的底层结构：

|  |
| --- |
| std::queue<int, std::list<int> > q;  q.push(i);  q.push(2);  std::wcout << s.size() << std::endl;  std::wcout << s.front() << std::endl;  std::wcout << s.front() << std::endl;  s.pop();  std::wcout << s.front() << std::endl; |

### Map and Multimap

##### Map(1)

* 概述
  + map是一种关联容器，存储的对象是Key/Value pair
  + 不允许有重复的Key
  + map存储的对象必须是具备可排序性的

|  |
| --- |
| template<class \_Kty, class \_Ty, class \_Pr=less<\_Kty>,  class \_Alloc=allocator<pair<const \_Kty, \_Ty> > >  class map{…) |

* 默认采用less定义排序行为
* 可以自定义排序行为（通过仿函数）
* 为了使用map，必须用include指令包含<map>文件，并通过std命名空间去访问

##### Map(2)

* map初始化

|  |  |
| --- | --- |
| struct Employee {  Employee0 { }  Employee(const std::wstring& wszName) : Name(wszName) { }  std::wstring Name;  };  struct Reverseld :public std::binary\_function<int, int, bool> {  **bool operator() (const int& keyl, const int& key2) const {**  **return (key1 <= key2) ? false : true;**  **}**   |  | | --- | | 意味着将通过Reverseld对象作为排序行为，  具体调用operator()实现 |   }  const int size = 3;  const std::pair<int, Employee> items[size] = {  std::make\_pair(1, Employee(L”Tom”));  std::make\_pair(2, Employee(L”Jerry”));  std::make\_pair(1, Employee(L”Alice”));  }  std::map<int, Employee, **ReverseId**> map1(items, items+3); |

##### Map(3)

* 插入元素

|  |
| --- |
| mapl.insert(std::make\_pair(4, Employee(L'Brown”)));  mapl[5] = Employee(L'Fisher”); |

* 删除元素

|  |
| --- |
| std::map<Person, PersonldComparer>::iterator it = mapl.begin();  mapl.erase(it); |

* operator[]存取元素

|  |
| --- |
| Employee& e = mapl[2]  e.setName(L”...”); |

##### Multimap

* 类似map的关联容器
* 允许Key重复

|  |  |
| --- | --- |
| std::multimap<int, Employee, Reverseld> mm(items, items + 3);  mm.insert(std::make\_pair(1,Employee(L”Peter"));  printf("key(1) count: %d\n", mm.count(1)); |  |

### Set and Multiset

##### Set(1)

* 概述
* set是一种关联容器，存储的对象本身既是Key又是Value
* 不允许有重复的Key
* set存储的对象必须是具备可排序性的

|  |
| --- |
| template<class \_Kty, class \_Pr=less<\_Kty>, class \_Alloc=allocator<\_Kty>>  class set{  ) |

* 默认采用less定义排序行为，存储对象必须具备operator<行为
* 可以自定义排序行为（通过仿函数）
* 为了使用set，必须用include指令包含<set>文件，并通过std命名空间去访问

##### Set(2)

* set初始化

|  |
| --- |
| class Person {  public:  Person(const std::wstring& wszName, const std::size\_t nld) {...}  const std::wstring& GetNameo const { ... }  const std::size\_t Getldo const { ... }  };  struct PersonldComparer : public std::binary\_function<Person, Person, bool> {  bool operator()(const Person& pl, const Person& p2) const {  return (pl.Getld() < p2.Getld()) ? true : false;  }  struct PersonNameComparer : public std::binary\_function< Person, Person, bool> {  const bool operator()(const Person& pl, const Person& p2) const {  return (pl.GetName() < p2.GetName()) ? true : false;  )  const std : :size\_t nSize = 3;  const Person personArray[nSize] = {  Person(L"Tom", 1),  Person ( L"Jason", 2),  Person(L"Alice", 3)  };  std::set<Person, PersonIdComparer> ps1(personArray, personArray+nSize); |

##### Set(3)

* 插入元素

|  |
| --- |
| psl.insert(Person(L"Bill", 4)); |

* 删除元素

|  |
| --- |
| std::set< Person, PersonldComparer>:;iterator it = psl.begin();  std::advance(it, 1);  psl.erase(it); |

##### Set(4)

* set相关算法
  + set\_union

|  |
| --- |
| std::set< Person, PersonldComparer> dest;  std::insert\_iterator<std::set<Person, PersonldComparer> ii(dest, dest.begin());  std::set\_union(psl.begin(), psl.end(),ps2.begin(),ps2.end(),ii, PersonldComparer(); |
|  |

##### Set(5)

* set相关算法（续）
  + set\_intersection

|  |
| --- |
| std::set< Person, PersonldComparer> dest;  std::insert\_iterator<std::set<Person, PersonldComparer) ii(dest, dest.begin();  std::set\_intersection(psl.begin(), psl.end(), ps3.begin(), ps3.end(), ii, PersonldComparer()); |
|  |

##### Set(6)

* set相关算法（续）
  + set\_difference

|  |
| --- |
| std::set< Person, PersonldComparer> dest;  std::insert\_iterator<std::set< Person, PersonldComparer>> ii(dest, dest.begin());  std::set\_difference(psl.begin(),psl.end(), ps3.begin(), ps3.end (), ii, PersonldComparer()); |
| 注意set\_difference的取法是：包含在(first1，last1)中而不包含在(first2，last2)中的不同的元素 |
|  |

##### Set(7)

* set需特别注意的问题
  + 用于排序的成员（比如Person对象的ld，也就是“**真正的Key**”）不可改变
  + 除了“真正的Key”，其他成员可以改变但需要特殊手段
    - 比如，要将ps1中名称为”BiII"、ld为”4"的Person对象的名称重新设置为”BiII Gates"：

|  |
| --- |
| std::set<Person, PersonldComparer> ::iterator it = psl.find(Person(L”Bill”, 4));  if(it != psl.end())  it->SetName(L"Bill Gates");  **//上述代码无法通过编译！set的实现方式不允许通过迭代器改变对象成员！** |

##### Set(8)

* set需特别注意的问题（续）
  + 要改变对象的成员(非真正的Key)，需通过以下手段实现：

|  |
| --- |
| std::set< Person, PersonldComparer>::iterator it = psl.find(Person(L”Bill”, 4));  if(it != psl.end())  const\_cast< Person &> (\*it).SetName(L"Bill Gates"); //**顺利通过编译** |

* 注意：一定要cast为对象的引用而不是对象本身，也就是说以下两种方式虽然都可以通过编译，但无法改变对象的成员：

|  |
| --- |
| static\_cast<Person>(\*it) .SetName( L" Bill Gates " ) ;  (Person) (\*it).SetName(L"Bill Gates"); |

##### Set(9)

* set需特别注意的问题（续）
  + 无法改变对象的成员的原因在于，上述代码皆等价于：

|  |
| --- |
| Person tempCopy(\*it);  tempCopy.SetName(L“Bill Gates”); |

## Part4 一些进阶问题（Advanced Topics）

#### STL整体结构

* + STL组件之间的关系
    - 容器通过内存分配器分配空间
    - 容器和算法分离
    - 算法通过迭代器访问容器
    - 仿函数协助算法完成不同的策略变化
    - 适配器套接仿函数

|  |
| --- |
| C:\Users\qt\AppData\Roaming\Tencent\Users\714049438\QQ\WinTemp\RichOle\}8}O6$)ISJ99R]P9M]FYU0Y.png |

##### 仿函数1(Functors)

* + 仿函数又称为函数对象（Function Object），其作用相当于一个**函数指针**
  + 回顾之前的remove\_if，输入参数ContainsString即为仿函数std::remove\_if(v. begin(),v.end(), ContainsString(L”C++”))
  + 要将某种“行为”作为算法的参数（此处的行为是：判断字符串中是否存在“C++"这几个字符），就需要将该“行为’’函数指针作为算法的参数
  + STL中将这种行为函数指针定义为所谓的仿函数，其实现是一个class，再以该仿函数产生一个对象作为算法参数

##### 仿函数2(Functors)

* 仿函数与算法之间的关系

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Algorithm(Iterator first, Iterator last, ..., Functor func)  {  ．．．  func(…)  ．．．   |  | | --- | | STL内建仿函数，或用户自定义仿函数 | | plate <typename T> class Functor  {  void operator() (. . .) { }  } |   } |

##### 仿函数(3)

* 仿函数的类别定义中必须重载函数对象可以像函数一样被调用operator()，从而使得仿函数对象可以像函数一样被调用
  + 例如STL内置的仿函数std::greater<T>：

|  |
| --- |
| #include <funtional>  std::greater<int> g;  std::cout << std::boolalpha << g(10, 3) << std::endl; // output: true  std::cout << std::greater<int>()(100, 300) << std::endl; // output: false |

|  |
| --- |
| std::boolalpha是一种所谓的流控制器(iostream manipulator)，意思是从该标志之后对bool值的输出用”true”、”false”表达，而不是默认的1、0 |

##### 仿函数(4)

* 自定义的仿函数必须重载operator()
  + 回顾ContainsString对象：

|  |
| --- |
| struct ContainsString : public std::unary\_fu nction< std::wstring, bool>  {  ContainsString(const std::wstring& wszMatch) : m\_wszMatch(wszMatch) { }  bool (const std::wstring& wszStringToMatch) const  {  return (wszStringToMatch.find(m\_wszMatch) 1= -1);  }  std::wstring m\_wszMatch;  } |

##### 仿函数(5)

* 自定义的仿函数的另一个例子
  + 打印容器中的所有元素

|  |
| --- |
| int buffer[BufferSize] = { 0, 100, -98, 31, 7 };  std::vector<int> v(buffer, buffer + BufferSize);  std::for\_each(v.begin(), v.end(), **PrintContainer**<int> (std::cout); |
| template<typename T> struct **PrintContainer**  {  PrintContainer(std::ostream& out) : os(out) { }  **void operator()(const T& x) { os << x << ‘’; }**  std::ostream& os;  } |

##### 仿函数(6)

* 为什么要用仿函数而不是普通函数指针作为算法的行为参数？
  + 普通函数指针不能满足STL的抽象要求
    - 怎么定义该函数指针呢？参数和返回性别如何指定？
* 函数指针无法和STL其他组件交互
* 仿函数可作为模板实参用于定义对象的某种默认行为
  + 以某种顺序对元素进行排序的容器，排序规则就是一个模板实参，比如STL标准容器std::set:

|  |
| --- |
| template <typename \_Kty, typename Pr=less<\_Kty>,…>  class set{...} |

##### 仿函数(7)

* Set默认以less作为元素的排序行为，如果两个set具有不同的排序规则，那么对他们的进行赋值或==判断会导致错误：

|  |
| --- |
| class Person {  };  std::set<Person, std : :less < Person> > set1, set2; //operator <作为排序行为  std::set<Person, std::greater<Person> >set3, set4; //operator >作为排序行为  if (set1==set2)... //**正确，相同的型别**  if(set1|| set3)... //**错误，不同的型别！**  set1=set2 **//正确，相同的型别**  set4=set1 **//错误，不同的型别！** |

##### 仿函数(8)

* 如果在Person类行为排序Person对operator<，那么less函数对象将以此行为排序Person对象

|  |
| --- |
| class Person {  public:  Person(const std::wstring& wszName, const std::size\_t nld) { ... }  const bool **operator <** (const Person& p) const { return (this->m\_nld < p.m\_nld); }  private:  std::wstring m\_wszName;  std::size\_t m\_nld;  };  std::set< Person, std::less< Person>> set1;  setl.insert(Person(L"Tom ", 0));  setl.insert(Person(L"Alice", 1));  setl.insert(Person(L"Jack", 2));  std::for\_each(setl.begin(), setl.end(), PrintContainer<Person> (std::wcout, L' ')); |
| 将按照Person的ld依次输出”Tom". "Alice". "Jask" |

##### 仿函数(9)

* 如果要改变set默认的排序行为，并提供自定义的排序行为，那么可采用自定义仿函数方式，并重载operator()：
  + 如下所示PersonComparer对象将以Person的Name来进行排序

|  |
| --- |
| class PersonComparer{  public:  const bool **operator()** (const Person& p1, const Person& p2) const {  return (p1.GetName() < p2.GetName());  }  };  std::set< Person, PersonComparer > set1;  setl.insert(Person(L"Tom ", 0));  setl.insert(Person(L"Alice", 1));  setl.insert(Person(L"Jack", 2));  std::for\_each(setl.begin(), setl.end(), PrintContainer<Person> (std::wcout, L' ')); |
| 将按照Person的Name依次输出”Alice". "Jack". "Tom" |

#### 仿函数适配器(FunctorAdapters)

* 仿函数适配器(Functor adapter)，目的在于将无法匹配的仿函数“套接”成可以匹配的型别
* 我们以两个适配器加以说明：
  + binderlst/binder2nd
  + mem\_fu n/mem\_fu n\_ref

##### 仿函数适配器(binderlst/binder2nd)

###### 仿函数适配器(binderlst/binder2nd)

* 给定一个vector，其元素为：[0，0，0，0，0，0，0，0，1, 0，0]，如何通过std::not\_equal\_to匹配到第一个非零元素？
* 想象中，或许可以这样：

|  |
| --- |
| std::vector<int> ::iterator it = std ::find\_if(v.begin(), v.end(), std::not\_equal\_to <int> (0); |

* 事实上行不通，因为：
  + not\_equal\_to构造函数不接受参数”0”
  + not\_equal\_to的operator0不接受一个参数，需要两个参数！

|  |
| --- |
| bool operator()(const \_Ty& \_Left, const \_Ty& \_Right) const |

|  |
| --- |
| * 解决的方法是通过binder1st套接 not\_equal\_to |

* 实际使用时，应当使用更简洁的写法：

|  |
| --- |
| std::vector<int>::iterator it = std::find\_if(v.begin(),v.end(),std::bindlst(std::not\_equal\_to<int>(), 0); |

* bindlst封装了 binderlst的调用复杂性

|  |
| --- |
| template<class \_Fn2, class \_Ty>  inline binderlst<Fn2> bindlst(const \_Fn2& \_Func, const \_Ty& \_Left)  {  typename \_Fn2::first\_argument\_type \_VaI(\_Left);  return (binderlst<Fn2> (\_Func, \_Val));  } |

* 类似地有bind2nd适配器，区别在于：
  + Func操作是作用在**左值**还是**右值**上

|  |  |
| --- | --- |
| template<class \_Fn2, class \_Ty>  inline binderlst<\_Fn2> bind1st(const \_Fn2& \_Func, const \_Ty& **\_Left**) {  typename \_Fn2::first\_a rgument\_type \_VaI(\_Left);  return (binder1st<\_Fn2>(\_Func, \_Val));  } | template<class \_Fn2, class \_Ty>  inline binder2nd<Fn2> bind2nd(const \_Fn2& \_Func, const \_Ty& **\_Right**) {  typename \_Fn2::second\_a rgument\_type \_VaI(\_Right);  return (binder2nd<\_Fn2 > (\_Func, \_Val);  } |

* 对vector: [ -10, -300, 1, 0, 0, 0, 0, 0 ,10,0];

|  |  |
| --- | --- |
| std::vector<int>::iterator it=std::find\_if(v.begin, v.end(), std::bind1st(std::**less**<int>(), 0)); | std::vector<int>::iterator it=std::find\_if(v.begin, v.end(), std::bind2st(std::**greater**<int>(), 0)); |

两者等价

###### 仿函数适配器(mem\_fun/mem\_fun\_re())

* mem\_fun和 mem\_fun\_ref:
  + 用来适配对象的成员函数

|  |
| --- |
| class Person {  public:  void Print() {  std::wcout << m\_nld << L": " << m\_wszName << std::endl;  }  private:  std::wstring m\_wszName;  std::size\_t m\_nld;  } |

|  |
| --- |
| 如果Print函数是一个全局函数，这样的方式才可行：  void PrintPerson (const Person\*p){} |

|  |
| --- |
| std::vector< Person\*> v;  v.push\_back(new Person(L"Tom", 1));  v.push\_back(new Person(L"Jerry", 2));  v.push\_back(new Person(L"Micheal", 3));  v.push\_back(new Person(L"Jason", 4));  v.push\_back(new Person(L'Bill", 5));  std::for\_each(v.begin(), v.end(), **&Person::Print**); //遗憾的是，无法通过编译！！！  std::for\_each(v.begin(), v.end(), **&PrintPerson**); //ok |

* 对于函数f以及对象obj，在obj上调用f的形式可以有3中：

(1)：f(obj) //f是全局函数（非obj成员函数）

(2)：obj.f() //f是obj的成员函数，obj非指针

(3)：obj->f() //f是obj的成员函数，obj是指针

* 然而，在for\_each的定义中，只接受形如(1)的调用：

|  |
| --- |
| template<class \_lt, class \_Fnl>  inline void for\_each (\_lt \_First, -lt \_Last, \_Fnl& \_Func)  {  for (; \_First != \_Last; ++\_First)  **\_Func(\*\_First);**  } |

* mem fun和mem\_fun\_ref存在，是要让obj的成员函数f可以被调用，并且以形如(1)的方式被调用！

|  |
| --- |
| std::vector<Person \*> v;  v.push\_loack(new Person(L“Tom”, 1));  v.push\_back(new Person(L”Jerry”, 2));  v.push\_back(new Person(L”Michal”, 3));  v.push\_back(new Person(L”Jason”, 4));  v.push\_back(new Person(L”Bill”, 5));  std::for each(v.begin0, v.end(), std::mem\_fun(Person::Print)); |

|  |
| --- |
|  |

* 如果vector中存放的Person对象不是指针，那么可以用mem\_fun\_ref适配

|  |
| --- |
| std::vector<Person> v;  v.push\_loack(new Person(L"Tom”,1));  v.push\_back(new Person(L”jerry”, 2));  v.push\_back(new Person(L"Micheal", 3));  v.push\_back(new Person(L”jason”, 4));  v.push\_back(new Person(L"Bill", 5));  std::for each(v.begin0, v.end(), std::mem\_fun\_ref(&Person::Print)); |

##### 其他值得注意的问题

* std::string/std::wstring与vector<char>/vector<wchar\_t>
  + 单线程情况下涉及对字符串的操作，首选

|  |
| --- |
| std:: string/std::wstring |

* 多线程情况下需注意string是否带引用计数(reference count)
  + 原本reference count的目的是避免不必要的内存分配和字符拷贝
  + 在多线程环境下，避免分配和拷贝所节省下的开销转嫁到了并发控制上
  + 可考虑使用vector<char>/vector<wchar\_t>替代，而vector的实现是不带引用计数的
* 当new出对象并放入容器时，要在销毁容器前delete那些对象

|  |
| --- |
| std::vector<Person \*>v;  v.push\_back(new Person(L"Tom”, 1));  v.push\_back(new Person(L”Jerry”, 2));  v.push\_back(new Person(L”Micheal”, 3));  v.push\_back(new Person(L”Jason”, 4));  v.push\_back(new Person(L”Bill”, 5));  for ( vector<Person\*>::iterator it = v.begin(); it != v.end(), it++) {  delete (\*it);  }  v.clear(); |

* 尽量用算法调用代替手写循环
  + 对对象delete操作，使用for\_each而不是for循环
  + 为此需定义DeleteElement对象并重载operator()

|  |
| --- |
| struct DeleteElement<  template <typename TElement>  void operator() (const TElement\*p) const {  delete pj;  )  )； |

* 使用for each销毁容器中的对象

|  |
| --- |
| std::for\_each(v.begin(), v.end(), DeleteElement()); |

* 通过swap为容器“缩水”
  + 容器的size(大小)和capacity(容量)的区别

|  |
| --- |
| int array[]={1,2,3,4,5,6,7,8,9,10);  std::vector<int> v(array, array+10);  v.reserve(100000); //使得容器的容量预留出100000个可以存放int的空间  ::\_tprintf(TEXT("vector size:%d＼n”),v.size()); //size=10  ::\_tprintf(TEXT("vector capacity:%d＼n”),v.capacity()); //capacity=100000 |

* 使用swap进行缩水

|  |
| --- |
| std::vector<int> (v).swap(v);  ::\_tprintf(TEXT("vector size: %d\n"), v.size()); // size = 10  ::\_tprintf(TEXT("vector capacity: %d\n"), v.capacity()); // capacity = 10  std::vector<int> O.swap(v); //清除v并最小化其容量size=0，capacity=0 |

* 在有对象继承情况下，建立指针的容器而不是对象的容器
  + STL容器装入的对象是原始对象的一个拷贝

|  |
| --- |
| std::vector<Object>Vj  Object obj(…)j  v.push\_back(obj); //push进去的不是原始obj，二是obj的一个拷贝 |

* 如果对象很大，拷贝需要大量性能开销
* 由于继承的存在，拷贝会发生slicing，即：如果以基类对象建立一个容器而插入派生类对象，那么当对象通过基类的拷贝构造函数拷入容器的时候对象的派生部分会被切割

|  |
| --- |
| class SubObject：pu blic Object{…) //继承Object的对象  std::vector<Object>v:  SubObject subObj;  v.push\_back(subObj); // slicing! subObj被当作基类拷贝进vector |

* 在有对象继承情况下，建立指针的容器而不是对象的容器（续）
  + 一个好的做法是建立指针的容器而不是对象的容器
    - 拷贝指针总是很快，开销小
    - 不会产生slicing问题

|  |
| --- |
| class SubObject : public Object { ... } //继承Object的对象  std::vector<Object > V;  Object\* ptrSubObj = new SubObject();  v.push\_back(ptrSubObj); |

### Part 5 泛型算法（Generic Algorithm）

* 非变易算法（Non-mutating Algorithm）
* 变易算法（Mutating Algorithm）
* 排序（Sorting）
* 泛型数值算法（Generalized Numeric Algorithm）

#### 非变易算法概述

* **非变易算法**是一系列模板函数，在不改变操作对象的前提下对元素进行处理，诸如：查找、子序列搜索、统计、匹配等等
* 具体包括：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| for\_each | count | find | count\_if |
| find\_if | mismatch | adjacent\_find | equaI |
| find\_first\_of | search |  |  |

##### for\_each

|  |
| --- |
| template<class \_ InIt, class Fn1> inline  \_Fn1 for\_each(\_InIt \_First, \_ InIt \_Last, \_Fn1 \_Func) |

* 在区间[\_First，Last)上对每一个元素应用Func函数
* 参考“仿函数适配器(mem\_fun/mem\_fun\_ref)”部分的详细说明

##### find

|  |
| --- |
| template<class \_Init, class \_Ty> inline  Inlt find (\_Init \_First, \_ Init \_Last, const \_Ty& \_Val) |

* 对于it∈LFirst，\_Last)，如果\*it==Value则返回该it；如果没找则返回Last
* 举例：

|  |
| --- |
| int elements[] = { 1, 2, 3, 23, 432, 596 };  std: :vector<int> v(elements, elements + 6);  std : : vector<int> : :iterator it = std : : find (v. begin(), v.end(), 23);  if (it != v.end())  { //Found! } |

##### find\_if

|  |
| --- |
| template<class \_ InIt, class \_Pr> inline  Inlt find\_if (\_InIt \_First, \_ InIt \_Last, \_Pr \_Pred) |

* 对于it∈[\_First，\_Last)，如果\_Pred(\*it)==true则返回该it；如果没找则返回Last
* 举例：

|  |
| --- |
| int elements[] = { 1, 2, 3, 23, 432, 596 };  std: :vector<int> v(elements, elements + 6);  std::vector<int>::iterator it = std::find\_if(v.begin(), v.end(),std::bind2nd(std : : greater<int>(),100); |

##### adjacent\_find

|  |
| --- |
| template<class \_Fwdlt> inline  \_Fwdlt adjacent\_find:(\_Fwdlt First, \_Fwdlt \_Last) |

* 对于it∈LFirst，\_Last)，如果\*t==\*(it+1)则返回该it；如果没找则返回\_Last
* 举例：

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| int elements[] = { 1, 2, 3, 100, 100, 5 };  int n = sizeof(elements) / sizeof(int);  std: :vector<int> v(elements, elements + n);  it = std ::adjacent\_find(v.begin(), v.end()); | |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 1 | 2 | 3 | 100 | 100 | 5 | |

|  |
| --- |
| template<class \_Fwdlt, class \_Pr> inline  \_Fwdlt adjacent\_find (\_Fwdlt First, \_Fwdlt \_Last, \_Pr \_Pred) |

* 对于it∈(\_First，\_Last)，如果\_Pred(\*it，\*(it+1)==true则返回该it；如果没找则返回\_Last

举例：

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| int elements[] = { 1, 2, 3, 100, 100, 5};  sl:d: :vector<int> v(elements, elements + 6);  it = std: :adjacent\_find(v.begin(), v.end(),  std : : greater<int>());  // output: 100 | |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 1 | 2 | 3 | 100 | 100 | 5 | |

##### find\_first\_of

|  |
| --- |
| template<class \_Fwdlt1, class \_Fwdlt2> inline  \_Fwdlt1 find\_first\_of (\_Fwdlt1 First1, \_Fwdlt1 \_Last1, \_Fwdlt2 \_First2, \_Fwdlt2 \_Last2) |

* 返回在区间[\_First1，Last1）中的it1，使得对于区间(\_First2，\_Last2)中某个it2，满足：\*itl==\*it2；如果没找则返回Last

|  |
| --- |
| template<class \_Fwdlt1, class \_Fwdlt2, class \_Pr> inline  Fwdlt1 find first\_of(\_Fwdlt1 \_First1, \_Fwdlt1 \_Last1, \_Fwdlt2 \_First2, \_Fwdlt2 \_Last2, \_Pr Pred) |

* 返回在区间[\_First1，Last1)中的it1，使得对于区间(\_First2，\_Last2)中某个it2，满足：\_Pred(\*itl，\*it2)==true;如果没找则返回Last

##### count

|  |
| --- |
| template<class \_Inlt, class \_Ty> inline  typename iterator\_ traits<\_Inlt>::difference\_type  count(\_Inlt \_ First, \_Inlt \_Last, const \_Ty& \_Val) |

* 返回在区间LFirstl，\_Lastl)中满足(\*itt==\_VaI)的迭代器的个数
* 举例：

|  |
| --- |
| std: :vector<int> v(elements, elements + 6);  int n = std: :count(v.begin(), v.end(), 100);  //output：2 |

##### count\_if

|  |
| --- |
| template<class \_Inlt, class \_Ty, class \_Pr> inline  typename iterator\_ traits<Inlt>::difference\_type  count\_if (\_Inlt \_First, \_Inlt \_Last, \_Pr \_Pred) |

* 返回在区间(\_First1，\_Last1)中满足\_Pred(\*it)==true的迭代器的个数
* 举例：

|  |
| --- |
| int elements[] = { 1, 2, 3, 100, 10, 5 };  std: :vector<int> v(elements, elements + 6);  int n = std: :count\_if(v.begin(), v.end(), std : : bind2nd( std : : less<int>(), 100);  //output：4 |

##### mismatch

|  |
| --- |
| template<class \_Inlt1, class \_Inlt2> inline  pair<\_lnlt1, \_Inlt2> mismatch(\_Inlt1 \_First1, \_Inlt1 Last1, \_Inlt2 \_First2, \_Inlt2 \_Last2) |

* 查找在区间[\_First1, \_Last1)中的i1，使得：\*i1 != \*(\_First2+(i1-First1)，返回pair<i1,First2+(i1-\_First1)>；如果找不到则返回pair<\_Last1, \_First2+(\_Last1-\_First1)>
* 举例：

|  |  |
| --- | --- |
| int elements[] = { 1, 2, 3, 100, 100, 5 };  int elements2[] = { 1, 2, 3, 200 };  std: :vector<int> v(elements, elements + 6);  std: :vector<int> v2(elements2, elements2 + 4);  typedef std::vector<int>::iterator Intlteartor;  std: :pair<lntlteartor, Intlteartor> p =  std : : mismatch(v.begin(),  v.end(),v2.begin(), v2.end()); |  |

|  |
| --- |
| templal:e<class \_Inlt1, class \_Inlt2, class \_Pr> inline  pair<\_lnltl, \_Inlt2> mismatch (\_Inlt1 \_Firstl, \_Inlt1 \_Last1,\_Inlt2 \_First2,  \_Inlt2 \_Last2, \_Pr \_Pred) |

* 查找在区间[\_First1, \_Last1）中的i1，使得：\_Pred(\*i1!,\*(\_First2+(i1-\_First1))== false，返回pair<il, \_First2+(i1-Firstl)>；如果找不到则返回pair<\_Last1,First2+(\_Last1-First1)>
* 举例：

|  |  |
| --- | --- |
| int elements[] = { 1, 2, 3, 100, 100, 5 };  int elements2[] = { 1, 2, 3, 200 };  std: :vector<int> v(elements, elements + 6);  std: :vector<int> v2(elements2, elements2 + 4);  typedef std::vector<int>::iterator Intlteartor;  std: : pair<lntlteartor, Intlteartor> p =  std : :mismatch(v.begin(), v.end(),  v2.begin(), v2.end(),  std : :greater\_equal<int>()); |  |

##### equal

|  |
| --- |
| template<class \_Inlt1, class Inlt2> inline  bool equal(\_Inlt1 \_First1, \_Inlt1 \_Last1, \_Inlt2 \_First2, \_Inlt2 \_Last2) |

* 对于it∈[\_First1，Last1)，如果：\*il==\*(\_First2+(i1- \_Firstl))，则返回true；如果找不到则返回false.

|  |
| --- |
| template<class \_Inlt1, class \_Inlt2, class \_Pr> inline  bool equal(\_Inlt1 \_First1, \_Inlt1 \_Last1, \_Inlt2 \_First2, \_Inlt2 \_Last2,\_Pr \_Pred) |

* 对于it∈[\_Firstl, \_Last1)，如果： Pred(\*il, \*(\_First2+(i1- \_Firstl))== true，则返回true；如果找不到则返回false.

##### search

|  |
| --- |
| template<class Fwdlt1,class \_Fwdlt2> inline  Fwdlt1 search(\_Fwdlt1 First1, \_Fwdlt1 \_Last1, \_Fwdlt2 \_First2, \_Fwdlt2 \_Last2) |

* 查找在区间[\_First1, \_Last1)中的it1，使得对于每一个在区间[\_First2, \_Last2)中的it2，满足：\*(itl+(it2 -First2))==\* it2．返回it1；如果找不到则返回Last1
* 举例：

|  |  |
| --- | --- |
| int elements[] = { 1, 2, 3, 100, 100, 5};  int elements2[] = { 3, 100, 100, 5 },  std: :vector<int> v(elements, elements + 6);  std::vector<int> v2(elements2, elements2 + 4),  it = std::search(v.begin(), v.end(),  v2.begin(), v2.end());  // \*it is "3" |  |

|  |
| --- |
| template<class \_Fwdlt1, class \_Fwdlt2, class \_Pr> inline  Fwdlt1 search(\_Fwdlt1 \_First1, \_Fwdlt1 \_Last1, \_Fwdlt2 \_First2, \_Fwdlt2 \_Last2,\_Pr Pred) |

* 查找在区间[\_First1,\_Last1)中的it1，使得对于每一个在区间[\_First2,\_Last2)中的it2，满足：\_Pred(\*(it1+(it2-\_First2),\*it2)==true.返回it1;如果找不到则返回\_Last1
* 举例：

|  |  |
| --- | --- |
| int elements[] = { 1, 2, 3, 100, 100, 5 };  int elements2[] = { 6, 200, 200, 10 };  std: :vector<int> v(elements, elements + 6);  std: :vector<int> v2(elements2, elements2 + 4);  it = std : : search(v.begin(), v.end(),v2.begin(), v2.end(), | template <typename T>  public std: :binary\_function<T, T, bool> {  bool operator()(const T& left, const T& right) const {  return (right == (left \* 2);  }  }; |

#### 变易算法概述

* 变易算法是指那些改变容器中对象的操作

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| copy | swap | transform | replace | fill |
| generate | remove | unique | reserve | rotate |
| random\_shuffle | partition |  |  |  |

##### copy

|  |
| --- |
| template<class Inlt, class \_Outlt> inline  Outlt copy(\_Inlt \_First, \_Inlt \_Last, \_Outlt \_Dest) |

* 将对象从[\_First，\_Last)拷贝至[\_Dest，\_DestLast)，其中：\_DestLast=Dest+(\_Last -First)。此算法是按照顺序拷贝的：First，\_ First+1,..., \_Last -1
* copy司以实现将容器中的对象左移(Left shifting)
* 举例：

|  |
| --- |
| int elements[] =[1, 2, 3, 100, 100, 5];  std::vector<int> v(elements, elements+6);  std::vector<int> v2(v. size()); //注意要预留空间  std::copy(elements, elements+6, v2.begin(); //v拷贝至v2  std::copy(v2.begin()+2, v2.end(), v2.begin(); //v2向左移2个元素 |

* copy\_n：

|  |
| --- |
| template<class Inlt, class \_Diff , class \_OutIt>  \_OutIt copy\_n(\_InIt, \_First, \_Diff \_Count, \_OutIt \_Dest) |

* 将对象从[\_First，\_First+Count)拷贝至[\_Dest，\_Dest+Count)
* 举例：

|  |
| --- |
| int elements[]=[1, 2, 3, 100, 100, 5);  std::vector<int> v(elements, elements+6);  std::vector<int> v2(v. size()); //注意要预留空间  std::copy\_n(elements, 4,v2. begin()); |

* copy\_backward

|  |
| --- |
| template<class \_Bidlt1, class \_Bidlt2> inline  \_Bidlt2 copy\_backward (\_Bidlt1 First, \_Bidlt1 \_Last, \_Bidlt2 \_Dest) |

* 将对象从[\_First，\_Last)拷贝至[\_DestFirst，Dest)，其中\_DestFirst=\_Dest - (\_Last - \_First)
* copy\_backward可实现将容器中的对象右移(Right shifting)
* 举例：

|  |  |
| --- | --- |
| int elements[] = { 1, 2, 3, 100, 100, 5 };  std::vector<int> v2(elements, elements + 6);  std::copy\_backward(v2.begin(), v2 . end()-2,  v2.end()); |  |

* copy\_if

|  |
| --- |
| template<class Inlt, class \_Outlt, class \_Pr> inline  \_Outlt copy\_if(\_Inlt \_First, \_Inlt \_Last, \_Outlt \_Dest, \_Pr \_Pred) |

* 对于it∈[\_First，\_Last)，将满足\_Pred(\*it)==true的对象从[\_First，\_Last)拷贝至LDest，\_Dest+(\_Last –First)
* 举例：

|  |
| --- |
| int elements[] = { 1, 2, 3, 100, 100, 5 };  std: :vector<int> v(elements, elements + 6);  std: :vector<int> v2(v.size(); //注意要预留空间  std : :copy\_if(v. begin(),v.end(), v2. begin(), std::bind2nd(std::less<int>(), 100);  // v2: 1, 2, 3, 5 |

##### swap

|  |
| --- |
| template<class \_Ty> inline  void swap(\_Ty& \_Left, \_Ty& \_Right) |

* 交换对象\_Left和\_Right
* 举例：

|  |
| --- |
| int elements1[] = { 1, 2, 3, 100, 100, 5 };  int elements2[] = { 6, 200, 200, 10 };  std: :vector<int> v1(elements1, elements1 + 6);  std: :vector<int> v2(elements2, elements2 + 4);  std : : swap(v1, v2); |

* swap\_ranqes

|  |
| --- |
| template<class \_Fwdlt1, class \_Fwdlt2> inline  \_Fwdlt2 swap\_ranqes(\_Fwdlt1 \_First1, \_Fwdlt1 \_Last1, \_Fwdlt2 \_Dest); |

* 对于0 <= i< (\_Last1-\_First1)，交(\_First1,\_Last1)必须包含在区间
* 举例：

|  |  |
| --- | --- |
| int elementsl[] = {1, 2, 3, 100, 100, 5 };  int elements2[] = { 6, 200, 200, 10 };  std: :vector<int> vl(elementsl, elementsl + 6);  std: :vector<int> v2(elements2, elements2 + 4);  std : : swap\_ranges(v2.begin(), v2 .end(),  vl. begin()); |  |

##### transform

|  |
| --- |
| template<class Inlt, class \_Outlt, class \_Fn1> inline  Outlt transform(\_Inlt \_First, \_Inlt \_Last, \_Outlt Dest, \_Fnl \_Func) |

* 对于[\_First1，\_Last)中每个it，应用\_Func(\*it)，并且将\_Func执行的结果放入\_Dest指定的区间，即：\*(\_Dest+i)= \_Func(\*(\_First+i))，其中0 <= i < Last1-First1
* 举例：

|  |
| --- |
| int elementsl[] = { 1, 2, 3, 100, i00, 5};  std : :vector<int> vl(elementsl, elementsl + 6);  std : : vector<int> v2(vl. size());  std ::transform(v2.begin (), v2.end(), v2 . begin(), std : : negate<int>());  //output： -1, -2, -3, -100, -100, -5 |

|  |
| --- |
| template<class \_Inlt1, class \_Inlt2, class Outlt, class Fn2> inline  Outlt transform(\_lnlt1 \_First1, \_Inlt1 \_Last1, \_Inlt2 \_First2, \_Outlt \_Dest, \_Fn2 \_Func) |

* 对于[\_First1, \_Last1)中每个it1、[\_First2, \_First2+(\_Last1 –First1)中的每个it2,应用\_Func(\*it, \*it2)，并且将\_Func执行的结果放入\_Dest-定的区间，即：\*(LDest+i)=Func(\*(\_Firstl+i),\*(\_First2+i))，其中0 < =i < Last1 –First1
* 举例：

|  |  |
| --- | --- |
| int elements1[] = { 1, 2, 3, 4, 5, 6 };  int elements2[] = { 10, 20, 30, 40 };  std: :vector<int> v2(elements1, elementsl + 6);  std: :vector<int> v1(elements2, elements2 + 4);  std : :transform ( v1.begin (), v1. end(),  v2.begin(),v2. begin (), std : : plus<int>()); |  |

##### replace

|  |
| --- |
| template<class \_Fwdlt, class \_Ty> inline  void replace(\_Fwdlt \_First, \_Fwdlt \_Last, const \_Ty& \_Oldval, const \_Ty& \_Newval) |

* 对于区间[\_First,\_Last)中的每个迭代器it，如果满足：\*it==Oldval，则执行：\*it=Newval
* 举例：

|  |
| --- |
| int elements1[] = { 1, 2, 3, 100, 200, 5};  std::vector<int> v1(elements1, elements1+6);  std::replace(v1.begin(),v1.end(),100,10);  // output: 1, 2, 3, 10, 200, 5 |

###### replace\_if

|  |
| --- |
| template<class \_Fwdlt, class \_Pr, class \_Ty> inline  void replace\_if(\_Fwdlt \_First, \_Fwdlt \_Last, \_Pr \_Pred, const \_Ty& \_Val) |

* 对于区间LFirst，\_Last)中的每个迭代器it，如果满足：\_Pred(\*it)==true，则执行：\*it=Val
* 举例：

|  |
| --- |
| int elements1[] = { 1, 2, 3, 100, 200, 5 };  std::vector<int> v1(elements1, elements1 + 6);  std::replace(v1. begin(),v1. end(),std : : bind2nd (std : :greater\_equal<int>(), 100),0);  //将v1中所有大于等于100的元素替换为0  //output: 1, 2, 3,0,0,5 |

###### replace\_copy

|  |
| --- |
| template<class \_Inlt, class \_Outlt, class \_Ty> inline  Outlt replace\_copy(\_Inlt \_First, \_Inlt \_Last, \_Outlt \_Dest,const \_Ty& \_Oldval,const \_Ty& \_Newval) |

* 将元素从[\_First，\_Last) 拷贝至[\_Dest，Dest+(\_Last –First)，并且将 [\_First，\_Last)中满足\*it==Oldval的元素替换为\_Newvalue
* 举例：

|  |
| --- |
| int elements1[] = { 1, 2, 3, 100, 200, 5 };  std : :vector<int> v1(elements1, elements1 + 6);  std : :vector<int> v2(v1. size());  std : : replace\_copy(v1.begin(), v1.end(), v2.begin(), 100,0);  // v2: 1, 2, 3, 0, 200, 5 |

###### replace\_copy\_if

|  |
| --- |
| template<class Inlt, class Outlt, class \_Pr, class \_Ty> inline  \_OutIt replace\_copy\_if(\_InIt \_First, \_InIt \_Last, \_OutIt \_Dest, \_Pr \_Pred, const \_Ty & \_Val) |

* 将元素从[\_First，\_Last)拷贝至[\_Dest，Dest+(\_Last-\_First))中满足\_Pred(\*it,\_Oldval)== true的元素替换为\_Newval
* 举例：

|  |
| --- |
| int elements1[] =[1, 2, 3, 100, 200, 5);  std::vector<int> v1(elements1, elements1+6);  std::vector<int> v2(v1.size(》;  std::replace\_copy\_if( v1. begin(), v1.end(),v2. begin(),std::bind2nd(std::greater\_equal<int>(), 100), 0);  //将v1中所有大于等于100的元素替换为0并拷贝至v2  //v2: 1, 2, 3, 0, 0, 5 |