转换函数

转换函数分为两类: **将本类型转换为其他类型**和将**其他类型转换为本类型**.

将本类型转换为其他类型

定义操作符`类型名()`即可指定将本类型变量转换为其他类型的函数,示例如下:

```
class Fraction {
public:
    Fraction(int num, int den = 1)
            : m_numerator(num), m_denominator(den) {}

    operator double() const {   // 重载类型转换运算符 double()
        return (double)(m_numerator * 1.0 / m_denominator);
    }

private:
    int m_numerator;        // 分子
    int m_denominator;      // 分母
};
```

这种类型转换有可能是隐式的,如下所示:

```
Fraction f(3, 5);
double d = f + 4;   // 隐式转换,调用 Fraction::operator double() 函数将f转换为 double 类型变量
```

对于语句`f + 4`,编译器可能会去寻找以下重载了运算符`+`的两个函数

- `Fraction::operator+(double)`
- `operator+(Fraction, double)`

若这两个函数均没找到,编译器就去寻找能否将`Fraction`类型转换为`double`类型,找到了类型转换函数`Fraction::operator double()`,发生了隐式转换.

在上面例子中,若定义了重载运算符`+`的函数,就不会再发生隐式转换.

```
class Fraction {
public:
    Fraction(int num, int den = 1)
            : m_numerator(num), m_denominator(den) {}

    explicit operator double() const {  // 重载类型转换运算符 double()
        return (double) (m_numerator * 1.0 / m_denominator);
    }

    double operator+(double d) const {  // 重载运算符 +
        return (double) (m_numerator * 1.0 / m_denominator) + d;
    }

private:
    int m_numerator;
    int m_denominator;
};
```

```
Fraction f(3, 5);
double d = f + 4;   // 直接调用 Fraction::operator+(double),不发生类型转换
```

将其他类型转换为本类型

类似地,也有可能通过隐式调用构造函数将其他类型的变量转换为本类型,示例如下:

```
class Fraction {
public:
    Fraction(int num, int den = 1)
            : m_numerator(num), m_denominator(den) {}

    Fraction operator+(const Fraction &f) const {      // 重载运算符 +
        return Fraction(m_numerator + f.m_numerator, m_denominator + f.m_denominator);
    }

private:
    int m_numerator;
    int m_denominator;
}
```

```
Fraction f1(3, 5);
Fraction f2 = f1 + 4;   // 调用 Fraction 类构造函数将 4 转换为 Fraction 类型变量
```

在上面例子中,编译器找不到函数`Fraction::operator+(int)`,就退而求其次,先隐式调用`Fraction`类的构造函数将`4`转换为`Fraction`类型变量,再调用`Fraction::operator+(Fraction)`函数实现`+`运算.

使用`explicit`关键字避免隐式转换

使用`explicit`关键字可以避免函数被用于隐式类型转换

```
class Fraction {
public:
    explicit Fraction(int num, int den = 1)     // 避免隐式调用构造函数进行类型转换
            : m_numerator(num), m_denominator(den) {}

    explicit operator double() const {          // 避免隐式调用成员函数进行类型转换
        return (double) (m_numerator * 1.0 / m_denominator);
    }

private:
    int m_numerator;
    int m_denominator;
};
```

```
Fraction f1(3, 5);
Fraction f2 = f1 + 4;   // 编译不通过: error: no match for operator+...
double d = f1 + 4;      // 编译不通过: error: no match for operator+...
```

使用`explicit`关键字修饰函数后,上述隐式类型转换将不会再发生.

伪指针(pointer-like classes)和伪函数(function-like classes)

伪指针(pointer-like classes)

伪指针(pointer-like classes)是指作用类似于指针的对象,实现方式是重载`*`和`->`运算符.

标准库中的`shared_ptr`类是一个典型的伪指针类,代码如下:

```
template<class T>
class shared_ptr {
public:
    T& operator*() const {      // 重载 * 运算符
        return *px;
    }

    T *operator->() const {     // 重载 -> 运算符
        return px;
    }
```

```
    //...

private:
    T *px;
    // ...
};
```

```
int *px = new Foo;
shared_ptr<int> sp(px);

func(*sp);          // 语句1: 被解释为 func(*px)
sp -> method();     // 语句2: 被解释为 px -> method()
```

对于语句1,形式上解释得通,重载运算符`*`使得`func(*sp)`被编译器解释为`func(*px)`

对于语句2,形式上有瑕疵,重载运算符`->`使得`sp ->`被编译器解释为`px`,这样运算符`->`就被消耗掉了,只能理解为`->`运算符不会被消耗掉.

标准库中的迭代器`_List_iterator`也是一个伪指针类,代码如下:

```
template<class _Tp, class Ref, class Ptr>
struct _List_iterator {
    _List_iterator& operator++() { ...  }
    _List_iterator operator++(int) { ...    }
    _List_iterator& operator--(){ ...   }
    _List_iterator operator--(int)  { ...   }
    bool operator==(const _Self &__x) { ... }
    bool operator!=(const _Self &__x) { ... }
    Ref operator*() { ...   }
    Ptr operator->() { ...  }
};
```

`_List_iterator`除了重载`*`和`->`运算符之外,还重载了原生指针的其他运算符.

伪函数

伪函数(function-like classes)是指作用类似于函数的对象,实现方式是重载`()`运算符,标准库中的几个伪函数如下:

```
template<class T>
struct identity {
    const T &
    operator()(const T &x) const { return x; }
};

template<class Pair>
struct select1st {
    const typename Pair::first_type &
    operator()(const Pair &x) const { return x.first; }
};

template<class Pair>
struct select2nd {
```

```
    const typename Pair::second_type &
    operator()(const Pair &x) const { return x.second; }
};
```

模板

类模板、函数模板和成员模板

- **类模板**实例化时需要指定具体类型:

```
template<typename T>
class complex {
public:
    complex(T r = 0, T i = 0)
        : re(r), im(i)
    {}

    complex &operator+=(const complex &);

    T real() const { return re; }
    T imag() const { return im; }

private:
    T re, im;
}
```

```
// 类模板实例化时需要指定具体类型
complex<double> c1(2.5, 1.5);
complex<int> c2(2, 6);
```

- **函数模板**在调用时编译器会进行参数推导(argument deduction),因此不需要指定具体类型:

```
template<class T>
inline const T &min(const T &a, const T &b) {
    return b < a ? b : a;
}
```

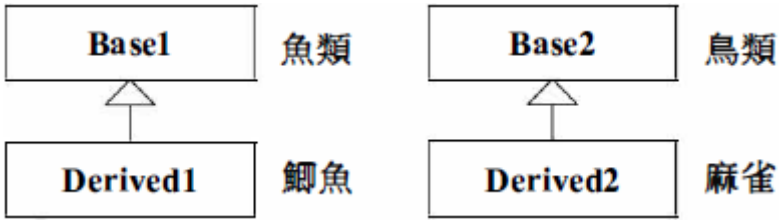
```
// 函数模板实例化时不需要指定具体类型
min(3, 2);
min(complex(2, 3), complex(1, 5));
```

- **成员模板**用于指定成员函数的参数类型:

```
template<class T1, class T2>
struct pair {
    typedef T1 first_type;
    typedef T1 second_type;

    T1 first;
    T2 second;

    pair() : first(T1()), second(T2()) {}
```

```
    pair(const T1 &a, const T2 &b) : first(a), second(b) {}

    template<class U1, class U2>
    pair(const pair<U1, U2> &p) :first(p.first), second(p.second) {}
}
```

这种结构通常用于实现子类到父类的转换.




```
pair<Derived1, Derived2> p1;    // 使用子类构建对象
pair<Base1, Base2> p2(p1);      // 将子类对象应用到需要父类的参数上
```

模板特化和与偏特化

模板特化

模板特化用来部分针对某些特定参数类型执行操作:

```
template<class Key>
class hash {
    // ...
};

template<>
struct hash<char> {
    size_t operator()(char x) const { return x; }
};

template<>
struct hash<int> {
    size_t operator()(char x) const { return x; }
};

template<>
struct hash<long> {
    size_t operator()(char x) const { return x; }
};
```

上述代码实现针对 `char`、`int` 和 `long` 这三个数据类型使用指定代码创建对象,其它数据类型使用默认的泛化操作创建对象.

模板偏特化

模板偏特化有两种形式:

1. 个数的偏: 指定部份参数类型
2. 范围的偏: 缩小参数类型的范围

示例如下:

1. 个数的偏:

```
template<typename T, typename Alloc>
class vector{
// ...
};

template<typename Alloc>
class vector<bool, Alloc>{  // 指定了第一个参数类型
// ...
};
```

2. 范围的偏

```
template<typename T>
class C{
// 声明1...
};

template<typename T>
class C<T*>{    // 指定了参数类型为指针类型
// 声明2...
};
```

```
C<string> obj1;     // 执行声明1
C<string*> obj2;    // 执行声明2
```

模板模板参数

模板模板参数是指模板的参数还是模板的情况

```
template<typename T, template<typename U> class Container>
class XCls {
private:
    Container<T> c;
public:
    // ...
};
```

在上面例子里,`XCls`的第二个模板参数`template<typename U> class Container`仍然是个模板,因此可以在类声明内使用`Container<T> c`语句对模板`Container`进行特化,使用方式如下:

```
XCls<string, list> mylst1;  // mylst1的成员变量c是一个list<string>
```

上面语句构造的`mylst1`变量的成员变量`c`是一个特化的类`list<string>`.仅从模板模板参数的语法来说,上面语句是正确的,但是实际上不能编译通过,因为`list`模板有2个模板参数,第二个模板参数通常会被省略,但在类声明体内不能省略其他模板参数,因此可以使用`using`语法达到目的:

```
template<typename T>
using LST = list<T, allocator<T>>

XCls<string, list> mylst2;  // mylst2的成员变量c是一个list<string>
```

这样就能够编译通过了,`mylst2`的成员变量`c`是一个特化的`list<string>`.

下面这种情况不属于模板模板参数:

```
template<class T, class Sequence=deque<T>>
class stack {
    friend bool operator== <>(const stack &, const stack &);
    friend bool operator< <>(const stack &, const stack &);

protected:
    Sequence c; // 底层容器
    // ...
};
```

上面例子中`stack`类的第二模板参数`class Sequence=deque<T>`不再是一个模板,而是一个已经特化的类,在实现特化`stack`的时候需要同时特化`class Sequence=deque<T>`的模板参数.

```
stack<int> s1;
stack<int, list<int>> s2;    // 特化第二模板参数时应传入特化的类而非模板
```

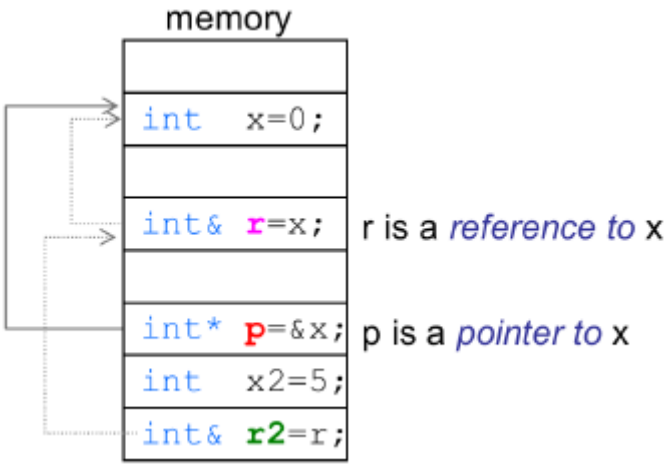
在上面的例子中`s2`在特化时第二模板参数被设为`list<int>`,是一个特化了的类,而非模板参数,实际上如果愿意的话,甚至可以将第二模板参数设为`list<double>`,与第一模板参数`T`不同,也能编译通过;而模板模板参数就不能这样了,模板模板参数的特化是在类声明体中进行的,类声明体里制定了使用第一模板参数来特化第二模板参数.

引用

声明**引用**(reference)时候必须赋初值,指定其代表某个变量,且之后不能再改变改引用的指向.对引用调用`=`运算符同时改变引用和其指向变量的值,不改变引用的指向.

```
int x = 0;
int *p = &x;
int &r = x;      // r代表x,现在r,x都是0

int x2 = 5;
r = x2;          // r不能重新代表其他变量,现在r,x都是5

int &r2 = r;     // 现在r2,r,x都是5(r2和r都代表x)
```

其内存结构如下所示:



引用的假象

虽然在实现上,几乎所有的编译器里引用的底层实现形式都是指针,但C++制造了以下两个**假象**,确保对于使用者来说引用和其指向的变相本身是一致的:

1. 引用对象和被指向的对象的大小相同.(`sizeof(r)==sizeof(x)`)
2. 引用对象和被指向的对象地址相同.(`&x==&r`)

下面程序展示了这两点:

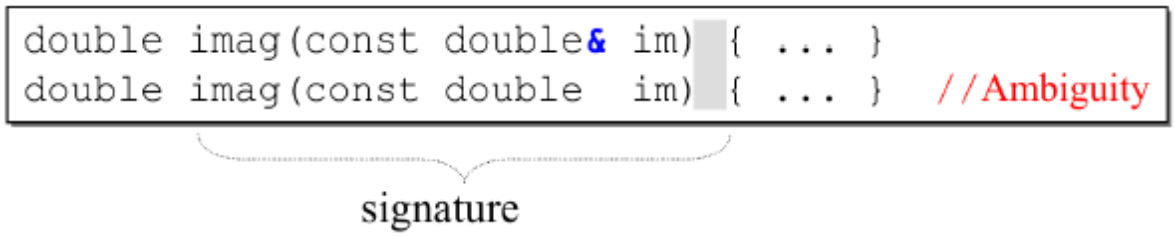
```
typedef struct Stag { int a, b, c, d; } S;

int main(int argc, char **argv) {
    double x = 0;
    double *p = &x;     // p指向x,p的值是x的地址
    double &r = x;      // r代表x,现在r,x都是0

    cout << sizeof(x) << endl;  // 8
    cout << sizeof(p) << endl;  // 4, 指针大小为4字节
    cout << sizeof(r) << endl;  // 8, 假象: r的大小和x相同,屏蔽了r底层的指针

    cout << p << endl;      // 0065FDFC, x的地址
    cout << *p << endl;     // 0
    cout << x << endl;      // 0
    cout << r << endl;      // 0065FDFC
    cout << &x << endl;     // 0065FDFC
    cout << &r << endl;     // 0065FDFC, 假象: r的地址就是x的地址,屏蔽了r底层的指针

    S s;
    S &rs = s;
    cout << sizeof(s) << endl;      // 16
    cout << sizeof(rs) << endl;     // 15
    cout << &s << endl;             // 0065FDE8
    cout << &rs << endl;            // 0065FDE8

    return 0;
}
```

引用的用途:引用被用作美化的指针

在编写程序时,很少将变量类型声明为引用,引用一般用于声明**参数类型**(parameter type)和**返回值类型**(return type).

```
// 参数类型声明为引用,不影响函数体内使用变量的方式
void func1(Cls obj) { opj.xxx(); }           // 值传递参数
void func2(Cls *Pobj) { pobj->xxx(); }       // 指针传递参数,函数体内使用变量的方式需要修改
void func3(Cls &obj) { obj.xxx(); }          // 引用传递参数,函数体内使用变量的方式与值传递相同

// 参数类型声明为引用,不影响参数传递的方式
Cls obj;
func1(obj);      // 值传递参数
func2(&obj);     // 指针传递参数,传递参数时需要对参数作出修改
func3(obj);      // 引用传递参数,传递参数时不需对参数做出修改
```

值得注意的是,因为引用传递参数和值传递参数的用法相同,所以两个函数的**函数签名**(signature)相同,不能同时存在.



有意思的是,**指示常量成员函数**的`const`也是函数签名的一部分,因此`const`和`non-const`的同名成员函数可以在同一类内共存.

对象模型

理解**对象模型**,才能真正理解**多态**和**动态绑定**.

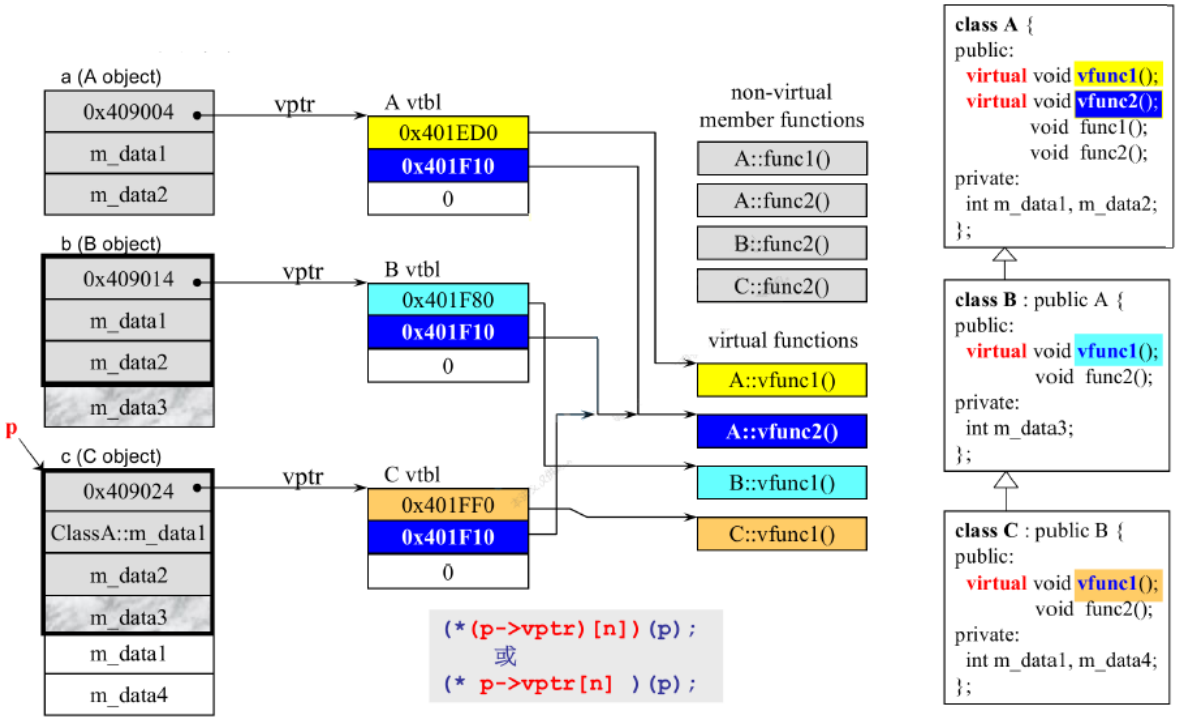
成员函数和成员变量在内存中的分布

下面程序在内存中的布局如下所示:

```
class A {
public:
    virtual void vfunc1();
    virtual void vfunc2();
    void func1();
    void func2();
private:
    int m_data1;
    int m_data2;
};

class B : public A {
public:
    virtual void vfunc1();
    void vfunc2();
private:
    int m_data3;
};
```

```
19
20  class C : public B {
21  public:
22      virtual void vfunc1();
23      void vfunc2();
24  private:
25      int m_data1;
26      int m_data4;
27  };
```

其在内存中的布局如下图所示:



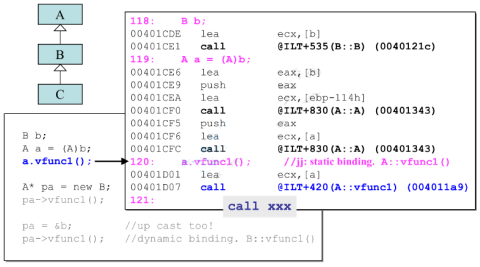
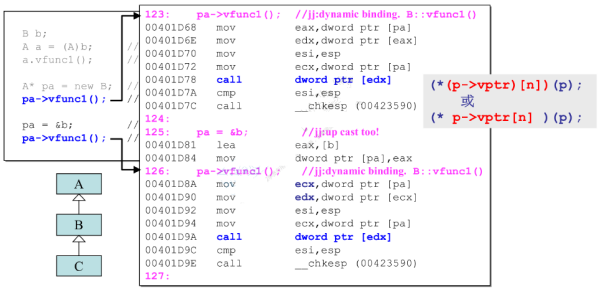
先看成员变量部分: 对于成员变量来说,每个子类对象重都包含父类的成分,值得注意的是,`C`类的`m_data1`字段和父类`A`类的字段`m_data1`相同,这两个字段共存于`C`类的对象中.

再看函数的部分,每个含有虚函数的对象都包含一个特殊的指针`vptr`,指向存储函数指针的虚表`vtbl`.编译器根据`vtbl`表中存储的函数指针找到虚函数的具体实现.这种编译函数的方式被称为**动态绑定**.

静态绑定和动态绑定

- 对于一般的非虚成员函数来说,其在内存中的地址是固定的,编译时只需将函数调用编译成`call`命令即可,这被称为**静态绑定**.
- 对于虚成员函数,调用时根据虚表`vtbl`判断具体调用的实现函数,相当于先把函数调用翻译成`(*(p->vptr)[n])(p)`,这被称为**动态绑定**.

静态绑定和动态绑定编译出的汇编代码如下所示:

非虚成员函数的静态绑定	虚函数的动态绑定
	

虚函数触发动态绑定的条件是同时满足以下3个条件:

1. 必须是通过指针来调用函数.(实测,通过`.`运算符调用不会触发动态绑定)
2. 指针类型是对象的本身父类.
3. 调用的是虚函数.

常量成员函数

不改变成员变量的成员函数被称为常量成员函数,在函数体前需要有`const`修饰,在上一节课的笔记中可以看到,若常量成员函数不加以`const`修饰,常量对象就无法调用该函数.

是否可以调用	常量对象(const object)	可变对象(non-const object)
常量成员函数(保证不修改成员变量)	✓	✓
非常量成员函数(有可能修改成员变量)	✕	✓

指示常量成员函数的`const`被视为函数签名的一部分,也就是说`const`和`non-const`版本的同名成员函数可以同时存在.

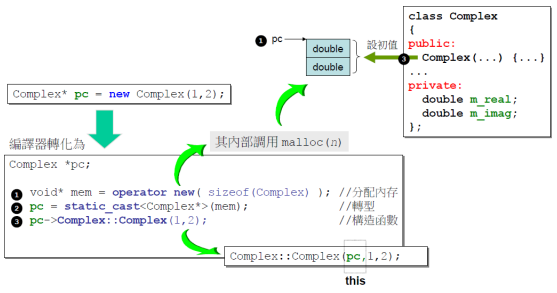
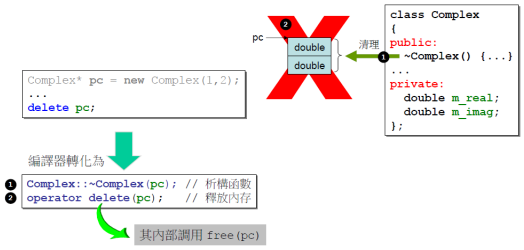
两个版本的同名函数同时存在时,常量对象只能调用`const`版本的成员函数,非常量对象只能调用`non-const`版本的成员函数.

在STL的`string`类重载`[]`运算符时,就同时写了`const`和`non-const`版本的实现函数:

```
class template std::basic_string<...> {
    // ...

    charT operator[] (size_type pos) const {        // 常量成员函数,只有常量对象才能调用该函数
        // 不用考虑copy on write
        // ...
    }

    reference operator[] (size_type pos) const {    // 非常量成员函数,只有非常量对象才能调用该函数
        // 需要考虑copy on write
        // ...
    }
}
```

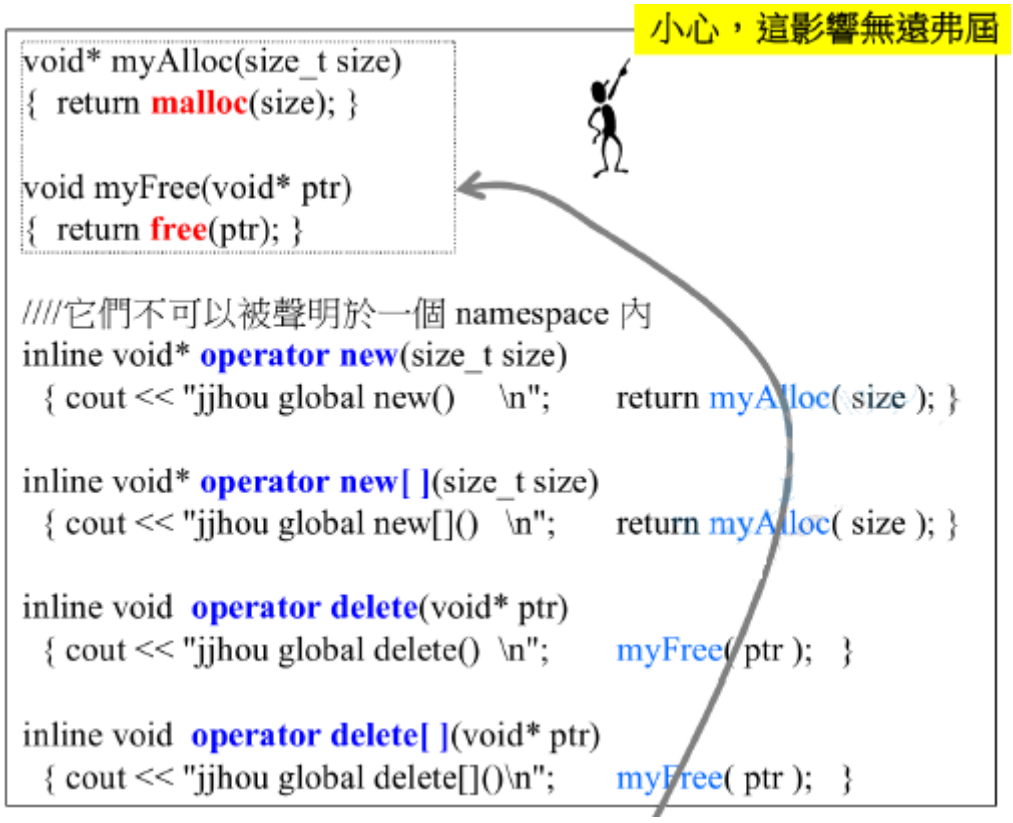
new和delete

区分 new 表达式和 new 运算符.我们一般程序中写的是 new 表达式,在上一节课的笔记中可以看到, new 表达式和 delete 表达式会被翻译成多条语句,其中用到了 new 运算符和 delete 运算符.

new 表达式的解析	delete 表达式的解析
	

new和delete运算符

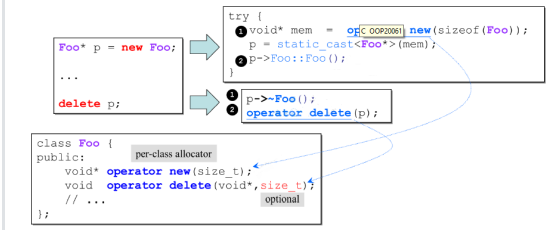
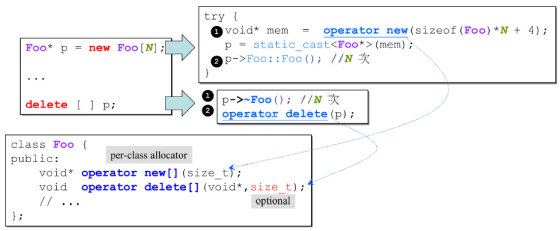
默认的 new 和 delete 运算符是通过 malloc 和 free 函数实现的,重载这四个函数会产生很大影响,因此一半不应重载这4个函数.



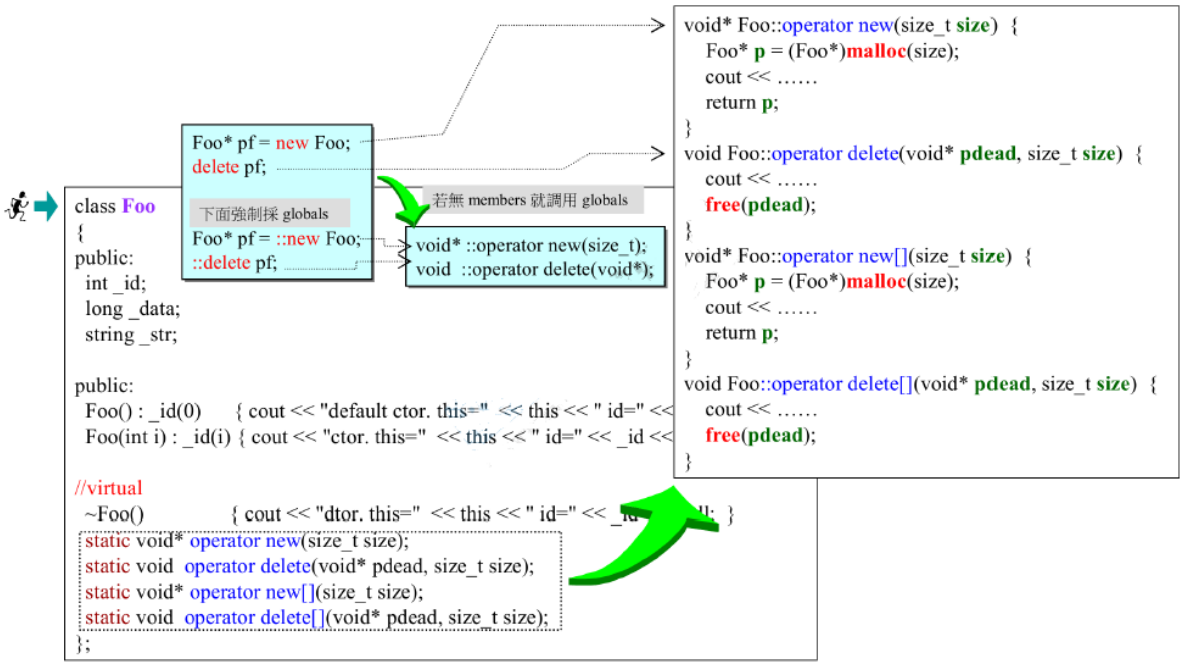
重载new和delete运算符

可以在类定义中重载 new 、 delete 、 new[] 和 delete[] 运算符,重载之后 new 语句创建该类别实例时会调用重载的 new 运算符.

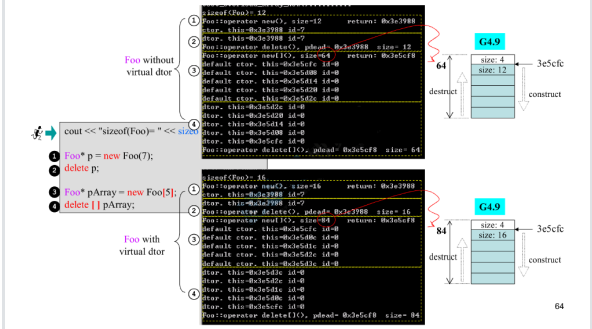
若重载之后却仍要使用默认的 new 运算符,可以使用 ::new 和 ::delete 语句.

重载 new、delete 运算符	重载 new[]、delete[] 运算符
	

下面例子演示了分别使用重载的 new、delete 运算符和原生 new、delete 运算符的程序运行结果,虫子啊函数的实现如下所示:



程序输出如下所示:

调用重载 new、delete、new[]、delete[] 运算符	调用默认 new、delete、new[]、delete[] 运算符
	

从上面程序的执行结果中,可以看出以下几点:

- 含有虚函数的对象不含虚函数的对象的大小多出了4个字节,这4个字节存储虚函数指针 vptr.
- new 运算符接收参数为对象所占字节数, new[] 运算符接收参数为数组所占字节数加4,多出的4个字节用于存储数组长度.
- new[] 和 delete[] 运算符会对数组中每个元素依次调用构造函数和析构函数.

重载多个版本new和delete运算符

- 可以重载多个版本`new`运算符,前提是每个版本都必须有独特的参数列表,且第一个参数必须为`size_t`类型的,其余参数以`new`语句中指定的参数为初值.

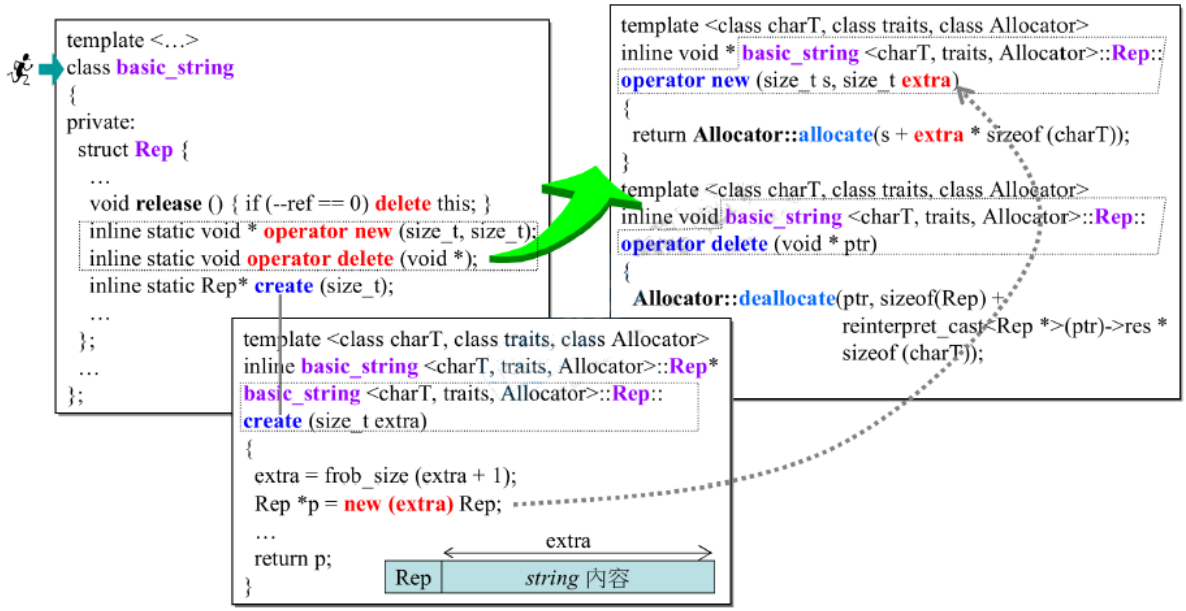
  例如类`Foo`重载`new`运算符的函数`operator new(size_t, int, char)`可以通过语句`Foo *pf = new(300, 'c') Foo()`调用,第一个括号内的参数为`operator new`的参数,第二个括号内的参数为构造函数的参数.

- 也可以重载多个版本的`delete`运算符,但它们不会被`delete`语句调用.只有当`new`语句所调用的构造函数抛出异常时,才会调用对应的`delete`运算符,主要用来归还未能完全创建成功的对象所占用的内存.

下面例子展示多个重载版本的`new`和`delete`运算符

可以看到,在实际程序运行时,构造函数抛出异常后是否调用对应参数的`delete`运算符与编译器版本有关,是一个比较微妙的事情.

STL的`string`类重载了`new`操作符以申请额外空间.


template <…>
class basic_string
{
private:
struct Rep {
…
void release () { if (--ref == 0) delete this; }
inline static void * operator new (size_t, size_t);
inline static void operator delete (void *);
inline static Rep* create (size_t);
…
};
…
};
template <class charT, class traits, class Allocator>
inline void * basic_string <charT, traits, Allocator>::Rep::
operator new (size_t s, size_t extra)
{
return Allocator::allocate(s + extra * sizeof (charT));
}
template <class charT, class traits, class Allocator>
inline void basic_string <charT, traits, Allocator>::Rep::
operator delete (void * ptr)
{
Allocator::deallocate(ptr, sizeof(Rep) +
reinterpret_cast<Rep *>(ptr)->res *
sizeof (charT));
}
template <class charT, class traits, class Allocator>
inline basic_string <charT, traits, Allocator>::Rep*
basic_string <charT, traits, Allocator>::Rep::
create (size_t extra)
{
extra = frob_size (extra + 1);
Rep *p = new (extra) Rep;
…
return p;
}
extra
Rep
string 内容