

Преобразование указателей

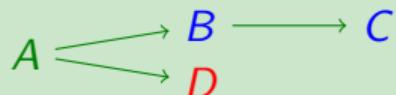
Оператор `dynamic_cast<>` Run Time Type Information (RTTI)

- преобразует указатель (ссылку) базового типа на указатель (ссылку) производного класса:

```
Derivative* pd = dynamic_cast<Derivative*>(pb); // pointers  
Derivative& rd = dynamic_cast<Derivative&>(rb); // reference
```

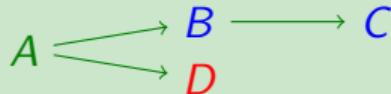
- если преобразование невозможно — возвращает нулевой указатель, а для ссылок возбуждает исключение
- `dynamic_cast<>` опирается на RTTI, то есть на информацию о каждом объекте **во время выполнения программы**

Иерархия классов для тестов:



☞ В классах *B* и *C* имеется функция `m()`, которой нет ни в *A* ни в *D*

Реализация иерархии:



```
struct A {  
    virtual void Iam() { cout << "I am A" << endl; }  
};  
  
struct B : public A {  
    virtual void Iam() { cout << "I am B" << endl; }  
    virtual void m() { cout << "fun m() from B" << endl; }  
};  
  
struct C : public B {  
    virtual void Iam() { cout << "I am C" << endl; }  
    virtual void m() { cout << "fun m() from C" << endl; }  
};  
  
struct D : public A {  
    virtual void Iam() { cout << "I am D" << endl; }  
};
```

- Объекты всех классов хранятся как набор указателей на базовый класс A

... вызываем функцию Iam() для всех объектов

- ✓ Механизм виртуальных функций:

```
vector<A*> pa { new A, new B, new C, new D };
for(auto p: pa) {
    p->Iam();
}
```

I am A
I am B
I am C
I am D

- Как вызвать m() для подходящих объектов наиболее простым способом?

... вызываем функцию m() только для ветки B

- ✓ Оператор dynamic_cast<>:

```
for(auto p: pa) {
    B* pb = dynamic_cast<B*>(p);
    if( pb ) pb->m();
}
```

fun m() from B
fun m() from C

Оператор typeid(), Run Time Type Information

- typeid(X) возвращает объект с информацией о фактическом типе X, тип возвращаемого объекта: std::type_info
- необходим заголовочный файл <typeinfo>

Пример использования typeid()

```
#include <typeinfo> // for typeid()
for(auto p: pa) {
    cout << typeid(*p).name() << " ";
    if(typeid(*p) == typeid(B)) ((B*)(p))->m();
    else if(typeid(*p) != typeid(D)) p->Iam();
    else cout << endl;
}
```

g++ или clang++

1A I am A
1B fun m() from B
1C I am C
1D

- ☞ Наиболее часто typeid используют для сравнения с typeid() тестируемого класса

Обратите внимание

- В `typeid()` можно использовать имя класса: `typeid(*p)==typeid(A)`
- Константность игнорируется: `typeid(const T) == typeid(T)`
- Тип указатель на класс и тип самого класса различаются:
 - `typeid(*p).name()` вернет **1A**
 - `typeid(p).name()` вернет **P1A**
- `typeid(p)` для нулевого указателя возбуждает исключение **bad_typeid**
- Функция `name()` возвращает текст включающий имя класса:
 - ☞ содержимое текста зависит от компилятора

Замечания к использованию `dynamic_cast<>` и `typeid()`

- RTTI может не поддерживаться: **-fno-rtti**
- В случае сложного разветвленного наследования их вызовы «дороги»
- Вместо RTTI рекомендуется использовать полиморфизм и шаблоны

Преобразование с помощью `static_cast<>`

`static_cast<тип данных>` (переменная или выражение)

- ☞ Позволяет проводить «хорошо определенные» преобразования типов:
 - преобразования типов для которых определены операторы преобразования или конструкторы с одним аргументом
- ☞ Для указателей:
 - от указателя на производный класс к указателю на базовый
 - от указателя на базовый класс к указателю на производный
 - ☞ нет проверки правильности преобразования
 - от `void*` к любому другому указателю
 - ☞ правильность гарантируется только если это обратное преобразование

① указатели: производный → базовый

```
A* pa1 = static_cast<A*>(new B);  
pa1->Iam(); // I am B
```

② указатели: базовый → производный

```
B* pb1 = static_cast<B*>(new A);  
pb1->Iam(); // I am A  
pb1->m(); // Ошибка сегментирования
```

③ указатели: void* → произвольный указатель

```
void *vp = new B; // B* -> void*, всегда возможно сделать!  
static_cast<A*>(vp)->Iam(); // I am B  
static_cast<D*>(vp)->Iam(); // Ошибка сегментирования
```

произвольный* → произвольный*: compiler error

~~static_cast<D*>(new B)->Iam(); // invalid static_cast from 'B*' to 'D*'~~

Преобразование с помощью `const_cast<>`

`const_cast<тип данных>(const переменная)`

- ☞ «снятие константности» для указателей или ссылок: разрешает запись в `const` переменная
- ☞ `const_cast` это только указание компилятору!

Типичное применение: передача константного указателя в функцию

```
void print(char* t) {  
    cout << t << endl;  
}  
  
const char* text = "This is test"; // const-object  
print(text); // compilation error  
print(const_cast<char*>(text)); // This is test
```

Оператор reinterpret_cast<>

reinterpret_cast<тип данных> (переменная)

- ☞ средство чтобы «обмануть» компилятор: меняет один тип данных на другой ([type punning](#))
- ☞ никакие проверки не проводятся и это может легко привести к ошибке времени исполнения

Пример

```
struct fourchar {  
    char a,b,c,d;  
};  
unsigned int tmp = 0x33445566;  
fourchar& pt = reinterpret_cast<fourchar &>(tmp);  
cout<<"access fields: "<<pt.a<<" "<<pt.c<< endl; // access fields: f D
```

Исключения (exceptions)

C++ имеет специальный механизм для обработки ошибок

- можно «возбудить исключение» (`raise the exception`)
- можно перехватить исключение (`catch the exception`)

Основные сведения

- Исключение возбуждается с помощью оператора `throw`
- Наблюдение за исключениями происходит внутри блока `try{...}`
- Блоки `catch(type){...}` «отлавливают» исключения в соответствии с **тиปом выражения**
- Если исключение произошло вне блока `try` или ни один из `catch` блоков не подошел, происходит аварийное завершение программы

Пример

```
double my_sqrt(double x) {  
    if (x < 0) throw(x); // 1) raise the exception  
    return sqrt(x);  
}  
  
cout << "Enter number (negative will cause exception)" << endl;  
cin >> x;  
try { // 2) check for exceptions in this block  
    cout << " my_sqrt(" << x << ")= " << my_sqrt(x) << endl;  
}  
catch(double a) { 3) do something if an exception occur  
    cerr << " catch exception: double a= " << a << endl;  
}
```

Enter number (negative will cause exception)

-9
my_sqrt(-9)= catch exception: double a= -9

Вызов `throw x` передает двоякую информацию

- ① тип исключения: `x` – это `double`, поэтому срабатывает блок `catch(double a)`
- ② значение переменной `x`: в блоке `catch(double)` значение `x` недоступно

- ☞ после `try` может быть несколько `catch` для исключений разного типа
- ☞ блок `catch(...)` перехватывает исключения любого типа

Пример с несколькими `catch` блоками

```
try {...}
catch (const char* msg) {
    cerr << "const char* exception handled" << msg << endl;
} catch (int error_number) {
    cerr << "int exception handled" << error_number << endl;
} catch(...) {
    cerr << "Handler for any type of exception called" << endl;
}
```

Некоторые стандартные исключения

Исключения в `dynamic_cast<>`

- В случае работы с ссылками `dynamic_cast<>` возбуждает исключение `std::bad_cast`

Пример, сравните с примером для указателей

```
vector<A*> pa { new A, new B, new C, new D };
```

```
for(auto p: pa) {
    A& ref = *p;
    try {
        dynamic_cast<B&>(ref).m();
    } catch (std::bad_cast) {
        continue;
    }
}
```

```
// dynamic_cast для указателей
for(auto p: pa) {
    B* pb = dynamic_cast<B*>(p);
    if( pb ) pb->m();
}
```

Проверка допустимости диапазона в `vector<>`

- Функция `at(idx)` возвращает элемент вектора если индекс `idx` лежит в диапазоне `[0, size())` или вызывает исключение `out_of_range`

Пример: `at(idx)`

```
#include <stdexcept>           // set of std-exceptions
vector<int> vec {1,2,3,4,5};
try {
    cerr << " vec.at(4)= " << vec.at(4) << endl;
    cerr << " vec.at(6)= " << vec.at(6) << endl;
} catch(out_of_range& e) {
    cerr << e.what() << endl;
}
```

```
vec.at(4)= 5
vec.at(6)= vector::_M_range_check:
__n (which is 6) >= this->size() (which is 5)
```

Исключения в операторе new

- ☞ Если `new` не может выделить память, возбуждается исключение `std::bad_alloc`

```
const unsigned int Size = 100*1024*1024;
int i = 0;
try {
    for(i = 1; i < 100; i++) {
        int* a = new int[Size]; // 400Mb
    }
} catch(std::bad_alloc&) {
    cerr << " iter# " << i << " catch exception: stop " << endl;
}
```

Output for 1Gb virtual memory limit

iter# 3 catch exception: stop

`new(nothrow)`

- ☞ `new` с параметром `std::nothrow` возвращает нулевой указатель, а исключение не возбуждается

```
#include <new>          // std::nothrow defined in header <new>
const unsigned int Size = 100*1024*1024;
for(int i = 1; i < 100; i++) {
    int* a = new(nothrow) int[Size];
    if( a==0 ) {
        cerr << " iter# " << i << " new return 0: stop" << endl;
        exit(EXIT_FAILURE);
    }
}
```

Output for 1Gb virtual memory limit

iter# 3 new return 0: stop

Замечания к использованию исключений

- Использование исключений создает скрытые потоки управления которые трудно понимать, подобно оператору `goto`
 - Генерация исключений отрицательно сказывается на производительности системы
 - ✓ если исключения предусмотрены, но не срабатывают, то производительность практически не снижается
- ☞ Неаккуратное использование ведет к утечке ресурсов

Концепция «умных указателей» в C++11

```
#include <memory> // smart pointers
```

Используются для автоматизации управлением памятью:

- «умные указатели» работают для объектов, которые создаются с помощью `new` и в целом подобны обычным указателям
- объект автоматически удаляется когда исчезает последний «умный указатель» на него – объект становится не нужен
- типы указателей:
 - ✓ `unique_ptr<>` — объекту соответствует **единственный** умный указатель
 - ✓ `shared_ptr<>` — возможно несколько указателей на объект
 - ✓ `weak_ptr<>` — не владеет объектом, но позволяет следить за `shared_ptr` и за соответствующим ему объектом
 - ✗ `auto_ptr<>` — умные указатели из C++98: неудачные, удалены в C++17

Уникальное владение с unique_ptr

- Создаем указатель `unique_ptr` вместе с созданием объекта
- `unique_ptr` нельзя присвоить никакому другому указателю, но можно «передвинуть», move-ctor
- Окончание жизни `unique_ptr` вызывает уничтожение объекта

Тестовая функция

```
void test_unique_ptr() {
    std::unique_ptr<int> up1(new int {11}); // ctor OK!
    cout << "*up1= " << *up1 << endl;           // *up1= 11

    // the direct assignment and copy ctor are forbidden: ERROR at compile time
    // std::unique_ptr<int> up2 = new int {1};
    // std::unique_ptr<int> up2 = up1;

    std::unique_ptr<int> up2 = std::move(up1); // move OK
    cout << " up1= " << up1.get() << endl;      // up1= 0x0  up1 is nullptr
    cout << "*up2= " << *up2 << endl;           // *up2= 11
```

... продолжение

```
up1.reset(); // does nothing
up2.reset(); // clear memory and up2 is nullptr now

// Create a unique_ptr to an array of 5 elements
std::unique_ptr<int[]> up3(new int[5] {1,2,3,4,5});
for(int i = 0; i < 5; i++) { cout << up3[i] << " "; }
cout << endl; // 1 2 3 4 5

// make_unique<>() - function to create a unique pointer (C++14)
auto up4 = std::make_unique<int>();      // one int default ctor
cout << "*up4= " << *up4 << endl;      // *up4= 0
auto up5 = std::make_unique<int>(2);     // one int with ctor(2)
cout << "*up5= " << *up5 << endl;      // *up5= 2
auto up6 = std::make_unique<int[]>(2);   // int[2] with default ctor
cout << "up6= " << up6[0] << ", " << up6[1] << endl; // up6= 0, 0
// unique_ptr to an uninitialized array (C++20)
auto up7 = std::make_unique_for_overwrite<int[]>(2);
} // все объекты на которые указывали unique_ptr удаляются
```

Передача unique_ptr в функцию: move семантика

```
struct T { // class for tests
    T(int i=0) {cout << "Tctor(" << i << ") " << ++nt << endl;}
    ~T() {cout << "Tdtor " << nt-- << endl;}
    static int nt;
};

int T::nt = 0;

// return value and argument of the function are unique_ptrs
std::unique_ptr<T> fun_uni_ptr(std::unique_ptr<int> upi) {
    cout << __func__ << "(" << *upi << ")\n";
    return std::make_unique<T>(*upi);
}

auto up1 = fun_uni_ptr(std::make_unique<int>(7)); // fun_uni_ptr(7)
cout << "up1->nt= " << up1->nt << endl;           // up1->nt= 1
up1.reset();                                         // Tdtor 1
auto upi = std::make_unique<int>(8);
up1 = fun_uni_ptr(std::move(upi)); // fun_uni_ptr(8)
cout << "upi= " << upi << endl;      // (C++20) upi= 0x0
```

Умные указатели shared_ptr

- `shared_ptr` обычно создается вместе с созданием объекта, но можно создать «пустой» `shared_ptr` и затем направить его на объект
- `shared_ptr` можно перенаправить на другой объект методом `reset`
- объект удаляется когда нет больше `shared_ptr` указывающих на него

```
std::shared_ptr<int> sp1(new int {5}); // one int with value 5
cout << "*sp1= " << *sp1 << endl; // *sp1= 5
```

```
// the direct assignment is forbidden: ERROR at compile time
// std::shared_ptr<int> sp2 = new int {5};
```

```
// reset(): allocates the new memory object, old memory block is released
sp1.reset(new int {3});
cout << "*sp1= " << *sp1 << endl; // *sp1= 3
```

```
std::shared_ptr<int> sp0; // create an uninitialized shared pointer
sp0.reset(new int {0}); // ant point it to new obj with reset()
cout << "*sp0= " << *sp0 << endl; // *sp0= 0
```

... продолжение

```
auto sp2 = sp1; // one more pointer on the same memory
if( sp2 == sp1 ) cout << "sp2= " << *sp2 << endl; // *sp2= 3
sp2.reset(new int {1}); // *sp1 memory block still exist
cout << "*sp2= " << *sp2 << " *sp1= " << *sp1 << endl; // *sp2= 1 *sp1= 3

// C++17: shared_ptr can be used for dynamic arrays
shared_ptr<int[]> spa(new int[] {3,4,5});
// elements can be access using operator[]
for(int i = 0; i < 3; i++) {cout << spa[i] << " ";}
cout << endl; // 3 4 5

// C++20: make_shared<>() - helper function to create shared_ptr's
auto sp3 = std::make_shared<int>(7);
cout << "*sp3= " << *sp3 << endl; // *sp3= 7
auto sp4 = std::make_shared<int[]>(2,-1); // int[2] all -1
cout << "sp4= " << sp4[0] << "," << sp4[1] << endl; // sp4= -1,-1
auto sp5 = std::make_shared_for_overwrite<int[]>(2); // uninitialized
sp5[0] = 1;
```

Дополнительные слайды

noexcept в объявлении функции в C++11

- `void f() noexcept;` указание, что `f()` не возбуждает исключений
- `void f() noexcept(false);` `f()` может возбуждать исключения
- ☞ в C++17 `noexcept` входит в тип функции, но не в сигнатуру
- ☞ `throw(something)` – устаревшее и в C++17,20 удалено полностью

```
void fun() noexcept { // function that does not throw
    f();           // valid, even if f() throws
    throw 12;      // valid, effectively a call to std::terminate
}
void fun(); // ERROR: different exception specification
void fun1(); // function that might throw
void (*fp)() noexcept; // pointer to function that does not throw
fp = fun;           // OK
fp = fun1;          // ERROR since C++17
```

Stack on base of singly linked unique_ptr-based list

```
struct Stack {
    struct Node {
        int date;
        std::unique_ptr<Node> next;
    };
    std::unique_ptr<Node> head;
    bool is_empty() {return head == nullptr;}
    void push(int d) {
        head = std::unique_ptr<Node>(new Node{d, std::move(head)} );
    }
    int pop() {
        if( is_empty() ) {printf("Stack is empty\n"); exit(1);}
        int d = head->date;
        auto next = std::move(head->next);
        head = std::move(next);
        return d;
    }
};
```

Test

```
Stack S;
// S.pop(); // int Stack::pop() ERROR: Stack is empty
for(int i=1; i<5; ++i) {
    S.push(i);
}
while ( !S.is_empty() ) {
    printf("%i ",S.pop());
}
printf("\n"); // 4 3 2 1
```