Подготовительная программа по программированию на C/C++

Занятие №8

Валентина Глазкова

Обработка исключительных ситуаций

- Понятие исключительной ситуации
- Технология обработки исключительных ситуаций
- Реализация журналирования

Понятие исключительной ситуации (1 / 2)

- Естественный порядок функционирования программ нарушают возникающие **нештатные ситуации**, в большинстве случаев связанные с ошибками времени выполнения.
- В языке C++ такие нештатные ситуации называются **исключительными** (**исключениями**, exception).
- Примерами исключительных ситуаций являются:
  - нехватка оперативной памяти;
  - попытка доступа к элементу коллекции по некорректному индексу;
  - попытка недопустимого преобразования динамических типов и пр.

Понятие исключительной ситуации (2 / 2)

Архитектурной особенностью механизма обработки исключительных ситуаций в языке C++ является принципиальная независимость (несвязность) фрагментов программы, где исключение **возбуждается (генерируется)** и где оно **обрабатывается (перехватывается)**.

Обработка исключительных ситуаций носит **невозвратный** характер.

Объекты-исключения. Оператор throw

Носителями информации об аномальной ситуации (исключении) в C++ являются объекты заранее выбранных на эту роль типов (пользовательских или базовых, например, char*). Такие объекты называются **объектами-исключениями**.

Жизненный цикл объектов-исключений начинается с возбуждения исключительной ситуации посредством оператора throw:

```
throw "Illegal cast";          // const char *
/* … */
throw IllegalCast(); // class IllegalCast
/* … */
enum      EPrgStatus
          {psOK, psBadIndex, psIllegalCast};
throw psIllegalCast; // enum EPrgStatus
```

Защищенные блоки. Операторы try, catch

Небезопасные с точки зрения исключений фрагменты кода могут инкапсулироваться в **защищенный** (контролируемый) **блок**, за которым следует один или несколько связанных с ним **блоков-обработчиков исключений**. Защищенные блоки кода начинаются ключевым словом try, блоки-обработчики — словом catch.

При возбуждении исключения в одном из операторов защищенного блока все следующие за ним операторы блока автоматически пропускаются, а управление передается ближайшему соответствующему блоку-обработчику исключения (т.е. **первому подходящему** для этого блоку в порядке их указания в исходном коде).

Если такой блок не найден, управление берет на себя стандартная функция terminate().

Защищенные блоки. Операторы try, catch: пример 1

```
void foo()
{           /* … */
            throw "Illegal id";
            /* … */                         // не выполняется
}

void bar()
{
            try {
                        foo();
                        /* … */             // не выполняется
            }
            catch(const char *s) {
                        std::cout << s << std::endl;
            }
}
```

Операторы try, catch: пример 2

```
void main () {
  try {
    int i; cin >> i;
    if (i > 0) {
     throw i;
     i = 0;
    } else {
     throw "Need positive number!";
    }
  }
  catch (int a) {
    cout << "Error #" << a << endl;
  }
  catch (const char* s) {
    cout << s << endl;
  }
}
```

Генерация исключения типа int, представленного переменной i

Не будет вызвано

Генерация исключения типа const char*, представленного строковым литералом

Блок обработки исключений типа int, сохраняемых в переменную a

Блок обработки исключений типа const char*, сохраняемых в переменную s

Операторы try, catch: пример 3

```
void main () {
  try {
    throw 'a'; // Is not handled by catch(int)
  }
  catch (int a) {
    cout << "Error #" << a << endl;
  }
  catch (...) {
    cout << "Unknown error!" << endl;
  }
}
```

Функциональные защищенные блоки

Как защищенный блок может быть оформлена не только часть функции, но и функция целиком (в том числе main() и конструкторы классов). В таком случае защищенный блок называют **функциональным**. Например:

```
void foobar()
        try {
                /* … */
        }
        catch( /* … */ ) {      /* … */ }
        catch( /* … */ ) {      /* … */ }
        catch( /* … */ ) {      /* … */ }
```

Раскрутка стека и уничтожение объектов

Поиск catch-блока, пригодного для обработки возбужденного исключения, приводит к **раскрутке стека** — последовательному выходу из составных операторов и определений функций.

В ходе раскрутки стека происходит **уничтожение локальных объектов**, определенных в покидаемых областях видимости. При этом деструкторы локальных объектов, созданных в текущем стековом кадре, вызываются штатным образом (строгая гарантия C++).

Исключение, для обработки которого не найден catch-блок, инициирует запуск функции terminate(), передающей управление функции abort(), которая аварийно завершает программу.

Повторное возбуждение исключения и универсальный блок-обработчик

Оператор throw без параметров может помещаться (только) в catch-блок и повторно возбуждает обрабатываемое исключение. При этом его копия не создается:

```
throw;
```

Особая форма блока-обработчика исключений осуществляет перехват любых исключений:

```
catch(...)      { /* … */ };
```

Универсальный блок-обработчик: пример

```
void main () {
  try {
    int i; cin >> i;
    if (i == 0) {
      throw 1.5;
    }
  }
  catch (int a) {
    cout << "Error #" << a << endl;
  }
  catch (const char* s) {
    cout << s << endl;
  }
  catch (...) {
    cout << "Unknown error!" << endl;
  }
}
```

Для перехвата всех возможных исключений (не обработанных предыдущими директивами catch) используется троеточие. Если не перехватить исключение в программе, оно будет обработано ОС и пользователь получит сообщение о падении программы

Повторное возбуждение исключений: пример

```
void g() { throw 1; }
void f() {
  try { g(); }
  catch (int) {
    throw;
  }
}
void main () {
  try {
    f();
  }
  catch (int a) {
    cout << "Error #" << a << endl;
  }
}
```

Запись throw без параметров означает, что обработанный объект исключения передается дальше по стеку обработки (на более объемлющий уровень). Новый объект в этом случае не создается, а используется тот же самый.

Варианты описания исключений

Описание исключения в блоке-обработчике может содержать тип объекта, ссылку или указатель на объект.

```
catch(IllegalCast)      { /* … */ }

catch(IllegalCast ic)   { /* … */ }

catch(IllegalCast &ric) { /* … */ }

catch(IllegalCast *pic) { /* … */ }
```

Исключения при создании глобальных объектов

```
class A {
public:
  A() { throw 1; }
};
A theA;
void main () {
  try {
    // Не может обработать исключения,
    // возникающие при создании
    // глобальных объектов
  }
  catch (A& a) {
    cout << "Never called";
  }
}
```

Безопасность ПО как показатель качества

В «промышленном программировании» **безопасность** ПО рассматривается как один из **структурных показателей качества** продукта, оцениваемых путем **статического анализа** архитектуры, состава используемых компонентов, **исходного кода** и схемы БД.

Для обеспечения «структурной безопасности» исходного кода необходимо соблюдение стандартов разработки архитектуры и **стандартов кодирования**.

Стандарты кодирования — за «безопасный код»

Структурная безопасность исходного кода ПО требует соблюдения определенных техник кодирования, одной из которых является систематическая **обработка ошибок и исключительных ситуаций** на всех уровнях архитектуры (*уровень представления, уровень бизнес-логики, уровень (базы) данных*).

Примечание: Ряд функций стандартной библиотеки языка C++ имеет статус потенциально небезопасных, то есть способных привести к переполнению буфера либо иным дефектам и уязвимостям.

Одним из элементов обработки ошибок и исключений является **спецификация** (ограничение) **типов** исключений, которые могут порождать структурные элементы кода: методы классов и глобальные методы.

Безопасность классов и методов (1 / 2)

Функция C++ **безопасна**, если **не возбуждает** никаких исключений (или, что то же самое, все возбужденные внутри нее исключения обрабатываются в ее теле).

Класс C++ **безопасен**, если безопасны все его методы.

В свою очередь, небезопасные функции могут специфицировать исключения, возбуждением которых (и только их!) способно завершиться исполнение таких функций. Обнаруженное при исполнении нарушение гарантии влечет за собой вызов функции unexpected(), по умолчанию вызывающей terminate().

Виртуальные функции в производных классах могут **повторять** спецификации исключений функций в базовых классов или накладывать **более строгие** ограничения.

Безопасность классов и методов (2 / 2)

Например:

```
// объявления функций
int  foo(int &i) throw();
bool bar(char *pc = 0) throw(IllegalCast);
void foobar() throw(IllegalCast, BadIndex);

// определения функции
int  foo(int &i) throw()
{ /* … */ }
bool bar(char *pc = 0) throw(IllegalCast)
{ /* … */ }
void foobar() throw(IllegalCast, BadIndex)
{ /* … */ }
```

Безопасность конструкторов

Конструкторы **могут возбуждать исключения**, как и другие методы классов.

Для обработки **всех** исключений, возникших при исполнении конструктора, его тело и список инициализации должны быть совместно помещены в функциональный защищенный блок.

Например:

```
Beta::Beta(int value)
try
      : Alpha(foo(value))
{ // т е л о  к о н с т р у к т о р а
      /* … */
}
catch(...) { /* … */ }
```

Исключения при создании класса

```
class B { public:
  B() { cout << "B::B()" << endl; }
  ~B() { cout << "B::~B()" << endl; }
};
class D : public B { public:
  D() { cout << "D::D()" << endl; throw 1; }
  ~D() { cout << "D::~D()" << endl; }
};
void main () {
  D* pd = 0;
  try { pd = new D; }
  catch (int) {
    cout << (pd == 0) << endl;
  }
}
```

```
B::B()
D::D()
B::~B()
1
```

Безопасность деструкторов

Деструкторы классов **не должны** возбуждать исключения. Одной из причин этого является необходимость корректного освобождения ресурсов, занятых массивами и коллекциями объектов.

Если вызываемая в деструкторе функция может возбудить исключение, деструктор должен **перехватить и обработать** его (*возможно, прервав программу*), иначе программа завершит работу аварийно .

Если возможность реакции на исключение необходима клиентам класса во время некоторой операции, в его открытом интерфейсе должна быть функция (не деструктор), которая эту операцию выполняет.

В общем случае деструктор класса может специфицироваться как throw(): `~Alpha() throw();`

Безопасность или нейтральность кода?

От безопасности программного кода важно отличать **нейтральность**, под которой, согласно терминологии Г. Саттера (Herb Sutter), следует понимать способность методов класса прозрачно «пропускать сквозь себя» объекты-исключения, полученные ими на обработку, но не предназначенные для них.

Нейтральный метод:

- **может** обрабатывать исключения;
- **должен** ретранслировать полученные им исключения методу- обработчику в неизменном виде и сохранять свою работоспособность при любых обстоятельствах.

Пользовательские классы исключительных ситуаций

Для передачи из точки возбуждения исключения в точку его обработки сведений об условиях возникновения аномалии программист может определять и использовать **собственные классы исключительных ситуаций**.

Такие классы могут быть сколь угодно **простыми** (включая пустые) или **сложными** (содержащими члены данных, конструкторы, деструкторы и интерфейсные методы).

Пользовательские классы исключительных ситуаций: пример 1

```
class A {};
class B : public A {};
void f() {
  A a; A* pa = new A;
  throw B();
  delete pa;
}
void main () {
  try {
    f();
  }
  catch (A& a) {
    cout << "Error handled" << endl;
  }
}
```

Пользовательские классы исключительных ситуаций: пример 2

```
class A {
public:
  class Error {};
  void f() { throw Error(); }
};

void main () {
  try {
    A a;
    a.f();
  }
  catch (A::Error) {
    cout << "Handled" << endl;
  }
}
```

Исключения в стандартной библиотеке. Класс *exception*

Стандартная библиотека языка C++ содержит собственную иерархию классов исключений, являющихся прямыми или косвенными потомками базового класса exception.

```
namespace std {
	class exception {
	public:
		exception() throw();
		exception( const exception & ) throw();
		exception& operator=(const exception & ) throw();
		virtual ~exception() throw();
		virtual const char* what() const throw();
	};
}
```

Потомки класса exception условно представляют две категории ошибок: **логические** ошибки и ошибки **времени исполнения**.

Классы – логические ошибки

В число классов категории «логические ошибки» входят **базовый** промежуточный класс logic_error, а также производные от его **специализированные** классы:

invalid_argument — ошибка «неверный аргумент»;

out_of_range — ошибка «вне диапазона»;

length_error — ошибка «неверная длина»;

domain_error — ошибка «вне допустимой области».

Классы – ошибки времени исполнения

В число классов категории «ошибки времени исполнения» входят **базовый** промежуточный класс runtime_error, а также производные от него **специализированные** классы:

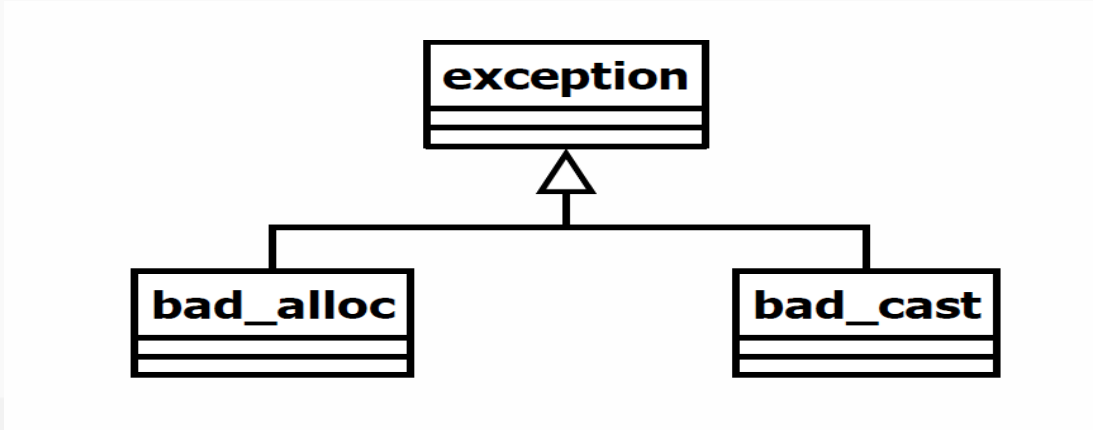
range_error — ошибка диапазона;

overflow_error — переполнение;

underflow_error — потеря значимости.

Прочие классы исключений стандартной библиотеки

Также производными от exception являются классы bad_alloc и bad_cast, сигнализирующие об ошибках при выделении динамической памяти и неуспешном выполнении «ссылочного» варианта операции dynamic_cast, соответственно.



Исключения при выделении динамической памяти

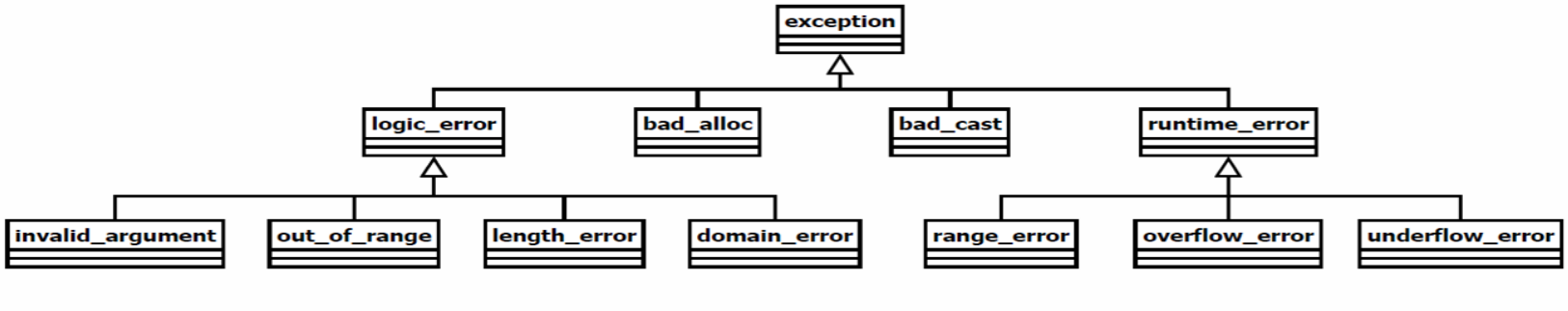
```
void f() throw(std::bad_alloc) {
 // Code generates std::bad_alloc exception
 while (1) {
  int* p = new int [1000000];
 }
}
void g() throw(const char*) {
 // Code generates const char* exception
 while (1) {
  int* p = new (nothrow) int [1000000];
  if (!p) throw "Out of memory";
 }
}
```

Исключения неуспешном выполнении «ссылочного» варианта операции dynamic_cast

```
class Base { virtual void foo() {} };
class Derived : Base {};
void main () {
  try {
    Base b;
    // OK: dynamic_cast returns 0
    Derived* pd = dynamic_cast<Derived*>(&b);
    // Error: cannot initialize reference
    Derived& rd = dynamic_cast<Derived&>(b);
  }
  catch (bad_cast& e) {
    cout << "bad_cast caught: " << e.what();
  }
}
```

Объект e класса bad_cast, объявленного в стандартной библиотеке из пространства имен std

Классы исключений стандартной библиотеки: «вид сверху»



Исключения: пример 1

```
int f() {
  try {
    throw 'a';
  }
  catch(int) { cout << "err4"; }
  catch(char) { cout << "err5"; throw; }
}
void main () {
  try {
    f();
    throw 10;
  }
  catch (int) { cout << "err1"; }
  catch (char) { cout << "err2"; }
}
```

```
err5 err2
```

Исключения: пример 2

```
void f(char c) {
  try {
    if (c >= '1' && c <= '9') c++;
    else throw "0";
    try { if (c == '9') throw c; c++; }
    catch (const char* c)
    { cout << c << " 1 "; }
    catch (char c)
    { cout << c << " 2 "; throw; }
    cout << c << " ";
  }
  catch (int k)
  { cout << k << " 3 "; }
  catch (const char* c)
  { cout << c << " 4 "; }
}
```

```
void main () {
  try {
    f('a'); // 0 4
    f('2'); // 4
    f('8'); // 9 2 9 5
    f('5'); // not executed
  }
  catch (char c)
  { cout << c << " 5 "; }
  catch (...)
  { cout << "all"; }
}
```

Исключения: пример 3

```
struct A {
                        A () { cout << "A_Constr &" << endl ; }
                        A (const A & a) { cout << "A_Copy &" << endl ; }
                        ~A () { cout << "A_DestrWn"; }
};
struct B : A {
                        B () { cout << "B_Constr &" << endl; }
                        ~B () { cout << "B_Destr &" << endl ; }
};
void g() { B bg; throw bg;}
int main () {
                        try { A a; g(); }
                        catch ( B & ) { cout << "B&_Catch &" << endl ; }
                        catch ( A &) { cout << "A&_Catch &" << endl; }
                        return 0;
}
```

```
A_Constr
A_Constr
B_Constr
A_Copy
B_Destr
A_Destr
A_Destr
B&_Catch
```

Исключения: пример 4

```
void f(X & x, int n);
struct X {
              X () {
              try  { f(*this, -1); cout << "a"; }
            catch (X){ cout << "b"; }
            catch (int){ cout << "c"; }
     }
     X (X &) { cout << "d"; }
     virtual ~X () { cout << "e"; }
};
struct Y: X {
              Y () {
              try { f (*this, 0); cout << "f"; }
            catch (Y) { cout << "g"; }
            catch (int){ cout << "h"; }
            cout << "i";
              }
    Y (Y &){ cout << "j"; }
    ~Y (){ cout << "k"; }
};
```

l a d e m e

```
void f(X & x, int n) {
     try  {
              if (n < 0) throw -n;
           else if (n == 0) throw x;
           else throw n;
     }
    catch (int){ cout << "l"; }
}
int main() {
     try { Y a; }
    catch (...){ cout << "m"; return 1; }
    cout << "n"; return 0;
}
```

Исключения: пример 5

```
struct S {
            S (int a) {
                        try  { if (a > 0) throw  *this; else if (a < 0) throw 0; }
                        catch (S & ) { cout <<  “SCatch_S&” << endl; }
                        catch (int) { throw; }
                        cout <<  “SConstr &” << endl;
            }
            S (const S & a) { cout <<  “Copy &” << endl; }
            ~S ( ) { cout <<  “Destr &” << endl; }
};
int  main ( ) {
            try  { S s1(1), s2(-2); cout <<  “Main &” << endl; }
            catch (S  &) { cout <<  “MainCatch_S& &” << endl; }
            catch  ( ... )  { cout <<  “MainCatch_... &” << endl; }
            return 0;
}
```

```
Copy
SCatchS&
Destr
SConstr
Destr
MainCatch...
```

Исключения: пример 6 (1/2)

```
struct X; void f(X & x, int n);
struct X {
            X() {
                        try {f(*this, -1); cout <<  1 << endl;}
                        catch (X)   {cout <<  2 << endl;}
                        catch (int) {cout <<  3 << endl;}
            }
            X (X &) {cout <<  4 << endl; }
            ~X () {cout <<  5 << endl; }
};
struct Y: X {
            Y () {f(*this, -1); cout <<  6 << endl; }
            Y (Y &) {cout <<  7 << endl; }
            ~Y () {cout <<  8 << endl; }
};
```

Исключения: пример 6 (2/2)

```
void f(X & x, int n) {
            try{
                        if (n < 0) throw x; if (n > 0) throw 1; cout <<  9 << endl;
            }
            catch (int) { cout << 10 << endl; }
            catch (X& a) { cout <<11<<endl; f(a, 1); cout <<12<<endl; throw;}
}
int main() {
            try { Y a; }
            catch (...) { cout << 13 << endl; return 0; }
            cout << 14 << endl;
            return 0;
}
```

- 4 11 10 12 2 5 4 11 10 12 5 13 5

Реализация журналирования

- Одним из простейших и в вместе с тем эффективных инструментов отладки и фиксации действий программы является **журналирование**
- **Журналирование** предполагает вывод в файл (или на экран) информации о событиях, возникающих в программе, и о промежуточном состоянии программы (например: факт вызова функции и данные о ее аргументах, содержимое переменных, тип исключительной ситуации и сообщение об ошибке и т.п.)
- Отладочные сообщения должны находиться в ключевых узлах программы и позволять отследить ход ее выполнения
- Вывод на экран буферизируется построчно (‘\n’)
- В случае фатальной ошибки, приводящей к аварийному завершению программы (наиболее распространена ошибка сегментации - Segmentation Fault) отладочные сообщения, находящиеся в буферах, не будут выведены
- Часто бывает удобно иметь возможность оперативно отключать и включать отладочные выводы

Реализация журналирования: пример (1/2)

Файл debug.h

```
#ifndef DEBUG_H
#define DEBUG_H
#include <stdio.h>
#define PDEBUG(level, fmt, args,...)
#ifdef DEBUG
#undef PDEBUG
#define PDEBUG(level, fmt, args,...)
    if(level <= DEBUG)
        printf("%s: %d: " fmt, __FUNCTION__, __LINE__, ## args)
#endif
#endif
```

Реализация журналирования: пример (2/2)

```
#include <stdio.h>
#define DEBUG 10
#include "debug.h"
int main()
{
    int i = 0;
    while(i < 6)
    {
        PDEBUG(1, "i = %d", i);
        i++;
    }
}
```

```
$ ./debug

main: 10: i = 0
main: 10: i = 1
main: 10: i = 2
main: 10: i = 3
main: 10: i = 4
main: 10: i = 5
```

Валентина Глазкова

Спасибо за внимание!