Язык C++

Error Handling

Ошибки

1. Выход за границу массива
2. Деление на ноль
3. Невозможность выделить память
4. Отсутствие прав на открытие файла
5. Недоступность внешнего сервера
6. ….

Assert

```
#include <cassert>

int main() {
   assert(2+2 == 4);
   assert(2+2 == 5);
   return 0;
}
```

```
int main(): Assertion `2+2 == 5' failed.
```

static_assert

```
static_assert(sizeof(int) == 4, "int must be 4 bytes");


template <typename T>
struct data_structure {
   static_assert(
      std::is_default_constructible<T>::value,
      "Data Structure requires default-constructible elements"
   );
};
struct no_default {
   no_default () = delete;
};

int main() {
  data_structure<no_default> ds_error;
  return 0;
}
```

Код возврата

```
// количество успешно записанных
size_t fwrite( const void *buffer, size_t size, size_t count, FILE *stream );

// errno
FILE *fopen( const char *filename, const char *mode );

// ошибка в качестве кода возврата
errno_t fopen_s(FILE *restrict *restrict streamptr, const char *restrict filename, const char *restrict mode);
```

Обработка в месте возврата

```
int main() {
 FILE* file = fopen("test.tmp", "r");
 if(!file) {
     // do something
 }
 if(fprintf(file, "Hello") < 0 || printf(file, "World") < 0) {
     // do something
 }
 if(fclose(file) ==EOF) {
     // do something
 }
 return 0;
}
```

Exception. throw + try + catch

```
int foo() {
  throw std::runtime_error("error");
}

void boo() {
  throw 2;
}

void coo() {
  throw std::string("Hello world");
}

int main(int, char**) {
   try{
       foo();
   }
   catch(...) {

   }
}
```

Stack unwinding

1. Сконструированный объект пробрасывается обратно по стэку
2. До встречи подходящего блока try\catch
3. “Раскручивая” стэк обратно уничтожаются все объекты с automatic storage duration **(!NB Если исключение не перехватывается, то stack unwinding зависит от реализации)**
4. std::terminate если в процессе возникает еще одно исключение
5. Деструктор noexcept
6. Сам объект хранится в неопределенном участке памяти

Stack unwinding

```
struct Foo  {
   Foo() { std::cout << "Foo()\n"; }
   ~Foo() {
       std::cout << "~Foo()\n";
   }
};

void internalFunc() {
   Foo f;
   throw std::runtime_error("Some error");
}

void externalFunc() {
   try {
        internalFunc();
   }
   catch (std::exception& e) {
       std::cout << e.what() << std::endl;
   }
}
```

Exception

```
int main() {
  try {
      foo();
  } catch (const std::overflow_error& e) {
      // do somethisg
  } catch (const std::runtime_error& e) {
      // do somethisg
  } catch (const std::exception& e) {
      // do somethisg
  } catch (...) {
      // do somethisg
  }
```

Гарантии безопасности исключений

- No guarantee
- Basic guarantee
  - Сохраняется инвариант
  - Нет утечек
- Strong guarantee
  - Сохраняется инвариант
  - Нет утечек
  - Состояние возвращается к состоянию до исключения
- Nothrow guarantee
  - Не может быть выкинуто исключение

Exception guarantee

```
struct Foo  {
   int value;

   Foo(int v)
    : value(v)
   {}

   Foo(const Foo& other)
      : value(other.value)
   {
      throw std::runtime_error("KEKW");
   }
};
```

Exception guarantee

```
class Boo {
private:
  Foo* foo_ = nullptr;
  int value_ = 0;

public:
   Boo(int value = 0) : value_(value) {}

   Boo(int value, int foo_value)
       : foo_(new Foo{foo_value})
       , value_(value)
   {}

   ~Boo() { delete foo_; }

   friend std::ostream& operator<< (std::ostream& stream, const Boo& value);
};
```

No guarantee

```
Boo(const Boo& other)
     : value_(other.value_)
     , foo_(new Foo(*other.foo_))
 {
 }

 Boo& operator=(const Boo& other) {
     value_ = other.value_;
     delete foo_;
     foo_ = new Foo(*other.foo_);
     return *this;
 }
```

No guarantee

```
Boo& operator=(const Boo& other)
{
     if(this == &other)
        return *this;

    value_ = other.value_;
    delete foo_;
    if(other.foo_)
        foo_ = new Foo(*other.foo_);
    return *this;
}
```

Basic guarantee

```
Boo& operator=(const Boo& other)
{
     if(this == &other)
        return *this;

    value_ = other.value_;
    delete foo_;
    foo_ = nullptr;

    if(other.foo_)
        foo_ = new Foo(*other.foo_);

    return *this;
}
```

Basic guarantee

```
Boo(const Boo& other)
    : value_(other.value_)
{
     if(other.foo_)
        foo_ = std::make_unique<Foo>(*other.foo_);
}

Boo& operator=(const Boo& other) {
    if(this == &other)
        return *this;

    value_ = other.value_;
    if(other.foo_)
         foo_ = std::make_unique<Foo>(*other.foo_);

    return *this;
}
```

Strong guarantee

```
Boo& operator=(const Boo& other)
{
    if(this == &other)
        return *this;

    Boo tmp(other);
    *this = std::move(tmp);

    return *this;
}

Boo& operator=(Boo&& ) noexcept = default;
```

RAII

```
void func() {
   std::unique_ptr<Foo> f = std::make_unique<Foo>();
   throw std::runtime_error("Error!");
}

int main () {
   try{
       func();
   }
   catch(...) {

   }

   return 0;
}
```

noexcept

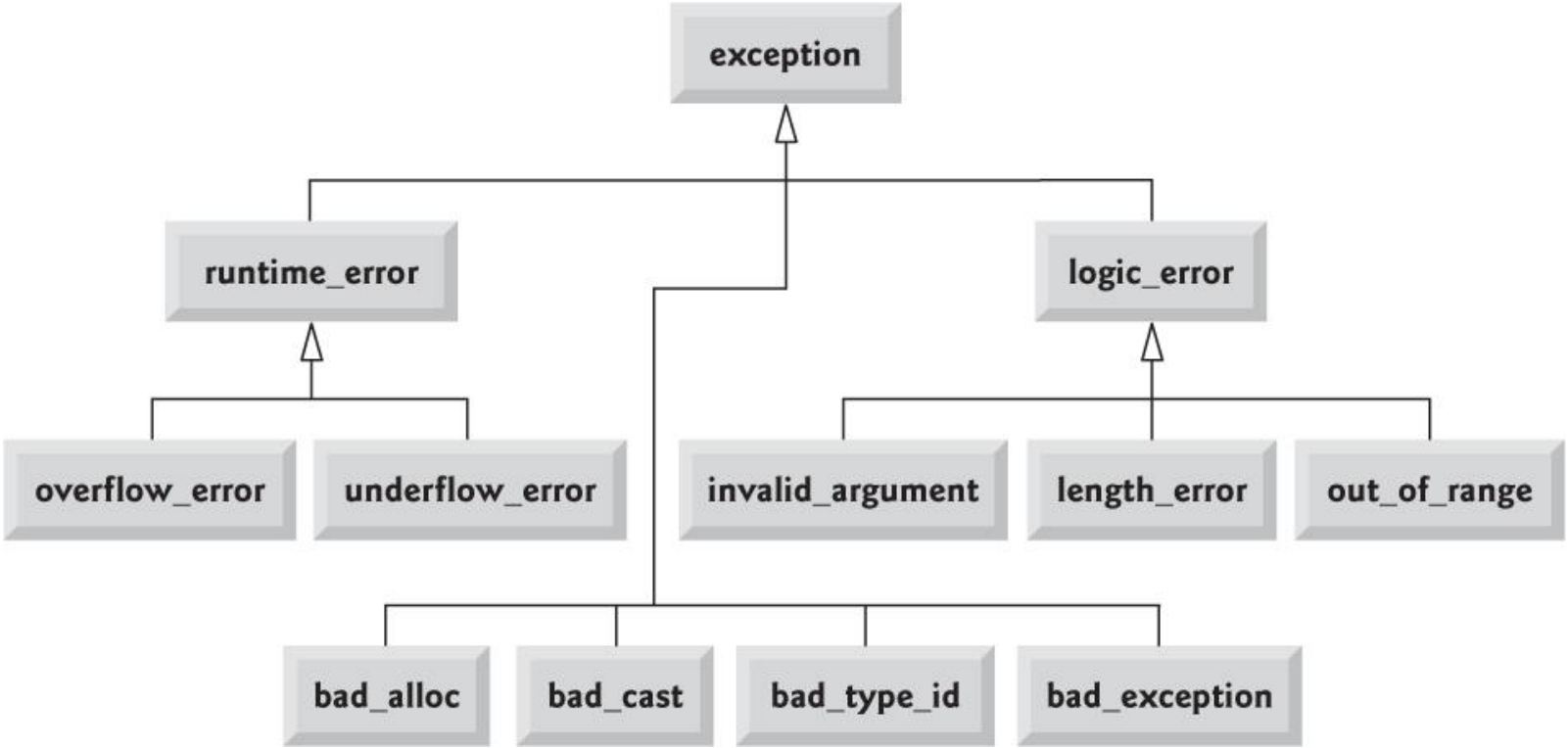
1. Гарантирует что функция не будет бросать исключения
2. Не сворачивает стэк
3. Позволяет компилятору лучше оптимизировать код
4. std::terminate
5. Деструктор noexcept по умолчанию

std::exception

1. Кидать стандартные типы в качестве исключений - малоинформативно
2. Исключение должно нести информацию о случившемся событии
3. std::exception - базовый класс для исключений стандартной библиотеки
4. Тип эксепшена также является полезной информацией

std::exception

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


exception
runtime_error
logic_error
overflow_error
underflow_error
invalid_argument
length_error
out_of_range
bad_alloc
bad_cast
bad_type_id
bad_exception

std::exception

```
class my_exception : public std::exception {  // derived from std::exception
public:
   my_exception(const std::string& what)
       : what_(what){
   }
   const char* what() const noexcept override {
       return what_.c_str();
   }
private:
   std::string what_;
};
```

std::exception

```
int foo() {
  throw my_exception("error");  // by rvalue
}

int main(int, char**) {
   try{
       foo();
   }
   catch(const my_exception& e) {  // by const reference
       std::cerr << e.what();
       std::runtime_error
   }
}
```

Exception

1. Исключения предназначены исключительно для обработки ошибок
2. Обработки ошибок должна строиться вокруг инварианта объекта
3. Исключения принято кидать по-значению, а ловить по-ссылку

Exception cost

```
struct invalid_value {};

void do_sqrt(std::span<double> values) {
  for (auto& v : values) {
     if (v < 0) throw invalid_value{};
     v = std::sqrt(v);
  }
}
```

Threads	1	2	4	8	12
0.0% failure	19ms	19ms	19ms	19ms	19ms
0.1% failure	19ms	19ms	19ms	19ms	20ms
1.0% failure	19ms	19ms	20ms	20ms	23ms
10% failure	23ms	34ms	59ms	168ms	247ms

Proposal P2544R0

std::expected

```
enum class EDivError {
   DevisionByZero = 0,
};

std::expected<int, EDivError> my_div(int a, int b) {
   if(b == 0)
       return std::unexpected{EDivError::DevisionByZero};

   return a/b;
}
```

std::expected

```
int main() {
   auto r = my_div(8, 0);
   if(r)
       std::cout << *r << std::endl;

   try {
       std::cout << r.value() << std::endl;
   } catch (std::bad_expected_access<EDivError>& err) {
       std::cout << err.what() << std::endl;
   }

   return 0;
}
```

std::expected (C++ 23)

- Позволяет возвращать либо ожидаемое значение либо ошибку
- Накладные расходы сравнимы с кодом возврата
- Передает ответственность за обработку вызывающему коду

- std::expected<T, E>
- std::unexpected<E>
- std::bad_expected_access

Исключения и код возврата

1. Исключения позволяют обрабатывать ошибки единообразно, но не в месте возникновения
2. Коды возврата позволяют обработать ошибку сразу при возникновении но не единообразно
3. std::expected позволяет иметь комбинированный подход