Программирование на языке C++

Вводный курс

Александр Морозов
gelu.speculum@gmail.com

ИТМО, весенний семестр 2021

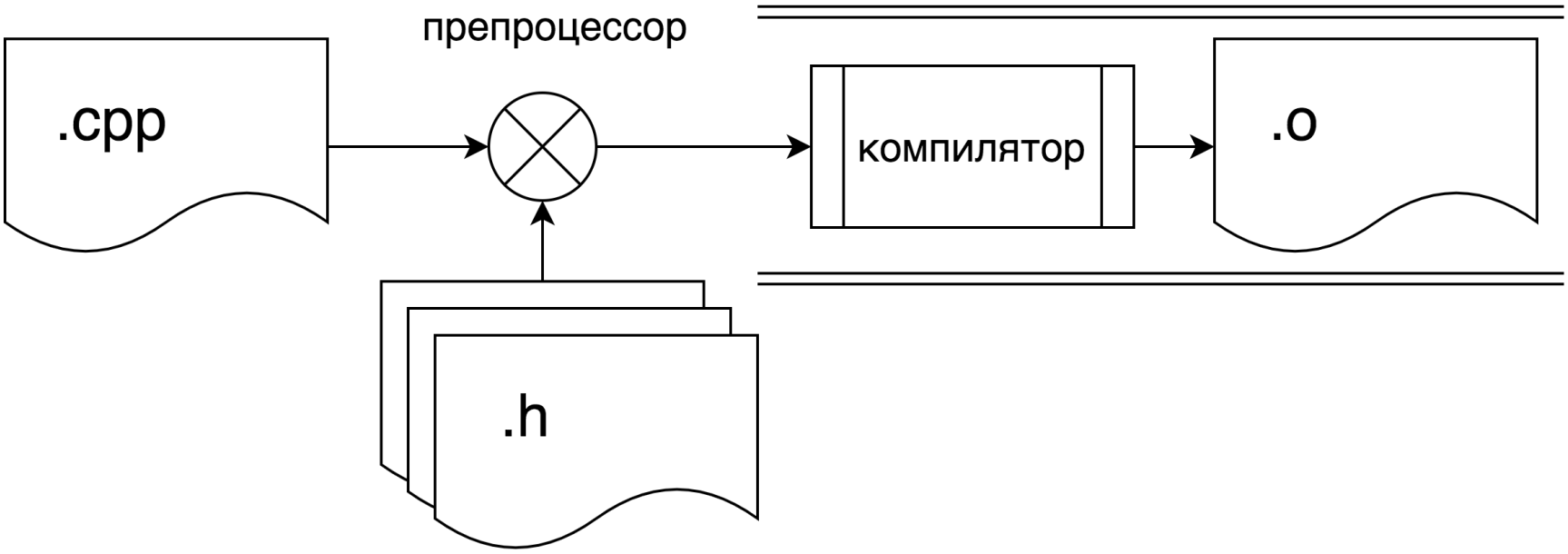
Содержание

Единицы трансляции

Препроцессор

Макросы

Единица трансляции



Объявление и определение

declaration $\neq$ definition

- объявление функций
- предварительное объявление классов
- предварительное объявление `enum`
- объявление внешней (`extern`) переменной
- объявление статического члена класса
- объявление шаблонного параметра
- объявление псевдонима типа
- `using` объявление
- явное объявление инстанциации шаблона
- специализация шаблона без определения

Объявления

```
1       int f(double);
2       class C;
3       enum class E;
4       extern int a;
5       extern int a;
6
7       struct S
8       {
9         static S s;
10        //static S s;
11      };
12
13      using T = int;
14      using std::cout;
15
16      template <class T>
17      int g();
18      template <>
19      int g<double>();
20
21      template <class T> class X;
22      template <> class X<int>;
```

Уникальность определений

One definition rule (**ODR**)

В одной единице трансляции допустимо лишь одно определение любой переменной, функции, класса, `enum` или шаблона.

Во всей программе допустимо лишь одно определение функции или переменной, которая ODR-используется (иначе – **UB**).

Повторение определений

Во всей программе может быть более одного определения класса, `enum`, шаблона, если:

- каждый вариант определения состоит из одинаковой последовательности токенов
- поиск имени, связанного с каждым таким определением, во всех случаях дает ту же сущность
- любые связанные операторы и методы должны давать вызов одной и той же функции в каждом случае

ODR-использование

- объект ODR-используется, если его значение читается (если только это не константа с известным на момент компиляции значением), записывается, его адрес берётся или с ним связывается ссылка

- функция ODR-используется, если она вызывается или её адрес берётся

Пример ODR-использования

```
1       struct S
2       {
3         static const int x = 0; // declaration
4       };
5
6       const int S::x; // definition
7
8       int main(int argc, char ** argv)
9       {
10        const int & x = S::x; // S::x is ODR-used
11        return S::x; // S::x is not ODR-used
12      }
```

inline

```
 1      inline void f()
 2      {
 3        // ...
 4      }
 5
 6      inline int x = 0;
 7
 8      struct S
 9      {
10        bool empty()
11        {
12          return true;
13        }
14
15        friend bool operator == (const S & lhs, const S & rhs)
16        { return true; }
17
18        static constexpr double pi = 3.14;
19      };
```

Linkage

Имя, обозначающее объект, ссылку, функцию, тип, шаблон, пространство имен или значение, может иметь linkage (связывание).

- отсутствие связывания: имя является локальным для своей области видимости
- внешнее связывание: имя в разных единицах трансляции ссылается на одну и ту же сущность
- внутреннее связывание: имя в любых областях видимости данной единицы трансляции ссылается на одну и ту же сущность

Назначение связывания по умолчанию

- отсутствие связывания
  - локальные переменные без `extern`
  - локальные классы
  - иные имена, объявленные на уровне блока
- внешнее связывание
  - глобальные не-`const` не-`inline` переменные
  - глобальные `inline` переменные
  - функции
  - классы
  - шаблоны
- внутреннее связывание
  - глобальные `const` не-`inline` переменные
  - члены анонимных `union`
  - сущности, объявленные в анонимном пространстве имён

Явное назначение связывания

- `extern` – спецификатор объявления переменных, позволяющий явно задать внешнее связывание
- `static` – спецификатор определения глобальных переменных или функций, явно задающий внутреннее связывание

```
1  extern int x; // external, declaration
2  extern int y = 101; // external, definition
3  int z = 111; // external
4  static int u = -1; // internal
5  const int v = 9; // internal
6  static const int w = 3; // internal
7  inline const int s = 3; // external
8  extern const int t = 1; // external
```

Language linkage

Имена переменных и функций с внешним связыванием обладают свойством “language linkage”.

Можно задать явно:

`extern` *string-literal* `{ ... }`
`extern` *string-literal declaration*

где *string-literal*:

- `"C++"`
- `"C"`

Содержание

Единицы трансляции

Препроцессор

Макросы

Директивы препроцессора

`#` *директива [аргументы]*

Директива должна размещаться на одной строке, занимает всю строку.

- `define`
- `undef`
- `include`
- `if`, `ifdef`, `ifndef`, `else`, `elif`, `endif`
- `error`
- `pragma`
- `line`

pragma

`#pragma` *params*

```
1       #pragma once
2
3       #pragma pack(1)
4       struct S
5       {
6         char a;
7         int b;
8         short c;
9       };
```

`#error` *message*

```
1       #if defined(__clang__)
2       // clang
3       #elif defined(__GNUC__) || defined(__GNUG__)
4       // gcc
5       #elif defined(_MSC_VER)
6       // MSVC
7       #else
8       # error "Unsupported␣compiler"
9       #endif
```

line

- `#line` *lineno*
- `#line` *lineno* `"`*filename*`"`

```
1       std::cout << __FILE__ << ":" << __LINE__ << std::endl;
2     #line 333 "foo.def"
3       std::cout << __FILE__ << ":" << __LINE__ << std::endl;
```

Условные директивы

```
1       #ifdef identifier
2       #ifndef identifier
3       #if expression
4       #elif expression
5       #else
6       #endif
```

Условные директивы, конструкция

```
1       #ifdef / ifndef / if
2       // main case
3       ...
4       #elif ...
5       // alternative case
6       ...
7       #else
8       // else case
9       ...
10      #endif
```

Условные директивы, выражения

1. подстановка макросов
2. оператор `defined id` или `defined(id)` $\rightarrow$`1` или `0`
3. оператор `__has_include(...)` $\rightarrow$`1` или `0`
4. прочие идентификаторы $\rightarrow$`0` (кроме `true`/`false`)
5. базовые токены $\rightarrow$токены
6. вычисление выражения, как константного

Условные директивы, пример

```
1       //#define FOO
2       //#define X 3 * 1 + 0
3       #if !defined(FOO)
4           std::cout << "First" << std::endl;
5       #elif X == 3
6           std::cout << "Second" << std::endl;
7       #else
8       # ifndef BAR
9           std::cout << "Third" << std::endl;
10      # endif
11      #endif
```

include

- `#include <` *файл* `>` – “стандартные” или “глобальные” файлы
- `#include "` *файл* `"` – “локальные” файлы

Выражение для `__has_include` имеет такую же форму и смысл.

Заголовочные файлы

a.h:

```
1       int max(int a, int b);
2       inline const double pi = 3.14;
```

a.cpp:

```
1       void f() {}
2       #include "a.h"
3       #include "a.h"
4       int x = max(10, 100);
```

a.i:

```
1       void f() {}
2       int max(int a, int b);
3       inline const double pi = 3.14;
4       int max(int a, int b);
5       inline const double pi = 3.14;
6       int x = max(10, 100);
```

Защита от повторного включения

"Include guards":

```
1    #ifndef SOME_UNIQUE_HEADER_NAME
2    #define SOME_UNIQUE_HEADER_NAME
3
4    ...
5    #endif
```

Альтернатива:

```
1    #pragma once
```

Содержание

Единицы трансляции

Препроцессор

Макросы

Макросы

```
1       #define identifier
2       #define identifier replacement
3       #define identifier(parameters) replacement
4       #define identifier(parameters, ...) replacement
5       #define identifier(...) replacement
6       #undef identifier
```

Сложные макросы

```
1   #define MAX(a, b) a < b ? b : a
2
3   if (MAX(x, y) == 0) {
4     ...
5   }
6
7   ->
8
9   if (x < y ? y : x == 0) {
10    ...
11  }
12
13  ->
14
15  if ((x < y) ? (y) : (x == 0)) {
16    ...
17  }
```

Ограничения макросов

Рекурсия запрещена

```
1       #define foo foo
2
3       foo
4       ->
5       foo
```

Вложенные вызовы разрешены

```
1       #define foo(x) x
2
3       foo(foo(foo(1)))
4       ->
5       1
```

Особенности подстановки параметров

В подстановке сложных макросов параметры дополнительно раскрываются.

Этапы подстановки:

1. Определение мест вхождения параметров в строке замены и их первичная подстановка
2. Раскрытие параметров в местах их подстановки
3. В строке замены обрабатываются макросы (при этом явно запрещена рекурсия)

Специальные операции подстановки

В подстановке сложных макросов # и ## играют особую роль:

- stringification (литерация): #a, где a – параметр макроса; вместо обычной подстановки параметра, параметр превращается в корректный строковый литерал (с обрамляющими "") и подставляется в строку замены
- concatenation (склейка): ## между любыми двумя параметрами или между параметром и другим токеном вызывает конкатенацию результатов их подстановки (препроцессор проверит корректность полученного токена)

Примеры stringification и concatenation

```
1       #define show(a, b, c) #a #b #c
2
3       show(x, 10, "hello\n")
4       ->
5       "x10\"hello\\n\""
6
7
8       #define print(type) void print_ ## type (type x) { ...
            ↪  }
9
10      print(char)
11      ->
12      void print_char(char x) { ... }
```

Особенности stringification и concatenation

При этом # и ## оказывает влияние на обработку параметров макросов: литерация или склейка производятся **до** возможного раскрытия параметров.

```
1       #define foo ABC
2       #define concat(a) foo ## a
3
4       concat(__LINE__)
5       ->
6       foo__LINE__
```

Обход особенностей stringification и concatenation

Обойти раннюю обработку операций # и ## можно двойным перенаправлением:

```
1   #define show(x) do_show(x)
2   #define do_show(x) #a
3
4   show(__LINE__)
5   ->
6   "123"
7
8   #define concat(a, b) do_concat(a, b)
9   #define do_concat(a, b) a ## b
10
11  concat(0x, __LINE__)
12  ->
13  0x123
```

Защита параметров макросов

```
1       #define MAX(a, b) a < b ? b : a
2
3       MAX(0, x & 0xFF)
4       ->
5       0 < x & 0xFF ? x & 0xFF : 0
```

```
1       #define MAX(a, b) (a) < (b) ? (b) : (a)
2       MAX(0, x & 0xFF)
3       ->
4       (0) < (x & 0xFF) ? (x & 0xFF) : (0)
```

Защита тела макросов

```
1       #define MAX(a, b) (a < b ? b : a)
2
3       if (MAX(x, y) == 0) {
4         ...
5       }
6       ->
7       if ((x < y ? y : x) == 0) {
8         ...
9       }
```

Защита места вставки

```
1       #define PRINT(x) do { \
2         ...; \
3         ...; \
4       } while (false)
5
6       // Now this is OK:
7       if (...)
8         PRINT(...);
9       else
10        ...;
```

Побочные эффекты в макросах

```
1       #define MAX(a, b) (a) < (b) ? (b) : (a)
2
3       MAX(x++, --y);
4       ->
5       (x++) < (--y) < (--y) : (x++);
```