Шаблоны

Проблема

- В языке C нет развитой стандартной библиотеки.
- За 50 лет существования языка не появилось
- И не появится
- GLib не предлагать

https://docs.gtk.org/glib/index.html

Много ли нам нужно?

- Список
- Строка
- Словарь
- Алгоритмы

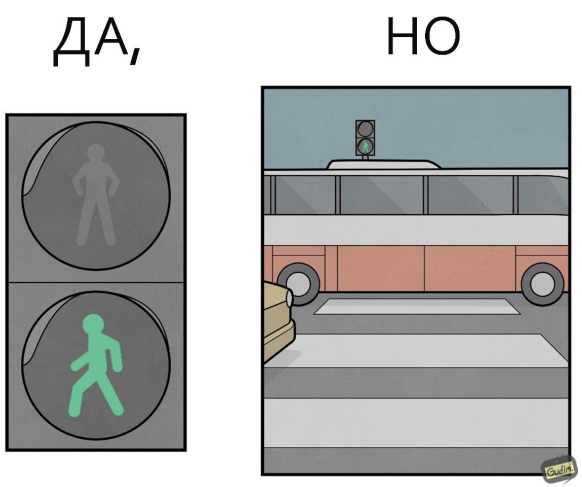
В терминологии абстрактных типов данных

Много ли нам нужно?

- И расширяемость
- И производительность
- И можно без хлеба (нет)

Можно поспорить

- Есть множество функций для работы со строками
  strstr, strcat, strcmp, …
  Да, но управление памятью на разработчике
- Вы можете написать свои
  Да, но не будете
- Есть даже qsort
  Да, но… уже обсуждали



Тем временем в C++

- 1983 — C++
- 1991 — Появились шаблоны
- 1993 — Создание STL

Причины

- В C крайне мало выразительных средств
- Очень скудный полиморфизм на уровне языка
- Средства для написания обобщенного кода:
  - Макросы
  - void*

Проблемы макросов

```
#define MAX(a, b) (((b) < (a)) ? (a) : (b))

int a = 1, b = 2;

int m = MAX(a++, b++); // m = ?
```

Проблемы макросов

```
#define MAX(a, b) (((b) < (a)) ? (a) : (b))

int a = 1, b = 2;

int m = MAX(a++, b++); // m = ?, b = ?
```

Проблемы макросов

```
#define MAX(a, b) (((b) < (a)) ? (a) : (b))

int a = 1, b = 2;

int m = MAX(a++, b++); // m = ?, b = ?
```

Проблемы макросов

```
#define MAX(a, b) (((b) < (a)) ? (a) : (b))

int a = 1, b = 2;

int m = MAX(a++, b++); // m = 3, b = 4
```


https://godbolt.org/z/3cs9P1d59

Обобщения функций

```
// Вынужденно стираем типы
int IntLess(const void* lhs, const void* rhs) {
  const auto lhs_value = *(const int*)lhs;
  const auto rhs_value = *(const int*)rhs;
  return lhs_value - rhs_value;
}
```

(Не)обобщенный код

```
// Отдельные функции под каждый тип
double fmax(double x, double y);
float fmaxf(float x, float y);
long double fmaxl(long double x, long double y);
```

Generic Selection

Как вам такое решение?

```
#define print_number(X) \
  _Generic((X), int: print_int, \
                long: print_long, \
              double: print_double)(X)
```


https://godbolt.org/z/6djaebvEa

Generic Selection

Первым аргументом может быть только одно выражение

```
_Generic(X), ...)
```

Как реализовать MAX?

Generic Selection

```
#define MAX(X, Y) \
  _Generic(X, char: max_char, \
              int: max_int)(X, Y)


#define MAX(X, Y) \
  _Generic(X + Y, char: max_char, \
              int: max_int)(X, Y)
```

Какая функция будет вызвана?

```
#define MAX(X, Y) _Generic(X, ...)

MAX(1, 2);
MAX(1, 'a');
MAX('a', 'b');

char a = 'a', b = 'b';
MAX(a, b);
MAX(a, 256);
```

Какая функция будет вызвана?

```
#define MAX(X, Y) _Generic(X, ...)

MAX(1, 2);                  // max_int
MAX(1, 'a');                // max_int
MAX('a', 'b');              // max_int

char a = 'a', b = 'b';
MAX(a, b);                  // max_char
MAX(a, 256);                // max_char + warning
```


https://godbolt.org/z/be4r9zjd1

Какая функция будет вызвана?

```
#define MAX(X, Y) _Generic(X + Y, ...)

MAX(1, 2);
MAX(1, 'a');
MAX('a', 'b');

char a = 'a', b = 'b';
MAX(a, b);
MAX(a, 256);
```

Какая функция будет вызвана?

```
#define MAX(X, Y) _Generic(X + Y, ...)

MAX(1, 2);                  // max_int
MAX(1, 'a');                // max_int
MAX('a', 'b');              // max_int

char a = 'a', b = 'b';
MAX(a, b);                  // max_int
MAX(a, 256);                // max_int
```


https://godbolt.org/z/3bT9Eh3zj

Обобщенный код в языке C

Макросы:

- Не контролируют типы
- Небезопасны в отношении побочных эффектов
- Не являются функциями (не могут быть переданы в другие функции)

void*:

- Небезопасен в отношении типов
- Также передача функций по указателю может приводить к падению производительности.

Вернемся в C++

Два основных вида полиморфизма

- Динамический (Полиморфизм подтипов)
- Статический (Шаблоны)

Пример полиморфизма подтипов

```
struct Shape {
  virtual ~Shape() = default;
  virtual void draw() = 0;
}

void f(const Shape& s) { s.draw(); }

Circle c(...);
f(c);
```

Пример полиморфизма подтипов

```
void f(const Shape& s) { s.draw(); }
```

Здесь:

- Shape — статический тип объекта s.
- Динамический тип известен во время выполнения
- Адрес виртуального метода draw определяется во время выполнения, вызов через указатель из vtable

Пример шаблона

```
template <typename T>
T max(T a, T b) {
  return b < a ? a : b;
}
```

Использование шаблона

```
int main() {
  double a = 3.1415, b = 2.7183;
  std::cout << ::max(a, b) << '\n';

  std::string s1 = "hello", s2 = "world";
  std::cout << ::max(s1, s2) << '\n';
}
```

Зачем :: ?

https://godbolt.org/z/YjbPdfxh6

NB

Явно обращаемся к max из глобальной области видимости ::

Избегаем неоднозначности с std::max

Keyword: ADL

Двухфазная трансляция

Шаблоны компилируются в два этапа:

1. Во время определения: проверка корректности кода без учета **T**
2. Во время инстанцирования: полная проверка.

Инстанцирование = генерация кода

```
double max<double>(double, double):
       push    rbp
       mov     rbp, rsp
      …

std::__cxx11::basic_string<char, std::char_traits<char>, std::allocator<char>>
max<std::__cxx11::basic_string<char, std::char_traits<char>, std::allocator<char>>>
 (std::__cxx11::basic_string<char, std::char_traits<char>, std::allocator<char> >,
  std::__cxx11::basic_string<char, std::char_traits<char>, std::allocator<char> >):
       push    rbp
       mov     rbp, rsp
       sub     rsp, 32
       …
```

Упражнение

```
// Пусть в текущем неймспейсе нет функции f()
// Результат компиляции кода?

template <typename T>
T id(T value) {
  f();
  return value;
}
```

Упражнение

```
// Пусть в текущем неймспейсе нет функции f()
// Результат компиляции кода?

template <typename T>
T id(T value) {
  f();
  return value;
}
```

Ошибка компиляции при определении

https://godbolt.org/z/6hd9ajMY3

Упражнение

```
// Пусть в текущем неймспейсе нет функции f()
// Результат компиляции кода?

template <typename T>
T id(T value) {
  f(value);
  return value;
}
```


https://godbolt.org/z/KK3aoEodj

Ответ

- На этапе определения ошибки нет
- Поиск f в глобальном пространстве имен
- …и в пространстве имен конкретного T (ADL)

Выводы

1. Шаблоны особенно чувствительны к наличию тестов
2. Компилируется при определении != скомпилируется при инстанцировании

В шаблонах классов мы еще увидим ленивую механику инстанцирования.

Следствие двухфазной трансляции

На момент инстанцирование должно быть доступно тело функции.

Раздельная компиляция (hpp/cpp) с шаблонами не работает.

Отделить определение можно, но…

```
#pragma once

template <typename T>
T max(T a, T b);

#include “max-inl.cpp”
```

Цена универсальности

1. Увеличение времени компиляции

   (все реализации в заголовочных файлах, многократный парсинг)
2. Увеличение объема кода

   (каждый тип порождает новый инстанс)

Вывод типов

```
template <typename T>
T max(const T& a, const T& b) {return b < a ? a : b;}
```

Пусть есть вызов max(1, 2);

Выводится два типа:

1. T = int
2. a, b = const int&

Преобразования типов

Во время вывода типов автоматические преобразования ограничены:

- При передаче по ссылке типы должны совпадать точно.
- При передаче по значению допускаются decay преобразования
  - Отбрасывание const/volatile
  - Отбрасывание ссылок
  - Функции/массивы преобразуются в указатели

Decay преобразования

```
template <typename T> T max(T a, T b) { … }

int i = 13;
const int c = 42;

max(i, c);    // T = ?
max(c, c);    // T = ?

int& ir = i;
max(i, ir);   // T = ?

int arr[4];
max(&i, arr); // T = ?
```

Decay преобразования

```
template <typename T> T max(T a, T b) { … }

int i = 13;
const int c = 42;

max(i, c);    // T = int
max(c, c);    // T = int

int& ir = i;
max(i, ir);   // T = int

int arr[4];
max(&i, arr); // T = int*
```

Стандартные преобразования запрещены

```
template <typename T> T max(T a, T b) { … }

// deduced conflicting types for parameter 'T'
// ('int' vs. 'double')
max(42, 3.1415);

// deduced conflicting types for parameter 'T'
// ('const char *' vs. 'std::basic_string<char>')
::max("hello", std::string("world"));
```

Способы обхода таких ошибок

1. Явное преобразование аргументов

```
max(static_cast<double>(42), 3.1415);
```

2. Явное указание типа T

```
max<double>(42, 3.1415);
```

3. Указание разных type-переменных для разных аргументов

```
template <typename T, typename U>
? max(T a, U b) {…}
```

Способы обхода таких ошибок

1. Явное преобразование аргументов

```
max(static_cast<double>(42), 3.1415);
```

2. Явное указание типа T

```
max<double>(42, 3.1415);
```

3. Указание разных type-переменных для разных аргументов

```
template <typename T, typename U>
auto max(T a, U b) {…}
```

Просмотр выведенного типа

```
template <typename T>
class TD;

TD<decltype(x)> a;
```


https://godbolt.org/z/nfddGroWE

Шаблоны классов

```
template <typename T>
class Wrapper {
 public:
  const T& value() const {
    return value_;
  }

  void f() { value_.f(); }

 private:
  T value_{};
};
```

```
int main() {
  Wrapper<int> w;
  std::cout << w.value();
}
```

Какие проблемы вы видите в коде?

Шаблоны классов

```
template <typename T>
class Wrapper {
 public:
  const T& value() const {
    return value_;
  }

  void f() { value_.f(); }

 private:
  T value_{};
};
```

```
int main() {
  Wrapper<int> w;
  std::cout << w.value();
}
```

Если метод не вызван,
он не будет инстанцирован

https://godbolt.org/z/TPzsjdP4E

Non-type parameters

```
template <typename T, std::size_t Capacity>
class Stack {
 private:
  T items_[Capacity];
  std::size_t size_ = 0;
};
```

Вместо заключения

- Правил много, нужны примеры
- Основная идея: программирование по статическому контракту

Вопросы?