

Семестр 2. Лекция 8. Метaprogramмирование.
Шаблоны в C++11. SFINAE. enable_if.

Евгений Линский

27 Апреля 2018

- ▶ Ранее мы, в основном, рассматривали обобщенное программирование (generic) в C++ — алгоритмы, написанные в стиле “типы будут заданы позже”.
- ▶ Метапрограммирование в C++ — это алгоритмы (операции), выполняемые во время компиляции программы.
 - 1 Обычная функция вычисляет значение в run-time
 - 2 Метафункция во время компиляции
 - вычисляет значение/константу (define, constexpr) или тип (type deduce)
 - генерирует алгоритм (var_args, variadic templates)
 - выбирает тот или иной вариант алгоритма (ifdef, enable_if)

- ▶ Templates aliases (“typedef для темплейтов”)

```
template<typename T>
using fast_vector = std::vector<T,
                               big_pool_allocator<T>>;

fast_vector<int> v;
```

big_pool_allocator — например, один раз выделяет большой массив, а потом “выдает” из него последовательные участки

- ▶ Исправлена проблема с угловыми скобками: `T<U<int>>`.

Variadic templates

```
template <typename T>
T sum(T n) { return n; }

template <typename T, typename ...Args>
T sum(T n, Args... rest) { return n + sum(rest...); }

double d = sum(3, (double)4.3, 5);
```

- ▶ “...” отщипывает один аргумент; затем тот же шаблон применяется еще раз, пока не дойдем до базы “шаблонной рекурсии” с одним аргументом ($T \text{ sum}(T n)$).
- ▶ для этого примера компилятор сгенерирует три функции

```
//получено с помощью макроса __PRETTY_FUNCTION__
T sum(T, Args ...) [with T = int; Args = {double, int}]
T sum(T, Args ...) [with T = double; Args = {int}]
T sum(T) [with T = int]
```

Переменное число аргументов в C (printf)

va_start, va_arg, va_end — макросы.

```
void simple_printf(const char* fmt, ...) {
    va_list args;
    //записать в args адрес следующего за fmt параметра на стеке
    va_start(args, fmt);
    while(*fmt != '\0' {
        if(*fmt=='d') {
            //достать со стека переменную типа int
            int i = va_arg(args, int)
            // здесь должен быть код, который
            // выводит int на экран с помощью puts
        }
        fmt++;
    }
    va_end(args);
}
//Труднообнаруживаемые ошибки
printf("%s", 5);
print("%d %d", 4);
printf("%d", 4, 5);
```

Переменное число аргументов в C++11 (printf)

```
void printf(const char *s) {
    while (*s) {
        if (*s == '%' && *(++s) != '%')
            throw std::runtime_error("invalid format");
        std::cout << *s++;
    }
}

template<typename T, typename... Args>
void printf(const char *s, T value, Args... rest) {
    while (*s) {
        if (*s == '%' && *(++s) != '%') {
            std::cout << value;
            printf(++s, rest...);
            return;
        }
        std::cout << *s++;
    }
    throw std::logic_error("extra arguments
        provided to printf");
}
```

```
template<int N>
struct Factorial {
    static int value = N * Factorial<N-1>::value;
};

template<>
struct Factorial<0> {
    static int value = 1;
};

std::cout << Factorial<5>::value << std::endl;
```

Метапрограммирование. Пример 2.

```
float euclidean_baseline(int n, float* x, float* y){
    for(int i = 0; i < n; ++i){
        float num = x[i] - y[i];
        result += num * num;
    }
    ...
}
float euclidean_intrinsic(int n, float* x, float* y){
    __m128 euclidean = _mm_setzero_ps();
    for (; n>3; n-=4) {
        __m128 a = _mm_loadu_ps(x);
        __m128 b = _mm_loadu_ps(y);
        __m128 a_minus_b = _mm_sub_ps(a,b);
        __m128 a_minus_b_sq = _mm_mul_ps(a_minus_b, a_minus_b);
        euclidean = _mm_add_ps(euclidean, a_minus_b_sq);
        x+=4;
        y+=4;
    }
    ...
}
```


Если процессор поддерживает расширение команд SSE...

```
float euclidean(int dim, float* x, float* y){
    float
        (*euclidean)(int, float*, float*) = euclidean_baseline;

#ifdef __SSE__
    euclidean = euclidean_intrinsic;
#endif
    return euclidean(dim, x, y);
}
```

```
#ifdef __SSE__
float euclidean(int n, float* x, float* y){
    for(int i = 0; i < n; ++i){
        float num = x[i] - y[i];
        result += num * num;
    }
}
#else
float euclidean(int n, float* x, float* y){
    __m128 euclidean = _mm_setzero_ps();
    for (; n>3; n-=4) {
        __m128 a = _mm_loadu_ps(x);
        __m128 b = _mm_loadu_ps(y);
        __m128 a_minus_b = _mm_sub_ps(a,b);
        __m128 a_minus_b_sq = _mm_mul_ps(a_minus_b, a_minus_b);
        euclidean = _mm_add_ps(euclidean, a_minus_b_sq);
        x+=4; y+=4;
    }
}
#endif
```

- ▶ Коротко: “Substitution Failure Is Not An Error”
- ▶ Длинно: “При выборе одной из перегрузок шаблонной функции варианты, вызывающие синтаксическую ошибку при подстановке шаблонного параметра, не вызывают ошибку компиляции, а исключаются из списка кандидатов на наиболее подходящую перегрузку”.

Синтаксическая ошибка при подстановке шаблонного параметра:

```
template <typename T>
void show(typename T::iterator x, typename T::iterator y){
    for (; x != y; ++x) cout << *x << endl;
}
show<int>(16, 18);
```

Компилятор скажет:

```
error: no matching function for call to 'show(int, int)'
note: candidate is:
note: template void show(typename T::iterator,
                        typename T::iterator)
```

```
template <typename T>
void show(typename T::iterator x, typename T::iterator y){
    for (; x != y; ++x) cout << *x << endl;
}
template <typename T>
void show(T a, T b)
{
    cout << a << " "; " << b << endl;
}
show<int>(16, 18);
```

Компилятор скажет: ОК.

Применение SFINAE.

- ▶ Хочу проверить, есть ли у типа итератор или нет
- ▶ Потом на основе этой проверки выбрать тот или другой вариант алгоритма (будет дальше)

```
template <typename T>
struct has_iterator {
    template <typename U>
    static char test(typename U::iterator* x);

    template <typename U>
    static long test(U* x);

    static bool value = sizeof(test<T>(0)) == 1;
};
//value = sizeof(test<int>(0)) == 1
std::cout << has_iterator<int>::value << std::endl;
std::cout << has_iterator<std::vector<int>>::value;
```

NB: выбирается первая, подходящая перегрузка.

Отступление про typename.

```
static char test(U::iterator* x);
```

Как трактовать *U::iterator** *x*?

- 1 Указатель типа *U::iterator**?
- 2 Умножение статической переменной *U::iterator* на *x*?

static char test(typename U::iterator x);* уточняет, что это вариант 1.

enable_if (C++11).

enable_if: включает (enable) в “исходник” код функции, только если выполняется условие (if).

```
template <typename T>
typename enable_if<!has_iterator<T>::value, void>::type
    show(const T& x) {
    cout << x << endl;
}

template <typename T>
typename enable_if<has_iterator<T>::value, void>::type
    show(const T& x) {
    for (auto& i : x)
        cout << i << endl;
}
```

enable_if (реализация).

```
vector<string> s = {"today", "is", "Friday"};  
show(s);
```

- ▶ Вариант без итератора не будет включен в “исходник” => его не будет и в бинарнике.
- ▶ Если условие в enable_if верно (true), то ::type будет равен void
- ▶ Если условия неверно, то будет синтаксическая ошибка и этот вариант функции будет исключен (SFINAE).

Реализация enable_if:

```
template<bool B, class T>  
struct enable_if {};  
  
template<class T>  
struct enable_if<true, T> {  
    typedef T type;  
};
```


enable_if (замена ifdef).

```
struct is_64_bit {
    static const bool value = sizeof(void*) == 8;
};

template<typename T = void>
typename std::enable_if<is_64_bit::value, T>::type
my_memcpy(void* target, const void* source, size_t n)
{
    std::cout << "64 bit memcpy" << std::endl;
}

template<typename T = void>
typename std::enable_if<!is_64_bit::value, T>::type
my_memcpy(void* target, const void* source, size_t n)
{
    std::cout << "32 bit memcpy" << std::endl;
}
```

NB: SFINAE работает только для шаблонных функций, поэтому мы искусственно вводим шаблонный параметр.

- 1 `#include <type_traits>`
- 2 Много метафункций в стиле нашего `has_iterator` (называются `traits`), которые можно использовать в `enable_if` (например: `is_integral`, `is_pointer`, `is_copy_assignable`)
 - `traits` — “выводит” (`deduce`) информацию о типе (часто реализованы с помощью специализации шаблонов для каждого типа)
 - Без `traits` можно сделать версию функцию `f()` для каждого примитивного типа (или один общий случай и варианты для нескольких типов с помощью специализации шаблонов)
 - С `traits` и `enable_if` можно сделать одну версию для целых типов, другую для вещественных типов