

Модули в C++20

Введение

- ****Зачем нужны заголовки**

Большинство C++ проектов включают несколько единиц трансляции, которые используют общие объявления и определения. Для этого применяются заголовочные файлы.

- **Минусы использования заголовков**

Заголовки могут вызывать проблемы с избыточной компиляцией и зависимостями между модулями, а также нет строгих правил относительно использования директивы `#include`. Она просто вставляет содержимое файла в место, где она расположена.

- **Зачем модули**

Модули это языковая функциональность, позволяющая обмениваться объявлениями и определениями между единицами трансляции. Они являются альтернативой некоторым вариантам использования заголовочных файлов.

Пример использования заголовочных файлов

- Файл *function.hpp*:

```
const char* function();
```

- Файл *function.cpp*:

```
const char* function() {  
    return "Hello";  
}
```

- Файл *main.cpp*:

```
#include <print>  
  
#include "function.hpp"  
  
int main() {  
    std::println("{} ", function());  
    return 0;  
}
```

- команда компиляции:

```
g++ -std=c++23 main.cpp function.cpp
```

#include нельзя контролировать

Можно делать странные вещи и это не вызовет ошибку:

- Файл *return.hpp*:

```
return "Hello";
```

- Файл *function.hpp*:

```
inline const char *function() {  
    #include return.hpp  
}
```

- Файл *main.cpp*:

```
#include <print>  
  
#include "function.hpp"  
  
int main() {  
    std::println("{} ", function());  
    return 0;  
}
```

- команда компиляции:

```
g++ -std=c++23 main.cpp
```

Нельзя включать файлы два раза

- Файл *foo.hpp*:

```
struct Foo {  
    int bar;  
    int bazz;  
};
```

- Файл *main.cpp*:

```
#include foo.hpp  
#include foo.hpp // ошибка переопределения но не повторного включения  
  
int main() {  
}
```

Не пользуясь защитой заголовков этот пример вызовет ошибку переопределения(но не повторного включения файла заголовка так как это разрешено)

Файл может использовать не определенные в нем вещи

- Файл *person.hpp*:

```
class Person {  
    std::string name; // std::string нет в файле ошибка конечно же не возникает  
};
```

- Файл *main.cpp*:

```
#include <string>  
  
#include "person.hpp"  
  
int main() {  
}
```

Пример использования модулей

- Файл *function.cpp*:

```
export module my_module;  
  
export const char *function() {  
    return "Hello";  
}
```

- Файл *main.cpp*:

```
import <print>;  
  
import my_module;  
  
int main() {  
    std::println("{} ", function());  
    return 0;  
}
```

- команда компиляции:

```
g++ -std=c++23 -fmodules-ts -xc++-system-header print  
g++ -std=c++23 -fmodules-ts -c function.cpp  
g++ -std=c++23 -fmodules-ts -c main.cpp  
g++ function.o main.o
```

Сравнение компиляции модулей против заголовчных файлов

- Файл *hello.cpp*:

```
#include <print>
int32_t main(int32_t, const char**) {
    std::println("Hello, world!");
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

- Файл *hello_with_modules.cpp*:

```
import <print>;
int32_t main(int32_t, const char**) {
    std::println("Hello, world!");
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

Сравниаппия длину полученного файла в байтах как результат работы препроцессра

```
clang++ -std=c++23 -E hello.cc | wc -c
1796066
```

против

```
clang++ -std=c++23 -stdlib=libc++ -fmodules -fbuiltin-module-map \
-E hello_modul.cc | wc -c
258
```


Сравнение времени компиляции

Если сравнивать время компиляции то оно тоже будет короче

```
time clang++ -std=c++23 hello.cc
```

```
real    0m0,934s
```

```
user    0m0,883s
```

```
sys     0m0,043s
```

против

```
time clang++ -std=c++23 -stdlib=libc++ -fmodules -fbuiltin-module-map hello_modul.cc
```

```
real    0m0,523s
```

```
user    0m0,465s
```

```
sys     0m0,057s
```

но это с учетом что мы используем прекомпилированные заголовки стандартной библиотеки если будем делать это с компиляцией самих заголовков как модулей:

```
time g++ -std=c++23 hello.cc
```

```
real    0m0,991s
```

```
user    0m0,951s
```

```
sys     0m0,033s
```

против

```
time g++ -std=c++23 -fmodules-ts -xc++-system-header print
```

```
real    0m0,811s
```

```
user    0m0,772s
```

```
sys     0m0,037s
```

и

```
time g++ -std=c++23 -fmodules-ts hello_modul.cc
```

```
real    0m0,667s
```

```
user    0m0,631s
```

```
sys     0m0,029s
```

в данном случае выходит все таки дольше но надобности перекомпилировать заголовков несколько раз нету так что при многократной компиляции время компиляции сокращается в разы

Более подробно о export

- *Файл:*

```
export module my_module;
```

```
// функции
```

```
export const char *function();
```

```
// типы
```

```
export class SomeClass;
```

```
// шаблоны
```

```
export template<typename T>
```

```
T max(T n1, T n2);
```

```
export template<typename T>
```

```
class anotherClass;
```

также можно объединять export в блоки или вовсе не экспортировать те или иные вещи

- *Файл:*

```
export module my_module;
```

```
export const char *foo() { return "Foo"; };
```

```
// не экспортируется
```

```
const char *bar() { return "Bar"; };
```

```
// экспортируем много вчего в блоке
```

```
export {  
    int one() { return 1; }  
    int zero() { return 0; }  
}
```

```
export namespace math {  
    int add(int a, int b) {  
        return a + b;  
    }  
}
```

```
int subtract(int a, int b) {  
    return a - b;  
}
```

Разделение модулей на разделы

пример1:

- Файл:

```
export module A:B; // Объявляет единицу интерфейса модуля для модуля 'A', раздела
```

пример2:

- Файл A-B.cpp:

```
export module A:B;
```

...

- Файл A-C.cpp:

```
module A:C;
```

...

- Файл A.cpp:

```
export module A;
```

```
import :C;
```

```
export import :B;
```

...

Простой пример использования модулей

- Файл *person.cpp*:

```
export module person;
```

```
import <stdint>;
```

```
import <string>;
```

```
import <string_view>;
```

```
import <iostream>;
```

```
export class Person {
```

```
    std::string name;
```

```
    uint32_t age;
```

```
public:
```

```
    Person(std::string_view = "", uint32_t = 0);
```

```
    const std::string& getName() const;
```

```
    uint32_t getAge() const;
```

```
};
```

```
export std::ostream& operator<<(std::ostream&, const Person&);
```

- Файл *person_impl.cpp*:

```
module person;
```

```
Person::Person(std::string_view newName, uint32_t newAge)
    : name{newName}, age{newAge}
{ }
```

```
const std::string& Person::getName() const { return name; }
```

```
uint32_t Person::getAge() const { return age; }
```

```
std::ostream& operator<<(std::ostream& out, const Person& person) {
    return out << person.getName() << " is "
        << person.getAge() << " years old";
}
```

- Файл *main.cpp*

```
import <cstdlib>;  
import <cstdlibint>;  
import <iostream>;
```

```
import person;
```

```
int32_t main(int32_t, const char**) {  
    Person mark{ "Mark" };  
    Person bob{ "Bob", 20 };  
    std::cout << mark << '\n'  
        << bob << '\n';  
    return EXIT_SUCCESS;  
}
```


И тоже самое с использованием заголовочных файлов

- Файл *person.hpp*:

```
#pragma once
```

```
#include <string>
```

```
#include <string_view>
```

```
#include <cstdint>
```

```
#include <iostream>
```

```
class Person {
```

```
    std::string name;
```

```
    uint32_t age;
```

```
public:
```

```
    Person(std::string_view = "", uint32_t = 0);
```

```
    const std::string& getName() const;
```

```
    uint32_t getAge() const;
```

```
};
```

```
std::ostream& operator<<(std::ostream&, const Person&);
```

- Файл *person.cpp*:

```
#include <string>
#include <string_view>
#include <cstdint>
#include <iostream>
```

```
#include "person.hpp"
```

```
Person::Person(std::string_view newName, uint32_t newAge)
    : name{newName}, age{newAge}
{ }
```

```
const std::string& Person::getName() const { return name; }
```

```
uint32_t Person::getAge() const { return age; }
```

```
std::ostream& operator<<(std::ostream& out, const Person& person) {
    return out << person.getName() << " is "
        << person.getAge() << " years old";
}
```

- Файл *main.cpp*:

```
#include <iostream>
```

```
#include "person.hpp"
```

```
int32_t main(int32_t, const char**) {  
    Person mark{ "Mark" };  
    Person bob{ "Bob", 20 };  
    std::cout << mark << '\n'  
        << bob << '\n';  
    return EXIT_SUCCESS;  
}
```

Различия во времени компиляции

Время компиляции решения с модулями с прекомпиляцией заголовочных файлов

```
time (for header in iostream string string_view cstdint cstdlib; \  
do g++ -std=c++23 -fmodules-ts -xc++-system-header $header; done && \  
g++ -std=c++23 -fmodules-ts -c person.cpp person_impl.cpp main.cpp && \  
g++ main.o person.o person_impl.o)  
real    0m1,964s  
user    0m1,862s  
sys     0m0,098s
```

Время компиляции решения с модулями с прекомпилированными заголовочными файлами

```
time (g++ -std=c++23 -fmodules-ts -c person.cpp person_impl.cpp main.cpp && \  
g++ main.o person.o person_impl.o)  
real    0m0,531s  
user    0m0,460s  
sys     0m0,069s
```

а теперь время компиляции решения с заголовочными файлами

```
time (g++ -std=c++23 -c person.cpp main.cpp && g++ main.o person.o)  
real    0m1,206s  
user    0m1,149s  
sys     0m0,055s
```

Если есть прекомпилированные файлы или компиляция будет проводится много раз то эффективнее использовать модули так как с использованием заголовочных файлов препроцессором включается огромное количество кода

Можно использовать заголовочные файлы вместе с модулями

то есть import и #include одновременно: иногда это необходимо так как иногда импорт заголовочных файлов невозможен (особенно, когда заголовочный файл использует макросы предварительной обработки в качестве конфигурации). (Но обычно все заголовочные файлы можно прекомпилировать или использовать уже прекомпилированные)

как пример модно изменить person.cpp и main.cpp из решения с модулями

- Файл *person.cpp*:

```
module;  
#include <cstdint>;  
#include <string>;  
#include <string_view>;  
#include <iostream>;  
export module person;
```

```
export class Person {  
    std::string name;  
    uint32_t age;  
public:  
    Person(std::string_view="", uint32_t =0);  
    const std::string& getName() const;  
    uint32_t getAge() const;  
};  
  
export std::ostream& operator<<(std::ostream&, const Person&);
```

- Файл *main.cpp*:

```
#include <cstdlib>;
#include <string>;
#include <string_view>;
#include <iostream>;

import person;

int32_t main(int32_t, const char**) {
    Person mark{ "Mark" };
    Person bob{ "Bob", 20 };
    std::cout << mark << '\n'
               << bob << '\n';
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

при таком использовании можно не прекомпелировать файлы заголовков как модули
но это решение будет тоже долго компилироваться

Итоги

- Модули решают проблемы, связанные с избыточной компиляцией и зависимостями.
- Модули позволяют значительно сократить время компиляции при многократных сборках. (особенно при использовании систем сборки но порядок их компиляции важен что усложняет их использование)
- При первом использовании модулей возможно увеличение времени из-за необходимости предварительной компиляции заголовков.
- Модули поддерживают явный экспорт (export), что позволяет точно контролировать видимость символов.
- Возможность комбинировать модули с заголовочными файлами сохраняет совместимость с существующим кодом.
- Модули легко делятся на части, что упрощает управление сложными проектами.
- Модули эффективны в крупных проектах с большим количеством единиц трансляции.
- Совсем не обязательно использовать модули так как некоторые IDE до сих пор не понимают этот синтаксис и подсвечивают как ошибку

Далнейшее изучение по теме (и используемые источники информации)

<https://youtu.be/WRCwcij5MTE?si=7abukqak4n90knBG>

https://youtu.be/_x9K9_q2ZXE?si=1b1MeF0O2UUjvP2d

<https://youtu.be/-p9lvvV8F-w?si=J7LSGOP2NbTrNQnA>

<https://en.cppreference.com/w/cpp/language/modules>

<https://habr.com/ru/companies/otus/articles/575954/>

https://cpp-kt.github.io/cpp-notes/32_modules.html

<https://learn.microsoft.com/ru-ru/cpp/cpp/modules-cpp?view=msvc-170>

<https://releases.llvm.org/18.1.4/tools/clang/docs/StandardCPlusPlusModules.html>

Спасибо за внимание