# Лекція 11: Шаблони функцій та шаблони класів

# **Потреба в шаблонах функцій та шаблонах класів**

Одним з недоліків мов програмування з типізацією є те, що коли визначається певна функція потрібно жорстко фіксувати для яких типів ця функція визначена та який результат вона повертає. Насправді, звичайно, це інколи гарно — бо гарантує виконання функції лише власне для тих типів для яких вона призначена. Але інколи, як наприклад для функції

int max (int a, int b){

return a>b?a:b;

}

було б непогано зробити так, щоб не було потреби визначати її окремо і для інших стандартних типів — long long, unsigned, string і так далі, а також можливо й для деяких нестандартних (для тих з них, де визначена операція порівняння), бо ми бачимо що код функції max для них буде такий самий.

Для тих з типізованих мов, що є об’єктно-орієнтовними та всі типи є наслідниками якогось базового класу можна спробувати реалізувати цю функцію для всіх типів з допомогою перетворення вниз, але в Сі++ для стандартних типів така можливість відсутня.

Ще одна причина появи синтаксису шаблонів є створення класів для реалізації стандартних контейнерів даних, наприклад, стеку.

При створенні таких структур даних на Сі завжди потрібно вказувати який тип даних в цій структурі використовується, наприклад:

struct Stack\_{

int data;

struct Stack\_ \* next;

} Stack;

А отже, якщо потрібно визначити таку саму структуру з тими ж самими функціями (методами) потрібно знов створювати нову структуру та переписувати той самий код з іншим типом, що, звичайно, є погано.

Звичайно, навіть синтаксис Сі дозволяє обійтись без повторення коду за допомогою певних хитрощів, але такі варіанти є достатньо нетривіальними, тому починаючи з 98-го стандарту додали нову властивість синтаксису, яка зветься шаблони.

**Шаблони функцій**

Шаблон функції – це опис функції, яка залежить від даних довільного типу. Під час виклику такої функції компілятор автоматично проаналізує тип фактичних аргументів, згенерує для них програмний код. Це називається неявним створенням екземпляру шаблону.

Запис:

**template <class Тип1, class Тип2,…, class ТипN>**

**Тип Функції НазваФункції(Тип1 аргумент1, Тип2 аргумент2,…,ТипN аргументN);**

або

**template <typename Тип1, typename Тип2,…, typename ТипN>**

**Тип\_Функції НазваФункції(Тип1 аргумент1, Тип2 аргумент2,…,ТипN аргументN);**

це оголошення шаблону.

В цьому визначенні:

* template - ключове слово, що вказує на визначення шаблону,
* Тип1, …, ТипN – назви деяких узагальнюючих типів.
* class або typename - ключові слова, що вказують на те що цей тип є узагальненим.
* Тип\_Функції НазваФункції(Тип1 аргумент1, Тип2 аргумент2,…,ТипN аргументN) – опис визначення функції в рамках синтаксісу Сі++. У списку формальних параметрів можуть бути присутні як параметри узагальнюючих типів так і стандартні або користувацькі типи.

Якщо шаблон описаний перед головною програмою, то він, як і звичайна функція, оголошення не потребує.

Підхід у програмуванні, що грунтується на використанні шаблонів функцій називається узагальнюючим програмуванням.

Примітка. Ключові слова class та typename абосолютно рівносильні (синоніми) та немає ніякої різниці яким з них користуватись.

Приклад.

#include <iostream>

#include <cstring>

using namespace std;

// шаблон функції для пошуку максимального значення в масиві

template <typename T> T maxArray(const T\* array, size\_t size){

    T max = array[0]; // максимальне значення в масиві

    for (int ix = 0; ix < size; ix++)

        if (max < array[ix])

            max = array[ix];

    return max;

}

int main(){

    // тестуємо шаблон функції maxArray для масиву типу char

    char array [] = "aodsiafgerkeio";

    int len = strlen(array);

    cout << "Максимальний елемент масиву типу char: " << maxArray(array, len) << endl;

    // тестуємо шаблон функції maxArray для масиву типу int

    int iArray [5] = {3,5,7,2,9};

    cout << " Максимальний елемент масиву типу int: " << maxArray(iArray, 5) << endl;

}

Тут у нас в шаблоні функції використовувалися вбудовані типи даних, тому в рядку ми написали template <typename T> (або <class T>). Замість T можна підставити будь-яке інше ім'я, яке є коректним ідентифікатором.

У рядку template <typename T> T maxArray(const T\* array, int size) виконується визначення шаблону з одним параметром - T, причому цей параметр буде мати один з вбудованих типів даних, так як вказано ключове слово typename.

Нижче, оголошена функція, яка відповідає всім критеріям оголошення звичайної функції, є заголовок, є тіло функції, в заголовку є ім'я і параметри функції, все як завжди. Але що цю функції перетворює в шаблон функції, так це параметр з типом даних T, це єдиний зв'язок з шаблоном, оголошеним раніше. Якби ми написали

int maxArray(const int\* array, size\_t size){

    int max = array[0]; // максимальне значення в масиві

    for (int ix = 0; ix < size; ix++)

        if (max < array[ix])

            max = array[ix];

    return max;

}

то отримали б звичайну цілу функцію від цілих аргументів,

Аналогічно, при T рівним std::string отимаємо

std::string maxArray(const std::string\* array, size\_t size){

std::string max = array[0]; // максимальне значення в масиві

    for (int ix = 0; ix < size; ix++)

        if (max < array[ix])

            max = array[ix];

    return max;

}

Тобто, T — це навіть не тип даних, а зарезервоване місце під будь-який вбудований тип даних. Тобто коли виконується виклик цієї функції, компілятор аналізує параметр шаблону функції і створює екземпляр для відповідного типу даних: int, char і так далі.

**Примітка**. Слід розуміти, що навіть якщо обсяг коду менше, то це не означає, що пам'яті програма буде споживати менше. Компілятор сам створює локальні копії функції-шаблону і відповідно пам'яті споживається стільки, як якщо б ви самі написали всі екземпляри функції, як у випадку з перевантаженням.

Відзначимо тієї факт, що поки немає виклика функції-шаблоном, при компіляції вона в бінарному коді не створюється (**не інстанціюється**). А якщо оголосити групу викликів функції зі змінними різних типів, то для кожного компілятор створить свою реалізацію на базі шаблону.

Виклик шаблонної функції, в загальному випадку, відповідає виклику звичайної функції. В цьому випадку компілятор визначить, який тип використовувати замість типу T, на підставі визначення типів фактичних параметрів. Але якщо підставлені параметри виявляться різних типів, то компілятор не зможе вивести (**інстанціювати шаблон**) реалізацію шаблону. Так, в нижче наступному коді компілятор “спіткнеться” на третьому виклику, так як не може визначити, чому дорівнює Type

#include <iostream>

template<class Type>

Type \_min(Type a, Type b) {

return (a < b) ?a:b;

}

int main(int argc, char\*\* argv) {

std::cout << \_min(1, 2) << std::endl;

std::cout << \_min(3.1, 1.2) << std::endl;

std::cout << \_min(5, 2.1) << std::endl; /\* error: no matching function for call to ‘\_min(int, double)’\*/

}

Вирішується ця проблема вказанням конкретного типу при виклику функції.

int main(int argc, char\*\* argv) {

std::cout << \_min<double>(5, 2.1) << std::endl;

}

**Примітка**. Не всі шаблони завжди можуть бути коректно інстанційовані. Дійсно, компілятор просто підставляє потрібний тип в шаблон. Але чи завжди отримувана функція буде працездатна? Очевидно, що ні. Будь алгоритм може бути визначений незалежно від типу даних, але він обов'язково користується властивостями цих даних. У випадку з шаблонної функцією \_min це вимога визначення оператора упорядкування (оператор <).

Будь-який шаблон функції передбачає наявність певних властивостей параметризованого типу, в залежності від реалізації (наприклад, оператору копіювання, оператору порівняння, наявності певного методу і т.д.). В очікуваному стандарті мови Сі++ за це будуть відповідати концепції.

Ще один, більш складний приклад. Визначимо шаблон функції від трьох типів:

#include <iostream>

template <class T1, class T2, class T3>

T3 strange\_mul(T1 x, T2 y) {

T3 res = static\_cast<T3>(x) \* static\_cast<T3>(y);

return res;

}

Тут ми визначили шаблон функції, який робить множення двох змінних різних типів, спочатку зводячи їх до третього типу. Ця функція буде коректно інстанційована, наприклад, наступними визначеннями типів та викликами:

long long y1 = strange\_mul<int, unsigned,long long>(1,2);

double y2 = strange\_mul<float, int, double>(1.0f,2);

Але у наступних випадках, вона повинна «впасти» при виконанні:

double y3 = strange\_mul<float, string, double>(1.0f,"2"); //error: invalid static\_cast

string y4 = strange\_mul<string, string, string>("1","2"); // error: no match for ‘operator\*’

В першому випадку, вона «впаде», бо не зможе виконати перетворення типу static\_cast<double>, а в другому бо не зможе виконати множення для типу string.

В усіх схожих випадках відповідальність за коректність шаблону кладеться на плечі програміста, бо програму буде стикатись з помилкою безпосередньо на етапі виконання.

### **Перевантаження шаблону функції**

Шаблони функцій також можна перевантажувати іншими шаблонами функцій, змінивши кількість переданих параметрів в функцію. Ще однією особливістю перевантаження є те, що шаблонні функції можуть бути перевантажені зазвичай не шаблонними функціями. Тобто вказується те саме ім'я функції, з тими ж параметрами, але для певного типу даних, і все буде коректно працювати.

Шаблони функцій також можуть перевантажуватися.

Зазвичай дана перевантаження виконується при довизначенні шаблонів до вказівників, як на прикладі.

template<class Type> Type\* \_min(Type\* a, Type\* b){

return (\*a < \*b)?\*a:\*b;

}

Іншим варіантом, коли треба перевантажити шаблон — це спеціалізація шаблонної функції.

У деяких випадках шаблон функції є неефективним або неправильним для певного типу. В цьому випадку можна спеціалізувати шаблон, - тобто написати реалізацію для даного типу. Наприклад, у випадку з рядками можна вимагати, щоб функція порівнювала тільки кількість символів. У разі спеціалізації шаблону функції тип, для якого уточнюється шаблон в параметрі не вказується. Нижче наводиться приклад зазначеної спеціалізації.

template<>

std::string \_min(std::string a, std::string b){

if(a.size() < b.size()){

return a;

}

return b;

}

Спеціалізація шаблону для конкретних типів робиться знову ж з міркування економічності: якщо ця версія шаблону функції в коді не використовується, то вона не буде включена в бінарний код.

**Примітка**. Для параметрів шаблону, так само як для параметрів функції є можливість задавати параметри за замовченням, щоправда для функцій ця можливість додана лише зі стандарту С++11.

Приклад

#include <iostream>

template <typename T=int> T func(T x, int y){

T res = x / y;

return res;

}

int main(){

int x=11,y=2,z;

double a=11.0,b,c;

z = func(x,y); // 5 - ціле

b = func<double>(x,y); // 5.5 - дійсне

c= func(a,y); // 5.5 - дійсне

}

### **Стандартні шаблони функцій**

Деякі популярні шаблони функцій вже присутні в стандартній бібліотеці Сі++, зокрема:

1) Шаблон максимуму (бібліотека <algorithm.h>):

template<class T>

const T& max(const T& a, const T& b){

return (a < b) ? b : a;

}

Використання:

int z1 = max(1,2);

double x=1.0, y=2.0;

y = max(x,y);

string z = max(“A”,”ABC”);

2) Шаблон мінімуму (бібліотека <algorithm.h>):

int z1 = min(1,2);

3) Шаблон функції обміну значеннями двох змінних (C++98: <algorithm>, C++11: <utility> )

// swap algorithm example (C++98)

#include <iostream> // std::cout

#include <algorithm> // std::swap

int main () {

int x=10, y=20; // x:10 y:20

std::swap(x,y); // x:20 y:10

}

**Шаблони класів**

Аналогічно як при створенні функцій, так і при розробці класів для різних типів даних, потрібно писати програмний код для кожного типу окремо. При цьому часто методи і операції над даними різних типів можуть містити один і той же повторюваний код. Щоб уникнути повторюваності написання коду для різних типів даних, в мові C++ використовуються так звані **шаблони (templates) класів**.

Шаблон класу дозволяє оперувати даними різних типів в загальному випадку. Тобто, немає прив'язки до певного конкретного типу даних (int, float, ...). Вся робота виконується над деякими узагальненим типом даних, наприклад типом з ім'ям T.

Фактично, оголошення шаблону класу є тільки описом. Створення реального класу з заданим типом даних виконується компілятором в момент компіляції, коли об’являється об’єкт класу.

Загальна форма декларації шаблонного класу має наступний вигляд:

**ClassName <types> objName;**

де

* ClassName – ім’я шаблонного класу;
* types – типи даних в програмі;
* objName – ім’я об’єкту (екземпляру) класу.

Ключове слово class може бути замінено на слово typename. Тоді загальна форма декларації шаблонного класу може бути наступною:

**template <typename T1, typename T2, …, typename Tn >**

**class ClassName {**

**// тіло класу**

**// ...**

**}**

або

**template <class T1, class T2, …, class Tn> class ClassName**

**{**

**// тіло класу**

**// ...**

**}**

де

* T1, T2, …, Tn – узагальнені імена типів, які використовуються в класі;
* ClassName – ім’я класу.

Згідно стандарту немає різниці між ключовими словами class та typename.

**Примітка**. Колись була домовленість, що ключове слово typename говорить про те, що в шаблоні буде використовуватися вбудований тип даних, такий як: int, double, float, char і т. д. А ключове слово class повідомляє компілятору, що в шаблоні функції як параметр будуть використовуватися користувацькі типи даних, тобто класи. Але це правило не стало обов’язковим навіть на рівні стандартів стилю.

Оголошення шаблону класу дає наступні переваги:

* уникається повторюваність програмного коду для різних типів даних. Програмний код (методи, функції) пишеться для деякого узагальненого типу T. Назва узагальненого типу можна давати будь-яку, наприклад, TTT;
* зменшення текстової частини програмного коду, і, як наслідок, підвищення читабельності програм;
* забезпечення зручного механізму передачі аргументів в шаблоні класу з метою їх обробки методами класу.

В прикладі декларується шаблон класу, що містить методи, які виконують наступні операції над деяким числом:

* множення числа на 2;
* ділення одного числа на інше. Для цілих типів виконується ділення націло;
* возведення числа в квадрат (ступень 2).

Декларація шаблону класу має вигляд:

// шаблон класу,

template <class T> class MyNumber{

public:

// конструктор

MyNumber(void) { }

// метод, множення на 2

void Mult2(T\* t);

// метод, возведення в квадрат

T MySquare(T x);

// метод, ділення двох чисел типу T, результат - тип T

T DivNumbers(T x, T y);

};

Для реалізації методів шаблону класу за межами класу потрібно вказувати template <class T1, ...class Tn> перед об’явою функцію.

// реалізація методу множення на 2

template <class T> void MyNumber<T>::Mult2(T\* t){

\*t = (\*t)\*2;

}

// реализація методу, возведення в квадрат

template <class T> T MyNumber<T>::MySquare(T number){

return (T)(number\*number);

}

// метод ділення

template <class T> T MyNumber<T>::DivNumbers(T t1, T t2){

return (T)(t1/t2);

}

Для використання шаблону в інший функції чи методі (зокрема в main()) потрібно об’явити тип використовувано класу обов’язково вказавши, яким типом ми інстанціюємо даний клас.

**Примітка**. Для параметрів шаблону класу так само як і для шаблонів функцій можна задавати параметри за замовченням.

Використання шаблону класу MyNumber в іншому програмному коді:

MyNumber <int> mi; // об’єкт mi класу для типу int

MyNumber <float> mf; // об’єкт mf класу для типу float

int d = 8;

float x = 9.3f;

// множення на 2

mi.Mult2(&d); // d = 16

mf.Mult2(&x); // x = 18.6

// возведення в квадрат

int dd;

dd = mi.MySquare(9); // dd = 81 - ціле число

double z;

z = mf.MySquare(1.1); // z = 1.21000... - дійсне

// ділення чисел

long int t;

float f;

t = mi.DivNumbers(5, 2); // t = 2 - ділення цілих чисел

f = mf.DivNumbers(5, 2); // f = 2.5 - ділення дійсних чисел

### **Загальна форма оголошення шаблону класу, що приймає аргументи**

Бувають випадки, коли в шаблоні класу потрібно використовувати деякі аргументи. Ці аргументи можуть використовуватися методами, які описуються в шаблоні класу.

Загальна форма шаблону класу, що містить аргументи, наступна:

**template <class T1, class T2, …, class Tn, type1 var1,** type2 **var2, ...,** typeN **varN> class ClassName{**

**// тіло шаблону класу**

**// ...**

**}**

де

* T1, T2, …, Tn – назви узагальнених типів даних;
* type1, type2, …, typeN – конкретні типи аргументів з іменами var1, var2, …, varN;
* var1, var2, …, varN – імена аргументів, які використовуються в класі.

**Примітка**. В декларації шаблонів можна використовувати також інші шаблони та інціалізувати за потреби й аргументи стандартних і нестандартних типів за замовченням:

**template <class T1, // параметр-тип**

**typename T2, // параметр-тип**

**int I, // параметр звичайного типу**

**T1 DefaultValue, // параметр звичайного типу**

**template <class> class T3, // параметр-шаблон**

**class C1 = char> // параметр за замовчуванням**

**Примітка 2**. У версії стандарту C++11 була додана можливість використання шаблонів зі змінним числом параметрів.

Давайте створимо шаблон класу Стек, де стек - структура даних, в якій зберігаються однотипні елементи даних. В стек можна додавати та видаляти дані. Новий елемент, який додається в стек, встановлюється в вершину стека. Видаляються елемент стека, який знаходиться на його вершині. У шаблоні класу Stack необхідно створити основні методи:

* push - додати елемент в стек;
* pop - видалити елемент з стека (на верхівці);
* top - вивести елемент що на верхівці стеку;
* printStack - виведення стеку на екран.

Отже, реалізуємо ці три методи, в результаті отримаємо найпростіший клас, який реалізує роботу структури стек. Також потрібні конструктори і деструктори.

#include <iostream>

template <class T, unsigned N=100> // довжина стеку за замовченням

class Mystack {

T a[N]; // будемо зберігати стек у масив

unsigned num; // поточний розмір доданих даних

public:

Mystack(){ num=0; } // конструктор

T top(){ // показати елемент

return a[num];

}

bool push(T b){ // додати елемент

if (num+1>=N) return false;

a[num++]=b;

return true;

}

T pop(){ //видалити елемент

if (num==0) return 0; // тут краще робити виключення (exception)

return a[--num];

}

void printStack(){ // вивід змісту стеку

for (int i=0;i<num;++i){

std::cout<<a[i]<<",";

std::cout<<std::endl;

}

}

};

// використання стеку

int main(){

Mystack<int> s1; // стек цілих чисел

Mystack<std::string> s2; // стек рядків

s1.push(1);s1.push(2);

s1.print();

s2.push("aaa");s2.push("bbbb");

s2.print();

}

Шаблони класів працюють точно так же, як і шаблони функцій: компілятор копіює шаблон класу, замінюючи типи параметрів шаблону класу на фактичні (передані) типи даних, а потім компілює цю копію. Якщо у вас є шаблон класу, але ви його не використовуєте, то компілятор не буде його навіть компілювати. Шаблони класів ідеально підходять для реалізації контейнерних класів, так як дуже часто таких класів доводиться працювати з різними типами даних, а шаблони дозволяють це організувати в мінімальній кількості коду. Хоча синтаксис дещо заплутаний, і повідомлення про помилки іноді можуть бути «об'ємними», шаблони класів є однією з важливіших конструкцій мови C++.

### **Спеціалізація шаблонів класу**

Також для шаблонів-класів визначена можливість спеціалізації шаблонів.

Прикладами спеціалізації шаблонів в Сі++ є:

* Реалізація функції sort() залежить від численних обмінів елементів значеннями. Якщо операція обміну значеннями є швидкою, як для атомарних типів чи [вказівників](https://uk.wikipedia.org/wiki/Вказівник_(програмування)), то її можна використовувати безпосередньо. Якщо ж вона є повільною, тоді потрібно створити для кожного елемента вказівник і здійснювати обмін значеннями серед вказівників.
* Стандартним прикладом спеціалізації шаблону є vector<bool> — спеціалізація шаблона послідовного контейнера бібліотеки STL, яка використовує однобітне зберігання значень типу bool.

Синтаксис спеціалізації шаблонів наступний:

#include <iostream>

using namespace std;

// шаблон класу - class template

template <class T> class mycontainer {

T element;

public:

mycontainer (T arg) {

element=arg;

}

T increase () {

return ++element;

}

};

template <>// !!! Увага: спеціалізація шаблону (template specialization)

class mycontainer <char> {

char element;

public:

mycontainer(char arg) {element=arg;}

char uppercase () {

if((element>='a')&&(element<='z'))

element+='A'-'a';

return element;

}

};

int main () {

mycontainer<int> myint (7);

mycontainer<char> mychar ('j');

cout << myint.increase() << endl;

cout << mychar.uppercase() << endl;

}

### **Багатофайлове використання шаблонів**

Шаблон не є ні класом, ні функцією - це трафарет, який використовується для створення класів або функцій. Таким чином, шаблони працюють не так, як звичайні функції або класи. У більшості випадків це не є проблемою, але на практиці трапляються різні ситуації. Працюючи зі звичайними класами ми поміщаємо визначення класу в заголовки, а визначення методів цього класу в окремий файл .cpp з аналогічним ім'ям. Таким чином, фактичне визначення класу компілюється як окремий файл всередині проекту. Однак з шаблонами все відбувається дещо інакше

// Array.h — інтерфейс шаблону

#ifndef ARRAY\_H

#define ARRAY\_H

#include <assert.h> // для assert()

template <class T>

class Array{

private:

int m\_length;

T \*m\_data;

public:

Array() {

m\_length = 0;

m\_data = nullptr; // c++11 — порожній вказівник

}

Array(int length) {

m\_data = new T[length];

m\_length = length;

}

~Array() {

delete[] m\_data;

}

void Erase() {

delete[] m\_data;

// Присвоюємо nullptr для m\_data, щоб не отримати незнищений вказівник!

m\_data = nullptr; // c++11

m\_length = 0;

}

T& operator[](int index) {

assert(index >= 0 && index < m\_length);

return m\_data[index];

}

// довжина масиву - ціла

int getLength();

};

#endif

// Array.cpp — реалізація шаблону

#include "Array.h"

template <typename T>

int Array<T>::getLength() { return m\_length; }

// ArrayDriver.cpp — файл для тестування шаблону

#include "Array.h"

int main(){

Array<int> intArray(10);

Array<double> doubleArray(10);

for (int count = 0; count < intArray.getLength(); ++count){

intArray[count] = count;

doubleArray[count] = count + 0.5;

}

for (int count = intArray.getLength()-1; count >= 0; --count)

std::cout << intArray[count] << "\t" << doubleArray[count] << '\n';

}

Вищенаведена програма зкомпілюється, але виникне таку помилку лінкеру: undefined reference to `Array <int> :: getLength ()

Дійсно, для використання шаблону компілятор повинен бачити як визначення шаблону (а не тільки оголошення), так і тип шаблону, що застосовується для створення екземпляра шаблону. Пам'ятаємо, що мова Cі++ компілює файли окремо. Коли заголовки Array.h підключаються в main.cpp, то визначення шаблону класу копіюється в цей файл. У ArrayDriver.cpp компілятор бачить, що нам потрібні два примірника шаблону класу: Array <int> і Array <double>, він створить їх, а потім скомпілює весь цей код як частину файлу ArrayDriver.cpp.

Однак, коли справа дійде до компіляції Array.cpp (окремим файлом), компілятор забуде, що ми використовували Array <int> і Array <double> в ArrayDriver.cpp і не створить екземпляр шаблону функції getLength (), який нам потрібен для виконання програми. Ми отримаємо помилку линкера, так як компілятор не зможе знайти визначення Array <int> :: getLength () або Array <double> :: getLength ().

Цю проблему можна вирішити кількома способами.

Найпростіший варіант - помістити код з Array.cpp в Array.h нижче класу. Таким чином, коли ми будемо підключати Array.h, весь код шаблону класу (повне оголошення і визначення як класу, так і його методів) буде знаходитися в одному місці. Плюс цього способу - простота. Мінус - якщо шаблон класу використовується в багатьох місцях, то ми отримаємо багато локальних копій шаблону класу, що збільшить час компіляції і лінковки файлів (лінкер повинен буде видалити дублювання визначень класу і методів, щоб виконуваний файл не був «занадто роздутим»). Рекомендується використовувати це рішення до тих пір, поки час компіляції або лінковки не є проблемою. Якщо ви вважаєте, що розміщення коду з Array.cpp в Array.h зробить Array.h занадто великим, то альтернативою буде перейменування Array.cpp в Array.inl (.inl від англ. «Inline» = «вбудований»), а потім підключення Array.inl з нижньої частини файлу Array.h. Це дасть той же результат, що і розміщення всього коду в заголовки, але таким чином код вийде трохи чистіше. Є ще рішення - підключення файлів .cpp, але цей варіант не рекомендується використовувати через нестандартного застосування директиви #include.

Найбільш розповсюджений альтернативний варіант - використовувати підхід трьох файлів: визначення шаблону класу зберігається в заголовку, а визначення методів шаблону класу зберігаються в окремому файлі .cpp. Потім додається третій файл, який містить всі необхідні нам екземпляри шаблону класу.

Наприклад, файл ArrayTemplates.cpp:

// Ми гарантуємо, що компілятор побачить повне визначення шаблона класу Array

#include "Array.h"

#include "Array.cpp" // ми трохи порушуємо правила включень С++, але лише в одному місці

// Тут ми за допомогою #include підключаємо всі .h и .cpp з визначеннями шаблонів що нам потрібні

template class Array<int>; // створюємо екземпляр шаблону класу Array<int>

template class Array<double>; // створюємо екземпляр шаблону класу Array<double>

// створюємо явно інші екземпляри шаблонів класу, які потрібні

Після цього компілюємо разом проект, наприклад:

g++ Array.cpp ArrayDriver.cpp ArrayTemplates.cpp -std=c++11

Частина ArrayTemplates змусить компілятор явно створити зазначені екземпляри шаблону класу. У прикладі, наведеному вище, компілятор створить Array <int> і Array <double> всередині ArrayTemplates.cpp. Оскільки ArrayTemplates.cpp знаходиться всередині нашого проекту, то він скомпілюється і вдало зв'яжеться з іншими файлами (пройде лінкінг). Цей метод більш ефективний, але вимагає створення / підтримки третього файлу (ArrayTemplates .cpp) для кожної з програм (проектів) окремо.

### **Наслідування класів шаблонів**

Іноді потрібно використовувати наслідування для шаблонів класів, які використовуються в програмі.

Наприклад, нехай ми маємо шаблон класу Point2D, який має член x y, та методи для встановлення та виведення цих членів:

template<class T> class Point2D{

T x;

T y;

T getX();

T getY();

void setX(T);

void setY(T);

};

Тобто тепер можна визначити об’єкти Point2D визначеного типу, наприклад, Point2D<int>.

Зауважимо, что Point2D - Це не клас шаблону, а шаблон класу. Тобто це шаблон, з якого можна створювати класи. Point2D <int> - це такий клас (це не об'єкт, але, звичайно, ви можете створити об'єкт з цього класу так само, як ви можете створити об'єкти з будь-якого іншого класу). Іншим таким класом буде Point2D <char>. Зверніть увагу, що це абсолютно різні класи, які не мають нічого спільного, крім того, що вони були створені з одного і того ж шаблону класу.

Нехай потрібно створити клас Point3D, який успадковує клас Point2D. Оскільки Point3D сам по собі не є шаблоном, то не можна ввести Point3D <int>. Оскільки Point2D не є класом, то безпосередньо з нього не можна вивести клас Point3D. Тобто при означенні Point3D необхідно вказати, з якого класу буде відбуватися спадкування. Це вірно незалежно від того, створюються ці класи з шаблону чи ні. Два об'єкти одного класу просто не можуть мати різні ієрархії успадкування.

Але можна наслідувати клас від інстанційованого класу Point2D (або декількох з них). Наприклад, оскільки Point2D <int> це клас, то можна вивести з нього Point3D:

class Point3D: public Point2D<int>{

T z;

// ...

};

Оскільки Point2D<int> та Point2D<char> - це різні класи, ви навіть можете отримати похідні від обох одночасно (проте при доступі до їх членам вам доведеться мати справу з неоднозначними):

class PointX:

public Point2D<int>,

public Point2D<char>

{

// ...

};

Тепер у мене є клас Point3D, який успадковує клас Point2D. Оскільки Point3D сам по собі не є шаблоном, не можна ввести Point3D <int>.

Для того, щоб створити клас наслідник шаблоном, потрібно зробити наступне:

template<typename T> class Point3D:

public Point2D<T>{

// ...

};

Тепер у нас є шаблон Point3D, з якого можна отримати клас Point3D <int>, похідний від Point2D <int>, і інший клас Point3D <char>, похідний від Point2D <char>. Можливо, було б непогано мати один тип Point3D, щоб ви могли передавати всі види Point3D однієї і тій самій функції (яка сама по собі не повинна знати тип області). Оскільки класи Point3D <T>, створені шляхом створення екземпляру шаблону Point3D, формально незалежні один від одного, той варіант, що був зроблений не працює таким чином. Однак тут можна використовувати множинне наслідування:

class Point3D // не є наслідником Point2D

{

// Незалежний інтерфейс

};

template<typename T> class SpecificPoint3D:

public Point3D,

public Point2D<T>

{

// Залежний інтерфейс

};

void foo(Point3D&); //Функція що працює з загальним типом Point3D

int main(){

SpecificPoint3D <int> int\_pt;

foo(int\_pt);

SpecificPoint3D <char> char\_pt;

foo(char\_pt);

}

Якщо важливо, що універсальний Point3D є похідним від універсального Point2D, можна зробити той самий трюк і з Point2D:

class Point2D{

// загальний інтерфейс Point2D

};

class Point3D:

public virtual Point2D // virtual тому що "diamond inheritance"

{

// інтерфейс для Point3D

};

template<typename T> class SpecificPoint2D :

public virtual Point2D

{

// реалізація Point2D для типу T

};

template<typename T> class SpecificPoint3D:

public Point3D, // можливо це також буде virtual, для подальшого наслідування

public SpecificPoint2D <T> // тут не потрібно віртуальне наслідування

{

// реалізація Point3D для типу T

};

### **Шаблони як члени класів**

Окремі проблеми в реалізаціях виникають і з членами-шаблонами. Якщо шаблон, який є членом класу, який у свою чергу є параметром шаблону, використовується в цьому шаблоні і не допускає виведення параметрів, то необхідно використовувати кваліфікатор template :

   class A

   {

   / \* ... \* /

   public:

     template <class T> T & ConvertTo ();

     template <class T> void ConvertFrom (const T & data);

   };

   template <class T>   void f (T Container)

   {

     int i1 = Container.template ConvertTo <int> () + 1;

     Container.ConvertFrom (i1); // кваліфікатор не потрібен

   }

### **Шаблон змінної**

Стандарт C++14 додав можливість оголошувати змінні параметризовані за типом даних.

Наприклад, число pi можна визначити як шаблон змінної без визначення конкретного типу:

template<typename T> constexpr T pi{3.1415926535897932385};

Слід зазначити, що подібно іншим шаблонам, шаблони змінних не можна оголошувати всередині функцій або в блоках коду.