Тема 15

Шаблоны

Зачем нужны шаблоны?

Сильно типизированный язык , такой, как C++, создает препятствия для реализации совсем простых функций. Реализация таких функций должна быть многократно повторена для различных типов, хотя алгоритм остаётся одним и тем же.

```
int Min(int a, int b ) {
 return a < b ? a : b;
}
```

Эта функция неприменима к типу **double:**

```
cout << Min(4.5, 6);
```

результат:

```
4
```

Решение проблемы: перегруженные функции

```
int Min(int a, int b ) {
 return a < b ? a : b;
}

double Min(double a, double b ) {
 return a < b ? a : b;
}

long long Min(long long a, long long b ) {
 return a < b ? a : b;
}
```

И Т.Д.

Преимущества и недостатки этого подхода

Преимущество:

- возможность реализовать особенности работы с определёнными типами

```
const char* Min(const char* a, const char* b ) {
 return strcmp(a, b)<0 ? a : b;
}
```

Недостатки:

- дублирование кода;
- невозможно реализовать функцию (особенно стандартную) для абсолютно всех типов данных, которые потребуются в дальнейшем.

Решение проблемы: использование макросов

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

Недостатки:

- одинаковая реализация для всех типов;
- это – не вызов функции, а текстовая подстановка, так что выражения будут рассчитываться дважды.

```
int p=6;
std::cout << Min(p++, 8);
```

Результат вывода – 7, поскольку вторая строка преобразуется в строку

```
std::cout << ((p++) < (8) ? (p++) : (8));
```

Определение шаблона

Шаблон – это реализация функции или класса для типов, которые передаются в шаблон в качестве параметров

Синтаксис задания шаблона функции:

```
template <параметры_шаблона>
реализация_функции ; // объявление или определение
```

Категории параметров шаблона:

- параметры-типы

```
class имя_параметра
typename имя_параметра
```

- параметры-переменные

```
тип имя_параметра
```

Задание шаблона для функции min()

```
template <class Type>
   Type Min(Type a, Type b) {
      return a < b ? a : b;
}
```

ИЛИ

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

Использование шаблона:

```
cout << Min(5, 8);  // результат - 5
cout << Min(5.4, 3.8);  // результат - 3.8
cout << Min("Serge", "Kashkevich");
        // неверный результат - Serge
```

Реализация шаблонов

1. При компиляции текста шаблона проводится лишь синтаксический анализ заголовка, программный код не генерируется;
2. генерация программного кода выполняется при его вызове. При этом определяются значения параметров-типов и для каждого нового параметра-типа строится свой экземпляр шаблона. Такой механизм называется **инстанциацией** (**конкретизацией**) шаблона.

Ошибки компиляции при использовании шаблонов

1. Ошибки компиляции возможны при использовании недопустимых синтаксических конструкций в заголовке шаблона или функции:

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

Эта ошибка обнаружится всегда, даже если нет ни одной конкретизации шаблона.

Ошибки компиляции при использовании шаблонов

2. Ошибки компиляции возможны при использовании недопустимых синтаксических конструкций в тексте функции:

```
template <typename Type>
   Type Min( Type a, Type b ) {
      return a < b ? a? b;
   }
```

Эта ошибка обнаружится при первой же конкретизации шаблона.

Ошибки компиляции при использовании шаблонов

3. Ошибки компиляции возможны при использовании недопустимых синтаксических конструкций в процессе конкретизации шаблона:

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

Эта ошибка обнаружится при конкретизации шаблона для типа, у которого не определена операция «меньше».

```
Person p1(”John”), p2(”Richard”);
…
Person p3(Min(p1, p2));  // Ошибка!
```

Явное и неявное указание параметров при конкретизации шаблонов

1. `cout << Min(2, 4) << endl;`

   Создаётся неявная конкретизация для типа int
2. `cout << Min(2.8, 4.7) << endl;`

   Создаётся неявная конкретизация для типа double
3. `cout << Min(2LL, 4LL) << endl;`

   Создаётся неявная конкретизация для типа long long

Явное и неявное указание параметров при конкретизации шаблонов

4. `cout << Min(2, 4.7) << endl;`

   Ошибка компиляции:

   ```
   error C2782: 'Type Min(Type,Type)' : template parameter 'Type' is ambiguous
   ```

   Исправление ошибки:

   Первый способ:

   ```
   cout << Min((double)2, 4.7) << endl;
   ```

   Второй способ:

   ```
   cout << Min <double>(2, 4.7) << endl;
   ```

Специализация шаблонов (определение)

В некоторых случаях имеется специальная информация о типе, позволяющая написать более эффективную функцию, чем конкретизированная по шаблону. А иногда общее определение, предоставляемое шаблоном, для некоторого типа просто не работает.

Явное определение специализации – это такое определение, в котором за ключевым словом template следует пара угловых скобок <>, а за ними – определение специализированного шаблона:

```
template <> тип_возврата
функция <параметры шаблона>
(параметры_функции) {реализация}
```

Специализация шаблонов (часть 1)

```
cout << Min("Serge", "Kashkevich");
// неверный результат – Serge
// Причина: выполняется сравнение указателей,
//  а не сравнение строк
```

Первый вариант решения: перегрузка функции Min

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

const char* Min(const char* a, const char* b ) {
 return strcmp(a, b)<0 ? a : b;
}
```

Специализация шаблонов (часть 2)

```
cout << Min("Serge", "Kashkevich");
// неверный результат – Serge
// Причина: выполняется сравнение указателей,
//  а не сравнение строк
```

*Второй вариант решения: специализация Min для типа const char **

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

template <> const char* Min <const char*>
     (const char* a, const char* b ) {
 return strcmp(a, b)<0 ? a : b;
}
```

Специализация шаблонов (ограничения)

Специализация шаблона должна быть определена до конкретизации!

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

void my_func() {
…
cout << Min("Serge", "Kashkevich");
…
}
// компилятор ещё не видит, что была выполнена
// специализация!
template <> const char* Min <const char*>
     (const char* a, const char* b ) {
 return strcmp(a, b)<0 ? a : b;
}
```

Пример шаблона с параметрами-типами и параметрами-переменными

Функция находит минимальный элемент в массиве, размер которого задаётся параметром шаблона (**так делать категорически не рекомендуется!**):

```
template <class Type, int size>
   Type Min( Type *arr) {
   Type m = arr[0];
   for (unsigned i=1; i<size; i++)
   if (m>=arr[i])
         m = arr[i];
   return m;
}
```

Конкретизация:

```
int M[50];
//заполнение массива M
cout << Min <int, 10> (M);
```

Для чего нужны шаблоны классов?

Наиболее очевидное использование - адаптивные объекты памяти или контейнеры.

Вернёмся к примеру из предыдущих лекций:

```
typedef int InfoType;

class LQueue {
…
}
```

Преимущества:

- легко переходить к другому типу хранимых данных.

Недостатки:

- невозможно в одном приложении организовать очереди для различных типов;
- не для всех типов данных такая реализация работает

Описание шаблона класса

```
template <параметры_шаблона>
class имя_класса{ … };

…

template <параметры_шаблона>
реализация_методов;
```

Реализация метода:

```
template <параметры_шаблона>
тип_возврата имя_класса<значения_параметров_шаблона>
::имя метода { … }
```

В параметрах шаблона, в отличие от шаблонов функций, могут быть заданы значения по умолчанию!

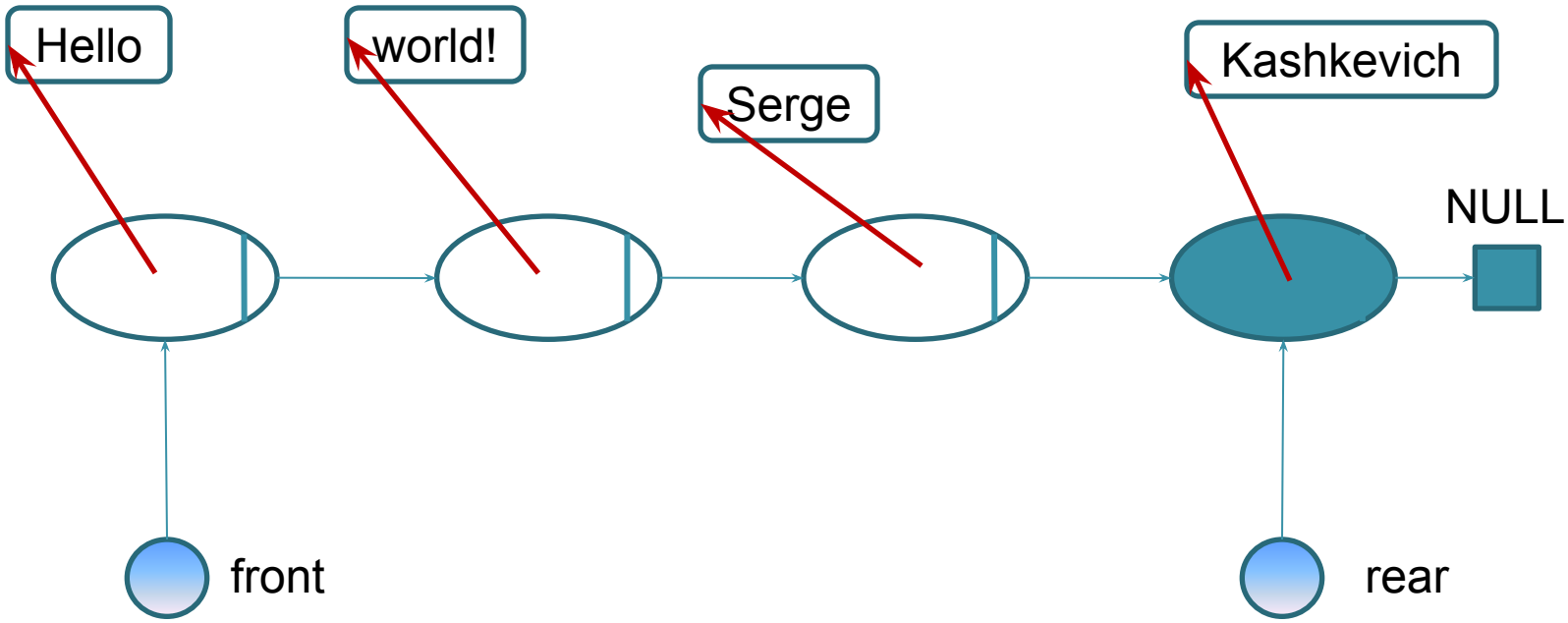
Описание очереди через шаблон

```
#ifndef __LQueue_defined__
#define __LQueue_defined__

#include <iostream>
using namespace std;

template <typename InfoType = int>
class LQueue {
 …
};

#endif
```

Реализация отдельных методов очереди

```
template <typename InfoType>
void LQueue <InfoType> ::Erase() {
  while (Pop());
  size = 0;
}

template <typename InfoType>
void LQueue <InfoType> ::Clone(const LQueue& Q) {
  QItem *tmp = Q.front;
  for (unsigned i=0; i<Q.size; i++) {
   Push(tmp->info);
   tmp = tmp->next;
  }
}
```

Особенности работы с типом const char *



Общий шаблон для метода Pop()

```
template <typename InfoType>
bool LQueue <InfoType> ::Pop() {
  if (size==0)
   return false;
  QItem *tmp = front;
  front = front->next;
  delete tmp;
  size--;
  if (size==0)
   rear = NULL;
  return true;
}
```

Специализация метода Pop() для класса const char *

```
template <>
bool LQueue <const char *> ::Pop() {
  if (size==0)
   return false;
  QItem *tmp = front;
  front = front->next;
  delete [] tmp->info;
  delete tmp;
  size--;
  if (size==0)
   rear = NULL;
  return true;
}
```

Конструктор QItem и его специализация для класса const char *

```
template <typename InfoType>
class LQueue {
…
   struct QItem {
…
   QItem(InfoType Ainfo): info(Ainfo), next(NULL) {}
   };
…
};

template <>
LQueue <const char *> ::QItem::QItem(
                const char * AInfo): next(NULL) {
   info = new char[strlen(AInfo)+1];
   strcpy((char *)info, AInfo);
}
```

Особенности компоновки проекта при создании шаблона классов

Шаблоны компилируются только в момент их конкретизации, и разнесение реализации класса и его использования в различные файлы без связи друг с другом становится невозможным.

Возможные способы решения этой проблемы:

- дать пользователю класса описание шаблонов в исходных текстах;
- реализовать собственные классы на основе шаблонов для наиболее употребимых типов.

Особенности доступа к элементам очереди

Оператор [] возвращает ссылку на хранящийся в очереди элемент, позволяя его изменять. Для типа char * это может привести к изменению указателя.

Следствия:

- утечка памяти;
- доступ к памяти, выделенной вне класса.

Следовательно, этот оператор нельзя применять для указанного типа.

Решение возникшей проблемы

- запрет выполнения оператора [] для класса const char *;
- Предоставление вместо этого метода SetByIndex для выполнения замены строк

Кроме того, имеет смысл написать защищённый метод, возвращающий указатель на элемент очереди с указанным индексом.

Метод PtrByIndex()

```
template <typename InfoType>
void* LQueue <InfoType> ::PtrByIndex (unsigned k)
  const {
  if ((k<0) || (k>=size))
   throw exception("Impossible to obtain
                        queue item: invalid index");
  QItem *tmp = front;
  for (unsigned i=0; i<k; i++)
   tmp = tmp->next;
  return tmp;
}
```

Вызовы метода PtrByIndex() из открытых методов

```
template <typename InfoType>
const InfoType& LQueue <InfoType> ::GetByIndex
  (unsigned k) const {
  return ((QItem*)PtrByIndex(k))->info;
}

template <typename InfoType>
void LQueue <InfoType> ::SetByIndex(InfoType AInfo,
  unsigned k) {
  ((QItem*)PtrByIndex(k))->info = AInfo;
}
```

Специализация метода SetByIndex()

```
template <>
void LQueue <const char *> ::
SetByIndex(const char * AInfo, unsigned k){
  char * curr =
                (char *)((QItem*)PtrByIndex(k))->info;
  delete [] curr;
  curr = new char[strlen(AInfo)+1];
  strcpy(curr, AInfo);
  ((QItem*)PtrByIndex(k))->info = curr;
}
```

Оператор typeid()

Оператор typeid имеет две формы:

- **typeid**(выражение)
- **typeid**(тип)

Он создаёт объект класса type_info с информацией о типе операнда.

Пример использования typeid:

```
cout << typeid(”Hello, world!”).name() << endl;
// Результат – ”char const [14]”
```

Использование typeid() вместо специализации

```
template <typename InfoType>
InfoType& LQueue <InfoType> ::operator [] (unsigned k)
   {
   if (typeid(InfoType)==typeid(const char *))
    throw exception("Using of operator[] is
prohibited; use SetByIndex or GetByIndex instead");
   return (InfoType&) ((QItem*)PtrByIndex(k))->info;
}
```

Использование typeid() вместо специализации (продолжение)

```
template <typename InfoType>
void LQueue <InfoType> ::Browse(void
  ItemWork(InfoType&)) {
  if (typeid(InfoType)==typeid(const char *))
   throw exception("Using of
           Browse(void(InfoType&)) is prohibited for
           null-terminated strings");
  QItem *tmp = front;
  for (unsigned i=0; i<size; i++) {
   ItemWork(tmp->info);
   tmp = tmp->next;
  }
}
```