Шаблони (Templates)

Любомир Чорбаджиев[1]
lchorbadjiev@elsys-bg.org

[1]Технологическо училище "Електронни системи"
Технически университет, София

7 април 2008 г.

Съдържание

Пример: копиране на масив от цели числа

- Даден е масив от цели числа. Трябва да се копират стойностите на елемента на масива в друг масив.

```
1 void copy(int dst[], int src[], int size) {
2   for(int i=0;i<size;i++)
3     dst[i]=src[i];
4 }
```

Пример: копиране на масив от цели числа

```
6 #include <iostream>
7 int main(void) {
8   int a[10], b[10];
9   for(int i=0;i<10;i++)
10    a[i]=i*10;
11  copy(b,a,10);
12  for(int i=0;i<10;i++)
13    std::cout << b[i] << "; ";
14  std::cout << std::endl;
15  return 0;
16 }
```

Пример: копиране на масив от числа с плаваща запетая

- Даден е масив от числа с плаваща запетая. Трябва да се копират стойностите на елемента на масива в друг масив.
- Използването на функцията **void** `copy(`**int** `a[], `**int** `b[], `**int** `size)` води до непредвидими резултати.

Пример: копиране на масив от числа с плаваща запетая

```
6 #include <iostream>
7 int main(void) {
8   double c[10],d[10];
9   for(int i=0;i<10;i++)
10    c[i]=i*1000.0;
11  copy((int*)d,(int*)c,10);
12  for(int i=0;i<10;i++)
13    std::cout << d[i] << "; ";
14  std::cout << std::endl;
15  return 0;
16 }
```

```
0; 1000; 2000; 3000; 4000; 2.12203e-314; 6.95327e-310;\
 2.07343e-317; 6.95327e-310; 2.07362e-317;
```

Пример: копиране на масив от числа с плаваща запетая

- Директното решение е да се дефинира нова функция:

```
1 void copy(double dst[],double src[],int size) {
2   for(int i=0;i<size;i++)
3     dst[i]=src[i];
4 }
```

Пример: копиране на масив от числа с плаваща запетая

```
6 #include <iostream>
7 int main(void) {
8   double c[10],d[10];
9   for(int i=0;i<10;i++)
10    c[i]=i*1000.0;
11  copy(d,c,10);
12  for(int i=0;i<10;i++)
13    std::cout << d[i] << "; ";
14  std::cout << std::endl;
15  return 0;
16 }
```

```
0; 1000; 2000; 3000; 4000; 5000; 6000; 7000; 8000; 9000;
```

Проблеми

- Ако се подхожда по този начин за всеки тип трябва да се дефинира отделна версия на функцията `copy()`.
- Използването на copy/paste за размножаване на кода води до:
  - труден за поддържане код;
  - вмъкване на трудни за откриване грешки.
- Необходимо е дефиницията на функцията `copy()` да бъде обобщена по някакъв начин.
  - За всички типове алгоритъма на функцията `copy()` е един и същ.
  - Да се дефинира една функция, която да е в състояние да работи с всички типове.

Решение в стил C

- За аргументи на функцията copy() могат да се използват указатели от типа **void***.

```
1 void copy_array(void* dst, void* src, int size) {
2   for(int i=0;i<size;i++) {
3     static_cast<char*>(dst)[i]=
4       static_cast<char*>(src)[i];
5   }
6 }
```

- При използването на тази функция, параметърът **int** size трябва да се интерпретира като размер на копирания масив в байтове, а не като брой елементи в масива.

Решение в стил C

```
8 #include <iostream>
9 int main(void) {
10   int a[10],b[10];
11   double c[10],d[10],e[10];
12   for(int i=0;i<10;i++) {
13     a[i]=i*1000;
14     c[i]=i*1.1;
15     e[i]=0;
16   }
```

Решение в стил C

```
18   copy_array(b,a,sizeof(a));
19   for(int i=0;i<10;i++)
20     std::cout<< b[i] << ";␣";
21   std::cout << std::endl;
```

```
0; 1000; 2000; 3000; 4000; 5000; 6000; 7000; 8000; 9000;
```

Решение в стил C

```
23   copy_array(d,c,sizeof(c));
24   for(int i=0;i<10;i++)
25     std::cout<< d[i] << "; ";
26   std::cout << std::endl;
```

```
0; 1.1; 2.2; 3.3; 4.4; 5.5; 6.6; 7.7; 8.8; 9.9;
```

Решение в стил C

```
28    copy_array(e,a,sizeof(a));
29    for(int i=0;i<10;i++)
30      std::cout<< e[i] << ";␣";
31    std::cout << std::endl;
32    return 0;
33  }
```

```
2.122e-311; 6.36599e-311; 1.061e-310; 1.4854e-310;\
 1.9098e-310; 0; 0; 0; 0; 0;
```

Решение в стил C

- В този стил са дефинирани и функциите `memcpy()` и `memcmp()` от стандартната C-библиотека.
- За решаване на задачата за копиране на масив директно може да се използва функцията `memcpy()`.

Решение в стил C

```
1 #include <cstdlib>
2 #include <iostream>
3 int main(void) {
4   int a[10];
5   double b[10];
6   for(int i=0;i<10;i++){
7     a[i]=i*1000;
8     b[i]=0;
9   }
10  std::memcpy(b,a,sizeof(a));
11  for(int i=0;i<10;i++)
12    std::cout << b[i] << "; ";
13  std::cout << std::endl;
14 }
```

```
2.122e-311; 6.36599e-311; 1.061e-310; 1.4854e-310;\
 1.9098e-310; 0; 0; 0; 0; 0;
```

Решение в стил C: проблеми

- Лесно се правят грешки в използваните типове данни.
- Компилаторът не е в състояние да проследи грешната употреба на променливи с различни типове.
- Резултатът от подобни програми зависи от архитектурата на процесора, върху който се изпълняват.

Решение в стил C++: използване на шаблони

- Решението в стил C++ е да се дефинира шаблонна функция copy().

```
1 template<class T>
2 void copy(T dst[], T src[], int size) {
3   for(int i=0;i<size;i++)
4     dst[i]=src[i];
5 }
```

- Използването на тази функция е тривиално:

Решение в стил C++: използване на шаблони

```
7 #include <iostream>
8 int main(void) {
9
10   // версия на copy() за масиви от int
11   int a[10],b[10];
12   for(int i=0;i<10;i++)
13     a[i]=i*10;
14
15   copy(b,a,10);
16   for(int i=0;i<10;i++)
17     std::cout << b[i] << "; ";
18   std::cout << std::endl;
```

```
0; 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90;
```

Решение в стил C++: използване на шаблони

```
20   // версия на copy() за масиви от double
21   double c[10],d[10];
22   for(int i=0;i<10;i++)
23     c[i]=i*1000.0;
24
25   copy(d,c,10);
26   for(int i=0;i<10;i++)
27     std::cout << d[i] << "; ";
28   std::cout << std::endl;
29
30   return 0;
31 }
```

```
0; 1000; 2000; 3000; 4000; 5000; 6000; 7000; 8000; 9000;
```

Шаблони

- Шаблоните обезпечават непосредствената поддръжка на така нареченото *обобщено програмиране*, т.е. програмиране, при което като параметри се използват типове.
- Механизмът на шаблоните в C++ позволява използването на типове в качеството на параметри при дефинирането на функции и класове.
- Шаблонът зависи само от тези свойства на параметъра-тип, които той явно използва; поради това не е необходимо различните типове, които се използват като параметри на шаблона да бъдат свързани по какъвто и да било начин.

Шаблонни функции

- Шаблонните функции описват поведение, което може да бъде прилагано към различни типове.
- Една шаблонна функция описва семейство от функции, които имат еднакво поведение, но могат да бъдат прилагани към различни типове аргументи.
- Конструкцията за дефиниране на шаблонна функция е:

```
1 template<class R, class T,...>
2 R function_name(T arg1,...) {
3 ...
4 }
```

Пример: повдигане на куб

- Задача: да се напише функция, която за дадено число `x` изчислява `x^3`.
- За решаването на тази задача е възможно да се използват макроси на препроцесора.

```
1 #define CUBE(x) ((x)*(x)*(x))
```

- Такова решение работи за всякакви типове.

```
3 #include <iostream>
4 int main(void) {
5   std::cout<<"CUBE(3)="<<CUBE(3)<<std::endl;
6   std::cout<<"CUBE(3+3)="<<CUBE(3+3)<<std::endl;
7   return 0;
8 }
```

- `CUBE(3+3)` се изчислява като `((3+3)*(3+3)*(3+3))`.

Пример: повдигане на куб

- Друг вариант за решаване на тази задача е да се дефинира шаблонна функция cube().

```
1  template<typename T>
2  T cube(const T& x) {
3    return x*x*x;
4  }
5
6  #include <iostream>
7  int main(void) {
8    std::cout<<"cube(3)="
9         <<cube<int>(3)<<std::endl;
10   std::cout<<"cube(3+3.3)="
11        <<cube<double>(3+3.3)<<std::endl;
12   std::cout<<"cube(9.9)="
13            <<cube(9.9)<<std::endl;
14 }
```

Пример: намиране на максимум

- Задача: да се дефинира функция `max()`, която връща по-големия от два аргумента.

```
1  template<class T>
2  const T& maxvalue(const T& a, const T& b) {
3    return a>b?a:b;
4  }
5
6  #include <iostream>
7  int main(void) {
8    std::cout<<"max(5,6)="
9         <<maxvalue<int>(5,6)<<std::endl;
10   std::cout<<"max(\"hello\",\"bye\")="
11        <<max<string>("hello","bye")<<endl;
12   return 0;
13 }
```

Дефиниране на шаблон

```
template<class T> class stack {
  T data_[128];
public:
  const T& pop(void) const;
  //...
};
```

- Префиксът **template<class** T> се използва за дефиниране на шаблон (**template**).
- При използване на даден шаблон, на мястото на "формалния параметър" **class** T се предава фактическият тип.
- В дефиницията на шаблона формалното име на тип T се използва точно по същия начин, по който се използват и имената на другите типове.

Дефиниране на шаблон

```
template<class T> class stack {
  T data_[128];
public:
  const T& pop(void) const;
  //...
};
```

- Областта на видимост за T завършва в края на обявата, започнала с **template<class** T>.
- В дефиницията **template<class** T> T е име на произволен тип; не е задължително T да бъде име на клас.

Екземпляри на шаблона

```
stack<double> doubleStack;
stack<int> intStack;
```

- Процесът на генериране на клас от (1) шаблон на клас и (2) аргумент на шаблона се нарича **създаване на екземпляр на шаблона (template instantiation)**.
- Генерирането на клас от шаблон на клас се изпълнява от компилатора.
- Класът, генериран от шаблон на клас, е обикновен C++ клас. Използването на шаблони не предполага допълнителни механизми по време на изпълнение на кода.
- Шаблоните обезпечават ефективен начин за генериране на код.

Параметри на шаблона

- Като параметри на даден шаблон могат да се използват не само типове:

Пример:

```
template<class T, int size> class Buffer {
  T data_[size];
  int size_;
public:
  Buffer(void) : size_(size)
  {}
  //...
};
```

Проверка на типовете

- Проверка в точката на дефиниция: проверка за синтактични грешки и грешки, които не зависят от фактическите параметри-типове на шаблона.
- Проверка при създаване на екземпляр на шаблона: проверка за съответствие на фактическите типове, предадени на шаблона.
- Проверка в момента на свързване.

Проверка на типовете: пример

```
1  template<class T> class stack {
2    T data_[128];
3    int top_;
4  public:
5    stack(void) : top_(-1) {}
6    //...
7    void print_all(void) {
8      for(int i=0;i<=top_;++i)
9        cout << data_[i] << ' ';
10     cout << endl;
11   }
12 };
```

Проверка на типовете: пример

- Да приемем, че за класа `Rec` не е дефиниран оператор за изход **operator**`<<(ostream& out, `**const**` Rec& r)`.
- Тогава екземплярът `recStack` на шаблона `stack<T>` дефиниран в ред 2 съдържа грешка в метода `print_all()`, тъй като този метод разчита елементите на стека да имат предефиниран оператор за изход.

```
1 class Rec {/*...*/};
2 stack<Rec> recStack;   // ?? error;
3 recStack.print_all(); // error;
```

Пример: заглавен файл stack.hpp

```
1 #ifndef STACK_HPP__
2 #define STACK_HPP__
3
4 #include <exception>
5
6 template<class T>
7 class stack {
8   static const unsigned size_=128;
9   T data_[size_];
10  int top_;
11 public:
12  stack(void);
```

Пример: заглавен файл stack.hpp

```
13    const T& top(void) const;
14    void pop(void);
15    void push(const T& val);
16    bool empty(void) const;
17 };
18
19 template<class T>
20 stack<T>::stack(void)
21    : top_(-1)
22 {}
```

Пример: заглавен файл stack.hpp

```
23
24 template<class T> const T&
25 stack<T>::top(void) const {
26   if (top_ < 0) {
27     throw std::exception();
28   }
29   return data_[top_];
30 }
31 template<class T> void
32 stack<T>::pop(void) {
33   if (top_<0){
34     throw std::exception();
35   }
36   top_--;
37 }
```

Пример: заглавен файл stack.hpp

```
38 template<class T> void
39 stack<T>::push(const T& val){
40   if( size_ <= top_+1 ) {
41     throw std::exception();
42   }
43   data_[++top_]=val;
44 }
45 template<class T> bool
46 stack<T>::empty(void) const {
47   return top_<0;
48 }
49 #endif
```

Пример: използване на шаблонен стек

```
1  #include <iostream>
2  #include "stack.hpp"
3
4  int main(void) {
5    stack<int> si;
6
7    for(int i=0;i<10; ++i){
8      si.push(i);
9    }
10
11   while(! si.empty() ){
12     std::cout << si.top() << "␣";
13     si.pop();
14   }
15   std::cout << std::endl;
```

Пример: използване на шаблонен стек

```
17  stack<float> sf;
18  for(int i=0; i<10; ++i){
19    sf.push(10.0*i);
20  }
21  while(! sf.empty() ){
22    std::cout << sf.top() << "␣";
23    sf.pop();
24  }
25  std::cout << std::endl << std::endl;
```

Пример: използване на шаблонен стек

```
27  stack<stack<int> > ssi;
28  for(int i=0;i<5;++i){
29    stack<int> temp;
30    for(int j=0;j<10;++j){
31      temp.push(i);
32    }
33    ssi.push(temp);
34  }
```

Пример: използване на шаблонен стек

```
36    while(!ssi.empty()){
37      stack<int> ts=ssi.top();
38      while(!ts.empty()){
39        std::cout << ts.top() << "␣";
40        ts.pop();
41      }
42      std::cout << std::endl;
43      ssi.pop();
44    }
45
46    return 0;
47  }
```

Пример: стек

Резултати:

```
9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

4 4 4 4 4 4 4 4 4 4
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

Шаблони на функции

- Механизмът на шаблоните може да се ползва за обобщено дефиниране на функции:

Пример:

```
1 template<class R, class T>
2 const R& fun(T& a){
3   //...
4 }
```

```
1 template<class T>
2 void sort(vector<T>& v){
3   //...
4 }
```

Шаблони на функции

```
1 template<class T>
2 void swap(T& a, T& b) {
3   T tmp=a;
4   a=b;
5   b=tmp;
6 }
```

Шаблони на функции

- При шаблоните на функции съществен момент се явява възможността за **извеждане (deduction)** на типа на аргументите на шаблона.

Пример:

```
1 template<class T> T& fun(const T& val) {/*...*/}
2 int i=0, p=10;
3 i=fun(p);
4
5 template<class T> const T& fun1(void) {/*...*/}
6 int x=fun1();//error
7 int y=fun1<int>();
```

Шаблони на функции

```
1 template<class R, class T> R fun2(T& v) {/*...*/}
2 int z=0;
3 double w=0;
4 w=fun2<double,int>(z);
5 w=fun2<double>(z);
6 w=fun2(z); // error!!
```

Използване на шаблони: масив с проверка на границите

```
1 #include <iostream>
2 #include <exception>
3 using namespace std;
4
5 template<class T>
6 class Array {
7   unsigned int size_;
8   T* data_;
9 public:
10  Array(unsigned int size=10)
11    : size_(size), data_(new T[size_])
12  {}
```

Използване на шаблони: масив с проверка на границите

```
13  Array(const Array& other)
14    : size_(other.size_), data_(new T[size_])
15  {
16    for(unsigned int i=0; i< size_; i++)
17      data_[i]=other.data_[i];
18  }
19  ~Array(void) {
20    delete [] data_;
21  }
22  unsigned size() const {
23    return size_;
24  }
```

Използване на шаблони: масив с проверка на границите

```
25  Array& operator=(const Array& other) {
26    if(this!=&other) {
27      delete [] data_;
28      size_=other.size_;
29      data_=new T[size_];
30      for(unsigned i=0;i<size_;i++)
31        data_[i]=other.data_[i];
32    }
33    return *this;
34  }
```

Използване на шаблони: масив с проверка на границите

```
35    T& operator[](unsigned int index)
36      throw (exception)
37    {
38      if(index>=size_) {
39        throw exception();
40      }
41      return data_[index];
42    }
43  };
```

Използване на шаблони: масив с проверка на границите

```
44 int main(void) {
45   Array<int> a1(3), a2;
46   for(int i=0;i<3;++i) {
47     a1[i]=i;
48   }
49   a2=a1;
50   for(int i=0;i<3;i++) {
51     cout << "a2[" << i << "]=" << a2[i] << endl;
52   }
```

Използване на шаблони: масив с проверка на границите

```
53  try {
54    cout << "a2[" << 3 << "]=" << a2[3] << endl;
55  } catch(exception &e) {
56    cout << "exception␣catched..."
57         << endl;
58  }
```

Използване на шаблони: масив с проверка на границите

```
60  Array<double> a3(3), a4;
61  for(int i=0;i<3;++i) {
62    a3[i]=(i+1)*3.14;
63  }
64  a4=a3;
65  for(int i=0;i<3;i++) {
66    cout << "a4[" << i << "]=" << a4[i] << endl;
67  }
```

Използване на шаблони: масив с проверка на границите

```
68    try {
69      cout << "a3[" << 3 << "]=" << a3[3] << endl;
70    } catch(exception &e) {
71      cout << "exception␣catched..."
72           << endl;
73    }
74
75    return 0;
76  }
```

Използване на шаблони: масив с проверка на границите

```
lubo@dobby:~/school/cpp/notes> ./a.out
a2[0]=0
a2[1]=1
a2[2]=2
exception catched...
a4[0]=3.14
a4[1]=6.28
a4[2]=9.42
exception catched...
```

Използване на шаблони: динамичен стек

```
1 #include <iostream>
2 #include <exception>
3 using namespace std;
4
5 template<class T>
6 class Stack {
7   const static unsigned int chunk_=2;
8   int size_;
9   T *data_;
10  int top_;
```

Използване на шаблони: динамичен стек

```
11 public:
12   Stack(void)
13     : size_(chunk_),
14       data_(new T[size_]),
15       top_(-1)
16   {}
17   ~Stack(void) {
18     delete [] data_;
19   }
```

Използване на шаблони: динамичен стек

```
20   Stack(const Stack& other)
21     : size_(other.size_),
22       data_(new T[size_]),
23       top_(other.top_)
24   {
25     for(int i=0; i<=top_; i++)
26       data_[i]=other.data_[i];
27   }
```

Използване на шаблони: динамичен стек

```
28  Stack& operator=(const Stack& other) {
29    if(this!=&other) {
30      delete [] data_;
31      size_=other.size_;
32      top_=other.top_;
33      data_=new T[size_];
34      for(int i=0;i<=top_;i++)
35        data_[i]=other.data_[i];
36    }
37    return *this;
38  }
```

Използване на шаблони: динамичен стек

```
39  void push(const T& v) {
40    if(top_>=(size_-1)) {
41      resize();
42    }
43    data_[++top_]=v;
44  }
45  T pop(void) {
46    if(top_<0){
47      throw exception();
48    }
49    return data_[top_--];
50  }
```

Използване на шаблони: динамичен стек

```
51 private:
52   void resize(void) {
53     T *oldData=data_;
54     data_=new T[size_+chunk_];
55     for(int i=0;i<size_;i++)
56       data_[i]=oldData[i];
57     delete [] oldData;
58     size_+=chunk_;
59   }
60 };
```

Използване на шаблони: динамичен стек

```
61 int main(void) {
62   Stack<int> st;
63   st.push(1);
64   st.push(2);
65   st.push(3);
66
67   Stack<int> st1=st;
68   cout << st.pop() << endl;
69   cout << st.pop() << endl;
70   cout << st.pop() << endl;
71
72   cout << st1.pop() << endl;
73   cout << st1.pop() << endl;
74   cout << st1.pop() << endl;
```

Използване на шаблони: динамичен стек

```
76    try {
77      cout << st1.pop() << endl;
78    } catch(const exception& e) {
79      cout << "exception␣catched..." << endl;
80    }
81    return 0;
82  }
```

Използване на шаблони: динамичен стек

```
lubo@kid:~/school/cpp/notes$ ./a.out
3
2
1
3
2
1
exception catched...
```