

# PB161 Programování v jazyce C++

## Přednáška 10

### Šablony

Nikola Beneš

27. listopadu 2018

# Šablony

# Motivace

- co nejmenší duplikace kódu
- stejný (podobný) kód pro různé typy
  - kontejnery
  - algoritmy
- možná řešení?

# Motivace

- co nejmenší duplikace kódu
- stejný (podobný) kód pro různé typy
  - kontejnery
  - algoritmy
- možná řešení?
  - makra
  - `void*`
  - OOP polymorfismus

- co nejmenší duplikace kódu
- stejný (podobný) kód pro různé typy
  - kontejnery
  - algoritmy
- možná řešení?
  - makra
  - `void*`
  - OOP polymorfismus
- řešení v C++: šablony
  - jiný druh polymorfismu
  - generické programování
  - metaprogramování

- „lepší makra“
- generický kód, do něž se později doplní typy
  - tzv. instanciace
  - a nejen typy
- instanciace
  - vytvoření konkrétní entity ze šablony
  - probíhá při kompilaci
  - rozdíl proti generikům v některých jiných jazycích
- šablony mohou využívat funkce i třídy
  - od C++11 i typové aliasy
  - od C++14 i proměnné

`template` <seznam parametru>

- jeden nebo více parametrů
  - C++11 variadické parametry (pokročilé)
- druhy parametrů
  - typ: `typename`
  - hodnota: celočíselný typ (`int`, `bool`, ...), reference, ukazatel, výčtový typ (definovaný pomocí `enum`)
  - šablona (pokročilé)
- parametr může mít implicitní hodnotu (pomocí =)
- místo `typename` možno použít `class`
  - funguje ovšem stále pro všechny typy

Příklad:

```
template <typename T, size_t Size = 100, typename U = bool>
```

# Šablony funkcí

```
template <typename T>
const T& max(const T& x, const T& y) {
    return x < y ? y : x;
}

int main() {
    int a, b;
    std::cin >> a >> b;
    std::cout << max<int>(a, b) << '\n';
    std::cout << max(a, b) << '\n';
    unsigned long c = 17;
    std::cout << max(a, c) << '\n'; // CHYBA
    std::cout << max<unsigned long>(a, c) << '\n';
}
```



## Šablony funkcí (pokr.)

- šablonové funkce se mohou přetěžovat

```
template <typename T>
const T& max(const T& x, const T& y, const T& z) {
    return max(max(x, y), z);
}

template <typename T>
const T& max(const std::vector<T>& vec) {
    return *std::max_element(vec.begin(), vec.end());
}

int main() {
    std::cout << max(2.0, 3.14) << '\n';
    std::cout << max(2.0, 3.14, 42.0) << '\n';
    std::vector<unsigned> v{ 10, 40, 20, 70, 30 };
    std::cout << max(v) << '\n';
}
```

## Šablony funkcí (pokr.)

- funkce může být přetížená šablonovou i nešablonovou verzí
  - nešablonová verze má přednost, pokud přesně typově sedí

```
const char* max(const char* x, const char* y) {
    return strcmp(x,y) < 0 ? y : x;
}

int main() {
    // zavolá se šablonová funkce max<int>
    std::cout << max(20, 70) << '\n';
    // zavolá se nešablonová funkce max
    std::cout << max("ahoj", "hello") << '\n';
    // co se zavolá teď?
    std::cout << max<const char*>("ahoj", "hello") << '\n';
    // a co teď?
    std::cout << max<>("ahoj", "hello") << '\n';
}
```

## Šablony funkcí (pokr.)

- automatická dedukce šablonového typu
  - jen jméno funkce
  - funkce a prázdný seznam šablonových parametrů <>
  - částečná automatická dedukce: vynechání některých parametrů

```
template<typename T, typename U>  
T convert(const U& value) {  
    return static_cast<T>(value);  
}
```

```
int main() {  
    std::cout << convert(3.14) << '\n'; // CHYBA  
    std::cout << convert<int, double>(3.14) << '\n';  
    // částečná dedukce:  
    std::cout << convert<int>(3.14) << '\n';  
}
```

lecture10\_04.cpp

# Šablony tříd

**Příklad:** Jednoduchý kontejner

```
template <typename T>
class MyContainer {
    size_t size;
    std::unique_ptr<T> array;
public:
    // ...
};

int main() {
    MyContainer<double> cont(10);
    // ...
}
```

lecture10\_05.cpp, lecture10\_06.cpp

## Šablony tříd (pokr.)

- do C++14 není u šablonových tříd žádná automatická dedukce
  - důvod pro funkce jako `std::make_pair`
- od C++17 máme automatickou dedukci
  - navíc tzv. „deduction guides“ (pokročilé)

```
template <typename T>
class Foo {
public:
    Foo(const T&);
};

template <typename T>
Foo<T> make_foo(const T& val) {
    return Foo<T>(val);
}

int main() {
    auto foo = make_foo(1);
}
```

## Šablony tříd (pokr.)

- uvnitř šablonových tříd mohou být šablonové metody

```
template <typename T>
class Foo {
    T value;
public:
    Foo(const T& val) : value(val) {}
    template <typename U>
    void print(const U& thing) {
        cout << value << " : " << thing << '\n';
    }
};

int main() {
    Foo<double> foo(3.14);
    foo.print("example");
    // 3.14 : example
}
```

## Řešení situace s (ne)konstantní verzí metod

```
template <typename RetVal, typename Self>
static RetVal& _get(Self& self, size_t index) {
    // zde by mohl být komplikovaný výpočet
    return self.array_[index];
}
```

```
T& operator[](size_t index) {
    return _get<T>>(*this, index);
}
const T& operator[](size_t index) {
    return _get<const T>>(*this, index);
}
```

- od C++14: zjednodušení pomocí automatické dedukce návratového typu funkce (**auto**)

## Kdy se vytvoří konkrétní instance šablony?

- během překlada
- pokud se v kódu objeví konkrétní použití
  - prototyp nebo použití funkce
  - použití třídy
  - explicitní instanciac
- pro instanciaci je třeba vidět celou definici šablonové třídy/funkce
- důsledek
  - buď inteligentní linker
  - nebo šablonové třídy a funkce v hlavičkovém souboru
- realita: šablony musí být v hlavičkovém souboru

## Explicitní instanciac všech metod třídy:

- `template class MyContainer<double>;`



## Instanciace (pokr.)

Instance se vytváří jen pro to, co se skutečně použije.

```
template<typename T>
class X {
    T t;
public:
    void f() { t.f(); }
    void g() { t.g(); }
};

class A { public: void f() {} };

int main() {
    X<A> x;
    x.f(); // takhle je to OK
    // x.g(); // po odkomentování se nezkompiluje
}
```

Poznámka: Tohle nemusí platit pro virtuální metody.

lecture10\_08.cpp

## Instanciacce (pokr.)

```
template<typename Container>
void mySort(Container& cont) {
    std::sort(cont.begin(), cont.end());
}
```

- bude fungovat s **libovolným** typem, který má `begin()` a `end()`
- nebude fungovat s běžným Cíčkovým polem (k zamyšlení)
  - proto existují volné funkce `std::begin()` a `std::end()`

lecture10\_09.cpp, lecture10\_10.cpp

## Instanciace (pokr.)

```
template<typename Container>
void mySort(Container& cont) {
    std::sort(cont.begin(), cont.end());
}
```

- bude fungovat s **libovolným** typem, který má `begin()` a `end()`
- nebude fungovat s běžným Céčkovým polem (k zamyšlení)
  - proto existují volné funkce `std::begin()` a `std::end()`
- šablony v C++ umožňují jistou formu duck-typingu

lecture10\_09.cpp, lecture10\_10.cpp

# Typové aliasy v C++11

- šablonové

```
template<typename Element, typename Allocator>
class BasicContainer { /* ... */ };
template<typename Element>
class StandardAllocator { /* ... */ };

template<typename Element>
using Container = BasicContainer<Element,
    StandardAllocator<Element>>;

int main() {
    Container<double> c;
    // totéž, co BasicContainer<double,
    //     StandardAllocator<double>>
}
```

## Typové aliasy v C++11 (pokr.)

- nešablonové
  - fungují jako `typedef`, jen s jinou (hezčí) syntaxí

```
using VectorInt = std::vector<int>;
```

```
using Number = int;
```

```
using Function = void (*) (int, int);
```

```
template <typename T>  
class Container {  
    using valueType1 = T;  
    typedef T valueType2;  
};
```

## Použití šablon – funkční objekty

- jak fungují algoritmy ve standardní knihovně?
  - funkci/funkční objekt berou jako šablonový argument

```
template<typename Iterator, typename Function>
void modify(Iterator from, Iterator to, Function func) {
    for (auto it = from; it != to; ++it) {
        *it = func(*it);
    }
}
```

## Úplná specializace šablony (pro třídy)

- speciální implementace pro konkrétní šablonové parametry
- uvozená deklarací `template <>`
- za názvem třídy konkrétní parametry v `< >`

```
template <typename T>  
class X { /* ... */ };
```

```
template <>  
class X<int> { /* speciální implementace pro int */ };
```

# Specializace (pokr.)

- kromě tříd se můžou úplně specializovat
  - funkce (spíš nepoužívat, raději použijte přetěžování (overloading))
  - metody šablonových tříd
  - statické atributy šablonových tříd
  - a další (viz [http://en.cppreference.com/w/cpp/language/template\\_specialization](http://en.cppreference.com/w/cpp/language/template_specialization))



## Specializace (pokr.)

- specializace metody šablonové třídy

```
template <typename T, typename U>
class X {
public:
    void foo() { std::cout << "unspecialised!\n"; }
};

template <>
void X<int,double>::foo() { std::cout << "specialised!\n"; }

int main() {
    X<int, int> x;
    X<int, double> y;
    x.foo();
    y.foo();
}
```

## Částečná specializace šablony

- jen pro třídy
- uvozená deklarací `template` <nespecializovane parametry>
- nesespecializované parametry je pak možno použít v seznamu parametrů za názvem třídy

## Specializace (pokr.)

```
template <typename T, typename U>
class X { /* ... */ };           // 1
template <typename T>
class X<T, double> { /* ... */ }; // 2
template <typename T>
class X<T, T> { /* ... */ };     // 3
template <typename T>
class X<int, T> { /* ... */ };   // 4
```

```
X<double, char> x1; // použije se verze 1
X<char, double> x2; // použije se verze 2
X<char, char> x3;   // použije se verze 3
X<int, char> x4;    // použije se verze 4
X<int, int> x5;     // CHYBA! není jasné, kterou verzi použít
```

# Specializace (pokr.)

- doporučení pro specializace
  - neměnit vnější chování
- příklad specializace ve standardní knihovně: `std::vector<bool>`
  - spíš ukázka toho, jak **n**especializovat
  - zůstává v knihovně z důvodů zpětné kompatibility

# Šablony nejen typové

- parametry šablon mohou být i (některé) hodnoty
  - celočíselných typů (včetně `bool`, `char`)
  - výčtových typů
  - reference, ukazatele
- instance parametrů musí být konstantní výrazy

Příklad použití ze standardní knihovny:

```
template <typename T, std::size_t N>  
struct array {  
    T _array[N];  
    // ...  
};
```

## Šablony nejen typové (pokr.)

```
// klasický příklad: faktoriál při překladu
template <unsigned N>
struct Factorial {
    const static unsigned value =
        N * Factorial<N - 1>::value;
};

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

int main() {
    // hodnota se spočítá při překladu, ne za běhu!
    return Factorial<5>::value;
}
```

lecture10\_11.cpp

# Šablony nejen typové (pokr.)

- předání klasického Cíčkového pole do funkce (včetně správné velikosti)

## Šablony nejen typové (pokr.)

- předání klasického Céčkového pole do funkce (včetně správné velikosti)

```
template<typename T, std::size_t N>
void print_array(const T (&array)[N]) {
    std::cout << N << " elements: ";
    std::cout << "{";
    std::string separator = "";
    for (const T& elem : array) {
        std::cout << separator << elem;
        separator = ", ";
    }
    std::cout << "}\n";
}
```



# Šablony jako parametry šablon

- parametrem šablony může být opět šablona (pokročilé)

```
template <typename Value,  
         template <typename> class Container>  
class X {  
    Container<Value> cont;  
    // ...  
};
```

*// použití*

```
X<int, std::vector> x;  
// x obsahuje atribut cont typu std::vector<int>
```

## Nápověda pro překladač – typename

```
template <typename T>
class Container {
public:
    using value_type = T;
    using pointer = T*;
    using size_type = unsigned int;
    size_type size() const;
    // ...
};

template <typename T>
void do_something(Container<T>& cont) {
    // nebude fungovat:
    Container<T>::size_type size = cont.size();
    // je třeba napsat:
    typename Container<T>::size_type size = cont.size();
}
```

## Šablony

- velmi mocný nástroj
  - zde jsme si ukázali jen základní použití
  - mnohem více v PV264
- generické funkce (metody)
- generické třídy
- nejen pro typy

## Instanciaci šablon

- při překladu
- jen ty instance, které je nutné vyrobit
- jen ty části, které je nutné vyrobit
  - (nemusí se týkat virtuálních funkcí)
- důsledek: šablony v hlavičkových souborech

<https://kahoot.it>

## Závěrečný kvíz (kód 1)

```
#include <iostream>
using std::cout;

template<typename T>
void fun(T t) {
    cout << "A" << t;
}

void fun(int t) {
    cout << "B" << t;
}

int main() {
    fun(0);
    fun("x");
    fun<int>(1);
}
```

## Závěrečný kvíz (kód 2)

```
#include <iostream>
using std::cout;
template<typename T>
class X {
    T t;
public:
    void fun1() { t.f(); }
    void fun2() { t.g(); }
};
class A {
public:
    void f() { cout << "Af"; }
private:
    void g() { cout << "Ag"; }
};
```

```
int main() {
    X<A> x; // 1
    X<int> y; // 2
    x.fun1(); // 3
    x.fun2(); // 4
}
```