

Metaprogramování

**Multiparadigmatický přístup v
softwarovém inženýrství**

© Timur Shemsedinov, Společenství Metarhia

Kyjev, 2015 – 2022

Anotace

Všechny programy jsou data. Některá data jsou interpretována jako hodnoty, jiná jako typy těchto hodnot a další jako instrukce pro zpracování prvních dvou. Jakákoli paradigma a programovací techniky jsou jen způsobem, jak vytvořit metadata, která dávají pravidla a posloupnost toku zpracování jiných dat. Multiparadigmatické programování bere to nejlepší ze všech paradigmát a sestavuje z něj syntaktické konstrukce, které umožňují popsat předmětnou oblast jasněji a pohodlněji. Vysokoúrovňové DSL (doménové jazyky) promítáme do nízkoúrovňových strojových instrukcí prostřednictvím mnoha vrstev abstrakcí. Zde je důležité reprezentovat úkol co nejúčinnějším způsobem pro zpracování na úrovni stroje, nikoli fanaticky následovat jedno paradigma. Nejúčinnější je ten, který s menším počtem vrstev a závislostí, nejlépe čitelný, udržovatelný a upravitelný pro člověka, který zajišťuje spolehlivost kódu a testovatelnost, rozšiřitelnost, opětovnou použitelnost, jasnost a flexibilitu konstrukcí metadat na každé úrovni. Věříme, že takový přístup nám umožní získat jak rychlé první výsledky ve vývoji, tak i neztrácet výkon při velkém toku změn ve fázích, kdy projekt již dosáhl vysoké zralosti a složitosti. Pokusíme se zvážit techniky a principy různých programovacích paradigmát prizmatem metaprogramování a změnit jestli ne samotné softwarové inženýrství tím, tak aspoň rozšířit pochopení disciplíny novými generacemi profesionálů.

Obsah

1. Úvod
 - 1.1. Přístup k výuce programování
 - 1.2. Příklady v jazycích JavaScript, Python a C
 - 1.3. Modelování: abstrakce a opětovné použití
 - 1.4. Algoritmus, program, syntaxe, jazyk
 - 1.5. Dekompozice a separace odpovědnosti
 - 1.6. Přehled specializace softwarového inženýra
 - 1.7. Přehled programovacích paradigmat
2. Základní pojmy
 - 2.1. Hodnota, identifikátor, proměnná a konstanta, literál, přiřazení
 - 2.2. Datové typy, skalární, referenční a strukturované typy
 - 2.3. Kontexty a lexikální rozsah
 - 2.4. Operátor a výraz, blok kódu, funkce, smyčka, podmínka
 - 2.5. Procedurální paradigma, volání, zásobník a halda
 - 2.6. Funkce vyššího řádu, čistá funkce, vedlejší účinky
 - 2.7. Uzávěry, funkce zpětného volání, zabalení a události
 - 2.8. Výjimky a řešení chyb
 - 2.9. Monomorfní kód v dynamických jazycích
3. Stav aplikace, datové struktury a kolekce
 - 3.1. Stavové a bezstavové přístupy (stateful and stateless)
 - 3.2. Struktury a záznamy
 - 3.3. Pole, seznam, sada, n-tice
 - 3.4. Slovník, hashovací tabulka a asociativní pole
 - 3.5. Zásobník, fronta, deque
 - 3.6. Stromy a grafy
 - 3.7. Projekce a zobrazení datových
 - 3.8. Odhad výpočetní složitosti
4. Rozšířené koncepty
 - 4.1. Co je technologický stack
 - 4.2. Vývojové prostředí a ladění
 - 4.3. Iterace: rekurze, iterátory a generátory

- 4.4. Stavební bloky aplikací: soubory, moduly, komponenty
- 4.5. Objekt, prototyp a třída
- 4.6. Částečná aplikace a curryfikace, skládání funkcí
- 4.7. Řetězení pro metody a funkce (chaining)
- 4.8. Mixiny (mixins)
- 4.9. Závislosti a knihovny
- 5. Běžná programovací paradigmaty
 - 5.1. Imperativní a deklarativní přístup
 - 5.2. Strukturované a nestrukturované programování
 - 5.3. Procedurální programování
 - 5.4. Funkcionální programování
 - 5.5. Objektově orientované programování
 - 5.6. Programování založené na prototypech
- 6. Návrhové antivzory
 - 6.1. Společné anti-vzory pro všechna paradigmaty
 - 6.2. Procedurální antivzory
 - 6.3. Objektově orientované antivzory
 - 6.4. Funkční antivzory
- 7. Vývojový proces
 - 7.1. Životní cyklus softwaru, analýza předmětné oblasti
 - 7.2. Programovací konvence a normy
 - 7.3. Testování: jednotkové testy, systémové a integrační testování
 - 7.4. Kontrola a refaktoring kódu
 - 7.5. Odhad zdrojů, plán rozvoje a harmonogram
 - 7.6. Analýza rizik, slabá místa, nefunkční požadavky
 - 7.7. Koordinace a úprava procesů
 - 7.8. Průběžná integrace a nasazení
 - 7.9. Optimalizace mnoha aspektů
- 8. Pokročilé koncepty
 - 8.1. Události, časovače a EventEmitter
 - 8.2. Introspekce a reflexe
 - 8.3. Serializace a deserializace
 - 8.4. Regulární výrazy

- 8.5. Memoizace
- 8.6. Návrhové vzory: Factory, Poll
- 8.7. Typovaná pole
- 8.8. Projekce
- 8.9. I/O (vstup-výstup) a soubory
- 9. Architektura
 - 9.1. Dekompozice, pojmenování a spojování
 - 9.2. Interakce mezi softwarovými komponentami
 - 9.3. Propojení přes jmenné prostory
 - 9.4. Interakce s voláními a zpětnými voláními
 - 9.5. Interakce s událostmi a zprávami
 - 9.6. Rozhraní, protokoly a smlouvy
 - 9.7. Cibulová (onion) nebo vícevrstvá architektura
- 10. Základy paralelních výpočtů
 - 10.1. Asynchronní programování
 - 10.2. Paralelní programování, sdílená paměť a synchronizační primitiva
 - 10.3. Asynchronní primitiva: Thenable, Promise, Future, Deferred
 - 10.4. Koprogramy, gorutiny, async/await
 - 10.5. Adaptéry mezi asynchronními kontrakty
 - 10.6. Asynchronní a paralelní kompatibilita
 - 10.7. Přístup předávání zpráv a model aktorů
 - 10.8. Asynchronní fronty i asynchronní kolekce
 - 10.8. Bezzámkové datové struktury (lock-free)
- 11. Pokročilá programovací paradigmatata
 - 11.1. Generické programování
 - 11.2. Událostní a reaktivní programování
 - 11.3. Programování automatů: konečné automaty (stavové stroje)
 - 11.4. Jazykově orientované programování a DSL
 - 11.5. Programování toku dat
 - 11.6. Metaprogramování
 - 11.7. Dynamická interpretace metamodelu
- 12. Databáze a perzistentní úložiště
 - 12.1. Historie databáze a navigační databáze

- 12.2. Klíč-hodnota a další abstraktní datové struktury
- 12.3. Relační datový model a ER-diagramy
- 12.4. Bezschémové, objektově orientované a dokumentově orientované databáze
- 12.5. Hierarchické a grafové databáze
- 12.6. Sloupcové databáze a databáze v paměti
- 12.7. Distribuované databáze
- 13. Distribuované systémy
 - 13.1. Meziprocesová komunikace
 - 13.2. Bezkonfliktní replikované datové typy (CRDT)
 - 13.3. Konzistence, dostupnost a distribuce
 - 13.4. Strategie řešení konfliktů
 - 13.5. Konsensuální protokoly
 - 13.6. CQRS, EventSourcing

1. Úvod

Neustálé přehodnocování své činnosti, i té nejjednodušší, by mělo provázet inženýra celý život. Zvyk zapisovat si své myšlenky slovy a zdokonalovat své formulace v tom hodně pomáhá. Tento text se objevil jako moje fragmentární poznámky, psané v různých letech, které jsem shromažďoval a mnohokrát kriticky korigoval. Já jsem často nesouhlasil sám se sebou, když jsem si znovu četl pasáž poté, co chvíli ležela. Proto jsem na textu pracoval tak dlouho, dokud jsem sám nesouhlasil s tím, co bylo napsáno po dlouhé době držení materiálu. Bylo mým úkolem psát co nejstručněji a velké fragmenty jsem opakovaně přepisoval, když jsem zjistil, že by se daly vyjádřit stručněji. Struktura textu a obsah se začaly objevovat po prvním roce výuky, ale v desátém ročníku jsem se rozhodl šířit materiály nejen ve formě otevřených videopřednášek, jak jsem to dělal už asi pět let, ale i ve formě textu. To umožnilo všem ze společenství Metarhia podílet se na tvorbě knihy, díky čtenářům rychle objevovat překlepy a nepřesnosti, a také pro mnohé je formát knihy prostě pohodlnější. Aktuální verzi naleznete na <https://github.com/HowProgrammingWorks/Book>, bude neustále aktualizována. Žádosti o opravy a doplnění směřujte v angličtině na [issues] (<https://github.com/HowProgrammingWorks/Book/issues>), nové nápady zasílejte v libovolném jazyce na [discussions] (<https://github.com/HowProgrammingWorks/Book/discussions>), vaše vlastní doplňky a opravy by měly být provedeny formou pull-request do repozitáře knihy.

1.1. Přístup k výuce programování

No translation

1.2. Příklady v jazycích JavaScript, Python a C

No translation

```
let first_num = 2;
let second_num = 3;
let sum = firstNum + secondNum;
console.log({ sum });
```

```
#include <stdio.h>
```

```
int main() {  
    int first_num = 2;  
    int second_num = 3;  
    int sum = firstNum + secondNum;  
    printf("%d\n", sum);  
}
```

```
first_num = 2;  
second_num = 3;  
sum = firstNum + secondNum;  
print({ 'sum': sum });
```

1.3. Modelování: abstrakce a opětovné použití

No translation

1.4. Algoritmus, program, syntaxe, jazyk

No translation

1.5. Dekompozice a separace odpovědnosti

No translation

1.6. Přehled specializace softwarového inženýra

No translation

1.7. Přehled programovacích paradigmat

No translation

2. Základní pojmy

No translation

```
// Single-line comment
```

```
/*  
    Multi-line  
    comments  
*/
```

```
# Single-line comment
```

```
""  
    Multi-line  
    comments  
""
```

```
select name from PERSON -- comments in sql
```

```
<!-- commented block in xml and html -->
```

```
; Single-line comment in Assembler and LISP
```

2.1. Hodnota, identifikátor, proměnná a konstanta, literál, přiřazení

No translation

2.2. Datové typy, skalární, referenční a strukturované typy

No translation

2.3. Kontexty a lexikální rozsah

No translation

2.4. Operátor a výraz, blok kódu, funkce, smyčka, podmínka

No translation

2.5. Procedurální paradigma, volání, zásobník a halda

No translation

2.6. Funkce vyššího řádu, čistá funkce, vedlejší účinky

No translation

2.7. Uzávěry, funkce zpětného volání, zabalení a události

No translation

2.8. Výjimky a řešení chyb

No translation

2.9. Monomorfní kód v dynamických jazycích

No translation

3. Stav aplikace, datové struktury a kolekce

No translation

3.1. Stavové a bezstavové přístupy (stateful and stateless)

No translation

3.2. Struktury a záznamy

```
#include <stdio.h>

struct date {
    int day;
    int month;
    int year;
};

struct person {
    char *name;
    char *city;
    struct date born;
};

int main() {
    struct person p1;
    p1.name = "Marcus";
    p1.city = "Roma";
    p1.born.day = 26;
    p1.born.month = 4;
    p1.born.year = 121;

    printf(
        "Name: %s\nCity: %s\nBorn: %d-%d-%d\n",
        p1.name, p1.city,
        p1.born.year, p1.born.month, p1.born.day
    );
}
```

```
    return 0;  
}
```

Pascal

```
program Example;  
  
type TDate = record  
    Year: integer;  
    Month: 1..12;  
    Day: 1..31;  
end;  
  
type TPerson = record  
    Name: string[10];  
    City: string[10];  
    Born: TDate;  
end;  
  
var  
    P1: TPerson;  
    FPerson: File of TPerson;  
  
begin  
    P1.Name := 'Marcus';  
    P1.City := 'Roma';  
    P1.Born.Day := 26;  
    P1.Born.Month := 4;  
    P1.Born.Year := 121;  
    WriteLn('Name: ', P1.Name);  
    WriteLn('City: ', P1.City);  
    WriteLn(  
        'Born: ',  
        P1.Born.Year, '-',  
        P1.Born.Month, '-',  
        P1.Born.Day  
    );  
    Assign(FPerson, './record.dat');
```

```
Rewrite(FPerson);
Write(FPerson, P1);
Close(FPerson);
end.
```

Rust

```
struct Date {
    year: u32,
    month: u32,
    day: u32,
}

struct Person {
    name: String,
    city: String,
    born: Date,
}

fn main() {
    let p1 = Person {
        name: String::from("Marcus"),
        city: String::from("Roma"),
        born: Date {
            day: 26,
            month: 4,
            year: 121,
        },
    };

    println!(
        "Name: {}\nCity: {}\nBorn: {}-{}-{}\n",
        p1.name, p1.city,
        p1.born.year, p1.born.month, p1.born.day
    );
}
```

TypeScript: Interfaces

```
interface IDate {  
    day: number;  
    month: number;  
    year: number;  
}
```

```
interface IPerson {  
    name: string;  
    city: string;  
    born: IDate;  
}
```

```
const personToString = (person: IPerson): string => {  
    const { name, city, born } = person;  
    const { year, month, day } = born;  
    const fields = [  
        `Name: ${name}`,  
        `City: ${city}`,  
        `Born: ${year}-${month}-${day}`,  
    ];  
    return fields.join('\n');  
};
```

```
const person: IPerson = {  
    name: 'Marcus',  
    city: 'Roma',  
    born: {  
        day: 26,  
        month: 4,  
        year: 121,  
    },  
};
```

```
console.log(personToString(person));
```

TypeScript: Classes

```
class DateStruct {
  day: number;
  month: number;
  year: number;
}

class Person {
  name: string;
  city: string;
  born: DateStruct;
}
```

JavaScript: Classes

```
class DateStruct {
  constructor(year, month, day) {
    this.day = day;
    this.month = month;
    this.year = year;
  }
}
```

```
class Person {
  constructor(name, city, born) {
    this.name = name;
    this.city = city;
    this.born = born;
  }
}
```

```
const personToString = (person) => {
  const { name, city, born } = person;
  const { year, month, day } = born;
  const fields = [
    `Name: ${name}`,
    `City: ${city}`,
    `Born: ${year}-${month}-${day}`,
  ];
};
```

```
    return fields.join('\n');  
};
```

```
const date = new DateStruct(121, 4, 26);  
const person = new Person('Marcus', 'Roma', date);  
console.log(personToString(person));
```

JavaScript: Objects

```
const person = {  
  name: 'Marcus',  
  city: 'Roma',  
  born: {  
    day: 26,  
    month: 4,  
    year: 121,  
  },  
};  
  
console.log(personToString(person));
```

JavaScript: struct serialization

```
const v8 = require('v8');  
const fs = require('fs');
```

Take from previous example:

- class DateStruct - class Person

```
const date = new DateStruct(121, 4, 26);  
const person = new Person('Marcus', 'Roma', date);  
  
const v8Data = v8.serialize(person);  
const v8File = './file.dat';  
fs.writeFile(v8File, v8Data, () => {
```



```
    console.log('Saved ' + v8File);  
});
```

File: file.dat

```
FF 0D 6F 22 04 6E 61 6D 65 22 06 4D 61 72 63 75  
73 22 04 63 69 74 79 22 04 52 6F 6D 61 22 04 62  
6F 72 6E 6F 22 03 64 61 79 49 34 22 05 6D 6F 6E  
74 68 49 08 22 04 79 65 61 72 49 F2 01 7B 03 7B  
03
```

Nested structures

```
#include <stdio.h>  
#include <map>  
#include <string>  
#include <vector>  
  
struct Product {  
    std::string name;  
    int price;  
};  
  
void printProduct(Product item) {  
    printf("%s: %d\n", item.name.c_str(), item.price);  
}  
  
void printProducts(std::vector<Product> items) {  
    for (int i = 0; i < items.size(); i++) {  
        printProduct(items[i]);  
    }  
}  
  
int main() {  
    std::map<std::string, std::vector<Product>> purchase {  
        { "Electronics", {  
            { "Laptop", 1500 },  

```

```

        { "Keyboard", 100 },
        { "HDMI cable", 10 },
    } },
    { "Textile", {
        { "Bag", 50 },
    } },
};

std::vector<electronics> = purchase["Electronics"];
printf("Electronics:\n");
printProducts(electronics);

std::vector<textile> = purchase["Textile"];
printf("\nTextile:\n");
printProducts(textile);

Product bag = textile[0];
printf("\nSingle element:\n");
printProduct(bag);

int price = purchase["Electronics"][2].price;
printf("\nHDMI cable price is %d\n", price);
}

```

Python

```

purchase = {
    'Electronics': [
        { 'name': 'Laptop', 'price': 1500 },
        { 'name': 'Keyboard', 'price': 100 },
        { 'name': 'HDMI cable', 'price': 10 },
    ],
    'Textile': [
        { 'name': 'Bag', 'price': 50 },
    ],
}

electronics = purchase['Electronics']
print({ 'electronics': electronics })

```

```
textile = purchase['Textile']
print({ 'textile': textile })

bag = textile[0]
print({ 'bag': bag })

price = purchase['Electronics'][2]['price']
print({ 'price': price })
```

JavaScript

```
const purchase = {
  Electronics: [
    { name: 'Laptop', price: 1500 },
    { name: 'Keyboard', price: 100 },
    { name: 'HDMI cable', price: 10 },
  ],
  Textile: [{ name: 'Bag', price: 50 }],
};

const electronics = purchase.Electronics;
console.log(electronics);

const textile = purchase['Textile'];
console.log(textile);

const bag = textile[0];
console.log(bag);

const price = purchase['Electronics'][2].price;
console.log(price);

const json = JSON.stringify(purchase);
console.log(json);
const obj = JSON.parse(json);
console.log(obj);
```

3.3. Pole, seznam, sada, n-tice

No translation

3.4. Slovník, hashovací tabulka a asociativní pole

No translation

3.5. Zásobník, fronta, deque

No translation

3.6. Stromy a grafy

No translation

3.7. Projekce a zobrazení datových

No translation

3.8. Odhad výpočetní složitosti

No translation

4. Rozšířené koncepty

No translation

4.1. Co je technologický stack

No translation

4.2. Vývojové prostředí a ladění

No translation

4.3. Iterace: rekurze, iterátory a generátory

No translation

4.4. Stavební bloky aplikací: soubory, moduly, komponenty

No translation

4.5. Objekt, prototyp a třída

No translation

4.6. Částečná aplikace a curryfikace, skládání funkcí

No translation

4.7. Řetězení pro metody a funkce (chaining)

No translation

4.8. Mixiny (mixins)

No translation

4.9. Závislosti a knihovny

No translation