

Praktické aspekty vývoje: Projekt 1 – Testování  
Vysoké Učení Technické v Brně,  
Fakulta Informačních Technologií

Martin Dočekal  
`idocekal@fit.vutbr.cz`

16. února 2022

# 1 Úvod

Cílem tohoto projektu je si prakticky vyzkoušet typické úlohy spojené s testováním software pomocí tzv. unit testů. Projekt je rozdělen do tří částí, jejichž účelem je otestovat neznámý kód (black box testy), otestovat známý kód (white box testy), ověřit pokrytí kódu testy (code coverage) a implementovat kód na základě testů (test driven development). Za každou z těchto úloh je možné získat až **6 bodů**, za celý projekt lze tedy získat až **18 bodů**.

## Použité nástroje

Jako implementační jazyk byl zvolen C/C++, (základní znalost by měla být dostatečná). Jako testovací framework je využívána kombinace:

- GoogleTest  
(<https://github.com/google/googletest/blob/master/docs/primer.md>)
- CMake/CTest  
(<https://cmake.org/documentation/>)
- GCOV  
(<https://gcc.gnu.org/onlinedocs/gcc/Gcov.html>)

## Hodnocení

Pro hodnocení bude použit server **ivs.fit.vutbr.cz** a vaše řešení na tomto serveru tedy **závazně musí** fungovat. Tento server také můžete použít pro vyhodnocení pokrytí kódu (viz dále).

# 2 Struktura projektu

- Systém překladač (CMake):  
Systém pro vygenerování skriptů pro překlad je tvořen soubory: “CMakeLists.txt”, “CMakeLists.txt.in”, “CodeCoverage.cmake”, “GoogleTest.cmake” a nevyžaduje žádné úpravy.
- Úloha black-box testing:  
Zdrojový soubor “black\_box\_tests.cpp”, do kterého je třeba doplnit příslušné testy a knihovna “black\_box\_lib.a/.lib” s hlavičkovým souborem “red\_black\_tree.h”, která obsahuje testovaný kód binárního stromu.
- Úloha white-box testing:  
Zdrojové soubory: “white\_box\_code.h” a “white\_box\_code.cpp”, které obsahují testovaný kód a “white\_box\_tests.cpp”, do kterého je třeba doplnit příslušné testy.
- Úloha test driven development:  
Zdrojový soubor: “tdd\_code.h” obsahuje definici rozhraní prioritní fronty, kterou je třeba implementovat v “tdd\_code.cpp”. Soubor “tdd\_test.cpp” obsahuje testy prioritní fronty, které musí vaše řešení splnit.

- **Odevzdávané soubory:**

Odevzdejte **POUZE** následující soubory zabalené do **\*.zip** archivu (lze provést přímo pomocí CMake – viz překlad a spuštění).

- `black_box_tests.cpp` – Testy Red-Black Tree
- `white_box_tests.cpp` – Testy maticových operací
- `tdd_code.h`, `tdd_code.cpp` – Test Driven Development

## 3 Prerekvizity a překlad

Projekt je určen pro platformu Linux/GCC.

### 3.1 Prerekvizity

- GCC 5.4+ (mělo by být dostupné v repozitářích pro danou distribuci)
- GCOV (mělo by být dostupné v repozitářích pro danou distribuci)
- LCOV (v1.14 mělo by být dostupné v repozitářích pro danou distribuci)
- CMake 2.8.2+ (mělo by být dostupné v repozitářích pro danou distribuci)
- GoogleTest (CMake jej stáhne pomocí Git)
- Git client (opět by měl být v repozitářích)

### 3.2 Překlad a spuštění

1. Soubor se zadáním projektu rozbalte do libovolného adresáře (například příkazem:

```
$ unzip ivs_project_1.zip
```

který archiv rozbalí v aktuálním adresáři).

2. Pokud nepoužíváte systémovou instalaci LCOV (například na serveru merlin) je nutné rozbalit staženou verzi do adresáře “./assignment” např. pomocí:

```
$ tar -xvf lcov-1.13.tar.gz
$ mv lcov-1.13 lcov
```

3. Přesuňte se do adresáře: `./assignment/build`, kde budou vytvořeny soubory překladu, výsledné spustitelné soubory a výstupy nástrojů pro analýzu pokrytí kódu (GCOV/LCOV).

4. Soubory pro překlad je možné vygenerovat příkazem:

```
$ cmake ..
```

který vygeneruje Makefile (a stáhne GoogleTest) a měl by skončit výstupem: “*Build files have been written to: ...*”. **Tento krok je nutné opakovat po každém přidání nového testu!**

5. Nyní by mělo být možné přeložit projekt příkazem:

```
$ make
```

nebo

```
$ cmake --build .
```

**Tento krok je nutné opakovat při každé změně zdrojového kódu!**

6. Testy je nyní možné zpustit příkazem:

```
$ ctest -C Debug
```

nebo každou část projektu odděleně přímo pomocí příslušných spustitelných souborů: “./black\_box\_test” pro “black-box testy”, “./white\_box\_test” pro “white-box testy” a “./tdd\_test” pro úlohu “test driven development”.

7. Odevzdávaný archiv je možné vytvořit příkazem

```
$ cmake --build . --target pack
```

(stále v adresáři “./assignment/build”), který vytvoří archiv “xlogin00.zip”. Archiv zkontrolujte a přejmenujte dle svého loginu. **Vytvoření archivu je možné pouze s CMake 3.2 a novější!**

### Ověření pokrytí kódu

Za předpokladu, že překlad a spuštění projektu proběhlo bez problémů, je nyní možné přistoupit k ověření pokrytí kódu testy pomocí nástrojů GCOV a LCOV. Pro tento účel vytváří CMake cíle “white\_box\_test\_coverage” a “tdd\_test\_coverage”. Analýzu pokrytí kódu je pak možné provést příkazem

```
$ make white_box_test_coverage
```

nebo

```
$ make tdd_test_coverage
```

Výsledky analýzy by měly být v adresářích “white\_box\_test\_coverage”, nebo “tdd\_test\_coverage” ve formátu HTML a lze je zobrazit pomocí `index.html` v příslušném adresáři.

## 4 Úlohy

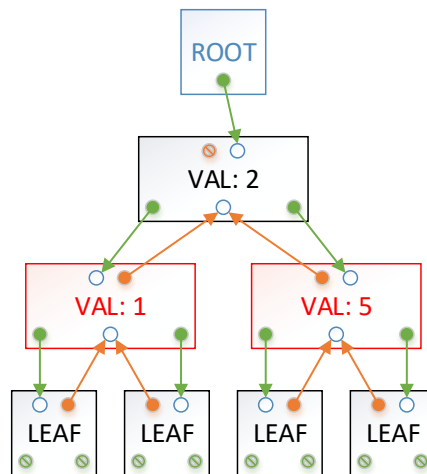
V rámci projektu je třeba vypracovat tři úlohy zaměřené na testování: testování neznámého kódu (tzv. black box), testování známého kódu (tzv. white box) a implementace dle testů (tzv. test driven development).

### 4.1 Black Box Testing (až 6 b.)

Cílem této úlohy je otestování základních operací nad neznámou implementací Red-Black tree (viz [https://en.wikipedia.org/wiki/Red-black\\_tree](https://en.wikipedia.org/wiki/Red-black_tree)) na základě jejich definice.

#### Red-Black Tree

Red-Black Tree je stromová struktura (binární strom), která umožňuje provedení základních operací (vkládání, mazání a vyhledávání) v logaritmickém čase  $\mathcal{O}(\log n)$ . Struktura stromu je tvořena kolekcí uzlů, které jsou propojeny tak, že každý má maximálně dva potomky (levý a pravý). Každý uzel pak tvoří další podstrom (který může být prázdný). Každý strom má pak právě jeden uzel, který nemá žádného rodiče a nazývá se “kořen/root” (v obrázku 1 má hodnotu 2).



Obrázek 1: Red-Black tree po vložení prvků 2,1 a 5.

#### Implementujte testy

Vaším úkolem je implementovat testy základních operací nad Red-Black Tree (Insert, Find a Delete) a trojici základních axiomů které v této struktuře musí platit. Rozhraní stromu je definováno v souboru: “red\_black\_tree.h” (třída “BinaryTree”). Vaše testy a inicializace testů doplňte do souboru: “black\_box\_tests.cpp”, který je součástí odevzdávaného řešení.

### Třída binárního stromu definuje následující veřejné rozhraní:

- `BinaryTree::BinaryTree()` – konstruktor  
Vytvoří prázdný strom (“m\_pRoot” má hodnotu NULL).
- `BinaryTree::~~BinaryTree()` – destruktork  
Odstraní všechny prvky stromu.
- `std::pair<bool, BinaryTree::Node_t *>`  
`BinaryTree::InsertNode(int key)` – vložit nový prvek  
Pokusí se do stromu vložit nový prvek s hodnotou “key” a vrací dvojici (“bool, pointer”). Tato dvojice bude obsahovat hodnotu “true” a ukazatel na vložený prvek, nebo “false” a ukazatel na již existující prvek (v případě, že strom již prvek s hodnotou “key” obsahoval).  
K prvku objektu “std::pair<bool, void \*ptr> x(b, p);” je možné přistupovat pomocí: “x.first” – vrátí bool hodnotu “b” a “x.second” – vrátí ukazatel “p”.
- `bool BinaryTree::DeleteNode(int key)` – odstranit prvek  
Pokusí se odstranit prvek s hodnotou “key”, pokud takový nalezne a odstraní vrací “true”, jinak “false”.
- `BinaryTree::Node_t *BinaryTree::FindNode(int key) const` – vyhledat prvek  
Pokusí se nalézt prvek s hodnotou “key” a vrátí ukazatel na tento prvek. Pokud takový prvek není nalezen, vrací hodnotu NULL.
- `void BinaryTree::GetLeafNodes(std::vector<BinaryTree::Node_t *> &outLeafNodes)` – získat listové uzly  
Vyplní pole “outLeafNodes” ukazateli na listové uzly (tedy bez potomků) ve stromu. Pole je nejdříve vyprázdněno.
- `void BinaryTree::GetAllNodes(std::vector<BinaryTree::Node_t *> &outAllNodes)` – získat všechny uzly  
Vyplní pole “outAllNodes” ukazateli na všechny uzly ve stromu. Pole je nejdříve vyprázdněno.
- `void BinaryTree::GetNonLeafNodes(std::vector<BinaryTree::Node_t *> &outNonLeafNodes)` – získat NE-listové uzly  
Vyplní pole “outNonLeafNodes” ukazateli na všechny NE-listové uzly ve stromu. Pole je nejdříve vyprázdněno.
- `Node_t *BinaryTree::GetRoot()` – získat ukazatel na kořen stromu  
Vrací ukazatel na kořen stromu, nebo NULL je-li strom prázdný.

### Základní axiomy Red-Black Tree:

1. Všechny listové uzly (tedy uzly bez potomků) jsou “černé”.
2. Pokud je uzel “červený”, pak jsou jeho oba potomci “černé”.
3. Každá cesta od každého listového uzlu ke kořeni obsahuje stejný počet “černých” uzlů (viz oranžové cesty v obr. 1).

## Hodnocení

Vaše testy musí být **závazně** pojmenovány tak, aby “test case” odpovídal názvu uvedenému u každé hodnocené položky a samotný název testu začínal označením testované vlastnosti uvedené tamtéž. Tedy například test vložení uzlu nad prázdným stromem: `TEST(EmptyTree, InsertNode_XXX)`, kde `XXX` je libovolný další řetězec – pro případ, že vlastnost testujete pomocí několika testů.

**Testy axiomů implementujte tak aby byly nezávislé na konkrétním obsahu stromu.**

- 1,5 b – Testy funkčnosti operací: “InsertNode”, “DeleteNode” a “FindNode” nad prázdným stromem.
  - Název “test case”: `EmptyTree`
  - Názvy testovaných vlastností: `InsertNode`, `DeleteNode`, `FindNode`
- 1,5 b – Testy funkčnosti operací: “InsertNode”, “DeleteNode” a “FindNode” nad NE-prázdným stromem.
  - Název “test case”: `NonEmptyTree`
  - Názvy testovaných vlastností: `InsertNode`, `DeleteNode`, `FindNode`
- 3 b – Testy 3 základních axiomů Red-Black Tree (viz 4.1).
  - Název “test case”: `TreeAxioms`
  - Názvy testovaných vlastností: `Axiom1`, `Axiom2`, `Axiom3`

## 4.2 White Box Testing (až 6 b.)

Cílem této úlohy je otestování definovaných operací nad maticemi na základě jejich známé implementace.

### Maticové operace

Operace s maticemi vychází ze studijní opory předmětu IDA (viz <http://www.umat.feec.vutbr.cz/~kovar/webs/personal/MMAT.pdf>). Všechny operace implementují standardní chování. Pro řešení soustavy lineárních rovnic je použito Cramerovo pravidlo.

### Implementujte testy

Vášim úkolem je implementovat testy základních operací nad maticemi. Rozhraní maticových operací je definováno v souboru: “white\_box\_code.h” (třída Matrix). Implementace operací je v souboru: “white\_box\_code.cpp”. Vaše testy a inicializace testů doplňte do souboru: “white\_box\_tests.cpp”, který je součástí odevzdaného řešení.

**Třída Matrix definuje následující veřejné rozhraní:**

- `Matrix::Matrix()` – konstruktor  
Vytvoří nulovou matici velikosti 1x1 s hodnotou 0.
- `Matrix::Matrix(size_t R, size_t C)` – konstruktor  
Vytvoří nulovou matici velikosti R x C, nebo vyvolá výjimku v případě že R = 0 nebo C = 0.
- `bool Matrix::set(size_t R, size_t C, double value)` – nastaví hodnotu v matici  
Nastaví prvek matice na pozici (R,C) na hodnoty value. Pokud je (R,C) v matici, vrátí metoda true, jinak false.
- `bool Matrix::set(std::vector<std::vector< double > > values)`  
– nastaví matici  
Nastaví matici hodnotami z pole values. Pokud operace proběhla úspěšně, vrátí true, jinak false.
- `double Matrix::get(size_t R, size_t C)` – vrátí hodnotu v matici  
Vrátí hodnotu prvku na pozici (R,C). Pokud je (R,C) mimo matici, vyvolá výjimku.
- `bool Matrix::operator==(const Matrix m)` – porovná matice  
Porovná matici m s maticí definovanou objektem. Pokud jsou shodné, vrátí true, jinak false. Pokud mají matice rozdílnou velikost, vyvolá výjimku.
- `Matrix Matrix::operator+(const Matrix m)` – součet matic  
Přičte matici m k matici definované objektem a vrátí součet matic. Pokud mají matice rozdílnou velikost, vyvolá výjimku.
- `Matrix Matrix::operator*(const Matrix m)` – součin matic  
Vynásobí matici m s maticí v objektu a vrátí součin matic. Pokud matice nesplňují podmínky pro násobení, vyvolá výjimku.



- `Matrix Matrix::operator*(const double value)` – násobení matice skalárem  
Vynásobí matici definovanou objektem a hodnotu value a vrátí tento součin.
- `Matrix Matrix::solveEquation(std::vector<double> b)` – řešení soustavy lineárních rovnic  
Metoda řeší soustavu lineárních rovnic pomocí Cramerova pravidla. Parametr b představuje pravou stranu rovnice. Pokud lze řešit soustavu, metoda vrátí řešení v pořadí  $x_1, x_2, \dots$ . Jinak vyvolá výjimku.
- `Matrix Matrix::transpose()` – transponování matice  
Vytvoří novou matici  $M_t = M^T$ .
- `Matrix Matrix::inverse()` – inverzní matice  
Pro matici  $M$  (2x2 nebo 3x3) vytvoří matici  $M_i$  pro kterou platí:

$$M_i M = M M_i = I_n . \quad (1)$$

Metoda vyvolá výjimku v případě pokud nelze získat matici inverzní. Stejně tak vyvolá výjimku v případě kdy se nejedná o matici 2x2 nebo 3x3.

### Hodnocení

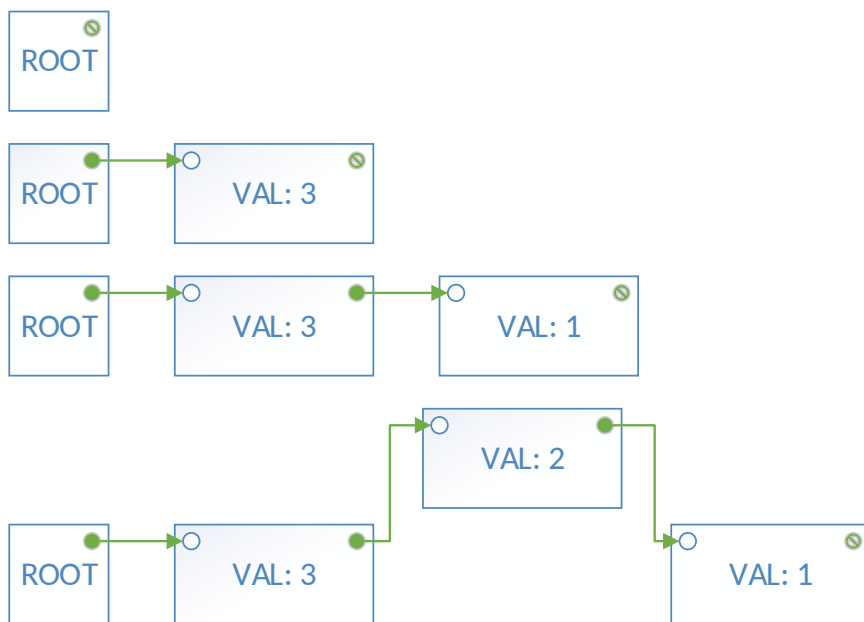
- až 4 b. – Rozsah pokrytí kódu pomocí testů.
- 2 b. – Testy s různými velikostmi a tvary matic.

### 4.3 Test Driven Development (až 6b)

Cílem této úlohy je vytvořit jednoduchou implementaci prioritní fronty založenou na jednosměrně vázaném seznamu, která umožní vložit novou položku (na libovolnou pozici) bez přesouvání ostatních položek. Vytvořená implementace pak musí odpovídat specifikaci a musí také splňovat předem definovanou sadu testů.

Jednosměrně vázaný seznam je datová struktura používaná pro ukládání dynamického počtu prvků (seznam/list), kde každý prvek je nezávisle dynamicky alokovaný (new/malloc). Aby bylo možné s takovou strukturou pracovat, každý prvek obsahuje kromě “užitečných dat” také ukazatel na svého následovníka (tedy na prvek, který je v seznamu za ním). Samotný seznam je pak reprezentován jediným ukazatelem na první prvek seznamu (tzv. kořen/root).

Prioritní fronta je pak z takovéto struktury vytvořena pouze tím, že nový prvek není připojen na konec seznamu, ale je vložen na patřičné místo dle své hodnoty a hodnot prvků, které již ve frontě jsou. Postupné vkládání nových hodnot do prázdné fronty znázorňuje obrázek 2, kde vyplněná kolečka znázorňují ukazatele, přeškrtnuté kolečko má stejný význam jako plné, ale znázorňuje, že daný ukazatel má hodnotu NULL.



Obrázek 2: Postupné vložení prvků 1, 3 a 2 do prioritní fronty.

#### Vlastnosti prioritní fronty

- Prvky ve frontě jsou stále seřazeny podle jejich hodnoty, tak že:  
 $p_{\text{head}} \geq p_1 \geq \dots \geq p_{n-1} \geq p_{\text{tail}}$ .
- Fronta může obsahovat libovolné množství prvků se stejnou hodnotou.

- V případě prázdné fronty má ukazatel na prvek  $p_{\text{head}}$  (`m_pHead`) hodnotu `NULL`.
- Odkaz na následující prvek posledního má hodnotu `NULL`.

### Implementujte

Váším úkolem je doplnit implementace následujících metod prioritní fronty definované jako třída “`PriorityQueue`” v souboru “`tdd.code.h`”. Váš kód doplňte do připravených definic metod v souboru: “`tdd.code.cpp`”, který je součástí odevzdávaného řešení.

- `PriorityQueue::PriorityQueue()` – konstruktor  
Zde doplňte inicializaci prázdné prioritní fronty (pokud je nějaká nutná).
- `PriorityQueue::~~PriorityQueue()` – destruktork  
Úkolem této metody je odstranění všech prvků fronty (jsou dynamicky alokované) před odstraněním samotné fronty.
- `PriorityQueue::Insert(int value)` – vložit prvek  
Metoda vloží nový prvek s hodnotou “`value`” do fronty na místo dané jeho hodnotou (viz definice prioritní fronty). Je tedy třeba nalézt patřičné místo a prvek zařadit do seznamu tvořícího frontu. Pokud prvek s danou hodnotou “`value`” již existuje, je nový prvek zařazen před nebo za něj.
- `PriorityQueue::Remove(int value)` – odstranit prvek  
Metoda nalezne PRVNÍ prvek s danou hodnotou “`value`” a odstraní ho z prioritní fronty (výsledná fronta musí stále obsahovat všechny ostatní prvky ve správném pořadí). Pokud není daný prvek nalezen, vrátí metoda hodnotu “`false`”, v opačném případě vrátí “`true`”.
- `PriorityQueue::Element_t *PriorityQueue::Find(int value)` – vyhledat prvek  
Metoda nalezne PRVNÍ prvek s danou hodnotou “`value`” a vrátí ukazatel na tento prvek. Pokud není prvek nalezen, vrátí hodnotu `NULL`.
- `PriorityQueue::Element_t *PriorityQueue::GetHead()` – první prvek  
Metoda vždy vrátí ukazatel na první (tedy největší) prvek ve frontě (případně hodnotu `NULL`, pokud je fronta prázdná).
- `size_t PriorityQueue::Length()` – délka  
Vrátí počet prvků v seznamu.

Vaše implementace těchto metod musí splnit výše uvedené definice a projít sadou testů (viz soubor “`tdd_tests.cpp`”).

### Hodnocení

- 1 b. – Splnění testů nad prázdnou frontou.
- 2 b. – Splnění testů nad neprázdnou frontou.
- 2 b. – Implementace metod “`Insert`”, “`Find`”, “`Remove`” a destruktorku (4 metody po 0.5b).
- 3 b – Správnost implementace.