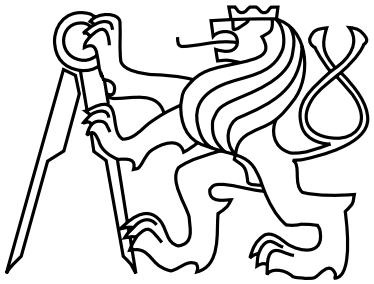
České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra počítačů



Bakalářská práce

Systém pro výpočet softwarových metrik

Martin Ovesný

Vedoucí práce: Ing. Ladislav Vágner, Ph.D.

Studijní program: Softwarové technologie a management, Bakalářský

Obor: Softwarové inženýrství

26. května 2010

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval Ing. Ladislavu Vágnerovi, Ph.D. za poskytnutí velice zajímavého tématu a za odborné vedení mé bakalářské práce.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v přiloženém seznamu.
Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 26. května 2010 .....

Abstract

This thesis is focused on software source quality measures by software metrics evaluation. There are discussed size-oriented metrics, complexity measures as their association with white-box testing and object-oriented metrics for design flaws detection.
Outcome from the work is software metrics evaluation system that is easy to extend by modules. Results of system's computation are compared to some of the existing software discussed in the text.

Abstrakt

Práce je zaměřena na problematiku vyhodnocování kvality zdrojových kódů pomocí softwarových metrik. V textu jsou popsány softwarové metriky orientované na velikost kódu, metriky zabývající se složitostí kódu a její souvislostí s white-box testováním a objektově orientované metriky vyhodnocující správný objektový návrh.
Výsledkem práce je systém pro výpočet softwarových metrik, který je snadno rozšiřitelný formou modulů, a porovnání jeho činnosti s některými programy uvedenými v textu.

Obsah

Seznam obrázků

Kapitola 1

Úvod

1.1 Zařazení výpočtu softwarových metrik do procesu vývoje software

S tím, jak v softwarovém inženýrství doba pokročila, se staly požadavky na čas dodání a nasazení softwaru kritickými faktory. Proto je nutné vývoj co nejlépe zoptimalizovat, aby nedocházelo ke zbytečným ztrátám zisku. Proces vývoje software skládající se z analýzy, návrhu, implementace, testování a údržby je již pevně zavedený ve velkém množství softwarových společností. Vyhodnocení kvality (kontrola jakosti) zdrojových kódů pomocí softwarových metrik se dá v tomto procesu zařadit ke dvojici implementace-testování. Právě s testováním mají softwarové metriky úzkou souvislost [17, 21, 18]. Respektováním jejich výsledků mohou vývojáři zajistit, aby nebyly jednotlivé části software zbytečně složité, což udrží i složitost testování nižší. Tím se zároveň program stává průhledným a snižuje se pravděpodobnost, že se v testech opomene kontrola některých možných průběhů testovaného programu. Pokud by pak v této části vznikla chyba, bylo by velice obtížné a drahé ji dohledávat, protože výsledky testů by ukazovaly, že je vše v pořádku.

Fakt, že zařazení kontroly jakosti do procesu vývoje software nese dobré výsledky, potvrzuje například to, že ho do svého vývojového procesu zařadila i organizace NASA[14] nebo společnosti jako Microsoft, Electronic Arts, Intel, Siemens, Hewlett-Packard a další [50].

1.2 Cíl práce

Cílem práce je vytvoření systému pro výpočet softwarových metrik, jenž bude moduly snadno rozšiřitelný. Tyto moduly budou umožnovat rozšíření o další vstupní jazyky a o výpočet dalších softwarových metrik nebo jiný způsob vyhodnocení kvality zdrojových kódů (např. kontrola dodržování kódovacích konvencí - odsazování, pojmenování, apod.). Výsledný program by měl být vhodný pro automatické vyhodnocení kvality kódu studentských prací (domácí úkoly, semestrální práce). Program na vstupu dostane zdrojový kód nebo skupinu zdrojových kódů a na výstupu zapíše výsledky do XML souboru.

K tomu, aby bylo možné systém realizovat, je potřeba nejdříve zjistit jaké softwarové metriky existují, a zpracovat jejich přesné definice. Podle nich bude systém kvalitu kódu

vyhodnocovat. Jedná se o metriky, které se dají vypočítat pouze z předložených zdrojových kódů. Systém tudíž nebude mít k dispozici statistiky z jiných projektů, čímž jsou vyloučeny metriky pro časové a finanční odhady. Nicméně výsledný systém by mělo být možné rozšířit o moduly, které takové odhady počítat umí.

1.3 Struktura práce

V kapitole 2.1 tohoto textu je představeno několik metod vyhodnocení kvality zdrojových kódů. Jsou v ní podrobně popsány některé nejznámější a nejpoužívanější softwarové metriky. Následuje kapitola 2.2 obsahující výčet již existujících programů, které metriky počítají. Jedná se o nástroje, jenž patří mezi nejrozšířenější, nejlepší a nebo mají nějakou zvláštní funkcionalitu, díky které stojí za zmínku.

Kapitola 3 se zabývá návrhem systému pro výpočet softwarových metrik definovaného v kapitole 1.2. Kromě popisu architektury a jeho jednotlivých částí, popisuje i použití nově vznikajícího standardu Abstract Syntax Tree Metamodel, který vytvořila Object Management Group.

V kapitole 4 je popsán způsob implementace některých důležitých částí realizovaného systému. Popisována je zejména realizace frontendu pro jazyk C++. Frontend byl vytvořen pokročilými postupy v dvojici nástrojů Flex a Bison. Následující kapitola 5 pak diskutuje výstupy metrik, které realizovaný systém implementuje. Některé z nich jsou porovnány s výsledky, kterých bylo dosaženo softwarem popsaným v kapitole 2.2.

Na přiloženém CD se pak nachází implementace samotného systému pro výpočet softwarových metrik.

Kapitola 2

Analýza

2.1 Vyhodnocení kvality zdrojových kódů

Kvalita zdrojových kódů může být vyhodnocována buď manuálně, nebo automatizovaně. Manuální vyhodnocení spočívá v tom, že programátor, který zkoumaný zrojový kód nezná, si ho pročítá a snaží se ho pochopit. Výsledkem je pak report, ve kterém je uvedeno například, kde je kód zbytečně složitý nebo je upozorněno na nedodržování domluvených konvencí, apod. Hlavní nevýhodou tohoto způsobu je, že čas, který programátor stráví nad prováděním revize, by mohl daleko lépe vyplnit nějakou tvůrčí činností. Zde nastupuje vyhodnocení automatické, které se snaží udělat práci za člověka. Automatické vyhodnocení se dá rozdělit do dvou kategorií: statická analýza [60] a dynamická analýza [35].

Dynamická analýza se používá například k zjišťování, zda software správně pracuje s přidělenými prostředky (uvolňuje paměť, zavírá file descriptory, apod.) nebo ke kontrole běhu vláken (např. nalezení deadlocku), apod. Tato analýza je prováděna tím způsobem, že je program spuštěn a za běhu jsou sbírány informace o jeho průběhu. Některé nástroje pro dynamickou analýzu (např. Valgrind [63]) pouští testovaný proces přes svůj vlastní virtuální procesor. Jiné (např. Mudflap [6], jenž je součástí projektu GCC) zase linkují své knihovny do zkoumaného programu, aby měly kontrolu nad některými funkcemi pro práci s dynamickou pamětí, apod. Dynamická analýza je tedy kvůli spouštění závislá na testovacích datech, které ovlivňují chování testovaného programu. Je tudíž nezbytné, aby byla tato data správně zvolena, jinak by se neotestovaly všechny případy toho, jak může program v závislosti na vstupech proběhnout.

Statická analýza , naopak od té dynamické, nespouští analyzovaný program a výpočty se provádí přímo na jeho zdrojových kódech nebo, v některých případech (např. nástroj Vil[64]), na přeloženém kódu. Typicky se statická analýza používá na výpočet softwarových metrik, upozornění na některé nevhodné konstrukce, ve kterých může být ukrytá chyba (tzv. lint[44] nebo bug patterns[2]), ke kontrole dodržování předepsaných konvencí, apod. Výsledky statické analýzy pak slouží například k rychlejšímu ladění aplikací, upozornění na chyby v návrhu, které nebyly dosud odhaleny nebo, v neposlední řadě, ke statistikám, které mohou projektovým manažerům poskytnout orientační informace o kvalitě a výkonnosti jednotlivých programátorů, což může mít vliv na časové a finanční odhady budoucích projektů.

Softwarová metrika je definována[19] jako pravidlo pro vyčíslení nějaké vlastnosti určité části zkoumaného softwaru. Metriky se snaží vývojářům prozradit hlavně to, zda je software správně navržen a zda je jeho kód přehledný, což jsou dva faktory, které jdou spolu ruku v ruce. Softwarové metriky mají význam v celém vývojovém procesu (analýza, návrh, implementace, testování, údržba) a souvisejí tedy i s dalšími disciplínami softwarového inženýrství.

Použití softwatových metrik však nekončí u zdrojového kódu. Existují i metriky, které jsou přímo určené na časové odhady a odhady finančních prostředků pro budoucí projekty (např. Function Point Analisis [1] nebo metrika COCOMO [31]). Tyto metriky ale používají empirické metody, pro které jsou potřeba statistiky z předchozích projektů. Navíc takové odhady se provádějí před započetím implementace, tudíž je není možné počítat ze zdrojových kódů (ještě neexistují) jako ty, kterými se tento text zabývá.

2.1.1 Softwarové metriky orientované na velikost zdrojového kódu

Tato skupina metrik patří mezi nejjednodušeji vypočítatelné, nejpoužívanější a také nejstarší. Požívaly se na hodnocení výkonosti programátotů už v dobách, kdy se vůbec o nějakých metrikách nevědělo. Dnes mají poněkud jiný význam, protože výkonost se tímto měřit nedá, jelikož dnešní programátor má na starosti daleko více než jen psaní zdrojového kódu (návrh, testování, dokumentace, apod.).

Softwarové metriky orientované na velikost zdrojového kódu mají nevýhodu v tom, že jsou velmi závislé na zvoleném programovacím jazyku, tudíž je potřeba toto vzít v úvahu při vyhodnocování jejich výsledků. Dále je problém i v tom, že změřené hodnoty mohou být odlišné u různých programátorů, pokud nejsou striktně stanovena pravidla na to, jak má být kód formátován, protože každý má svůj styl odsazování, závorkování, atd.

2.1.1.1 File Size

Velikost souboru je nejzákladnější softwarovou metrikou, která udává počet bajtů v souboru.

2.1.1.2 Source Lines Of Code

Vyskytuje se v několika variantách, protože počet řádků, který metrika udává, se dá podat různými způsoby. Souhrně se všechny varianty nazývají Source Lines Of Code (SLOC).

Základní variantou je Lines Of Code (LOC) [57], která udává počet všech rádků v souboru. Vzhledem k tomu, že hodnota nemusí být zcela vypovídající kvůli k tomu, že v zdrojovém kódu mohou být prázdné řádky či komentáře, přichází na řadu druhá varianta, nazývaná Logical Lines Of Code (LLOC) [45]. LLOC udává počet řádků v souboru, do kterých se nezapočítávají zmíněné prázdné řádky a komentáře. Řádka se počítá jako komentář v momentě, kdy na ní je pouze komentář. Pokud by na ní byl nějaký kus kódu, který by byl na konci řádku okomentován, pak se řádek počítá jako kód, nikoli jako komentář.

Ovšem i LLOC může obsahovat kód, který není relevantní (například direktivy preprocesoru v C/C++).

Při vyhodnocení této metriky je tedy vždy potřeba definovat, co se do ní započítává, protože když budeme očekávat LLOC hodnotu a místo ní se vrátí LOC, může být rozdíl i řádový.

Tyto metriky se nepoužívají pouze ke zjištění, kolik řádků má celý soubor. Stejně dobře je lze využít i pro výpočet toho, jak obsáhlé jsou jednotlivé funkce programu nebo klidně i celý systém dohromady. Případně průměrné a maximální hodnoty, odchylky od průměru, apod.

U všech zmíněných variant SLOC metriky platí, že při vysokých hodnotách na výstupu, je vysoká i pravděpodobnost, že je program špatně navržen a měl by být rozdělen do více modulů (funkcí, tříd, souborů, ...).

2.1.1.3 Lines Lengths

Metrika zjišťuje kolik znaků je na jednotlivých řádcích kódu a vypočítá maximální a průměrnou délku ve funkci, či souboru.

2.1.1.4 Comments density

Jedná se o procentuální vyjádření toho, jaká část z kódu je zabrána komentáři. Variant výpočtu je opět několik. Jednou z možností je například hrubý výpočet pomocí SLOC:

$$COMM\% = (LOC - LLOC)/LOC$$

Výpočet se dá upřesnit [47] například ještě zohledněním prázdných rádků nebo dokonce vyhodnocením toho, které komentáře jsou významné a které naopak nenesou žádnou informaci:

$$MCOMM\% = MCOMM/LLOC$$

MCOMM je zkratka pro Meaningful Comments, címž se myslí počet komentářů (nemusí se jednat pouze o celořádkové komentáře), které obsahují alespoň jedno písmeno. Nepočítají se tedy prázdné komentáře nebo komentáře používané na zpřehledňování, které obsahují například samé pomlčky, apod.

2.1.2 Softwarové metriky orientované na složitost programu

Tato kategorie metrik dohání nedostatky té předchozí hlavně v tom, že výsledky těchto metrik opravdu vypovídají o tom, jak je program složitý, protože nepočítají pouze počet řádků, ale analyzují i to, co se na nich nachází. Další výhodou oproti předchozí skupině metrik je fakt, že nezáleží na zvoleném jazyku a na stylu zápisu programatora, protože se počítá přímo se složitostí jednotlivých operací, ze kterých se program sestává (příkazy, výrazy).

Tyto metriky také přímo souvisí s testováním [18], protože jejich výsledky se dají interpretovat i jako míra toho, jak složité je analyzované části systému testovat (viz. CCN a NPATH dále v textu).

2.1.2.1 McCabe's Cyclomatic Complexity

Cyklomatická složitost byla prezentována v roce 1976 matematikem Thomasem J. McCabem, podle něhož bývá často nazývána. Metrika ve své podstatě udává počet všech cest, kterými lze program projít. K tomu, aby bylo možné cyklomatickou složitost definovat, je potřeba nejdříve zavést pojem Control Flow Graph.

Definice: [21, 17] Control Flow Graph (CFG) je orientovaný graf (V, E, V_{entry}, V_{exit}), kde

- V je množina uzlů grafu, kde každý uzel reprezentuje blok kódu (sekvenci příkazů, které program nevětví) nebo nějakou větvící konstrukci (if, while, ...)
- E je množina hran grafu, kde každá hrana, reprezentuje větev programu, kterou může program probíhat (Control Flow Path)
- V_{entry} je prvek množiny V, který reprezentuje unikátní vstupní uzel
- V_{exit} je prvek množiny V, který reprezentuje unikátní výstupní uzel

Dále platí, že z uzlu V_{entry} existuje orientované spojení do všech ostatních uzlů grafu a zároveň ze všech těchto uzlů grafu musí existovat orientované spojení do uzlu V_{exit}.

■

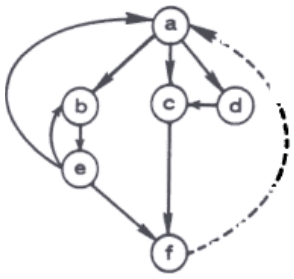
Definice: [17] Cyklomatická složitost $V(G)$ grafu G obsahujícího n vrcholů, e hran a p komponent je

$$V(G) = e - n + 2p$$

■

Cyklomatická složitost $V(G)$ se často označuje zkratkou CCN (Cyclomatic Complexity Number).

V následujících větách a tvrzeních se navíc uvažuje hrana orientovaná z V_{exit} do V_{entry}, aby v každém CFG existoval alespoň jeden cyklus (viz. obrázek 2.1).



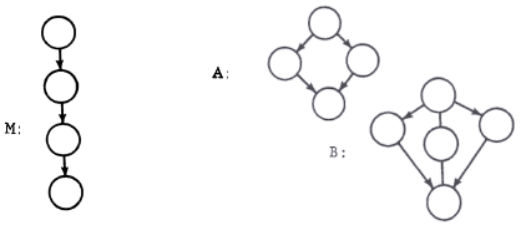
Obrázek 2.1: Control Flow Graph: uzly $a = V_{entry}$ a $f = V_{exit}$ jsou spojeny čárkovanou hranou, která se do CFG přidává navíc, aby byla v grafu vždy alespoň jeden cyklus.

Věta: V silně souvislém grafu G je cyklomatická složitost rovna maximálnímu počtu lineárně nezávislých cyklů.

■

Každý cyklus v CFG tvoří jeden prvek báze lineárního prostoru všech cest v grafu G, takže je možné pomocí jejich lineárních kombinací sestavit libovolný podgraf. Hodnost této báze je hledané $V(G)$.

Podle předchozích tvrzení by se mohlo zdát, že v definici $V(G)$ je zbytečná proměnná p. Není tomu tak, protože p reprezentuje jednotlivé funkční jednotky programu, takže CCN lze vypočítat pro jednotlivé funkce ($v(G)$) stejně tak, jako pro moduly nebo dokonce celý systém ($V(G)$). Například na následujícím obrázku je hlavní funkce M, která volá funkce A a B. Každá funkce je jedna komponenta.



Obrázek 2.2: CFG pro více funkčních jednotek. Hlavní funkce M volá funkce A a B.

Složitost takového systému je pak $V(G) = v(A \cup B \cup C) = e - n + 2p = 13 - 13 + 2 * 3 = 6$.

Tvrzení: Hodnota $V(G)$ grafu G obsahující komponenty $G_1, ..., G_n$ dá vypočítat jako

$$V(G) = \sum_{i=1}^{n} v(G_i)$$

Důkaz:

$$V(G) = e - n + 2p = \sum_{i=1}^{p} e_i - \sum_{i=1}^{p} n_i + 2p = \sum_{i=1}^{p} (e_i - n_i + 2) = \sum_{i=1}^{p} v(G_i)$$

■

Pokud tedy známe CCN dílčích funkcí, pak lze složitost systému spočítat jejich pouhým sečtením: $V(G) = v(A \cup B \cup C) = v(A) + v(B) + v(C) = 1 + 2 + 3 = 6$.

V praxi se ovšem program nepřevádí do grafu, nýbrž se využije následujícího zjednodušení (platí pouze pro jazyky pro strukturované programování - pro jazyky nestrukturovaného programování, jako je například assembler, je postup popsán v [17]).

Nechť θ je počet funkcí a π je počet predikátů[1], pak počet hran e v grafu G je

$$e = 1 + \theta + 3\pi$$

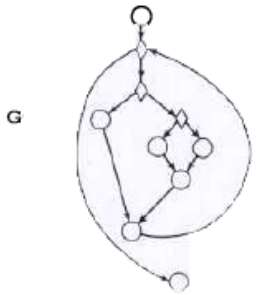
Dále každý predikát π je v grafu G znázorněn jedním uzlem, který se větví do dvou dalších uzlů (nezáleží na tom, zda jde také o predikát, nebo ne) a každá funkce θ má jeden vstupní a jeden výstupní uzel, takže počet uzlů n v grafu G je

$$n = \theta + 2\pi + 2$$

Pro $p = 1$ platí

$$v(G) = e - n + 2p = (1 + \theta + 3\pi) - (\theta + 2\pi + 2) + 2 = \pi + 1,$$

tedy $v(G)$ je rovno počtu predikátů (větvení) plus jedna.



Obrázek 2.3: Graf G obsahující e hran a n uzlů. Kosočtverce značí predikáty.

Rozšíření CCN na CCN2 Už sám McCabe navrhnul [17], že by bylo žádoucí započítávat do složitosti i složené výrazy v podmínkách, protože například zápis

```
if(c1 && c2) ...
```

je potřeba uvažovat dekomponovaný na

```
if(c1) if(c2) ... ,
```

ve kterém jsou zřetelné dva predikáty, nikoli jeden, jako je tomu v prvním zápisu. Proto se zavádí CCN2, kde se tento fakt bere v úvahu a při výpočtu se k počtu predikátů navíc přičítá počet operátorů && a ||.

Dalších rozšíření McCabovy složitosti je hodně, protože tato metrika byla často diskutována a jiní autoři (např. Knots, McClure, Myers, Nejmeh, Piwowarski, ...) [27] cítili, že by ji šlo dále modifikovat, aby bylo dosaženo lepších výsledků než podle její původní definice.

[1] Predikát = rozhodovací konstrukce programovacího jazyka (if, while, ...)

Výsledná hodnota CCN má souvislost s white-box testováním [17], protože vyjadřuje **minimální** počet všech různých konfigurací vstupních hodnot pro testovanou funkci potřebný pro to, aby bylo splněno code coverage kritérium[2].

Obecně je doporučováno udržovat CCN ve funkci do hodnoty 10, v případě použití varianty CCN2 do hodnoty 20. Tyto hodnoty jsou sice rozumné, ale ne všemohoucí, protože se do CCN nebere v úvahu například zanořování rozhodovacích konstrukcí (je daleko složitější ladit a testovat několik vnořených cyklů než stejný počet cyklů jdoucích po sobě). Stejně tak se nezapočítávají váhy jednotlivých konstrukcí, takže podmínky mají stejnou váhu jako cykly. Dalším takovým příkladem, kdy CCN pokulhává, může být velký *switch* s mnoha *case* větvemi. Konkrétně tento případ se uvádí jako tolerovaný a vysoká hodnota CCN se pak promíjí.

2.1.2.2 Nejmeh's NPATH Complexity

Brian A. Nejmeh zavádí svoji NPATH složitost kvůli nedostatkům McCabovy složitosti hlavně v tom, že nebere v úvahu zanořování rozhodovacích konstrukcí. I když tato metrika vychází z teorie grafů podobně jako McCabova složitost, tak ji Nejmeh definoval [21] výčtem algoritmů výpočtu na jednotlivých syntaktických konstrukcích jazyka C.

Příkaz if:

```
if(<expr>)
  <if-body>
```

$$NP(if) = NP(< expr >) + NP(< if - body >) + 1$$

Příkaz if-else:

```
if(<expr>)
  <if-body>
else
  <else-body>
```

$$NP(if - else) = NP(< expr >) + NP(< if - body >) + NP(< else - body >)$$

Příkaz while:

```
while(<expr>)
  <while-body>
```

$$NP(while) = NP(< expr >) + NP(< while - body >) + 1$$

[2]Code coverage kritérium je jedním z pravidel úspěšného testování [12]. Podmínkou jeho splnění je, že všechny podmíněné výrazy a podvýrazy budou vyhodnoceny jako *true* i jako *false*, všechny větve programu budou provedeny, všechny příkazy v programu budou provedeny a všechny funkce v programu budou zavolány.

Příkaz do-while:

```
do
  <do-body>
while(<expr>)
```

$$NP(do-while) = NP(<expr>) + NP(<do-body>) + 1$$

Příkaz for:

```
for(<expr1>; <expr2>; <expr3>)
  <for-body>
```

$$NP(for) = NP(<expr1>)+NP(<expr2>)+NP(<expr3>)+NP(<for-body>)+1$$

Příkaz switch:

```
switch(<expr>)
{
  <case1>
  ...
  <casen>
  <default>
}
```

$$NP(switch) = NP(<expr>) + NP(<default>) + \sum_{i=1}^{n} <case_i>$$

Pokud je $<case_i>$ prázdný (neobsahuje žádný příkaz), pak je jeho $NP = 1$.

Výraz s ternárním operátorem:

```
<expr1> ? <expr2> : <expr3>
```

$$NP(?:) = NP(<expr1>) + NP(<expr2>) + NP(<expr3>) + 2$$

Dvojka na konci vzorce se přičítá kvůli tomu, že bez ní by šlo pouze o součet složitostí jednotlivých výrazů. Díky ní se do $NP(?:)$ započítá i fakt, že ternární operátor vytváří další větev (hranu v CFG) stejně jako například *if*.

Příkazy goto a continue se do NP vůbec nezapočítávají.

Příkaz break má hodnotu $NP(break) = 1$.

Příkaz return:

```
return <expr>
```

$$NP(return) = NP(< expr >)$$

Výrazy se započítávají pouze tehdy, když obsahují operátory logického součinu nebo logického součtu.

```
<expr1> op1 <expr2> op2 ... op(N-1) <exprN>
```

$$NP(vyraz) = (pocet\ operatoru\ \&\&) + (pocet\ operatoru\ ||)$$

Ostatní příkazy nevětvící tok programu, včetně volání funkcí, mají $NP = 1$.

Funkce:

$$NPATH = \prod_{i=1}^{i=N} NP(prikaz_i),$$

kde N je počet příkazů ve funkci.

Výsledná hodnota NPATH má, stejně jako CCN, význam v testování [21], protože hodnota $NPATH$ je rovna **maximálnímu** počtu všech různých konfigurací vstupních hodnot pro testovanou funkci potřebných k tomu, aby bylo splněno code coverage kritérium.

2.1.2.3 McClure's Complexity

Carma L. McClure představila další možný způsob [5] jak určit složitost programu.

$$Complexity = C + V,$$

kde C je počet podmínek a V je počet unikátních proměnných, které v těchto podmínkách figurují.

2.1.2.4 Decision Density

Metrika vyjadřuje, jak je daná funkce opticky přehledná a srozumitelná. Počítá se jako poměr rozhodovacích konstrukcí vůči celkovému počtu operací [52], zjednodušeně:

$$DECDENS = CCN/LLOC$$

2.1.2.5 Henry's and Kafura's (HK) Information Flow Metrics

S. Henry a D. Kafura přišli s myšlenkou, že složitost zkoumaného systému je tím vyšší, čím víc jeho částí je vájemně provázaných.

Metoda, kterou tuto složitost určují je dána vztahem [9]:

$$Complexity = [procedure - length] * [fan - in * fan - out]^2,$$

kde $fan - in$ je informace, která do funkce přišla (in) z venčí, tedy počet funkcí, které zkoumaná funkce volá, zatímco $fan - out$ je informace, která odešla (out), tedy počet volání zkoumané funkce jinými funkcemi. $Procedure - length$ je délka funkce a nemusí jít pouze o její fyzickou velikost (SLOC), ale i o výstup jakékoli relevantní metriky, například CCN, NPATH, apod. Autoři tuto proměnnou schválně blíže nespecifikovali.

2.1.2.6 Data Structure Metrics

Jedná se o skupinu metrik, které se snaží vyčíst složitost programu z toho, s jakým objemem dat nebo s jakým typem dat pracuje. Typicky se počítá počet proměnných deklarovaných ve funkci a počet proměnných, které funkce deklaruje jako parametry.

Lze uvažovat i „život“ proměnných, tzn. kde byla jaká proměnná použita poprvé a kde naposledy. Hlavní idea takové analýzy je v tom, že se metrika snaží zjistit s kolika proměnnými programátor v dané jednotce pracuje a kolik jich tedy musí brát v úvahu při testování, či úpravách jednotky.

2.1.2.7 Halstead's Metrics

Maurice Howard Halstead představil v roce 1977 další způsob, jak vyčíslit složitost programu. Jedná se o celou skupinu několika fomulí, a proto se v některých zdrojích tato metrika označuje jako Halstead's Software Science [23].

Halstead předpokládá, že každý program lze přepsat na seznam tokenů a každý z nich lze klasifikovat buď jako operátor, nebo jako operand. Abeceda programu n je definována jako

$$n = n_1 + n_2,$$

kde n_1 je počet všech unikátních operátorů (např. pro $*$, $*$, $+$ je $n_1 = 2$) a n_2 je počet všech unikátních operandů. Dalším atributem pro výpočet je délka programu, která je definována jako

$$N = N_1 + N_2,$$

kde N_1 je počet všech operátorů (např. pro $*$, $*$, $+$ je $n_1 = 3$) a N_2 je počet všech operandů.

Z výše definovaných proměnných se dá spočítat „objem“ programu jako

$$V = N * \log_2(n)$$

Halsteadovy výzkumy prokázály, že hodnota V se mění lineárně v porovnání se SLOC.

Konečně pro výpočet toho, jak je složité programu porozumět (D = Difficulty), slouží následující vztah:

$$D = (n_1/2) * (N_2/n_2)$$

Tato metrika může sloužit nejen k výpočtu složitosti existujícího programu, ale dokonce i k odhadu složitosti programu, který se teprve chystá a z toho se dá také odhadnout, jaké usilí (E = Effort - množství času, programátorů, finančních prostředků) bude potřeba k napsání takového programu [20].

$$E = D * V$$

Jako pomoc pro odhad délky zatím neimplementovaného programu může posloužit další vztah, se kterým Halstead přišel. Jedná se o způsob, jak odhadnout délku programu N' pomocí abecedy programu n_1, n_2, která je snáze odhadnutelná.

$$N' = n_1 * \log_2(n_1) + n_2 * \log_2(n_2)$$

Odhad délky může sloužit i k určení, jak „přímočaře“ je program následně implementován (L = program Level). Uvažujme například následující dva způsoby, jak vypočítat mocninu x^y v C++ (x a y jsou celá čísla a $y \geq 0$):

```
1. double res = pow(x, y);
2. double res = 1; for(int i = 0; i < y; i++) res *= x;
```

Myšlenka spočívá v tom, že se porovná předem odhadnutá délka programu proti jeho reálné délce, když už byl implementován. K tomu slouží vzorec

$$L = N'/N$$

Díky hodnotě L se dají korigovat budoucí odhady.

Hodnocení Halsteadovy metriky není dobré [15, 26], protože se na ni po její publikaci snesla vlna kritiky. Metrika má velkou nevýhodu v tom, že výsledné hodnoty jsou samy o sobě naprosto nevýřečné, protože nikde není definováno, jak jaký jazyk přeložit na sekvenci operandů a operátorů, takže to záleží vždy na implementaci stejně tak, jako na vstupním jazyku (Pascal, C++, Assembler, ...).

2.1.3 Softwarové metriky orientované na objektový návrh

Objektově orientované metriky (tzv. strukturální analýza) se snaží zkoumat, zda třída, či skupina tříd, dodržují pravidla správného návrhu, jako je například ortogonální návrh [10] nebo Demeterovo pravidlo [10]. Analýza je prováděna podle deklarací jednotlivých tříd, tzn. například podle dědičnosti, metod nebo členských proměnných a jejich vlastností. Vzhledem k tomu, že jeden takovýto samotný atribut (metrika), jako je například počet potomků, nic moc o hierarchii tříd v systému nevypovídá, jsou tyto metriky charakteristické tím, že jejich výstupem není jedna hodnota, jako tomu bylo u předchozích, ale jedná se většinou o celou skupinu hodnot, které se snaží vytvořit určitý obraz o zkoumaném systému. Nicméně existují i vyjímky, jako jsou například kohezní metriky[3], které samy o sobě charakterizují zkoumanou třídu poměrně dobře.

[3] Skupina kohezních metrik vychází z metriky LCOM (Lack of Cohesion of Methods) 2.1.3.1.

2.1.3.1 Chidamber-Kemerer (CK) metrics

V roce 1994 vydali Shyan R. Chidamber a Chris F. Kemerer článek [13], kde prezentovali svou sotfwarovou metriku pro objektově orientovaný návrh známou také pod názvem MOOSE (Metrics for Object-Oriented Software Engineering) [4], která se skládá z následujících atributů:

Weight Methods per Class (WMC): Mějme třídu C, která má metody $M_1, ..., M_n$ a $c_1, ..., c_n$ jsou složitosti jednotlivých metod. Potom platí:

$$WMC = \sum_{i=1}^{n} c_i$$

WMC je tedy suma složitostí všech metod, definovaných v rámci dané třídy. Složitost c_i není schválně nijak blíže určena, takže je možné za ni dosadit výstup nějaké jiné metriky, jako například cyklomatickou složitost nebo počet řádků. Stejně tak je možné za ni dosadit konstantu a pak WMC vyjadřuje počet metod definovaných v rámci třídy.

Důsledky WMC

1. Počet metod a jejich složitosti, které jsou do WMC zahrnuty předpovídají, kolik práce a času bude potřeba k vývoji a udržování třídy.
2. Čím více má třída metod, tím větší vliv má třída na své potenciální potomky.
3. Třídy s velkým počtem metod bývají dosti specifické, což může být na úkor znovupoužití.

Depth of Inharitance Tree (DIT) je definována jako maximální vzdálenost ve stromu dědičnosti od zkoumané třídy ke kořenu. Vzdálenost je maximální, protože v některých jazycích (např. C++), existuje možnost vícenásobné dědičnosti. DIT vyjadřuje míru ovlivnitelnosti zkoumané třídy svými předchůdci, ze kterých třída dědí.

Důsledky DIT

1. Čím hlouběji je třída ve stromu dědičnosti, tím větší počet metod dědí, což dělá třídu složitejší na porozumění.
2. Stromy s velkou hloubkou bývají návrhově složitější, protože zahrnují velký počet tříd a metod.
3. Čím hlouběji v hierarchii se třída nachází, tím větší je možnost znovupoužití děděných metod.

Number Of Children (NOC) je počet přímých potomků zkoumané třídy a vyjadřuje, kolik jiných tříd bude dědit její metody.

Důsledky NOC

1. Čím více potomků zkoumaná třída má, tím větší je míra jejího znovupoužití.
2. Čím více potomků zkoumaná třída má, tím vyšší je pravděpodobnost, že je špatně navržena. Hierarchie tříd by měla být spíše hlubší než širší.
3. Pokud má třída hodně potomků, je možné, že bude složitější testování jak jí samotné, tak i jejích potomků.

Coupling Between Object classes (CBO) je číslo udávající počet jiných tříd, se kterými je zkoumaná třída spárovaná. Třídy jsou spárované tehdy, když jedna třída používá metody nebo členské proměnné definované v nějaké jiné třídě. CBO tedy vyjadřuje míru závislosti zkoumané třídy na jiných třídách.

Důsledky CBO

1. Přehnaná závislot mezi třídami odporuje správnému modulárnímu návrhu a značně snižuje možnost znovupoužitelnosti závislé třídy.
2. Čím více je třída závislá na jiných, tím je složitější její udržování, protože je daleko víc citlivá na změny v jiných místech systému.
3. Čím vyšší je závislost mezi třídami, tím nutnější bude jejich důkladné testování.

Response For a Class (RFC) je definována jako počet prvků množiny RS (Response Set), tedy

$$RFC = |RS|.$$

RS je definováno jako sjednocení množiny metod zkoumané třídy s množinami všech metod, které jsou volány z metod třídy, tedy

$$RS = \{M\} \cup_{all\ \ i} \{R_i\},$$

kde $\{R_i\}$ je množina metod volaných metodou M_i a $\{M\}$ je množina metod definovaných ve zkoumané třídě. RS třídy je tedy množina metod, které mohou být vykonány při potenciálním volání nějaké metody zkoumané třídy. Vzhledem k tomu, že jsou do této množiny zahrnuty i metody definované mimo třídu, dá se RFC interpretovat jako množství komunikace mezi zkoumanou třídou a jinými částmi systému, ve kterém se třída nachází.

Důsledky RFC

1. Vysoká hodnota RFC může být známkou toho, že je třída složitá na porozumění, s čímž souvisí i její složitější testování.

Lack of Cohesion of Methods (LCOM)

Definice: Mějme třídu C, která má n metod $M_1, ..., M_n$. Dále nechť $\{I_j\}$ je množina instančních proměnných[4] použitých metodou M_i. Těchto množin je celkem n: $\{I_1\}, ..., \{I_n\}$, tedy jedna pro každou z metod. Nechť $P = \{(I_i, I_j)|I_i \cap I_j = \emptyset\}$ a $Q = \{(I_i, I_j)|I_i \cap I_j \neq \emptyset\}$. Pokud jsou všechny množiny $\{I_1\}, ..., \{I_n\}$ prázdné, pak i $P = \emptyset$.

$$LCOM = |P| - |Q|, \ pokud \ |P| > |Q|$$

$$LCOM = \emptyset, \ pokud \ |P| \leq |Q|$$

■

Hodnota LCOM tedy vyjadřuje počet párů metod, které nepoužívají stejné instanční proměnné mínus počet párů metod, které používají stejné instanční proměnné. Výsledek lze interpretovat jako míru podobnosti mezi metodami uvnitř třídy C nebo dokonce jako sourodost (kohezi) třídy. Čím je hodnota LCOM vyšší, tím je vyšší i podobnost metod a tedy i sourodost třídy.

Důsledky LCOM

1. Sourodost třídy je žádoucí, protože zvyšuje úroveň zapouzdření.
2. Nedostatečná sourodost je známkou toho, že by třída měla být rozdělena na několik menších tříd.
3. Jakákoli nesourodost metod může odhalit vážné chyby při návrhu tříd.
4. Nízká sourodost třídy zvyšuje její složitost, což zvyšuje i pravděpodobnost výskytu chyb.

Vylepšení LCOM: po představení CK metriky byla následně několika dalšími autory diskutována a vylepšována a zejména díky atributu LCOM začala vznikat celá skupina metrik zabývajících se sourodostí metod třídy (tzv. kohezní metriky → sourodost = koheze) [3, 16, 7].

2.1.3.2 Lorenz-Kidd (LK) metrics

Mark Lorenz a Jeff Kidd napsali knihu, která byla vydána v roce 1994 a byla v ní představena skupina metrik orientovaných zejména na atributy týkající se velikosti tříd a dědičnosti [4].

Class Size (CS) je celková velikost třídy, která se dá vyjádřit pomocí těchto atributů:

1. Počet všech metod třídy (NM - Number of Methods)
2. Počet veřejných metod třídy (NPM - Number of Public Methods)
3. Počet statických metod (NCM - Number of Class Methods)

[4] Instanční proměnná je členská proměnná třídy, kterou mezi sebou jednotlivé její instance nesdílejí, což znamená, že pro každou instanci třídy existuje jedna kopie takové proměnné.

4. Počet všech proměnných třídy (NV - Number of Variables)
5. Počet statických proměnných (NCV - Number of Class Variables)
6. Počet veřejných proměnných třídy (NPV - Number of Public Variables)

Velké třídy se snaží poskytovat zbytečně velkou funkcionalitu, což je na úkor srozumitelnosti, testování a udržovatelnosti. Takové třídy je lepší rozdělit do několika menších.

Number of Methods Inherited (NMI) je počet metod, které třída zdědila od svých předků.

Number of Methods Overridden (NMO) je počet zděděných metod, které jsou ve zkoumané třídě předefinovány. Vysoká hodnota NMO obvykle značí chyby v návrhu, protože předefinování velkého počtu zděděných metod odporuje principu znovupoužití.

Number of Methods Added (NMA) je počet metod, které zkoumaná třída nově definuje, tzn. že definovaná metoda nezastiňuje metodu se stejným názvem a typy parameterů definovanou v některém z předků třídy.

Average Parameters per Method (APM) udává poměr počtu proměnných třídy ku počtu metod třídy. Podle výsledků výzkumu, který Lorenz a Kidd prováděli, by hodnota AMP neměla překročit hranici $0,7$.

$$APM = NV/NM$$

Specialization IndeX (SIX) , neboli úroveň specializace třídy poskytuje informaci o tom, jak kvalitně je využita dědičnost v hierarchii tříd. SIX udává, jak často jsou předefinovávány metody předků. Hodnotu SIX získáme ze vztahu

$$SIX = (NMO * DIT)/NM$$

2.1.3.3 Metrics for Object Oriented Design (MOOD)

Metrics for Object Oriented Design udávají informace o tom, jak je využíváno jednotlivých principů objektového návrhu, jakými jsou například zapouzdření (MHF, AHF), dědičnost (MIF, AIF) a polymorfismus (POF). Všechny metriky, které spadají pod MOOD udávají tuto informaci v procentech, tedy v rozsahu od 0% do 100%, kde 0 znamená, že zkoumaný princip není vůbec používán a 100% znamená, že je používán v plném rozsahu. MOOD definovali Fernando Brito a Rogerio Carpuca v roce 1994 jako skupinu následujících metrik [24].

Poznámka: dále v definicích jednotlivých metrik spadajících pod MOOD je používáno pojmů „privátní“ a „veřejná“ metoda nebo členská proměnná. Nelze jednoznačně určit, zda se jedná o prvky, které jsou *private* nebo *public*. V originále (angličtina) jsou definovány jako *hidden* (privátní) a *visible* (veřejný). Vzhledem k tomu, že MOOD zkoumá fakta týkající se dědičnosti a i ta může být v určitých jazycích (např. C++) několika druhů (*private*, *protected*, *public*), tak se za privátní považují metody nebo proměnné, které po zdědění nejsou v potomcích viditelné a za veřejné ty, které viditelné jsou.

Method Hiding Factor (MHF) je definován ve všech třídách systému jako počet všech privátních metod ku počtu všech metod.

$$MHF = \sum_{i=1}^{TC} M_h(C_i) / \sum_{i=1}^{TC} [M_h(C_i) + M_v(C_i)],$$

kde TC je počet všech tříd, $M_h(C_i)$ je počet všech privátních metod třídy C_i a $M_v(C_i)$ je počet všech veřejných metod třídy C_i. Nízká hodnota MFH znamená malou funkcionalitu, čímž se snižuje možnost znovupoužití.

Attribute Hiding Factor (AHF) je analogicky k MHF definován jako počet všech privátních atributů ku počtu všech atributů pro každou třídu systému.

$$AHF = \sum_{i=1}^{TC} A_h(C_i) / \sum_{i=1}^{TC} [A_h(C_i) + A_v(C_i)],$$

kde TC je počet všech tříd, $A_h(C_i)$ je počet všech privátních atributů třídy C_i a $A_v(C_i)$ je počet všech veřejných atributů třídy C_i. Vysoká hodnota AHF indikuje, že většina atributů je veřejných, což může být známkou toho, že není správně použit princip zapouzdření.

Method Inharitance Factor (MIF) pro jednu konkrétní třídu vyjadřuje počet metod, které zdědila od svých předků ku počtu všech metod, které jsou ve třídě deklarovány, tzn. součet počtu zděděných metod a počtu metod, které třída nově definuje. Celková hodnota MIF se tedy počítá jako

$$MIF = \sum_{i=1}^{TC} M_i(C_i) / \sum_{i=1}^{TC} (M_i(C_i) + M_d(C_i)),$$

kde TC je počet všech tříd, $M_i(C_i)$ je počet všech metod, které třída C_i zdědila a $M_d(C_i)$ je počet všech metod, které třída C_i nově definuje. Nízká hodnota MIF znamená, že třída dědí daleko méně metod než jich sama definuje.

Attribute Inharitance Factor (AIF) je definováná stejně jako MIF s tím rozdílem, že se jedná o členské proměnné tříd, tedy

$$AIF = \sum_{i=1}^{TC} A_i(C_i) / \sum_{i=1}^{TC} (A_i(C_i) + A_d(C_i)),$$

kde TC je počet všech tříd, $A_i(C_i)$ je počet všech atributů, které třída C_i zdědila a $A_d(C_i)$ je počet všech atributů, které třída C_i nově definuje. Hodnota AIF souvisí s hodnotou AHF, protože privátní atributy se nedědí.

Polymorphism Factor (POF) vyjadřuje stupeň využití polymorfismu a dá se formulovat jako poměr počtu předefinovaných metod ku maximálnímu počtu všech možných předefinování, tzn. počtu předefinování v situaci, kdy by byly předefinovány všechny metody deklarované v systému (kromě těch, které se nachází v třídách, jenž jsou v listech stromu dědičnosti).

$$POF = \sum_{i=1}^{TC} M_o(C_i) / \sum_{i=1}^{TC} [M_n(C_i) * DC(C_i)],$$

kde TC je počet všech tříd, $M_o(C_i)$ je počet všech metod, které třída C_i zdědila od svých předků a zároveň je předefinovala, $M_n(C_i)$ je počet všech nově definovaných metod třídou C_i a $DC(C_i)$ je počet potomků třídy C_i. Nízká hodnota POF znamená poměrně nízké využití principu dědičnosti nebo polymorfismu [49].

Coupling Factor (COF) vyjadřuje uroveň závislosti tříd v systému jedné na druhé a je definován jako

$$COF = \sum_{i=1}^{TC} \left[\sum_{j=1}^{TC} is\_client(C_i, C_j) \right] / (TC^2 - TC),$$

kde TC je počet všech tříd a $is\_client(C_i, C_j)$ je funkce, která vrací jedničku tehdy, když třída C_i volá metodu nebo přistupuje k členské proměnné třídy C_j a zároveň $C_i \neq C_j$, jinak vrací nulu. Čitatel ve výpočtu COF je tedy roven počtu všech závislostí, které se v systému vyskytují. Jmenoval $(TC^2 - TC)$ uvádí maximální počet všech možných vazeb mezi třídami, tzn. počet všech závislostí v situaci, kdy by byla každá třída závislá na všech ostatních. Vysoká hodnota COF značí velké množství závislostí mezi třídami, což značí velkou složitost zkoumaného systému.

Některé zdroje [4] uvádí navíc ještě další atributy, např. *Clustering Factor* nebo *Reuse Factor*. Podobně jako i jiné metriky, tak i MOOD později doznala vylepšení, např. MOOD2 [49], kterou mají na svědomí původní autoři MOOD.

2.1.3.4 Martin's Package Metrics

Robert C. Martin představil několik principů, jak správně modularizovat software [3]. Jedním z nich je takzvaný Stable Abstractions Principle (SAP), ze kterého vychází tato metrika. Hlavní myšlenkou SAP je, že moduly[5], které jsou často používané jinými moduly by měly být co nejvíce abstraktní, zatímco moduly, které jsou „koncové", tzn. ty, které používají ostatní a samy jinými moc používané nejsou, by měly být co nejvíce konkrétní. Nějdříve je potřeba definovat několik pojmů:

Efferent Coupling (Ce) je počet modulů, které závisí na tomto modulu (obdoba fan-out).

[5] Moduly jsou zde ve významu jak jednotlivých tříd, tak i celých skupin tříd (moduly, balíčky, ...).

Afferent Coupling (Ca) je počet modulů, na kterých závisí tento modul (obdoba fan-in).

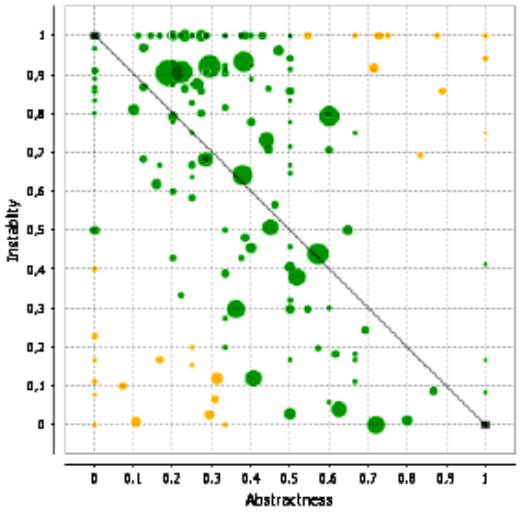
Abstractness (A) je počet všech rozhraní a abstraktních tříd[6] v modulu ku počtu všech tříd a rozhraní v modulu. A nabývá hodnot $< 0, 1 >$.

Instability (I) je poměr počtu závislostí tohoto modulu na jiných modulech ku počtu všech závislostí týkajících se tohoto modulu.

$$I = Ca/(Ca + Ce)$$

I, stejně jako A, nabývá hodnot z intervalu $< 0, 1 >$, kde 0 značí stabilní modul (není závislý na žádném jiném modulu) a 1 značí modul, který je nestabilní (nezávisí na něm žádný jiný modul, pouze tento modul závisí na jiných).

Hlavní diagonála v grafu závislosti I na A ukazuje ideální pozici, kde by se měly moduly systému nacházet. Čím blíže diagonále jsou, tím více odpovídají SAP, což značí správný návrh systému. Graf závislosti je jeden ze dvou možných výstupů této metriky. Druhým je číselné vyjádření pomocí vzdálenosti od hlavní diagonály.



Obrázek 2.4: Příklad grafu závislosti nestability I na abstrakci A [25]. Zelené bubliny značí třídy, které jsou blíže diagonále, zatímco oranžové jsou od ní daleko a nacházejí se v krajních oblastech, což značí nedodržení SAP. Velikost bublin znázorňuje výsledky metriky SLOC.

Distance from Main Sequence (D) je vzdálenost od hlavní diagonály v grafu závislosti I na A.

$$D = A + I - 1$$

[6] Pokud zde jako moduly vystupují jednotlivé třídy, pak se uvažují abstraktní metody.

D nabývá hodnot z intervalu $< -1, 1 >$. Pokud $D = 0$, pak modul leží přímo na diagonále. Čím víc se od ní hodnota D vzdaluje, tím hůř je architektura systému navržena. Hodnota D může evidentně nabývat dvou mezních hodnot (-1 a 1), což jsou levý dolní a pravý horní roh grafu. Okolí levého dolního rohu se nazývá *Zone Of Pain* [25] a moduly by se v ní neměly vyskytovat, protože takový modul je často používaný jinými moduly a není vůbec nebo je pouze minimálně abstraktní, což podle SAP nevěští dobrý návrh. Stejně tak moduly, které jsou hodně abstraktní a zároveň nejsou jinými moduly používané by se v systému neměly moc vyskytovat, protože se nachází v oblasti pravého horního rohu, které se trefně přezdívá *Zone Of Uselessness* [25].

2.2 Existující řešení

Systémy pro výpočet softwarových metrik nejsou ve světě softwarového inženýrství žádnou novinkou, protože jich už velké množství existuje. Většina z nich ovšem trpí některými nedostatky, které je dělají méně užitečnými. Většinou se jedná o podporu jen jednoho nebo dvou vstupních jazyků nebo malého počtu softwarových metrik, které systém počítá. Některé nástroje ani není možné rozumně rozšiřovat formou modulů. Existují ale i velice dobré programy, které nabízí širokou škálu jak vstupních jazyků, tak metrik, ale ty jsou většinou komerční a nákup licence se vyplatí zejména firmám.

C and C++ Code Counter (CCCC) [29] je open-source nástroj pro výpočet metrik (CCN, SLOC, CK a HK) ve zdrojových kódech jazyků C, C++. Výstup ze systému je v podobě skupiny několika XML a HTML souborů, které obsahují výsledky analýzy (HTML soubory obsahují data z XML souborů zformátovaná přehledně do tabulek).

CppDepend, NDepend a XDepend [32, 50, 65] je skupina komerčních produktů od stejného autora, která nabízí profesionální parametry. Jedná se o celá IDE, která podporují výpočet až 82 různých softwarových metrik, dále umožňují práci s analyzovaným projektem pomocí CQL[7], takže je možné filtrovat různé části kódu kombinováním výsledků několika metrik zároveň. Tyto nástroje také nabízí interaktivní vizualizace závislostí jak na úrovni celých projektů (grafy závislostí), tak i mezi jednotlivými třídami (matice závislostí). Navíc disponují možností integrace do Visual Studia, takže lze kód snadno analyzovat přímo při vývoji. To v čem se tři zmíněné nástroje liší je vstupní jazyk. CppDepend umí analyzovat pouze zdrojové kódy jazyků C a C++, NDepend provádí analýzu .NETových projektů (jazyky C# a VB.NET) a XDepend zpracovává kódy psané v Javě.

CheckStyle [30] a PMD [53] jsou open-source nástroje, které jsou si velice podobné. Oba se specializují na statickou analýzu kódů psaných v Javě. Jejich zaměření se poněkud liší od většiny programů uvedených v této kapitole, protože nejsou určeny na informativní vyčíslení softwarových metrik, případně jejich vizualizaci, ale zabývají se přímo označením míst v kódu, na kterých se podle nich vyskyuje chyba. Oba programy tedy hledají spíše bug patterny, nicméně oba umí počítat i několik softwarových metrik. CheckStyle i PMD

[7] CQL (Code Query Language [33]) je dotazovací jazyk, který umožňuje výběr dat získaný z analyzovaného zdrojového kódu podle určitých kritérií. Jedná se o obdobu jazyka SQL.

na vstupu obdrží výčet pravidel, která chceme kontrolovat a vstupní soubory, na nichž bude analýza prováděna. Tyto soubory nemusí být zdrojovými soubory v textové podobě. Oba programy využívají toho, že Java kompiluje do mezikódu [8], takže je možné kontrolu provádět i na *class* souborech, *JAR* souborech nebo na souborech zkomprimovaných do formátu *ZIP*, protože *JAR* je založen na formátu *ZIP* [39]. Výstup z programů je v podstatě výpis chyb a varování. Jde o výsledky analýzy podle kritérií zadaných v konfiguračním souboru, jenž nebyla dodržena. Kromě čistě textového výstupu lze získat výstupní data i ve formátech XML nebo HTML. Oba programy jsou sice aplikace pro příkazovou řádku, ale oba umožňují integraci do několika vývojových prostředí, jako jsou NetBeans, Eclipse JBuilder a další. Navíc CheckStyle disponuje vlastním GUI rozhraním. CheckStyle i PMD je možné rozšířit o vlastní kontroly. Nová pravidla pro PMD se dají psát formou XPath dotazů díky tomu, že naparsovaný zdrojový kód je ve formě abstraktního syntaktického stromu vyexportovaný do XML a na něm se provádí analýza. CheckStyle se dá rozšířit napsáním modulu v Javě s využitím návrhového vzoru Visitor.

FindBugs [36] je další open-source nástroj, který je velice podobný dvěma předchozím (CheckStyle a PMD). Liší se od nich tím, že se orientuje pouze na hledání bug patternů a softwarové metriky nepočítá. Dalším rozdílem je, že program není moduly rozšiřitelný a jde o GUI aplikaci. Navíc disponuje možností spuštění přímo z webu pomocí Java Web Start.

DMS Software Reengineering Toolkit [34] je kolos mezi všemi ostatními nástroji popsanými v této práci. Jedná se o sadu komerčních nástrojů, které kromě statické analýzy provádí i dynamickou analýzu, překlady z jednoho jazyka do jiného, generování překladačů, formátování kódů, apod. Společnost Semantic Designs, Inc., která je autorem tohoto produktu je členem OMG (Object Management Group) a používá tedy specifikace vydané touto skupinou, např. ASTM (3.2). Kromě spousty dalších zmíněných funkcí, DMS počítá i softwarové metriky (SLOC, CCN, DECDENS, COMM%, CK metriky, ...) pro více než 20 programovacích jazyků (C, C++, C#, FORTRAN, Java, MATLAB, Pascal, PHP, VB, ...). Navíc lze nechat vykreslit i Control Flow Graphs, Call Graphs, grafy architektury a další. Zdá se, že DMS má takřka nekonečné možnosti a i přes to je rozšiřitelný o další funkce a frontendy formou modulů.

GEN++ [38] není program pro výpočet softwarových metrik, nýbrž nástroj na jejich tvorbu. GEN++ používá *Cfront*, což je frontend pro jazyk C++ napsaný Bjarnem Stroustrupem, takže je možné psát aplikace analyzující zdrojové kódy jazyka C++. Nástroj funguje tak, že napasruje zdrojový kód a uloží ho do abstraktního syntaktického stromu v určitém formátu, který je kompatibilní s dotazovacím frameworkem *GENOA*, který byl původně vyvynut v AT&T Bell Laboratories. Jedná se o dotazovací jazyk pro syntaktické stromy, podobně jako CQL. Programy pro analýzu kódu se pak píší v tomto jazyce, který je svou syntaxí dosti zastaralý [8] (např. oproti zmíněnému CQL) a ani není na první pohled srozumitelný, protože se v kódu kombinuje kód skriptu s navigací stromem. Zde je ukázka dotazu v jazyku *GENOA*, který pro každou funkci vypíše počet referencí na globální proměnnou:

[8] Jeho specifikace, která je ke stažení na webu projektu GEN++, je z roku 1994

```
ROOTPROC GlobVarRef
PROC GlobVarRef
ROOT CFile;
{
  LOCAL GNODE fname;
  LOCAL GNODE gcnt;
  <globals
    {Declaration
      (?FunctionDef
        (ASSIGN fname (SLOT id $token))
        (ASSIGN gcnt 0)
        [(?IdName
          <scope
            (?Scope_Extern (ASSIGN gcnt (+ 1 gcnt)))
            (?Scope_Static (ASSIGN gcnt (+ 1 gcnt)))
          >
        )]
        (PRINT stdout "Func %s, %s global references" fname gcnt)
      )
    }
  >
}
```

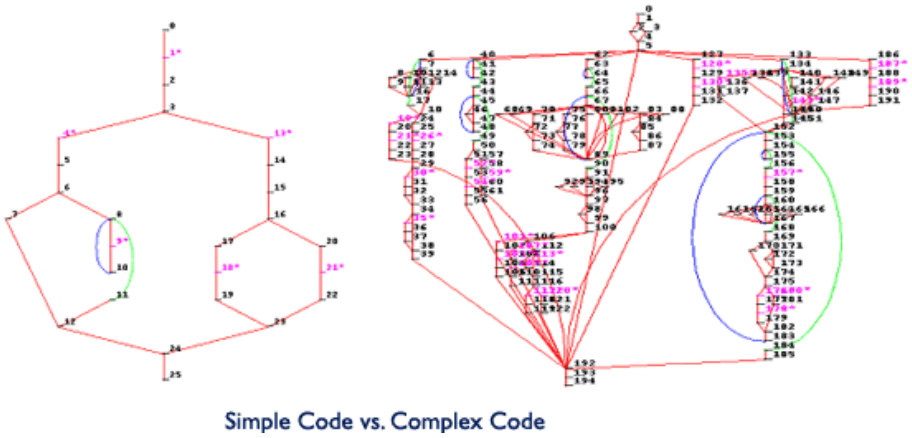
JavaNCSS [40] je konzolová aplikace, která je sice open-source, ale umí počítat velmi málo metrik. Za zmínku stají snad jen CCN a vylepšená SLOC. Výstup analýzy může být uložen do ASCII, HTML nebo XML. Zajímavost této aplikace tkví v tom, že výsledky mohou být ukládány i ve formátu SVG.

JDepend [41] je open-source konzolová aplikace pro analýzu zdrojových kódů Javy, která se specializuje hlavně na hledání závislostí mezi balíčky. Počítá tedy Martinovy metriky a výsledky ukládá buď v XML, nebo ve vlastním textovém formátu, ke kterému existuje i GUI nadstavba, která výsledky zobrazí přehledně v podobě stromu.

JHawk [42] je komerční aplikace pro statickou analýzu kódů psaných v Javě. Program je možné spouštět v konzoli, v samostatném grafickém rozhraní nebo jako součást prostředí Eclipse. JHawk umí počítat širokou škálu metrik (CCN, SLOC, CK metriky, HK metriky, Halsteadovy metriky, ...). Výstup z analýzy může být zobrazen v grafickém rozhraní ve formě tabulek nebo může být exportován ve formátech HTML, XML a CSV. Při zakoupení plné licence, obdrží zákazník mimo jiné i zdrojové kódy JHawku (implementováno v Javě), takže si ho může sám dál rozšiřovat.

JMetric [43] je open-source nástroj pro výpočet softwarových metrik (CCN, SLOC, LCOM) na zdrojových kódech psaných v Javě. Aplikace umožňuje běh v příkazové řádce i v grafickém rozhraní. Výstup je textový, ale lze ho exportovat i do XML a HTML nebo lze nechat ze získaných hodnot vygenerovat grafy.

McCabe IQ [46] je produktem společnosti McCabe Software, kterou již před více než 30ti lety založil Thomas J. McCabe, což je autor definice cyklomatické složitosti CCN. McCabe Software se zabývá dynamickou analýzou, statickou analýzou a bezpečnostní analýzou a poskytuje širokou škálu služeb včetně možnosti dynamické analýzy na jejich serverech nebo i analýzu webových aplikací. Produkt McCabe IQ zvládá počítat softarové metriky (SLOC, CCN, CK metriky, HK metriky, Halsteadovy a spoustu dalších) pro zdrojové kódy velkého počtu jazyků (Ada, ASM86, C, C#, C++.NET, C++, JAVA, JSP, VB, VB.NET, COBOL, FORTRAN, Perl a PL1). Program se vyznačuje především tím, že všechny výsledky přehledně vyzualizuje do grafů, které jasně ukazují, jak je analyzovaný projekt implementován a nemůže tedy dojít k chybné interpretaci číselných hodnot. Ale i hodnoty lze získat, protože jsou v grafech uvedeny a navíc je možné z výsledků vygenerovat XML report.



Obrázek 2.5: Ukázka výsledků dvou měření cyklomatické složitosti nástrojem McCabe IQ.

Metrics [48] je open-source plugin do Eclipse, který počítá softwarové metriky (CCN, SLOC, CK metriky, Martinovy metriky, apod.) pro zdrojové kódy psané v Javě. Dále umí i vykreslovat grafy závislostí mezi jednotlivými balíčky. Výstup z analýzy je v grafické podobě (využívá rozhraní Eclipse) a je možné nechat si jej vyexportovat do XML.

PHPDepend [51] je odnož projektu JDepend a jde se o skript pro výpočet softwarových metrik, pomocí kterého lze nechat vyhodnotit kvalitu zdrojových kódů psaných v jazyku PHP. PHPDepend umí vypočítat metriky SLOC, CCN, NPath a několik metrik orientovaných na objektový návrh, včetně Martinových. Výsledky analýzy jsou uloženy do XML souboru. Zároveň s tím jsou vygenerovány grafy reprezentující výsledky vizuálně.

Project Analyzer [54] je komplexní komerční nástroj pro vývoj aplikací ve Visual Basicu (VB, VB.NET, VBA). Project Analyzer obsahuje kromě klasických prvků, jako je editor, kompilátor, apod. i komponentu Project Metrics, díky které lze zjistit výsledky více než 180ti metrik. Program tyto výsledky dokáže i vykreslovat do přehledných grafů nebo z nich generovat HTML reporty.

PyMetrics [55] je konzolová aplikace, která analyzuje zdrojové kódy jazyka Python. Umí počítat CCN, SLOC, COMM% a další. Výstup analýzy je vypsán do konzole, ale zároveň je vygenerován CSV soubor a skript pro vytvoření SQL tabulek. V těchto souborech je uložena rozparsovaná podoba zdrojového kódu, takže je pak možné tuto aplikaci rozšiřovat o výpočet dalších metrik pomocí analýzy CSV souboru nebo jednodušeji pomocí SQL dotazů. Nevýhoda tohoto přístupu ale spočívá v tom, že počítat složitější metriky by bylo obtížné, protože v databázi (SQL, CSV) je uložen pouze seznam tokenů, čímž se ztrácí informace o některých syntaktických a sémantických vazbách, které by bylo potřeba opakovaně dopočítávat.

Resource Standard Software Source Code Metrics (RSM) [56] je komerční nástroj, který umožňuje výpočet softwarových metrik (SLOC, CCN, COMM%, ...) pro jazyky C, C++, C# a Java. S programem RSM lze pracovat nejen v konzoli nebo s použitím grafického rozhraní, ale lze ho i integrovat do několika nejpoužívanějších IDE (Visual Studio, JBuilder, Eclipse, ...). Výsledky analýzy mohou být zobrazeny grafickým rozhraním nebo exportovány do souborů (HTML, XML, CSV). I přesto, že je tento software komerční, je možné stáhnout verzi, která je zadarmo a jediným omezením je pouze to, že lze analýzu provádět na projektech, obsahujících do dvaceti souborů. Prodejce tím chce dát program k dispozici pro vyzkoušení a pro menší studentské práce.

SourceMonitor [58] je freeware program s jednoduchým grafickým rozhraním umožňující výpočet několika základních softwarových metrik (SLOC, COMM%, DECDENS, CCN) na zdrojových kódech v jazycích C, C++, C#, VB.NET, Java a Delphi. Výsledek analýzy je zobrazen v tabulce grafickým rozhraním. Je možné nechat vygenerovat reporty v XML nebo CSV.

Structural Analysis for Java (STAN) [59] je nástroj pro analýzu zdrojových kódů napsaných v Javě a pro nekomerční použití je zdarma. Jinak je potřeba zaplatit licenci. Jedná se o plugin do vývojového prostředí Eclipse, který je zaměřen především na vizualizaci a hledání závislostí. STAN umí vypočítat i několik základních metrik jako například počty tříd, funkcí, SLOC, CCN nebo CK metriky.

Testwell tools [61] je komplexní sada nástrojů pro vyhodnocování kvality software. Jedná se o komerční produkt, který je distribuován ve formě programu pro příkazovou řádku, nicméně k němu existuje i nadstavba v podobě grafického rozhraní. Zároveň lze jednotlivé nástroje integrovat do Visual Studia. Testwell tools provádí dynamickou i statickou analýzu a podporují jazyky C, C++ a Java. Kromě nástroje pro testování a kontrolu code coverage kritéria, je tu i nástroj pro výpočet softwarových metrik (SLOC, CNN, COMM%, Halsteadovy metriky a několik dalších). Výstup z programu může být grafický (při použití nadstavby), textový do konzole nebo v podobě reportů (ASCII, HTML, XML, Exel).

Understand [62] je profesionální IDE umožňující podrobnou analýzu zdrojových kódů, které lze v tomto prostředí rovnou psát, protože disponuje pokročilým editorem. Understand umí vizualizovat závislosti a počítat přes 70 metrik. Nástroj také podporuje širokou škálu programovacích jazyků: Ada, C, C++ (bez podpory šablon), FORTRAN, Java, JOVIAL,

Pascal, PL/M a VHDL. Výstup z analýzy nemusí být pouze vizuální, protože lze nechat generovat i několik typů HTML reportů.

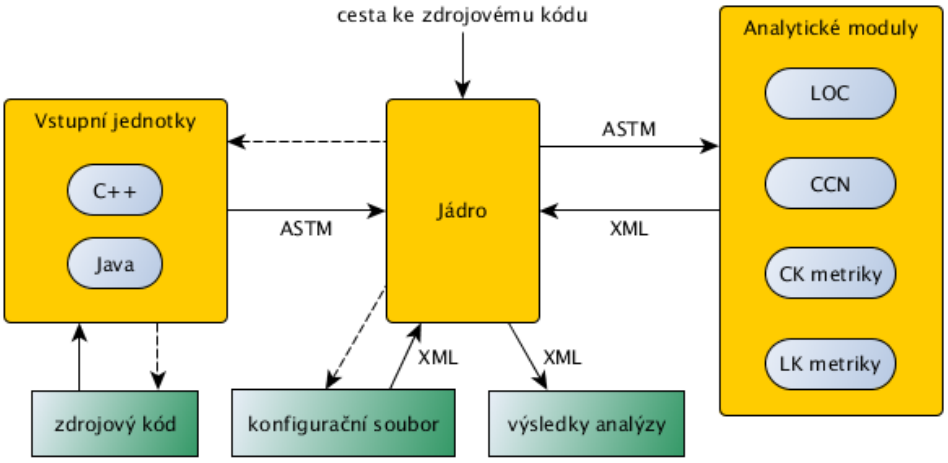
Vil [64] je konzolová utilita, která umožňuje analyzovat .NET a Mono aplikace. Tento program se od ostatních liší tím, že neprovádí analýzu přímo na zdrojovém kódu, který napsal programátor, ale až na jeho zkompilované verzi. To je možné díky tomu, že .NET i Mono aplikace nejsou překládány přímo do strojového kódu, ale do tzv. .NET assemblies, což jsou jednotky (exe nebo dll), které obsahují mezikód programu v Common Intermediate Language (CIL). Jedná se o nízkoúrovňový objektově orientovaný programovací jazyk zásobníkového typu, který spadá mezi Assemblery. Nástroj tak využívá jednoduché gramatiky CIL a toho, že zároveň zachovává informace o objektech, takže je stále možné počítat některé metriky a zjišťovat závislosti mezi jednotlivými třídami. Program umí počítat cyklomatickou složitost, CK metriky a Martinovy metriky. Výsledky analýzy je možno vypsat do konzole nebo je nechat zrofmátovat do XML souboru, či HTML tabulky.

Kapitola 3

Návrh řešení

3.1 Architektura

Celý systém se sestává ze tří částí. První z nich je jádro, které má na starosti propojení a řízení celého systému. Druhou část tvoří jednotky překladačů (tzv. frontendy), které zpracovávají jednotlivé zdrojové kódy na vstupu systému. Poslední částí je skupina analytických modulů, které vyhodnocují jednotlivé softwarové metriky pro soubory zdrojových kódů zpracované vstupními jednotkami.



Obrázek 3.1: Architektura systému.

3.1.1 Jádro systému

Jádro je centrálním prvkem celého systému. Jeho hlavním úkolem je zajištění toku dat mezi frontendy a analytickými moduly. Kvůli tomu je součástí jádra i sada tříd, které reprezentují uzly abstraktního syntaktického uzlu, tzv. ASTM (3.2), jenž zmíněný tok dat zapouzdřují.

Dalším z úkolů jádra je zpracování konfiguračních souborů, které řídí jak bude celý systém kolem jádra poskládán (jaké vstupní jednotky a jaké analytické moduly budou načteny a používány). Konfigurace je v textovém formátu, takže uživatel může jeho editací kontrolovat chování systému bez potřeby opětovné kompilace. Na straně vstupních jednotek je možné v konfiguraci nastavit asociaci přípon zdrojových souborů ke konkrétnímu frontendu. U analytických modulů je možnost nastavit podmíněné použití, což znamená, že lze určit pro jakou vstupní jednotku bude modul použit a pro jakou se bude tvářit jako neaktivní. To v praxi znamená, že například pro jednotku, zpracovávající zdrojové soubory jazyka C, může uživatel vypnout výpočet metrik analyzujících objektový návrh, jejichž výpočet by stejně kvůli absenci tříd v C neměly žádný smysl.

3.1.2 Vstupní jednotky

Systém při svém spuštění dostává na vstupu nějaký zdrojový soubor, pro který je potřeba spočítat jednotlivé softwarové metriky. Aby to bylo možné, je potřeba nejdříve vstupní soubor rozparsovat. O to se starají právě vstupní jednotky. Typicky jedna jednotka parsuje jeden jazyk, takže v systému můžou být například jednotky pro C++, Javu, Fortran a další. Každá taková jednotka se skládá ze dvou propojených částí, z nichž první provádí lexikální analýzu a druhá provádí syntaktickou analýzu. Při lexikální analýze se zdrojový kód převede na sérii lexikálních symbolů, které jsou následně zpracovány podle množiny pravidel syntaktické analýzy, na jejímž výstupu se nachází tzv. abstraktní syntaktický strom (Abstract Syntax Tree - AST), který reprezentuje zdrojový kód v podobě, ve které jsou evidentní veškeré syntaktické a sémantické vazby jednotlivých konstrukcí. Takový formát je daleko vhodnější pro výpočty jednotlivých softwarových metrik než textová podoba zdrojového kódu. Vzhledem k tomu, že AST obecně není nijak blíže specifikovaný, je potřeba zavést jednotný formát pro všechny vstupní jednotky. Tímto formátem je ASTM (3.2).

3.1.3 Analytické moduly

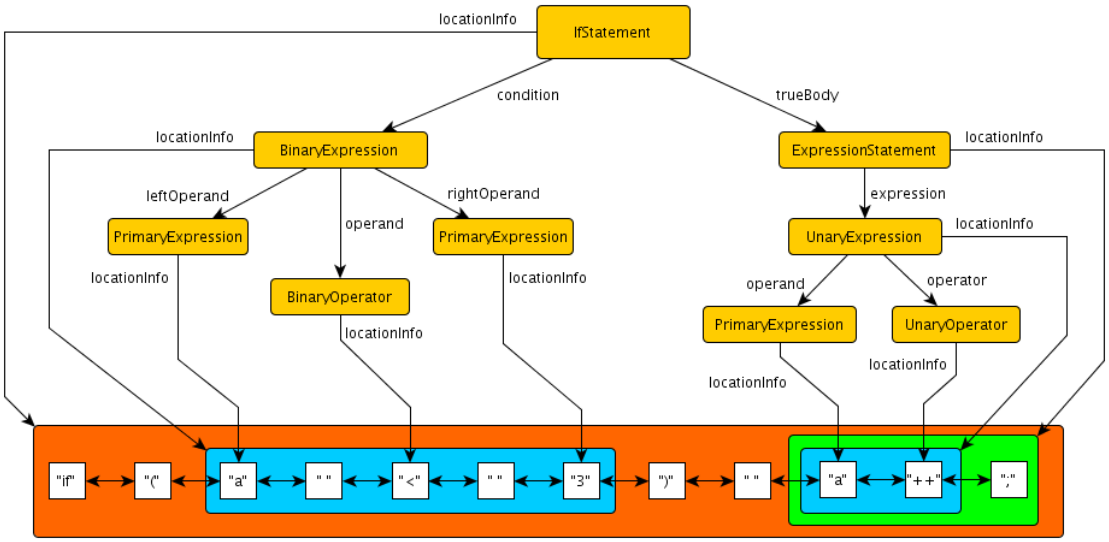
Všechny analytické moduly musí implementovat rozhraní poskytnuté jádrem systému. Toto rozhraní předepisuje jak moduly komunikují se zbytkem systému. Modul na vstupu dostává ASTM reprezentující nějaký konkrétní soubor nebo skupinu souborů. Procházením syntaktického stromu ho modul libovolným způsobem zanalyzuje (provede výpočty pořebné pro vyhodnocení nějaké metriky, kterou zastupuje) a na výstup vrátí výsledek.

3.2 ASTM

Abstract Syntax Tree Metamodel (ASTM) je formát abstraktního syntaktického stromu [22], jehož první specifikace byla vydána v listopadu 2008 sdružením Object Management Group (OMG) jako jednotný vzor pro tvorby syntaktických stromů v programech zabývajících se například překladem z jednoho jazyka do druhého, vizualizací informací ze zdrojových kódů, refaktorizací, výpočtem softwarových metrik nebo jakoukoli další analýzou syntaktického stromu. Aktuálně se specifikace tohoto formátu nachází ve verzi je ASTM 1.0 Beta 2, která byla vydána v červenci 2009.

ASTM je navrženo tak, aby pomocí něj bylo možné uchovávat informace jak syntaktické, tak i sémantické a to z co největší množiny vstupních jazyků. Podporovány jsou jazyky druhé (Assemblery), třetí (Fortran, Cobol, Basic, Pascal, C), čtvrté (C++, Java, PHP) i páté (Prolog, Lisp) generace. V ASTM lze reprezentovat programy napsané v jazycích pro strukturované programování stejně tak, jako pro nestrukturované a funkcionální programování.

Pro účely tohoto systému byly některé části ASTM navrženy odlišně od specifikace vydané OMG. Důvodem byly některé požadavky na systém, jako například možnost zjištění, jestli programátor správně odsazuje, což při zachování jednoprůchodové analýzy zdrojového souboru vyžaduje propojit samotný text zdrojového kódu se stromovou strukturou. Kvůli tomu byly do ASTM přidány například odkazy na tokeny nebo odkazy na rodičovské uzly, takže tíky tomuto je možné procházet zdrojový kód, který je uložen v obousměrném spojovém seznamu jako seznam tokenů, kde každý z nich navíc obsahuje informaci o své pozici v souboru a také odkaz na uzel stromu, který konkrétní token nebo více tokenů reprezentuje. Tato struktura umožňuje nejen procházení stromu od jeho kořene do listů, ale i obráceně od listů do kořene, což má za následek spoustu možností pro následnou analýzu.



Obrázek 3.2: Ukázka, výsledku parsování do ASTM pro úryvek kódu: *if(a < 3) a++;*. Poznámka: *obrázek je pouze ilustrační, aby bylo zřejmé, jak je strom konstruován, takže jsou v něm některé údaje a vazby vynechány.*

3.3 Životní cyklus aplikace

1. Systém dostane na vstupu jméno souboru, který chce uživatel nechat analyzovat.

2. Jádro podle přípony souboru a podle konfigurace vyhodnotí kterému frontendu soubor náleží.

   (a) Jestliže soubor nenáleží žádnému aktivnímu frontendu, je program ukončen.

3. Jádro zavolá příslušný frontend a vyžádá si od něj ASTM.
4. Frontend vytvoří ASTM reprezentující zdrojový kód předloženého souboru a předá ho jádru.
   (a) Pokud zdrojový soubor neexistuje nebo pokud obsahuje chyby (syntaktické, sémantické), je program ukončen.
5. Jádro zjistí, které analytické moduly jsou aktivní pro daný typ zdrojového souboru.
6. Jádro postupně zavolá všechny moduly, které jsou aktivní. Každý modul na vstupu dostane ASTM a očekává se, že vrátí informace o výsledku analýzy.
7. Moduly prochází ASTM, provádí analýzu a vrací její výsledek zpět do jádra. V průběhu analýzy není do ASTM zasahováno.
8. Po ukončení práce všech analytických modulů jsou výsledky analýzy, které jádro posbíralo od svých modulů, uloženy do reportu a program je ukončen.

Kapitola 4

Realizace

Celý systém pro výpočet softwarových metrik je implementován v jazyku C++ a funguje na všech platformách, kde se k dispozici překladač jazyka C++ a nástroje Flex a Bison (viz níže).

Systém je momentálně vybaven pouze jedním frontendem, který zpracovává zdrojové soubory jazyka C++. Frontend implementuje gramatiku podle normy ANSI/ISO C++ z roku 2003 [11]. V současném stádiu vývoje je podporována pouze podmnožina možností, kterými jazyk C++ podle této normy disponuje. V implementaci chybí zejména podpora direktiv preprocesoru, šablon a rozlišování oborů platnosti proměnných pomocí operátoru *::*. Dále není implementováno přetěžování operátorů a operátory *new* a *delete*. Na to se vážou důsledky takovéto neúplné implementace, jako je například nemožnost includovat hlavičkové soubory a tedy není možné správně sémanticky identifikovat některé funkce, objekty, typy, případně jmenné prostory deklarované mimo analyzovaný soubor. Frontend podporuje zejména základní kontrukce jazyka C++, aby bylo možné počítat některé softwarové metriky představené v kapitole 2.1. Podporovány jsou tedy běžné stavební kameny většiny programovacích jazyků, jako jsou podmínky, cykly, funkce, primitivní datové typy, jmenné prostory a třídy včetně dědicnosti.

Frontend je realizován GNU nástroji **Flex** [37] a **Bison** [28].

Flex byl použit pro vygenerování lexikálního analyzátoru. Zdrojový skript pro Flex obsahuje regulární výrazy, pomocí nichž jsou jednotlivé podřetězce analyzovaného zdrojového kódu vyhodnocovány jako tokeny. Tokeny z lexikální analýzy mají podobu objektu, který obsahuje identifikaci toho o jaký typ tokenu se jedná, řetezec, který jej tvoří a také informaci o přesné pozici tokenu ve zdrojovém kódu. Výsledný objekt je předán dále ke zpracování parseru[1].

Bison generuje syntaktický analyzátor ze skriptu, který obsahuje gramatická pravidla jazyka C++ podle již zmíněné normy ANSI/ISO C++ z roku 2003. Tento skript navíc obsahuje i funkce pro sémantickou analýzu, protože gramatika tohoto jazyka obsahuje spoustu kolizí, které je potřeba při analýze vyřešit. Drtivá většina těchto kolizí je zapříčiněná tím, že je gramatika pojata „sémanticky“, tzn. že například identifikátor je v jednom pravidle pojmenován

[1] Parser = syntaktický analyzátor.

jako jméno třídy (*class-name*), v jiném pravidle zase jako jméno funkce (*unqualified-id*), apod. Stejná je situace se šablonami, jmenými prostory, atd. Ve výsledku jde vždy o stejný typ tokenu a parser se nedokáže rozhodnout mezi dvěma takovými pravidly. Zde přichází na řadu sémantika.

Bison typicky generuje tzv. LALR parser (Look-Ahead Left-to-right Rightmost derivation parser), který pro sémantickou analýzu sice není nevhodný, ale problém je ve způsobu, jakým Bison zpracovává vstupní gramatiku, protože je prakticky nemožné do ní přidat sémantická pravidla tak, aby se na kolizi aplikovala včas, tzn. ještě před tím než je token zahozen. Zde se dá využít možnost Bisonu, aby generoval GLR parser (Generalized Left-to-right Rightmost derivation parser). Tento typ parseru má tu výhodu, že pokud se v gramatice vyskytne kolize, probíhá analýza paralelně pro každou variantu a když se některá z nich díky následujícím tokenům prokáže jako špatná, je vyřazena ze zpracování. Potom můžou nastat dvě situace. První z nich je ta, že zbyde pouze jedna varianta a ta je správná. Druhá situace nastane, když zůstane víc větví a ty se opět spojí do jedné (tzv. merge). V tom případě je potřeba využít sémantiku, takže se prohledá tabulka symbolů a určí se, zda se jedná o funkci, třídu, či něco jiného. Špatné větve se pak zahodí a pokračuje se pouze v těch, které zbyly. Na konci analýzy zbyde vždy jen jedna větev, která je správná (pokud nedošlo k syntaktické nebo sémantické chybě).

Výsledný parser na vstupu dostává objekty reprezentující tokeny přečtené ze zdrojového kódu lexikálním analyzátorem a podle syntaktických a sémantických pravidel vytváří abstraktní syntaktický strom (ASTM), který reprezentuje analyzovaný zdrojový kód.

Kromě frontendu pro C++ obsahuje systém i jádro a moduly pro výpočet jednotlivých softwarových metrik, jak bylo popsáno v návrhu architekruty (3.1). Jádro je prostředníkem mezi frontendy a analytickými moduly.

Výstup systému je realizován ve formě XML souboru, který obsahuje výsledky softwarových metrik pro analyzovaný zdrojový soubor. V systému jsou momentálně implementovány moduly pro metriky SLOC, COMMDENS, CCN, DECDENS, NPATH, TFC, NOC a LK. Bližší informace o jejich výpočtu jsou v kapitole 5. Na výsledný XML soubor může být následně aplikována přiložená XSL šablona, která výsledky formátuje přehledně do tabulek.

Kapitola 5

Testování

5.1 C++ frontend

Jak už bylo zmíněno v kapitole 4, k implementaci frontendu byly použity nástroje Flex a Bison, což značně omezuje nutnost kontroly chyb, oproti ručně psaným překladačům. Důležitým prvkem je však testování sémantiky, na které je závislá veškerá další analýza. Zdrojový kód je parsován a ukládán do abstraktního syntaktického stromu (ASTM, viz kapitola 3.2), jehož všechny uzly jsou obohaceny o funkce generující výstup ve formátu XML. Když je pak na kořen stromu zavolána zmíněná funkce, rekurzivně se vytvoří XML dump celého stromu. Dump obsahuje veškerá data[1], jenž jsou v uzlech uložena. Díky tomu se dá frontend testovat dvěma způsoby. Prvním je procházení stromu přímo v paměti a druhým je kontrola vytvořeného XML souboru, jenž daný strom reprezentuje. Výhoda takového řešení je velká, protože v XML souboru je na první pohled jasně vidět, jak je strom vytvořen, zatímco v paměti je toto hodně složité a to i s výbornými debuggery, jako má například VisualStudio. Zároveň se do velké míry jedná i o dokumentaci frontendu, protože stačí pohled do vygenerovaného XML souboru a hned je jasné, jak strom vypadá a není potřeba zdlouhavě studovat dokumentaci ASTM[2]. Lze také použít nástroje pro práci s XML, kterými je možné strom vizualizovat (díky standardu XML DOM).

Samotná kontrola struktury stromu byla realizována právě pomocí XML souboru. Na něj byly aplikovány XSL šablony, které provádí kontroly a zároveň přehledně vykreslují výsledky.

K programu je přiložena sada XSL šablon, které mají psaní dalších testů usnadnit. Díky nim stačí vytvořit prázdnou šablonu, zadat XPath výrazy kontrolující nějaké části stromu a vložit předpřipravenou šablonu, z níž se pak volají funkce starající se o vyhodnocení testů.

[1] Vynechány jsou pouze křížné reference mezi některými uzly, což by jinak vedlo k zacyklení.
[2] Navíc ani ta negarantuje, že byl podle ní strom vytvořen.

Checking results:

Function return type: Integer [OK]
Function name: fnFoo [OK]
Param type: int [OK]
Param name: a [OK]
Param value: 5 [OK]

Obrázek 5.1: Ukázka testování deklarace funkce pomocí XSL šablony aplikované na XML dump syntaktického stromu.

5.2 Výpočet softwarových metrik

5.2.1 SLOC

Výsledkem této skupiny metrik je informace o počtu všech řádků (LOC), počtu rádků na nichž se vyskytuje komentář (CLOC) a o počtu řádků, na kterých je nějaký výkonný kód (LLOC), tzn. řádek není prázdný nebo na něm není pouze komentář. Například následující řádek

```
int a; // deklarace a
```

je započítán jako LOC, LLOC i CLOC. Výsledky metrik udávají počty řádků pro celý soubor a pak zvlášť pro každou definici funkce. Správnost výsledků byla ověřována manuálně i porovnáním s výstupem z programu CCCC, se kterým se výsledky shodovaly.

Lines Of Code

Total source lines in file: 125

Total logical lines in file: 92

Total comments lines in file: 26

Functions:

Name	Lines of code		
	LOC	LLOC	CLOC
ZakladniTrida::fnZakladni	21	21	0
PrvniTrida::metoda	35	28	7
main	38	20	18

Obrázek 5.2: Ukázka výstupu z modulu pro výpočet SLOC metrik.

5.2.2 COMMDENS

Tato metrika byla uvedena v kapitole Comments Density (2.1.1.4) a určuje hustotu komentářů. Způsob výpočtu se neshoduje s definicemi v kapitole 2.1.1.4, protože první způsob (COMM%) je nepřesný kvůli započítávání prázdných řádků a druhý způsob (MCOMM%) je poměrně složitý v tom ohledu, že je dosti sporné, co lze určit za smysluplný komentář. Dalším důvodem je, že z výsledků SLOC metrik je snadné použít hodnotu CLOC, takže COMMDENS se dá vypočítat jako poměr počtu řádků obsahující komentáře ku počtu všech řádků.

$$COMMDENS = CLOC/LOC$$

Výsledkem je pak procentuální vyjádření hustoty komentářů zvlášť pro každou definici funkce.

Comments Density

COMMDENS = CLOC / LOC

Functions:

Name	COMMDENS
ZakladniTrida::fnZakladni	0%
PrvniTrida::metoda	20%
main	47%

Obrázek 5.3: Ukázka výstupu z modulu pro výpočet COMMDENS metriky.

5.2.3 CCN

Modul pro výpočet CCN se řídí definicí McCabovy složitosti (2.1.2.1). Kromě výpočtu CCN1, který odpovídá původní definici, je implementováno i CCN2, které navíc počítá složitost složených výrazů. Výsledky výpočtu byly porovnávány s nástrojem CCCC. Ten počítá pouze CCN2 a označuje ji zkratkou MVG (McCabe's $V(G)$). Velkým rozdílem ve výpočtu CCN2 a MVG je odlišná interpretace toho, co je cyklomatická složitost. CCCC do ní počítá i *break*, *continue*, *goto*, *return* a vyjímky. Stejně se chovají i jiné nástroje. Například skupina CppDepend, NDepend a XDepend, které se od CCCC liší akorát tím, že nezapočítávají *break*.

Důvodem, proč CCN modul tyto konstrukce nezapočítává je fakt, že kvůli nim se program nevětví, ačkoli je zřejmé, že složitost programu se jimy zvyšuje. Ovšem při započítání těchto prvků se přestává jednat o cyklomatickou složitost. Program se větví, jestliže se v některém jeho místě rozhoduje, zda půjde jednou cestou, nebo druhou cestou. Tomu se tak ale při konstrukcích typu *return*, *break*, *continue* a *goto* neděje, protože se jedná o nepodmíněné skoky. Stejná je situace s vyjímkami, protože větvení nastává přímo u rozhodnutí, zda bude vyjímka vyhozena, či nikoli. Ne při jejím zpracování.

Cyclomatic Complexity Number

Functions:

Name	Complexity	
	CCN1	CCN2
ZakladniTrida::fnZakladni	11	11
PrvniTrida::metoda	9	13
main	6	6

Obrázek 5.4: Ukázka výstupu z modulu pro výpočet CCN metrik.

5.2.4 DECDENS

DECDENS, neboli Decision Density je vypočítána přesně podle definice v kapitole 2.1.2.4, tedy

$$DECDENS = CCN/LLOC.$$

Vzhledem k tomu, že DECDENS má odpovídat hustotě větvících konstrukcí hlavně z vizuálního hlediska (když se na kód podíváme), tak se za CCN považuje hodnota $CCN1$ z předchozí kapitoly 5.2.3. Výsledky jsou uváděny zvlášť pro každou definici funkce.

Decision Density

DECDENS = CCN1 / LLOC

Functions:

Name	DECDENS
ZakladniTrida::fnZakladni	52%
PrvniTrida::metoda	32%
main	30%

Obrázek 5.5: Ukázka výstupu z modulu pro výpočet DECDENS metriky.

5.2.5 NPATH

Výstup z modulu pro výpočet NPATH, udává složitost funkce přesně podle toho, jak byla definována v kapitole 2.1.2.2. Stejně jako u výpočtu CCN (5.2.3) je zachován způsob výpočtu z původní definice a nejsou do ní započítávány vyjímky a nepodmíněné skoky.

NPath Complexity

Functions:

Name	NPATH
ZakladniTrida::fnZakladni	20
PrvniTrida::metoda	135
main	28

Obrázek 5.6: Ukázka výstupu z modulu pro výpočet NPATH metriky.

5.2.6 TFC

TFC, neboli Total Funcion Calls, udává počet všech volání funkcí, uvnitř zkoumané funkce. Jedná se o obdobu *fan-in* z HK metriky (2.1.2.5).

Total Function Calls

Functions:

Name	TFC
ZakladniTrida::fnZakladni	0
PrvniTrida::metoda	3
main	1

Obrázek 5.7: Ukázka výstupu z modulu pro výpočet TFC metriky.

5.2.7 NOC

NOC je zkratkou pro Number Of Classes a udává celkový počet tříd v analyzovaném souboru.

Number Of Classes

Number of all classes: 3

Obrázek 5.8: Ukázka výstupu z modulu pro výpočet NOC metriky.

5.2.8 LK

Modul pro výpočet Lorenz-Kidd (LK) metrik se snaží držet definice z kapitoly (2.1.3.2). Bohužel z definice není úplně jasné, zda se například do počtu všech metod (NM) započítávají i ty zděděné, nebo ne. Vzhledem k tomu, že LK metriky se vyloženě zabývají dědičností, byla zvolena varianta, že se zděděné metody započítávají. Takže například při výpočtu NM se nejdříve projde strom dědičnosti a podle toho, jakým způsobem jsou jednotlivé třídy děděny (*private*, *protected*, *public*) a podle toho, jak jsou deklarovány (opět *private*, *protected*, *public*), je sestaven seznam všech metod, které se do NM započítají. Modul zároveň dokáže zjistit, zda nějaká funkce zastiňuje zděděnou funkci předka. Pak je funkce do NM započítána pouze jednou. Výpočet dalších hodnot LK metriky je pak analogický k tomuto.

Modul se řídí pravidly pro dědičnost jazyka C++. To znamená, že metody a atributy se dědí tehdy, když jsou deklarovány jako *protected* nebo *public* a zároveň dědičnost není typu *private*. Modul se zatím nedovede vypořádat s takovým děděním, kde se v potomkovi děděné metodě nebo atributu změní typ přístupu na *private*. To podle normy znamená, že tato metoda už dále děděna není. Nicméně v modulu se stále považuje za děditelnou.

Vzhledem k tomu, že se nepodařilo získat nástroj, který by LK metriky počítal, nebylo možné porovnání výsledků. Většina nástrojů, jejichž dokumentace uvádí, že tyto metriky počítají, lžou, protože počítají například jen počet metod a počet atributů. Ostatní metriky ignorují. S tím asi souvisí i fakt, že do počtu metod a atributů započítávají pouze prvky z konkrétní třídy a dědičnost se nebere v úvahu. To je pochopitelné, protože když nejsou tyto metriky označeny souhrně jako součást LK metrik, pak by výsledky byly matoucí a zdánlivě by nedávaly smysl.

Lorenz - Kidd

Classes:

Name	Class Size						APM	NMA	NMI	NMO	SIX
	NM	NPM	NCM	NV	NPV	NCV					
ZakladniTrida	2	1	0	1	0	1	0.50	2	0	0	0.00
PrvniTrida	4	3	1	3	0	0	0.75	2	2	1	0.50
Prostor::DalsiTrida	5	4	1	1	1	0	0.20	1	4	0	0.00

Obrázek 5.9: Ukázka výstupu z modulu pro výpočet LK metrik.

Kapitola 6

Závěr

Softwarové metriky představené v textu jsou užitečné, pokud chceme získat objektivní náhled na kvalitu implementace určitého problému. Jejich výsledky je ale třeba brát s rezervou, protože jsou pouze orientační. I když se díky nim dají najít trhliny v návrhu, implementaci nebo testování, bylo by chybou nechat se jimi řídit natolik, že by implementace s nelichotivým výsledkem nějaké metriky byla zamítnuta jako nepřípustná, aniž by se člověk podíval do kódu. Stejně tak není možné prohlásit, že je nějaká metrika nejlepší, řídit se pouze jejími výsledky a ostatní ignorovat. Proto většina nástrojů pro hodnocení kvality kódu poskytuje výpočet více druhů metrik, aby bylo možné na kód nahlížet z různých úhlů.

Metriky uvedené v textu samozřejmě nejsou jediné, které existují. Je jich nepřeberné množství, protože způsobů, jak nahlížet na kvalitu kódu je spousta. Také u většiny metrik existuje spousta jejich variant, které se liší. Příkladem budiž metriky CCN a LCOM, které po svém uvedení doznaly poměrně velkého počtu modifikací několika jinými autory. LCOM dokonce stojí za vznikem celé skupiny tzv. kohezních metrik.

Výsledkem implementační části práce je systém pro výpočet softwarových metrik, který podporuje výpočet několika metrik (SLOC, COMMDENS, CCN, DECDENS, NPATH, TFC, NOC a LK) na zdrojových kódech jazyka C++, což bylo zadáním práce. Nicméně pro použití v reálných podmínkach není program připraven, protože některé části gramatiky jazyka C++ zatím nebyly implementovány (viz kapitola 4). Program také umí analyzovat zdrojové soubory pouze po jednom, což je pro větší projekty nepraktické z toho důvodu, že by výsledky analýzy nebyly přístupné pro celý projekt na jednom místě a nebyly by patřičně provázané.

Výsledný systém je možný velice snadno rozšířit o vstupní jednotky i analytické moduly. Jedná se o výhodu oproti jiným již existujícím řešením, které buď rozšířit nejdou nebo je potřeba nastudovat jejich verzi abstraktního syntaktického stromu a navíc rozhraní, které k psaní rozšíření poskytují. Pro rozšíření tohoto systému je sice také nutná znalost struktury syntaktického stromu (formát ASTM, viz kapitola 3.2), jehož dokumentace je k programu přibalena, ale pozitivem je, že jde o nastupující otevřený standard, který vydala Object Management Group. Ta také poskytuje podrobnou specifikaci formátu. Další výhodou oproti většině existujících řešení je to, že lze ve stromu pracovat i se samotným zdrojovým kódem a není k tomu potřeba žádný průchod souborem navíc. Díky tomu je možné provádět například i analýzu toho, jak se v kódu odsazuje, což většina existujících řešení neumí. I když je program zaměřen na výpočet softwarových metrik, lze k němu napsat moduly na hledání

bug patterns, kontroly konvencí v pojmenování, odsazování, apod. Stejně tak není vyloučena možnost dynamické analýzy.

Další vývoj programu bude zaměřen na dokončení frontendu pro jazyk C++ a přidání podpory pro některé další jazyky, například pro Javu. Postupně budou přibývat i moduly pro výpočet dalších softwarových metrik. Vzhledem k tomu, že cílem projektu je, aby byl výsledný systém co nejsnadněji rozšiřitelný, bylo by vhodné, aby se moduly načítaly dynamicky za běhu z externích knihoven, protože nyní se při přidání modulu musí celý systém překompilovat. Další možností, jak systém dál rozšířit je například podpora souborů Makefile nebo projektů VisualStudia a dalších IDE, což by uživateli umožnilo snadnější práci s programem při analyzování celých projektů.

Literatura

[1] A. J. Alexander. How to Determine Your Application Size Using Function Point Analysis.
`http://www.devdaily.com/FunctionPoints/`, stav z 16. 5. 2010.

[2] E. Allen. Bug patterns: An introduction.
`http://www.ibm.com/developerworks/library/j-diag1.html`, stav z 16. 5. 2010.

[3] F. Balmas. Software Metrics for Java and C++ Practices. 2009.

[4] M. Boshra. Object-Oriented Design Quality Models. A Survey and Comparison.

[5] M. L. Collard. Software metrics.
`www.sdml.info/collard/seF08/notes/Software%20Metrics.ppt`, stav z 16. 5. 2010.

[6] F. C. Eigler. Mudflap: Pointer Use Checking for C/C++. *GCC Developers Summit*, 2003.
`http://gcc.fyxm.net/summit/2003/mudflap.pdf`, stav z 16. 5. 2010.

[7] L. Fernández. A Sensitive Metric of Class Cohesion. *Information Theories & Applications*, 13.

[8] P. Haggar. Java bytecode: Understanding bytecode makes you a better programmer.
`http://www.ibm.com/developerworks/ibm/library/it-haggar_bytecode/`, stav z 16. 5. 2010.

[9] S. Henry. A Reability Model Incorporating Software Quality Factors. 1988.

[10] A. Hunt. *Programátor pragmatik*. Computer Press s.r.o, Brno, 1st edition, 2007. In Czech.

[11] ISO/IEC. INTERNATIONAL STANDARD programming languages - C++, 2003.
`http://www.iso.org/iso/iso_catalogue.htm`, stav z 16. 5. 2010.

[12] P. Johnson. Testing and Code Coverage.
`http://homepage.hispeed.ch/pjcj/testing_and_code_coverage/paper.html`, stav z 16. 5. 2010.

[13] C. F. Kemerer. Metrics Suite for Object Oriented Design. *IEEE Transactions On Software Engineering*, 20, 1994.

[14] V. Laing. Principal components of orthogonal object-oriented metrics (323-08-14). 2001. White Paper Analyzing Results of NASA Object-Oriented Data.

[15] L. Marco. Measuring software complexity. *Enterprise Systems Journal*, 1997. `http://cispom.boisestate.edu/cis320emaxson/metrics.htm`, stav z 16. 5. 2010.

[16] R. Marinescu. Using Object-Oriented Metrics for Automatic Design Flaws Detection in Large Scale Systems.

[17] T. J. McCabe. A Complexity Measure. *IEEE Transactions On Software Engineering*, 4, 1976.

[18] T. J. McCabe. Structured Testing: A Testing Methodology Using the Cyclomatic Complexity Metric. 1996.

[19] McGraw-Hill. *McGraw-Hill Concise Encyclopedia of Science and Technology*. McGraw-Hill Professional, 5th edition, 2004.

[20] E. E. Mills. Software Metrics. 1988. `http://www.sei.cmu.edu/reports/88cm012.pdf`, stav z 16. 5. 2010.

[21] B. A. Nejmeh. NPATH: A Measure of Execution Path Complexity And Its Applications. *Communications of ACM*, 31, 1988.

[22] OMG. Architecture-Driven Modernization (ADM): Abstract Syntax Tree Metmodel (ASTM). `http://www.omg.org/spec/ASTM/`, stav z 16. 5. 2010.

[23] P. Patton. Software Quality Metrics. `http://www.developer.com/tech/article.php/10923_3644656_2`, stav z 16. 5. 2010.

[24] M. Sarker. An overview of Object Oriented Design Metrics. 2005. `www8.cs.umu.se/education/examina/Rapporter/MuktamyeSarker.pdf`, stav z 16. 5. 2010.

[25] STAN. Structure Analysis for Java - White Paper. 2009. `http://stan4j.com/papers/stan-whitepaper.pdf`, stav z 16. 5. 2010.

[26] S. Sultanoglu. Complexity Metrics and Models. `http://yunus.hun.edu.tr/~sencer/complexity.html`, stav z 16. 5. 2010.

[27] J. M. Vemer. Cyclomatic Complexity: Theme and Variations. 4, 1993.

[28] Bison - GNU parser generator. `http://www.gnu.org/software/bison/`, stav z 16. 5. 2010.

[29] CCCC - C and C++ Code Counter. `http://cccc.sourceforge.net/`, stav z 16. 5. 2010.

[30] Checkstyle 5.1. `http://checkstyle.sourceforge.net/`, stav z 16. 5. 2010.

[31] COCOMO II.
http://sunset.usc.edu/csse/research/COCOMOII/cocomo_main.html, stav z 16. 5. 2010.

[32] CppDepend : C/C++ Static Analysis Tool.
http://www.cppdepend.com/, stav z 16. 5. 2010.

[33] Code Query Language 1.8 Specification.
http://www.ndepend.com/CQL.htm, stav z 16. 5. 2010.

[34] DMS Software Reengineering Toolkit.
http://www.semdesigns.com/Products/DMS/DMSToolkit.html, stav z 16. 5. 2010.

[35] Dynamic program analysis.
http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_program_analysis, stav z 16. 5. 2010.

[36] FindBugs TM - Find Bugs in Java Programs.
http://findbugs.sourceforge.net/, stav z 16. 5. 2010.

[37] flex: The Fast Lexical Analyzer.
http://flex.sourceforge.net/, stav z 16. 5. 2010.

[38] Genoa–GEN++.
http://www.cs.ucdavis.edu/~devanbu/genp/, stav z 16. 5. 2010.

[39] jar-The Java Archive Tool.
http://java.sun.com/j2se/1.4.2/docs/tooldocs/windows/jar.html, stav z 16. 5. 2010.

[40] JavaNCSS - A Source Measurement Suite for Java.
http://javancss.codehaus.org/, stav z 16. 5. 2010.

[41] JDepend.
http://clarkware.com/software/JDepend.html, stav z 16. 5. 2010.

[42] JHawk - the Java metrics tool.
http://www.virtualmachinery.com/jhawkprod.htm, stav z 16. 5. 2010.

[43] JMetric.
http://sourceforge.net/projects/jmetric/, stav z 16. 5. 2010.

[44] lint (software).
http://en.wikipedia.org/wiki/Lint_(software), stav z 16. 5. 2010.

[45] LLOC Logical lines of code.
http://www.aivosto.com/project/help/pm-loc.html#LLOC, stav z 16. 5. 2010.

[46] McCabe Software - Solutions to Guide You Through the Application Lifecycle.
http://www.mccabe.com/products.htm, stav z 16. 5. 2010.

[47] MCOMM% comment density.
http://www.aivosto.com/project/help/pm-loc.html#MCOMM%, stav z 16. 5. 2010.

[48] Metrics 1.3.6.
http://metrics.sourceforge.net/, stav z 16. 5. 2010.

[49] Project Metrics help - MOOD and MOOD2 metrics.
http://www.aivosto.com/project/help/pm-oo-mood.html, stav z 16. 5. 2010.

[50] NDepend Home Page.
http://www.ndepend.com/, stav z 16. 5. 2010.

[51] PHP Depend - Software Metrics for PHP.
http://pdepend.org/, stav z 16. 5. 2010.

[52] Project Metrics Help - Complexity.
http://www.aivosto.com/project/help/pm-complexity.html, stav z 16. 5. 2010.

[53] PMD.
http://pmd.sourceforge.net/, stav z 16. 5. 2010.

[54] Project Metrics in Project Analyzer.
http://www.aivosto.com/project/help/pm-index.html, stav z 16. 5. 2010.

[55] PyMetrics.
http://sourceforge.net/projects/pymetrics/, stav z 16. 5. 2010.

[56] Resource Standard Software Source Code Metrics For C, C++, C# and Java.
http://msquaredtechnologies.com/m2rsm/, stav z 16. 5. 2010.

[57] Source lines of code.
http://en.wikipedia.org/wiki/Source_lines_of_code, stav z 16. 5. 2010.

[58] SourceMonitor Version 2.5.
http://www.campwoodsw.com/sourcemonitor.html, stav z 16. 5. 2010.

[59] STAN - Structure Analysis for Java.
http://stan4j.com/, stav z 16. 5. 2010.

[60] Static code analysis.
http://en.wikipedia.org/wiki/Static_program_analysis, stav z 16. 5. 2010.

[61] Testing tools for C, C++ and Java.
http://www.testwell.fi/, stav z 16. 5. 2010.

[62] Understand Your Code.
http://scitools.com/products/understand/cpp/product.php, stav z 16. 5. 2010.

[63] Valgrind.
http://valgrind.org/, stav z 16. 5. 2010.

[64] Vil - OO metrics, C# metrics, .Net Software Metrics (MSIL, CIL, IL).
http://www.1bot.com/, stav z 16. 5. 2010.

[65] XDepend - X-ray your code.
http://www.xdepend.com/, stav z 16. 5. 2010.

Kapitola 7

Seznam použitých zkratek

.NET Microsoft .NET Framework

A Abstractness

AHF Attribute Hiding Factor

AIF Attribute Inharitance Factor

ANSI American National Standards Institute

APM Average Parameters per Method

AST Abstract Syntax Tree

ASTM Abstract Syntax Tree Metamodel

Ca Afferent Coupling

CBO Coupling Between Object classes

CCCC C and C++ Code Counter

CCN Cyclomatic Complexity Number

CD Compact Disc

Ce Efferent Coupling

CFG Control Flow Graph

CIL Common Intermediate Language

CK Chidamber-Kemerer

CLF CLustering Factor

COCOMO the COnstructive COst MOdel

COF Coupling Factor

COMM COMMent

CS Class Size

CSV Comma Separated Values

D Distance from main sequence (Martin's Package Metrics), případně Difficulty (Halstead's Metrics)

DECDENS DECision DENSity

DIT Depth Inharitance Tree

DLL Dynamic Loaded Library

DOM Document Object Model

E Effort

EXE EXEcutable

Flex Fast LEXical analyzer

GNU GNU's Not Unix

HK Henry-Kafura

HTML HyperText Markup Language

I Instability

IQ Intelligence Quotient

ISO International Organization for Standardization

JAR Java ARchive

LCOM Lack Cohencion Of Methods

LK Lorenz-Kidd

LLOC Logical Lines Of Code

LOC Lines Of Code

MCOMM Meaningful COMMents

MHP Method Hiding Factor

MIF Method Inharitance Factor

MOOD Metrics for Object Oriented Design

MOOSE Metrics for Object-Oriented Software Engineering

MVG McCabe's $V(G)$

NASA National Aeronautics and Space Administration

NCM Number of Class Methods

NCV Number of Class Variables

NM Number of Methods

NMA Number of Methods Added

NMI Number of Methods Inherited

NMO Number of Methods Overridden

NOC Number Of Children

NPM Number of Public Methods

NPV Number of Public Variables

NV Number of Variables

OMG ObjectManagement Group

RF Reuse Factor

RFC Response For a Class

PHP Hypertext Preprocessor

POF POlymorphism Factor

RSM Resource standard software Source code Metrics

SAP Stable Abstractions Principle

SIX Specialization IndeX

SLOC Source Lines Of Code

STAN STructural ANalysis for Java

SVG Scalable Vector Graphics

TFC Total Function Calls

WMC Weight Methods per Class

XML eXtensible Markup Language

XSL eXtensible Stylesheet Language

Kapitola 8

Instalační a uživatelská příručka

8.1 Návod pro instalaci na OS Linux

Vyzkoušeno s:

- kernel 2.6.33-ARCH (32bit)
- gcc (GCC) 4.5.0.
- flex 2.5.35
- bison (GNU Bison) 2.4.2
- cmake version 2.8.1
- GNU Make 3.81
- GNU bash, version 4.1.7(2)-release (i686-pc-linux-gnu)
- GNU sed version 4.2.1
- svn, version 1.6.9 (r901367)

Postup instalace:

1. Stáhněte zdrojové kódy z SVN repozitáře:

   ```
   $ svn checkout https://svn.origo.ethz.ch/sw-metrics/trunk sw_metrics
   ```

   nebo si je zkopírujte z přiloženého CD.

2. Jděte do podadresáře *sw_ metrics/src* a v něm vytvořte adresář *build*.

   ```
   $ cd ./sw_metrics/src
   $ mkdir build
   ```

3. Jděte do vytvořeného podadresáře *build* a sestavte aplikaci systémem *CMake* a *GNU Make*.

```
$ cd ./build
$ cmake ..
$ make
```

4. Po dokončení kompilace se v pracovním adresáři nachází výsledná binárka *sw_metrics*.

8.2 Návod pro použití programu

Typické spuštění programu je buď

```
$ ./sw_metrics zdroj.cpp
```

nebo

```
$ ./sw_metrics -o vysledek.xml zdroj.cpp
```

V obou případech se analýza provede na zdrojovém souboru *zdroj.cpp*. Jedná se tedy o vstup do systému. Výstupem ze systému je soubor ve formátu XML, který obsahuje výsledky analýzy. V prvním případě je tento soubor uložen jako *report.xml*, což je výchozí chování systému. Pokud chcete zadat vlastní jméno souboru, pak zvolte druhý případ (s použitím přepínače *-o*). Podle ukázky se výsledky uloží do souboru *vysledek.xml*.

Pokud do adresáře s výsledným XML souborem nahrajete šablonu *sw_metrics.xsl* a otevřete ho ve webovém prohlížeči, uvidíte výsledky přehledně v tabulkách v podobě HTML stránky.

Nápovědu, kde jsou předchozí informace uvedeny, můžete zobrazit jedním z následujících způsobů:

```
$ ./sw_metrics -h
$ ./sw_metrics --help
```

8.2.1 Použití ukázkového kódu

Pro demonstraci toho, co program dokáže, jsou na SVN/CD přidány i ukázkový zdrojový kód demonstrující veškeré možnosti implementovaného C++ frontendu a XSL šablona pro vizualizaci výsledku. Pokud se nacházíte v adresáři, kde byl program sestaven (*./sw_metrics/src/build*), pak stačí spustit následující

```
$ cp ../../src.cpp .
$ cp ../../sw_metrics.xsl .
$ ./sw_metrics src.cpp
```

a otevřít si v prohlížeči vytvořený soubor *report.xml*.

Kapitola 9

Obsah přiloženého CD

```
.
|- doc
|  |- html                      // - dokumentace implementace ASTM
|  |  |- index.html             // - index dokumentace
|  |
|  |- AbstractSyntaxTreeMetamodel.pdf          // - specifikace ASTM
|  |- CppStandard-ANSI_ISO_IEC_14882_2003.pdf  // - standard ANSI/ISO C++
|
|- src
|  |- ASTM                      // - implementace uzlu stromu (360 souboru)
|  |- Frontends
|  |  |- C++                    // - zdrojove kody frontendu pro jazyk C++
|  |     |- ActualParsingUnit.cpp  // - singleton pro instanci parseru
|  |     |- ActualParsingUnit.h
|  |     |- cpp.l               // - zdrojovy kod pro Flex
|  |     |- cpp.ypp             // - zdrojovy kod pro Bison
|  |     |- CppParser.cpp       // - trida pro C++ rozhrani parseru
|  |     |- CppParser.h
|  |     |- editor.sh           // - skript sedu pro sestaveni parseru
|  |
|  |- Modules
|  |  |- CCN                    // - modul pocitajici CCN metriku
|  |  |  |- CCN.cpp
|  |  |  |- CCN.h
|  |  |  |
|  |  |- COMMDENS               // - modul pocitajici COMMDENS metriku
|  |  |  |- COMMDENS.cpp
|  |  |  |- COMMDENS.h
|  |  |  |
|  |  |- DECDENS                // - modul pocitajici DECDENS metriku
|  |  |  |- DECDENS.cpp
|  |  |  |- DECDENS.h
```

```
|  |  |
|  |  |- LK                    // - modul pocitajici LK metriky
|  |  |  |- LK.cpp
|  |  |  |- LK.h
|  |  |
|  |  |- LOC                   // - modul pocitajici SLOC metriky
|  |  |  |- LOC.cpp
|  |  |  |- LOC.h
|  |  |
|  |  |- NOC                   // - modul pocitajici NOC metriku
|  |  |  |- NOC.cpp
|  |  |  |- NOC.h
|  |  |
|  |  |- NPATH                 // - modul pocitajici NPATH metriku
|  |  |  |- NPATH.cpp
|  |  |  |- NPATH.h
|  |  |
|  |  |- TFC                   // - modul pocitajici TFC metriku
|  |  |  |- TFC.cpp
|  |  |  |- TFC.h
|  |  |
|  |  |- ModuleApi.cpp         // - API pro usnadneni prace s~ASTM
|  |  |- ModuleApi.h
|  |  |- ModuleBase.cpp        // - rozhrani kazdeho modulu
|  |  |- ModuleBase.h
|  |
|  |- TinyXML                  // - zdrojove kody knihovny TinyXML
|  |- CMakeLists.txt           // - konfiguracni soubor pro CMake
|  |- config.h                 // - konfigurace sestaveni aplikace
|  |- main.cpp                 // - jadro systemu
|
|- test
|  |- test1...test6            // - obsahuji ukazky testu
|  |  |- code.cpp              // - zdrojovy kod
|  |  |- dump.xml              // - dump naparsovaneho ASTM
|  |  |- test.xsl              // - vlastni kod testu
|  |
|  |- checker.xsl              // - sablona pro snadnejsi psani testu,
|                               //   viz ukazky test1-6
|
|- text
|  |- figures
|  |- k336_thesis_macros.sty   // - FEL sablona BP pro LaTeX
|  |- reference.bib            // - seznam literatury
|  |- thesis.pdf               // - PDF vysledne bakalarske prace
|  |- thesis.tex               // - zdrojovy kod BP
```

```
|
|- doxygen.cfg                // - konfiguracni soubor pro Doxygen
|- README.TXT                 // - informacni soubor
|- src.cpp                    // - ukazkovy zdrojovy kod pro analyzu
|- sw_metrics.xsl             // - sablona pro vizualizaci
                              //   vysledku analyzy
```