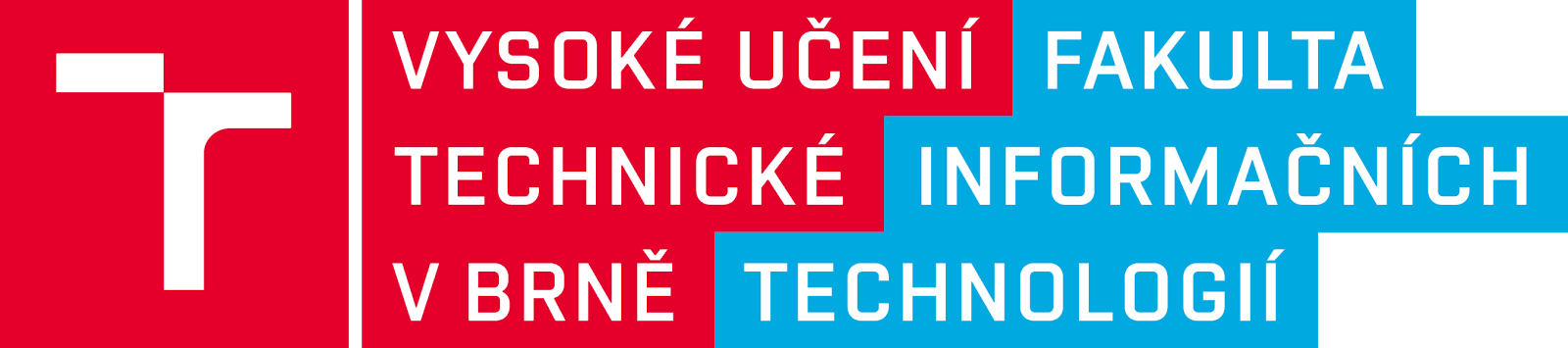
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA INFORMAČNÝCH TECHNOLÓGIÍ



Dokumentácia k projektu do predmetu IFJ a IAL Implementácia interpreta jazyka IFJ16

Tím 026, varianta B/1/II

11. decembra 2016

Členovia tímu:

Dávid Bolvanský (xbolva00) - vedúci tímu, 20%

Juraj Dúbrava (xdubra03), 20%

Tamara Krestianková (xkrest07), 20%

Martin Marušiak (xmarus07), 20%

Veronika Svoradová (xsvora01), 20%

Rozšírenia:

SIMPLE, BOOLOP

OBSAH

ÚVOD 2

1 IMPLEMENTÁCIA INTERPRETA JAZYKA IFJ16 3

1.1 Lexikálna analýza 3

1.2 Syntaktická analýza (bez spracovania výrazu) 3

1.3 Syntaktická analýza (spracovanie výrazu) 3

1.4 Sémantická analýza 4

1.5 Interpret 4

2 VSTAVANÉ FUNKCIE 5

2.1 Algoritmy do predmetu IAL 5

2.1.1 Implementácia radenia (Quick sort) 5

2.1.2 Implementácia vyhľadávania podreťazca v reťazci (Boyer-Moore) 5

2.2 Implementácia tabuľky symbolov 5

2.3 Vstavané funkcie pre načítanie literálu a výpis termov 5

2.4 Vstavané funkcie pre prácu s reťazcom 6

3 PRÁCA V TÍME 6

4 ZÁVER 7

5 REFERENCIE 7

6 PRÍLOHY 8

ÚVOD

Dokumentácia popisuje implementáciu interpreta jazyka IFJ16, ktorý je veľmi zjednodušenou podmnožinou jazyka Java SE . Jeho implementáciu sme rozdelili do 4 hlavných častí, ktoré budú bližšie popísané v ďalšej časti dokumentácie:

1. Lexikálny analyzátor
2. Syntaktický analyzátor
3. Sémantický analyzátor
4. Interpret

Zvolili sme si variantu b/1/II, ktorá obsahovala zadanie na implementáciu vyhľadávania podreťazca v reťazci s použitím algoritmu Boyer-Moore, implementáciu radenia s využitím Quick sort algoritmu a implementáciu tabuľky symbolov pomocou tabuľky s rozptýlenými položkami. Jednotlivé implementácie týchto algoritmov nájdete v kapitole 2.

Súčasťou dokumentácie sú aj tri prílohy, ktoré obsahujú diagram konečného automatu špecifikujúceho lexikálny analyzátor, LL gramatiku a precedenčnú tabuľku, ktoré sú jadrom syntaktického analyzátora.

1. IMPLEMENTÁCIA INTERPRETA JAZYKA IFJ16
   1. Lexikálna analýza

Lexikálny analyzátor (scanner) je implementovaný v súboroch scanner.c a scanner.h. Je to jediná časť celého interpreta, ktorá pracuje priamo so zdrojovým súborom. Jeho úlohou je načítať zdrojový kód, odstrániť zbytočné časti ako sú biele znaky a komentáre, a finálne previesť lexémy na tokeny. Token sa skladá z dvoch častí: typ a atribút. Typ tokenu sa určí aplikovaním konečného automatu (viď príloha č.1) na postupnosť znakov načítaných zo vstupu.

Pre podporu nekonečne dlhého reťazca sme vytvorili pomocnú knižnicu, ktorá je implementovaná v súboroch strings.c a strings.h, a ktorá nám umožňuje pracovať s potenciálne nekonečným reťazcom. Ak prijatá postupnosť znakov nie je platná pre žiadne pravidlo, dochádza k lexikálnej chybe pri spracovávaní zdrojového textu. Lexikálny analyzátor poskytuje funkciu get\_next\_token, ktorá je následne využívaná syntaktickým analyzátorom.

* 1. Syntaktická analýza (bez spracovania výrazu)

Syntaktický analyzátor (parser) kontroluje množinu pravidiel, ktorá určuje prípustné konštrukcie daného jazyka. Základné možné konštrukcie jazyka IFJ16 a prídavné konštrukcie, ktoré vyplynuli z voľby rozšírení SIMPLE a BOOLOP sú definované v LL gramatike (viď príloha č. 2). Samotná syntaktická analýza je riešená metódou rekurzívneho zostupu a je jadrom celého interpreta a spolupracuje s ostatnými časťami interpreta.

Kvôli špecifickým požiadavkám jazyka Java, a teda aj IFJ16 ako jeho podmnožinou, dochádza k parsovaniu v dvoch priechodoch v rámci syntaktického analyzátora. V prvom priechode získavame tokeny z lexikálneho analyzátora a zároveň ich ukladáme do poľa tokenov, ktoré je implementované v súboroch token\_buffer.c a token\_buffer.h. Ak nenastane žiadna chyba počas prvého priechodu, pokračujeme. V druhom priechode získavame tokeny z práve vytvoreného poľa tokenov. Zaviedli sme si logický prepínač na zistenie v ktorom priechode práve sme. Priebežne sa v rámci prvého a druhého priechodu vykonávajú sémantické kontroly a generujú sa inštrukcie na globálnu inštrukčnú pásku alebo na inštrukčnú pásku funkcie. Konštanty v argumentoch pri volaniach funkcií v interpretovanom kóde ukladáme do jednosmerne viazaného zoznamu konštánt, ktorý je implementovaný v memory\_constants.c a memory\_constants.h, za účelom získania adresy v pamäti pre neskoršie generovanie 3-adresného kódu. Po úspešnej syntaktickej a sémantickej analýze dochádza k samotnej interpretácii kódu.

* 1. Syntaktická analýza (spracovanie výrazu)

Spracovanie výrazov je úloha precedenčnej syntaktickej analýzy implementovanej v súbore expr.c a expr.h. Precedenčná syntaktická analýza je riadená na základe precedenčnej tabuľky (viď príloha č. 3), ktorá popisuje prioritu spracovania jednotlivých operátorov a operandov. Vstupom analýzy sú tokeny zo špeciálneho poľa tokenov vytvoreného pre precedenčnú syntaktickú analýzu, tokeny získame funkciou get\_next\_token\_psa. Jednosmerne viazaný zoznam konštánt využívame aj v tento fáze a ukladáme sem konštanty použité vo výrazoch.

Spracovávané vstupné tokeny sú počas analýzy ukladané na zásobník a vyhodnocovanie výrazu, ktorý vzniká na zásobníku je riadené precedenčnou tabuľkou. Dôležitou súčasťou spracovania výrazu je kontrola správnosti dátových typov nad ktorými sú uskutočňované jednotlivé aritmeticko - logické operácie a takisto syntaktické kontroly výrazu. V rámci priebežného spracovávania výrazu prebieha aj generovanie 3-adresného kódu pre interpret.

* 1. Sémantická analýza

Úlohou sémantickej analýzy je preskúmať logický význam jednotlivých výrazov jazyka a zistiť ich platnosť pre daný programovací jazyk. Aj napriek tomu, že jazyk IFJ16 je podmnožinou jazyka Java, obsahuje isté špecifiká, ktorými sa od nej líši. Kľúčovým prvkom je spolupráca s tabuľkou symbolov. Z tejto tabuľky sa získavajú rôzne informácie a zároveň sa kontroluje resp. rozhoduje, či nedošlo k redeklarácií tried, premenných alebo funkcií. Zároveň sa kontroluje či nedošlo k typovej nekompatibilite pri priradení alebo vo výrazoch a taktiež prípadná nezhoda v počte parametrov funkcie, a rôzne iné sémantické kontroly. Kontroluje sa prítomnosť funkcie run v triede Main, ktorá je nevyhnutá pre začatie procesu interpretácie.

* 1. Interpret

Interpret vykonáva inštrukcie, ktoré mu boli vygenerované v predošlých fázach. Inštrukciu reprezentujeme prostredníctvom 3-adresného kódu. Jednotlivé inštrukcie za sebou nasledujú v inštrukčnej páske, ktorú reprezentuje jednosmerne viazaný zoznam. Významovo rozlišujeme dva typy pások, globálnu a lokálnu (funkcie). Na globálnej inštrukčnej páske sa nachádzajú priradenia statických premenných. Globálna inštrukčná páska sa začne vykonávať ako prvá, z nej je potom vykonaná inštrukčná páska funkcie run z triedy Main, ktorá môže vyvolať vykonanie inštrukčných pások ďalších funkcií. Z pások funkcií môžu byť taktiež volané ďalšie pásky funkcií až do ľubovoľného zanorenia. Vykonanie inštrukčnej pásky v rámci inej inštrukčnej pásky je implementované rekurzívne.

K tomu aby sme mohli volať funkcie, a neprepisovali pritom hodnoty v tabuľke symbolov, slúžia rámce, ktoré sa vytvárajú vždy pred volaním funkcie a zabezpečia uloženie parametrov a vytvorenie lokálnych premenných pre funkciu. Pred vykonaním inštrukcie je potrebné preložiť adresy jednotlivých operandov tak, aby sa v prípade, že ide o lokálnu premennú, odkazovali na príslušnú hodnotu v rámci. Preklad sa uskutočňuje pomocou offsetov, ktorý je pre každú lokálnu premennú v danom rámci jedinečný. Po následnom preklade sa overí inicializácia operandov a vykoná inštrukcia.

1. VSTAVANÉ FUNKCIE
   1. Algoritmy do predmetu IAL
      1. Implementácia radenia (Quick sort) [4]

Quick sort alebo „radenie rozdeľovaním“  patrí medzi najrýchlejšie metódy radenia polí. Tento algoritmus funguje na veľmi jednoduchom princípe. Pomocou mechanizmu partition prehodí prvky do dvoch častí poľa tak, že v ľavej časti sú všetky prvky menšie alebo rovné určitej hodnote (pivot) a v pravej časti sú všetky prvky väčšie ako táto hodnota.

V našom prípade sme za pivot zvolili pseudomedián. Pseudomedián sme vyrátali ako sčítanie ľavej a pravej hranice reťazca. Tento súčet sa nakoniec podelí (div) číslom dva:

* pseudomedián = (ľavá hranica + pravá hranica) delené (2).

Po rozdelení poľa na dve časti rekurzívne voláme funkciu pre opätovné radenie jednotlivých častí poľa. Celý algoritmus je uložený v súbore ial.c a ial.h

Priemerná doba výpočtu algoritmu Quick sort je v najlepšom prípade (O\*(n\*log(n))), no však pri nevhodnom tvare vstupných dát môže byť časová náročnosť tohto algoritmu až O(n^2). Autorom algoritmu z roku 1962 je Sir Charles Antony Richard Hoare, významná osobnosť v obore teórie a tvorby programov.

* + 1. Implementácia vyhľadávania podreťazca v reťazci (Boyer-Moore)

Boyer-Moore algoritmus je jedným z najefektívnejších algoritmov pre porovnávanie reťazcov. Používa sa na vyhľadávanie vzoru v inom texte. Funguje na princípe spracovávania znakov sprava doľava. Ak dôjde pri porovnávaní dvoch znakov k nezhode, nastáva posun. Je vhodný pri hľadaní dlhého podreťazca. Čím dlhší je vyhľadávaný vzor, tým väčší počet znakov v texte je možné preskočiť a tým je kratšia doba spracovania. Rýchlosť algoritmu závisí na kardinalite abecedy a opakovaní podreťazca vo vzore. Meraním bolo zistené, že pre dĺžku vzoru väčšiu než 5 sa vykonáva asi 0.3 porovnaní z počtu znakov v prehľadávanom texte.

Pre implementáciu algoritmu sa používajú dve heuristiky - „posun nesprávneho znaku“ (bad symbol shift) a „posun správnej prípony“ (good suffix shift). Algoritmus berie ten z výsledkov dvoch heuristík, ktorý je výhodnejší. My sme použili obe, čím sa zvýšila efektivita algoritmu. Samotnú implementáciu môžete nájsť v súbore ial.c a ial.h.

Autormi algoritmu sú Robert S. Boyer a J Strother Moore z roku 1977. V najhoršom prípade doba behu algoritmu je O(n+m), ale iba v prípade, že vyhľadávaný vzor sa nenachádza v texte. Naopak, ak sa hľadaný vzor nachádza v texte, doba behu algoritmu v najhoršom prípade je O(n\*m).

* 1. Implementácia tabuľky symbolov

Základom tabuľky symbolov je tzv. tabuľka s rozptýlenými položkami (tiež známa ako hashovacia tabuľka, ďalej len TRP), ktorá je určená pre našu variantu zadania. TRP je založená na použití poľa, ktoré je primárnym priestorom pre prácu s týmto typom tabuliek. Slúži na ukladanie dvojíc kľúč – hodnota. Kombinuje výhody vyhľadávania podľa indexu (priame adresovanie prvkov = zložitosť O(1)) a prechádzanie zoznamu (nízke nároky na pamäť). Dobrá hashovacia funkcia má zásadný vplyv na výkon TRP. Nami vybraná hashovacia funkcia, ktorú sme použili, je uvedená v referenciách [3]. TRP je implementovaná v súbore ial. a ial.h.

Každá trieda má svoju tabuľku symbolov, v ktorej sú uložené informácie o statických (globálnych) premenných a funkciách existujúcich v danej triede. Rovnako ako triedy tak aj funkcie majú svoju tabuľku symbolov, ktorá obsahuje informácie o parametroch/lokálnych premenných a zároveň o ich počte či dátových typov. Štruktúra položky v tabuľke symbolov, ktorá je univerzálna pre uloženie informácií o premennej či funkcii, ako aj funkcie pracujúce s tabuľkou symbolov sú implementované v symbol\_table.c a symbol\_table.h.

* 1. Vstavané funkcie pre načítanie literálu a výpis termov

Medzi vstavané funkcie pre načítanie literálu a výpis termov patria nasledovné:

***int readInt ()*** - funkcia prevedie načítaný reťazec na jedno celé číslo a vráti ho.

***double readDouble ()*** - funkcia prevedie načítaný reťazec na jedno desatinné číslo a vráti ho.

Pri oboch funkciách nesmie byť vypustený žiaden biely znak, takže formát vstupného reťazca musí odpovedať lexikálnym pravidlám pre daný literál, inak nastane chyba 7.

***String readString ()*** - funkcia vráti zo štandardného vstupu načítaný reťazec, ktorý je ukončený koncom riadku alebo koncom vstupu.

***void print (term/konkatenácia) –*** ak sa jedná o term, funkcia vypíše hodnotu v danom formáte na štandardný výstup. Pokiaľ je term typu int alebo double, je najprv automatický prevedený na reťazec a až potom vypísaný. Parameter, ktorý obsahuje neprázdnu postupnosť termov oddelených operátorom + je výraz, ktorý bude najprv vyhodnotený a následne podľa pravidiel pre výpis termov aj vypísaný.

Vyššie uvedené funkcie sú implementované v builtin.c a builtin.h.

* 1. Vstavané funkcie pre prácu s reťazcom

Medzi vstavané funkcie pre prácu s reťazcom v našom projekte patria nasledovné:

***int length (String s)*** - funkcia vráti dĺžku (počet znakov) reťazca zadaného parametrom „s“.

***String substr (String s, int i, int n)*** - funkcia vráti podreťazec zadaného reťazca „s“. Hľadaný podreťazec má dĺžku „n“ a začína na indexe „i“ zadaného reťazca „s“.

***int compare (String s1, String s2)*** - funkcia lexikograficky porovnáva dva zadané reťazce „s1“ a „s2“ a vráti celočíselnú hodnotu 0, ak sú reťazce „s1“ a „s2“ rovnaké, 1, ak je „s1“ väčší ako „s2“ a -1 v ostatných prípadoch.

Funkcie length, substr, a compare sú implementované v builtin.c a builtin.h.

***int find (String s, String search)*** - funkcia nájde prvý výskyt zadaného podreťazca „search“ v reťazci „s“ a následne vráti jeho pozíciu. Ak sa jedná o prázdny reťazec, vyskytuje sa vždy v každom reťazci na indexe 0. V prípade, že zadaný podreťazec „search“ nie je nájdený, funkcia vráti hodnotu -1. V našom zadaní sme využili metódu Boyer-Moorovho algoritmu, ktorá je podrobne opísaná v časti 2.1.2 a nachádza sa v súboroch ial.c a ial.h.

***String sort (String s)*** - funkcia, ktorá zoradí znaky v danom reťazci tak, aby znak s nižšou ordinálnou hodnotou vždy predchádzal znaku s vyššou ordinálnou hodnotou. V našom projekte sme využili metódu Quick Sort algoritmu, ktorý je podrobnejšie opísaný v časti 2.1.1 a nachádza sa v ial.c a ial.h.

1. PRÁCA V TÍME

Prácu v tíme sme si rozvrhli nasledovne, s tým, že niektoré časti sa prekrývali, resp. bolo nutné sa na nich spoločné dohodnúť, ako postupovať, aké budú rozhrania, atď.

* **Dávid Bolvanský**: Lexikálna, syntaktická (bez výrazu), sémantická analýza, tabuľka symbolov
* **Juraj Ondrej Dúbrava**: Syntaktická analýza (spracovanie výrazu), tvorba LL gramatiky a precedečnej tabuľky
* **Martin Marušiak**: Generovanie kódu, návrh 3AK, interpret, hashovacia tabuľka
* **Tamara Krestianková, Veronika Svoradová**: IAL algoritmy, vstavané funkcie, testovanie a dokumentácia

1. ZÁVER

Všetci členovia tímu sa zhodneme, že sme pred týmto projektom nepracovali na komplexnejšom a rozsiahlejšom projekte, akým bol práve interpret jazyka IFJ16. Získali sme nie len nové skúsenosti a vedomosti ohľadom tvorby interpretov/prekladačov, ale aj nové znalosti v programovaní v jazyku C a používaní GITu. Dôležité bolo naučiť sa spolupracovať medzi sebou, akceptovať požiadavky ostatných pri tvorbe rôznych častí interpreta a dohodnúť sa na rozhraniach medzi jednotlivými časťami interpretu. Našou miernou výhodou bolo, že sme mohli rýchlo riešiť problémy, keďže sme od seba nebývali ďaleko a mohli sme osobne vykonzultovať daný problém a tým pádom ho zväčša aj rýchlo vyriešiť. Môžeme už len konštatovať, že IFJ si s projektom interpretu pre zvolený jazyk označenie TOP projektu na tejto škole právom zaslúži.

1. REFERENCIE

[1] Prednášky, podklady k predmetu IFJ

<http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IFJ/public/>

[2] Prof. Ing. Jan Maxmilián Honzík, CSc. Algoritmy IAL: Študijná opora [online].

Verzia 16-D. 2016-11-30 [cit. 2016-12-5]. Dostupné na adrese:

[https://wis.fit.vutbr.cz/FIT/st/course-files-st.php/course/IAL-IT/texts/Opora-IAL-2016- verze-16D.pdf](https://wis.fit.vutbr.cz/FIT/st/course-files-st.php/course/IAL-IT/texts/Opora-IAL-2016-%20%20%20verze-16D.pdf)

[3] Hashovacia funkcia [online]. [cit. 2016-12-5]. Dostupné na adrese:

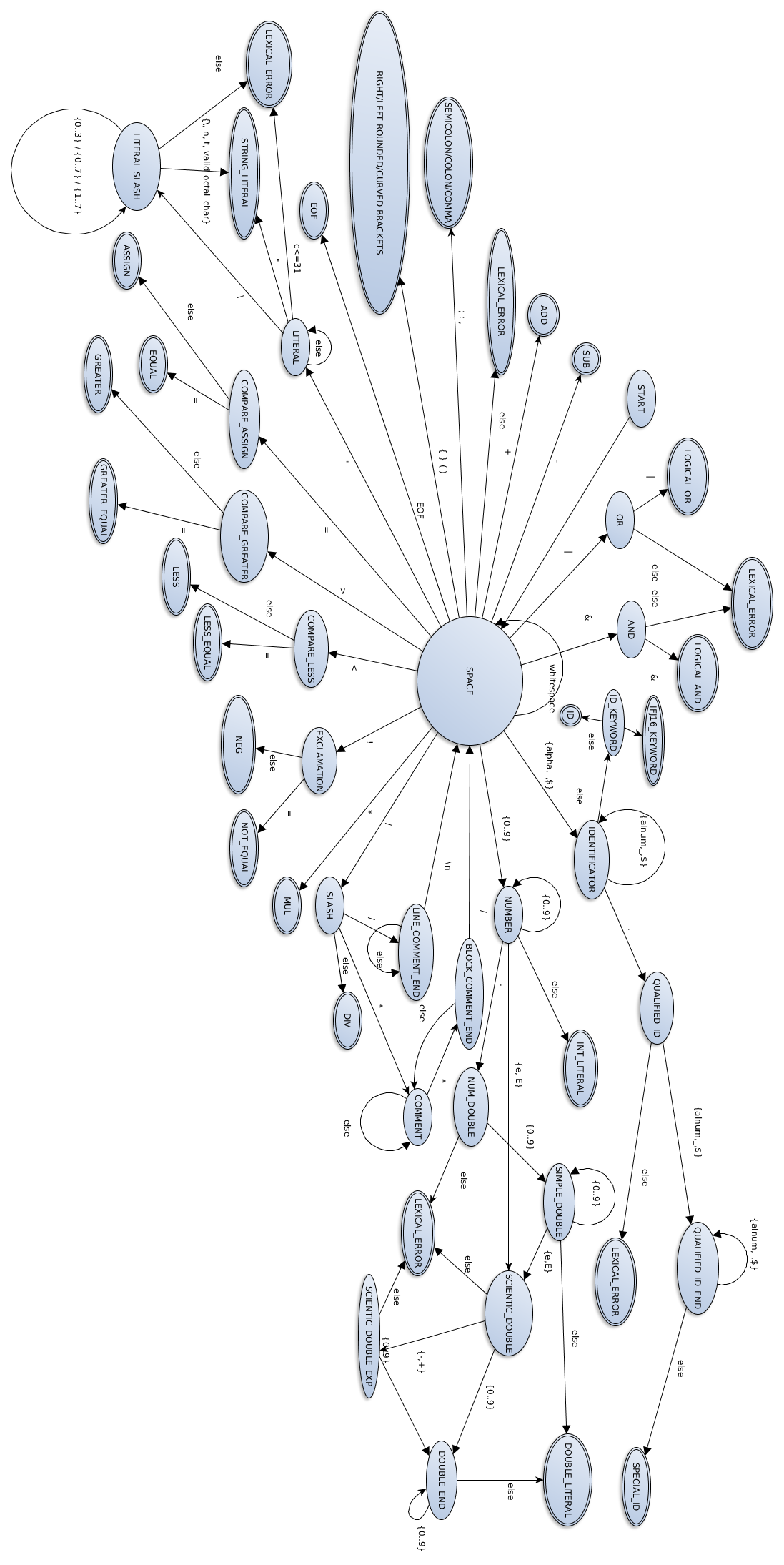
<http://www.cse.yorku.ca/~oz/hash.html>

[4] Quicksort algoritmus [online]. [cit. 2016-12-5] Dostupné na adrese:

<https://sk.wikipedia.org/wiki/Quicksort>

1. PRÍLOHY

**Príloha č.1: Diagram konečného automatu**

****

**Príloha č.2: LL gramatika**

**<class-list> -> class id { <class-element> } <class-list>  
<class-list> -> epsilon  
<class-element> -> static <declaration-element> <class-element>  
<class-element> -> epsilon  
<declaration-element> -> <param> <declaration>  
<declaration-element> -> void id <method-declaration>  
<declaration> -> ;  
<declaration> -> = <E>;  
<declaration> -> <method-declaration>  
<method-declaration> -> ( <param-list> ) { <method-element> }  
<ID> -> id  
<ID> -> special\_id  
<data-type> -> int  
<data-type> -> double  
<data-type> -> String  
<data-type> -> boolean  
<param-list> -> epsilon  
<param-list> -> <param> <next-param>  
<next-param> -> ,<param> <next-param>  
<next-param> -> epsilon  
<param> -> <data-type> id  
<call-assign> -> (<param-value>)  
<call-assign> -> = <E>  
<param-value> -> epsilon  
<param-value> -> <E> <next-param-value>  
<next-param-value> -> ,<E> <next-param-value>  
<next-param-value> -> epsilon  
<value> -> epsilon  
<value> -> = <E>  
<method-element> -> <param> <value>; <method-element>  
<method-element> -> epsilon  
<method-element> -> <element-list>  <method-element>  
<element-list> -> <statement>  
<element-list> -> {<statement-list>}  
<statement-list> -> <statement> <statement-list>  
<statement-list> -> epsilon  
<statement-list> -> {<statement-list>} <statement-list>  
<statement> -> ;  
<statement> -> <ID> <call-assign>;  
<statement> -> if (<E>) <condition-list> <else>  
<statement> -> while (<E>) <condition-list>  
<statement> -> return <return-value>;  
<return-value> -> epsilon  
<return-value> -> <E>  
<else> -> epsilon  
<else> -> else <condition-list>  
<condition-list> -> {<statement-list>}  
<condition-list> -> <statement>**

**Príloha č.3: Precedenčná tabuľka**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **+** | **-** | **\*** | **/** | **(** | **)** | **<** | **>** | **<=** | **>=** | **==** | **!=** | **&&** | **| |** | **id** | **liT** | **$** | **!** |
| **+** | **>** | **>** | **<** | **<** | **<** | **>** | **>** | **>** | **<** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **<** | **<** | **>** | **<** |
| **-** | **>** | **>** | **<** | **<** | **<** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **<** | **<** | **>** | **<** |
| **\*** | **>** | **>** | **>** | **>** | **<** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **<** | **<** | **>** | **<** |
| **/** | **>** | **>** | **>** | **>** | **<** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **<** | **<** | **>** | **<** |
| **(** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **=** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **>** | **<** |
| **)** | **>** | **>** | **>** | **>** |  | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** |  |  |  | **>** |
| **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **<** | **<** | **>** | **<** |
| **>** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **<** | **<** | **>** | **<** |
| **<=** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **<** | **<** | **>** | **<** |
| **>=** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **<** | **<** | **>** | **<** |
| **==** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **<** | **<** | **>** | **<** |
| **!=** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **<** | **<** | **>** | **<** |
| **&&** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **>** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **>** | **>** | **<** | **<** | **>** | **<** |
| **| |** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **>** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **>** | **>** | **<** | **<** | **>** | **<** |
| **id** | **>** | **>** | **>** | **>** |  | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** |  |  | **>** |  |
| **lit** | **>** | **>** | **>** | **>** |  | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** |  |  | **>** |  |
| **$** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** |  | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** | **<** |  | **<** |
| **!** | **>** | **>** | **>** | **>** | **<** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **>** | **<** | **<** | **>** | **<** |

**<E> -> <E> + <E>**

**<E> -> <E> - <E>**

**<E> -> <E> \* <E>**

**<E> -> <E> / <E>**

**<E> -> <E> < <E>**

**<E> -> <E> > <E>**

**<E> -> <E> <= <E>**

**<E> -> <E> >= <E>**

**<E> -> <E> != <E>**

**<E> -> <E> == <E>**

**<E> -> <E> && <E>**

**<E> -> <E> || <E>**

**<E> -> (<E>)**

**<E> -> !<E>**

**<E> -> id**

**<E> -> special\_id**

**<E> -> true**

**<E> -> false**

**<E> -> INT\_LITERAL**

**<E> -> DOUBLE\_LITERAL**

**<E> -> STRING\_LITERAL**