

UNIVERZITET U BEOGRADU
MATEMATIČKI FAKULTET



Ivan Ristović

KREIRANJE ZAJEDNIČKE AST APSTRAKCIJE ZA RAZLIČITE PROGRAMSKE JEZIKE

master rad

Beograd, 2020.

Mentor:

doc. dr Milena VUJOŠEVIĆ-JANIČIĆ
Univerzitet u Beogradu, Matematički fakultet

Članovi komisije:

dr Ana ANIĆ
University of Disneyland, Nedodija

dr Laza LAZIĆ
Univerzitet u Beogradu, Matematički fakultet

Datum odbrane: _____

TODO zahvalnica

Naslov master rada: Kreiranje zajedničke AST apstrakcije za različite programske jezike

Rezime: Fijuče vetar u šiblju, ledi pasaže i kuće iza njih i gunda u odžacima. Nidžo, čežnjivo gledaš fotelju, a Đura i Mika hoće poziciju sebi. Ljudi, jazavac Džef trči po šumi glođući neko suho žbunje. Ljubavi, Olga, hajde pođi u Fudži i čut ćeš nježnu muziku srca. Boja vaše haljine, gospođice Džafić, traži da za nju kulućim. Hadži Đera je začutao i bacio čežnjiv pogled na šolju s kafom. Džabe se zec po Homolju šunja, čuvar Jožef lako će i tu da ga nađe. Odžaćar Filip šalje osmehe tuđoj ženi, a njegova kuća bez dece. Butić Đuro iz Foče ima pun džak ideja o slaganju vaših željica. Džajić odskoči u aut i izbeže đon halfa Pecelja i njegov šamar. Plamte odžaci fabrika a čađave guje se iz njih dižu i šalju noć. Ajšo, lepoto i čežnjo, za ljubav srca moga, dođi u Hadžiće na kafu. Hući šuma, a iza žutog džbuna i panja đak u cveću delje seji frulu. Goci i Jaćimu iz Banje Koviljače, flaša džina i žeđ padahu u istu uru. Džaba što Feđa čupa za kosu Milju, ona juri Živu, ali njega hoće i Daga. Dok je Fehim u džipu žurno ljubio Zagu Čadević, Cile se ušunjao u auto. Fijuče košava nad odžacima a Ilja u gunju žureći uđe u suhu i toplu izbu. Bože, džentlmeni osećaju fizičko gađenje od prljavih šoljica! Dočepaće njega jaka šefica, vođena ljutom srdžbom zlih žena. Pazi, gedžo, brže odnesi šefu taj đavolji ček: njim plaća ceh. Fine džukce ozleđuje bič: odgoj ih pažnjom, strpljivošću. Zamišljao bi kafedžiju vlažnih prstića, crnjeg od čađi. Daće, uštedu plaćaj žaljenjem zbog džinovskih cifara. Džikljaće žalfija između tog busenja i pešćanih dvoraca. Zašto gđa Hadžić leći živce: njena ljubav pred fijaskom? Jež hoće peckanjem da vređa ljubičastog džina iz flaše. Džej, ljubičast zec, laže: gađaće odmah pokvašen fenjer. Plašljiv zec hoće jeftinu dinju: grožđe iskamči džabe. Džak je pun žica: čućeš tad svađu zbog lomljenja harfe. Čuj, džukac Flop bez daha s gađenjem žvaće stršljena. Oh, zadnji šraf na džipu slab: muž gđe Cvijić ljut koči. Šef džabe zvižduće: mlađi hrt jače kljuca njenog psa. Odbaciće kavgadžija plaštom čađ u željezni fenjer. Deblji krojač: zgužvah smeđ filc u tanjušni džepić. Džo, zgužvaćeš tiho smeđ filc najdeblje krpenjače. Štef, bacih slomljen dečji zvrk u džep gđe Žunjić. Debljoj zgužvah smeđ filc — njen škrt džepčić.

Ključne reči: TODO

Sadržaj

1	Uvod	1
2	Pregled relevantnih pojmova	3
2.1	Apstraktna sintaksna stabla - AST	3
2.2	ANTLR	10
3	Zaključak	11
	Literatura	13

Glava 1

Uvod

Fijuče vetar u šiblju, ledi pasaže i kuće iza njih i gunđa u odžacima. Nidžo, čežnjivo gledaš fotelju, a Đura i Mika hoće poziciju sebi. Ljudi, jazavac Džef trči po šumi glođući neko suho žbunje. Ljubavi, Olga, hajde pođi u Fudži i čut ćeš nježnu muziku srca. Boja vaše haljine, gospođice Džafić, traži da za nju kulućim. Hadži Đera je začutao i bacio čežnjiv pogled na šolju s kafom. Džabe se zec po Homolju šunja, čuvar Jožef lako će i tu da ga nađe. Odžaćar Filip šalje osmehe tuđoj ženi, a njegova kuća bez dece. Butić Đuro iz Foče ima pun džak ideja o slaganju vaših željica. Džajić odskoči u aut i izbeže đon halfa Pecelja i njegov šamar. Plamte odžaci fabrika a čađave guje se iz njih dižu i šalju noć. Ajšo, lepoto i čežnjo, za ljubav srca moga, dođi u Hadžiće na kafu. Hući šuma, a iza žutog džbuna i panja đak u cveću delje seji frulu. Goci i Jaćimu iz Banje Koviljače, flaša džina i žeđ padahu u istu uru. Džaba što Feđa čupa za kosu Milju, ona juri Živu, ali njega hoće i Daca. Dok je Fehim u džipu žurno ljubio Zagu Čadević, Cile se ušunjao u auto. Fijuče košava nad odžacima a Ilja u gunju žureći uđe u suhu i toplu izbu. Bože, džentlmeni osećaju fizičko gađenje od prljavih šoljica! Dočepaće njega jaka šefica, vođena ljutom srdžbom zlih žena. Pazi, gedžo, brže odnesi šefu taj đavolji ček: njim plaća ceh. Fine džukce ozleđuje bič: odgoj ih pažnjom, strpljivošću. Zamišljao bi kafedžiju vlažnih prstića, crnjeg od čađi. Đaće, uštedu plaćaj žaljenjem zbog džinovskih cifara. Džikljaće žalfija između tog busenja i peščanih dvoraca. Zašto gđa Hadžić leći živce: njena ljubav pred fijaskom? Jež hoće peckanjem da vredi ljubičastog džina iz flaše. Džej, ljubičast zec, laže: gađaće odmah pokvašen fenjer. Plašljiv zec hoće jeftinu dinju: grožđe iskamči džabe. Džak je pun žica: čućeš tad svađu zbog lomljenja harfe. Čuj, džukac Flop bez daha s gađenjem žvaće stršljena. Oh, zadnji šraf na džipu slab:

muž gđe Cvijić ljut koči. Šef džabe zvižduće: mlađi hrt jače kljuca njenog psa. Odbaciće kavgadžija plaštom čađ u željezni fenjer. Deblji krojač: zgužvah smeđ filc u tanjušni džepić. Džo, zgužvaćeš tiho smeđ filc najdeblje krpenjače. Štef, bacih slomljen dečji zvrk u džep gđe Žunjić. Debljoj zgužvah smeđ filc — njen škrt džepčić.

Glava 2

Pregled relevantnih pojmova

U ovom poglavlju će biti opisani koncepti i alati čije je razumevanje potrebno kako bi se razumeo opis dalje apstrakcije i implementacije samog programa. Umesto analize samog sadržaja izvornog koda analizira se *apstraktno sintaksno stablo* (eng. *Abstract Syntax Tree*, u daljem tekstu *AST*), opisano u odeljku 2.1. Alat koji je korišćen za generisanje parsera za proizvoljnu gramatiku jezika se zove *Another Tool For Language Recognition* [1], u daljem tekstu *ANTLR*, opisan u odeljku 2.2. Parser generiše AST specifičan za datu gramatiku i nema sličnosti u dobijenim apstrakcijama za različite jezike. Kako bismo poredili stabla različitih jezika, kreiramo reprezentaciju na višem nivou i specifični AST podižemo na taj nivo. Ta reprezentacija će biti opisana u narednim poglavljima, kao i načini kako se ona može analizirati. Takođe, pojmovi specifični za implementaciju će takođe biti opisani u ovom poglavlju.

2.1 Apstraktna sintaksna stabla - AST

Kako bi se od datoteke na fajl sistemu koja sadrži izvorni kod programa došlo do izvršivog programa, potrebno je izvršiti više koraka [4]:

- pretprocesiranje
- prevođenje
- asembliranje
- linkovanje

Ovi koraci će biti opisani na jednom primeru. Pretpostavimo da želimo da kompajliramo kod pisan u programskom jeziku C prikazan na slici 2.1. Primetimo da postoji greška u datom kodu - simbol `c` koji se koristi u dodeli `a = a + c` će biti prepoznat kao identifikator koji ne odgovara nijednoj deklarisanom promenljivoj - stoga ne možemo prevesti ovaj kod. Ovo, doduše, nije sintakсна greška - izraz `a + c` je sasvim validan u programskom jeziku C bez analize konteksta u kom se javlja. Problem će postati očigledan tek nakon parsiranja izvornog koda i provere ispunjenosti sintakskih pravila. Ovakve greške se nazivaju *semantičke greške*.

```
1      #include<stdio.h>
2
3      #define T int
4
5      int main()
6      {
7          T a, b;
8          a = a + c;          // c nije deklarirano
9          printf("%d", a);
10         return 0;
11     }
```

Slika 2.1: Primer izvornog koda pisanog u programskom jeziku C.

U fazi pretprocesiranja se vrše samo tekstualne operacije kao što su brisanje komentara ili zamena makroa u jezicima kao što je C. Prvo mesto gde se vrši analiza sadržaja izvornog fajla je faza prevođenja. Tu analizu vrši program koji se naziva *pretprocesor*. Rezultat rada pretprocesora za kod sa slike 2.1 bi izgledao kao na slici 2.2 ¹ i ovo nije slučaj u datom okruženju.

Prilikom faze prevođenja, kako prevodilac ne bi radio nad sirovim karakterima izvornog koda, potrebno je izvršiti pripremu istog. Prevodilac ima u vidu moguće elemente programskog jezika, tzv. *tokene*, koje treba prepoznati u datom fajlu - ključne reči, operatore, promenljive itd. Program koji radi *tokenizaciju* - prepoznavanje tokena u izvornom fajlu - se naziva *lekser*. Pojednostavljen primer

¹ U nekim implementacijama C standardne biblioteke, moguće je da se poziv funkcije `printf` zameni pozivom funkcije `fprintf` sa ispisom na `stdout`. U standardu se propisuje da funkcije kao što je `printf` mogu biti implementirane kao makroi. Izlaz na slici 2.2 je generisan od strane GCC 7.4.0 po C11 standardu.

```
1      int main()
2      {
3          int a, b;
4          a = a + c;
5          printf("%d", a);
6          return 0;
7      }
```

Slika 2.2: Rezultat rada pretprocesora za kod sa slike 2.1.

tokena koje lekser pokušava da prepozna se može videti na slici 2.3. Primer izlaza leksera za izlaz pretprocesora sa slike 2.2 se može videti na slici 2.4 ².

```
1      Identifier : IdentifierNondigit
2                  (IdentifierNondigit | Digit)*
3                  ;
4
5      IdentifierNondigit : Nondigit
6                          | UniversalCharacterName
7                          ;
8
9      Nondigit : [a-zA-Z_]
10             ;
11
12     Digit : [0-9]
13         ;
```

Slika 2.3: Primer delimične definicije tokena za ime promenljive po C11 standardu.

Nakon završetka rada leksera potrebno je parsirati dobijene tokene. Parsiranje vrši program koji se naziva *parser*. Parser, slično kao što lekser ima definicije tokena jezika, mora imati informacije o gramatici jezika. Gramatika programskog jezika se najčešće definiše putem kontekstno-slobodnih gramatika [3], čiji je primer dat na slici 2.5.

Izlaz rada parsera je *stablo parsiranja* (eng. *parse tree* ili *derivation tree*). Takvo stablo i dalje sadrži sve relevantne informacije o izvornom kodu. Vizuelni

²Moderni kompajleri nemaju zapravo odvojene faze u kojima se pozivaju lekser i parser, već se tokenizacija odvija paralelno sa fazom parsiranja. Međutim, to nas ne sprečava da ispišemo tokene svaki put kada ih registrujemo, i to je demonstrirano na slici 2.4.

```

1      identifier 'main'      [LeadingSpace] Loc=<sample.c:3:5>
2      l_paren '('           Loc=<sample.c:3:9>
3      r_paren ')'           Loc=<sample.c:3:10>
4      l_brace '{'           [StartOfLine]  Loc=<sample.c:4:1>
5      int 'int'             [StartOfLine]  [LeadingSpace]
                               Loc=<sample.c:5:5>
6      identifier 'a'        [LeadingSpace] Loc=<sample.c:5:9>
7      comma ','             Loc=<sample.c:5:10>
8      identifier 'b'        [LeadingSpace] Loc=<sample.c:5:12>
9      semi ';'              Loc=<sample.c:5:13>
10     identifier 'a'        [StartOfLine]  [LeadingSpace]
                               Loc=<sample.c:6:5>
11     equal '='             [LeadingSpace] Loc=<sample.c:6:7>
12     identifier 'a'        [LeadingSpace] Loc=<sample.c:6:9>
13     plus '+'              [LeadingSpace] Loc=<sample.c:6:11>
14     identifier 'c'        [LeadingSpace] Loc=<sample.c:6:13>
15     semi ';'              Loc=<sample.c:6:14>
16     identifier 'printf'    [StartOfLine]  [LeadingSpace]
                               Loc=<sample.c:7:5>
17     l_paren '('           Loc=<sample.c:7:11>
18     string_literal '%"d"'  Loc=<sample.c:7:12>
19     comma ','             Loc=<sample.c:7:16>
20     identifier 'a'        [LeadingSpace] Loc=<sample.c:7:18>
21     r_paren ')'           Loc=<sample.c:7:19>
22     semi ';'              Loc=<sample.c:7:20>
23     return 'return'        [StartOfLine]  [LeadingSpace]
                               Loc=<sample.c:8:5>
24     numeric_constant '0'   [LeadingSpace]
                               Loc=<sample.c:8:12>
25     semi ';'              Loc=<sample.c:8:13>
26     r_brace '}'           [StartOfLine]  Loc=<sample.c:9:1>
27     eof ' '               Loc=<sample.c:9:2>

```

Slika 2.4: Proces tokenizacije koda pisanog po C11 gramatici. Generisano uz pomoć clang [2] kompajlera.

prikaz rada parsera za gramatiku sa slike C11 i izvornog koda sa slike 2.2 je dat na slici 2.6. Stablo parsiranja se koristi u narednim fazama prevođenja.

Za potrebe ovog rada, što se kompilacionog procesa tiče, dovoljno je poznavanje navedenog. Stoga neće biti reči o daljim koracima u fazi prevođenja (semantička provera i sl.) niti o fazama asembliranja i linkovanja. Zainteresovani čitalac može više detalja pronaći u [4].

```
1      functionDefinition
2          :      declarationSpecifiers? declarator
              declarationList? compoundStatement
3          ;
4
5      declarationList
6          :      declaration
7          |      declarationList declaration
8          ;
9
10     declaration
11         :      declarationSpecifiers initDeclaratorList ';'
12         |      declarationSpecifiers ';'
13         |      staticAssertDeclaration
14         ;
```

Slika 2.5: Isečak gramatike programskog jezika C po standardu C11.

Stablo parsiranja sadrži sve informacije potrebne u fazi parsiranja uključujući detalje koje samo parser koristi. Sa druge strane, apstraktno sintakšno stablo sadrži samo sintakšnu strukturu u jednostavnijoj formi. Na slici 2.7 se može videti koliko je stablo parsiranja komplikovano čak i za naizgled jednostavne aritmetičke izraze. Razlog ovolike komplikovanosti dolazi iz rekurzivnih pravila definisanih u C11 gramatici. Parseru su sve ove informacije potrebne ali na apstratnijem nivou nisu potrebne. Jedina važna odlika izraza $a + c$ je ta da je to zbir vrednosti nekih promenljivih. Sve ostale informacije su nepotrebne. Na slici 2.8 možemo videti različita apstraktna sintakšna stabla za pomenuti izraz, ali takođe i za malo komplikovanije izraze. Podrazumeva se, naravno, da je ulaz već tokenizovan.

Uloga apstraktnih sintakšnih stabala je da pokažu semantiku strukture koda preko stabala. Kao što se vidi na slici 2.8, postoji određen nivo slobode u dizajniranju ovih stabala. Generalno, *terminalni simboli*, simboli koji predstavljaju listove stabla parsera, koji odgovaraju operatorima i naredbama se podižu naviše i postaju koreni podstabala, dok se njihovi operandi ostavljaju kao njihovi potomci u stablu. Desna stabla sa slike ne prate u potpunosti ovaj princip, ali se takođe koriste zbog regularnosti izraza - recimo ukoliko binarni izraz posmatramo kao koncept, mnogo je lakše raditi sa ovakvom strukturom. Ovakva struktura će biti korišćena u dalje u implementaciji programa. Primetimo takođe da se u stablima za izraz $a + (3 - c)$ (dole) implicitno sačuvala informacija o prioritetu operaci-

Studio: <https://github.com/zspitz/antlr4ParseTreeVisualizer>

je oduzimanja u izrazu. Jasno je, dakle, da se računanje vrednosti aritmetičkih izraza onda vrši kretanjem od listova stabla ka korenu.

Može se приметити da su apstraktna sintaksna stabla zapravo apstrakcija stabla parsiranja, jer više istih izraza jezika može imati isto apstraktno sintaksno stablo ali različito stablo parsiranja; na primer, ako razmatramo izraz $(a + 5) - x / 2$ i izraz $a + 5 - (x / 2)$.

Apstrakna sintakсна stabla će u daljem tekstu biti referisana skraćenicom *AST*, koja dolazi od engleskog naziva za ova stabla - *Abstract Syntax Trees*. Takođe, reči samom dizajnu i tipovima čvorova AST-ova korišćenih u implementaciji će biti u poglavlju ???. U narednom poglavlju će više biti reči o alatu koji je korišćen za kreiranje parsera za C11 gramatiku (ali i za proizvoljne gramatike), koji daje mo-

GLAVA 2. PREGLED RELEVANTNIH POJMOVA

id	token	line	col	lexeme	lookahead	isEOF
7	Comma	3	6	,	(21, 21)	<input type="checkbox"/>
8	Identifier	3	8	b	(23, 23)	<input type="checkbox"/>
9	Semi	3	9	;	(24, 24)	<input type="checkbox"/>
10	Identifier	4	1	a	(28, 28)	<input type="checkbox"/>
11	Assign	4	3	=	(30, 30)	<input type="checkbox"/>
12	Identifier	4	5	a	(32, 32)	<input checked="" type="checkbox"/>
13	Plus	4	7	+	(34, 34)	<input checked="" type="checkbox"/>
14	Identifier	4	9	c	(36, 36)	<input checked="" type="checkbox"/>
15	Semi	4	10	;	(37, 37)	<input type="checkbox"/>
16	Identifier	5	1	printf	(41, 46)	<input type="checkbox"/>
17	LeftParen	5	7	((47, 47)	<input type="checkbox"/>
18	StringLiteral	5	8	"\n%d"	(48, 51)	<input type="checkbox"/>
19	Comma	5	12	,	(52, 52)	<input type="checkbox"/>
20	Identifier	5	14	a	(54, 54)	<input type="checkbox"/>
21	RightParen	5	15)	(55, 55)	<input type="checkbox"/>
22	Semi	5	16	;	(56, 56)	<input type="checkbox"/>
23	Return	6	1	return	(60, 65)	<input type="checkbox"/>
24	Constant	6	8	0	(67, 67)	<input type="checkbox"/>
25	Semi	6	9	;	(68, 68)	<input type="checkbox"/>
26	RightBrace	7	0	}	(71, 71)	<input type="checkbox"/>


```

assignmentOperator
├─ assignmentExpression
│   ├─ conditionalExpression
│   │   ├─ logicalOrExpression
│   │   │   ├─ logicalAndExpression
│   │   │   │   ├─ inclusiveOrExpression
│   │   │   │   │   ├─ exclusiveOrExpression
│   │   │   │   │   │   ├─ andExpression
│   │   │   │   │   │   │   ├─ equalityExpression
│   │   │   │   │   │   │   │   ├─ relationalExpression
│   │   │   │   │   │   │   │   │   ├─ shiftExpression
│   │   │   │   │   │   │   │   │   │   ├─ additiveExpression
│   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   ├─ additiveExpression
│   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   ├─ multiplicativeExpression
│   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   ├─ castExpression
│   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   ├─ unaryExpression
│   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   ├─ postfixExpression
│   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   └─ primaryExpression
│   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   └─ "a"
│   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   └─ "+"
│   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   └─ multiplicativeExpression
│   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   └─ castExpression
│   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   └─ unaryExpression
│   │   │   │   │   │   │   │   │   │   │   └─ postfixExpression
│   │   │   │   │   │   │   │   │   └─ primaryExpression
│   │   │   │   │   │   │   └─ "c"
│   │   │   │   │   │   └─ "a"
│   │   │   │   │   └─ "a"
│   │   │   │   └─ "a"
│   │   └─ "a"
│   └─ "a"
└─ "a"

```



```

blockItem
├─ blockItem
└─ "}"

```

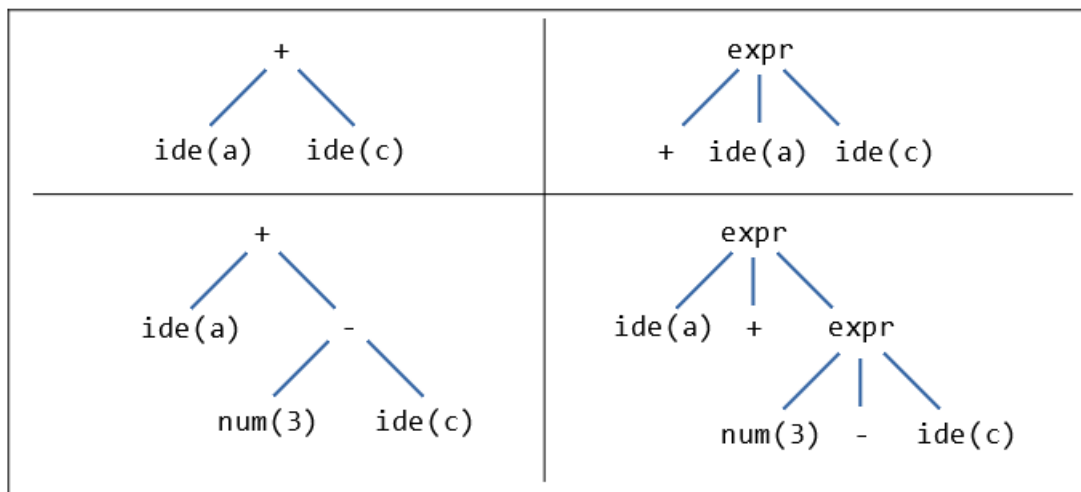

Source:

```

int main() { int a, b; a = a + c; printf("%d", a); return 0; }

```

Slika 2.7: Prikaz kompleksnosti stabla parsiranja za izraz `a + c` u C11 gramatici. Vizualizacija prikazana pomoću dodatka za Visual Studio: <https://github.com/zspitz/ANTLR4ParseTreeVisualizer>



Slika 2.8: Varijante apstraktnih sintaksnih stabala bez regularnosti (levo) i sa regularnošću (desno) za izraze `a + c` (gore) i `a + (3 - c)` (dole).

gućnost jednostavnog obilaska istog i pruža intuitivan način za izvršavanje logike nad stablom parsiranja, što uključuje i izradu AST-a apstrakcije.

2.2 ANTLR

Fijuče vetar u šiblju, ledi pasaže i kuće iza njih i gundā u odžacima. Nidžo, čežnjivo gledaš fotelju, a Đura i Mika hoće poziciju sebi. Ljudi, jazavac Džef trči po šumi glođući neko suho žbunje. Ljubavi, Olga, hajde pođi u Fudži i čut ćeš nježnu muziku srca. Boja vaše haljine, gospođice Džafić, traži da za nju kulućim. Hadži Đera je začutao i bacio čežnjiv pogled na šolju s kafom. Džabe se zec po Homolju šunja, čuvar Jožef lako će i tu da ga nađe. Odžacar Filip šalje osmehe tuđoj ženi, a njegova kuća bez dece. Butić Đuro iz Foče ima pun džak ideja o slaganju vaših željica. Džajić odskoči u aut i izbeže đon halfa Pecelja i njegov šamar. Plamte odžaci fabrika a čadave guje se iz njih dižu i šalju noć. Ajšo, lepoto i čežnjo, za ljubav srca moga, dođi u Hadžiće na kafu. Hući šuma, a iza žutog džbuna i panja đak u cveću delje seji frulu. Goci i Jaćimu iz Banje Koviljače, flaša džina i žeđ padahu u istu uru. Džaba što Feđa čupa za kosu Milju, ona juri Živu, ali njega hoće i Daca. Dok je Fehim u džipu žurno ljubio Zagu Čadević, Cile se ušunjao u auto. Fijuče košava nad odžacima a Ilja u gunju žureći uđe u suhu i toplu izbu. Bože, džentlmeni osećaju fizičko gađenje od prljavih šoljica! Dočepaće njega jaka šefica, vođena ljutom srdžbom zlih žena. Pazi, gedžo, brže odnesi šefu taj đavolji ček: njim plaća ceh. Fine džukce ozleđuje bič: odgoj ih pažnjom, strpljivošću. Zamišljao bi kafedžiju vlažnih prstića, crnjeg od čađi. Daće, uštedu plaćaj žaljenjem zbog džinovskih cifara. Džikljaće žalfija između tog busenja i peščanih dvoraca. Zašto gđa Hadžić leći živce: njena ljubav pred fijaskom? Jež hoće peckanjem da vređa ljubičastog džina iz flaše. Džej, ljubičast zec, laže: gađaće odmah pokvašen fenjer. Plašljiv zec hoće jeftinu dinju: grožđe iskamči džabe. Džak je pun žica: čućeš tad svađu zbog lomljenja harfe. Čuj, džukac Flop bez daha s gađenjem žvaće stršljena. Oh, zadnji šraf na džipu slab: muž gđe Cvijić ljut koči. Šef džabe zvižduće: mlađi hrt jače kljuca njenog psa. Odbaciće kavgadžija plaštom čađ u željezni fenjer. Deblji krojač: zgužvah smeđ filc u tanjušni džepić. Džo, zgužvaćeš tiho smeđ filc najdeblje krpenjače. Štef, bacih slomljen dečji zvrk u džep gđe Žunjić. Debljoj zgužvah smeđ filc — njen škrt džepčić.

Glava 3

Zaključak

Fijuče vetar u šiblju, ledi pasaže i kuće iza njih i gunđa u odžacima. Nidžo, čežnjivo gledaš fotelju, a Đura i Mika hoće poziciju sebi. Ljudi, jazavac Džef trči po šumi glođući neko suho žbunje. Ljubavi, Olga, hajde pođi u Fudži i čut ćeš nježnu muziku srca. Boja vaše haljine, gospođice Džafić, traži da za nju kulućim. Hadži Đera je začutao i bacio čežnjiv pogled na šolju s kafom. Džabe se zec po Homolju šunja, čuvar Jožef lako će i tu da ga nađe. Odžačar Filip šalje osmehe tuđoj ženi, a njegova kuća bez dece. Butić Đuro iz Foče ima pun džak ideja o slaganju vaših željica. Džajić odskoči u aut i izbeže đon halfa Pecelja i njegov šamar. Plamte odžaci fabrika a čađave guje se iz njih dižu i šalju noć. Ajšo, lepoto i čežnjo, za ljubav srca moga, dođi u Hadžiće na kafu. Hući šuma, a iza žutog džbuna i panja đak u cveću delje seji frulu. Goci i Jaćimu iz Banje Koviljače, flaša džina i žeđ padahu u istu uru. Džaba što Feđa čupa za kosu Milju, ona juri Živu, ali njega hoće i Daca. Dok je Fehim u džipu žurno ljubio Zagu Čadević, Cile se ušunjao u auto. Fijuče košava nad odžacima a Ilja u gunju žureći uđe u suhu i toplu izbu. Bože, džentlmeni osećaju fizičko gađenje od prljavih šoljica! Dočepaće njega jaka šefica, vođena ljutom srdžbom zlih žena. Pazi, gedžo, brže odnesi šefu taj đavolji ček: njim plaća ceh. Fine džukce ozleđuje bič: odgoj ih pažnjom, strpljivošću. Zamišljao bi kafedžiju vlažnih prstića, crnjeg od čađi. Đaće, uštedu plaćaj žaljenjem zbog džinovskih cifara. Džikljaće žalfija između tog busenja i peščanih dvoraca. Zašto gđa Hadžić leći živce: njena ljubav pred fijaskom? Jež hoće peckanjem da vredi ljubičastog džina iz flaše. Džej, ljubičast zec, laže: gađaće odmah pokvašen fenjer. Plašljiv zec hoće jeftinu dinju: grožđe iskamči džabe. Džak je pun žica: čućeš tad svađu zbog lomljenja harfe. Čuj, džukac Flop bez daha s gađenjem žvaće stršljena. Oh, zadnji šraf na džipu slab:

muž gđe Cvijić ljut koči. Šef džabe zvižduće: mlađi hrt jače kljuca njenog psa. Odbaciće kavgadžija plaštom čađ u željezni fenjer. Deblji krojač: zgužvah smeđ filc u tanjušni džepić. Džo, zgužvaćeš tiho smeđ filc najdeblje krpenjače. Štef, bacih slomljen dečji zvrk u džep gđe Žunjić. Debljoj zgužvah smeđ filc — njen škrt džepčić.

Fijuče vetar u šiblju, ledi pasaže i kuće iza njih i gundā u odžacima. Nidžo, čežnjivo gledaš fotelju, a Đura i Mika hoće poziciju sebi. Ljudi, jazavac Džef trči po šumi glođući neko suho žbunje. Ljubavi, Olga, hajde pođi u Fudži i čut ćeš nježnu muziku srca. Boja vaše haljine, gospođice Džafić, traži da za nju kulućim. Hadži Đera je začutao i bacio čežnjiv pogled na šolju s kafom. Džabe se zec po Homolju šunja, čuvar Jožef lako će i tu da ga nađe. Odžacar Filip šalje osmehe tuđoj ženi, a njegova kuća bez dece. Butić Đuro iz Foče ima pun džak ideja o slaganju vaših željica. Džajić odskoči u aut i izbeže đon halfa Pecelja i njegov šamar. Plamte odžaci fabrika a čađave guje se iz njih dižu i šalju noć. Ajšo, lepoto i čežnjo, za ljubav srca moga, dođi u Hadžiće na kafu. Hući šuma, a iza žutog džbuna i panja đak u cveću delje seji frulu. Goci i Jaćimu iz Banje Koviljače, flaša džina i žeđ padahu u istu uru. Džaba što Feđa čupa za kosu Milju, ona juri Živu, ali njega hoće i Daga. Dok je Fehim u džipu žurno ljubio Zagu Čadević, Cile se ušunjao u auto. Fijuče košava nad odžacima a Ilja u gunju žureći uđe u suhu i toplu izbu. Bože, džentlmeni osećaju fizičko gađenje od prljavih šoljica! Dočepaće njega jaka šefica, vođena ljutom srdžbom zlih žena. Pazi, gedžo, brže odnesi šefu taj đavolji ček: njim plaća ceh. Fine džukce ozleđuje bič: odgoj ih pažnjom, strpljivošću. Zamišljao bi kafedžiju vlažnih prstića, crnjeg od čađi. Đaće, uštedu plaćaj žaljenjem zbog džinovskih cifara. Džikljaće žalfija između tog busenja i peščanih dvoraca. Zašto gđa Hadžić leći živce: njena ljubav pred fijaskom? Jež hoće peckanjem da vređa ljubičastog džina iz flaše. Džej, ljubičast zec, laže: gađaće odmah pokvašen fenjer. Plašljiv zec hoće jeftinu dinju: grožđe iskamči džabe. Džak je pun žica: čućeš tad svađu zbog lomljenja harfe. Čuj, džukac Flop bez daha s gađenjem žvaće stršljena. Oh, zadnji šraf na džipu slab: muž gđe Cvijić ljut koči. Šef džabe zvižduće: mlađi hrt jače kljuca njenog psa. Odbaciće kavgadžija plaštom čađ u željezni fenjer. Deblji krojač: zgužvah smeđ filc u tanjušni džepić. Džo, zgužvaćeš tiho smeđ filc najdeblje krpenjače. Štef, bacih slomljen dečji zvrk u džep gđe Žunjić. Debljoj zgužvah smeđ filc — njen škrt džepčić.

Literatura

- [1] ANTLR4. <https://www.antlr.org/>.
- [2] Clang. <https://clang.llvm.org/>.
- [3] Context-Free Grammars. https://www.cs.rochester.edu/~nelson/courses/csc_173/grammars/cfg.html.
- [4] William M. Waite and Gerhard Goos. *Compiler Construction*. 1995.

Biografija autora

Ivan Ž. Ristović rođen je 17.01.1995. godine u Užicu. Osnovnu školu, kao i prirodno-matematički smer Užičke gimnazije, završio je kao nosilac Vukove diplome. Tokom navedenog perioda školovanja isticao se u oblastima matematike, informatike, fizike, hemije i engleskog jezika, što potvrđuje veći broj nagrada na Državnim takmičenjima.

Smer Informatika na Matematičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu upisuje 2014. godine. Na navedenom smeru je diplomirao 2018. godine, posle tri godine studija sa prosečnom ocenom 9,17. Master studije upisuje na istom fakultetu odmah nakon diplomiranja.

U avgustu 2018. biva izabran u zvanje „Saradnik u nastavi“ na Matematičkom fakultetu paralelno sa master studijama. Drži vežbe iz kurseva „Računarske mreže“, „Funkcionalno programiranje“, „Programske paradigme“ i „Objektno orijentisano programiranje“ na kasnijim godinama osnovnih studija.

Oblasti interesovanja uključuju pre svega razvoj i verifikaciju softvera, mikroservise i računarske mreže.