

Dodatak A. Programski jezik MikroJava

Ovaj dodatak opisuje programski jezik MikroJava koji se koristi u praktičnom delu kursa programskih prevodilaca (13E114PP1, 13S114PP1) na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Mikrojava je slična Javi, ali je mnogo jednostavnija.

A.1 Opšte osobine jezika

- MikroJava program počinje ključnom rečju *program* i ima statička polja, statičke metode, interfejse i unutrašnje klase koje se mogu koristiti kao (korisnički) tipovi podataka.
- Glavna metoda MikroJava programa se uvek zove *main()*. Kada se poziva MikroJava program izvršava se ta metoda.
- Postoje
 - Celobrojne, znakovne i logičke konstante (*int*, *char*, *bool*).
 - Osnovni tipovi: *int*, *bool*, *char* (Ascii), *nabranjanja*.
 - Promenljive: globalne (statičke), lokalne, klasne (polja);
 - Promenljive osnovnih tipova sadrže vrednosti.
 - Strukturirani/referencijalni tipovi: jednodimenzionalni nizovi kao u Javi, interfejsi i unutrašnje klase sa poljima i metodama.
 - Promenljive referencijalnih tipova predstavljaju reference (sadrže adrese koje se ne mogu menjati eksplicitno);
 - Statičke metode u programu.
- Ne postoji garbage kolektor (alocirani objekti se samo dealociraju nakon kraja programa).
- Postoji nasleđivanje klasa, implementiranje interfejsa i polimorfizam.
- Postoji redefinisane metoda.
- Metode unutrašnjih klasa su vezane za instancu i imaju implicitni parametar *this* (referenca na instancu klase za koju je pozvana metoda).
- Referenca "this" se implicitno deklarise u metodama unutrašnjih klasa kao prvi formalni argument tipa reference na klasu kojoj metoda pripada.
- Predeklarisane procedure su *ord*, *chr*, *len*.
- Metoda *print* ispisuje vrednosti svih osnovnih tipova.
- Od kontrolnih struktura postoji uslovno grananje (if-else), kao i ciklus (for).

Primer programa

```
program P
const int size = 10;
enum Num { ZERO, ONE, TEN = 10 }
interface I{
    int getp(int i);
    int getn(int i);
}
class Table implements I{
    int pos[], neg[];
    {
        void putp (int a, int idx) { this.pos[idx]=a; }
        void putn (int a, int idx) { this.neg[idx]=a; }
        int getp (int idx) { return pos[idx]; }
        int getn (int idx) { return neg[idx]; }
    }
}
Table val;
{
void f(char ch, int a, int arg)
int x;
{
    x = arg;
}
void
main()
int x, i;
char c;
{ //----- Initialize val
    val = new Table;
    val.pos = new int [size];
    val.neg = new int [size];
    for (i = 0; i<size; i++)
    {
        val.putp(0,i);
        val.putn(0,i);
    }
    f(c, x, i);

    //----- Read values
    read(x);
    for (;x > 0;)
    {
        if (Num.ZERO <= x && x < size)
        {
            val.putp(val.getp(x)+Num.ONE);
        } else
        if (-size < x && x < 0)
        {
            val.putn(val.getn(-x)+1);
        }
        read(x);
    }
}
}
```

A.2 Sintaksa

Program	= "program" ident {ConstDecl | VarDecl | ClassDecl | EnumDecl | InterfaceDecl} {" {MethodDecl} "};"
ConstDecl	= "const" Type ident "=" (numConst | charConst | boolConst) {, ident "=" (numConst | charConst | boolConst) } ";"
EnumDecl	= "enum" ident "{" ident ["=" numConst] {" , ident ["=" numConst] } "}"
VarDecl	= Type ident ["[" "]"] {" , ident ["[" "]"] } ";"
ClassDecl	= "class" ident ["extends" Type] ["implements" Type {" , Type}] {" {VarDecl} {" {MethodDecl} } "}"
InterfaceDecl	= "interface" ident {" {InterfaceMethodDecl} "}"
InterfaceMethodDecl	= (Type | "void") ident "(" [FormPars] ")" ";"
MethodDecl	= (Type | "void") ident "(" [FormPars] ")" {VarDecl} {" {Statement} "}"
FormPars	= Type ident ["[" "]"] {" , Type ident ["[" "]"] }
Type	= ident.
Statement	= DesignatorStatement ";" | "if" "(" Condition ")" Statement ["else" Statement] | "for" "(" [DesignatorStatement] ";" [Condition] ";" [DesignatorStatement] ")" Statement | "break" ";" | "continue" ";" | "return" [Expr] ";" | "read" "(" Designator ")" ";" | "print" "(" Expr [, numConst ] ")" ";" | "{" {Statement} "}";
DesignatorStatement	= Designator (Assignop Expr | "(" [ActPars] ")") | "++" | "--")
ActPars	= Expr {" , Expr }.
Condition	= CondTerm {" | " CondTerm }.
CondTerm	= CondFact {"&&" CondFact }.
CondFact	= Expr [Relop Expr].
Expr	= ["-"] Term {Addop Term }.
Term	= Factor {Mulop Factor }.
Factor	= Designator ["(" [ActPars] ")"] | numConst | charConst | boolConst | "new" Type ["[" Expr "]" ] | "(" Expr ")";
Designator	= ident {" . ident | "[" Expr "]" }.
Assignop	= "=".
Relop	= "==" | "!=" | ">" | ">=" | "<" | "<=".
Addop	= "+" | "-".
Mulop	= "*" | "/" | "%".

Leksičke Strukture

Ključne reči:	program, break, class, interface, enum, else, const, if, new, print, read, return, void, for, extends, continue
Vrste tokena :	ident = letter {letter | digit | "_"}. numConst = digit {digit}. charConst = "" printableChar "". boolConst = ("true" | "false").
Operatori:	+, -, *, /, %, ==, !=, >, >=, <, <=, &&, ||, =, ++, --, ;, zarez, ., (,), [,], {, }
Komentari:	// do kraja linije

A.3 Semantika

Svi pojmovi u ovom dokumentu, koji imaju definiciju, su podvučeni da bi se naglasilo njihovo posebno značenje. Definicije tih pojmova su date u nastavku.

Tip reference

Nizovi, interfejsi i klase su tipa reference.

Tip konstante

- Tip celobrojne konstante (npr. 17) je `int`.
- Tip znakovne konstante (npr. 'x') je `char`.
- Tip logičke konstante (npr. `True`) je `bool`.

Ekvivalentni tipovi podataka

Dva tipa podataka su ekvivalentna

- ako imaju isto ime, ili
- ako su oba nizovi, a tipovi njihovih elemenata su ekvivalentni.

Kompatibilni tipova podataka

Dva tipa podataka su kompatibilna

- ako su ekvivalentni, ili
- ako je jedan od njih tip reference, a drugi je tipa `null`.

Kompatibilnost tipova podataka pri dodeli

Tip `src` je kompatibilan pri dodeli sa tipom `dst`

- ako su `src` i `dst` ekvivalentni,
- ako je `dst` tip reference, a `src` je tipa `null`.
- ako je `dst` referenca na osnovnu klasu, a `src` referenca na izvedenu klasu
- ako je `dst` referenca na interfejs, a `src` referenca na klasu koja implementira dati interfejs

Ili Predeklarisana imena

`int` tip svih celobrojnih vrednosti

`char` tip svih znakovnih vrednosti

`bool` logički tip

`null` null vrednost promenljive tipa klase ili (znakovnog) niza simbolički označava referencu koja ne pokazuje ni na jedan podatak

eol - kraj reda karaktera (odgovara znaku '\n'); `print(eol)` vrši prelazak u novi red

chr - standardna metoda; `chr(i)` vrši konverziju celobrojnog izraza *i* u karakter (`char`)

ord - standardna metoda; `ord(ch)` vrši konverziju karaktera *ch* u celobrojnu vrednost (`int`)

Opseg važenja

Opseg važenja (*scope*) predstavlja tekstualni doseg metode ili klase. Prostire se od početka definicije metode ili klase do zatvorene velike zagrade na kraju te definicije. Opseg važenja ne uključuje imena koja su deklarirana u opsezima koji su leksički ugnježdjeni unutar njega. U opsegu se "vide" imena deklarirana unutar njega i svih njemu spoljašnjih opsega. Pretpostavka je da postoji veštački globalni opseg (universe), za koji je glavni program lokalna i koji sadrži sva predeklarirana imena.

Deklaracija imena u unutrašnjem opsegu *S* sakriva deklaraciju istog imena u spoljašnjem opsegu.

Napomena

- Indirektna rekurzija nije dozvoljena i svako ime mora biti deklarirano pre prvog korišćenja.
- Predeklarirana imena (npr. `int` ili `char`) mogu biti redeklarirani u unutrašnjem opsegu (ali to nije preporučljivo).

A.4 Kontekstni uslovi

Opšti kontekstni uslovi

- Svako ime u programu mora biti deklarirano pre prvog korišćenja.
- Ime ne sme biti deklarirano više puta unutar istog opsega.
- U programu mora postojati metoda sa imenom *main*. Ona mora biti deklarirana kao void metoda bez argumenata.

Kontekstni uslovi za standardne metode

chr(e) *e* mora biti izraz tipa *int*.

ord(c) *c* mora biti tipa *char*.

len(a) *a* mora biti niz ili znakovni niz.

Kontekstni uslovi za MikroJava smene

Program = "program" ident {ConstDecl | VarDecl | ClassDecl} "{" {MethodDecl} "}".

ConstDecl = "const" Type ident "=" (numConst | charConst | boolConst) ";".

- Tip terminala *numConst*, *charConst* ili *boolConst* mora biti ekvivalentan tipu *Type*.
-

EnumDecl = "enum" ident "{" ident ["=" numConst] {"," ident ["=" numConst] }" }

- Svaka konstanta nabiranja je tipa *int*.
 - Svako od mogućih konstanti koje se definišu u okviru nabiranja dodeljuje se celobrojna vrednost koja mora biti jedinstvena u okviru jednog nabiranja. U odsustvu eksplicitno navedene vrednosti konstanta dobija vrednost prethodne konstante uvećanu za 1. U slučaju da prethodna konstanta ne postoji dodeljuje se vrednost 0.
 - Konstanti nabiranja se obavezno pristupa uz navodjenje identifikatora nabiranja. (Primer: *IdentifikatorNabiranja.Konstanta*)
-

VarDecl = Type ident "[" "]" {"," ident "[" "]" } ";".

ClassDecl = "class" ident ["extends" Type] ["implements" Type {"," Type}] "{" {VarDecl} "{" {MethodDecl} "}" }".

- Tip *Type* prilikom izvođenja klase iz druge klase mora biti unutrašnja klasa glavnog programa.
 - Tipovi *Type* prilikom implementiranja interfejsa moraju biti interfejsi.
 - Klasa može jedan interfejs implementirati najviše jedan put.
 - Ukoliko klasa implementira više interfejsa sa istoimenom metodom sve metode moraju imati isti potpis i metoda se implementira samo jednom.
-

InterfaceDecl = "interface" ident "{" {InterfaceMethodDecl} "}".

- Klasa koja implementira interfejs mora obavezno implementirati sve njegove metode.
 - Postoje reference na interfejs, ali one moraju pokazivati na neku od klasa koje implementiraju dati interfejs.
-

InterfaceMethodDecl = (Type | "void") ident "(" [FormPars] ")" ";".

MethodDecl = (Type | "void") ident "(" [FormPars] ")" {VarDecl} "{" {Statement} "}".

- Ako metoda nije tipa *void*, mora imati iskaz *return* unutar svog tela (uslov treba da se proverava u vreme izvršavanja programa).
 - Globalne funkcije nemaju implicitan parametar *this*.
-

FormPars = Type ident "[" "]" {"," Type ident "[" "]" }.

Type = ident.

- *ident* mora označavati tip podataka.
-

Statement = DesignatorStatement ";"

DesignatorStatement = Designator Assignop Expr ";"

- *Designator* mora označavati promenljivu, element niza ili polje unutar objekta.
 - Tip neterminala *Expr* mora biti kompatibilan pri dodeli sa tipom neterminala *Designator*.
-

DesignatorStatement = Designator ("++" | "--") ";"

- *Designator* mora označavati promenljivu, element niza ili polje objekta unutrašnje klase.
 - *Designator* mora biti tipa int.
-

DesignatorStatement = Designator "(" [ActPars] ")" ";"

- *Designator* mora označavati nestatičku metodu unutrašnje klase ili globalnu funkciju glavnog programa.
-

Statement = "break"

- Iskaz break se može koristiti samo unutar *for* petlje. Prekida izvršavanje neposredno okružujuće petlje.
-

Statement = "continue"

- Iskaz continue se može koristiti samo unutar *for* petlje. Prekida tekuću iteraciju neposredno okružujuće petlje.
-

Statement = "read" "(" Designator ")" ";"

- *Designator* mora označavati promenljivu, element niza ili polje unutar objekta.
 - *Designator* mora biti tipa int, char ili bool.
-

Statement = "print" "(" Expr ["," number] ")" ";"

- *Expr* mora biti tipa int, char ili bool.
-

Statement = "return" [Expr] .

- Tip neterminala *Expr* mora biti ekvivalentan povratnom tipu tekuće metode/ globalne funkcije.
 - Ako neterminal *Expr* nedostaje, tekuća metoda mora biti deklarirana kao void.
 - Ne sme postojati izvan tela (statičkih) metoda, odnosno globalnih funkcija.
-

Statement = "if" "(" Condition ")" Statement ["else" Statement]

- Naredba if — Ukoliko je vrednost uslovnog izraza Condition true, izvršavaju se naredbe u if grani, u suprotnom izvršavaju se naredbe u else grani, ako je navedena.
 - Tip uslovnog izraza Condition mora biti bool.
-

Statement = "for" "(" [DesignatorStatement] ";" [Condition] ";" [DesignatorStatement] ")" Statement

- Uslovni izraz Condition mora biti tipa bool.
 - Ako je navedena, prvo se izvršava naredba opisana prvim neterminalom DesignatorStatement, i to samo jednom (nije deo cikličnog izvršavanja).
 - Na početku svake iteracije proverava vrednost uslovnog izraza. Ukoliko ne postoji, podrazumeva se true. Vrednost true omogućava izvršavanje tela petlje (Statement).
 - Po završetku tela petlje (osim ako nije break), uvek se izvršava naredba opisana drugim neterminalom DesignatorStatement, a zatim ponovo proverava vrednost uslovnog izraza.
-

ActPars = Expr {"," Expr}.

- Broj formalnih i stvarnih argumenata metode mora biti isti.
 - Tip svakog stvarnog argumenta mora biti kompatibilan pri dodeli sa tipom svakog formalnog argumenta na odgovarajućoj poziciji.
-

~~Condition = CondTerm {"||" CondTerm}.~~

~~CondTerm = CondFact {"&&" CondFact}.~~

~~CondFact = Expr Relop Expr.~~

- Tipovi oba izraza moraju biti kompatibilni.
 - Uz promenljive tipa klase ili niza, od relacionih operatora, mogu se koristiti samo != i ==.
-

Expr = Term.

Expr = "-"Term.

- *Term* mora biti tipa int.
-

Expr = Expr Addop Term.

- *Expr* i *Term* moraju biti tipa int. U svakom slučaju, tipovi za *Expr* i *Term* moraju biti komatibilni.
 - Ako je *Addop* kombinovani aritmetički operator (+, -), *Expr* mora označavati promenljivu, element niza ili polje unutar objekta.
-

Term = Factor.

Term = Term Mulop Factor.

- *Term* i *Factor* moraju biti tipa int.
 - Ako je *Mulop* kombinovani aritmetički operator (*, /, %), *Term* mora označavati promenljivu, element niza ili polje unutar objekta.
-

Factor = Designator | numConst | charConst | boolConst | "(" Expr ")".

Factor = Designator "(" [ActPars] ")".

- *Designator* mora označavati nestatičku metodu unutrašnje klase ili globalnu funkciju glavnog programa.
-

Factor = "new" Type "[" Expr "]".

- Tip neterminala *Expr* mora biti int.
-

~~Factor = "new" Type.~~

- ~~Neterminal Type mora da označava unutrašnju klasu (korisnički definisani tip) i ne može biti interfejs.~~
-

Designator = Designator "." ident .

- Tip neterminala *Designator* može biti unutrašnja klasa (*ident* mora biti ili polje ili metoda objekta označenog neterminalom *Designator*), interfejs (*ident* mora biti metoda objekta označenog neterminalom *Designator*) ili nabranje (*ident* mora biti identifikator konstante definisane u okviru nabranja označenog neterminalom *Designator*).
-

Designator = Designator "[" Expr "]".

- Tip neterminala *Designator* mora biti niz.
- Tip neterminala *Expr* mora biti int.

Assignop = "=".

Operator dodele vrednosti je desno asocijativan.

Relop = "--" | "!=" | ">" | ">=" | "<" | "<=".

Addop = "+" | "-".

Operatori su levo asocijativni.

Mulop = "*" | "/" | "%".

Operatori su levo asocijativni.

A.5 Implementaciona ograničenja

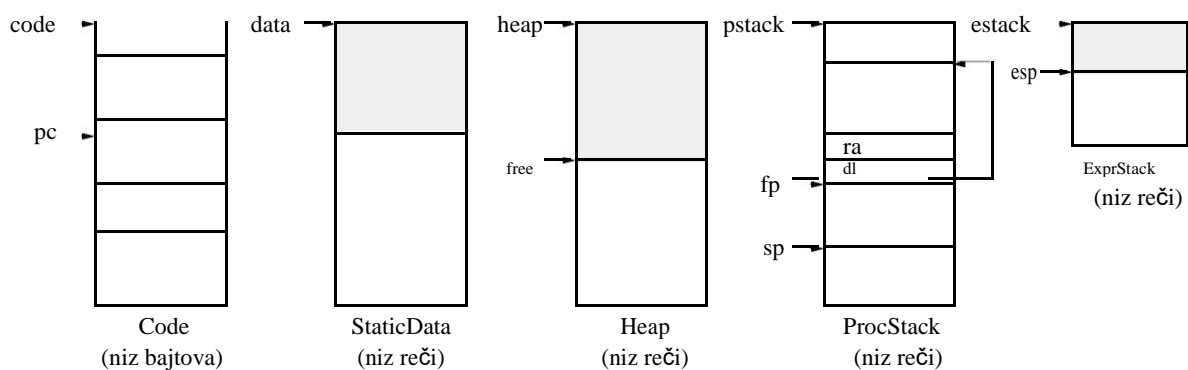
- Ne sme se koristiti više od 256 lokalnih promenljivih.
- Ne sme se koristiti više od 65536 globalnih promenljivih.
- Klasa ne sme imati više od 65536 polja.
- Izvorni kod programa ne sme biti veći od 8 KB.

Dodatak B. MikroJava VM

Ovaj dodatak opisuje arhitekturu MikroJava virtuelne mašine koja se koristi u praktičnom delu kursa programskih prevodilaca (IR4PP1) na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. MikroJava VM je slična Java VM, ali ima znatno manje instrukcija. Neke instrukcije su takođe pojednostavljene. Dok kod Java VM punilac razrešava imena operanada iz skladišta konstanti (constant pool), dotle MikroJava VM koristi fiksne adrese operanada. U instrukcijama Java bajt koda kodirani su i tipovi njihovih operanada, tako da se može proveriti konzistentnost predmetnog fajla (object file). Instrukcije MikroJava bajt koda ne kodiraju tipove operanada.

B.1 Organizacija memorije

MikroJava VM koristi sledeće memorijske oblasti:



Code	Ova oblast sadrži kod metoda. U registru <i>pc</i> se nalazi indeks instrukcije koja se trenutno izvršava. Registar <i>mainpc</i> sadrži početnu adresu metode <i>main()</i> .
StaticData	U ovoj oblasti se nalaze (statički ili globalni) podaci glavnog programa (npr. klase koju kompajliramo). To je u stvari niz promenljivih. Svaka promenljiva zauzima jednu reč (32 bita). Adrese promenljivih su indeksi pomenutog niza.
Heap	Ova oblast sadrži dinamički alocirane objekte i nizove. Blokovi u heap-u se alociraju sekvencijalno. <i>free</i> pokazuje na početak slobodnog dela heap-a. Dinamički alocirana memorija se oslobađa samo na kraju izvršenja programa. Ne postoji sakupljanje đubreta. Svako polje unutar objekta zauzima jednu reč (32 bita). Nizovi čiji su elementi tipa <i>char</i> su nizovi bajtova. Njihova dužina je umnožak broja 4. Pokazivači su bajt ofseti u heap-u. Objekti tipa niza počinju "nevidljivom" rečju koja sadrži dužinu niza.
ProcStack	U ovoj oblasti VM pravi aktivacione zapise pozvanih metoda. Svaki zapis predstavlja niz lokalnih promenljivih, pri čemu svaka zauzima jednu reč (32 bita). Adrese promenljivih su indeksi niza. <i>ra</i> je povratna adresa metode, <i>dl</i> je dinamička veza (pokazivač na aktivacioni zapis pozivaoca metode). Novoalocirani zapis se inicijalizuje nulama.
ExprStack	Ova oblast se koristi za skladištenje operanada instrukcija. <i>ExprStack</i> je prazan posle svake MikroJava instrukcije. Argumenti metoda se prosleđuju na stek izraza i kasnije uklanjaju <i>Enter</i> instrukcijom pozvane metode. Ovaj stek izraza se takođe koristi za prosleđivanje povratne vrednosti metode pozivaocu metode.

Svi podaci (globalne promenljive, lokalne promenljive, promenljive na heap-u) se inicijalizuju null vrednošću (0 za *int*, *chr(0)* za *char*, *null* za reference).

B.2 Skup instrukcija

U sledećim tabelama su navedene instrukcije MikroJava VM, zajedno sa njihovim kodovima i ponašanjem. Treća kolona tabela prikazuje sadržaj *ExprStack*-a pre i posle svake instrukcije, na primer

..., val, val
..., val

znači da opisana instrukcija uklanja dve reči sa *ExprStack*-a i stavlja novu reč na njega. Operandi instrukcija imaju sledeće značenje:

b je bajt
s je short int (16 bitova)
w je reč (32 bita).

Promenljive tipa *char* zauzimaju najniži bajt reči, a za manipulaciju tim promenljivim se koriste instrukcije za rad sa rečima (npr. *load*, *store*). Niz čiji su elementi tipa *char* predstavlja niz bajtova i sa njima se manipuliše posebnim instrukcijama.

Instrukcije za load i store lokalnih promenljivih

<i>opcode</i>	<i>instr.</i>	<i>opds</i>	<i>ExprStack</i>	<i>značenje</i>
1	load	b	... ..., val	<u>Load</u> push(local[b]);
2..5	load_n		... ..., val	<u>Load</u> (n = 0..3) push(local[n]);
6	store	b	..., val ...	<u>Store</u> local[b] = pop();
7..10	store_n		..., val ...	<u>Store</u> (n = 0..3) local[n] = pop();

Instrukcije za load i store globalnih promenljivih

11	getstatic	s	... ..., val	<u>Load statičke promenljive</u> push(data[s]);
12	putstatic	s	..., val ...	<u>Store statičke promenljive</u> data[s] = pop();

Instrukcije za load i store polja objekata

13	getfield	s	..., adr ..., val	<u>Load polja objekta</u> adr = pop()/4; push(heap[adr+s]);
14	putfield	s	..., adr, val ...	<u>Store polja objekta</u> val = pop(); adr = pop()/4; heap[adr+s] = val;

Instrukcije za load konstanti

15..20	const_n	...	...	<u>Load konstante (n = 0..5)</u>
		...	..., val	push(n)
21	const_m1	...	...	<u>Load konstante -1</u>
		...	..., -1	push(-1)
22	const	w	...	<u>Load konstante</u>
			..., val	push(w)

Aritmetičke operacije

23	add	...	..., val1, val2	<u>Sabiranje</u>
		...	..., val1+val2	push(pop() + pop());
24	sub	...	..., val1, val2	<u>Oduzimanje</u>
		...	..., val1-val2	push(-pop() + pop());
25	mul	...	..., val1, val2	<u>Množenje</u>
		...	..., val1*val2	push(pop() * pop());
26	div	...	..., val1, val2	<u>Deljenje</u>
		...	..., val1/val2	x = pop(); push(pop() / x);
27	rem	...	..., val1, val2	<u>Ostatak pri celobrojnem deljenju</u>
		...	..., val1%val2	x = pop(); push(pop() % x);
28	neg	...	..., val	<u>Promena predznaka</u>
		...	..., - val	push(-pop());
29	shl	...	..., val	<u>Aritmetičko pomeranje ulevo</u>
		...	..., val1	x = pop(); push(pop() << x);
30	shr	...	..., val	<u>Aritmetičko pomeranje udesno</u>
		...	..., val1	x = pop(); push(pop() >> x);
31	inc	b1, b2	...	<u>Inkrementiranje</u>
			...	local[b1] = local[b1] + b2;

Pravljenje objekata

32	new	s	...	<u>Novi objekat</u>
			..., adr	alocirati oblast od s bajtova;
				inicijalizovati oblast nulama;
				push(adr(oblast));
33	newarray	b	...	<u>Novi niz</u>
			..., n	n = pop();
			..., adr	if (b==0)
				alocirati niz sa n elemenata veličine
				bajta;
				else if (b==1)
				alocirati niz sa n elemenata veličine reči;
				inicijalizovati niz nulama;
				push(adr(niz));

Pristup nizu

34	aload	..., adr, index ..., val	<u>Load elementa niza</u> (+ provera indeksa) i = pop(); adr = pop()/4+1; push(heap[adr+i]);
35	astore	..., adr, index, val ...	<u>Store elementa niza</u> (+ provera indeksa) val = pop(); i = pop(); adr = pop()/4+1; heap[adr+i] = val;
36	baload	..., adr, index ..., val	<u>Load elementa niza bajtova</u> (+ provera indeksa) i = pop(); adr = pop()/4+1; x = heap[adr+i/4]; push(byte i%4 of x);
37	bastore	..., adr, index, val ...	<u>Store elementa niza bajtova</u> (+ provera indeksa) val = pop(); i = pop(); adr = pop()/4+1; x = heap[adr+i/4]; set byte i%4 in x; heap[adr+i/4] = x;
38	arraylength	..., adr ..., len	<u>Dohvatanje dužine niza</u> adr = pop(); push(heap[adr]);

Operacije na steku

39	pop	..., val ...	<u>Skidanje elementa sa vrha steka</u> dummy = pop();
40	dup	..., val ..., val, val	<u>Udvajanje elementa na vrhu steka</u> x = pop(); push(x); push(x);
41	dup2	..., v1, v2 ..., v1, v2, v1, v2	<u>Udvajanje prva dva elementa na vrhu steka</u> y = pop(); x = pop(); push(x); push(y); push(x); push(y);

Skokovi

Adresa skoka je relativna u odnosu na početak instrukcije skoka.

42	jmp	s	<u>Bezuslovni skok</u> pc = pc + s;
43..48	j<cond>	s ..., val1, val2 ...	<u>Uslovni skok</u> (eq, ne, lt, le, gt, ge) y = pop(); x = pop(); if (x cond y) pc = pc + s;

11

Pozivi metoda (PUSH i POP se odnose na stek procedura)

49	call	s	<u>Poziv metode</u> PUSH(pc+3); pc := pc + s;
50	return		<u>Povratak iz metode</u> pc = POP();

```
51      enter b1, b2
```

Početak obrade metode

```

psize = b1; lsize = b2; // u rečima
PUSH(fp); fp = sp; sp = sp + lsize;
inicijalizovati akt. zapis svim
nulama;
for (i=psize-1; i>=0; i--) local[i] = pop();

```

52 **exit**

Kraj obrade metode

```
sp = fp; fp = POP();
```

Ulaz/Izlaz

```
53      read      ...
      ..., val
```

Operacija čitanja

```
readInt(x); push(x);  
// cita sa standardnog ulaza
```

```
54      print ..., val, width
      ...
```

Operacija ispisa

```
width = pop(); writeInt(pop(), width);  
// vrši ispis na standardni izlaz
```

```
55      bread      ...
      ..., val
```

Operacija čitanja bajta

```
readChar(ch); push(ch);
```

```
56      bprint          ..., val, width
                        ...
```

Operacija ispisa bajta

```
width = pop(); writeChar(pop(), width);
```

Ostalo

57 trap b

Generiše run time grešku

zavisno od vrednosti b se ispisuje odgovarajuća
poruka o grešci;
prekid izvršavanja;

```
58  invokevirtual  W1,W2,...,Wn,Wn+1  ..., adr
                                     ...
```

Poziv virtualne metode

ime metode ima n znakova;
 ovi znakovi su deo same instrukcije, i nalaze se u rečima w_1, w_2, \dots, w_n ;
 reč w_{n+1} je jednaka -1 i označava kraj instrukcije;
 instrukcija prvo ukloni adr sa steka izraza;
 adr je adresa u statičkoj zoni memorije gde počinje tabela virtuelnih funkcija za klasu objekta čija metoda je pozvana;
 ako se ime metode u instrukciji pronađe u tabeli virtuelnih funkcija, instrukcija vrši skok na početak tela date metode.

Kombinovani operatori

```
59  dup_x1    ..,val2, val1    ...,val1, val2, val1
```

Umetanje kopije vršne vrednosti ispod druge vrednosti sa vrha steka izraza.

vrednost sa vrha steka se kopira i ubacuje ispod druge vrednosti sa vrha steka izraza.

```
60      dup_x2      val1, val2, val3    ...,val3, val1, val2, val3
                                     ...
```

Umetanje kopije vršne vrednosti ispod treće vrednosti sa vrha steka izraza.
vrednost sa vrha steka se kopira i ubacuje ispod treće vrednosti sa vrha steka izraza.

B.3 Format predmetnog fajla

2 bajta: "MJ"

4 bajta: veličina koda u bajtovima

4 bajta: broj reči rezervisan za globalne podatke

4 bajta: mainPC: adresa

metode *main()* relativna u

odnosu na početak code

oblasti memorije n

bajtova: code oblast (n =

veličina koda specificirana

u header-u)

B.4 Runtime greške

1 Nedostaje return iskaz u telu funkcije.