

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), *nabranja*.
 - 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 redefinisanje 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 deklariše 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 pojmoveva 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 deklarisana u opsezima koji su leksički ugnježdeni unutar njega. U opsegu se "vide" imena deklarisana unutar njega i svih njemu spoljašnjih opsega. Pretpostavka je da postoji veštački globalni opseg (universe), za koji je glavni program lokalan i koji sadrži sva predeklarisana imena.

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

Napomena

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

A.4 Kontekstni uslovi

Opšti kontekstni uslovi

- Svako ime u programu mora biti deklarisano pre prvog korišćenja.
- Ime ne sme biti deklarisano više puta unutar istog opsega.
- U programu mora postojati metoda sa imenom *main*. Ona mora biti deklarisana 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 nabranja je tipa int.
- Svakoj od mogućih konstanti koje se definišu u okviru nabranja dodeljuje se celobrojna vrednost koja mora biti jedinstvena u okviru jednog nabranja. 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 nabranja se obavezno pristupa uz navođenje identifikatora nabranja. (Primer: *IdentifikatorNabranja.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 referenice 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 deklarisana 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 nabranjanje (ident mora biti identifikator konstante definisane u okviru nabranjanja 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

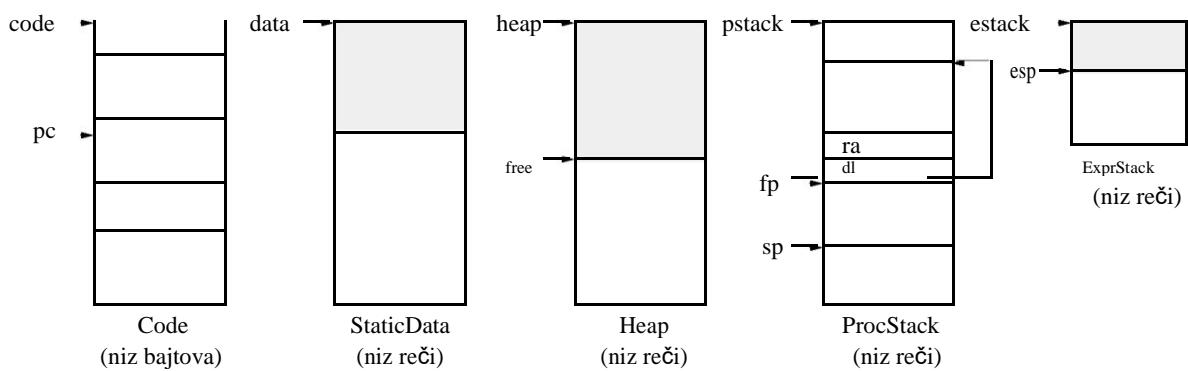
- Ne sme se koristiti više od 256 lokalnih promenljivih.
- Ne sme se koristiti više od 65536 globalnih promenljivih.
- Klasa ne sme imati više od 65536 polja.
- Izvorni kod programa ne sme biti veći od 8 KB.

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), dottle 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 sekvenčijalno. <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 (32bita).

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

| opcode | instr. | opds | ExprStack | značenje |
|--------|----------------|------|------------------------|--|
| 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 | ... | <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 celobrojnom 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 uлево</u> |
| | | ..., val1 | x = pop(); push(pop() << x); |
| 30 | shr | ..., val | <u>Aritmetičko pomeranje uдесно</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> |
| | | ... | 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 | bload | ..., 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 | <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 | | <u>Početak obrade metode</u> 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 | | <u>Kraj obrade metode</u> sp = fp; fp = POP(); |

Ulaz/Izlaz

| | | | |
|----|---------------|-----------------|--|
| 53 | read | ... | <u>Operacija čitanja</u> readInt(x); push(x); // cita sa standardnog ulaza |
| 54 | print | ..., val, width | <u>Operacija ispisa</u> width = pop(); writeInt(pop(), width); // vrši ispis na standardni izlaz |
| 55 | bread | ... | <u>Operacija čitanja bajta</u> readChar(ch); push(ch); |
| 56 | bprint | ..., val, width | <u>Operacija ispisa bajta</u> width = pop(); writeChar(pop(), width); |

Ostalo

| | | | |
|----|----------------------|--|---|
| 57 | trap | b | <u>Generiše run time grešku</u> zavisno od vrednosti b se ispisuje odgovarajuća poruka o grešci; prekid izvršavanja; |
| 58 | invokevirtual | w ₁ , w ₂ , ..., w _n , w _{n+1} ... , adr | <u>Poziv virtuelne metode</u> ime metode ima n znakova; ovi znakovi su deo same instrukcije, i nalaze se u rečima w ₁ , w ₂ , ..., 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 | <u>Umetanje kopije vršne vrednosti ispod druge vrednosti sa vrha steka izraza.</u> 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.