

Programske paradigme

— Osnovna svojstva programskih jezika —

Milena Vujošević Janičić

www.matf.bg.ac.rs/~milena

Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu

Pregled

- 1 Uvod
- 2 Leksika, sintaksa, semantika
- 3 Imena, povezanost, doseg
- 4 Kontrola toka i tipovi
- 5 Prevođenje i izvršavanje
- 6 Pitanja i literatura

Pregled

- 1 Uvod
- 2 Leksika, sintaksa, semantika
- 3 Imena, povezanost, doseg
- 4 Kontrola toka i tipovi
- 5 Prevođenje i izvršavanje
- 6 Pitanja i literatura

Svojstva programskih jezika

- Šta je ono što čini dva programska jezika sličnim?
- Na osnovu čega neki jezik pripada nekoj paradigmi?
- Šta je ono što čini dva programska jezika različitim?
- Na osnovu čega neki jezik ne pripada nekoj paradigmi?
- Šta je zajedničko za sve programske jezike?
- Šta je ono što je specifično za svaki programski jezik?
- Šta je ono što je specifično za neki programski jezik?

Svojstva programskih jezika

- Postoje različita svojstva programskih jezika koja ćemo izučavati:
 - Sintaksa
 - Semantika
 - Imena, doseg, povezanost
 - Kontrola toka, podrutine
 - Tipovi
 - Kompajlirani/Interpretirani jezici
 - Izvršavanje

Pregled

- 1 Uvod
- 2 **Leksika, sintaksa, semantika**
 - Leksika
 - Sintaksa
 - Neformalna semantika
 - Operaciona semantika
 - Denotaciona semantika
 - Aksiomska semantika

3 Imena, povezanost, doseg

4 Kontrola toka i tipovi

Leksika

- Programski jezici moraju da budu precizni
- Leksika je podoblast sintakse koja se bavi opisivanjem osnovnih gradivnih elemenata jezika.
- U okviru leksike, definišu se reči i njihove kategorije
- U programskom jeziku, reči se nazivaju lekseme, a kategorije tokeni.
- U prirodnom jeziku, kategorije su imenice, glagoli, pridevi
- U programskom jeziku, tokeni mogu da budu identifikatori, ključne reči, operatori...

Leksika

- $a = 2 * b + 1$ — lekseme su $a, =, 2, *, +, 1$ i b , a njima odgovarajući tokeni su identifikator (a i b), operator $=$, operator $*$, operator $+$, celobrojni literali 2 i 1 .
- Neki tokeni sadrže samo jednu reč, a neki mogu sadržati puno različitih reči
- Programski jezik C sadrži više od 100 različitih tokena: 44 različite ključne reči, identifikatore, celobrojne vrednosti, realne vrednosti, karakterske konstante, stringovske literalne, dve vrste komentara, 54 operatora...
- Drugi moderni programski jezici (npr Ada, Java) imaju sličan nivo kompleksnosti tokena

Leksika

- Razlikujemo ključne reči i identifikatore: identifikator ne može biti neka od ključnih reči, npr ne možemo da napravimo promenljivu koja bi se zvala `if` ili `while`
- Postoje ključne reči koje zavise od konteksta, engl. *contextual keywords* koje su ključne reči na određenim specifičnim mestima programa, ali mogu biti identifikatori na drugim mestima.
- Na primer, u `C#` -u reč `yield` može da se pojavi ispred `break` ili `return`, na mestima na kojima identifikator ne može da se pojavi. Na tim mestima, ona se interpretira kao ključna reč, ali može da se koristi na drugim mestima i kao identifikator.

Leksika

- C# 4.0 ima 26 takvih kontekstno zavisnih ključnih reči, C++11 ih takođe ima dosta.
- Većina je uvedena revizijom postojećeg jezika sa ciljem da se definiše novi standard: sa velikim brojem korisnika i napisanog koda, vrlo je verovatno da se neka reč već koristi kao identifikator u nekom postojećem programu. Uvođenjem kontekstualne ključne reči, umesto obične ključne reči, smanjuje se rizik da se postojeći program neće kompilirati sa novom verzijom standarda.

Leksika

- Reči su obično definišu regularnim izrazima
- Na primer, `[a-zA-Z_][a-zA-Z_0-9]*`
- Regularnim izrazima se definišu reči, dok se konačnim automatima prepoznaju ispravne reči.
- Generisanje je bitno programerima, a prepoznavanje kompajlerima
- Leksikom programa obično se bavi deo prevodioca koji se naziva leksički analizator: on dodeljuje ulaznim rečima odgovarajuće kategorije, što je bitno za dalji proces prevođenja.

Sintaksa

- Sintaksa programskog jezika definiše strukturu izraza, odnosno načine kombinovanja osnovnih elemenata jezika u ispravne jezičke konstrukcije.
- Formalno, sintakse se opisuju kontekstno slobodnim gramatikama, a prepoznaju parserima (potisni automat)

Sintaksa

- Na primer, sledeća jednostavna gramatika definiše jednostavne aritmetičke izraze

$$\langle \text{exp} \rangle ::= \langle \text{exp} \rangle \text{ "+" } \langle \text{exp} \rangle$$

$$\langle \text{exp} \rangle ::= \langle \text{exp} \rangle \text{ "*" } \langle \text{exp} \rangle$$

$$\langle \text{exp} \rangle ::= \text{ "(" } \langle \text{exp} \rangle \text{ ")" }$$

$$\langle \text{exp} \rangle ::= \text{ "a" }$$

$$\langle \text{exp} \rangle ::= \text{ "b" }$$

$$\langle \text{exp} \rangle ::= \text{ "c" }$$

- Program u ovom jeziku je proizvod ili suma od 'a', 'b' i 'c', na primer ispravan izraz je $a*(b+c)$

Semantika

- Semantika pridružuje značenje ispravnim konstrukcijama na nekom programskom jeziku.
- Semantika programskog jezika određuje značenje jezika.
- Obično je značajno teže definisati nego sintaksu.

Semantika

- Semantika može da se opiše formalno i neformalno, često se zadaje samo neformalno.
- Uloga neformalne semantike je da programer može da razume kako se program izvršava pre njegovog pokretanja.
- Na primer, semantika naredbe `if(a<b) a++;` neformalno se opisuje sa „ukoliko je vrednost promenljive a manja od vrednosti promenljive b, onda uvećaj vrednost promenljive a za jedan”

Uloga formalne semantike

- Formalna semantika omogućava formalno rezonovanje o svojstvima programa
- Na primer, formalna semantika nekog jezika, zajedno sa modelom programa (tranzicionim sistemom) omogućava ispitivanje različitih uslova ispravnosti/korektnosti tog programa
- Različitim programskim jezicima prirodno odgovaraju različite semantike

Semantika

- Formalan opis značenja jezičkih konstrukcija
 - Operaciona semantika
 - Denotaciona semantika
 - Aksiomska semantika

Operaciona semantika

- Operaciona semantika opisuje kako se izračunavanje izvršava.
- Ponašanje se formalno definiše korišćenjem apstraktnih mašina, formalnih automata, tranzicionih sistema...
- U okviru ove semantike postoje **strukturalna operaciona semantika** (small-step semantics, opisuje individualne korake izračunavanja) i **prirodna operaciona semantika** (big-step semantics, opisuje ukupne rezultate izračunavanja).
- Najčešće se koristi za opis i rezonovanje o imperativnim jezicima jer individualni koraci izračunavanja opisuju na koji način se menja stanje programa.

Primer operacione semantike: prirodna semantika

$$\langle S, s \rangle \rightarrow s'$$

Intuitivno ovo znači da izvršavanje programa S sa ulaznim stanjem s će se završiti i rezultujuće stanje će biti s' .

Pravilo generalno ima formu

$$\frac{\langle S_1, s_1 \rangle \rightarrow s'_1, \dots, \langle S_n, s_n \rangle \rightarrow s'_n}{\langle S, s \rangle \rightarrow s'}$$

gde S_1, \dots, S_n nazivamo neposrednim konstituentima (eng. *immediate constituents*) od S . Pravilo se sastoji iz određenog broja *premisa* (nalaze se iznad linije) i jednog *zaključka* (nalazi se ispod linije).

Pravilo takođe može imati određeni broj *uslova* (nalaze se sa desne strane linije) koji moraju biti ispunjeni kako bi se primenilo pravilo.

Pravilo sa praznim skupom premisa se naziva *aksioma*.

Primer prirodne semantike

\mathcal{B} — semantika bulovskog izraza, \mathcal{A} — semantika aritmetičkog izraza

$$\langle \text{ass}_{ns} \rangle \quad \langle x := a, s \rangle \rightarrow s[x \mapsto \mathcal{A}[[a]]s]$$

$$\langle \text{skip}_{ns} \rangle \quad \langle \text{skip}, s \rangle \rightarrow s$$

$$\langle \text{comp}_{ns} \rangle \quad \frac{\langle S_1, s \rangle \rightarrow s', \langle S_2, s' \rangle \rightarrow s''}{\langle S_1; S_2, s \rangle \rightarrow s''}$$

$$\langle \text{if}_{ns}^{tt} \rangle \quad \frac{\langle S_1, s \rangle \rightarrow s'}{\langle \text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2, s \rangle \rightarrow s'} \text{ if } \mathcal{B}[[b]]s = tt$$

$$\langle \text{if}_{ns}^{ff} \rangle \quad \frac{\langle S_2, s \rangle \rightarrow s'}{\langle \text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2, s \rangle \rightarrow s'} \text{ if } \mathcal{B}[[b]]s = ff$$

$$\langle \text{while}_{ns}^{tt} \rangle \quad \frac{\langle S, s \rangle \rightarrow s', \langle \text{while } b \text{ do } S, s' \rangle \rightarrow s''}{\langle \text{while } b \text{ do } S, s \rangle \rightarrow s''} \text{ if } \mathcal{B}[[b]]s = tt$$

$$\langle \text{while}_{ns}^{ff} \rangle \quad \langle \text{while } b \text{ do } S, s \rangle \rightarrow s \text{ if } \mathcal{B}[[b]]s = ff$$

Primer

$(z := x, x := y); y := z$

Neka s_0 bude stanje koje mapira sve promenljive osim x i y u 0 i ima $x = 5$ i $y = 7$. Tada dobijamo sledeće stablo izvođenja:

$$\frac{\frac{\langle z:=x, s_0 \rangle \rightarrow s_1 \quad \langle x:=y, s_1 \rangle \rightarrow s_2}{\langle z:=x, x:=y, s_0 \rangle \rightarrow s_2} \quad \langle y:=z, s_2 \rangle \rightarrow s_3}{\langle (z:=x; x:=y); y:=z, s_0 \rangle \rightarrow s_3}$$

Osobine semantike

- Kada imamo definisanu semantiku, to nam omogućava da rezonujemo o osobinama te semantike.
- Primer: Može da nas interesuje da li su dve naredbe semantički ekvivalentne, odnosno da li važi da za svaka dva stanja s i s' važi sledeće

$$\langle S_1, s \rangle \rightarrow s' \text{ akko } \langle S_2, s \rangle \rightarrow s'$$

- Možemo da formulišemo sledeću lemu

Naredba

```
while b do S
```

je semantički ekvivalentna sa

```
if b then (S; while b do S) else skip
```

Skica dokaza

- Potrebno je dokazati dva smera, tj

$$\langle \textit{while } b \textit{ do } S, s \rangle \rightarrow s''$$

ako i samo ako

$$\langle \textit{if } b \textit{ then } (S; \textit{while } b \textit{ do } S) \textit{ else skip}, s \rangle \rightarrow s''$$

- Dokaz se izvodi konstruisanjem stabla izvođenja na osnovu pravila izvođenja koja su data semantikom. Na primer, ako pretpostavimo da važi

$$\langle \textit{while } b \textit{ do } S, s \rangle \rightarrow s''$$

onda postoji stablo izvođenja kojima se dolazi do stanja s'' .

Ukoliko pogledamo pravila izvođenja, do takvog stabla

možemo da dođemo samo primenom pravila $[\textit{while}_{ns}^{tt}]$ ili pravila

$[\textit{while}^{ff}]$. Potrebno je razmotriti jedan i drugi slučaj

Skica dokaza

- (prvi slučaj): ukoliko se primeni pravilo [$while_{ns}^{tt}$] to se onda stablo izvođenja svodi na primenu ovog pravila:

$$\frac{\langle S, s \rangle \rightarrow s', \langle while\ b\ do\ S, s' \rangle \rightarrow s''}{\langle while\ b\ do\ S, s \rangle \rightarrow s''}$$

pri čemu važi $B[[b]]s = tt$ odnosno stablo izvođenja izgleda ovako

$$\frac{T_1 \quad T_2}{\langle while\ b\ do\ S, s \rangle \rightarrow s''}$$

pri čemu je T_1 nekakvo izvođenje za $\langle S, s \rangle \rightarrow s'$ a T_2 nekakvo izvođenje za $\langle while\ b\ do\ S, s' \rangle \rightarrow s''$

Skica dokaza

- Koristeći T_1 i T_2 , možemo da primenimo i pravilo kompozicije $[comp_{ns}]$ i da izvedemo sledeći zaključak

$$\frac{T_1 \quad T_2}{\langle S; \text{while } b \text{ do } S, s \rangle \rightarrow s''}$$

- Pošto znamo da je $\mathcal{B}[[b]]s = tt$, možemo da primenimo $[if_{ns}^{tt}]$ i da nam stablo izvođenja sada izgleda ovako, čime smo pokazali da željeno svojstvo važi:

$$\frac{\frac{T_1 \quad T_2}{\langle S; \text{while } b \text{ do } S, s \rangle \rightarrow s''}}{\langle \text{if } b \text{ then } (S; \text{while } b \text{ do } S) \text{ else skip}, s \rangle \rightarrow s''}$$

- Dalje je potrebno razmotriti $[while_{ns}^{ff}]$

Strukturalna operaciona semantika

Tranzicionu relaciju zapisujemo ovako

$$\langle S, s \rangle \Longrightarrow \gamma$$

ovo treba razmatrati kao *prvi korak* izvršavanja programa S u stanju s koji vodi do stanja γ .

Možemo razlikovati dva slučaja za γ :

- 1 $\gamma = \langle S', s' \rangle$: izvršavanje programa S sa ulaznim stanjem s *nije završeno*, i ostatak izračunavanja će biti izraženo srednjom konfiguracijom $\langle S', s' \rangle$.
- 2 $\gamma = s'$: izvršavanje programa S sa ulaznim stanjem s se završilo sa završnim stanjem s' .

Strukturalna operaciona semantika

$$[\text{ass}_{\text{sos}}] \quad \langle x := a, s \rangle \Rightarrow s[x \mapsto \mathcal{A}[a]s]$$

$$[\text{skip}_{\text{sos}}] \quad \langle \text{skip}, s \rangle \Rightarrow s$$

$$[\text{comp}_{\text{sos}}^1] \quad \frac{\langle S_1, s \rangle \Rightarrow \langle S'_1, s' \rangle}{\langle S_1; S_2, s \rangle \Rightarrow \langle S'_1; S_2, s' \rangle}$$

$$[\text{comp}_{\text{sos}}^2] \quad \frac{\langle S_1, s \rangle \Rightarrow s'}{\langle S_1; S_2, s \rangle \Rightarrow \langle S_2, s' \rangle}$$

$$[\text{if}_{\text{sos}}^{\text{tt}}] \quad \langle \text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2, s \rangle \Rightarrow \langle S_1, s \rangle \text{ if } \mathcal{B}[b]s = \text{tt}$$

$$[\text{if}_{\text{sos}}^{\text{ff}}] \quad \langle \text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2, s \rangle \Rightarrow \langle S_2, s \rangle \text{ if } \mathcal{B}[b]s = \text{ff}$$

$$[\text{while}_{\text{sos}}] \quad \langle \text{while } b \text{ do } S, s \rangle \Rightarrow \\ \langle \text{if } b \text{ then } (S; \text{while } b \text{ do } S) \text{ else skip}, s \rangle$$

SOS omogućava praćenje „sitnijih detalja” izračunavanja

Denotaciona semantika

- Denotaciona semantika definiše značenje prevodjenjem u drugi jezik, za koji se pretpostavlja da je poznata semantika
- Najčešće je taj drugi jezik nekakav matematički formalizam
- Povezivanje svakog dela programskog jezika sa nekim matematičkim objektom kao što je broj ili funkcija: svaka sintaksna definicija se tretira kao objekat na koji se može primeniti funkcija koja taj objekat preslikava u matematički objekat koji definiše značenje.
- Dodeljivanjem značenja delovima programa dodeljuje se značenje celokupnom programu, tj semantika jedne programske celine definisana je preko semantike njenih poddelova. Ova osobina denotacione semantike naziva se **kompozitivnost**.

Denotaciona semantika

Sintaksni domen i pravila:

$B : Broj$ B je nenegativan broj

$C : Cifra$ C je cifra 0,1...,9

$I : Izraz$

$Broj ::= Cifra | Broj Cifra$

$Cifra ::= 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9$

$Izraz ::= Broj | Izraz + Izraz$

Denotaciona semantika

Sledeći korak jeste definisanje matematičkih objekata koji će predstavljati semantičke vrednosti. Ti matematički objekti nazivaju se **semantički domeni**. Njihova kompleksnost zavisi od toga koliko je kompleksan programski jezik kojem dajemo značenje, u ovom jednostavnom primeru, semantička vrednost može biti i samo prirodan broj.

Semantički domeni

$N = 0, 1, 2, 3, \dots$

skup prirodnih brojeva

Denotaciona semantika

Funkcije značenja daju značenje uvedenim sintaksnim definicijama.

Funkcije značenja

$povezibn : B \rightarrow N$ unarna funkcija - povezuje broj sa N
 $povezicn : C \rightarrow N$ unarna funkcija - povezuje cifru sa N
 $semantika : I \rightarrow N$ unarna funkcija - povezuje izraz sa N
 $plus : N \times N \rightarrow N$ binarna funkcija plus - isto što i +
 $pom : N \times N \rightarrow N$ binarna funkcija pom - isto što i *
 $povezicn[[0]] = 0, \dots, povezicn[[9]] = 9$
 $povezibn[[C]] = povezicn[[C]]$
 $povezibn[[BC]] = plus(pom(10, povezibn[[B]]), povezibn[[C]])$
 $semantika[[B]] = povezibn[[B]]$
 $semantika[[I1 + I2]] = plus(semantika[[I1]], semantika[[I2]])$

Zagrade $[[,]]$ imaju ulogu da razdvoje semantički deo od sintaksnog dela. U okviru zagrada nalazi se sintakсни deo definicija.

Denotaciona semantika

Pronađi značenje izraza $2+32+61$.

$\text{semantika}[[2+32+61]]$

$= \text{plus}(\text{semantika}[[2+32]], \text{semantika}[[61]])$

$= \text{plus}(\text{plus}(\text{semantika}[[2]], \text{semantika}[[32]]), \text{povezibn}[[61]])$

$= \text{plus}(\text{plus}(2, 32), 61) = \text{plus}(2+32, 61) = \text{plus}(34+61) = 34+61 = 95$

jer je:

$\text{semantika}[[2]] = \text{povezibn}[[2]] = \text{povezicn}[[2]] = 2$

$\text{semantika}[[32]] = \text{povezibn}[[32]] = \text{plus}(\text{pom}(10, \text{povezibn}[[3]]), \text{povezibn}[[2]])$

$= \text{plus}(\text{pom}(10, \text{povezicn}[[3]]), \text{povezicn}[[2]]) = \text{plus}(\text{pom}(10, 3), 2)$

$= \text{plus}(10*3, 2) = \text{plus}(30, 2) = 30+2 = 32$

$\text{semantika}[[61]] = \text{povezibn}[[61]] = \text{plus}(\text{pom}(10, \text{povezibn}[[6]]), \text{povezibn}[[1]])$

$= \text{plus}(\text{pom}(10, \text{povezicn}[[6]]), \text{povezicn}[[1]]) = \text{plus}(\text{pom}(10, 6), 1) =$

$\text{plus}(10*6, 1) = \text{plus}(60, 1) = 60+1 = 61$

Denotaciona semantika

- Denotaciona semantika apstrahuje izvršavanje programa.
- Koristi se za definisanje semantike funkcionalnih programskih jezika — funkcionalno programiranje zasniva se na pojmu matematičkih funkcija i izvršavanje programa svodi se na evaluaciju funkcija.
- Analiziranje programa se svodi na analiziranje matematičkih objekata, što olakšava formalno dokazivanje semantičkih svojstava programa.

Aksiomska semantika

- Aksiomska semantika zasniva se na matematičkoj logici, na primer na Horovoj logici
- Horova trojka $\{P\} \text{ C } \{Q\}$; opisuje kako izvršavanje dela koda menja stanje izračunavanja: ako je ispunjen preduslov $\{P\}$, izvršavanje komande C vodi do postuslova $\{Q\}$
- Horova logika obezbeđuje aksiome i pravila izvođenja za sve konstrukte jednostavnog imperativnog programskog jezika

Aksiomska semantika — primer

$$\frac{}{[ass_p] \quad \{P[x \rightarrow \llbracket A \rrbracket]\} x := a \{P\}}$$

$$\frac{}{[skip_p] \quad \{P\} \text{ skip } \{P\}}$$

$$\frac{\{P\} S_1 \{Q\}, \{Q\} S_2 \{R\}}{[comp_p] \quad \{P\} S_1; S_2 \{R\}}$$

$$\frac{\{B[b] \wedge P\} S_1 \{Q\}, \{\neg B[b] \wedge P\} S_1 \{Q\}}{[if_p] \quad \{P\} \text{ if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2 \{Q\}}$$

$$\frac{\{B[b] \wedge P\} S \{P\}}{[while_p] \quad \{P\} \text{ while } b \text{ do } S \{\neg B[b] \wedge P\}}$$

$$\frac{\{P'\} S \{Q'\}}{[cons_pp] \quad \{P\} S \{Q\}} \text{ if } P \Rightarrow P' \text{ and } Q \Rightarrow Q'$$

Semantika

- Kompajler prevodi kod na mašinski kod u skladu sa zadatom semantikom jezika.
- Tokom kompilacije, vrši se proveravanje da li postoji neka semantička greška, tj situacija koja je sintaksno ispravna ali za konkretne vrednosti nema pridruženo značenje zadatom semantikom.
- Neki aspekti semantičke korektnosti programa se mogu proveriti tokom prevođenja programa — na primer, da su sve promenljive koje se koriste u izrazima definisane i da su odgovarajućeg tipa),
- Neki aspekti semantičke korektnosti se mogu proveriti tek u fazi izvršavanja programa — na primer, deljenje nulom, pristup elementima niza van granica...

Semantika

- Semantičke provjere se mogu podijeliti na statičke (provjere prilikom kompilacije) i dinamičke (provjere prilikom izvršavanja programa).
- Statički se ne može pouzdano utvrditi ispunjenost semantičkih uslova, tako da je moguće da se neke greške ne utvrde, iako prisutne, kao i da se neke greške pogrešno utvrde iako nisu prisutne i da rezultiraju nepotrebnim proverama prilikom izvršavanja programa.
- Različitim programskim jezicima odgovaraju izvršni programi koji sadrže različite nivoe dinamičkih provjera ispravnosti.

Pregled

- 1 Uvod
- 2 Leksika, sintaksa, semantika
- 3 Imena, povezanost, doseg**
 - Imena
 - Promenljive
 - Doseg
 - Životni vek
 - Povezivanje
- 4 Kontrola toka i tipovi

Imena

- Ime — string koji se koristi za predstavljanje nečega (promenljive, konstante, operatora, tipova...)
- Prvi programski jezici imali su imena dužine jednog karaktera (po uzoru na matematičke promenljive). Fortran I je to promenio dozvoljavajući šest karaktera u imenu.
- Fortran 95 i kasnije verzije Fortrana dozvoljavaju 31 karakter u imenu, C99 nema ograničenja za interna imena, ali samo prvih 63 je značajno. Eksterna imena u C99 (ona koja su definisana van modula i o kojima mora da brine linker) imaju ograničenje od 31 karaktera. Imena u Javi, C# i Adi nemaju ograničenja dužine i svi karakteri su značajni. C++ ne zadaje limit dužine imena, ali implementacije obično zadaju.

Imena

- Imena u većini programskih jezika imaju istu formu - slova, cifre i podvlaka
- Podvlaka se sve češće zamenjuje kamiljom notacijom
- U nekim jezicima imena moraju da počnu specijalnim znacima (npr PHP ime mora da počne sa \$)
- Imena su najčešće case sensitive, što može da stvara probleme

Imena

- Specijalne reči se korsite da učine program čitljivijim - imenuju akcije koje treba da se sprovedu ili sintaksno odvajaju delove naredbi i programa. U većini jezika specijalne reči su rezervisane reči koje ne mogu da budu predefinisane od strane programera.
- Ključne reči su najčešće rezervisane reči, ali ne moraju to da budu, kao na primer kontestno zavisne ključne reči
- Nije dobro ako jezik ima preveliki broj rezervisanih reči
- Na primer, COBOL ima oko 300 rezervisanih reči, u koje spadaju i count, length, bottom, destination...

Promenljive

- Promenljiva: apstrakcija memorijskih jedinica (ćelija), ime promenljive je imenovanje memorijske lokacije
- Karakteristike promenljivih: ime, adresa, vrednost, tip, životni vek, doseg
- Imena promenljivih su najčešća imena u programu, ali nemaju sve promenljive imena (tj nemaju sve memorijske lokacije imena, na primer, memorijske lokacije eksplicitno definisane na hipu kojima se pristupa preko pokazivača)

Adresa

- Adresa promenljive: adresa fizičke memorije koja je pridružena promenljivoj za skladištenje podataka.
- Promenljiva može imati različite fizičke lokacije prilikom istog izvršavanja programa (npr različiti pozivi iste funkcije rezultuju različitim adresama na steku). Adresa se često naziva l-vrednost
- Moguće je da postoje više promenljivih koje imaju istu adresu - aliasi
- Aliasii pogoršavaju čitljivost programa i čine verifikaciju programa težom.
- Aliasii: unije u C/C++-u, dva pointera koji pokazuju na istu memorijsku lokaciju, dve reference, pointer i promenljiva...
- Aliasii se u mnogim jezicim akreiraju kroz parametre poziva potprograma

Tip

- Tip promenljive određuje opseg vrednosti koje promenljiva može da ima kao i operacije koje se mogu izvršiti za vrednosti tog tipa
- Osnovni tipovi, niske, korisnički definisani prebrojivi tipovi (enum, subrange), nizovi, asocijativni nizovi, strukture, torke, liste, unije, pokazivači i reference

Vrednost

- Vrednost promenljive je sadržaj odgovarajuće memorijske ćelije, često se naziva r-vrednost
- Da bi se pristupilo r-vrednosti mora najpre da se odredi l-vrednost, što ne mora da bude jednostavno, jer zavisi od pravila dosega.

Doseg

- Doseg određuje deo programa u kojem je vidljivo neko ime
- Pravila dosega mogu da budu veoma jednsotavna (kao u skript jezicima) ili veoma kompleksna
- Doseg ne određuje nužno životni vek objekta

Životni vek

- Životni vek obično odgovara jednom od tri osnovna mehanizma skladištenja podataka
- Statički objekti — koji imaju životni vek koji se prostire tokom celog rada programa (npr globalne promenljive)
- Objekti na steku — životni vek koji se alocira i dealocira LIFO principom, obično zajedno sa pozivom i završetkom rada podprograma.
- Objekti na hipu — koji se alociraju i dealociraju proizvoljno od strane programera, implicitno ili eksplicitno, i koji zahtevaju opštiji i skuplji sistem za upravljanje skladištenjem (memorijom)

Povezivanje

- Povezivanje uspostavlja odnos između imena sa onim što to ime predstavlja.
- Vreme povezivanja je vreme kada se ova veza uspostavlja
- Rano vreme povezivanja — veća efikasnost, kasno vreme povezivanja — veća fleksibilnost.

Povezivanje

- Vreme povezivanja može biti (vreme - primer)
 - vreme dizajna programskog jezika (osnovni konstrukti, primitivni tipovi podataka...)
 - vreme implementacije (veličina osnovnih tipova podataka...)
 - vreme programiranja (algoritmi, strukture, imena promenljivih)
 - vreme kompiliranja (preslikavanje konstrukata višeg nivoa u mašinski kod)
 - vreme povezivanja (kada se ime iz jednog modula odnosi na objekat definisan u drugom modulu)
 - vreme učitavanja (kod starijih operativnih sistema, povezivanje objekata sa fizičkim adresama u memoriji)
 - vreme izvršavanja (povezivanje promenljivih i njihovih vrednosti)

Pregled

- 1 Uvod
- 2 Leksika, sintaksa, semantika
- 3 Imena, povezanost, doseg
- 4 Kontrola toka i tipovi**
 - Kontrola toka
 - Tipovi
- 5 Prevođenje i izvršavanje

Kontrola toka

- Kontrola toka definiše redosled izračunavanja koje računar sprovodi da bi se ostvario neki cilj.
- Postoje različiti mehanizmi određivanja kontrole toka:
 - 1 Sekvenca — određen redosled izvršavanja
 - 2 Selekcija — u zavisnosti od uslova, pravi se izbor (if, switch)
 - 3 Iteracija — fragment koda se izvršava više puta
 - 4 Podrutine su apstrakcija kontrole toka: one dozvoljavaju da programer sakrije proizvoljno komplikovan kod iza jednostavnog interfejsa (procedure, funkcije, rutine, metodi, potprogrami)

Kontrola toka

- Postoje različiti mehanizmi određivanja kontrole toka:
 - 5 Rekurzija — definisanje izraza u terminima samog izraza (direktno ili indirektno)
 - 6 Konkurentnost — dva ili više fragmenta programa mogu da se izvršavaju u istom vremenskom intervalu, bilo paralelno na različitim procesorima, bilo isprepletano na istom procesoru
 - 7 Podrška za rad sa izuzecima — fragment koda se izvršava očekujući da su neki uslovi ispunjeni, ukoliko se desi suprotno, izvršavanje se nastavlja u okviru drugog fragmenta za obradu izuzetka
 - 8 Nedeterminizam — redosled izvršavanja se namerno ostavlja nedefinisan, što povlači da izvršavanje proizvoljnim redosledom dovodi do korektnog rezultata

Tipovi

- Programski jezici moraju da organizuju podatke na neki način
- Tipovi pomažu u dizajniranju programa, proveru ispravnosti programa i u utvrđivanju potrebne memorije za skladištenje podataka
- Mehanizmi potrebni za upravljanjem podacima nazivaju se sistem tipova

Tipovi

- Sistem tipova obično uključuje
 - skup predefinisanih osnovnih tipova (npr int, string...)
 - mehanizam građenja novih tipova (npr struct, union)
 - mehanizam kontrolisanja tipova
 - pravila za utvrđivanje ekvivalentnosti: kada su dva tipa ista?
 - pravila za utvrđivanje kompatibilnosti: kada se jedan tip može zameniti drugim?
 - pravila izvođenja: kako se dodeljuje tip kompleksnim izrazima?
 - pravila za proveru tipova (statička i dinamička provera)

Tipovi

- Jezik je tipiziran ako precizira za svaku operaciju nad kojim tipovima podataka može da se izvrši
- Jezici kao što je assembler i mašinski jezici nisu tipizirani jer se svaka operacija izvršava nad bitovima fiksne širine
- Postoji slabo i jako tipiziranje
 - Kod jako tipiziranih jezika izvođenje operacije nad podacima pogrešnog tipa će izazvati grešku
 - Slabo tipizirani jezici izvršavaju implicitne konverzije ukoliko nema poklapanja tipova
 - Neki jezici dozvoljavaju eksplicitno kastovanje tipova

Tipovi

- Važan je trenutak kada se radi provera tipova
 - Za vreme prevođenja programa — statičko tipiziranje
 - Za vreme izvršavanja programa — dinamičko tipiziranje
- Statičko tipiziranje je manje sklono greškama ali može da bude previše restriktivno, dok je dinamičko tipiziranje sklonije greškama i teško za debugovanje ali fleksibilnije.

Pregled

- 1 Uvod
- 2 Leksika, sintaksa, semantika
- 3 Imena, povezanost, doseg
- 4 Kontrola toka i tipovi
- 5 Prevođenje i izvršavanje**
 - Kompilacija vs Interpretiranje
 - Izvršavanje

Kompilacija vs Interpretiranje

- Kompilirani jezici se prevode u mašinski kod koji se izvršava direktno na procesoru računara - faze prevođenja i izvršavanja programa su razdvojene.
- U toku prevođenja, vrše se razne optimizacije izvršnog koda što ga čini efikasnijim.
- Jednom preveden kod se može puno puta izvršavati, ali svaka izmena izvornog koda zahteva novo prevođenje.

Kompilacija vs Interpretiranje

- Interpretirani jezici se prevode naredbu po naredbu i neposredno zatim se naredba izvršava — faze prevođenja i izvršavanja nisu razdvojene već su međusobno isprepletene.
- Rezultat prevođenja se ne smešta u izvršnu datoteku, već je za svako naredno pokretanje potrebna ponovna analiza i prevođenje.
- Sporiji, ali prilikom malih izmena koda nije potrebno vršiti analizu celokupnog koda.
- Hibridni jezici — kombinacija prethodna dva.

Kompilacija vs Interpretiranje

- Teorijski, svi programski jezici mogu da budu i kompilirani i interpretirani.
- Moderni programski jezici najčešće pružaju obe mogućnosti, ali u praksi je za neke jezike prirodnije koristiti odgovarajući pristup.
- Nekada se u fazi razvoja i testiranja koristi interpretirani pristup, a potom se generiše izvršni kod kompilacijom.
- Prema tome, razlika se zasniva pre na praktičnoj upotrebi nego na samim karakteristikama jezika.

Izvršavanje

- Svaka netrivialna implementacija jezika višeg nivoa intenzivno koristi rantajm biblioteke
- Rantajm sistem se odnosi na skup biblioteka od kojih implementacija jezika zavisi kako bi program mogao ispravno da se izvršava.
- Neke bibliotečke funkcije rade jednostavne stvari (npr podrška aritmetičkim funkcijama koje nisu implementirane u okviru hardvera, kopiranje sadržaja memorije...) dok neke rade komplikovanije stvari (npr upravljanje hipom, rad sa baferovanim I/O, rad sa grafičkim I/O...)

Izvršavanje

- Neki jezici imaju veoma male rantajm sisteme (npr C)
- Neki jezici koriste rantajm sisteme intenzivno
- Virtuelne mašine u potpunosti skrivaju hardver arhitekture nad kojom se program izvršava
- C# koristi rantajm sistem CLI, JAVA koristi JVM

Pregled

- 1 Uvod
- 2 Leksika, sintaksa, semantika
- 3 Imena, povezanost, doseg
- 4 Kontrola toka i tipovi
- 5 Prevođenje i izvršavanje
- 6 Pitanja i literatura

Pitanja

- Koja su osnovna svojstva programskih jezika?
- Koji formalizam se koristi za opisivanje sintakse programskog jezika?
- Šta definiše semantika programskog jezika?
- Koji su formalni okviri za definisanje semantike programskih jezika?
- Šta je ime?
- Šta je povezivanje?
- Koja su moguća vremena povezivanja?

Pitanja

- Šta je doseg?
- Šta je kontrola toka?
- Koji su mehanizmi određivanja kontrole toka?
- Šta je sistem tipova i šta on uključuje?
- Šta je tipiziranje i kakvo tipiziranje postoji?
- Kada se radi provera tipova?
- Koja je razlika između kompiliranja i interpretiranja?
- Šta je rantaajm sistem?

Literatura

- Programming Language Pragmatics, Third Edition, 2009 by Michael L. Scott
- Seven Languages in Seven Weeks: A Pragmatic Guide to Learning Programming Languages (Pragmatic Programmers), 2010. by Bruce A. Tate
- Semantics with Applications: A Formal Introduction. Hanne Riis Nielson, Flemming Nielson. John Wiley & Sons, Inc.
http:
`//www.daimi.au.dk/~bra8130/Wiley_book/wiley.pdf`

Literatura

- Programming Language Pragmatics, Third Edition, 2009 by Michael L. Scott
- Deo materijala je preuzet od prof Dušana Tošića, iz istoimenog kursa.