

Programmeerimiskeelte semantika

Varmo VENE & Härmel NESTRA
Arvutiteaduse Instituut
Tartu Ülikool

EMAIL: varmo@cs.ut.ee

nestra@cs.ut.ee

WWW: <http://www.cs.ut.ee/~varmo/SEM04/>

Kursuse plaan

- Operatsioonsemantika
 - Loomulik semantika
 - Struktuurne semantika
- Denotatsioonsemantika
 - Püsipunktiteooria
 - Otsestiili denotatsioonsemantika
 - Jätkuedastusstiili denotatsioonsemantika
- Programmide staatiline analüüs

Kirjandus

1. H.R.Nielson, F.Nielson. Semantics with Applications: A Formal Introduction. Wiley, 1992.
2. G.Winskel. The Formal Semantics of Programming Languages: An Introduction. MIT, 1993.
3. D.A.Schmidt. The Structure of Typed Programming Languages. MIT, 1994.
4. G.Plotkin. Domains. Dept. of Computer Science. University of Edinburgh, 1983.
5. ...

Programmeerimiskeeled

Notatsioon arvutile käskude esitamiseks (näit. Pascal, mingi rakendusprogrammi sisendkäsud, ...)

- **Süntaks**

- keele lausete “väljanägemine” ja struktuur

- **Semantika**

- keele lausete tähendus

- **Pragmaatika**

- keele kasutatavus (näit. rakendusvaldkonnad, efektiivsus, ...)

Keele realisatsioon

Koosneb kahest peamisest osast:

- **Parser**
 - Kontrollib programmi vastavust süntaksile, teisendab programmi sisekujule
- **“Väärtustaja”**
 - Väärtustab sisendprogrammi sellele vastavaks väljundiks (so. annab programmile tähenduse — semantika)

Realisatsioon kuulub keele pragmaatika valdkonda.

Väärtustamine

- **Interpreteerimine**

- Programmi täitmine
- Interpretaator defineerib programmi tähenduse

- **Kompileerimine**

- Programmi teisendamine ekvivalentseks programmiks mingis teises keeles (näit. masinkoodis)
- Kompilaator säilitab programmi tähenduse

Formaalsed spetsifikatsioonid

- **Süntaks:** BNF (Backus-Naur Form)
 - Vastavus BNF'i ja parserite vahel
 - Sisend parserite generaatorile (näit. yacc)
- **Semantika:** ??
 - Täpne standard realiseerimiseks
 - Vahend keele disainiks ja analüüsiks
 - Sisend kompilaatorite generaatorile

Semantikat on palju raskem kirjeldada (“semantika on kõik see, mida ei saa kirjeldada BNF abil”).

Operatsioonsemantika

- Keel on defineeritud interpretaatori (abstraktse masina) abil
- Iga konstruktsioon on defineeritud üleminekureegli abil
- Programmi tähendus on interpretaatori olekute jada

$$P : S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow \dots \rightarrow S_n,$$

kus P on programm ja S_i interpretaatori olek

Aksiomaatiline semantika

- Keel on defineeritud loogiliste aksioomide ja tuletusreeglide abil
- Igale konstruktsioonile vastab aksioom
- Ei defineeri mitte programmi tähendust vaid omadusi

$$\{A\}P\{B\}$$

kus P on programm ning A ja B vastavalt eel- ja järel tingimused

- Tõestatavad omadused ei tarvitse kirjeldada programmi unikaalselt

Denotatsioonsemantika

- Programmi tähendus on matemaatiline objekt
- Igale konstruktsioonile seatakse väärtustusfunktsiooni abil vastavusse tema tähendus (denotatsioon)

$$\mathcal{S}[[P]] = D$$

kus P on programm, $\mathcal{S}$ väärtustusfunktsioon ja D denotatsioon

- Programmi tähendus on selle osade tähenduste kompositsioon
- On abstraktsem kui operatsioonsemantika (puuduvad arvutussammud), kuid konkreetsem kui aksiomaatiline semantika (tähendus ilmutatud kujul)

Binaararvude semantika

- Süntaktilised kategooriad:

$n \in \mathbf{Num}$ binaararvud

- Abstraktne süntaks:

$n ::= 0 \mid 1 \mid n0 \mid n1$

- Semantiline funktsioon: $\mathcal{N} : \mathbf{Num} \rightarrow \mathbf{Z}$

$$\mathcal{N}[[0]] = 0$$

$$\mathcal{N}[[1]] = 1$$

$$\mathcal{N}[[n0]] = 2 \star \mathcal{N}[[n]]$$

$$\mathcal{N}[[n1]] = 2 \star \mathcal{N}[[n]] + 1$$

Avaldiste semantika

- Süntaktilised kategooriad:

$n \in \mathbf{Num}$ arvud

$x \in \mathbf{Var}$ muutujad

$a \in \mathbf{AExp}$ aritmeetilised avaldised

- Abstraktne süntaks:

$$a ::= n \mid x \mid a_1 + a_2 \mid a_1 \star a_2 \mid a_1 - a_2$$

- Muutujate semantika annab keskkond (olek)!

$$\mathbf{State} = \mathbf{Var} \rightarrow \mathbf{Z}$$

Avaldiste semantika

- Semantiline funktsioon: $\mathcal{A} : \mathbf{AExp} \rightarrow (\mathbf{State} \rightarrow \mathbf{Z})$

$$\mathcal{A}[[n]]s = \mathcal{N}[[n]]$$

$$\mathcal{A}[[x]]s = s\ x$$

$$\mathcal{A}[[a_1 + a_2]]s = \mathcal{A}[[a_1]]s + \mathcal{A}[[a_2]]s$$

$$\mathcal{A}[[a_1 \star a_2]]s = \mathcal{A}[[a_1]]s \star \mathcal{A}[[a_2]]s$$

$$\mathcal{A}[[a_1 - a_2]]s = \mathcal{A}[[a_1]]s - \mathcal{A}[[a_2]]s$$

Lihtne imperatiivne keel — While

- Süntaktilised kategooriad

$n \in \mathbf{Num}$ arvud

$x \in \mathbf{Var}$ muutujad

$a \in \mathbf{AExp}$ aritmeetilised avaldised

$b \in \mathbf{BExp}$ tõeväärtusavaldised

$S \in \mathbf{Stm}$ laused

Lihtne imperatiivne keel — While

- Abstraktne süntaks

$$a ::= n \mid x \mid a_1 + a_2 \mid a_1 \star a_2 \mid a_1 - a_2$$
$$b ::= \text{true} \mid \text{false} \mid a_1 = a_2 \mid a_1 \leq a_2 \mid \neg(b) \mid b_1 \wedge b_2$$
$$S ::= x := a \mid \text{skip} \mid S_1; S_2 \\ \mid \text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2 \mid \text{while } b \text{ do } S$$

- Näide:

$$y := 1; \text{ while } \neg(x = 1) \text{ do } (y := y \star x; x := x - 1)$$