

Abstraktsete domeenide omaduspõhine testimine

Bakalaureusetöö

Simmo Saan

Tartu Ülikool, arvutiteaduse instituut

13. juuni 2018

- 1 Sissejuhatus
- 2 Teoreetiline taust
- 3 Analüsaator Goblint
- 4 Testimise tulemused
- 5 Kokkuvõte

- Staatiline analüüs — programme ei käivitata
 - Vigade otsimine
 - Vigade puudumise tõestamine
- Abstraktne interpretatsioon
 - Ligikaudsed seisundid — domeen
 - Teooria garanteerib korrektsuse (ingl. *sound*)
- Analüsaatorites esineb vigu
 - Analüüs ja selle korrektsus rikutud

- Staatiline analüüs — programme ei käivitata
 - Vigade otsimine
 - Vigade puudumise tõestamine
- Abstraktne interpretatsioon
 - Ligikaudsed seisundid — domeen
 - Teooria garanteerib korrektsuse (ingl. *sound*)
- Analüsaatorites esineb vigu
 - Analüüs ja selle korrektsus rikutud

Eesmärk

Analüsaatori Goblini

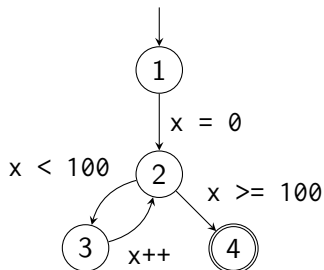
- Domeenide omaduspõhine testimine
- Vigade tuvastamine

- Täisarvude staatiliseks analüüsiks saab kasutada **intervalle**
 - Näiteks $[0, 3]$, $[-1, 5]$, $[2, 2]$, $[1, +\infty]$, $[-\infty, +\infty]$
- Aritmeetilised tehted intervallidel
 - Näiteks liitmine $[0, 3] + [-1, 5] = [-1, 8]$

- Täisarvude staatiliseks analüüsiks saab kasutada **intervalle**
 - Näiteks $[0, 3]$, $[-1, 5]$, $[2, 2]$, $[1, +\infty]$, $[-\infty, +\infty]$
- Aritmeetilised tehted intervallidel
 - Näiteks liitmine $[0, 3] + [-1, 5] = [-1, 8]$
- Osalise järjestuse seos sisalduvuse kaudu
 - Näiteks $[2, 2] \subseteq [0, 3] \subseteq [-1, 5] \subseteq [-\infty, +\infty]$
 - Kokkuleppeliselt väiksem tähendab täpsemat
- Ühendamise tehe ühendi kaudu
 - Näiteks $[0, 3] \sqcup [5, 7] = [0, 7]$
- Suurim intervall
 - $\mathbb{T} = [-\infty, +\infty]$

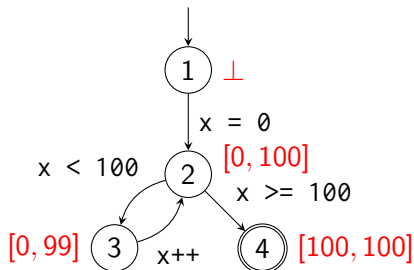
Näidisanalüüs intervallidega

```
int x = 0;  
while (x < 100)  
    x++;
```



Muutuja x väärtus

```
int x = 0;  
while (x < 100)  
    x++;
```



Domeen moodustab **täieliku võre**:

- Elementide hulk \mathbb{D}
- Osalise järjestuse seos \sqsubseteq
- Ülemise raja tehe \sqcup
- Alumise raja tehe \sqcap
- Suurim element \top
- Vähim element \perp

Domeenide omadused

Olgu \mathbb{D} täielik võre, siis iga $a, b, c \in \mathbb{D}$ korral:

Domeenide omadused

Olgu \mathbb{D} täielik võre, siis iga $a, b, c \in \mathbb{D}$ korral:

- $a \sqsubseteq a$
- kui $a \sqsubseteq b$ ja $b \sqsubseteq c$, siis $a \sqsubseteq c$
- kui $a \sqsubseteq b$ ja $b \sqsubseteq a$, siis $a = b$

Olgu \mathbb{D} täielik võre, siis iga $a, b, c \in \mathbb{D}$ korral:

- $a \sqsubseteq a$
- kui $a \sqsubseteq b$ ja $b \sqsubseteq c$, siis $a \sqsubseteq c$
- kui $a \sqsubseteq b$ ja $b \sqsubseteq a$, siis $a = b$
- $a \sqsubseteq a \sqcup b$ ja $b \sqsubseteq a \sqcup b$
- $a \sqcap b \sqsubseteq a$ ja $a \sqcap b \sqsubseteq b$
- kui $a \sqsubseteq c$ ja $b \sqsubseteq c$, siis $a \sqcup b \sqsubseteq c$
- kui $c \sqsubseteq a$ ja $c \sqsubseteq b$, siis $c \sqsubseteq a \sqcap b$

Olgu \mathbb{D} täielik võre, siis iga $a, b, c \in \mathbb{D}$ korral:

- $a \sqsubseteq a$
- kui $a \sqsubseteq b$ ja $b \sqsubseteq c$, siis $a \sqsubseteq c$
- kui $a \sqsubseteq b$ ja $b \sqsubseteq a$, siis $a = b$
- $a \sqsubseteq a \sqcup b$ ja $b \sqsubseteq a \sqcup b$
- $a \sqcap b \sqsubseteq a$ ja $a \sqcap b \sqsubseteq b$
- kui $a \sqsubseteq c$ ja $b \sqsubseteq c$, siis $a \sqcup b \sqsubseteq c$
- kui $c \sqsubseteq a$ ja $c \sqsubseteq b$, siis $c \sqsubseteq a \sqcap b$
- $(a \sqcup b) \sqcup c = a \sqcup (b \sqcup c)$
- $a \sqcup b = b \sqcup a$
- $a \sqcup a = a$
- $a \sqcup (a \sqcap b) = a$
- $(a \sqcap b) \sqcap c = a \sqcap (b \sqcap c)$
- $a \sqcap b = b \sqcap a$
- $a \sqcap a = a$
- $a \sqcap (a \sqcup b) = a$

Domeenide omadused

Olgu \mathbb{D} täielik võre, siis iga $a, b, c \in \mathbb{D}$ korral:

- $a \sqsubseteq a$

- kui $a \sqsubseteq b$ ja $b \sqsubseteq c$, siis $a \sqsubseteq c$

- kui $a \sqsubseteq b$ ja $b \sqsubseteq a$, siis $a = b$

- $a \sqsubseteq a \sqcup b$ ja $b \sqsubseteq a \sqcup b$

- $a \sqcap b \sqsubseteq a$ ja $a \sqcap b \sqsubseteq b$

- kui $a \sqsubseteq c$ ja $b \sqsubseteq c$, siis $a \sqcup b \sqsubseteq c$

- kui $c \sqsubseteq a$ ja $c \sqsubseteq b$, siis $c \sqsubseteq a \sqcap b$

- $(a \sqcup b) \sqcup c = a \sqcup (b \sqcup c)$

- $a \sqcup b = b \sqcup a$

- $a \sqcup a = a$

- $a \sqcup (a \sqcap b) = a$

- $\perp \sqsubseteq a$

- $a \sqsubseteq \top$

- $a \sqcup \perp = a$

- $a \sqcap \top = a$

- $(a \sqcap b) \sqcap c = a \sqcap (b \sqcap c)$

- $a \sqcap b = b \sqcap a$

- $a \sqcap a = a$

- $a \sqcap (a \sqcup b) = a$

Olgu \mathbb{D} täielik võre, siis iga $a, b, c \in \mathbb{D}$ korral:

- $a \sqsubseteq a$
- kui $a \sqsubseteq b$ ja $b \sqsubseteq c$, siis $a \sqsubseteq c$
- kui $a \sqsubseteq b$ ja $b \sqsubseteq a$, siis $a = b$
- $a \sqsubseteq a \sqcup b$ ja $b \sqsubseteq a \sqcup b$
- $a \sqcap b \sqsubseteq a$ ja $a \sqcap b \sqsubseteq b$
- kui $a \sqsubseteq c$ ja $b \sqsubseteq c$, siis $a \sqcup b \sqsubseteq c$
- kui $c \sqsubseteq a$ ja $c \sqsubseteq b$, siis $c \sqsubseteq a \sqcap b$
- $(a \sqcup b) \sqcup c = a \sqcup (b \sqcup c)$
- $a \sqcup b = b \sqcup a$
- $a \sqcup a = a$
- $a \sqcup (a \sqcap b) = a$

- $\perp \sqsubseteq a$
- $a \sqsubseteq \top$
- $a \sqcup \perp = a$
- $a \sqcap \top = a$

Samaväärsed:

- 1 $a \sqsubseteq b$
 - 2 $a \sqcup b = b$
 - 3 $a \sqcap b = a$
- $(a \sqcap b) \sqcap c = a \sqcap (b \sqcap c)$
 - $a \sqcap b = b \sqcap a$
 - $a \sqcap a = a$
 - $a \sqcap (a \sqcup b) = a$

Omaduspõhine testimine:

- QuickCheck
- Hea matemaatiliste tingimuste kontrollimiseks
- Omadused — predikaadid
- Generaatorid — juhuslikud

Omaduspõhine testimine:

- QuickCheck
- Hea matemaatiliste tingimuste kontrollimiseks
- Omadused — predikaadid
- Generaatorid — juhuslikud

Analüsaator Goblint:

- TÜ, TUM
- Mitmelõimelised C programmid
- Andmejooksud
- Kirjutatud OCaml-is

```
module type S =  
sig  
  type t (* domeeni elementide tüüp *)  
  val equal: t -> t -> bool (* seos = *)  
  val leq: t -> t -> bool (* seos  $\sqsubseteq$  *)  
  val join: t -> t -> t (* tehe  $\sqcup$  *)  
  val meet: t -> t -> t (* tehe  $\sqcap$  *)  
  val bot: unit -> t (* element  $\perp$  *)  
  val is_bot: t -> bool  
  val top: unit -> t (* element  $\top$  *)  
  val is_top: t -> bool  
  val widen: t -> t -> t (* tehe  $\sqcup$  *)  
  val narrow: t -> t -> t (* tehe  $\sqcap$  *)  
end
```

- Domeenidesse generaatorid:

```
val arbitrary: unit -> t QCheck.arbitrary
```

- Kõik omadused omaduspõhiste testidena

- Näiteks ülemraja kommutatiivsus ($a \sqcup b = b \sqcup a$):

```
let join_comm = make ~name:"join comm" (pair arb arb)  
  (fun (a, b) -> D.equal (D.join a b) (D.join b a))
```

- D testitav domeen
- arb selle generaator

```
generated error fail pass / total  time  test name
...
[✓] 300    0    0   10 / 100    0.0s trier: leq trans
[✓] 300    0    0    1 / 100    0.0s trier: leq antisym
[✓] 100    0    0  100 / 100    0.0s trier: join leq
[✗]  2     0    1    1 / 100    0.0s trier: join assoc
[✓] 100    0    0  100 / 100    0.0s trier: join comm
[✓] 100    0    0  100 / 100    0.0s trier: join idem
[✓] 100    0    0  100 / 100    0.0s trier: join abs
...
```

--- Failure -----

Test trier: join assoc failed (91 shrink steps):

(0, 1, Not {3}([-63,63]))

Ülevaatlikud tulemused

Lähenemine	Võrdlemine	Testide arv		
		Kokku	Erindi teke	Mittekehtivad
Alt üles	equal	468	~35	~75
	leq	468	~35	~69
Ülalt alla	equal	27	0	~12
	leq	27	0	~12

Lähenemine	Võrdlemine	Testide arv		
		Kokku	Erindi teke	Mittekehtivad
Alt üles	equal	468	~35	~75
	leq	468	~35	~69
Ülalt alla	equal	27	0	~12
	leq	27	0	~12

Erindi tekkimise ja mittekehtimise põhjuseid:

- 1 Viga domeeni implementeerimisel
- 2 Mittekehtimine teoreetilisel tasandil
- 3 Teadlik ja dokumenteeritud mittekehtimine
- 4 Sõltumine teistest probleemsetest omadustest/domeenidest

- Goblintis vaikumisi kasutusel
- Elemendid:
 - Üksikud täisarvud
 - Välistatud täisarvude hulgad (ingl. *exclusion set*)

- Goblintis vaikumisi kasutusel
- Elemendid:
 - Üksikud täisarvud
 - Välistatud täisarvude hulgad (ingl. *exclusion set*)
- Mittekehtiv ülemraja assotsiatiivsus

$$(a \sqcup b) \sqcup c = a \sqcup (b \sqcup c)$$

näiteks argumentidel

$$a = 0, \quad b = 1, \quad c = \text{Not } \{3\}([-63, 63])$$

- **Viga domeeni disainis**

Tehtud:

- Domeenide omaduste komplekt
- Goblinti täiendused: omadused ja generaatorid
- Goblinti domeenide testimine
- Tulemuste esmane analüüs

Tehtud:

- Domeenide omaduste komplekt
- Goblinti täiendused: omadused ja generaatorid
- Goblinti domeenide testimine
- Tulemuste esmane analüüs

Järeldus

Omaduspõhist testimist on võimalik efektiivselt rakendada abstraktsetest domeenidest vigade leidmiseks.

Aitäh!

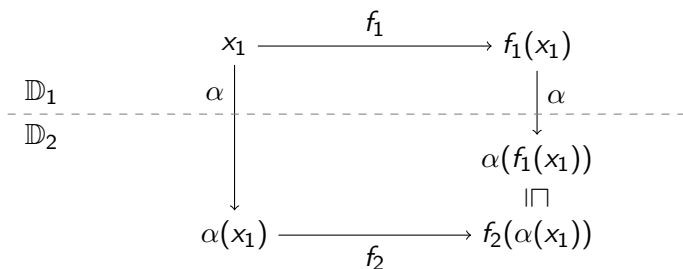
Domeenide omadused (2)

Programmianalüüsis:

- Laiendamise tehe \sqcup
 - $a \sqcup b \sqsubseteq a \sqcup b$
- Kitsendamise tehe \sqcap
 - $a \sqcap b \sqsubseteq a \sqcap b \sqsubseteq a$

Abstraktsiooni korrektsus:

- Abstraktsioonifunktsioon $\alpha : \mathbb{D}_1 \rightarrow \mathbb{D}_2$
- kui $a \sqsubseteq b$, siis $\alpha(a) \sqsubseteq \alpha(b)$
- $\alpha(f_1(x_1)) \sqsubseteq f_2(\alpha(x_1))$
 - f_1, f_2 vastavad monotoonsed tehted



Testitud täisarvude domeenid Goblintis

