

Abstraktsete domeenide omaduspõhine testimine

Bakalaureusetöö

Simmo Saan

Tartu Ülikool, arvutiteaduse instituut

Juuni, 2018

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

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

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

Eesmärk

Goblint analüsaatori

- Domeenide omaduspõhine testimine
- Vigade tuvastamine

- Täisarvude staatiliseks analüüsiks saab kasutada **intervalle**
 - Näiteks $[0, 3]$, $[-1, 5]$, $[2, 2]$, $[1, +\infty]$, $[-\infty, +\infty]$

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

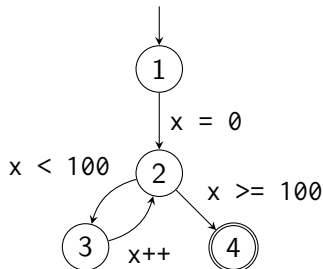
- Täisarvude staatiliseks analüüsiks saab kasutada **intervalle**
 - Näiteks $[0, 3]$, $[-1, 5]$, $[2, 2]$, $[1, +\infty]$, $[-\infty, +\infty]$
- Aritmeetilised tehted intervallidel
 - Näiteks liitmine $[0, 3] + [-1, 5] = [-1, 8]$
- Osalise järjestuse seos sisalduvuse kaudu
 - Näiteks $[2, 2] \subseteq [0, 3] \subseteq [-1, 5] \subseteq [-\infty, +\infty]$
 - Kokkuleppeliselt väiksem tähendab täpsemat

- 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 $[0, 3] \sqcup [5, 7] = [0, 7]$

- 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
 - $\top = [-\infty, +\infty]$

Näidisanalüüs intervallidega

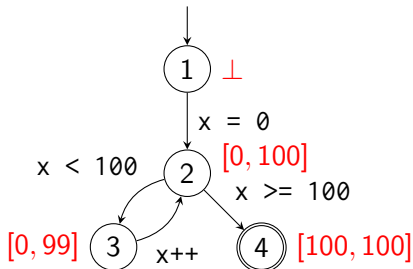
```
int x = 0;  
while (x < 100)  
    x++;
```



Näidisanalüüs intervallidega

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

Muutuja x väärtus



Domeen peab moodustama **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 $a = b$

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 $c \sqsubseteq a \sqcap b$

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

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 $c \sqsubseteq a \sqcap b$
- $(a \sqcup b) \sqcup c = a \sqcup (b \sqcup c)$
- $a \sqcup b = b \sqcup a$
- $a \sqcup a = a$
- $a \sqcup (a \sqcap b) = a$
- $\perp \sqsubseteq a$
- $a \sqsubseteq \top$
- $a \sqcup \perp = a$
- $a \sqcap \top = a$
- $(a \sqcap b) \sqcap c = a \sqcap (b \sqcap c)$
- $a \sqcap b = b \sqcap a$
- $a \sqcap a = a$
- $a \sqcap (a \sqcup b) = a$

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

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

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

Goblint analüsaator:

- Mitmelõimelised C programmid
- Kirjutatud OCaml-is

Goblinti domeeni signatuur

```
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:

```
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

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

Ülevaatlilikud 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

Erindi tekkimise ja mittekehtimisel põhjuseid:

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

- Goblintis vaikimisi kasutusel
- Elemendid:
 - Üksikud täisarvud
 - Välistatud täisarvude hulgad (*exclusion set*)

- Goblintis vaikumisi kasutusel
- Elemendid:
 - Üksikud täisarvud
 - Välistatud täisarvude hulgad (*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

