

Automaadid, keeled ja translaatorid

Süvenduspraktikum

Simmo Saan, Vesal Vojdani, Karoliine Holter

LTAT.03.023 Automaatide, keelte ja translaatorite süvenduspraktikum
Arvutiteaduse instituut, Tartu Ülikool

Kevad 2022/23

Administratiivinfo

- 3 EAP
- Mitte-eristav hindamine
- Praktikumid: 32 h
 - AKT tunniplaanis!
 - R 14:15–15:45, Δ – 1037
 - Zoom
- Iseseisev töö: ~~78~~ 46 h
- Registreerumine:
 - [AKT Moodle'is](#) – kuni 19.02.
 - Kirjuta Zulip-is/email



Eesmärk

Kohustuslik aine Automaadid, keeled ja translaatorid teenib suurt kuulajaskonda ning keskendub programmeerimisoskuste edasiarendamisele. Antud aine eesmärk on põhiline kõrval *pakkuda huvitavamaid teemasid nendele, kellel on sügavam huvi programmeerimiskeelte vastu.*

Sisu lühikirjeldus

Kursus sisaldab täiendavaid teemasid automaatide, keelte ja translaatorite kohta.

- **OCaml-i keele kiirkursus**, milles kõike hakatakse implementeerima.
- **Automaadid tarkvaravigade tuvastamiseks**: juhtimisvoo automaadid, olekute otseesitusega mudelikontroll, ~~mudelipõhine testimine~~.
- **Automaatne verifitseerimine**: korrektne staatiline analüüs, abstraktne interpretatsioon, mitmelõimeliste programmide analüüs.
- **Deduktiivsed meetodid**: ~~sümboolne väärtustamine~~, automaatsed teoreemitõestajad, ~~verifitseeritud programmeerimine~~.

Õpiväljundid

Üliõpilane oskab

- rakendada põhilisi programmianalüüsi meetodeid lihtsatele programmidele;
- ühe enda poolt valitud programmianalüüsi meetodi OCaml-i implementatsiooni täiendada;
- *otsustada, kas teda huvitab programmeerimiskeelte valdkond nii palju, et oma elu sellele pühendada.*

Õpiväljundid

Üliõpilane oskab

- rakendada põhilisi programmianalüüsi meetodeid lihtsatele programmidele;
- ühe enda poolt valitud programmianalüüsi meetodi OCaml-i implementatsiooni täiendada;
- *otsustada, kas teda huvitab programmeerimiskeelte valdkond nii palju, et oma elu sellele pühendada.*



Hindamine

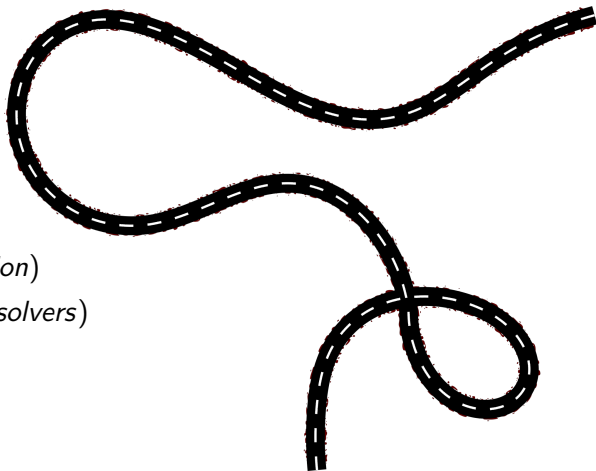
- Mitte-eristav
- OCaml-is programmeerimine
- Jooksvad kodutööd (~ 6) — praktikumi töö lõpetamine
- Suurem kodutöö — ühe teema edasiarendus
- *Kõik* esitatud ja arvestatud

Miks süvenduspraktikum?

- AKT-s väga väike tähelepanu *semantilisel analüüsil*
 - Meie teadus: programmianalüüs
 - Ainus võimalus (bakas) sellega tutvumiseks
-
- Süvenduspraktikum annab praktilise ülevaate põhilistest programmianalüüsi meetoditest
 - Teemad, mis huvitavad meid ja loodetavasti ka teid
 - Kergem teha bakatöö meiega

Teemad

- ① OCaml
- ② Juhtvoograafid (*control-flow graphs*)
- ③ Mudelkontroll (*model checking*)
- ④ Püsipunktid (*fixpoints*)
- ⑤ Abstraktne interpretatsioon
- ⑥ Hoare'i loogika
- ⑦ Nõrgim eeltingimus (*weakest precondition*)
- ⑧ Automaatsed teoreemitõestajad (*SMT solvers*)
- ⑨ Võrrandisüsteemid (*constraint systems*)
- ⑩ Mitmelõimeliste programmide analüüs
- ⑪ Goblint



OCaml

```
let rec eval_stmt (env: ED.t) (stmt: stmt): ED.t =  
  match stmt with  
  | Assign (x, expr) ->  
    let id = eval_expr env expr in  
    ED.add x id env  
  | Seq (s1, s2) ->  
    let env' = eval_stmt env s1 in  
    eval_stmt env' s2  
  | If (cond, tb, fb) ->  
    let env_true = eval_guard env cond true in  
    let env_tb = eval_stmt env_true tb in  
    let env_false = eval_guard env cond false in  
    let env_fb = eval_stmt env_false fb in  
    ED.join env_tb env_fb  
  (* ... *)
```

Miks OCaml?

- ML keelte perekond
- Kasutusel:
 - Kasutusel programmeerimiskeelte valdkonnas
 - Kasutusel Goblinis
 - Kasutusel *industry*-s
- Omadusi:
 - Funktsionaalne, imperatiivne, objekt-orienteeritud
 - Staatiline tüübisüsteem
 - Tüübituletus
 - Algebralised andmetüübid, mustrisobitus
 - Moodulsüsteem
- <https://ocaml.org>: Why OCaml?



Mudelkontroll

$$\{\{x \mapsto 4\}, \{x \mapsto 5\}, \{x \mapsto 6\}, \dots\} \xrightarrow{x=x+1} \{\{x \mapsto 5\}, \{x \mapsto 6\}, \{x \mapsto 7\}, \dots\}$$

Mudelkontroll

$$\{\{x \mapsto 4\}, \{x \mapsto 5\}, \{x \mapsto 6\}, \dots\} \xrightarrow{x=x+1} \{\{x \mapsto 5\}, \{x \mapsto 6\}, \{x \mapsto 7\}, \dots\}$$

Abstraktne interpretatsioon

$$\{x \mapsto [4, \infty]\} \xrightarrow{x=x+1} \{x \mapsto [5, \infty]\}$$

Abstraktne interpretatsioon

$$\{x \mapsto [4, \infty]\} \xrightarrow{x=x+1} \{x \mapsto [5, \infty]\}$$

Hoare'i loogika

$$\frac{x \geq 4 \rightarrow x + 1 \geq 5 \quad \{x + 1 \geq 5\}x = x + 1\{x \geq 5\} \quad x \geq 5 \rightarrow x \geq 5}{\{x \geq 4\}x = x + 1\{x \geq 5\}}$$

Hoare'i loogika

$$\frac{x \geq 4 \rightarrow x + 1 \geq 5 \quad \{x + 1 \geq 5\}x = x + 1\{x \geq 5\} \quad x \geq 5 \rightarrow x \geq 5}{\{x \geq 4\}x = x + 1\{x \geq 5\}}$$

Hoare'i loogika

$$\frac{x \geq 4 \rightarrow x + 1 \geq 5 \quad \{x + 1 \geq 5\}x = x + 1\{x \geq 5\} \quad x \geq 5 \rightarrow x \geq 5}{\{x \geq 4\}x = x + 1\{x \geq 5\}}$$

Nõrgim eeltingimus

$$x + 1 \geq 5 \xrightarrow{x=x+1} x \geq 5$$

Nõrgim eeltingimus

$$x + 1 \geq 5 \xrightarrow{x=x+1} x \geq 5$$

Goblint

- Mitmelõimeliste C programmide analüsaator
- Eriline fookus andmejooksudel
- Üldine raamistik
- Tartu Ülikooli ja Müncheni Tehnikaülikooli koostöö
- Kirjutatud OCaml-is
- <https://goblint.in.tum.de>
- <https://github.com/goblint/analyzer>



SV-COMP-i andmebooksude kategooria

SV-COMP 2021:

- ① **Goblint** (134) –
Wettlaufweltmeister
- ② Dartagnan (-151)



SV-COMP 2022:

- ① UGemCutter (151)
- ② UTaipan (139)
- ③ **Goblint** (124)
- ④ UAutomizer (120)
- ⑤ CSeq (39)
- ⑥ Locksmith (34) – *Vesa/*
- ⑦ UKojak (0)
- ⑧ Dartagnan (-299)

SV-COMP 2023:

- ① **Goblint** (1342)
- ② Deagle (1199)
- ③ UAutomizer (880)
- ④ UGemCutter (785)
- ⑤ UTaipan (745)
- ⑥ Dartagnan (704)
- ⑦ CPAchecker (454)
- ⑧ PeSCo (454)
- ⑨ Theta (205)
- ⑩ Locksmith (234)
- ⑪ ...

SV-COMP-i andmebooksude kategooria

SV-COMP 2021:

- ① **Goblint** (134) –
Wettlaufweltmeister
- ② Dartagnan (-151)



SV-COMP 2022:

- ① UGemCutter (151)
- ② UTaipan (139)
- ③ **Goblint** (124)
- ④ UAutomizer (120)
- ⑤ CSeq (39)
- ⑥ Locksmith (34) – *Vesal*
- ⑦ UKojak (0)
- ⑧ Dartagnan (-299)

SV-COMP 2023:

- ① **Goblint** (1342)
- ② Deagle (1199)
- ③ UAutomizer (880)
- ④ UGemCutter (785)
- ⑤ UTaipan (745)
- ⑥ Dartagnan (704)
- ⑦ CPAchecker (454)
- ⑧ PeSCo (454)
- ⑨ Theta (205)
- ⑩ Locksmith (234)
- ⑪ ...

SV-COMP-i andmebooksude kategooria

SV-COMP 2021:

- ① **Goblint** (134) –
Wettlaufweltmeister
- ② Dartagnan (-151)



SV-COMP 2022:

- ① UGemCutter (151)
- ② UTaipan (139)
- ③ **Goblint** (124)
- ④ UAutomizer (120)
- ⑤ CSeq (39)
- ⑥ Locksmith (34) – *Vesal*
- ⑦ UKojak (0)
- ⑧ Dartagnan (-299)

SV-COMP 2023:

- ① **Goblint** (1342)
- ② Deagle (1199)
- ③ UAutomizer (880)
- ④ UGemCutter (785)
- ⑤ UTaipan (745)
- ⑥ Dartagnan (704)
- ⑦ CPAchecker (454)
- ⑧ PeSCo (454)
- ⑨ Theta (205)
- ⑩ Locksmith (234)
- ⑪ ...

SV-COMP 2022: kõige korrektsem ja rohelisem

Table 12: Alternative rankings for category *Overall*; quality is given in score points (sp), CPU time in hours (h), kilo-watt-hours (kWh), wrong results in errors (E), rank measures in errors per score point (E/sp), joule per score point (J/sp), and score points (sp)

Rank	Verifier	Quality (sp)	CPU Time (h)	CPU Energy (kWh)	Solved Tasks	Wrong Results (E)	Rank Measure (E/sp)
<i>Correct Verifiers</i>							(E/sp)
1	GOBLINT	1 951	4.9	0.070	1 574	0	0
2	UKOJAK	5 078	66	0.71	3 988	1	.00020
3	SYMBIOTIC	12 249	34	0.44	7 430	3	.00024
worst (with pos. score)						282	.042
<i>Green Verifiers</i>							(J/sp)
1	GOBLINT	1 951	4.9	0.070	1 574	0	120
2	SYMBIOTIC	12 249	34	0.44	7 430	3	130
3	CBMC	6 733	25	0.27	6 479	282	140
worst (with pos. score)							690

SV-COMP 2022: kõige korrektsem ja rohelisem

Table 12: Alternative rankings for category *Overall*; quality is given in score points (sp), CPU time in hours (h), kilo-watt-hours (kWh), wrong results in errors (E), rank measures in errors per score point (E/sp), joule per score point (J/sp), and score points (sp)

Rank	Verifier	Quality (sp)	CPU Time (h)	CPU Energy (kWh)	Solved Tasks	Wrong Results (E)	Rank Measure (E/sp)
<i>Correct Verifiers</i>							(E/sp)
1	GOBLINT	1 951	4.9	0.070	1 574	0	0
2	UKOJAK	5 078	66	0.71	3 988	1	.00020
3	SYMBIOTIC	12 249	34	0.44	7 430	3	.00024
worst (with pos. score)						282	.042
<i>Green Verifiers</i>							(J/sp)
1	GOBLINT	1 951	4.9	0.070	1 574	0	120
2	SYMBIOTIC	12 249	34	0.44	7 430	3	130
3	CBMC	6 733	25	0.27	6 479	282	140
worst (with pos. score)							690



Töökeskonnad

- Courses
- GitHub – [sws-lab/aktsp2023](#)
- Moodle – TBA
- Zulip – [AKT/2023/süvendus](#)



1632



Järgmine kord

- OCaml-i kiirkursus
- Enne paigaldada vajalikud vahendid: [juhend repos](#)
- Probleemide korral kirjuta Zulip-is