

## Sinteza programa

Anja Ivanišević  
Ivan Ristović  
Milana Kovačević  
Vesna Katanić

maj 2018.

# Šta je sinteza programa?

- ▶ Oblast koja se bavi automatskim generisanjem programa
- ▶ Vizija:

*Nema više programiranja, sve se generiše automatski!*

- ▶ Pričaćemo o:
  - ▶ primenama
  - ▶ izazovima
  - ▶ tehnikama

## Primene - Programiranje vodjeno primerima

	A	B
1	Email	Column 2
2	Nancy.FreeHafer@fourthcoffee.com	nancy freehafer
3	Andrew.Cencici@northwindtraders.com	andrew cencici
4	Jan.Kotas@litwareinc.com	jan kotas
5	Mariya.Sergienko@gradicdesigninstitute.com	mariya sergienko
6	Steven.Thorpe@northwindtraders.com	steven thorpe
7	Michael.Neipper@northwindtraders.com	michael neipper
8	Robert.Zare@northwindtraders.com	robert zare
9	Laura.Giussani@adventure-works.com	laura giussani
10	Anne.HL@northwindtraders.com	anne hl
11	Alexander.David@contoso.com	alexander david
12	Kim.Shane@northwindtraders.com	kim shane
13	Manish.Chopra@northwindtraders.com	manish chopra
14	Gerwald.Oberleitner@northwindtraders.com	gerwald oberleitner
15	Amr.Zaki@northwindtraders.com	amr zaki
16	Yvonne.McKay@northwindtraders.com	yvonne mckay
17	Amanda.Pinto@northwindtraders.com	amanda pinto

**Figure:** Automatske transformacije alata FlashFill

# Neke od oblasti primene sinteze programa

- ▶ Priprema podataka
- ▶ Grafika
- ▶ Sugestije prilikom kodiranja
- ▶ Superoptimizacija
- ▶ Konkurentno programiranje
- ▶ Popravka koda

# Primene - Popravka koda - Primer

inb	Ulaz		Izlaz	
	usep	dsep	expected	actual
1	0	100	0	0
1	11	110	1	0
0	100	50	1	1
1	-20	60	1	0
0	0	10	0	0

```
int buggy(int inb, int usep, int dsep)
{
    int bias;
    if (inb)
        bias = dsep; //fix: bias = usep+100
    else
        bias = usep;
    if (bias > dsep)
        return 1;
    else
        return 0;
}
```

**Figure:** Primer koda sinteziranog od strane programa *SemFix* koristeći skup ulaznih i izlaznih test primera.

# Izazovi

- ▶ Sa visokog nivoa, problem sinteze se može razložiti na dva potproblema:
  - ▶ Definisanje specifikacija željenog programa
  - ▶ Pretraživanje prostora mogućih programa u potrazi za onim koji zadovoljava definisane specifikacije
- ▶ Prostor programa se povećava eksponencijalno brzo u odnosu na veličinu željenog programa

# Izazovi - Definisanje specifikacija

- ▶ Većina programa koji se danas koriste su previše komplikovani da bi se u potpunosti opisali bilo formalnim bilo neformalnim metodama
- ▶ Potrebno je omogućiti korisniku da definiše željeni program do neke tačke, a da kasnije tokom sinteze, interaktivno sa računarom, postepeno dolazi do rešenja
- ▶ *FlashFill*

# Izazovi - Pretraživanje prostora programa

- ▶ Prostor programa - skup koji sadrži sve moguće programe koji se mogu napisati
- ▶ Pretraga ovog skupa znači nalaženje programa koji zadovoljava specifikacije
- ▶ Tehnike pretrage se mogu zasnivati na:
  - ▶ Enumerativnoj pretrazi
  - ▶ Dedukciji
  - ▶ Tehnikama sa ograničenjima
  - ▶ Induktivnim i statističkim metodama



# Izazovi - Pretraživanje prostora programa - Enumerativna pretraga

- ▶ Jedna od najefikasnijih tehnika za generisanje malih programa
- ▶ Tehnike *čišćenja*
- ▶ Prvo se na neki način opiše prostor pretrage u kome se nalazi željeni program
- ▶ Kada se mogući programi numerišu po osobinama, mogu da se odmah odbace oni koji ne zadovoljavaju specifikaciju
- ▶ Enumerativna tehnika je poluodlučiva

## Izazovi - Pretraživanje prostora programa - Deduktivna pretraga

- ▶ Pretpostavka da postoji celokupna formalna specifikacija željenog programa
- ▶ Rešenje se sintetiše postupkom dokazivanja teorema, logičkim zaključivanjem i razrešavanjem ograničenja
- ▶ Deduktivna pretraga je pretraga odozgo nadole
- ▶ Koristi tehniku podeli-pa-vladaj
- ▶ Deljenje problema na potprobleme nije moguće u opštem slučaju
- ▶ Kombinovanje deduktivne pretrage sa enumerativnom

# Izazovi - Pretraživanje prostora programa - Tehnike sa ograničenjima

- ▶ Tehnike prilagođavanja datim ograničenjima
- ▶ Dva velika koraka:
  - ▶ Generisanje ograničenja
  - ▶ Razrešavanje ograničenja

# Izazovi - Pretraživanje prostora programa - Statistička pretraga

- ▶ Koriste neku vrstu statistike kako bi došle do rešenja
- ▶ *Mašinsko učenje*
- ▶ *Genetsko programiranje*
- ▶ *Probabilističko zaključivanje*

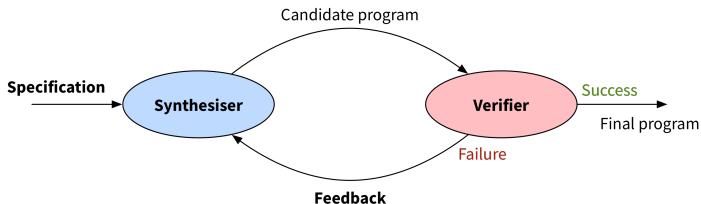
# Izazovi - Pretraživanje prostora programa - Induktivna pretraga

- ▶ Može se smatrati kao nadogradnja tehnike pretrage sa ograničenjima
- ▶ Prilikom svake iteracije se generišu ograničenja
- ▶ Rešavačem se dođe do mogućeg rešenja a zatim se ispita da li je ono zadovoljavajuće kao opšte rešenje
- ▶ Može da koristi tehnike mašinskog učenja - *Aktivno učenje*
- ▶ *CEGIS*

- ▶ Ideja:
  - ▶ Definiše se specifikacija programa u vidu formule
  - ▶ SMT rešavač pronalazi program koji zadovoljava specifikaciju
- ▶ Problem: previše ulaza
- ▶ *Koji je najmanji podskup ulaza koji je potrebno razmatrati da bi se sintetisao program koji zadovoljava date specifikacije?*
- ▶ CEGIS pokušava da reši ovaj problem
- ▶ Iterativno se povećava prostor pretrage i pronalazi program kandidat za rešenje
- ▶ Drugi SMT rešavač pronalazi kontraprimer za nađeni kandidat
- ▶ Ako ne postoji kontraprimer, kandidat je traženi program

# CEGIS - Arhitektura

- ▶ Pretraga vođena kontraprimerima  
(eng. *Counterexample-Guided Inductive Synthesis*)
- ▶ Dve faze:
  - ▶ *Faza sinteze* - pronalazi program kandidat
  - ▶ *Faza verifikacije* - proverava da li kandidat zadovoljava specifikaciju



**Figure:** CEGIS petlja

- ▶ Da bismo u potpunosti definisali CEGIS sintezu programa, potrebno je odgovoriti na sledeća pitanja:
  - ▶ Kako treba da izgleda specifikacija traženog programa?
  - ▶ Kako ćemo vršiti sintezu programa kandidata?
  - ▶ Kako da proverimo da li program kandidat zadovoljava specifikacije?
  - ▶ Kako da prosledimo povratne informacije za buduće kandidate?



# CEGIS - Sinteza vodjena uzorom

- ▶ *Oracle-guided synthesis*
- ▶ Pretpostavlja postojanje uzora (npr. imlementacija programa)
- ▶ Biblioteka komponenti za kreiranje programa
- ▶ Primer: `program(x,y):`  
    `o1 = add(x, y)`  
    `o2 = add(o1, y)`  
    `o3 = sqrt(o1)`  
    `return o3`
- ▶ Faza verifikacije:  
    Da li postoji program  $P'$ , različit od kandidata za rešenje  $P$ , koji takođe zadovoljava sve test primere, ali se na nekom ulazu  $z$  razlikuje od  $P$ ?
- ▶ Povratni korak - razmatra novodobijeni ulaz  $z$
- ▶ Faza validacije - potvrda da program zadovoljava sve ulaze

# CEGIS - Stohastička superoptimizacija

- ▶ Traži se brži ili efikasniji ekvivalent polaznog programa
- ▶ Faza sinteze: novi program dobijamo primenom MCMC
- ▶ novi program prihvatamo sa određenom verovatnoćom
- ▶ verovatnoća je veća što su polazni i ciljani program sličniji
- ▶ Faza verifikacij: proverama da li su ciljni i program kandidat isti
- ▶ Povratni korak: poredimo prthodno prihvaćeni i novodobijeni program
- ▶ određujemo koji od njih dalje razamtramo

# CEGIS - Enumerativna pretraga

- ▶ Specifikacija - konačan skup test primera
- ▶ Gramatika opisuje ciljani jezik ( $\text{add}(x, \text{sub}(x, y))$ )
- ▶ Faza sinteze: pretražuje sve moguće programe
- ▶ Faza verifikacije: proverava da li program zadovoljava sve test primere
- ▶ Povratni korak: razmatramo samo različite programe
- ▶ različiti programi daju različite rezultate na istom test primeru
- ▶ Sinteza kreće od dubine 0 i numerički se svi programi na toj dubini
- ▶ Na dubini  $k$ , ispituju se svi programe koji imaju oblik  $\text{operacija}(a, b)$ , gde su  $a$  i  $b$  bilo koji izrazi dubine  $k - 1$

# Zaključak

- ▶ Da li će programeri moći da prestanu da govore računarima *kako* da rade, već da se fokusiraju na to da im kažu *šta* treba da urade?
- ▶ Najveći potencijal: induktivna sinteza programa
- ▶

# Pitanja

???

Hvala na pažnji!