Sinteza programa

Anja Ivanišević
Ivan Ristović
Milana Kovačević
Vesna Katanić

maj 2018.

Uvod

TODO

- UVOD
- UVOD

Primene

Programiranje vođeno primerima (eng. *Programming Based on Examples)*:

- Zadaje se šablon koda ili nekoliko primera izlaza programa
- Kod se generiše automatski
- TODO primer

Primene

Neke od oblasti primene sinteze programa koje će biti pokrivene u ovom radu su:

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

Primene - Priprema podataka

- Proces pripreme često obuhvata sledeće operacije nad podacima:
  - izvlačenje
  - transformacija
  - formatiranje
- Manipulisanje niskama ili izmene samih tipova podataka
- Korisnici se zamaraju pisanjem skriptova ili makroa
- PBE je idealan za ovakav posao

Primene - Popravka koda

- Računanje modifikacija programa P koje stvaraju nov program P' takav da zadovoljava specifikaciju ϕ
- Ubacuju se alternativni izbori za izraze u programu
- Tehnikama programske sinteze izraza pronađu izrazi koji program dovode u oblik koji zadovoljava ϕ

Primene - Popravka koda - Primer

Ulaz			Izlaz	
inb	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;
}
```

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

Primene - Sugestije prilikom kodiranja

- Podrške okruženja za rad:
  - *IntelliSense* za *MS Visual Studio*
  - *Content Assist* za *Eclipse*
- Tehnike za generisanje čitavih jedinica koda:
  - *statistički modeli*
  - *dopuna usmerena tipovima* (eng. *type-directed completion*)
  - ostale tehnike (koriste ih *InSynth* i *Bing Developer Assistant*)

Primene - Grafika

- Konstrukcija ponovljenih objekata
- Korišćenjem PBE, korisnik prikaže par primera a sintezer predviđa naredne objekte u nizu
- Interaktivno postavljanje grafičkih objekata preko grafičkog interfejsa
- Efikasnija geometrijska izračunavanja, brže animacije

Primene - Superoptimizacija

- Kreiranje optimalnog poretka instrukcija mašinskog koda zarad dobijanja na performansama
- Primer

$$\begin{aligned} \text{originalni kod:} \quad & \textit{prosek} = \frac{x+y}{2} \\ \text{optimizovani kod:} \quad & \text{prosek} = (x \mid y) - ((x \oplus y) \gg 1) \end{aligned}$$

- Jedan od načina da se kod automatski optimizuje je korišćenje *enumerativne pretrage*

Primene - Konkurentno programiranje

- Pomoć pri pisanju bezbednog kompleksnog višenitnog koda
- *Sinteza vođena apstrakcijom*:
  - Pravi se apstraktna reprezentacija programa u apstraktnom domenu
  - Proverava se da li postoji kršenje postavljene specifikacije programa (obično trka za podacima)
  - Ukoliko postoji prekršenje, menjamo ili apstrakciju (npr. sužavanjem domena) ili sam program dodajući sinhronizacione konstrukte
  - Ovaj postupak se ponavlja sve dok se ne nađe program koji može biti verifikovan apstrakcijom

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 - 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*

Izazovi - Pretraživanje prostora programa - Statistička pretraga

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

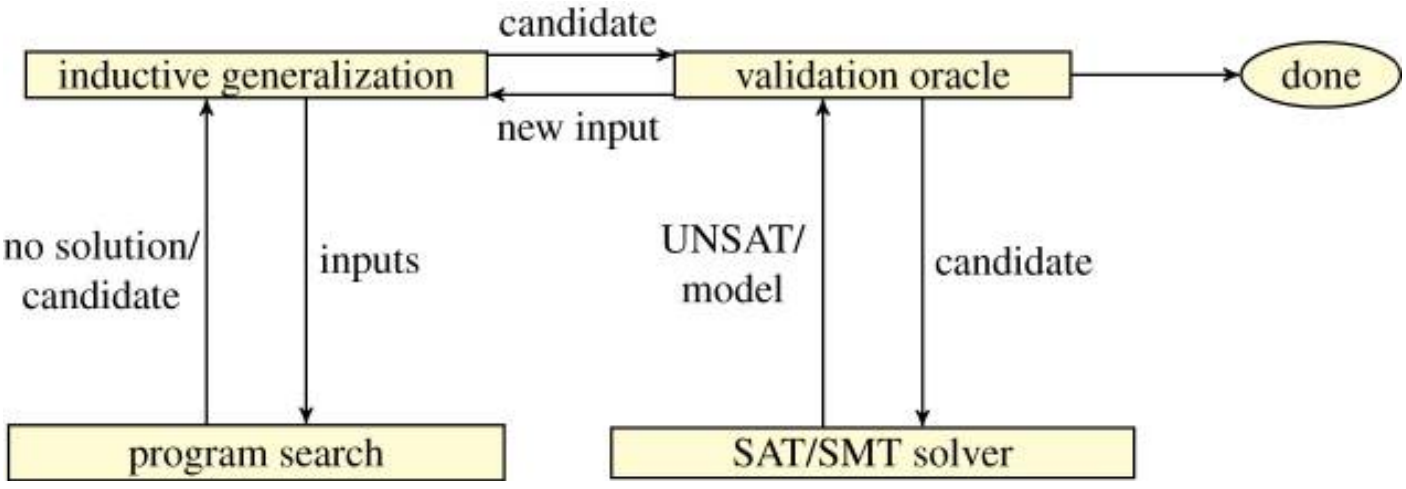
CEGIS

- Program se može sintetisati tako što se definiše specifikacija i zapiše u vidu formule koja se prosledi SMT rešavačima
- Koji je najmanji podskup ulaza koji je potrebno razmatrati da bi se sintetisao program koji zadovoljava date specifikacije?
- Korišćenjem SMT rešavača dolazimo do svih mogućih implementacija željenog programa koristeći sve ulaze koji su razmatrani do tog trenutka
- Paralelno, drugi SMT rešavač pronalazi kontraprimer koji pokazuje da poslednji sintetisani program nije rešenje

CEGIS - Arhitektura

- CEGIS se sastoji iz dve faze: *induktivne sinteze* i *verifikacije*
- U fazi sinteze se pronalazi program kandidat koji može da zadovolji specifikaciju
- U fazi verifikacije se proverava da li taj kandidat zaista zadovoljava specifikaciju
- Pretraga vođena kontraprimerima (eng. *counterexample-guided*)

CEGIS - Arhitektura



Slika: CEGIS petlja

CEGIS

- 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 da imamo implementaciju programa koji želimo da sintetišemo - uzor
- Uzor se tretira kao crna kutija
- Novi test primeri se kreiraju generišući proizvoljne ulaze a od uzora se dobijaju odgovarajući izlazi za svaki prosleđeni ulaz

CEGIS - Stohastička superoptimizacija

- Pretražuje se prostor programa i traži se brži ili efikasniji ekvivalent polaznog programa
- Takođe se pretpostavlja da imamo implementaciju programa kao specifikaciju
- Koristi se *MCMC* (eng. *Markov-chain Monte Carlo sampling*) kao mera udaljenosti

CEGIS - Enumerativna pretraga

- Za specifikaciju se koristi konačan skup test primera
- Pretpostavja se da je dostupna gramatika koja opisuje ciljani jezik (`add(x, sub(x,y))`)
- Programi se dele prema dubini
- Sinteza kreće od dubine 0 i numerišu se svi programi na toj dubini
- Na dubini k, ispituju se svi programe koji imaju oblik `operacija(a,b)`, gde su a i b bilo koji izrazi dubine $k-1$

Pitanja

???