

Haskell: Debugovati ili nedebugovati?

Seminarski rad u okviru kursa
Metodologija stručnog i naučnog rada
Matematički fakultet

Vladimir Batoćanin, Stefan Stefanović, Jovan Lezaja, Đorđe Jovanović

26. mart 2020

Sažetak

U ovom tekstu je ukratko prikazana osnovna forma seminarskog rada. Obratite pažnju da je pored ove .pdf datoteke, u prilogu i odgovarajuća .tex datoteka, kao i .bib datoteka korišćena za generisanje literature. Na prvoj strani seminarskog rada su naslov, apstrakt i sadržaj, i to sve mora da stane na prvu stranu! Kako bi Vaš seminarski zadovoljio standarde i očekivanja, koristite uputstva i materijale sa predavanja na temu pisanja seminarskih radova. Ovo je samo šablon koji se odnosi na fizički izgled seminarskog rada (šablon koji *morate* da koristite!) kao i par tehničkih pomoćnih uputstava. Pročitajte tekst pažljivo jer on sadrži i važne informacije vezane za zahteve obima i karakteristika seminarskog rada.

Sadržaj

1	Uvod	3
2	Matematičko dokazivanje	3
3	GHCi Debager	3
3.1	Tačke zaustavljanja i inspekcija varijabli	4
3.2	Trace	4
4	Debugovanje korišćenjem Heta	4
4.1	Ostavljanje traga	5
4.2	Pregledanje traga	5
5	HOOD Debager	5
5.1	Primeri korišćenja funkcije observe	6
6	Debugovanje korišćenjem Debug biblioteke	7
6.1	Metod 1. Direktno ubacivanje u programski kod kao funkcije	8
6.2	Metod 2. debug-pp	8
6.3	Primena debug-a	8
7	Engleski termini i citiranje	8
8	Slike i tabele	10
9	Kôd i paket listings	11

10 Prvi naslov	11
10.1 Prvi podnaslov	11
10.2 Drugi podnaslov	11
10.3 ... podnaslov	11
11 n-ti naslov	11
11.1 ... podnaslov	11
11.2 ... podnaslov	11
12 Zaključak	12
Literatura	12
A Dodatak	12

1 Uvod

Dizajn programskog jezika Haskell je takav da programerovo vreme provedeno za kodom je manje debugujući, a više trudeći se da inicijalno napiše ispravan i robustan kod. Ovo stanovište se može braniti činjenicom da je Haskell čist funkcionalni jezik, što znači da je dosta pouzdana praksa izolovano testiranje svake funkcije, kao i stroga tipiziranost, koja drastično smanjuje šansu da se programer vrati na prethodno napisani deo koda.

Ovo u idealnim slučajevima važi, s tim što ovo ne uključuje slučaj gde programer napravi semantičku grešku koja prolazi fazu prevodjenja, kao i slučajeve gde potpisi funkcija nisu ispravni, nisu potpuni ili su prosto nepostojeći. Ovo sve dovodi do odloženih rafalnih grešaka ili do pojave teško uočljivih bagova. Tada nam je potreban neki metod da i otkrijemo uzrok te greške da bismo je i otklonili.

2 Matematičko dokazivanje

Za funkcionalnu paradigmu se veoma lako nalazi analogon na formalno matematičkom jeziku, što nam dozvoljava da već u fazi inicijalnog pisanja koda dokažemo da je naš program matematički korektan. U ovom kontekstu se najčešće koristi metod *strukturne indukcije* (eng. *structural induction*). Ovo je moguće isključivo zbog rekurzivno definisanih struktura podataka u Haskell-u, pri čemu se koristi operator `|` (ili) koji označava matematičku uniju.

```
1000 data Lista x = PraznaLista | Cons a (Lista x)
```

Listing 1: Rekurzivno definisanje liste u Haskellu

Znajući ovo, vrlo lako možemo dokazati korektnost programa koji koriste liste uz pomoć matematičke indukcije, gde bi nam baza indukcije bio slučaj prazne liste, a induktivni korak rekurzivni poziv liste koju dobijamo dodajući neki broj elemenata na listu za koju pretpostavimo da važi funkcija na osnovu induktivne hipoteze, kao na primer:

```
1000 sum :: [Int] -> Int
1001 -- baza indukcije
1002 sum [] = 0
1003 -- induktivna hipoteza koja vazi za xs
1004 -- induktivni korak dodavanja jednog elementa x na xs
sum (x:xs) = x + sum xs
```

Listing 2: Primer rekurzivno definisane funkcije

3 GHCi Debager

GHCi debager nam omogućava da u željenim momentima zaustavimo program i proverimo vrednosti pojedinačnih promenljivih preko *tačaka zaustavljanja* (eng. *breakpoints*). Takodje vrlo bitna funkcionalnost je korak-po-korak izvršavanje programa sa zaustavljanjem. Izuzetak od ove funkcionalnosti su vec prekompilirane importovane biblioteke u koje nije moguće ući u okviru međukoraka.

3.1 Tačke zaustavljanja i inspekcija varijabli

Iako je moguće zaustaviti program na bilo kom izrazu odnosno liniji radi inspekcije varijabli, nije moguće proveriti tip i vrednost varijabli koje već nisu izračunate. Ovo je posledica činjenice da se u Haskellu ne vrši zaključivanje tipova tokom izvršavanja programa. Naravno, uvek je moguće forsirati dedukcije tipa, odnosno naterati program da nastavi izvršavanje taman toliko da usko odredi sa kojim tipom podataka se radi. Problem kod ovog pristupa se javlja u slučajevima kada bismo u bloku koda koji treba da se izvrši da bismo dobili definitni tip željene promenljive postoji ugnježdjena tačka zaustavljanja, što uništava linearnost inspekcije i debugovanja koda.

Posledice ovog problema se mogu amortizovati uvođenjem parcijalnog izračunavanja tipa izraza, umesto izračunavanja vrednosti celog izraza. Kao i uvođenje posebne komande za ispisivanje jos neevaluiranih vrednosti, ovo je vrlo korisno s obzirom da svaki tip pre nego što može konvencionalno da se ispisuje mora da ima implementiranu funkciju za prikazivanje (eng. *show*). Neevaluirane vrednosti Haskell rešava uvođenjem *obezanja* (eng. *thunk*, Learn You a Haskell for Great Good), koje se uvek koriste pri lenjom izračunavanju. Nedostatak ove implementacije je to što bilo koji izraz koji se lenjo odseče i ne izračuna se do kraja (na primer desna strana izraza konjukcije gde je prvi argument *False*), što znači da ni obećanje koje se nalazilo u odsečenom delu izraza nikada neće biti evaluirano.

3.2 Trace

4 Debugovanje korišćenjem Heta

Het (eng. *Hat* – **H**askell **t**racer) je alat koji se koristi za generisanje *traga* (eng. *trace*) prilikom izvršavanja Haskell programa i nadziranje tako generisanog *traga* [1]. Smatra se jednim od najnaprednijih alata za debugovanje u Haskellu. Prednost alata Het u odnosu na ostale alate za debugovanje se ogleda upravo u upotrebi *traga*, jer se programeru pruža pogled unutar “crne kutije”, tj. sva izračunavanja u našem Haskell programu bivaju razmotana u niz redukcija koja programer može da analizira korišćenjem različitih interaktivnih alata, pri čemu svaki od njih na različite načine interpretira generisane tragove i omogućava široki spektar analiza izračunavanja Haskell programa. Ovaj alat nije deo nekog prevodioca ili interpretatora za programski jezik Haskell, što se može smatrati prednošću jer samo njegovo postojanje i održavanje nije tesno vezano za postojanje i održavanje nekog specifičnog prevodioca, odnosno interpretatora. U ovom radu naglasak će biti na korišćenju alata Het kao debagera, no on može da se koristi i u svrhe posmatranja kako funkcioniše korektno napisan Haskell program. Nažalost, usled zastarelosti biblioteka koje koristi alat Het, autori rada nisu uspeali da osposobe alat na svojim mašinama nakon više pokušaja.

Alat Het pruža programeru uvid u detalje izračunavanja pri izvršavanju Haskell programa korišćenjem *tragača* (eng. *tracer*). Korišćenjem informacija koje generiše *tragač* je moguće locirati greške u našem kodu (ukoliko takvih ima). Sledenje *tragova* izračunavanja u Hetu se sastoji iz dve faze: prva je *ostavljanje traga* (eng. *trace generation*), a druga je *pregledanje traga* (eng. *trace viewing*) [1].

4.1 Ostavljanje traga

U fazi *ostavljanja traga* se pokreće program koji treba da se debuguje tako da ispisuje *trag* u određenu datoteku. Da bi program ispisivao *trag* u datoteku, potrebno ga je prvo transformisati korišćenjem alata koji se sadrži u Hetu pod nazivom *hat-trans*. U tom procesu se svaki modul iz našeg Haskell programa transformiše u njemu odgovarajući Het modul. Tako transformisan program se prevodi i pokreće, pri čemu transformisan program radi isto što i originalni program, uz dodatak da ispisuje *trag* u određenu datoteku. Nakon toga se prelazi u fazu *pregledanja traga*.

4.2 Pregledanje traga

Kada je naš program završio, moguće je pregledati *trag* korišćenjem alata koje nudi Het. Važno je napomenuti da se pod “završavanje programa” ne smatra da je program isključivo završio *ispravno*, već da je program eventualno završio sa nekom porukom o grešci ili pak da je prekinut od strane programera [4]. Za analizu *traga* Het nudi nekolicinu interaktivnih alata koji pregledaju ponašanje programa, između ostalog su to: *hat-observe*, *hat-trail*, *hat-detect*, *hat-explore* i *hat-stack*. Opis navedenih alata se nalazi u tabeli 1

Tabela 1: Opis nekih od alata koje nudi Het

Naziv alata	Opis
<i>hat-observe</i>	Prikazuje kako se koriste funkcije najvišeg nivoa, tj. za svako ime funkcije prikazuje sve argumente sa kojima je data funkcija pozivana u toku izračunavanja programa, kao i rezultate tih poziva [4].
<i>hat-trail</i>	Omogućava praćenje izračunavanja <i>unatraške</i> , počevši od poruke o grešci ili od izlaza programa [4].
<i>hat-detect</i>	Postavljanjem da/ne pitanja za svaku primenu vrednosti na neku funkciju, ovaj alat poluautomatski locira grešku u programu [4]. Debugovanje na ovaj način predstavlja srž <i>algoritamskog debugovanja</i> .
<i>hat-stack</i>	Ovaj alat za neuspešna izvršavanja programa nagoveštava u kojoj funkciji je došlo do prekida izvršavanja, i to tako što ispiše <i>virtuelni stek</i> ¹ funkcijskih poziva [4].
<i>hat-explore</i>	Slično kao i kod uobičajenih debagera, ovaj alat označava trenutnu poziciju u izvornom kodu u kojoj se nalazi prilikom izračunavanja programa, ujedno prikazujući i redosled pozivanja funkcija u toku izračunavanja [4].

5 HOOD Debager

Hud (eng. *HOOD – Haskell Object Observation Debugger*) je mali debager za Haskell, baziran na posmatranju struktura podataka dok se

¹Stek je *virtuelni* zato što je u stvarnom steku izračunavanja Haskell programa omogućeno *lenjo izračunavanje*, dok se kod virtuelnog steka prikazuje kakav bi bio stek u slučaju strogog izračunavanja.

prosleđuju između funkcija. Debugovanje se postiže umetanjem funkcije *observe* između dve funkcije čije međustanje želimo da posmatramo. Tip ove funkcije je:

```
1000 observe :: (Observable a) => String -> a -> a
```

gde je prvi argument labela kojom obeležavamo ispis, a drugi je objekat koji se posmatra. Što se tiče Haskell-a, *observe* se ponaša kao funkcija identiteta s tim što čuva podatke za kasnije čitanje. U jednom programu je moguće imati više poziva funkcije *observe*, koje razlikujemo korišćenjem labela. Takođe je moguće posmatrati bilo koji izraz, a ne samo međustanja funkcijskih poziva. Glavna prednost huda je to što uz minimalne promene kôda dobijamo strukturiran prikaz objekata.

5.1 Primeri korišćenja funkcije *observe*

Primer 5.1 *Posmatranje konačne liste:*

Ovde je eksplicitno naveden tip podatka koji se posmatra, ali to nije neophodno.

```
1000 pr1 :: IO ()
      pr1 = print ((observe "lista" :: Observing [Int]) [0..9])
1002 -- lista
      0 : 1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7 : 8 : 9 : []
```

Podjednako je validan i sledeći izraz:

```
1000 pr1 = print (observe "lista" [0..9])
```

Primer 5.2 *Posmatranje međustanja*

```
1000 pr2 :: IO()
      pr2 = print . reverse . observe "medjustanje" . reverse $ [0..9]
1002 -- medjustanje
      9 : 8 : 7 : 6 : 5 : 4 : 3 : 2 : 1 : []
```

Ovde vidimo da *observe* podržava parcijalnu aplikaciju, što je standardni način zapisivanja kada posmatramo međustanja.

Primer 5.3 *Beskonačne liste*

```
1000 pr3 :: IO()
      pr3 = print (take 6 (observe "beskonacna lista" [0..]))
1002 -- beskonacna lista
      0 : 1 : 2 : 3 : 4 : 5 : _
```

Primećujemo da su brojevi od 0 do 5 izračunati i prikazani, a ostatak koji nije izračunat je prikazan sa karakterom `_`.

Primer 5.4 *Liste sa neizračunatim elementima*

```

1000 pr4 :: IO ()
1001 pr4 = print (length (observe "konacna lista" [1..6]))
1002 -- konacna lista
1003 _ : _ : _ : _ : _ : _ : []

```

Pošto je Haskell lenj jezik, elementi nisu izračunati, pa samim tim ni observe ne može da ih vidi.

Primer 5.5 *Liste sa polovično izračunatim elementima*

```

1000 pr5 :: IO ()
1001 pr5 = let xs = observe "polovicna lista" [0..9]
1002      in print(xs !! 1 + xs !! 5)
1003 -- polovicna lista
1004 _ : 1 : _ : _ : _ : _ : 5 : _

```

Primećujemo da observe vidi samo one elemente koji su izračunati.

Primer 5.6 *Korišćenje više funkcija observe*

```

1000 cifre :: Int -> [Int]
1001 cifre = observe "posle reverse"
1002       . reverse
1003       . observe "posle map"
1004       . map ('mod' 10)
1005       . observe "posle takeWhile"
1006       . takeWhile (/= 0)
1007       . observe "posle iterate"
1008       . iterate ('div' 10)
1009 cifre 3542
1010 -- posle iterate
1011 (3542 : 354 : 35 : 3 : 0 : _)
1012 -- posle takeWhile
1013 (3542 : 354 : 35 : 3 : [])
1014 -- posle map
1015 (2 : 4 : 5 : 3 : [])
1016 -- posle reverse
1017 (3 : 5 : 4 : 2 : [])

```

6 Debugovanje korišćenjem Debug biblioteke

Debug biblioteka je kreirana or strane Nila Mičela (eng. *Neil Mitchell*) zarad laganog debugovanja Haskell programa. Fokus ove biblioteke jeste na jednostavnosti korišćenja i intuitivnom interfejsu. Pošto je u pitanju Haskell biblioteka, njena implementacija i održavanje ne zavisi od eksternih alata, što znatno olakšava stvari. Debug pri korišćenju generiše trag (eng. *trace*) i omogućava jasno praćenje generisanog traga kroz svako pozivanje funkcije [1]. Mitchellov Debug se može integrisati u Haskell program na više načina...

6.1 Metod 1. Direktno ubacivanje u programski kod kao funkcije

Debug je Haskell biblioteka i kao jedan od mogućih metoda korišćenja jeste poput najobičnije Haskell funkcije. Ispod se nalazi primer kako to izgleda, korišćenjem našeg primera.

```
1000 {-# LANGUAGE TemplateHaskell, ViewPatterns, PartialTypeSignatures  
      #-}  
1002 {-# OPTIONS_GHC -Wno-partial-type-signatures #-}  
      import Debug  
  
1004 debug [d|  
      countGreater1st :: (Ord a) => [a] -> Int  
1006      countGreater1st [] = 0  
      countGreater1st [x] = 0  
1008      countGreater1st (x:y:xs)  
          | y > x = 1 + countGreater1st (x:xs)  
1010          | otherwise = 0 + countGreater1st (x:xs)  
  
1012      countGreater1st' :: (Ord a) => [a] -> Int  
      countGreater1st' [] = 0  
1014      countGreater1st' [x] = 0  
      countGreater1st' (x:y:xs)  
1016          | y > x = 1 + countGreater1st (y:xs)  
          | otherwise = 0 + countGreater1st (x:xs)  
  
1018      countGreater1st'' :: (Ord a) => [a] -> Int  
1020      countGreater1st'' [] = 0  
      countGreater1st'' [x] = 0  
1022      countGreater1st'' (x:y:xs)  
1024          | y >= x = 1 + countGreater1st (y:xs)  
          | otherwise = 0 + countGreater1st (x:xs)  
      |]
```

Listing 3: Okružujemo naš kod funkcijom debug, iz biblioteke Debug, sa uključivanjem ekstenzija navedenih u prvom redu

6.2 Metod 2. debug-pp

debug-pp je preprocesor Haskell source koda koji pojednostavljuje primenu debug biblioteke tako što automatski primenjuje Metod 1. Ubacujemo...

```
1000 {-# OPTIONS -F -pgmF debug-pp #-}
```

...na vrh Haskell programa.

6.3 Primena debug-a

Nakon što primenimo jedan od ova dva metoda, pozivamo Haskell kao i inače, i potom koristimo debugView poziv za debugovanje.

7 Engleski termini i citiranje

Na svakom mestu u tekstu naglasiti odakle tačno potiču informacije. Uz sve novouvedene termine u zagradi naglasiti od koje engleske reči termin potiče.

Naredni primeri ilustruju način uvođenja engleskih termina kao i citiranje.


```

$ ghci example-Mitchell-debug.hs
GHCi, version 8.0.2: http://www.haskell.org/ghc/  :? for help
[1 of 1] Compiling Main             ( example-Mitchell-debug.hs, interpreted )
Ok, modules loaded: Main.
*Main> countGreater1st [2,3,4,5,6]
4
*Main> debugView
*Main>

```

Nakon što pozovemo bilo koju funkciju, komandom `debugView` pozivamo browser prozor koji nam prikazuje željene informacije.



Za svaku od levo navedenih funkcija možemo jasno videti argumente, rezultat i stek, što nam omogućava pregledno debugovanje bilo kog Haskell programa. Primetićemo da gornji primer radi kako treba. Probajmo sad ostala dva primera.

Primer 7.1 *Problem zaustavljanja (eng. halting problem) je neodlučiv [5].*

Primer 7.2 *Za prevođenje programa napisanih u programskom jeziku C može se koristiti GCC kompajler [2].*

Primer 7.3 *Da bi se ispitivala ispravnost softvera, najpre je potrebno precizno definisati njegovo ponašanje [3].*

Reference koje se koriste u ovom tekstu zadate su u datoteci *seminarski.bib*. Prevođenje u pdf format u Linux okruženju može se uraditi na sledeći način:

```

pdflatex TemaImePrezime.tex
bibtex TemaImePrezime.aux
pdflatex TemaImePrezime.tex
pdflatex TemaImePrezime.tex

```

Prvo latexovanje je neophodno da bi se generisao `.aux` fajl. `bibtex` proizvodi odgovarajući `.bbl` fajl koji se koristi za generisanje literature. Potrebna su dva prolaza (dva puta `pdflatex`) da bi se reference ubacile u tekst (tj da ne bi ostali znakovi pitanja umesto referenci). Dodavanjem novih referenci potrebno je ponoviti ceo postupak.

Broj naslova i podnaslova je proizvoljan. Neophodni su samo Uvod i Zaključak. Na poglavlja unutar teksta referisati se po potrebi.

Primer 7.4 U odeljku 10 precizirani su osnovni pojmovi, dok su zaključci dati u odeljku 12.

Još jednom da napomenem da nema razloga da pišete:

```
\v{s} i \v{c} i \c{ } ...
```

Možete koristiti srpska slova

```
š i č i ć ...
```

8 Slike i tabele

Slike i tabele treba da budu u svom okruženju, sa odgovarajućim naslovima, obeležene labelom da koje omogućava referenciranje.

Primer 8.1 Ovako se ubacuje slika. Obratiti pažnju da je dodato `i` `\usepackage{graphicx}`



Slika 1: Pande

Na svaku sliku neophodno je referisati se negde u tekstu. Na primer, na slici 1 prikazane su pande.

Primer 8.2 I tabele treba da budu u svom okruženju, i na njih je neophodno referisati se u tekstu. Na primer, u tabeli 2 su prikazana različita poravnanja u tabelama.

Tabela 2: Različita poravnanja u okviru iste tabele ne treba koristiti jer su nepregledna.

centralno poravnanje	levo poravnanje	desno poravnanje
a	b	c
d	e	f

9 Kôd i paket listings

Za ubacivanje koda koristite paket **listings**: https://en.wikibooks.org/wiki/LaTeX/Source_Code_Listings

Primer 9.1 *Primer ubacivanja koda za programski jezik Python dat je kroz listing 4. Za neki drugi programski jezik, treba podesiti odgovarajući programski jezik u okviru defnisanja stila.*

```
1000 # This program adds up integers in the command line
1001 import sys
1002 try:
1003     total = sum(int(arg) for arg in sys.argv[1:])
1004     print 'sum =', total
1005 except ValueError:
1006     print 'Please supply integer arguments'
```

Listing 4: Primer ubacivanja koda u tekst

10 Prvi naslov

Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst.

10.1 Prvi podnaslov

Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst.

10.2 Drugi podnaslov

Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst.

10.3 ... podnaslov

Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst.

11 n-ti naslov

Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst.

11.1 ... podnaslov

Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst.

11.2 ... podnaslov

Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst. Ovde pišem tekst.

12 Zaključak

Ovde pišem zaključak. Ovde pišem zaključak. Ovde pišem zaključak.
Ovde pišem zaključak. Ovde pišem zaključak. Ovde pišem zaključak.
Ovde pišem zaključak. Ovde pišem zaključak. Ovde pišem zaključak.
Ovde pišem zaključak. Ovde pišem zaključak. Ovde pišem zaključak.

Literatura

- [1] Olaf Chitil, Colin Runciman, and Malcolm Wallace. Transforming haskell for tracing. In *Symposium on Implementation and Application of Functional Languages*, pages 165–181. Springer, 2002.
- [2] Free Software Foundation. GNU gcc, 2013. on-line at: <http://gcc.gnu.org/>.
- [3] J. Laski and W. Stanley. *Software Verification and Analysis*. Springer-Verlag, London, 2009.
- [4] Hat Team. The Haskell Tracer Hat, 2013. on-line at: <https://archives.haskell.org/projects.haskell.org/hat/>.
- [5] A. M. Turing. On Computable Numbers, with an application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, 2(42):230–265, 1936.

A Dodatak

Ovde pišem dodatne stvari, ukoliko za time ima potrebe. Ovde pišem dodatne stvari, ukoliko za time ima potrebe. Ovde pišem dodatne stvari, ukoliko za time ima potrebe. Ovde pišem dodatne stvari, ukoliko za time ima potrebe. Ovde pišem dodatne stvari, ukoliko za time ima potrebe.