

# Debugovanje Haskela - GHCi i alternative

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

Vladimir Batoćanin 074/2016 vladimir@wings.rs,  
Stefan Stefanović, 26/2016, stefaniussuperbus@gmail.com  
Jovan Ležaja, 473/2018, jovanlezaja@hotmail.com,  
Đorđe Jovanović, 405/2015, jovanovic.dj.92@gmail.com

19. april 2020.

## Sažetak

Ovaj seminarski rad obrađuje temu debugovanja u Haskell-u, tj. da li je u dotičnom jeziku moguće tradicionalno debugovati i ako ne – zašto? Kakva je podrška za debugovanje u ugrađenom debuggeru, koliko su pouzdani drugi debuggeri i da li ima smisla uopšte debugovati Haskell kod nečim osim *GHCi* debuggera? Sem *GHCi* debuggera, obrađeni su biblioteka Hud, Het alat i Debug biblioteka. Za svaki debugger su obrađene najkorišćenije funkcije, kao i prednosti i mane istih. Za biblioteku Hud je obrađen i objašnjen strukturno orijentisan metod debugovanja, podržanost u različitim kompajlerima i rasprostranjenost. Takođe, za Het alat i Debug biblioteku je obrađeno generisanje i analiza traga, kao i pregled interaktivnih alata koji na različite načine analiziraju program i pomažu programeru pri debugovanju. Za potpuno razumevanje rada je predviđeno barem osnovno predznanje iz programskog jezika Haskell.

**Ključne reči:** Haskell, debugovanje, GHCi, Het, Hud, Debug

## Sadržaj

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>GHCi Debugger</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Debugovanje korišćenjem Heta</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Biblioteka Hud</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Debugovanje korišćenjem Debug(Debug) biblioteke</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>Zaključak</b>	<b>12</b>
	<b>Literatura</b>	<b>12</b>

# 1 Uvod

*Softverski bag* se može definisati kao bilo koje nepredviđeno ponašanje programa. Popravljanje programa u kome su prisutni bagovi se sastoji iz sistematičnog proveravanja ponašanja programa, tj. da li dobijamo očekivani izlaz za dati ulaz. Svrha ovog procesa jeste otkrivanje scenarija u kome program ne daje ispravnu povratnu informaciju. Nakon ovog postupka najčešće sledi lociranje uzroka problema, ali je isto tako moguće da samim ispitivanjem postojanja бага implicitno dobijemo dovoljno informacija o njegovoj lokaciji. Ovaj proces se naziva **debugovanje** [8].

Pošto ovaj proces najčešće nije jednostavan, oformljeni su razni principi, metodologije i alati za debugovanje. Međutim, oni su se razvijali primarno za imperativne jezike, što znači da većina njih nije efikasna sa Haskellom, koji je čist funkcionalni jezik. Jedna od najbitnijih karakteristika programskog jezika Haskell je sam dizajn jezika, koji podstiče pisanje bezbednog i robusnog koda. Ovome najviše doprinosi stroga dinamička tipiziranost, što znači da interpretator javlja grešku istog momenta kada ne može sa sigurnošću da odredi tipove, tj. potpise svih funkcija. Još jedna vrlo bitna karakteristika Haskell je da podržava funkcije višeg reda kao i lenjo, tj. nepotpuno izračunavanje. Ova karakteristika drastično smanjuje efikasnost tradicionalnih debagera [5].

Da bismo razumeli proces debugovanja Haskell programa, moramo se prvo osvrnuti na originalne osnovne principe debugovanja. Jedno od prvih i najzastupljenijih mišljenja o debugovanju je da programski kod treba dokazati kao svaki matematički iskaz, čime se eliminiše potreba za debugovanjem. Ovaj princip je iz mnogo razloga bio nepogodan jer su se programski jezici razvijali u smeru koji je njihov kôd činio sve težim za dokazivanje [5].

Izuzetak je strukturalni stil programiranja, koji propagira da se programi pišu u vrlo jednostavnim nezavisnim celinama. Ovaj princip je implementiran u mnogim programskim jezicima kroz procedure, funkcije i predikate. Za razliku od ostalih programskih jezika, Haskell u svojoj srži ima strukturalni stil programiranja, čime se ohrabruje matematičko dokazivanje njegovog koda [5].

Za Haskell se veoma lako nalazi analogon na formalno matematičkom jeziku, zbog toga što strukturalni dizajn implementira do na strukture podataka. Pošto su one vrlo temeljno definisane, moguće je indukcijom uopštiti program od baznog slučaja ka mnogo kompleksnijim. Ovo nam dozvoljava da već u fazi inicijalnog pisanja kôda 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 Haskellu, pri čemu se koristi operator `|` (ili) koji u prevodu na formalni matematički jezik predstavlja uniju skupova [10].

**Primer 1.1** *Rekurzivno definisanje liste u Haskellu dat je u listingu 1.*

```
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.

**Primer 1.2** *Primer funkcije koja radi sa listama čija korektnost se može dokazati matematičkom indukcijom dat je u listingu 2. Za bazu indukcije uzimamo slučaj prazne liste, a za induktivni korak rekurzivni poziv liste, čijom dekonstrukcijom dobijamo izolovani element, kao i listu za koju znamo da važi induktivna hipoteza [10].*

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

Listing 2: Primer rekurzivno definisane funkcije

Iako su Haskell programi teoretski dokazivi, taj proces kod kompleksnih programa je i dalje skoro nemoguć, zbog čega se koriste konvencionalni debageri, od kojih je najpoznatiji **GHCi Debager**.

## 2 GHCi Debager

**GHCi Debager** je već integrisan u istoimenu interpretator, odnosno kompajler, što znači da za korišćenje istog nije potrebna nikakva dodatna instalacija. Pre svega se mora napomenuti da se **GHCi Debager** ne može koristiti uvek. Ovo je zbog toga što sam **GHCi** ima dva režima kompilacije, prvi koji generiše bajt kod, i drugi koji generiše objektne datoteke koje treba samo linkovati naknadno. Debugovanje je moguće samo u slučaju kada se kod prevodi u bajt kod, ali je zbog toga i deset puta sporije izvršavanje samog programa. Ova karakteristika se najčešće koristi tako što se bagoviti delovi koda prevode u bajt kod, dok se robusne biblioteke prevode u objektne datoteke radi poboljšanja performansi [7].

### 2.1 Tačke zaustavljanja i inspekcija varijabli

*Tačkama zaustavljanja* (eng. *breakpoints*) obeležavamo linije koda čije izvršavanje želimo da prouzrokuje naš program da stane. Kada program stane na nekoj od ovih tačaka, možemo da proverimo tip i vrednost svake varijabljke koje su izračunate do tog trenutka. Moguće je takođe zaustavljeni program izvršavati korak po korak, odnosno izvršiti sledeću liniju koda i stati [4].

Pošto je jedna od Haskellovih karakteristika lenjo izračunavanje, **GHCi** ima implementirane strukture podataka za preskočene ili neevaluirane vrednosti, interno se nazivaju *obecanja* (eng. *thunks*). Ovo znači da kada zatražimo od debagera na primer tip neke neizračunate promenljive,

vratit će nam obećanje. Iako malo neinformativno, ovo mora biti ovako implementirano. Da bi debager mogao da formalno ispiše ili zaključi tip neke varijable, mora da forsira dalje izvršavanje koda i potencijalno čak naleti na još jednu tačku zaustavljanja. Ovo forsiranje narušava princip debugovanja gde je korisniku data kontrola koliko će linija programskog koda da se izvrši. Moguće je i eksplicitno nagovestiti debageru da forsira evaluaciju nezavisno od broja potrebnih koraka unapred koristeći komandu prisiljavanja (eng. *force*) [7].

## 2.2 Trag

Trag (eng. *trace*) je komanda u debageru koja aktivno čuva poslednjih *N* stanja programa pri zaustavljanju na propisanim tačkama. Stanje programa predstavlja sve trenutno sačuvane strukture i varijable, kao i trenutni izraz koja se izračunava. Ovo nam omogućava da na svakoj tački zaustavljanja vidimo kompletnu istoriju promena vrednosti svih varijabli koje su nam od interesa. [7].

Uz pomoć traga se mogu uočiti nepravilnosti kod promena vrednosti određenih varijabli ili odsustvo istih, što nas najčešće dovodi do izvora greške.

**Primer 2.1** U primeru 3 se može videti pokretanje funkcije *CountGreater1st* iz primera 10 sa uključenom opcijom traga, vrlo jasno pokazuje da se već u drugom koraku evaluacije poziva funkcija sa pogrešnim argumentima.

```

1000 Prelude> :l ghci_primer.hs
[1 of 1] Compiling Main                ( ghci_primer.hs, interpreted
      )
1002 Ok, modules loaded: Main.
*Main> :break 5
Breakpoint 0 activated at ghci_primer.hs:5:11-15
*Main> :trace main
1006 Stopped in Main.countGreater1st', ghci_primer.hs:5:11-15
      _result :: Bool = _
1008 x :: Integer = 3
      y :: Integer = 4
1010 [ghci_primer.hs:5:11-15] *Main> :step
      Stopped in Main.countGreater1st', ghci_primer.hs:5:19-45
1012 _result :: Int = _
      xs :: [Integer] = [1,1,1]
1014 y :: Integer = 4 <--- pogresna vrednost promenljive y
      [ghci_primer.hs:5:19-45] *Main>

```

Listing 3: Primer korišćenja traga

Kao što se može videti u primeru iznad, ovakav način korišćenja traga je vrlo nepregledan. Zbog čega postoje drugi programi za generisanje traga, od kojih ćemo prvo obraditi **Het**.

## 3 Debugovanje korišćenjem Heta

**Het** (eng. *Hat - Haskell tracer*) 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

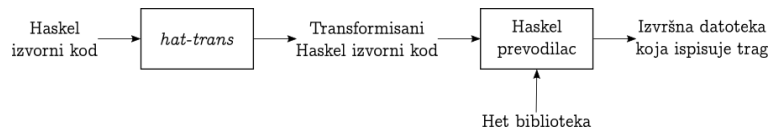
debugovanje u Haskellu. Prednost alata **Het** u odnosu na ostale alate za debugovanje se ogleda upravo u upotrebi *traga*, jer se programeru pruža pogled unutar “crne kutije”, tj. sva izračunavanja u našem Haskell programu bivaju razmotana u niz redukcija koje programer može da analizira korišćenjem 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 moglo smatrati prednošću u vremenu kada su se koristili različiti prevodioci za Haskell programski jezik, pa samo njegovo postojanje i održavanje nije bilo tesno vezano za postojanje i održavanje nekog specifičnog prevodioca, odnosno interpretatora [1]. Međutim danas, u vremenu kada je *GHC* (*GHC – Glasgow Haskell Compiler*) najpristupačniji Haskell prevodilac, ta osobina **Heta** ne mora nužno da se smatra prednošću, uzimajući u obzir da se sa konstantnim izlaskom novih verzija *GHC*-a javlja potreba za konstantnim održavanjem. 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 [11]. Nažalost, usled zastarelosti biblioteka koje koristi alat **Het**, autori rada nisu uspeli da osposobe alat na svojim mašinama nakon više pokušaja. Ova situacija nije začuđujuća, uzimajući u obzir da je još 2008. godine Berni Poup (eng. *Bernie Pope*) u svom radu rekao sledeće: “Het nudi nekoliko moćnih alata koji obuhvataju različite stilove debugovanja, ali je praćen negativnim uticajem na performanse, pritom nije dobro integrisan sa opšteprihvaćenim programerskim okruženjem (*GHC*), čime otežava njegovu upotrebu” [7].

Alat **Het** pruža programeru uvid u detalje izračunavanja pri izvršavanju Haskell programa korišćenjem *tragača* (eng. *tracer*). Koristeći se informacijama koje generiše *tragač* moguće je locirati greške u našem kôdu (ukoliko takvih ima). Sleđenje *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].

### 3.1 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 naš Haskell program transformiše u Haskell program koji se prevodi i povezuje (eng. *linking*) sa odgovarajućim bibliotekama koje pruža **Het** [1]. 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. Grafički prikaz ostavljanja traga je prikazan na slici 1.

Jedna od razlika koja se javlja kod **Heta** u odnosu na neke druge debagere je ta da je uloga transformisanja izvornog koda prepuštena računaru, tj. da je programer oslobođen od dodavanja novog koda u cilju debugovanja, kao što to imamo kod **Hud** (eng. *Hood*) debagera ubacivanjem *observe* ključne reči. Ta osobina alata **Het** se može smatrati vrlinom, obzirom da je cilj debugovanja da bude što “bezbolniji”, kako po originalni izvorni kod, tako i po programera. Naime, kada je u pitanju menjanje izvornog koda



Slika 1: Ostavljanje traga u **Hetu**

u cilju debugovanja, težnja programera je da napravi što manje izmena u samom izvornom kodu, a pritom se uvodi još jedan faktor greške ukoliko se taj kod menja ručno. Takođe, prilikom pokretanja tako transformisanog programa, datoteku sa tragom je moguće koristiti neograničen broj puta, s obzirom da je ta datoteka sačuvana u sekundarnoj memoriji ne bi li više alata iz **Heta** moglo da se koristi datotekom u jednom pokretanju programa. Po pitanju zauzetosti memorije ova osobina nije baš poželjna jer, u slučaju debugovanja kompleksnijih programa, datoteka koja sadrži trag izvršavanja programa može da bude velika u smislu memorije. Nakon ove faze se prelazi u fazu *pregledanja traga*.

### 3.2 Pregledanje traga

Kada je naš program završio, moguće je pregledati *trag* korišćenjem alata koje nudi **Het**. Važno je napomenuti da se pod terminom “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 [9]. 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. Veliki broj alata koji nude različite poglede na program koji se debuguje je jedna od glavnih osobina alata **Het**, a uzimajući u obzir da su određeni alati inspirisani nekim već postojecim debagerima (Freja (eng. *Freja*) kao inspiracija za *hat-detect* i **Hud** (eng. *HOOD*) kao inspiracija za *hat-observe* [9]), ređe se javlja potreba za drugim alatima pri debugovanju Haskel programa.

Nažalost, nekompatibilnost alata **Het** sa novijim verzijama Haskel biblioteka i *GHC*-om (*GHC - Glasgow Haskell Compiler*) ga čini nepristupačnim programerima koji žele da posvete što manje vremena na iscrpna podešavanja verzija raznoraznih biblioteka, a što više na debugovanje.

## 4 Biblioteka Hud

**Hud** (eng. *HOOD - Haskell Object Observation Debugger*) je mali debager za Haskel, baziran na posmatranju struktura podataka dok se prosleđuju između funkcija [2]. Implementiran je kao nezavisna biblioteka

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

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 [9].
<i>hat-trail</i>	Omogućava praćenje izračunavanja <i>unatraške</i> , počevši od poruke o grešci ili od izlaza programa [9].
<i>hat-detect</i>	Postavljanjem da/ne pitanja za svaku primenu vrednosti na neku funkciju, ovaj alat poluautomatski locira grešku u programu [9]. 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> <sup>1</sup> funkcijskih poziva [9].
<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 [9].

koju je moguće koristiti iz bilo kog Haskel kompajlera, što ga izdvaja u odnosu na ostale debagere.

Korišćenje **Huda** je relativno prosto. Prvo se vrši umetanje funkcije *observe* ispred objekta koji se posmatra ili između dve funkcije čije međustanje želimo da posmatramo. Nakon toga program se izvršava, a zatim se vrši ispis stanja objekata koji su posmatrani.

**Primer 4.1** *Na primeru 4 se može videti potpis funkcije observe*

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

Listing 4: Potpis funkcije *observe*

Prvi argument je labela kojom obeležavamo ispis, a drugi je objekat koji se posmatra. Kao što se vidi u potpisu funkcije, postoji tipsko ograničenje tj. posmatrani objekat mora da bude klase *Observable*, što je već implementirano za osnovne tipove. Svaki novi tip koji se napravi mora biti pridružen ovoj klasi, ako želimo da ga posmatramo.

Što se tiče Haskela, *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.

Prednost **Huda** u odnosu na ostavljanje traga je to što pozivi funkcije *observe* ne zahtevaju dodatna izračunavanja posmatranog objekta, što ide u prilog efikasnosti ovog alata. Pored toga, **Hud** podržava više tipova, od kojih je najznačajniji tip funkcije. Glavna odlika **Huda** je to što uz minimalne promene kôda dobijamo strukturiran prikaz objekata [6].

## 4.1 Posmatranje liste i međustanja

Razmotrićemo par prostih primera korišćenja funkcije *observe*.

**Primer 4.2** U primeru 5 je demonstrirano korišćenje funkcije *observe* na tri načina. U prvom je eksplicitno naveden tip podatka koji se posmatra, ali to nije neophodno, pa se može izostaviti. U drugom vidimo da je moguće posmatranje beskonačne liste. Primećujemo da su brojevi od 0 do 5 izračunati i prikazani, a ostatak koji nije izračunat je prikazan sa karakterom `_`. U trećem vidimo da *observe* podržava parcijalnu aplikaciju, što je standardni način zapisivanja kada posmatramo međustanja.

```
1000 pr1 :: IO ()
1001 pr1 = print ((observe "lista" :: Observing [Int]) [0..9])
1002 -- lista
1003 0 : 1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7 : 8 : 9 : []
1004 pr2 :: IO()
1005 pr2 = print (take 6 (observe "beskonacna lista" [0..]))
1006 -- beskonacna lista
1007 0 : 1 : 2 : 3 : 4 : 5 : _
1008
1009 pr3 :: IO()
1010 pr3 = print . reverse . observe "medjustanje" . reverse $ [0..9]
1011 -- medjustanje
1012 9 : 8 : 7 : 6 : 5 : 4 : 3 : 2 : 1 : []
```

Listing 5: Posmatranje konačne liste

**Primer 4.3** U primeru 6 vidimo kako možemo da ispratimo sva međustanja izvršavanja jedne funkcije, što znatno olakšava uočavanje mesta greške. Funkcija vraća niz cifara datog broja.

```
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
1010 cifre 3542
1011 -- posle iterate
1012 (3542 : 354 : 35 : 3 : 0 : _)
1013 -- posle takeWhile
1014 (3542 : 354 : 35 : 3 : [])
1015 -- posle map
1016 (2 : 4 : 5 : 3 : [])
1017 -- posle reverse
1018 (3 : 5 : 4 : 2 : [])
```

Listing 6: Korišćenje više funkcija *observe*

## 4.2 Posmatranje funkcija

Pored posmatranja osnovnih tipova podataka, moguće je i posmatranje funkcija tj. posmatranje mapiranja argumenata u rezultate [2]. **Hud** podržava posmatranje funkcija sa više argumenata, kao i funkcija višeg reda.



**Primer 4.4** U primeru 7 primećujemo da elementi liste nisu izračunati, pa ih ni observe ne vidi.

```
1000 pr4 = print ((observe "length" :: Observing([Int] -> Int))
1001           length [1..3])
1002 -- length
1003 { \ (_ : _ : _ : []) -> 3
1004 }
```

Listing 7: Posmatranje funkcije length

Funkcija *observe* sada prima tri argumenta: labelu, funkciju(*length*) i njen argument.

**Primer 4.5** U primeru 8 se može videti kako Haskell program tumači izraz iz prošlog primera.

```
1000 (observe "length" :: Observing ([Int] -> Int)) length [1..3]
1001 -- uklanja se anotacija tipa posmatrane funkcije
1002 observe "length" length [1..3]
1003 -- observe i labela "length" se zamenjuju funkcijom identiteta
1004 id length [1..3]
1005 -- id uzima jedan argument
1006 (id length) [1..3]
1007 -- id length postaje samo length
1008 length [1..3]
```

Listing 8: Izračunavanje izraza korak po korak

**Primer 4.6** U primeru 9 ćemo razmotriti prethodni primer sa ciframa, samo što ćemo ovog puta posmatrati funkcije umesto međustanja.

```
1000 cifre :: Int -> [Int]
1001 cifre = reverse
1002   . observe "map" map ('mod' 10)
1003   . observe "takeWhile" takeWhile(/= 0)
1004   . observe "iterate" iterate ('div' 10)
1005 -- iterate
1006 { \ { \ 3 -> 0
1007     , \ 35 -> 3
1008     , \ 354 -> 35
1009     , \ 3542 -> 354
1010   } 3542
1011   -> 3542 : 354 : 35 : 3 : 0 : _
1012 }
1013 -- takeWhile
1014 { \ { \ 0 -> False
1015     , \ 3 -> True
1016     , \ 35 -> True
1017     , \ 354 -> True
1018     , \ 3542 -> True
1019   } (3542 : 354 : 35 : 3 : 0 : _)
1020   -> 3542 : 354 : 35 : 3 : []
1021 }
1022 -- map
1023 { \ { \ 3 -> 3
1024     , \ 35 -> 5
1025     , \ 354 -> 4
1026     , \ 3542 -> 2
1027   } (3542 : 354 : 35 : 3 : [])
1028   -> 2 : 4 : 5 : 3
```

Listing 9: Posmatranje više funkcija

Funkcija *iterate* je od broja 3542 napravila beskonačni opadajući niz brojeva od kojih je samo prvih pet izračunato. Funkcija *takeWhile* je od beskonačnog niza napravila konačni kada je naišla na element 0. Funkcija *map* je od svakog elementa niza uzela poslednju cifru i napravila novi niz koji funkcija *reverse* obrće. Zbog zastarelih zavisnih biblioteka koje **Hud** koristi, primeri su preuzeti iz literature, gde je moguće naći detaljnija objašnjenja [2].

## 5 Debagovanje korišćenjem Debug(Debug) biblioteke

**Debug** biblioteka je kreirana or strane Nila Mičela (eng. *Neil Mitchell*) zarad laganog debagovanja Haskell programa [3]. Fokus ove biblioteke jeste na jednostavnosti korišćenja i intuitivnom interfejsu. Pošto je u pitanju Haskell biblioteka, ona ne zavisi od eksternih alata, što znatno olakšava njeno korišćenje i održavanje. **Debug** pri korišćenju generiše trag i omogućava jasno praćenje generisanog traga kroz svako pozivanje funkcije [1]. **Debug** se može integrisati u Haskell program na više načina, najčešće putem enkapsuliranja programskog koda u okviru *debug* funkcije [3]. Program koji će se koristiti za demonstraciju se sastoji od 3 funkcije, pri čemu sve tri treba da vrate koliko elemenata u nizu je veće od početnog.

```

1000 {-# LANGUAGE TemplateHaskell,ViewPatterns,PartialTypeSignatures #-}
1001     -}
1002 {-# OPTIONS_GHC -Wno-partial-type-signatures #-}
1003 import Debug
1004 debug [d|
1005     countGreater1st :: (Ord a) => [a] -> Int
1006     countGreater1st [] = 0
1007     countGreater1st [x] = 0
1008     countGreater1st (x:y:xs)
1009         | y > x = 1 + countGreater1st (x:xs)
1010         | otherwise = 0 + countGreater1st (x:xs)
1011     countGreater1st' :: (Ord a) => [a] -> Int
1012     countGreater1st' [] = 0
1013     countGreater1st' [x] = 0
1014     countGreater1st' (x:y:xs)
1015         | y > x = 1 + countGreater1st' (y:xs)
1016         | otherwise = 0 + countGreater1st' (x:xs)
1017     countGreater1st'' :: (Ord a) => [a] -> Int
1018     countGreater1st'' [] = 0
1019     countGreater1st'' [x] = 0
1020     countGreater1st'' (x:y:xs)
1021         | y >= x = 1 + countGreater1st'' (x:xs)
1022         | otherwise = 0 + countGreater1st'' (x:xs)
1023     |]

```

Listing 10: Primer uključivanja Debaga

### 5.1 Primena Debaga

Nakon što se izvrši funkcija, ona zahvaljujući *debug* funkciji ostavlja trag. Komandom *debugView* se poziva veb pregledač prozor koji nam prikazuje željene informacije. Druga opcija je da se sa *debugRun* automatski izvrši funkcija i pozove prozor [3]. Za svaku od levo navedenih funkcija

```

$ 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>

```

Slika 2: Primer pozivanja **GHCi** i **Debug** putem terminala

koje predstavljaju pozivni stek (eng. *Call Stack*) ovog programa se jasno vide argumenti i rezultat, što omogućava pregledno debugovanje.

```

countGreater1st' [3,7,3,4,67,646,36,1..] = 3
•
countGreater1st' [7,3,4,67,646,36,1,6..] = 2
•
countGreater1st' [7,4,67,646,36,1,6,4..] = 2
•
countGreater1st' [7,67,646,36,1,6,4,7..] = 2
•
countGreater1st' [67,646,36,1,6,4,7,3..] = 1
•
countGreater1st' [646,36,1,6,4,7,3] = 0
•
countGreater1st' [646,1,6,4,7,3] = 0
•
countGreater1st' [646,6,4,7,3] = 0
•
countGreater1st' [646,4,7,3] = 0
•
countGreater1st' [646,7,3] = 0
•
countGreater1st' [646,3] = 0
•
countGreater1st' [646] = 0

```

▼ Variables

- sresult = 3
- sarg1 = [3,7,3,4,67,646,36,1,6,4,7,3]

▼ Call stack

- countGreater1st' [3,7,3,4,67,646,36,1..] = 3

Slika 3: Prozor **Debuga** nakon primene funkcije *countGreater1st'*

Prvi primer radi kako treba, tj. vraća 8 elemenata većih od prvog. Drugi primer vraća rezultat 3, treba videti u čemu je problem. Prvi red pozivnog steka levo predstavlja prvu pozvanu funkciju, a drugi red je sledeći poziv. Praćenjem tog steka se nailazi na odbacivanje prvog elementa što remeti rezultat. U trećem primeru je krajnji rezultat 10. Funkcija računa i kad su elementi jednaki. Na slici 3 se može videti izgled interfejsa u veb pregledaču nakon poziva komande *debugView*.

## 5.2 Problemi Debuga i Debug.Hoed

**Debug** nije bez svojih problema. On koristi *Show* instance da bi prikazao vrednosti, što pravi probleme ako se program oslanja na lenjo izračunavanje, na primer kada imamo beskonačni niz. Tada program ima tendenciju da sruši ili da se zaglavi u beskonačnoj petlji [3].

*Debug.Hoed* rešava probleme navedene u prethodnom odeljku. U pitanju je biblioteka građena na **Debugu** koja koristi *TemplateHaskell*, podržava lenjo izračunavanje i nudi jasan prikaz pozivnog steka. Primer

kako izgleda prozor sa njim se može pronaći na sajtu navedenom u literaturi [3]. Važno je napomenuti da je biblioteka u eksperimentalnoj fazi, tj. mogu se očekivati drugi bagovi pri korišćenju.

Nismo u mogućnosti da prikažemo praktičan primer sa *Debug.Hoed* usled problema sa zastarelom verzijom **GHCi** koja se dobija preko *apt* repozitorijuma.

## 6 Zaključak

Ovaj rad se pozabavio pitanjem debugovanja u Haskell programskom jeziku. Posle analize i isprobavanja svih debagera, stekli smo bolje razumevanje u to kako debugovanje u Haskellu funkcioniše. No glavno pitanje koje je potrebno naglasiti kada je u pitanju debugovanje u Haskellu je – da li je debugovanje u Haskellu prijemčivo? Autori rada zaključuju da je sam Haskellov dizajn kao programskog jezika zajedno sa svojim ugrađenim debagerima sasvim dovoljan kada je u pitanju debugovanje, što se može potvrditi čestom pojavom da debageri izvan već ugrađenog nisu ažurni sa trenutnom verzijom jezika, ili prosto uopšte ne funkcionišu više. Među ostalom kao primer se može navesti većina izloženih tehnologija u ovom radu, koje su u velikom broju slučajeva ili nefunkcionalne ili zapostavljene.

## 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] Andy Gill. Debugging haskell by observing intermediate data structures.
- [3] Neil D. Mitchell. Mitchell Debug, 2017. on-line at: <https://github.com/ndmitchell/debug>.
- [4] Neil D. Mitchell. The GHCi Debugger, 2017. on-line at: [https://downloads.haskell.org/~ghc/7.6.3/docs/html/users\\_guide/ghci-debugger.html](https://downloads.haskell.org/~ghc/7.6.3/docs/html/users_guide/ghci-debugger.html).
- [5] Bernard James Pope. *A declarative debugger for Haskell*. PhD thesis, 2006.
- [6] Bernard James Pope. A declarative debugger for haskell. 2006.
- [7] Bernie Pope. Step inside the ghci debugger. *Monad Reader*, 1(10), 2008.
- [8] Richard Stallman, Roland Pesch, Stan Shebs, et al. Debugging with gdb. *Free Software Foundation*, 51:1–5, 2002.
- [9] Hat Team. The Haskell Tracer Hat, 2013. on-line at: <https://archives.haskell.org/projects.haskell.org/hat/>.
- [10] Simon Thompson. *The Craft of Functional Programming*. Addison-Wesley, London, 1999.
- [11] Malcolm Wallace, Olaf Chitil, Thorsten Brehm, and Colin Runciman. Multiple-view tracing for haskell: a new hat. 2001.