Erlang - funkcionalno rešenje za konkurentni svet

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

Tijana Jevtić, Jelena Mrdak, David Dimić, Zorana Gajić
tijanatijanajevtic@gmail.com, mrdakj@gmail.com,
daviddimic@hotmail.com, zokaaa_gajich@bk.ru

6. april 2019.

Sažetak

U ovom radu je prikazan programski jezik Erlang iz različitih uglova. Kroz niz poglavlja i primera, ispričana je njegova istorija - kad, kako, gde i zašto je nastao, po čemu je karakterističan, šta ga to izdvaja od drugih programskih jezika, koji su to koncepti koji su svojevrsni Erlangu. Nakon čitanja rada, čitalac će imati globalnu sliku o jeziku i detaljniji pogled na neke važne koncepte, kao i uvid u korišćenu literaturu koju može konsultovati radi daljeg informisanja o temi.

Sadržaj

1 Uvod

uvod bla bla bla

2 Nastanak i istorijski razvoj

1981. godine je oformljena nova laboratorija, Erikson CSLab (eng. *The Ericsson CSLab*) u okviru firme Erikson sa ciljem da predlaže i stvara nove arhitekture, koncepte i strukture za buduće softverske sisteme. Eksperimentisanje sa dodavanjem konkurentnih procesa u programski jezik Prolog je bio jedan od projekata Erikson CSLab-a i predstavlja začetak novog programskog jezika. Taj programski jezik je 1987. godine nazvan Erlang [1]. Sve do 1990., Erlang se mogao posmatrati kao dijalekt Prologa. Od tada, Erlang ima svoju sintaksu i postoji kao potpuno samostalan programski jezik. Godine rada su rezultirale u sve bržim, boljim i stabilnijim verzijama jezika, kao i u nastanku standardne biblioteke OTP (eng. *The Open Telecom Platform*) [7]. Od decembra 1998. godine, Erlang i OTP su postali deo slobodnog softvera (eng. *open source software*) i mogu se slobodno preuzeti sa Erlangovog zvaničnog sajta [10]. Danas, veliki broj kompanija koristi Erlang u razvoju svojih softverskih rešenja. Neke od njih su: Erikson, Motorola, Votsap (eng. *Whatsapp*), Jahu (eng. *Yahoo!*), Amazon, Fejsbuk (eng. *Facebook*).

2.1 Uticaji

Erlang je funkcionalan i konkurentan programski jezik. Na njega, kao na funkcionalan jezik, uticao je Lisp funkcionalnom paradigmom koju je prvi predstavio. Na planu konkurentnosti Erlang je svojevrstan primer (detaljnije u poglavlju 4).

Na početku, Erlang je stvaran kao neki dodatak na Prolog, vremenom prerastao u dijalekt Prologa, a kasnije je zbog svoje kompleksnosti i sveobuhvatnosti evoluirao u potpuno novi programski jezik. Stoga je uticaj Prologa na Erlang bio neminovan. Sintaksa Erlanga u velikoj meri podseća na Prologovu (npr. promenljive moraju počinjati velikim slovom u oba jezika, svaka funkcionalna celina se završava tačkom), oba jezika u velikoj meri koriste poklapanje obrazaca (eng. *pattern matching*).

Sa druge strane, Erlang je uticao na nastanak programskog jezika Eliksir (eng. *Elixir*). Eliksir, uz izmenjenu Erlangovu sintaksu, dopunjenu Erlangovu standardnu biblioteku, uživa široku popularnost.

3 Osnovna namena, svrha i mogućnosti

Sa početkom od 1981. godine, jedan od zadataka Eriksonove laboratorije za računarstvo je bio pronalaženje načina za bolje programiranje aplikacija za telekomunikacije [7]. Takve aplikacije su ogromni programi i od velike važnosti je da rade sve vreme (koliko je to moguće). Naravno, poznato je da će tolika količina koda zasigurno imati greške, ali u toj vrsti industrije, greške mogu biti fatalne. Na primer, šta se dešava ako je došlo

[1] Erlang je jedinica saobraćaja u oblasti telekomunikacija i predstavlja kontinuirano korišćenje jednog kanala (npr. ako jedna osoba obavi jedan poziv telefonom u trajanju od sat vremena, tada se kaže da sistem ima 1 Erlang saobraćaja na tom kanalu).

do kvara na nekoj telefonskoj liniji, a telefon nam je hitno potreban (recimo, neko ima srčani udar). Jednostavno nije moguće zaustaviti takvu aplikaciju, popraviti je i nanovo pustiti u rad. Kako se izboriti sa greškama u softverskim sistemima kada su one neminovne je osnovna motivacija za razvoj Erlanga [7].

Tako, jedna od njegovih namena jeste pisanje što sigurnijih programa koje je moguće popraviti bez potrebe za isključivanjem čitavog sistema [6]. Vrlo brzi konkurentni i distribuirani programi su još jedna od Erlangovih specijalnosti. Poseban koncept konkurentnosti koji je implementiran u Erlangu (više u poglavlju 4), kao i funkcionalna paradigma omogućavaju lako skaliranje programa i pravljenje velikih konkurentnih i distribuiranih sistema. Velika zajednica koja se godinama razvijala je doprinela stvaranju velikog broja biblioteka i okruženja za Erlang, te proširila njegov inicijalni skup mogućnosti i namena [6].

4 Osnovne osobine

Erlang je zasnovan na deklarativnoj i funckionalnoj paradigmi sa akcentom na konkurentnosti. Kao pripadnik funkcionalne paradigme poseduje sakupljač otpadaka koji upravlja memorijom u realnom vremenu tako da se ne mogu pojaviti greške programera pri rukovanju memorijom. Takođe, sistem ima ugrađenu kontrolu vremena, u smislu da se može odrediti koliko će neki proces čekati na poruku pre nego što se aktivira, pa omogućava pisanje aplikacija koje rade u mekom realnom vremenu (eng. *soft real-time systems*) sa odzivom od nekoliko milisekudni. U ovom poglavlju videćemo koji su tipovi podžani u Erlangu da bi se njegove osibine i namene opisane u poglavlju 3 ostvarile, kao i neka osnovna svojstva i koncepte.

4.1 Tipovi i promenjive

Na raspolaganju nam je 8 primitivnih tipova. Osim uobičajnih celobrojnih, realnih vrednosti i referenci, Erlang uvodi i neke specifične tipove kao što su:

- Atomi koji se pišu malim slovima i predstavljaju konstante i enumerisane tipove. Samo ime je njihova vrednost
- Binarne vrednosti omogućavaju lako i čitljivo prelamanje broja na segmente u binarni zapis na zadatoj širini. U oznaci «vrednost:širina»
- Identifikatori procesa predstavljaju reference na procese. Kreiraju se funkcijom spawn
- Portovi služe za komunikaciju sa spoljašnjim svetom. Ako su u skladu sa protokolom portova preko njih se mogu slati i primati poruke

Tu su i dve osnovne strukture koje mogu da sadrže bilo koje tipove: torke $\{elem_1, eleme_2, ...elemt_n\}$ za fiksirani broj elemenata u njima, i liste $[elem_1, elem_2, ...]$ za čuvanje promenjivog broja elemenata. Osnovni operator konstrukcije liste je $[Glava|Rep]$. U okviru listi se prikazuju i niske, za koje ne postoji ugrađeni poseban tip, već su one liste vrednost koje odgovaraju vrednostima karaktera. Ako svi elementi liste mogu da se prikažu kao karakteri onda će lista biti ispisana kao niska, što ilustruje naredni primer.

```
1> [16#5A, 97+3, 2*50+14, 97, 8#166, 2#1101111].
"Zdravo"
2> [65,97,2].
[65,97,2]
```

U drugom primeru 2 se ne može prikazati kao karakter pa lista nije prikazana kao niska. Ovde vidimo i neka elementarna izračunavanja i kako sa # možemo elegantno koristiti bilo koju brojevnu osnovu. Da bismo sačuvali izračunavanja potrebne su nam promenjive.

Promenjive mogu biti vezane (eng. *bound*), one kojima je "dodeljena" neka vrednost, i slobodne. Vezivanje se vrši najviše jednom i vrednost vezanih promenjihiv više se ne može menjati (eng. *single assignment variables*) osim ako se u interpreteru ne pozove funkicija f() koja sve promenjive načini slobodnim. Ovo je u skladu sa idejom funkcionalnih jezika da nema sporednih efekata, iako Erlang nije čisto funkcionalan jezik. Zapravo, operator = ne predstavlja nikakvu dodelu već poklapanje obrazaca.

4.2 Poklapanje obrazaca

Većinu funkcija u Erlangu, kao i svako vezivanje promenjivih pišemo putem poklapanja obrazaca. Da bismo objasnili ovaj ključni koncept potrebno je prvo da definišemo pojmove terma, obrasca i čuvara.

Definicija 1. *Osnonvni term (eng.* ground term*) se definiše kao primitivni tip, uređeni par ili lista osnovnog terma.*

Definicija 2. *Obrazac ili šablon (eng.* pattern*) može biti primitivni tip, promenjiva, uređeni par ili lista šablona. Ako su u obrascu sve promenjive različite onda se on naziva primitivnim.*

Poklapanje obrazaca (eng. *pattern matching*) je postupak poređenja terma sa obrascem. Neformalno[2], ako obrazac i term imaju isti oblik, poklapanje uspeva, pri čemu će svaka promenjiva biti vezana sa podatkom na njemu odgovarajućoj poziciji. Ovaj proces poznat je kao *unifikacija*. Sledeća prva tri primera uspešno su se unifikovala, dok je u poslednjem pokušana unifikacija X sa 51 što nije uspelo kako je X već vezano za {137, 42}.

```
1> Z = 2.
2> {X, macka} = {{137, 42}, macka}.
3> [Glava|Rep] = [1,2,3,4,5,6].
4> {X, Y} = {51, kuce}.
```

Definicija 3. *Čuvari (eng.* guards*) su izrazi koji sadrže samo predikate oblika A op B odvojeni zarezom pri čemu su op validni binarni operatori poređenja[3]. Izraz sa čuvarima može da se evaluira samo u true ili false.*

Čuvari sa ključnom rečju *when* predstavljaju dodatno proširenje mogućnosti poklapanja obrazaca, za izvođenje jednostavnih testova i poređenja u šablonu kao u primeru funkcije za maksimum dve vrednosti:

```
max(X, Y) when X > Y -> X;
max(X, Y) -> Y.
```

[2] Formalna definicija u dodatku
[3] Operatori poređenja su: <, =<, >, =>, ==, /=, =:=, =/=

4.3 Funkcije

```
ime_funckije(a11, a12, ... a1N) when g11, g12, ... g1N ->
        telo1;
ime_funckije(a21, a22, ... a2N) when g21, g22, ... g2N ->
        telo2;
...
ime_funckije(aM1, aM2, ... aMN) when gM1, gM2, ... gMN ->
        teloM.
```

4.4 Koncepti

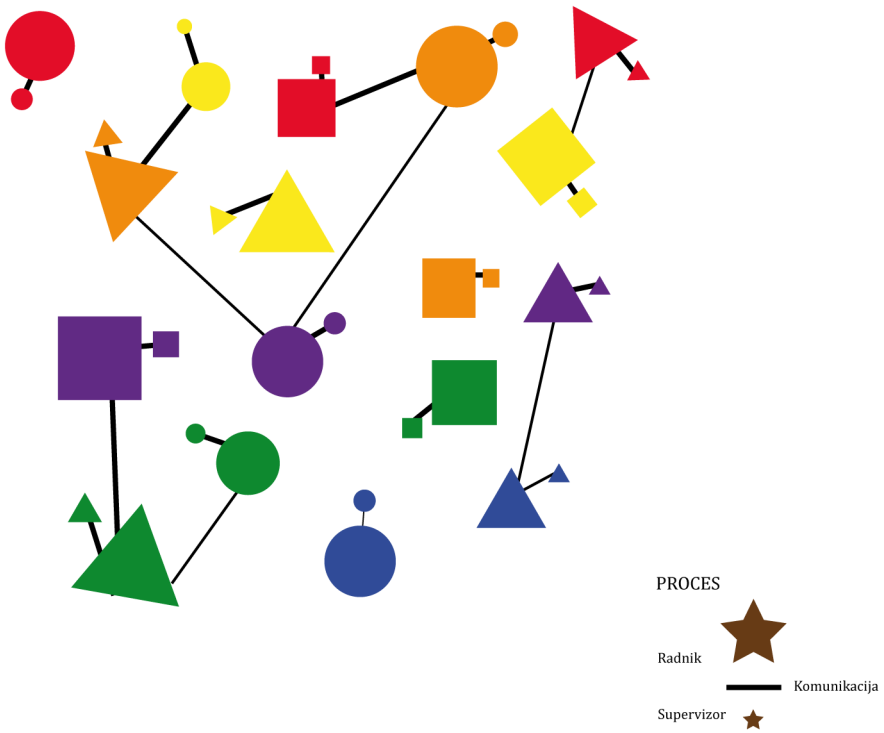
Jedna od osnovnih osobina Erlanga je konkurentnost i koncept na kom je zasnovana. Reč konkurentnost se odnosi na više radnji koje se dešavaju u istom trenutku. Posmatrajući svet oko sebe, uviđamo da je on u suštini konkurentan - u istom trenutku se dešava veliki broj procesa. [7] U tom istom trenutku, mi smo sposobni da takav svet pojmimo i odreagujemo na sve što se u njemu dešava. Dakle, mi prirodno razumemo konkurentnost. Tako se i prirodno nameće potreba za programskim jezikom koji bi omogućavao jednostavno modelovanje sveta kakav on stvarno jeste.

Koncept konkurentnosti implementiran u Erlangu se zove konkurentnost slanjem poruka (eng. *message passing concurrency*) i podrazumeva postojanje velikog broja procesa koji nikad ne dele memoriju, već komuniciraju isključivo asinhronim slanjem poruka [6]. Sva izračunavanja se obavljaju u okviru procesa i trebalo bi da sistem bude dizajniran tako da jedan proces radi jedan mali posao. Važno je napomenuti da procesi u Erlangu nisu procesi operativnog sistema, već Erlanga. To je moguće zbog toga što se programi napisani u Erlangu izvršavaju na BEAM virtuelnoj mašini. Tako, procesi u Erlangu se prave i uništavaju jako brzo, zauzimaju samo onoliko memorije koliko je neophodno, u većini slučajeva jako malo i ponašaju se isto na svim operativnim sistemima [6].

Poređenja radi, koncept konkurentnosti korišćen od strane većine programskih jezika je takozvani koncept konkurentnosti deljenih stanja (eng. *shared state concurrency*) gde procesi menjaju memoriju (nasuprot tome, u Erlangu vrednost promenljivoj može biti dodeljena samo jednom) [6]. U slučaju da više procesa žele da menjaju istu memoriju, tzv. kritična sekcija, potrebno je nekako zaštiti taj deo memorije (muteksi, katanci i dr.). U slučaju da do greške dođe baš u kritičnoj sekciji, ostali procesi ne znaju kako da se nose sa datom situacijom i u najboljem slučaju sistem prekida sa radom.

5 Okruženja (framework) i njihove karakteristike

Programski jezik Erlang je poznat za podržavanje skalabilnih sistema otpornih na greške (eng. *scalable fault-tolerant systems*), ali takođe nudi mnoštvo mogućnosti koje ga čine dobrim jezikom za veb programiranje. Na primer, mogućnost reagovanja na više korisničkih zahteva istovremeno, ne razmišljajući o problemima konkurentnosti.



Slika 1: Konkurentnost u Erlangu

U tabeli 1 je prikazano poređenje 3 glavna veb okruženja: *ChicagoBoss*, *Nitrogen* i *Zotonic* po nekim interesantnim osobinama.

Tabela 1: Poređenje Erlang veb okruženja

	ChicagoBoss	Nitrogen	Zotonic
Razvoj zasnovan na događajima	✓	✓	✓
Okruženje za testove	✓	✓	✓
Generisanje koda	✓	-	-
Django šabloni	✓	-	✓
Integrisani mejl server	✓	-	✓
UTF-8 u Erlang kodu	✓	-	✓
Višejezični podaci	-	-	✓
Generisanje *JavaScript* koda	-	✓	✓
Generisanje *JSON* formata	✓	✓	✓
Integrisani WebSocket	✓	✓	✓

Okruženje *ChicagoBoss* sadrži sloj apstrakcije baze podataka (eng. *database abstraction layer*) pod nazivom *BossDB* [1] koji je zaslužan za postavljanje upita nad bazom podataka i njeno ažuriranje. Podržani su *MySQL, Mnesia, Tokyo Tyrant i PostgreSQL*. Za razliku od *ChicagoBoss-*

a, *Nitrogen* okruženje ne podržava model podataka uopšte, dok *Zotonic* [5] podržava isključivo *PostgreSQL*.

Takođe, interesantno je primetiti da neka okruženja imaju integrisani mejl server koji nudi funkcije za primanje i slanje e-pošte i ostale mogućnosti, čime olakšava rad korisnicima. Na primer, slanje e-pošte u okruženju *ChicahoBoss* izgleda ovako:

```
boss_mail:send(FromAddress, ToAddress, Subject, Body)
```

U tabeli 1 videli smo da sva tri okruženja podržavaju i okruženje za testove, gde su testovi struktuirani kao stabla nastavaka (eng. *trees of continuations*). Detaljnije o ovome možete pogledati u radu autora *ChicagoBoss* okruženja [3]. Postoje gotove funkcije koje olakšavaju testiranje nekih opšte poznatih akcija kao što je provera da li je e-pošta ispravno primljena/poslata, da li je stranica na vebu modifikovana itd.

Django šabloni (eng. *Django templates*) [2] služe za jednostavnije i brže generisanje dinamičkih HTML stranica pomoću gotovih šablona. *Nitrogen* ima svoje *Nitrogen HTML* šablone ali je u procesu prelazak na *Django* šablone.

Za *Nitrogen* [4] je karakteran *veb DSL* [9] sa korišćenjem Nitrogen elemenata [4] što u suštini omogućava pisanje HTML/Javascript korišćenjem Erlang uslova pre nego HTML uslova.

Svaki od opisanih okruženja ima svoje prednosti i mane, te zato nije jednostavno presuditi koji od ovih okruženja treba koristiti zasigurno, a koji ne treba. U zavisnosti od onoga šta je prioritet bira se odgovarajuće okruženje.

6 Instalacija i pokretanje

Postoji više načina da se instalira Erlang sa neophodnim paketima. U ovom poglavlju će biti predstavljena instalacija korišćenjem prekompajliranih binarnih fajlova za neke operativne sisteme zasnovane na Linuksovom kernelu i pokretanje na jednom od njih, kao i instalacija za Windows.

6.1 Linux

Na operativnim sistemima zasnovanim na *Ubuntu*, Erlang se može instalirati sa: *sudo apt-get install erlang*.

Nakon uspešne instalacije, Erlang kod je moguće kompajlovati ili interpretirati i pokretati u interpretatoru. Interpretator se pokreće kucanjem komande *erl* u terminalu, a iz istog se izlazi sa *Ctrl+G* iza kog sledi *q* [6]. Erlang interpretator ima u sebi ugrađen editor teksta koji je baziran na *emacs-u* [8]. Kôd iz datoteke se kompajluje komandom *erlc* i navođenjem imena fajla sa ekstenzijom *erl*. Nakon toga se dobija izvršna datoteka sa ekstenzijom *beam* koja se može pokrenuti uz navođenje adekvatnih flegova.

6.2 Windows

Na operativnom sistemu *Windows*, Erlang se može instalirati preuzimanjem binarne datoteke sa oficijalnog sajta [10] programskog jezika.

Posle duplog klika na *.exe* fajl samo je potrebno ispratiti uputstva.

Pokretanje interpretatora se vrši na isti način kao i na *Linux* sistemima. Ukoliko naiđete na neki problem sa instalacijom i kompilacijom možete pronaći rešenje u dokumentaciji programskog jezika [10].

7 Primeri kodova sa objašnjenjima

Počećemo od primera "Hello World".

```
% hello world program
-module(helloworld).
-export([start/0]).

start() ->
   io:fwrite("Hello, world!\n").
```

```
> Hello, world!
```

Nekoliko napomena:

- Znak % označava linijski komentar.
- Modul je ekvivalent namespace-u u drugim jezicima.
- Export funkcija se koristi da bi funkcija definisana u programu mogla da se koristi. Mi definišemo funkciju start, a da bismo mogli da je koristimo potreban nam je export. /0 označava da funkcija *start* prima 0 argumenata.
- Da bismo željeni tekst prikazali u konzoli, koristimo **io** modul koji sadrži potrebne IO funkcije u Erlangu.

Pošto smo videli kako string možemo ispisati na standardni izlaz, sada ćemo videti kako broj možemo ispisati. Sledeći program prikazuje zbir dva intiger-a.

```
-module(helloworld).
-export([start/0]).

start() ->
   io:fwrite("~w",[1+1]).
```

```
> 2
```

Na sličan način možemo ispisivati i razne druge tipove.

Kao i većina funkcionalnih jezika, i Erlang podržava shvatanje listi (eng. list comprehensions), što ilustrujemo narednim primerima.

```
> [X || X <- [1,2,a,3,4,b,5,6], X > 3].
```

```
[a,4,b,5,6]
```

Notacija `X <- [1, 2, a, ...]` je generator, dok je izraz `X>3` filter.

Možemo primeniti više filtera.

```
> [X || X <- [1,2,a,3,4,b,5,6], integer(X), X > 3].
```

```
[4,5,6]
```

Takođe, moguće je kombinovati i generatore. Na primer, Dekartov proizvod dve liste možemo napisati kao

```
> [{X, Y} || X <- [1,2,3], Y <- [a,b]].
```

```
[{1,a},{1,b},{2,a},{2,b},{3,a},{3,b}]
```

Algoritam QuickSort u Erlangu se može implementirati na sledeći način:

```
sort([Pivot|T]) ->
    sort([ X || X <- T, X < Pivot]) ++
    [Pivot] ++
    sort([ X || X <- T, X >= Pivot]);
sort([]) -> [].
```

Izraz `[X || X <- T, X < Pivot]` e lista svih elemenata iz T koji su manji od pivota. Slično, `[X || X <- T, X >= Pivot]` je lista svih elemenata iz T koji su veći ili jednaki od pivota.

Neizostavna funkcija svih funkcionalnih programskih jezika jeste map. map(F, List) je funkcija koja prima funkciju F i listu L i vraća novu listu dobijenu primernom funkcije F na svaki element liste L.

```
map(F, [H|T]) -> [F(H)|map(F, T)];
map(F, [])    -> [].
```

```
double(L)  -> map(fun(X) -> 2*X end, L).
```

```
> double([1,2,3,4]).
```

```
[2,4,6,8]
```

8 Specifičnosti

9 Zaključak

Literatura

[1] ChicagoBoss framework documentation. on-line at: http://chicagoboss.org/doc/api-db.html.

[2] Django Templates Documentation. on-line at: https://docs.djangoproject.com/fr/2.1/topics/templates/.

[3] Functional Tests As A Tree Of Continuations. on-line at: https://www.evanmiller.org/functional-tests-as-a-tree-of-continuations.html.

[4] Nitrogen framework documentation. on-line at: http://nitrogenproject.com/doc/index.htmll.

[5] Zotonic framework documentation. on-line at: http://docs.zotonic.com/en/latest/index.html.

[6] J. Armstrong. *Programming Erlang (2nd edition)*. Pragmatic Bookshelf, 2013.

[7] Joe Armstrong. *Making reliable distributed systems in the presence of software errors*. PhD thesis, The Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, Decembar 2003.

[8] F. Hebert. *Learn You Some Erlang for Great Good!* No Starch Press, 2013.

[9] Zef Hemel, Danny M. Groenewegen, Lennart C.L. Kats, and Eelco Visser. Webdsl: A domain-specific language for dynamic web applications. In G. Kiczales, editor, *Companion to the 23rd ACM SIGPLAN Conference on Object-Oriented Programing, Systems, Languages, and Applications (OOPSLA 2008)*, Nashville, Tenessee, USA, October 2008. ACM Press.

[10] OTP team. Erlang. on-line at: http://www.erlang.org/.

A Dodatak