

# Implementacija Regex Golf igre pomoću Genetskog programiranja

Projekat u okviru kursa Računarska inteligencija  
Matematički fakultet  
Univerzitet u Beogradu

Andela Ilić  
[mi17105@alas.matf.bg.ac.rs](mailto:mi17105@alas.matf.bg.ac.rs)  
Mina Milošević  
[mi17081@alas.matf.bg.ac.rs](mailto:mi17081@alas.matf.bg.ac.rs)

Februar 2021

# Sadržaj

<b>1</b>	<b>Opis problema</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Implementacija</b>	<b>3</b>
2.1	Obrada ulaznih podataka . . . . .	3
2.2	Genetsko programiranje . . . . .	3
2.2.1	Implementacija jedinke . . . . .	3
2.2.2	Selekcija, ukrštanje, mutacija, elitizam . . . . .	4
2.2.3	Parametri genetskog programiranja . . . . .	4
2.3	Izlaz programa . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Rezultati</b>	<b>5</b>
	<b>Literatura</b>	<b>6</b>

## 1 Opis problema

Data su dva skupa reči -  $M$  i  $U$ , ne nužno istih dimenzija. Cilj *Regex Golf* igre je pronaći najkraći regularni izraz kojim se mogu zapisati sve reči iz skupa  $M$ , ali kojim se ne može zapisati nijedna reč skupa  $U$ .

Za date skupove  $M$  i  $U$  ne možemo sa sigurnošću da tvrdimo da postoji rešenje koje zadovoljava prethodne uslove. Takođe, ako dobijemo regularni izraz koji zadovoljava navedene uslove, ne možemo za svaki primer znati da li postoji i bolje rešenje tj. kraći regularni izraz. U nastavku je dat opis naše implementacije rešenja pomoću Genetskog programiranja [1].

## 2 Implementacija

Svaka jedinka u Genetskom programiranju će biti predstavljena kao drvo. U listovima nalaze elementi koje ćemo jednim imenom zvati *Terminali* (terminal set), a u unutrašnjim čvorovima su elementi koje nazivamo *Funkcije* (function set).

Skup funkcija sadrži operatore koji se mogu javiti u regularnim izrazima. Primeri takvih operatora su:  $.*$ ,  $+$ ,  $?$ ,  $\{.,.\}+$ ,  $(.)$ ,  $[.]$ ,  $[\wedge]$ ,  $..$ ,  $..|..$ . Tačka  $.$  je mesto na kome se nalaze deca u drvetu.

Skup terminala čine elementi koji zavise i koji ne zavise od ulaznih skupova  $M$  i  $U$ . Elementi koji su nezavisni - opsezi malih i velikih slova ( $a-z$ ,  $A-Z$ ), opsezi brojeva u regularnim izrazima ( $0-9$ ), karakteri  $\wedge$  i  $\$$ , wildcard karakter  $\%$  (kasnije se transformiše u  $.$ ). Elementi skupa terminala koji su zavisni - skup svih karaktera iz  $M$ , parcijalni opsezi karaktera iz  $M$  i  $n$ -grami iz skupova  $U$  i  $M$ .

### 2.1 Obrada ulaznih podataka

Bez obzira na veličinu ulaznih skupova  $M$  i  $U$  i njihov sadržaj, implementacija prethodno navedenih zavisnih terminala je ista.

*Skup karaktera iz  $M$*  sadrži sve karaktere koji se mogu naći u rečima iz  $M$ , bez ponavljanja i sortirani po engleskom alfabetu.

*Parcijalni opsezi* se prave na osnovu skupa karaktera iz  $M$ . Potrebno je naći maksimalne podskupove tog skupa karaktera tako da se svi karakteri iz intervala  $[c_f, c_l]$  nalaze u skupu karaktera iz  $M$ .  $c_f$  je prvi karakter, a  $c_l$  je poslednji karakter iz podskupa. Kao rezultat se vraćaju parcijalni opsezi u formatu  $c_f - c_l$ .

*n-grami*. Pravimo skup svih  $n$ -grama dužine  $2 \leq n \leq 4$  koji se mogu naći u  $M$  ili u  $U$  (ili oba). Svakom dobijenom  $n$ -gramu se dodelju vrednost koja predstavlja njegov *score*. Za svaku reč iz  $M$  koja sadrži dati  $n$ -gram, njegov *score* se uvećava za 1, a za svaku reč iz  $U$  koja ga sadrži, *score* se umanjuje za 1. Nakon formiranja svih  $n$ -grama i određivanja njihovih *score*-ova, sortiraju se opadajuće po *score*-u. Potrebno je uzeti najmanji podskup  $n$ -grama tako da njihova ukupna vrednost (*score*) bude jednaka bar dužini skupa  $M$  ( $|M|$ ).

### 2.2 Genetsko programiranje

#### 2.2.1 Implementacija jedinke

Svaka jedinka se predstavlja preko *stabla*. U korenu stabla se nalazi karakter  $'.'$  i koren uvek ima dva deteta. Elementi u unutrašnjim čvorovima se biraju nasumično iz skupa *Function*, a elementi u listovima su nasumično izabrani iz skupa *Terminal*.

Na osnovu izabranog elementa za unutrašnji čvor dobijamo informaciju koliko dece će taj čvor imati -  $*$ ,  $+$ ,  $?$ ,  $(.)$ ,  $[.]$ ,  $[\hat{.}]$  će imati jedno dete;  $..$ ,  $..|$  dva deteta;  $\{.,.\}+$  ima tri deteta.

Od ovako kreiranog drveta se dobija niska koja predstavlja validan regularni izraz. Za svaku jedinku računamo *fitness* funkciju po formuli:

$$f(x) = w_i * (n_m - n_u) - length(r)$$

gde je  $w_i$  statistički određena konstanta (kod nas ima vrednost 10),  $n_m$  i  $n_u$  brojevi reči iz skupova M i U, redom, koje su opisane dobijenim regularnim izrazom, a  $length(r)$  je dužina regularnog izraza. Pošto želimo što kraći regularni izraz koji obuhvata sve reči iz M i nijednu reč iz U, ovako definisanu funkciju *fitness* maksimizujemo.

## 2.2.2 Selekcija, ukrštanje, mutacija, elitizam

Za *selekciju* koristimo turnirsku selekciju veličine 7. Jedinke za selekciju biramo nasumično i uzimamo najbolju jedinku tj. onu koja ima najveći fitness među odabranim.

Koristimo *jednopoloziciono ukrštanje*. Najpre obilazimo stabla roditelja BFS-om i numerišemo čvorove. Uzimamo broj iz intervala  $[0, \min(len(parent1), len(parent2))]$ . Broj 0 odgovara koren stabla, pa postavljamo *child1* na *parent2*, a *child2* na *parent1*. Inače, ako smo dobili broj veći od 0, tražimo podstabla u roditeljima koja treba da razmene mesta. Na kraju treba proveriti da li su regularni izrazi ovako dobijene dece validni. U slučaju da neko dete nije validno, vraćamo odgovarajućeg roditelja umesto njega.

*Mutaciju* radimo sa verovatnoćom 0.1. Biramo indeks čvora koji želimo da promenimo. Razlikujemo dva slučaja - kada je čvor iz skupa terminala i kada je iz skupa funkcija. U prvom slučaju, samo izaberemo nasumično novi terminal i ažuriramo vrednost čvora. Ukoliko je čvor bio iz skupa funkcija, biramo novu vrednost iz istog skupa ali sada treba obratiti pažnju da li treba menjati i njegovu decu. Ako smo izabrali element iste kardinalnosti (isti broj dece), onda samo promenimo vrednost u čvoru. Ako se kardinalnost smanjila, odgovarajuću decu brišemo, a ako se kardinalnost povećala biramo po jednu vrednost iz skupa terminala i postavljamo vrednost dece na nju. Na kraju opet treba proveriti da li je dobijena jedinka validna. Ako nije, vraćamo jedinku za koju smo i pokrenuli mutaciju.

U našoj implementaciji koristimo i *elitizam* kako bismo sačuvali najbolje jedinke u populaciji. Elitizmom čuvamo 20% najboljih jedinki.

## 2.2.3 Parametri genetskog programiranja

Parametri su postavljeni na osnovu podataka iz [1]. Za većinu primera sa ovim parametrima se dobijao veoma dobar rezultat, dok je za neke bilo potrebno povećati broj generacija ili populacija.

U algoritmu imamo populaciju od 500 jedinki i pravimo 1000 generacija. Kao što je ranije rečeno, turnirska selekcija je dimenzije 7, a verovatnoća mutacija je 0.1. Za elitizam uzimamo 20% jedinki. Kako bismo dobili što bolje rešenje algoritam pozivamo za 32 populacije.

## 2.3 Izlaz programa

Iz svake populacije čuvamo sve jedinke kod kojih važi:

$$n_m - n_u = |M|$$

$n_m$  i  $n_u$  su brojevi reči iz skupova M i U, redom, koje su opisane regularnim izrazom, a  $|M|$  je veličina skupa M.

Dakle, želimo da sačuvamo sve jedinke kod kojih su ispunjena prva 2 uslova ovog problema. Ako u trenutnoj populaciji ne postoji takva jedinka, čuvamo samo najbolju jedinku na osnovu celokupnog fitnesa.

Na kraju rada algoritma biramo najbolju jedinku, od svih sačuvanih, po njenom ukupnom fitnesu i nju proglašavamo za rešenjem datog problema.

### 3 Rezultati

U sledećoj tabeli su zabeleženi naši rezultati za odabrane primere. Primeri su uglavnom preuzeti sa [2].

PRIMER	NAŠE REŠENJE	SCORE	NAJBOLJE REŠENJE	SCORE
Plain strings	foo	207	foo	207
Anchors	k\$	208	k\$	208
It never ends*	u\$	28	u\b	27
Ranges	ff .b d[a-f]	178	^[a-f]*\$	202
Abba	st . +u z	142	^(?!(.+ \1) ef	196
A man, a plan	^r x gg oo	90	^(.)([p].)*\$	177
Presidents**	Bu am Ta Har N+i vel	120		390
Movies***	m  B?R [AB?]	48	m   [tn] b	40
Regions****	br - os L P t?il	104		200

Vreme izvršavanja programa je nekoliko desetina minuta (najčešće 20-30 minuta).

\* U primeru na sajtu [2] nije dozvoljeno korišćenje karaktera \$, pa su rešenja drugačija.

\*\* Primer je preuzet sa [4]. Nije pronađen podatak o najboljem rešenju pa je zapisan idealan *score*.

\*\*\* Primer i najbolje rešenje su preuzeti sa [5]. Njihovo rešenje je *case insensitive*, dok je naše *case sensitive*.

\*\*\*\* Primer je preuzet sa [6]. Nije pronađen podatak o najboljem rešenju pa je zapisan idealan *score*.

## Literatura

- [1] Alberto Bartoli, Eric Medvet, Andrea De Lorenzo, and Fabiano Tarlao - *Playing Regex Golf with Genetic Programming* (2014)
- [2] [Regex Golf Examples](#)
- [3] [Regex Golf Solutions](#)
- [4] [USA Election winners and losers](#)
- [5] [Star Wars and Star Trek titles](#)
- [6] [Regions of Italy vs. States of USA](#)