

# Generisanje lavirinta genetskim algoritmom

Seminarski rad u okviru kursa

Računarska inteligencija

Matematički fakultet

Batoćanin Vladimir, Zobenica Darinka

## Sažetak

Ovaj rad analizira performanse kreiranog genetskog algoritma, poredeći korelaciju njegove funkcije prilagođenosti i odgovora ispitanika u anonimnoj anketi od kojih je traženo da ocene težine datih lavirinata. Funkcija prilagođenosti bila je bazirana na broju koraka potrebnih algoritmu A\* da reši lavirint, broju skretanja u celom lavirintu, i broju sporednih puteva. Utvrđena je slaba pozitivna korelacija između izabranih parametara i težine rezultujućih lavirinata prema oceni ispitanika.

## Sadržaj

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Metodologija</b>	<b>2</b>
2.1	Opis rešenja . . . . .	2
2.1.1	Kodiranje problema . . . . .	2
2.1.2	Kriterijumi i funkcija prilagođenosti . . . . .	3
2.1.3	Operatori ukrštanja i mutacije . . . . .	3
2.2	Anketa . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Rezultati</b>	<b>5</b>
3.1	Rezultati algoritma . . . . .	5
3.2	Rezultati ankete . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Diskusija</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Zaključak</b>	<b>7</b>
	<b>Literatura</b>	<b>7</b>
<b>A</b>	<b>Dodatak</b>	<b>8</b>
<b>B</b>	<b>Dodatak</b>	<b>9</b>

# 1 Uvod

Generisanje lavirinata je široka oblast, dobro proučena u okviru teorije grafova. Međutim, teško je izmeriti težinu lavirinta u smislu ljudske sposobnosti rešavanja problema. Cilj ovog rada je da izmeri korelaciju nekih kriterijuma korišćenih za optimizaciju u genetskom algoritmu i utiska ispitanika u anonimnoj anketi o težini lavirinta. Istovremeno, ova mera će potvrditi tačnost i korisnost našeg rešenja. Mnogi radovi obrađuju generisanje lavirinata standardnim grafovskim algoritmima[1][2] i interakciju ljudi sa tim lavirintima,[3] ali ne i moguće primene veštačke inteligencije na ovaj problem.

## 2 Metodologija

### 2.1 Opis rešenja

Naša hipoteza je da maksimizacija sledećih kriterijuma uslovljava težinu lavirinta za ljudske ispitanike:

- broj koraka potreban algoritmu  $A^*$  da nađe rešenje,
- broj koraka van glavnog puta (skaliran faktorom 0.7),
- broj skretnica u celom lavirintu.

Broj koraka potreban algoritmu  $A^*$  da nađe rešenje je gruba aproksimacija toga koliko će ispitaniku trebati vremena da reši dati lavirint. Ovaj algoritam je odabran zbog pogodne vremenske složenosti i korišćenja metaheuristike. Međutim, pretpostavili smo da ova aproksimacija neće biti dovoljna jer bi optimizacija težila ka što dužim putevima bez skretanja van glavnog puta i slepih ulica.

Da bismo regulisali uticaj prethodnog kriterijuma, dodali smo brojanje koraka van glavnog puta. Namera je bila da algoritam ne konvergira ka predugačkim putevima koji idu direkto do rešenja, ali ni ka kratkim putevima koji maksimizuju broj koraka van glavnog puta, već da se napravi balans između ta dva kriterijuma.

Zbog ljudske sposobnosti da prepoznaje pravilnosti na slici,[4] lavirint bez puno skretanja bi bio lakši za rešavanje ljudskom ispitaniku nego pretrazi u dubinu, koja nema benefit neke heuristike kojom se orijentiše. Zbog toga smo dodali i kriterijum da lavirint ima što više skretanja.

#### 2.1.1 Kodiranje problema

Nije nam cilj bio da dobijemo jedan konkretan lavirint na kome su zadati kriterijumi optimizovani, već celu klasu rešenja. Jedno rešenje se generiše pretragom u dubinu kako bi se napravilo razapinjuće stablo, a ono što naš genetski algoritam zapravo pravi je matrica verovatnoća koja usmerava tu pretragu. Kada jednom dobijemo rešenje, pretraga se može pokrenuti više puta kako bi se dobilo više različitih lavirinata sa sličnim karakteristikama.

Naš algoritam je modifikacija pretrage u dubinu koja koristi dodatne kriterijume zasnovane na verovatnoćama zapisanim u genetskom kodu jedinke. Ovo omogućava generisanje različitih lavirinata i smislenu genetsku reprezentaciju u vidu matrice datih verovatnoća. Pretraga u dubinu se koristi za generisanje razapinjućih stabala još od XIX veka, a poznata je i kao metoda za generisanje i rešavanje lavirinata. [1]

Pri generisanju pojedinačnog lavirinta, počinjemo sa "rešetkom", odnosno sa lavirintom u kome su sva polja okružena zidovima sa svih strana. Konkretna instanca lavirinta se dobija tako što se vrši pretraga u dubinu i zidovi na njenom putu se sklanjaju.

Matrica verovatnoća je matrica dimenzija  $n \times n$  koja odgovaraju dimenzijama lavirinta. Svako polje ove matrice definiše verovatnoću da će pretraga iz susednog polja odabrati da napravi prolaz između data dva polja. S obzirom da ovaj metod nije deterministički, najverovatniji sused se bira s verovatnoćom  $p_1$ . Ukoliko on nije izabran, sledeći najbolji sused se bira s uslovnom verovatnoćom  $(1 - p_1) \cdot p_2$  itd. Ako smo obišli sve susele datog polja, dolazi do bektrekinga, pri čemu se pretraga nastavlja iz jednog od polja susednih trenutnoj putanji (tj. neposećenih suseda posećenih polja). To polje se bira po istom principu kao i do sad, pri čemu se na sve susele trenutne putanje gleda kao na moguće nastavke puta.

### 2.1.2 Kriterijumi i funkcija prilagođenosti

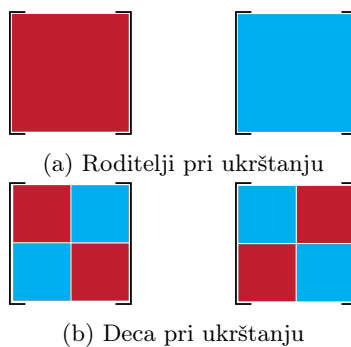
Funkcija prilagođenosti je realizovana kao jedna pretraga u dubinu koja meri sva tri zadata kriterijuma. Pretpostavimo da imamo lavirint dimenzija  $n \times n$ .

- Broj koraka potreban algoritmu  $A^*$  da nađe rešenje će biti između  $2n - 1$  i  $n^2$ .
- Broj koraka van glavnog puta biće između  $0$  i  $n^2 - (2n - 1)$ .
- Broj skretnica u celom lavirintu zavisi od toga da li je  $n$  parno, ali može ići od  $n$  do  $n^2$ .

Pošto se ove vrednosti asimptotski isto ponašaju, zanemarili smo male razlike u domenima, te funkcija prilagođenosti vraća zbir ove tri vrednosti. Eksperimentalno je utvrđeno da se bolji rezultati dobijaju kad je broj koraka van glavnog puta skaliran faktorom  $0.7$ .

### 2.1.3 Operatori ukrštanja i mutacije

Ukrštanje se vrši tako što se matrica verovatnoća deli na četiri jednake podmatrice, a zatim one po dijagonali zamenjuju mesta sa podmatricama iz drugog roditelja. Deljenjem jedne matrice čuvamo karakteristike koje su postojale na osnovu susedstva, a dijagonalnim ukrštanjem deci uvodimo dodatnu raznovrsnost populacije. Ukrštanje je prikazano na slici 1.



Slika 1: Ukrštanje dve matrice verovatnoća (a) i rezultat (b)

Operator mutacije mutira nasumičnu pravougaonu oblast u matrici. Verovatnoća da će se mutacija desiti na datoj matrici definisana je kao parametar algoritma, i u izvršenom eksperimentu iznosi  $p = 0.1$ .

## 2.2 Anketa

Da bismo potvrdili da naša funkcija prilagođenosti zaista meri ono što smo nameravali - težinu rešavanja lavirinta za ljudska bića - sproveli smo anketu preko alata Google Forms.

Ispitanici su ocenjivali težinu datog lavirinta od 1 do 10. Od zadatih 10 lavirinata, samo 2 su zapravo generisana koristeći naš metod, dok je preostalih 8 nasumično. Odredili smo vrednosti funkcije prilagođenosti svih lavirinata i cilj je videti da li te vrednosti koreliraju sa prosečnom težinom prema proceni ispitanika.

Kako bismo eliminisali potencijalni uticaj redosleda lavirinata u pitanjima na odgovore ispitanika, podesili smo da pitanja svaki put izmešaju redosled. Ispitanici su takođe ohrabreni da prilikom rešavanja ne koriste svesno algoritme koje možda znaju, već da prate intuiciju.

Korišćeni lavirinti i njihove vrednosti funkcije prilagođenosti se mogu naći u dodatku [A](#).

## 3 Rezultati

### 3.1 Rezultati algoritma

Algoritam je pokretan dva puta, sa parametrima koji se mogu naći u tabeli 1.

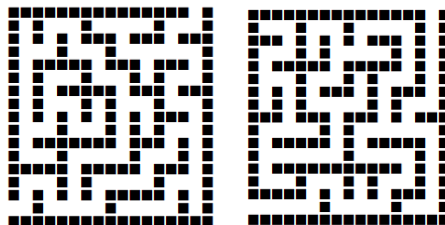
Tabela 1: Korišćeni parametri genetskog algoritma

broj jedinki u generaciji	5000
veličina hromozoma	$8 \times 8$
broj jedinki koje se reprodukuju po generaciji	1000
broj iteracija	1000
stopa mutacije	0.1
veličina turnira za selekciju	10

Prvi put algoritam je pokrenut na Intel i5-7500 i izvršavanje je trajalo 4h:57min:21s. Algoritam je dostigao prosečnu vrednost funkcije prilagođenosti 104.5.

Drugi put pokrenuto je na AMD Ryzen 7 3750H u trajanju od 7h:31min:46s. Drugo pokretanje je dostiglo prosečnu vrednost funkcije prilagođenosti 128.5.

Primeri se mogu videti na slici 2.

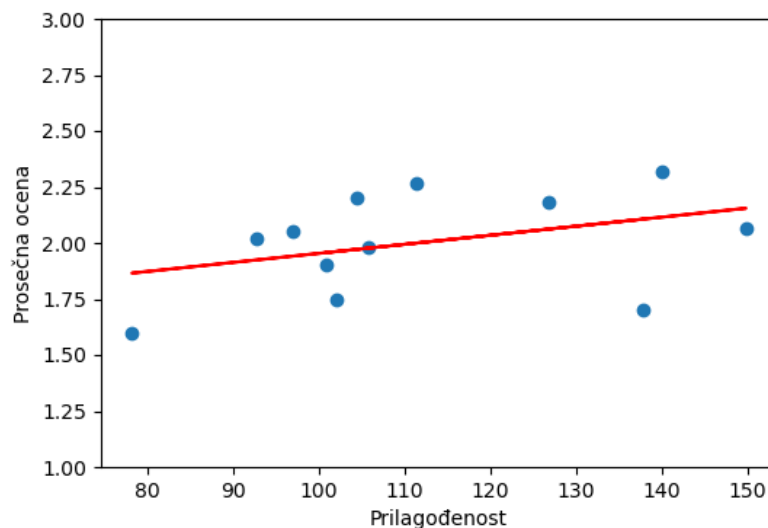


(a) Primer lavirinta generisanog pri prvom pokretanju (b) Primer lavirinta generisanog pri drugom pokretanju

Slika 2: Primeri generisanih lavirinata

### 3.2 Rezultati ankete

Na anketu je odgovorilo 63 ispitanika. Korelacija između funkcije prilagođenosti i prosečne ocenjene težine bila je  $r = 0.37$ . Link ka celokupnim prikupljenim podacima mogu se naći u dodatku B. Na podacima je odrađena linearna regresija, čiji se rezultati mogu videti na slici 3.



Slika 3: Tačkasti grafik sa linijom dobijenom regresijom

## 4 Diskusija

Korelacija između naše funkcije prilagođenosti i prosečne ocene ispitanika je  $r = 0.37$ . Na osnovu dobijenih rezultata, zaključili smo da postoji slaba pozitivna korelacija između parametara koje smo koristili da prilagodimo model, ali da ti parametri nisu dovoljni da aproksimiraju ljudsko ponašanje.

Pošto je sprovedena anketa bazirana na samoevaluaciji, rezultati nisu jednako precizni kao što bi bili kada bismo mogli da pratimo precizan tok razmišljanja ispitanika. Na primer, mogla bi da se napravi aplikacija gde oni interaktivno rešavaju lavirint i mi sakupljamo podatke o tome koliko im je vremena trebalo za koji, koliko su skretali sa glavnog puta, i sl. Verujemo da bismo tako dobili preciznije rezultate, po ugledu na [3].

Kako bi se poboljšala funkcija prilagođenosti, mogao bi da se razmatra veći spektar parametara i izračuna njihova korelacija sa težinom po oceni ispitanika, a da se zatim na osnovu tih vrednosti generiše funkcija prilagođenosti. Bilo bi teže pronaći statistički relevantan broj ispitanika za ovakvu analizu, jer bi ona zahtevala multivarijabilnu analizu sa mnogo više primera.

Takođe smo primetili da smo pri dva pokretanja dobili značajno različite prosečne vrednosti funkcije prilagođenosti. To indikuje da parametri ili operatori algoritma nisu bili sasvim optimalni tj. da ne motiviše dovoljno eksploraciju. Proširenja ovog rada morala bi da uključuju razmatranje operatora mutacije, stepena učestalosti mutacije, broja jedinki koje se razmnožavaju, i maksimalnog broja iteracija, kako bi se ovaj problem otklonio.

## 5 Zaključak

Urađen je genetski algoritam za optimizaciju težine lavirinta za ljudske ispitanike. Hromozom je matrica verovatnoća koja usmerava generisanje prolaza kroz lavirint kreiranjem razapinjućeg stabla.

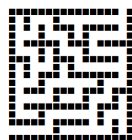
Utvrđena je slaba korelacija ( $r = 0.37$ ) između prosečnih ocena težine lavirinta ispitanika u okviru ankete i zbira broja koraka potrebnih algoritmu A\* da nađe izlaz iz lavirinta, skaliranog broja skretanja u celom lavirintu, i broja koraka van puta do rešenja.

Dalji razvoj bi mogao da uključuje objektivniji metod od samoevaluacije, analizu drugih mogućih parametara, kao i poboljšanje eksploracije pri pretrazi u oblasti rešenja.

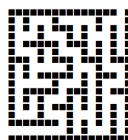
## Literatura

- [1] Even, Shimon: *Graph algorithms*. Cambridge University Press, 2011.
- [2] Pullen, Walter D.: *Perfect Maze Creation Algorithms*. on-line at: <http://www.astrolog.org/labyrnth/algrithm.htm#perfect>.
- [3] Foltin, Martin: *Automated maze generation and human interaction*. Magistrska teza, Masarykova univerzita, Fakulta informatiky, 2011.
- [4] Eysenck, Michael W i Keane, Mark T: *Cognitive psychology: A student's handbook*. Taylor & Francis, 2005.

## A Dodatak

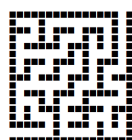


(a)  
Prilagođenost:  
100.8

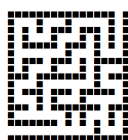


(b)  
Prilagođenost:  
104.4

Slika 4: Lavirinti kreirani prvom pokretanjem algoritma koji su učestvovali u anketi

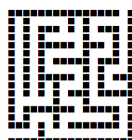


(a)  
Prilagođenost:  
140.0

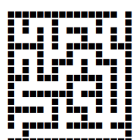


(b)  
Prilagođenost:  
149.8

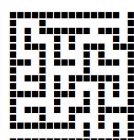
Slika 5: Lavirinti kreirani drugom pokretanjem algoritma koji su učestvovali u anketi



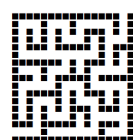
(a)  
Prilagođenost:  
78.2



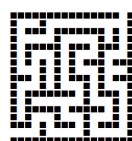
(b)  
Prilagođenost:  
92.8



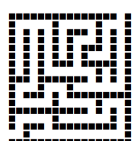
(c)  
Prilagođenost:  
97.0



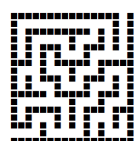
(d)  
Prilagođenost:  
102.0



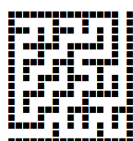
(e)  
Prilagođenost:  
105.8



(f)  
Prilagođenost:  
111.4



(g)  
Prilagođenost:  
126.8



(h)  
Prilagođenost:  
137.8

Slika 6: Lavirinti kreirani nasumično



## B Dodatak

Kompletni rezultati ankete mogu se naći na repozitorijumu:

[https://github.com/Vbatocanin/genetic\\_maze\\_generator](https://github.com/Vbatocanin/genetic_maze_generator)

Nalaze se u fajlu "Anketa o težinama lavirinata (Responses).xlsx".