

Simuliranje pešačkog saobraćaja u situacijama evakuacije

Daniel Siladi

Ognjen Stanisavljević

Sažetak

Nema abstrakta

1 Uvod

Metode koje se koriste u fizici se već duže vreme uspešno primenjuju u modeliranju motornog saobraćaja. S druge strane, pešački saobraćaj, a posebno ponašanje ljudi u situacijama prilikom kojih vlada panika izdvojeno kao posebna oblast istraživanja, nije u većoj meri proučavano na ovaj način. Iako su određeni kompjuterski modeli već razvijeni, istraživanjem ponašanja ljudi u paničnim situacijama bave se većinom sociolozi i psiholozi i ta istraživanja su empirijske prirode. Kako se u današnje vreme organizuje sve više događaja kojima prisustvuje sve veći broj ljudi, takva istraživanja dobijaju na značaju. Međutim, kako je gotovo nemoguće izvesti ogled u kom se reprodukuju panične situacije, dostupni podaci za istraživanja se svode na video snimke koji su često lošeg kvaliteta i nema ih u velikom broju. Stoga, razvijanje modela koji bi verodostojno simulirao ponašanje ljudi u paničnim situacijama, poput evakuacije, bi bilo od velikog značaja. Cilj ovog rada je upravo razvijanje jednog takvog modela.

Razvijeni model baziran je na modelu socijalnih sila, uz predložen novi metod za računanje preferiranog pravca i smera kretanja pešaka. Detaljan opis modela dat je u sekciji 2. Koristeći razvijeni model uočeni su mnogi kolektivni fenomeni karakteristični za ponašanje ljudi u paničnim situacijama poput stvaranja uskih grla ili gomilanja ljudi na proširenjima. Pregled uočenih kolektivnih fenomena dat je u odeljku 2.3.

Drugi deo našeg rada posvećen je korišćenju razvijenog modela za testiranje i optimizaciju pešačkih zona. Konkretno, pomoću razvijenog genetičkog

algoritma i modela dat je optimalan oblik prepreke na izlazu iz prostorije za koju je vreme evakuacije minimalno. Opis razvijenog genetičkog algoritma dat je u sekciji 3.

Rad je organizovan na sledeći način: u prvoj sekciji ćemo predstaviti model socijalnih sila, preuzet najvećim delom iz (Helbing and Molnar, 1998) i (Helbing and Farkas, 2002), kao neke od uočenih fenomena, koji se javljaju i u stvarnom životu. U drugom delu ćemo opisati naš originalan doprinos, genetski algoritam za određivanje optimalnog oblika prepreke na izlazu iz prostorije, za koje je ukupno vreme evakuacije minimalno. U trećem delu ćemo predstaviti kvantitativne i kvalitativne rezultate dobijene genetskim algoritmom, kao i samom simulacijom. U zaključku dajemo pregled najvažnijih zapažanja, i neke smernice za dalja istraživanja.

2 Model socijalnih sila sa statičkim poljem

Jedan od predloženih modela za ponašanje pešaka je model socijalnih sila (eng. *social forces model*), prvi put predstavljen u (Helbing, 1994).

2.1 Socijalne sile

2.2 Polje preferiranog pravca kretanja

Do sada je bilo reči samo o silama koje potiču iz međusobne interakcije pešaka sa drugim pešacima i preprekama. Međutim, kada bi to bile jedine sile koje deluju na pešake, jasno je da bi simulirani događaji bili daleko od realne situacije, jer pešaci nemaju nikakvo znanje o tome kuda bi trebali da idu. Zato, umesto da za svakog pešaka u svakom koraku računamo gde mu je najbliži cilj, uveli smo *vektorsko polje preferiranog pravca*, koje u svakoj tački pokazuje kuda bi pešak trebao da se kreće da što pre stigne do najbližeg cilja. Nešto slično ovome se javljalo u radovima koji opisuju simuliranje pešaka pomoću dvodimenzionalnih celularnih automata (na primer, (Burstedde et al., 2001)), ali ovaj rad je prvi pokušaj kombinovanja takvog polja sa modelom socijalnih sila. Konkretno reč je zapravo o dva polja, statičkom i dinamičkom.

Statičko polje je konstantno tokom celog izvršavanja simulacije, i u svakoj tački pokazuje u smeru najbližeg cilja.

Dinamičko polje predstavlja to što će se pešak kretati tamo kuda se kreću okolni pešaci. Pokazuje u smeru vektorskog zbira brzina okolnih pešaka (onih koji se nalaze unutar neke kružnice unapred definisanog poluprečnika)

U ostatku ovog dela ćemo opisati kako izračunati dinamičko polje i predstaviti ga u obliku pogodnom za korišćenje u ostatku simulacije.

Primetimo da je dovoljno izračunati polje u konačno mnogo (dovoljno gusto raspoređenih) tačaka, i interpolirati njegovu vrednost u ostalim tačkama. Ukoliko su tačke - čvorovi raspoređeni u kvadratnu mrežu, vrednost polja u tački $\mathbf{r} = (x, y)$ možemo interpolirati na sledeći način:

$$f_{\text{static}}(\mathbf{r}) = \sum_{\text{postoji čvor na poziciji } \mathbf{v}} e^{-|\mathbf{v}-\mathbf{r}|^2} f_{\text{static}}(\mathbf{v})$$

Takođe primetimo da će sabirci $e^{-|\mathbf{v}-\mathbf{r}|^2} f_{\text{static}}(\mathbf{v})$ biti zanemarljivo mali za sve osim za najbliže čvorove \mathbf{v} , tako da za potrebe simulacije aproksimiramo $f_{\text{static}}(\mathbf{r})$ sa 4 čvora - temena kvadrata najbliža tački \mathbf{r} . Ukoliko je polje u računar predstavljeno matricom, ta 4 čvora se mogu odrediti u konstantnom vremenu.

Sada možemo proširiti naš model sa ove dve sile, tako da je

$$f_{\text{total}} = f_{\text{social}} + f_{\text{static}} + f_{\text{dynamic}}$$

2.3 Uočeni fenomeni

3 Genetski algoritam

Ranije smo spomenuli da se vreme evakuacije smanjuje ukoliko se na izlaz iz prostorije postavi nekakva prepreka, koja će da razbije i podeli bujicu pešaka. Ipak, nigde u literaturi nije specificirano koji je zapravo optimalan oblik te prepreke, već je korišćen oblik koji po autorovoj intuiciji daje najbolje rezultate. Ali, s obzirom na to da je sama ideja postavljanja prepreke donekle kontraintuitivna, glavni doprinos ovog rada je algoritamsko određivanje tog oblika.

S obzirom na to da ne možemo da ispitamo svaki mogući oblik (ima ih beskonačno mnogo), moramo se zadovoljiti približnim rešavanjem datog problema. Genetski algoritmi su jedna od klasa algoritama pogodnih baš za tu svrhu - optimizaciju neke *fitness funkcije* (vremena izlaska) na nekom

domenu, tzv *prostoru pretraživanja* (u našem slučaju, skupu svih mogućih poligona u ravni).

Tok algoritma je sledeći:

1. Na slučajan način se generiše početni skup rešenja (*jedinki*, na terminologiji genetskih algoritama) - poligona u ravni
2. Za svaku jedinku se pokrene simulacija sa tim poligonom kao preprekom na izlazu. Fitness te jedinke je recipročna vrednost ukupnog simuliranog vremena potrebnog za evakuaciju svih pešaka.
3. Sve jedinke (*populacija*) se sortiraju prema fitness-u i "loše" jedinke sa malim fitness-om (prevelikim ukupnim vremenom izlask) se izbacuju iz populacije. Ovaj korak se u literaturi naziva *selekcija*.
4. Jedinke koje su opstale, učestvuju u procesu *ukrštanja*: iz populacije se biraju parovi jedinki koje će se ukrstiti i dati novu jedinku - *potomak*, nastalu kombinovanjem poligona svoja dva *roditelja*. Verovatnoća da neka jedinka bude odabrana je srazmerna njenom fitness-u.
5. Konačno, jedan deo jedinki u populaciji se dobija *mutacijom* slučajno odabrane jedinke iz prethodne *generacije*. Tako se u populaciju unosi mala količina raznovrsnosti, koja pomaže algoritmu da se ne zaustavi u nekom lokalnom optimumu.
6. Koraci 2 - 5 se ponavljaju dok populacija ne konvergira ili se izračuna određeni unapred zadati broj generacija

Ovaj postupak je u velikoj meri tačan i za sve ostale genetske algoritme, i ostavlja mnogo prostora za slobodnu interpretaciju. Zato ćemo u sledećem delu dati konkretnu reprezentaciju jedne jedinke, kao i opise korišćenih genetskih operatora (selekcije, ukrštanja i mutacije). U radu su korišćena dva različita načina za predstavljanje prepreka: polarni n -tougao i kvadratna rešetka.

3.1 Genetski operatori - n -tougao

Svaka jedinka - mnogougao ima fiksiran broj ivica, n , i parametrizovan je sa n realnih brojeva, $(r_0, r_1, \dots, r_{n-1})$. Temena tog mnogougla su tačke

$$\left(r_i \cos \left(\frac{2\pi i}{n} \right), r_i \sin \left(\frac{2\pi i}{n} \right) \right), \quad i = 0, \dots, n-1,$$

translirane na odgovarajuće mesto, ispred izlaza iz prostorije. Sa jedne strane, uz dovoljno veliko n se na ovaj način može aproksimirati većina nama "interesantnih" poligona, a sa druge, na ovakvoj reprezentaciji se mogu koristiti mnogi "klasični" genetski operatori iz literature, koji pretpostavljaju međusobnu nezavisnost pojedinačnih komponenti vektora koji predstavlja jednu jedinku.

Selekcija je primitivna, i prosto izbacuje sve jedinke sa fitness-om koji je više od 5 puta manji od najbolje jedinke. Konstanta 5 je odabrana proizvoljno i služi za odbacivanje onih prepreka koje u potpunosti blokiraju izlaz, i čije odgovarajuće jedinke imaju fitness 0.

Ukrštanje dve jedinke

$$r^a = (r_0^a, r_1^a, \dots, r_{n-1}^a) \text{ i } r^b = (r_0^b, r_1^b, \dots, r_{n-1}^b)$$

je sekvencijalno: Bira se proizvoljna početna pozicija p , $0 \leq p < n$ i dužina l , $0 < l < n$. Nova jedinka $r = (r_0, r_1, \dots, r_{n-1})$ je definisana na sledeći način:

$$r_i = \begin{cases} r_i^a & \text{za } i = p, p+1, \dots, p+l-1 \\ r_i^b & \text{inače} \end{cases}.$$

Pri tome je $r_i^a = r_{i-n}^a$, za $i \geq n$.

Mutacija sa malom verovatnoćom na proizvoljan način bira jednu od komponentata vektora jedinke i množi je sa slučajnom promenljivom x , koja ima Gausovu raspodelu sa centrom u 1.

3.2 Genetski operatori - rešetka

Za slučaj da se optimalno rešenje ne može predstaviti u gorenavedenom obliku, implementirali smo i alternativno predstavljanje prepreke, kao kvadratne rešetke $n \times n$ fiksiranih dimenzija (u smislu dužine i širine u simuliranom svetu), koja ima neka prohodna i neka neprohodna polja. Jedinka je predstavljena kvadratnom matricom (b_{ij}) , gde je

$$b_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{ako je polje prohodno} \\ 1 & \text{ako nije} \end{cases}$$

Genetski operatori su sledeći:

Selekcija je ista kao u prethodnom slučaju, jer je nezavisna od reprezentacije jedinke.

Ukrštanje jedinki (b_{ij}^a) i (b_{ij}^b):

$$b_{ij} = \begin{cases} b_{ij}^a & \text{sa verovatnoćom } \frac{f_a}{f_a+f_b}, \\ b_{ij}^b & \text{sa verovatnoćom } \frac{f_b}{f_a+f_b}, \end{cases}$$

pri čemu su f_a i f_b fitness funkcije prve i druge jedinke, redom. Primećimo da ako je $b_{ij}^a = b_{ij}^b$, tada će biti i $b_{ij} = b_{ij}^a = b_{ij}^b$.

Mutacija : sa malom verovatnoćom, neko od neprohodnih polja na ivici prepreke postaje prohodno.

4 Rezultati

5 Zaključak

Literatura

Burstedde, C., Klauck, K., Schadschneider, a., and Zittartz, J. (2001). Simulation of pedestrian dynamics using a 2-dimensional cellular automaton. (February):22.

Helbing, D. (1994). A mathematical model for the behavior of individuals in a social field. *Journal of Mathematical Sociology*.

Helbing, D. and Farkas, I. (2002). Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations. *... and evacuation dynamics*.

Helbing, D. and Molnar, P. (1998). Social Force Model for Pedestrian Dynamics. pages 4282–4286.