

Modeliranje evakuacije ljudi pred napadalcem z uporabo mehke logike

Martin Božič, Marija Marolt in Jakob Maležič

Poročilo seminarske naloge pri predmetu Skupinsko vedenje

6. november 2021

Iztok Lebar Bajec | izredni professor | mentor

Vsako leto se po celem svetu zgodi veliko napadov, kjer je ustreljenih in poškodovanih veliko ljudi. V tem članku, s pomočjo mehke logike, zgradimo različne modele, s katerimi lahko simuliramo takšne napade. Najprej predstavimo manjše modele, ki želijo doseči specifičen cilj - izogibanje oviram, iskanje poti in doseganje točke v prostoru. Te modele nato združimo v celoto tako, da jih ustrezno utežimo. Model testiramo in simuliramo v različnih prostorih z različnimi parametri. Za boljše razumevanje simulacije pripravimo tudi uporabniški vmesnik, ki simuliran napad vizualno prikaže. Naš model primerjamo še z ostalimi obstoječimi modeli.

Skupinsko vedenje | Evakuacija ljudi | Mehka logika

Zbiranje velikih gruč ljudi na javnih mestih je postalo nekaj neizogibnega. Na avto-busnih postajah, na železniški postaji, v velikih trgovskih centrih ali pa na koncertih in tekmah. Slednje lahko predstavlja veliko nevarnost za ljudi, kot tudi velik izziv za organizatorje in nadzornike takšnih javnih prostorov. Posebno pozornost je vredno nameniti predvidevanju potencialnih kriznih situacij, pri katerih je treba upoštevati nerazumno vedenje množice, ki nastopi kot posledica tesnobe in panike. V tem obziru je ključnega pomena razumevanje in razlikovanje značilnosti vedenja ljudi v običajnih ter kriznih situacijah.

Pri analizi dosedanjih napadov na množice, kot so streljanje v šolah [1] in teroristični napadi na železniške postaje [2], je prišlo do nekaj pomembnih spoznanj. Iracionalno evakuacijsko vedenje, slaba presoja varnosti stanovalcev ter malomarnost in nerazumne arhitekturne odločitve so vidno povečali škodo povzročenih napadov.

Preučevanje evakuacije množice vključuje lahko temelji na realnih poskusih ali računalniški simulaciji. Izvedeni so bili poskusi evakuacije pri zastoju na hodniku [3], v učilnici [4] ter nebotičniku [5], ki so razkrili nekaj tipičnih vedenjskih vzorcev pri evakuaciji, kot so na primer tvorjenje vrst po principu zadrge [3], prilaščanje izhoda in čas priprave na evakuacijo [4]. V zadnjih nekaj desetletjih se vse bolj uporablja različne simulacijske modele. Helbing [6] je predstavil model, ki simulira obnašanje ljudi v paniki pri evakuaciji. Pojasnil je zakaj pride do zastojev in poiskal optimalno rešitev. Varas [7] je uporabil model za odločanje s celičnim avtomatom za evakuacije sobe z ovirami. Upošteval je nerazumno vedenje v primeru panike in ob srečanju z oviro dodal faktor naključnosti reakcije v naslednjem koraku. Liu [8] je kasneje model nekoliko prilagodil. Obravnaval je tudi gostoto ljudi okoli izhoda. Poleg omenjenih so bili za preučevanje tega področja uporabljeni tudi drugi modeli. Izkazalo se je, da so rezultati močno odvisni od situacije in okolja.

Metode

Za simulacijo gruč ljudi smo morali najprej pripraviti model za vodenje posameznega človeka kot tudi napadalca.

V študijah so pokazali, da je vid glavni vir informacij, na podlagi katerih, se človek v kriznih situacijah odloča o svojih dejanjih [9, 10]. Zato smo tudi mi, zgradili modele, ki se odločajo na podlagi okolice, ki jo človek lahko vidi.

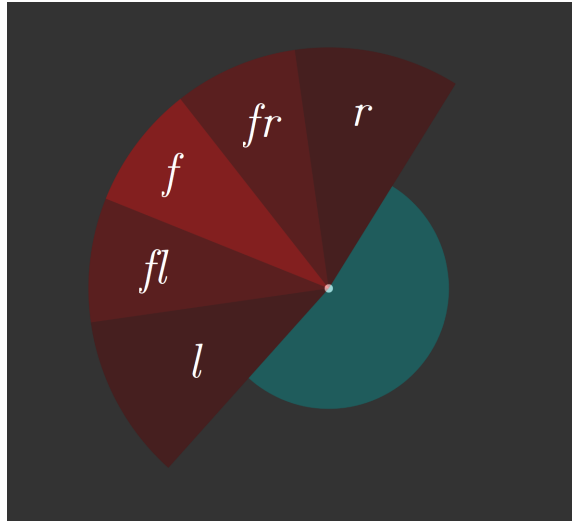
V osnovi ljudi razdelimo v tri kategorije. V tretjo kategorijo uvrščamo vse ljudi, kateri se v trenutni situaciji še ne zavedajo prisotnosti napadalca. Takoj, ko se ti ljudje zavedajo napadalca, v svojem vidnem polju ga pa še ne vidijo, preidejo v drugo kategorijo. V prvo kategorijo pa uvrščamo vse ljudi, ki napadalca vidijo, ali pa so ga videli v bližnji preteklosti in so s tem v napadalčevi neposredni nevarnosti. Ko človek enkrat preide v prvo ali drugo kategorijo, v trenutni simulaciji več ne more preiti v tretjo kategorijo ljudi.

Mehka logika. Informacija, ki jo ljudje pridobimo iz okolice je odvisna od našega zaznavanja sveta in v večini primerih ni odvisna od meritev. Kako pridobljena informacija vpliva na posameznika pa je težko določiti s količino, saj se zmožnost zaznavanja razlikuje med posamezniki. Zato je smiselno, da takšne **POJAVE** opišemo z besedami in ne izmerljivimi količinami. Slednje lažje opišemo z množico mehkih logik, ki jo je

Crowd evacuation with Assailants via a Fuzzy logic approach

TODO: Add english abstract?

Collective behaviour | Crowd evacuation | Fuzzy logic



Slika 1. Vidno polje osebe, ki je razdeljeno na sektorje.

Zap. št. pravila	Vhod					Izhod	
	d_l	d_{fl}	d_{fl}	d_{fl}	d_{fl}	α	V
1	BLIZU	BLIZU	BLIZU	BLIZU	BLIZU	Nič	USTAVITEV
2	BLIZU	BLIZU	BLIZU	BLIZU	DALEČ	Močno-Poz	POČASI
3	BLIZU	BLIZU	BLIZU	DALEČ	BLIZU	Malo-Poz	POČASI
4	BLIZU	BLIZU	BLIZU	DALEČ	BLIZU	Močno-Poz	POČASI
5	BLIZU	BLIZU	BLIZU	DALEČ	BLIZU	Nič	HITRO
...
31	DALEČ	DALEČ	DALEČ	DALEČ	BLIZU	Nič	HITRO
32	DALEČ	DALEČ	DALEČ	DALEČ	DALEČ	Nič	HITRO

Tabela 1. Tabela predstavlja sistem pravil mehke logike pri metodi lokalnega izogibanja oviram.

predstavil Zadeh [11] in se uporablja na različnih področjih. Največ se uporablja v odločilnih sistemih [12], pri ocenjevanju zmogljivosti [13], napovedovalnih kontrolnih sistemih [14] ipd. Metoda množice mehkih logik je tudi veliko bolj robustna pri uporabi netočnih in negotovih informacij, ki se jim pri sistemih, ki so odvisni od zaznavanja okolice, ne moremo izogniti.

Lokalno izogibanje oviram. Metoda lokalnega izogibanja oviram poskrbi, da se osebe izognejo oviram, ki se nahajajo pred njimi in so dovolj blizu, da jih oseba zazna. Metoda deluje na podlagi vnaprej določenih pravil mehke logike. Vhode predstavljajo najbližje ovire v posameznih sektorjih vidnega polja, izhoda pa sta smer (α) in hitrost gibanja (V). Vhodi so predstavljeni z mehko množico {BLIZU, DALEČ}, izhoda pa sta predstavljena z mehkima množicama {Močno-Poz, Malo-Poz, Nič, Malo-Neg, Močno-Neg} in {USTAVITEV, POČASI, HITRO}. Pravila mehke logike metode lokalnega izogibanja oviram lahko sedaj povzamemo z:

$$\begin{bmatrix} \delta_\alpha \\ \delta_V \end{bmatrix} = R_0(d_o^l, d_o^f l, d_o^f, d_o^f r, d_o^r) \quad [1]$$

Z opisanimi mehkimi množicami dobimo 32 (oziroma 2^5) pravil (R_0), ki so opisana v tabeli 1.

Iskanje poti. Pri metodi iskanja poti na spremembo trenutne hitrosti in smeri posamezne osebe najbolj vplivajo hitrosti in smeri ostalih oseb v vidnem spektru osebe. Tako bi pri metodi iskanja poti na trenutno osebo najbolj vplivala oseba, ki se proti izbrani osebi premika z veliko hitrostjo v nasprotni smeri. Metoda vedno vodi posameznika po najvarnejši poti, tako da se vedno izogiba področjem z visoko negativno energijo. Moč negativne energije se izračunava sproti in je odvisna od trenutnega vpliva ovir in trenutne nevarnosti trčenja posameznika z ostalimi osebami. Kot vpliv ovire v večini upoštevamo zidove, pohištvo in ostale stacionarne reči v vidnem sektorju posameznika. Vpliv ovir označimo z oznako (OI^*), pri čemer sistem mehke logike za izračun trenutnega vpliva ovir opišemo z enačbo 2.

$$OI_i^* = R_1(\phi_{oi}^*, d_{oi}^*) \quad [2]$$

Zap. št. pravila	Vhod		Izhod	
	γ_g	d_g	α	V
1	Močno-Poz	BLIZU	Močno-Neg	USTAVITEV
2	Močno-Poz	DALEČ	Močno-Neg	POČASI
3	Malo-Poz	BLIZU	Malo-Neg	POČASI
4	Malo-Poz	DALEČ	Malo-Neg	POČASI
5	Nič	BLIZU	Nič	HITRO
6	Nič	DALEČ	Nič	HITRO
7	Malo-Neg	BLIZU	Malo-Poz	POČASI
8	Malo-Neg	DALEČ	Malo-Poz	POČASI
9	Močno-Neg	BLIZU	Močno-Poz	USTAVITEV
10	Močno-Neg	DALEČ	Močno-Poz	POČASI

Tabela 2. Tabela predstavlja sistem pravil mehke logike pri metodi doseganja cilja.

ϕ_{oi}^* predstavlja v katerem kotu vidnega spektra posameznika se ovira nahaja, d_{oi}^* predstavlja razdaljo od posameznika do posamezne ovire in R_1 predstavlja zbirko pravil mehke logike.

Nevarnost trčenja opazovane osebe z drugo osebo v prostoru označimo z oznako (CR^*), pri čemer sistem mehke logike opišemo z enačbo 3.

$$CR_j^* = R_2(d_{oi}^*, V_j^*, \theta_{pj}^*) \quad [3]$$

V_j^* predstavlja trenutno hitrost j-te osebe, θ_{pj}^* predstavlja kot med smerjo gibanja j-te osebe glede na trenutno opazovano osebo in d_{pj}^* predstavlja razdaljo od j-te osebe do trenutno opazovane osebe. R_2 predstavlja zbirko pravil mehke logike. Celotno negativno energijo trenutne opazovane osebe izračunamo z enačbo 4,

$$NE^* = k_w \cdot OI^* + (1 - k_w) \cdot CR^* \quad [4]$$

, kjer OI^* predstavlja vsoto vseh OI_i^* , za vsak predmet i v vidnem spektru osebe in CR^* predstavlja vsoto vseh izračunanih nevarnosti trčenja CR_j^* , za vsako j-to osebo, ki se giblje v vidnem prostoru trenutne osebe. k_w predstavlja faktor uteži, s katerim lahko nadziramo pomembnost vrednosti OI in CR.

Doseganja cilja. Pri metodi doseganja cilja, se opazovana oseba vedno nagiba k temu, da se pomika proti končnemu cilju. Opišemo jo z d_g , ki predstavlja razdaljo do cilja g in γ_g , ki predstavlja kot, glede na orientacijo trenutne osebe in smerjo cilja. Razdaljo d_g opišemo z dvema {BLIZU, DALEČ}, kot γ_g pa s petimi {Močno-Neg, Malo-Neg, Nič, Malo-Poz, Močno-Poz} stanji mehke logike. Sistem pravil mehke logike pri metodi doseganja cilja je predstavljen v tabeli 2. Pri čemer α predstavlja končni kot in V predstavlja hitrost premika opazovane osebe.

Utežena vsota. Končno hitrost V in končni kot premika α trenutne osebe izračunamo z metodo utežene vsote rezultatov metode umikanja oviram ??, metode iskanja poti in metode doseganja cilja. Pomembnost rezultata vsake metode utežimo s faktorji δ_{ao} , δ_{ap} in δ_{ag} , ki sproti utežujejo pomembnost vsake posamezne metode mehke logike. Vsak faktor opišemo s tremi stanji mehke logike, {MANJŠI, SREDNJI, VELIK}. Vrednosti faktorjev določamo sproti po enačbi 5,

$$\begin{bmatrix} \delta_{ao} \\ \delta_{ap} \\ \delta_{ag} \end{bmatrix} = R_5(d_o^f, \overline{NE^f}, d_g) \quad [5]$$

pri čemer d_o^f predstavlja razdaljo do ovire, ki stoji pred opazovano osebo, $\overline{NE^f}$ predstavlja velikost negativne energije, v prostoru pred opazovano osebo, in d_g predstavlja razdaljo od trenutno opazovane osebe do cilja. R_5 predstavlja nabor pravil mehke logike.

Uporabniški vmesnik. Uporabniški vmesnik bo narejen z uporabo knjižnice p5.js, ki temelji na jeziku Processing in bo prikazoval potek simulacije. Najprej bomo naredili nekaj simulacij v prostorih, ki bodo vnaprej pripravljeni. Nato bomo dodali možnost, da uporabnik sam nariše prostor, v katerem se simulacija izvede.

Rezultati

Rezultati bodo predstavljeni s tabelami in grafi, kjer bomo primerjali različne modele evakuacije glede na število žrtev in čas evakuacije. Simulacije bomo izvedli v prostorih različnih oblik in s tem primerjali uspešnost različnih oblik stavb, namenjenih zbiranju velikih količin ljudi, v situacijah evakuacije. Upamo, da bomo s pomočjo tega znanja lahko določili par smernic pri gradnji velikih objektov.

Literatura

1. (2017) Wikipedia, Virginia Tech Shooting (https://en.wikipedia.org/wiki/Virginia_Tech_shooting). Accessed: 2021-11-05.
2. (2014) Wikipedia, Kunming Attack (https://en.wikipedia.org/wiki/2014_Kunming_attack). Accessed: 2021-11-05.
3. Hoogendoorn SP, Daamen W (2005) Pedestrian behavior at bottlenecks. *Transportation Science* **39**(2):147–159.
4. Zhang J, Song W, Xu X (2008) Experiment and multi-grid modeling of evacuation from a classroom. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* **387**(23):5901–5909.
5. Ma J, Song W, Tian W, Lo S, Liao G (2012) Experimental study on an ultra high-rise building evacuation in china. *Safety Science* **50**(8):1665–1674. Evacuation and Pedestrian Dynamics.
6. Helbing D, Farkas I, Vicsek T (2000) Simulating dynamical features of escape panic. *Nature* **407**(6903):487–490.
7. Varas A et al. (2007) Cellular automaton model for evacuation process with obstacles. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* **382**(2):631–642.
8. Liu S, Yang L, Fang T, Li J (2009) Evacuation from a classroom considering the occupant density around exits. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* **388**(9):1921–1928.
9. Baillo R, Carrillo J, Degond P (2018) *Pedestrian Models Based on Rational Behaviour: Theory, Models, and Safety Problems*. pp. 259–292.
10. Moussaid M, Helbing D, Theraulaz G (2011) How simple rules determine pedestrian behavior and crowd disasters. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **108**(17):6884–6888.
11. Zadeh L (1965) Fuzzy sets. *Information and Control* **8**(3):338–353.
12. Dong H, Zhao Y, Gao S (2013) A fuzzy-rule-based couzin model. *Journal of Control Theory and Applications* **11**(2):311–315.
13. Huang W, Wen D, Geng J, Zheng NN (2014) Task-specific performance evaluation of ugvs: Case studies at the ivfc. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on* **15**:1969–1979.
14. Lin X, Wang Q, Wang P, Sun P, Feng X (2017) The energy-efficient operation problem of a freight train considering long-distance steep downhill sections. *Energies* **10**(6).