

Modeliranje evakuacije ljudi pred napadalcem z uporabo mehke logike

Martin Božič, Marija Marolt in Jakob Maležič

Poročilo seminarske naloge pri predmetu Skupinsko vedenje

Github projekta: <https://github.com/Blarc/crowd-evacuation>

7. januar 2022

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 avtobusnih 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 [2] in teroristični napadi na železniške postaje [3], 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 lahko temelji na realnih poskusih ali računalniški simulaciji. Izvedeni so bili poskusi evakuacije pri zastoju na hodniku [4], v učilnici [5] ter nebotičniku [6], ki so razkrili nekaj tipičnih vedenjskih vzorcev pri evakuaciji, kot so na primer tvorjenje vrst po principu zadrge [4], prilaščanje izhoda in čas priprave na evakuacijo [5]. V zadnjih nekaj desetletjih se vse bolj uporablja različne simulacijske modele. Helbing [7] je predstavil model, ki simulira obnašanje ljudi v paniki pri evakuaciji. Pojasnil je zakaj pride do zastojev in poiskal optimalno rešitev. Varas [8] 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 [9] 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 evakuacije ljudi smo morali najprej pripraviti model za vodenje posameznega človeka. Posebej je bilo potrebno definirati vedenje napadalca.

V različnih študijah so pokazali, da je vid glavni vir informacij, na podlagi katerih, se človek v kriznih situacijah odloča o svojih dejanjih [10, 11]. Zato smo tudi mi zgradili modele, ki se odločajo na podlagi informacij iz okolice, vidne človeku. Vidno polje človeka je dodatno razdeljeno na sektorje in prikazano na sliki (1).

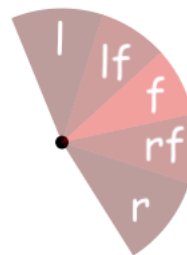
Naša implementacija temelji na modelu pešca in napadalca kot ju je definiral Zhou [1]. Interes pešca je evakuacija in preživetje, na kar najbolj vplivajo lokacija cilja, napadalec in ovire. Na drugi strani je želja napadalca napasti čim več ljudi.

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 informacije iz okolice opišemo z besedami in ne izmerljivimi količinami. Za opis lahko uporabimo množico mehkih pravil, ki jo je predstavil Zadeh [12] in se uporablja na različnih področjih. Največ v odločilnih sistemih [13], pri ocenjevanju zmogljivosti [14], napovedovalnih kontrolnih sistemih [15]

Crowd evacuation with assailants using fuzzy logic

Each year a lot of terrorist attacks happen all over the world where a lot of people are killed or heavily damaged. With hope to decrease the casualties of such attacks, we present a crowd evacuation simulation that uses fuzzy logic to simulate the movement of people and assailants in different rooms. First we prepare models for achieving specific goals: obstacle avoidance, path searching and goal seeking. We then integrate these models together by setting a weight for each of the models, which determines how much each of the models affects the object's movement. We test the algorithm by simulating evacuation in different rooms that we prepared in advance. For better understanding of the simulation and creation of different rooms, user interface is implemented. The article and implementation is based on existing article [1].

Collective behaviour | Crowd evacuation | Fuzzy logic



Slika 1. Vidno polje osebe, 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. Sistem pravil mehke logike R_0 pri metodi lokalnega izogibanja oviram.

ipd. Vpeljava pravil mehke logike je tudi veliko bolj robustna pri delu z netočnimi in negotovimi informacij, ki se jih pri sistemih, ki so odvisni od zaznavanja okolice, ne moremo izogniti.

Kategorije ljudi. V osnovi ljudi razdelimo v tri kategorije. V tretjo kategorijo uvrščamo vse ljudi, kateri se v trenutni situaciji ne zavedajo prisotnosti napadalca. Takoj, ko se ti ljudje zavedajo napadalca, a ga v svojem vidnem polju ne vidijo, preidejo v drugo kategorijo. V prvo kategorijo posledično 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 ne more več preiti v tretjo kategorijo ljudi, saj se zavedanja o napadalcu ne more znebiti.

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:

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

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).

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

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

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. Sistem pravil mehke logike R_4 pri metodi doseganja cilja.

mehke logike. Pri njej velja, da imajo večji vpliv na rezultat bližnje ovire z večjim kotom zaviranja pogleda osebe.

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 neke druge osebe, θ_{pj}^* predstavlja kot med smerjo gibanja te osebe glede na trenutno opazovano osebo in d_{pj}^* predstavlja razdaljo od druge osebe do trenutno opazovane osebe. R_2 predstavlja zbirko pravil mehke logike, pri kateri je glavno vodilo, da je tveganje trka nizko, če oseba stoji pri miru ali je ovira daleč oziroma dovolj oddaljena od smeri gibanja. 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 v vidnem spektru osebe in CR^* predstavlja vsoto vseh izračunanih nevarnosti trčenja CR_j^* , za vsako drugo 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 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, V pa predstavlja hitrost premika opazovane osebe.

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

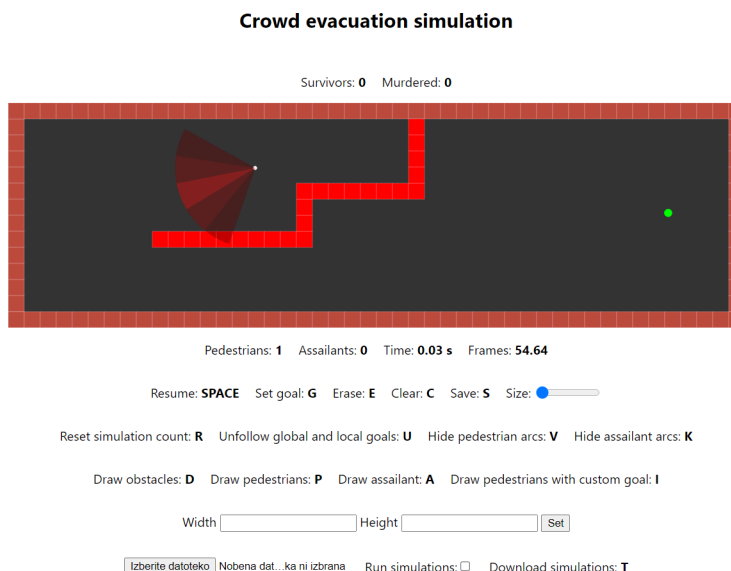
$$\begin{bmatrix} \delta_{ao} \\ \delta_{ap} \\ \delta_{ag} \end{bmatrix} = R_5(d_o^f, \overline{NE^f}, d_g) \quad [5]$$

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.

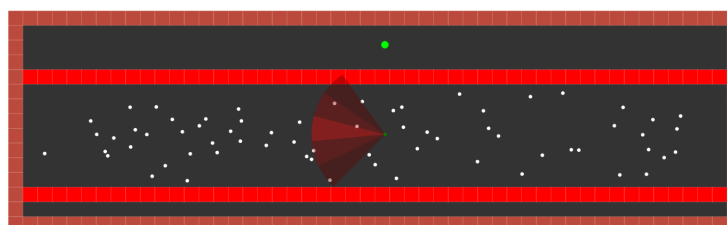
Uporabniški vmesnik. Uporabniški vmesnik smo naredili z uporabo knjižnice p5.js. Slednja temelji na jeziku Processing in prikazuje potek simulacije. Kot je prikazano na sliki (2) lahko uporabnik na enostaven način kreira in požene simulacijo.

Prostor spreminja z vnosom zelene dimenzije v slikovnih pikah. Vanj vrisuje ovire in dodatno zidove iz kvadratkov. Tem nastavi velikost od 1 do 10, pri čemer 1 predstavlja kvadrat s stranicami dolžine 20 slikovnih pik na zaslonu. Ima tudi možnost izbrisa posameznih blokov.

V prostor postavi ljudi, ki sledijo globalnem cilju ali imajo svoj cilj. Pozicijo globalnega cilja je možno spremeniti. Med samo simulacijo lahko prekinemo sledenje ljudi



Slika 2. Primer uporabniškega vmesnika z legendo.



Slika 3. Primer evakuacije ljudi na hodniku z napadalcem

globalnemu cilju oziroma ga nato nazaj vzpostavimo. Poleg tega imamo možnost prikaz vidnega polja vklopiti ali izklopiti. Posebej postavimo napadalca in prikažemo njegov vidni kot.

Svoje nastavitve simulacije je možno izbrisati ali shraniti na svoj računalnik v obliki datoteke json. Prav tako imamo preko uporabniškega vmesnika možnost uporabiti vnaprej pripravljene prostore, zapisane v datoteko json.

Med simulacijo prikazujemo število preživelih, mrtvih, pešcev, napadalcev ter čas trajanja in število sličic na sekundo. Simulacijo lahko začasno ustavimo in nato zopet nadaljujemo z njenim izvajanjem.

Rezultati

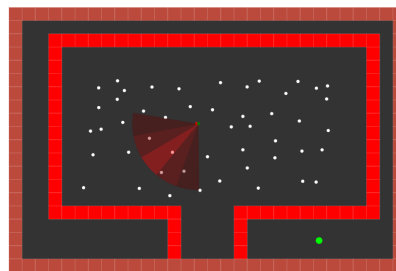
Velikega pomena je izvajanje simulacije v realnem času. Gibanje ljudi je hitro, zato je tudi samo z opazovanjem možno videti določena tipična vedenja in vzorce pri evakuaciji. Ker je simulacija javno objavljena in prosto dostopna, služi kot učni in testni pripomoček ostalim raziskovalcem na tem področju.

Generirali smo simulacije v sobah enake dimenzije z različnim številom ljudi in različnim številom izhodov. Pri tem smo merili kako se spreminja število preživelih in mrtvih s časom. Med sabo smo primerjali hodnike na katerih je bilo različno število ljudi in sobe, ki so se razlikovale v številu izhodov. Primer hodnika je prikazan na sliki (3). Primer sobe z enim izhodom pa vidimo na sliki (4).

Če primerjamo rezultate simulacij na hodniku, predstavljenih na sliki (3), vidimo, da nekoliko manjši procent ljudi preživi pri večjem številu ljudi. To lahko pripišemo veliki gneči, ki nastane pri izhodu. Ljudje v tej gneči so namreč lažja tarča za napadalca.

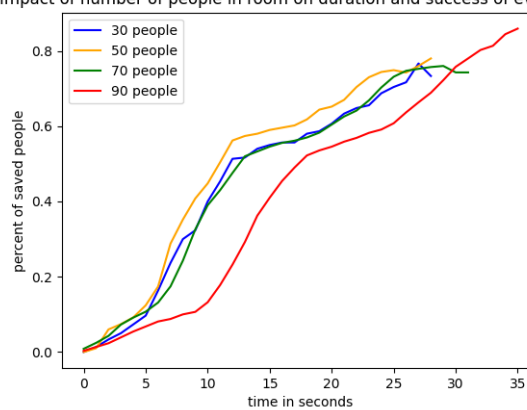
Pri primerjavi simulacij v sobah z različnim številom izhodov smo dobili rezultate, ki so prikazani na sliki (6). Opazno je, da je procent preživelih pri sobah z večjim številom izhodov večji. Ljudje imajo v teh primerih več možnosti za pobeg. Pred posameznim izhodom, kjer je nevarnost napada največja, nastane manjši zastoj in posledično imamo manjši procent žrtev.

V naših poskusih ljudje nimajo predhodnega znanja, npr. o prostoru ali napadalcu, kar v realni situaciji ni vedno res. Ljudje bi se med sabo lahko obvestili, da so v nevarnosti. V realnem življenju bi začeli npr. kričati in opozarjati druge.



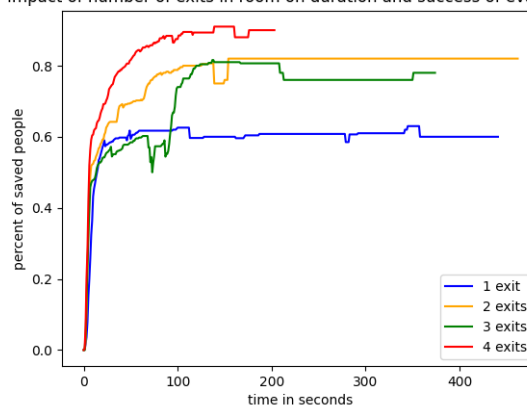
Slika 4. Primer evakuacije ljudi v prostoru z napadalcem in enim izhodom

Impact of number of people in room on duration and success of evacuation



Slika 5. Vpliv števila ljudi na trajanje in uspešnost evakuacije

Impact of number of exits in room on duration and success of evacuation



Slika 6. Vpliv števila ljudi na trajanje in uspešnost evakuacije

Druga pomanjkljivost naše simulacije je naključno premikanje napadalca. Bolje bi bilo, da bi se napadalec potepal naokoli, ne pa premikal naključno. Najbolj je to opazno, ko je prostor okoli njega prazen. Takrat bi v realni situaciji naredil obhod prostora, pri naključnem premikanju pa se dlje časa zadržuje v bližnji okolici.

Sklep

V članku smo obravnavali različne modele mehke logike z različnim številom pešcev, napadalcev in različnimi okoliščinami. Posebej smo obravnavali metode lokalnega izogibanja oviram, iskanja poti ter doseganja cilja. Končni rezultat je predstavljen kot njihova utežena vsota. Velika prednost uporabe mehke logike je učinkovito opisovanje informacij iz okolice pri simulaciji, zaradi česar so nastale simulacije močno realistične.

Osredotočili smo se na izdelavo čim boljše simulacije za predstavitev različnih situacij v realnem času. Omogoča spreminjanje številnih ključnih parametrov, ki so zanimivi pri preučevanju evakuacije ljudi ter evakuacije ljudi v prostoru z napadalcem.

Ugotovili smo, da obstaja povezava med številom ljudi v prostoru in časom evakuacije. Ta pri naših poskusih ni najbolj razvidna, a to pripisujemo majhni učni množici. Iz poskusov v sobah z različnim številom izhodov smo uspeli ugotoviti, da večje število izhodov poveča možnosti za preživetje.

Nadaljnje raziskave bi bile lahko usmerjene v dodatno izvedbo in analizo simulacij. Če bi izvedli večje število poskusov, bi bili rezultati morda drugačni oziroma natančnejši. V naših poskusih ljudje nimajo predhodnega znanja, npr. o prostoru ali napadalcu, kar v realni situaciji ni vedno res. Prav tako bi premikanje napadalca, ki je trenutno naključno, če ne vidi nobenega človeka, naključno. Zanimivo bi bilo tudi omogočiti ročno premikanje napadalca in oblikovanje simulacije kot računalniške igre.

DOPRINOSI. MB je implementiral metode in izvedel simulacije, MM je skrbela za poročilo in analizirala rezultate, JM je implementiral in optimiziral uporabniški vmesnik.

Literatura

1. Zhou M, Dong H, Wen D, Yao X, Sun X (2016) Modeling of crowd evacuation with assailants via a fuzzy logic approach. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 17(9):2395–2407.
2. (2017) Wikipedia, Virginia Tech Shooting (https://en.wikipedia.org/wiki/Virginia_Tech_shooting). Accessed: 2021-11-05.
3. (2014) Wikipedia, Kunming Attack (https://en.wikipedia.org/wiki/2014_Kunming_attack). Accessed: 2021-11-05.
4. Hoogendoorn SP, Daamen W (2005) Pedestrian behavior at bottlenecks. *Transportation Science* 39(2):147–159.
5. 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.
6. 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.
7. Helbing D, Farkas I, Vicsek T (2000) Simulating dynamical features of escape panic. *Nature* 407(6903):487–490.
8. Varas A et al. (2007) Cellular automaton model for evacuation process with obstacles. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 382(2):631–642.
9. 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.
10. Bailo R, Carrillo J, Degond P (2018) *Pedestrian Models Based on Rational Behaviour: Theory, Models, and Safety Problems*. pp. 259–292.
11. Moussaïd 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.
12. Zadeh L (1965) Fuzzy sets. *Information and Control* 8(3):338–353.
13. Dong H, Zhao Y, Gao S (2013) A fuzzy-rule-based couzin model. *Journal of Control Theory and Applications* 11(2):311–315.
14. Huang W, Wen D, Geng J, Zheng NN (2014) Task-specific performance evaluation of ugvs: Case studies at the ivc. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on* 15:1969–1979.
15. 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).