

Michał KAPALKA

Wojskowa Akademia Techniczna, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
E-mail: kapalka.michal@gmail.com

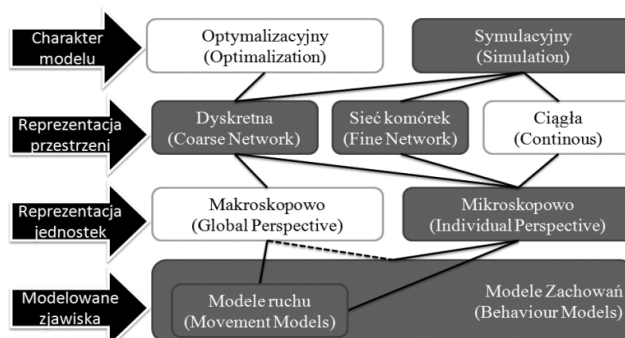
Symulacyjne badanie charakterystyk przemieszczania się tłumu w aglomeracji

1 Wprowadzenie

Jedną z podstawowych zalet życia w aglomeracji powinno być bezpieczeństwo jej mieszkańców. Zagrożeń jakie mogą się pojawić jest wiele. Coraz częściej zwraca się uwagę na niebezpieczeństwo związane z pojawieniem się zbyt dużej liczby osób na nieprzystosowanej do tego przestrzeni. Można przytoczyć wiele wydarzeń w których traci zdrowie lub życie człowiek dlatego, że znalazł się w tłumie. Tego typu wydarzeniom sprzyjają takie czynniki jak np.: obiekty nieprzystosowane do ruchu dużej liczby osób czy nieprzewidywany ruch tłumu. Możliwość badania zachowania tłumu w aglomeracji może być elementem pozwalającym na poprawę komfortu i bezpieczeństwa przemieszczających się pieszo ludzi. Coraz częściej metody techniczne (np.: przebudowa obiektu) są wspierane metodami naukowymi. Jedną z naukowych metod jest symulacyjne badanie zachowania tłumu w wirtualnym odwzorowaniu planów budowanego obiektu. Daje to możliwość wczesnego wykrycia nieprzystosowanych elementów i poprawę na etapie projektowania. W niniejszej pracy przedstawiono wykorzystanie autorskiego symulatora tłumu Shepherd 2.0 do badania charakterystyk przemieszczania się tłumu w aglomeracji.

2 Symulator tłumu

Prezentowany w pracy symulator tłumu Shepherd 2.0 jest praktycznym rozwinięciem skonstruowanego przez autora modelu zachowania tłumu, w którym przestrzeń opisana jest za pomocą hybrydowego modelu grafowo – komórkowego.



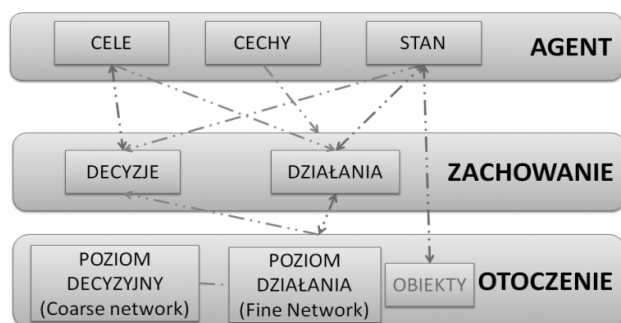
Rys. 1 Cechy symulatora Shepherd 2.0 (kolor szary)

Fig. 1 Shepherd 2.0 features (gray color)

Do głównych cech symulatora można zaliczyć:

- indywidualne reprezentowanie jednostek tłumu,
- wyznaczanie kierunku ruchu na podstawie algorytmów grafowych i metody pól potencjałów,
- określanie zachowania jednostek na podstawie systemu regułowego.

W przyjętym rozwiązaniu wykorzystano podejście agentowe, w którym każdy agent (jednostka) widzi przestrzeń na poziomie dyskretnym (coarse network) w czasie podejmowania decyzji i na poziomie komórkowym (fine network) w czasie realizacji działań.



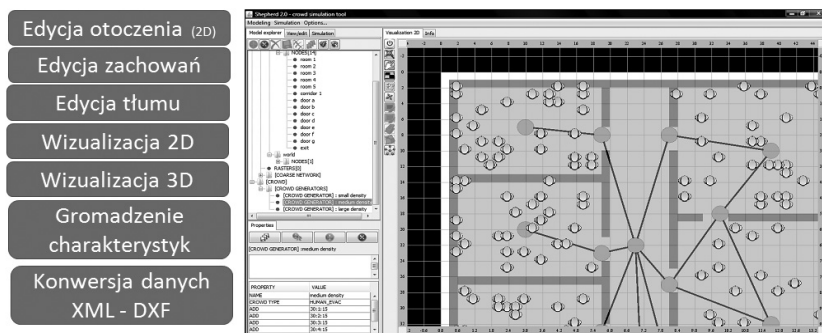
Rys. 2 Elementy modułu symulacyjnego

Fig. 2 Simulation module elements

Moduły

Edytor przestrzeni - w trybie 2D pozwalający na edycję otoczenia na dwóch dyskretnych poziomach: grafowym i komórkowym. Zintegrowany z konwerterem xml-dxf pozwala na wczytywanie i wstępną obróbkę otoczenia z formatów CAD. Możliwość zapisu otoczenia w formacie xml.

Edytor zachowań – pozwala na: definiowanie zachowania jednostki poprzez tworzenie schematu blokowego sieci decyzyjnej.



Rys. 3 Główne moduły i okno symulatora

Fig. 3 Main module and simulator window

Edytor tłumu – pozwala na: edycję rodzaju i rozmiaru tłumu, przypisywaniu jednostkom (indywidualnie lub grupowo) schematów zachowań, tworzenie miejsc intensywności generowania i absorpcji jednostek, określanie rozkładów cech jednostek.

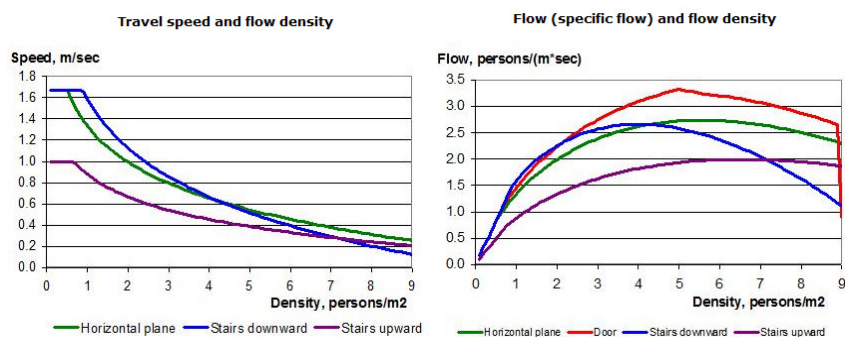
Wizualizacja – w trybie 2D lub 3D pozwala na prezentację przemieszczania się jednostek, śledzenie i zaznaczanie trajektorii, wizualizację zjawisk w otoczeniu (np.: pożar, dym, pojazdy, obiekty).

Symulacja – możliwość wyboru trybu krokowego (duże tłupy) lub zdarzeniowego. Interaktywna symulacja pozwala na zatrzymywanie eksperymentu w dowolnym momencie i interaktywne wprowadzanie zmian przez użytkownika: np.: wywołanie pożaru lub innego zagrożenia, zablokowanie przejścia, wysłanie jednostek w określone miejsce.

Gromadzenie wyników - pozwala na wybór liczby i rodzaju zbieranych charakterystyk oraz przypisania określonej przestrzeni na jakiej te charakterystyki mają być wyznaczane. Pozwala to na dokładne badanie wpływu architektury otoczenia na przebieg zjawiska przemieszczania się tłumu.

3 Wzorcowe charakterystyki przemieszczania się tłumu

Na przestrzeni wielu lat badania zachowania tłumu pojawiło się wiele charakterystyk, które zostały uznane jako „wzorcowe” i wykorzystywane jako metoda kalibracji dla powstających symulatorów. Takie parametry jak: intensywność przechodzenia przez drzwi o określonej szerokości, średnia prędkość przemieszczania się przy określonym zagęszczeniu czy prędkość przemieszczania na terenie o określonych parametrach są wykorzystywane jako stałe przy dokładniejszych analizach. Większość z takich charakterystyk została wyznaczona na podstawie eksperymentów rzeczywistych przy określonych warunkach.



Rys. 4 Diagramy fundamentalne (źródło: www.fireevacuation.ru)

Fig. 4 Fundamental diagrams (source: www.fireevacuation.ru)

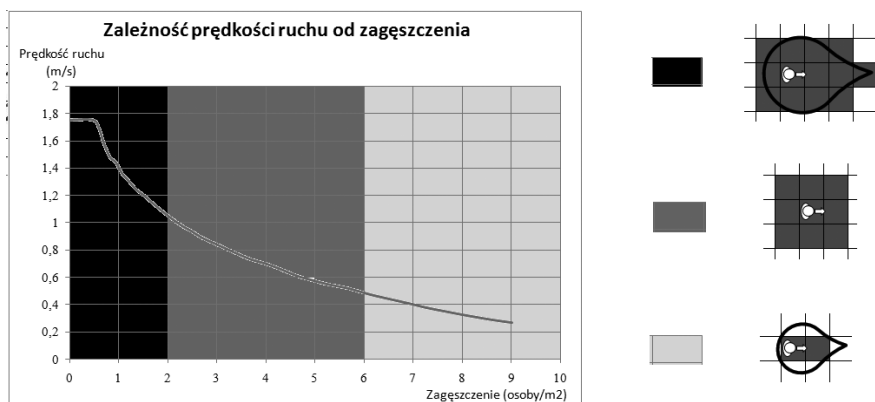
Jako główny punkt odniesienia do charakterystyk przemieszczania się tłumu autor wybrał diagramy fundamentalne, wyznaczone i opublikowane przez rosyjskich naukowców. Autor dokonał takiego wyboru biorąc pod uwagę fakt, że były to jedyne udostępnione, udokumentowane i poparte danymi rzeczywistymi charakterystyki. Na rysunku 4 zostały przedstawione wykresy obrazujące diagramy fundamentalne ruchu pieszych

uwzględniające różne warunki przemieszczania się. Wykresy przedstawiają zależność: prędkości ruchu (wykres z lewej) i przepływu (wykres z prawej) od zagęszczenia.

W wielu pracach pokazano rozbieżności wyników między tymi samymi charakterystykami wyznaczanymi przy zbliżonych warunkach w architekturze otoczenia. Powodem może być wpływ innych czynników niż tylko struktura otoczenia. W literaturze i prowadzonych badaniach coraz częściej uwzględnia się cechy i charakter tłumu przy wyznaczaniu charakterystyk związanych z ruchem. W przedstawionym symulatorze autor zaproponował i uwzględnił w eksperymentach takie czynniki jak: wiek, płeć, preferowana prędkość przemieszczania się, preferowana przestrzeń swobody, stopień znajomości innych jednostek w tłumie, szybkość reakcji.

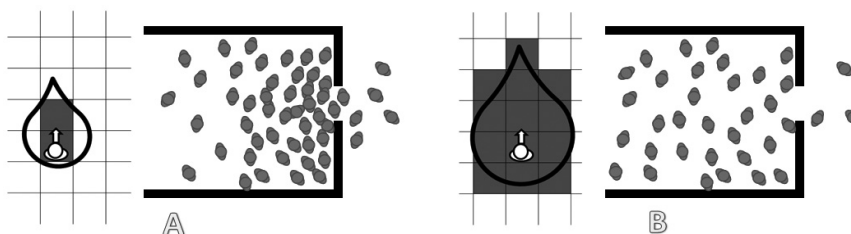
4 Eksperymenty symulacyjne

Jednym z trybów pracy opisanego symulatora jest tryb ekspercki, w którym podobnie jak w tradycyjnych symulatorach opartych o automaty komórkowe prędkość przemieszczania się jednostek ustawiana jest w sposób ekspercki w zależności od zagęszczenia. Taki tryb sprawdza się najlepiej w symulacjach tłumu o dużym rozmiarze, w którym wszystkie jednostki mają jeden cel – „samodzielna ewakuacja”. W tym trybie bardzo trudno odwzorować takie zjawiska jak: tworzenie się grup, nierównomierne zagęszczenie jednostek czy formowanie się linii.



Rys. 5 Tryb ekspercki – dostępne prędkości ruchu dla stref interpersonalnych

Fig. 5 Experts mode – travel speeds in different proxemic spaces



Rys. 6 Wpływ przestrzeni interpersonalnej na zagęszczenie (A – osobista, B – swobody)

Fig. 6 Influence proxemic space on density (A – personal space, B – comfort space)

Symulacyjne badanie charakterystyk przemieszczania się tłumu w aglomeracji

Drugim trybem pracy symulatora jest tryb wykorzystujący uwzględnioną w modelu tłumu teorię proksemiki. W tym trybie poprzez określenie zasad utrzymywania i zmiany pożądaných przestrzeni interpersonalnych, możliwe jest odwzorowanie wielu obserwowanych w rzeczywistym tłumie zachowań.

W pracy wykonano eksperymenty symulacyjne związane z przemieszczaniem się tłumu:

- po płaskim szerokim terenie,
- przez drzwi, wąskie przejścia i korytarze.

W eksperymentach jako badaną charakterystykę wybrano przepływ (liczba osób na metr długości). Jako zmieniane parametry wybrano: wartości progowe zmiany przestrzeni interpersonalnych oraz prawdopodobieństwo (czas) interakcji. W obu przypadkach wykorzystano ten sam rozkład cech jednostek w badanym tłumie. Podstawowa charakterystyka tłumu została przedstawiona w tabeli:

Tab. 2 Główne cechy tłumu

Tab. 2 Main crowd attributes

Cecha	Średnia	Cecha	Wartość
Prędkość maksymalna	2.0 m/s	Rozmiar tłumu	100 – 3000
Prędkość preferowana	1.1 m/s	Znajomość otoczenia	20%-90%
Czas interakcji	0.5 s	Przestrzeń interpersonalna	- 1.5 m

Wyniki eksperymentów

Na wykresie nr 1 przedstawiono charakterystyki wyznaczone dla dwóch przypadków przemieszczania się tłumu po płaskim szerokim terenie, w których wartości granic stref interpersonalnych wynosiły odpowiednio:

- 0-3.0 osób/m² dla strefy swobody i 3.0-5.0 osób/m² dla strefy osobistej
- 0-1.0 osób/m² dla strefy swobody i 1.0-5.0 osób/m² dla strefy osobistej

Na wykresie nr 2 przedstawiono charakterystyki wyznaczone dla dwóch przypadków przemieszczania się tłumu po płaskim szerokim terenie, w których wartości prawdopodobieństwa interakcji wynosiły odpowiednio:

- 0.01
- 0.5

Na wykresie nr 3 przedstawiono charakterystyki wyznaczone dla dwóch przypadków przemieszczania się tłumu przez drzwi, wąskie przejścia i korytarze, w których wartości granic stref interpersonalnych wynosiły odpowiednio:

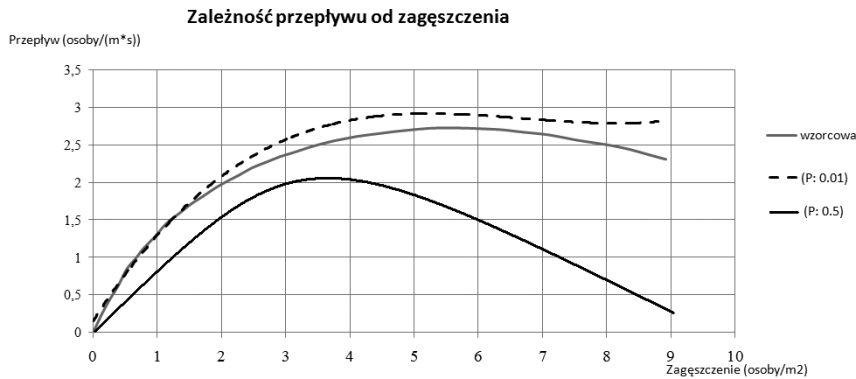
- (P1)0-3.0 osób/m² dla strefy swobody i 3.0-5.0 osób/m² dla strefy osobistej
- (P2)0-1.0 osób/m² dla strefy swobody i 1.0-5.0 osób/m² dla strefy osobistej

Na wykresie nr 4 przedstawiono charakterystyki wyznaczone dla dwóch przypadków przemieszczania się tłumu przez drzwi, wąskie przejścia i korytarze, w których wartości prawdopodobieństwa interakcji wynosiły odpowiednio:

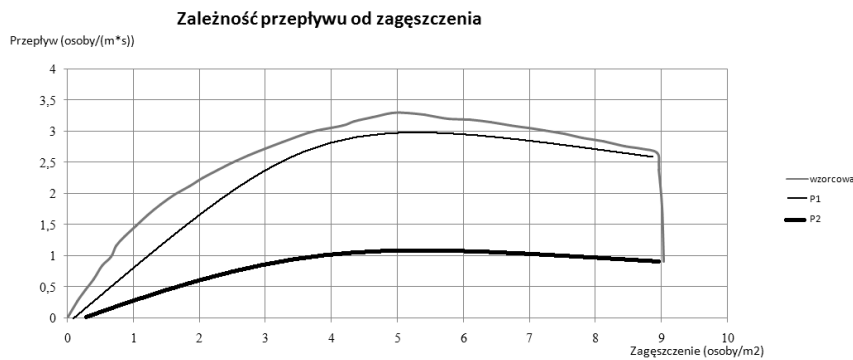
- (P1)0.01
- (P2)0.5



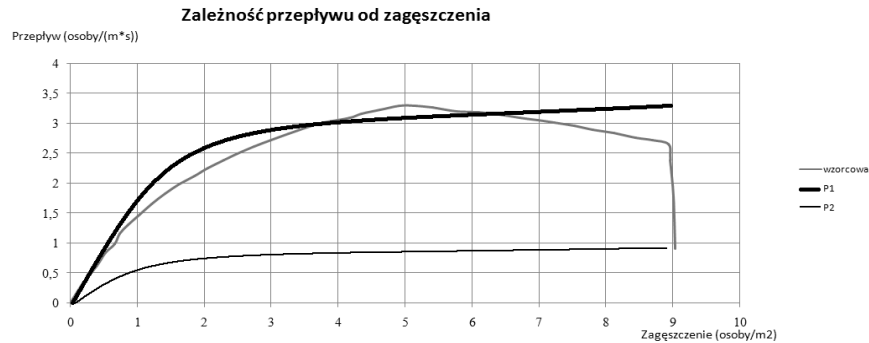
Rys. 7 Wykres 1: Przepływ/zagęszczenie dla różnych stref interpersonalnych
Fig. 7 Plot 1: Flow/density for different proxemic spaces



Rys. 8 Wykres 2: Przepływ/zagęszczenie dla różnych czasów interakcji
Fig. 8 Plot 2: Flow/density for different interaction times



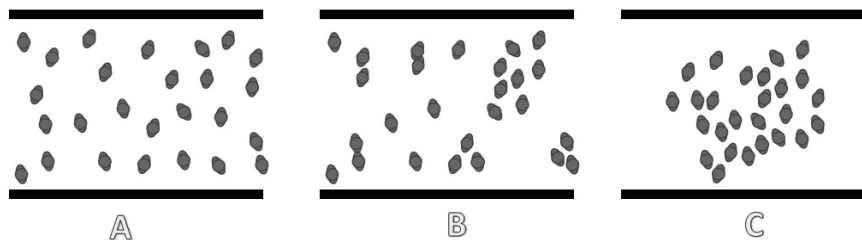
Rys. 9 Wykres 3: Przepływ/zagęszczenie dla różnych stref interpersonalnych
Fig. 9 Plot 3: Flow/density for different proxemic spaces



Rys. 10 Wykres 4: Przepływ/zaęszczenie dla różnych czasów interakcji

Fig. 10 Plot 4: Flow/density for different interaction times

Na rysunku 11 przedstawiono uzyskaną za pomocą symulatora różnorodność przemieszczania się tłumu w zależności od znajomości jednostek.



Rys. 11 Zależność zagęszczenia od znajomości innych jednostek

Fig. 11 Pedestrians familiarity in crowd

5 Podsumowanie

W pracy przedstawiono symulator tłumu oraz eksperymenty, na podstawie których wyznaczono charakterystyki przemieszczania się tłumu w aglomeracji. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić wrażliwość przebiegu symulacji na parametry wejściowe: czas interakcji oraz granice stref interpersonalnych, które mogą służyć jako elementy kalibracji modelu do wykonywania wiarygodnych eksperymentów.

Literatura

1. J.J. Fruin.: *Pedestrian Planning and Design*, Elevator World Inc, Alabama, 1987
2. G.K. Still, *Crowd Dynamics*, PhD. Thesis, University of Warwick, UK, 2000
3. M. Schreckenberg, *A Cellular Automaton Model for Crowd Movement and Egress Simulation*, PhD. Thesis, University Duisburg-Essen, 2003
- A. Najgebauer, R. Antkiewicz, J. Rulka, Z. Tarapata, M. Kapałka.: *Zagrożenia dla porządku i bezpieczeństwa publicznego. Modele zagrożeń aglomeracji miejskiej wraz z systemem zarządzania kryzysowego na przykładzie miasta stołecznego Warszawy*, pod redakcją: Andrzeja Najgebauera Warszawa, 2009, str. 563-584 ISBN 978-83-61486-22-0

4. M. Kapałka, *Modelowanie i symulacja przemieszczania się tłumów*, master thesis, WAT, Warsaw, 2006
5. M. Kapałka.: *The fine-coarse network model for simulating crowd behavior*. Biuletyn Instytutu Systemów Informatycznych, Nr 5, 31-36 (2010)
6. Strona internetowa: www.fireevacuation.ru

Streszczenie

W pracy opisano symulator tłumy oraz eksperymenty, na podstawie których wyznaczono charakterystyki przemieszczania się tłumy w aglomeracji. Praca została podzielona na trzy części. W pierwszej części przedstawiono autorski mikroskopowy symulator tłumy oraz jego podstawowe moduły. W drugiej części omówiono podstawowe „wzorcowe” charakterystyki przemieszczania się tłumy. W części trzeciej przedstawiono plany i wyniki eksperymentów symulacyjnych dla wybranych scenariuszy i charakterystyk na tle omówionych wcześniej charakterystyk „wzorcowych”.

Estimating pedestrian movement characteristics with simulation approach

Summary

This work presents a simulation approach for estimating pedestrian movement characteristics. In this paper we introduce in first part microscopic crowd simulator with main modules. In second part we presents crowd movement characteristics used by crowd researchers. Third part contains results of experiments conducted with described simulator.