

# Modelowanie dynamiki tłumu

Jarosław Wąs

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział EAIiE, Katedra Automatyki

**Streszczenie:** Niniejsza praca obejmuje problematykę modelowania dynamiki tłumu. W artykule opisano podstawowe informacje na temat współczesnych technik modelowania tłumu, a także poruszono problematykę walidacji modeli. W pracy zwrócono również uwagę na perspektywę rozwoju technologii modelowania tłumu.

**Słowa kluczowe:** dynamika pieszych, modelowanie tłumu, niehomogeniczne automaty komórkowe, systemy agentowe

## 1. Wprowadzenie

Aktualnie modele dynamiki tłumu nabierają coraz większego znaczenia w wielu dziedzinach życia. Coraz częściej po wyniki specjalistycznych symulacji dynamiki tłumu czy modelowania ewakuacji sięgają architekci i projektanci obiektów użyteczności publicznej czy organizatorzy imprez masowych. Naukowcy z wielu dziedzin tworzą i udoskonalają modele dynamiki i zachowań pieszych w różnych sytuacjach.

W ciągu ostatnich lat dokonała się ewolucja w modelowaniu tłumu, tzn. największą popularność uzyskały modele mikroskopowe, wypierając modele makroskopowe bazujące na zasadach hydrodynamiki (np. model Paulsa [3]). Obecnie rozwijane są modele mikroskopowe oparte na metodach Dynamiki Molekularnej (np. Social Forces Model autorstwa Helbinga i Molnara [2]) oraz modele oparte na sztucznej inteligencji [12]: niehomogenicznych automatach komórkowych (model Blue i Adlera [1]), czy też systemach agentowych [5–7].

Od 2002 r. w Katedrze Automatyki AGH prowadzone są prace nad modelami mikroskopowymi dynamiki tłumu np. [8–11]. W tym czasie przebadano i zaproponowano kilka modeli dynamiki tłumu, a także przeprowadzono szereg eksperymentów (m.in. ewakuacji). W ciągu ostatnich lat wyniki tych prac prezentowane były w różnych gremiach krajowych i międzynarodowych, m.in. w National Institute of Standards and Technology – USA, Austriackim Instytucie Technologii czy Yokohama University.

## 2. Modele dynamiki tłumu

Obecnie największe zapotrzebowanie istnieje na modele mikroskopowe, które indywidualnie traktują poszczególne osoby w tłumie.

Jednym z najpopularniejszych modeli w tej kategorii jest model Social Forces [2], który doczekał się wielu modyfikacji i implementacji. Piesi są reprezentowani za pomocą cząstek, dążących w określonych kierunkach, na które oddziałują siły odpychania czy przyciągania od innych pieszych czy różnych elementów środowiska. Do zalet tej metodologii należy duża dokładność symulacji oraz precyzja odwzorowania mikro-

powych oddziaływań między pieszymi a środowiskiem. Zasadniczą wadą jest relatywnie mała wydajność obliczeniowa i trudności z odwzorowaniem niektórych sytuacji. Zdaniem autora, mimo stałego udoskonalania algorytmów działania tej metody, istotną przeszkodą dla symulacji dużych obiektów są wysokie nakłady obliczeniowe i dlatego metoda ta ma ograniczone możliwości rozwoju.

Warto więc uwagę poświęcić modelom mikroskopowym dynamiki tłumu, opartym na automatach komórkowych i systemach agentowych. Umożliwiają one prowadzenie efektywnych symulacji, a jednocześnie szerokie spektrum w zakresie reprezentacji zróżnicowanych zachowań tłumu.

### 2.1. Niehomogeniczne automaty komórkowe

Automaty komórkowe są bardzo znanym narzędziem modelowania, zaproponowanym w połowie dwudziestego wieku przez Janosa von Neumana i Stanisława Ulama.

Klasyczny przypadek automatu komórkowego, tj. synchroniczny i homogeniczny automat, w zasadzie nie nadaje się do tworzenia symulacji systemów złożonych, a w szczególności do modelowania dynamiki pieszych.

Dopiero zastosowanie automatów niehomogenicznych przez uwzględnienie różnych typów komórek (np. przestrzeń ruchu, ściany, przeszkody, drzwi) czy zróżnicowanie funkcji przejścia na siatce automatu, a także asynchronicznych (ustalenie kolejności synchronizacji stanów komórek automatu), pozwala na tworzenie bardziej zaawansowanych symulacji zachowań tłumu.

Z praktycznego punktu widzenia można zastosować trzy rodzaje automatów:

- automaty klasyczne (*Cellular Automata*), w których funkcja przejścia uwzględnia wyłącznie relacje lokalne,
- globalne automaty komórkowe (*Global Cellular Automata*), w których funkcja przejścia uwzględnia relacje globalne, obejmujące obszar całej siatki,
- „rozszerzone” automaty komórkowe (*Extended Cellular Automata*), w których funkcja przejścia obejmuje relacje lokalne oraz wybrane komórki z całej siatki [10].

Ciekawą grupą z wyżej wymienionych automatów jest grupa tzw. „rozszerzonych” automatów komórkowych [10], która umożliwia tworzenie złożonych symulacji, utrzymując przy tym wysoką efektywność prowadzonych obliczeń.

### 2.1. Systemy agentowe

Systemy agentowe dają szerokie możliwości w zakresie symulacji tłumu. Zastosowanie ich umożliwia odwzorowywanie bardzo złożonych elementów interakcji ludzi w tłumie oraz interakcji ze środowiskiem (np. przepływ informacji).

Jedną z możliwości formalnego opisu systemów agentowych dedykowanych dynamice tłumu jest system zwany SCA (Situational Cellular Agents) [4]:

$$\langle Space; F; A \rangle \quad (1)$$

gdzie:

- $Space$  – przestrzeń bytowania agentów (siatka),
- $A$  – zbiór sytuowanych agentów,
- $F$  – zbiór pól potencjalnych generowanych przez POI (Points Of Interest).

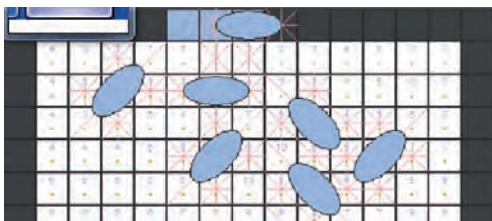
Pojedynczy agent jest opisywany następująco:

$$\langle s; p; \tau \rangle \quad (2)$$

gdzie:

- $s \in \Sigma \tau$  – stan agenta (wartość wynikająca z typu agenta),
- $p \in P$  – położenie agenta w przestrzeni (na siatce),
- $\tau$  – typ agenta.

Należy podkreślić, że bardzo często modele klasyfikowane jako systemy agentowe bazują na automatach komórkowych.

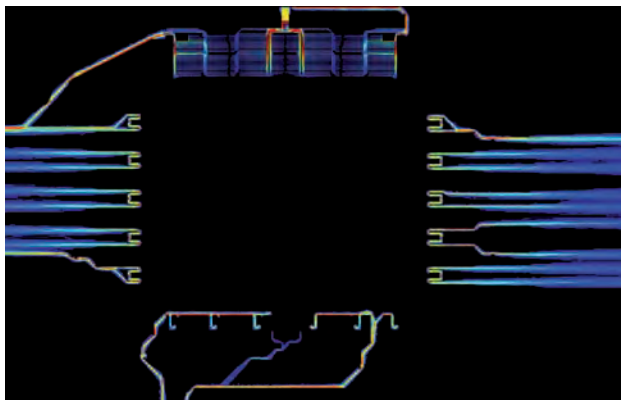


**Rys. 1.** Symulacja – piesi rozmieszczeni w pomieszczeniu  
**Fig. 1.** A simulation – pedestrians allocated in a room

Na rys. 1 przedstawiono symulację przy wykorzystaniu modelu Social Distances [9], w którym piesi są reprezentowani za pomocą elips. Wyjście z pomieszczenia oznaczone jest kolorem niebieskim, a niebieskie cyfry oznaczają wartości pola potencjalnego działającego na pieszych/agentów.

### 3. Cele symulacji dynamiki pieszych

Nasuwa się zasadnicze pytanie: czemu mogą służyć symulacje tłumu? Jednym z częstszych zastosowań jest wspomaganie projektantów obiektów użyteczności publicznej czy organizatorów imprez masowych w zakresie optymalnego



**Rys. 2.** Analiza natężenia przepływu pieszych na drogach ewakuacyjnych stadionu

**Fig. 2.** Analysis of the flow of pedestrians on escape routes in the stadium

zaprojektowania funkcjonalności, wygody i bezpieczeństwa przebywających tam ludzi.

W symulacjach tłumu opisuje się różne klasy sytuacji takich jak: swobodny ruch pieszych (obiektom jest przykładowo centrum handlowe, fragment miasta, ulica, budynek itd.) oraz modelowanie ewakuacji. Symulacja ewakuacji może obejmować różne sytuacje:

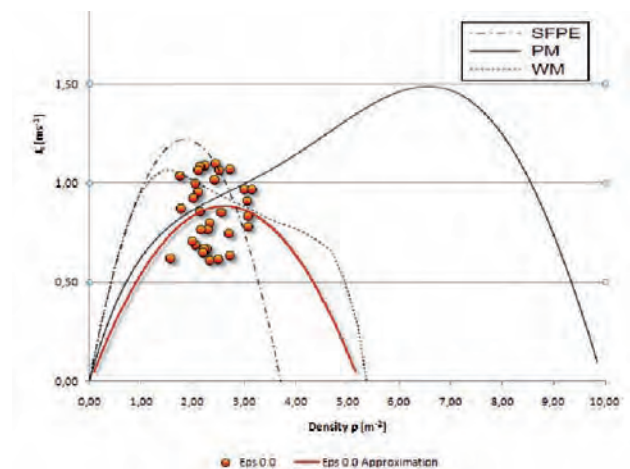
- swobodne wyjście,
- kontrolowana ewakuacja,
- ewakuacja z współzawodnictwem,
- panika.

Jednym z ważniejszych celów prowadzonych symulacji jest sprawdzenie przepustowości wąskich gardeł, czasów ewakuacji, a także określenie maksymalnej liczby ludzi mogących bezpiecznie przebywać w danym obiekcie itd.

Na rys. 2 można zaobserwować przykładowe statystyki symulacji [11]. Rysunek przedstawia natężenie przepływu na drogach ewakuacyjnych, kolor niebieski i zielony oznaczają miejsca o płynnym przepływie, zaś kolor żółty i czerwony oznacza wąskie gardła w ewakuacji.

### 4. Walidacja modeli dynamiki tłumu

Istotnym elementem modelowania dynamiki pieszych jest przeprowadzenie stosownej walidacji modelu. Walidacja oznacza wielopłaszczyznowe sprawdzenie poprawności i wiarygodności danego modelu.



**Rys. 3.** Wykres fundamentalny – relacja: gęstość tłumu/przepływ  
**Fig. 3.** Fundamental diagram – a relation: crowd density/flow

Bierze się wówczas pod uwagę rozmaite współczynniki ilościowe (quantitative) i jakościowe (qualitative), badając zgodność modelu z rzeczywistością. Dobrym przykładem współczynnika jakościowego w dynamice pieszych jest występowanie strug w ruchu dwukierunkowym (piesi idą wtedy za sobą w jednym kierunku). Z kolei przykładem sprawdzanego współczynnika ilościowego jest wykres fundamentalny (czyli relacja gęstości tłumu do przepływu właściwego) przedstawiony na rys. 3. Na rysunku tym przedstawiono wyniki symulacji modelu Social Distances [9] dla współczynnika ściślności tłumu  $\epsilon = 0,0$  [11] w odniesieniu do wykresów znanych z literatury: SFPE (Society of Fire Protection Engineers), PM (Predtechenski –Milinski), WM (Weidmann) [4].

## 5. Podsumowanie

W artykule poruszono problematykę modelowania dynamiki tłumu. Obecnie tworzone modele tłumu oparte są na podejściu mikroskopowym i wymagają multidyscyplinarnego podejścia. W grę wchodzi tu takie dziedziny jak: inżynieria bezpieczeństwa, psychologia, socjologia czy informatyka. Zagadnienie tworzenia algorytmów i modeli ruchu pieszych leży w zakresie sztucznej inteligencji i jest niezwykle trudnym i złożonym problemem. Należy zauważyć, że u podstaw wielu modeli klasyfikowanych jako systemy agentowe, leżą automaty komórkowe, a granica między tymi dwoma kategoriami modeli jest najczęściej trudna do określenia.

Istotnym problemem jest też właściwa kalibracja i walidacja modeli uwzględniająca zarówno współczynniki ilościowe i jakościowe.

## Bibliografia

- Blue V.J., Adler J.L.: *Cellular automata microsimulation for modeling bidirectional pedestrian walkways*, Transportation Research Part B 35, 2001, 293–312.
- Helbing D., Molnar P.: *Social force model for pedestrian dynamics*, "Phys. Rev". E 51, 1995, 4282–4286.
- Chraïbi M., Seyfried A., Schadschneider A.: *The generalized centrifugal force model for pedestrian dynamics*, "Physical Review" E 82, 2010.
- Schadschneider A., Klingsch W., Kluepfel H., Kretz T., Rogsch C., Seyfried A.: *Encyclopedia of Complexity and System Science. Evacuation Dynamics: Empirical Results, Modeling and Applications*, vol. 5, Springer, Berlin, Heidelberg, 2009, 3142–3176.
- Zheng X., Zhong T., Liu M.: *Modeling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches*, Building and Environment 44 (3), 2009, 437–445.
- Fang Z., Li Q., Li Q., Han L.D., Wang D.: *A proposed pedestrian waiting-time model for improving space-time use efficiency in stadium evacuation scenarios*, "Building and Environment", vol. 46, Issue 9 (2011).
- Kirik E.S., Yurgel'yan T.B., Krouglov D.V.: *The Shortest Time and/or the Shortest Path Strategies in a CAFF Pedestrian Dynamics Model*, "Journal of Siberian Federal University", Mathematics & Physics, vol. 2 (3), 2009, 271–278.
- Wąs J.: *Cellular Automata Model of Pedestrian Dynamics for Normal and Evacuation Conditions*. Intelligent Systems Design and Applications, IEEE Computer Society 2005, 154–159.
- Wąs J., Gudowski B., Matuszyk P.J.: *Social distances model of pedestrian dynamics*. Cellular Automata, Lecture Notes in Computer Science Springer–Verlag, 2006, 492–501.
- Dudek–Dyduch E., Wąs J.: *Knowledge Representation of Pedestrian Dynamics in Crowd: Formalism of Cellular Automata*. ICAISC Lecture Notes in Computer Science 2006 Springer – Verlag, 1101–1110.
- Wąs J., Lubaś R., Myśliwiec W.: *Towards Realistic Modeling of Crowd Compressibility*, Pedestrian and Evacuation Dynamics – National Institute of Standards and Technology, Springer 2011, 527–534.
- Tadeusiewicz R.: *Introduction to intelligent systems*. The Electrical Engineering Handbook Series. Taylor & Francis Group 2011, 1.1-1.12. ■

## Podziękowania

Badania są finansowane dzięki wsparciu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego projekt nr N N516 228735 2008–2011, a także Siódmego Programu Ramowego Unii Europejskiej (FP7) projekt *Socionical*.

## Crowd dynamics modeling

**Abstract:** This paper covers the issues of modeling the crowd dynamics. The article describes the basics of modern modeling techniques to the crowd, and the issue of validation of models. The paper also highlighted the prospects for the development of crowd modeling technologies.

**Keywords:** pedestrian dynamics, crowd behavior, cellular automata

### dr inż. Jarosław Wąs

Adiunkt w Katedrze Automatyki AGH. Od kilku lat prowadzi prace nad modelowaniem systemów złożonych (complex systems), a w szczególności nad modelowaniem zachowań tłumu i dynamiki pieszych. Autor jest recenzentem kilku czasopism, m.in. *Building and Environment* – Elsevier i *Transactions on Computational Collective Intelligence* – Springer oraz organizatorem cyklicznych, międzynarodowych warsztatów *Workshop on Complex Collective Systems*.

e-mail: [jarek@agh.edu.pl](mailto:jarek@agh.edu.pl)

