

**AGH**

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

**WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI,  
INFORMATYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ**

KATEDRA INFORMATYKI STOSOWANEJ

Autoreferat Rozprawy Doktorskiej

*Metody modelowania dynamiki tłumy bazujące na niehomogenicznych automatach komórkowych.*

Autor: *mgr inż. Robert Lubaś*  
Dziedzina: *Nauki techniczne*  
Dyscyplina: *Informatyka*  
Promotor: *Dr hab. inż. Jarosław Wąs, Prof. nadzw. AGH*

Kraków, 2019

## **Przesłanki podjęcia tematu, cele oraz zawartość pracy**

Niemal każdy z nas przebywał niejednokrotnie w bardzo gęstym tłumie - być może było to oczekiwanie przed wejściem na koncert lub wydarzenie sportowe czy być może udział w jakiejś procesji czy manifestacji. Często w takich sytuacjach czujemy się niepewnie, nasz wpływ na możliwość swobodnego przemieszczania się jest ograniczony, czasami wręcz nie mamy żadnej kontroli nad naszym ruchem, jesteśmy wówczas niejako „niesieni” w tłumie. W takich sytuacjach szczególnie doceniamy jak wielką wartością jest bezpieczeństwo i zapewnienie dobrej organizacji w miejscach zgromadzeń.

Dynamika tłumu ludzi to bardzo interesujące i zarazem skomplikowane zagadnienie naukowe. Z punktu widzenia przepływu osób możemy mieć do czynienia z uporządkowaną organizacją struktury ruchu, kiedy obserwujemy stan równowagi i laminarnego przepływu strug ludzi, aż do gwałtownych, turbulentnych przepływów ludzi, które mogą w skrajnych przypadkach prowadzić do katastroficznych w skutkach wypadków. W ciągu ostatnich kilku lat środowisko naukowe, ale również inżynierskie znacznie poszerzyło wiedzę i zrozumienie natury dynamiki ludzkiego tłumu. Współczesne badania naukowe na temat dynamiki tłumu są prowadzone już od ponad 50 lat i mają bezpośredni wpływ na poprawę bezpieczeństwa w nowo powstających budynkach użyteczności publicznej. Już w latach pięćdziesiątych dwudziestego wieku przeprowadzono pierwsze, szeroko nakreślone badania nad optymalizacją przepływu pieszych w obiektach użyteczności publicznej. Od samego początku badania skupiały na poprawie ruchu pieszego i miały duży wymiar użyteczny odwołując się często do konkretnych sytuacji jak przepływ osób w obiektach sieci metra czy strumieni osób w warunkach miejskich.

Dynamika tłumu dotyczy wielu aspektów ludzkiej natury. Należy podkreślić, że dynamika tłumu jest powiązana ze zjawiskami fizycznymi związanymi z przepływem cząstek, gdzie obserwuje się różne zjawiska kolektywne (jak tworzenie strug czy samoorganizacja) - czyli tworzenie modeli przepływu osób w różnych warunkach należy do kategorii badań interdyscyplinarnych z pogranicza fizyki, matematyki, nauk przyrodniczych oraz nauk technicznych.

### **Cele pracy**

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie szeregu metod i szczegółowych rozwiązań algorytmicznych dotyczących dyskretnych symulacji tłumu bazujących na niehomogenicznych automatach komórkowych. Metody te zdobywają w ostatnim czasie coraz większe uznanie, gdyż z jednej strony zapewniają wiarygodne wyniki, a z drugiej strony ich wydajność jest zdecydowanie lepsza niż metod opartych na

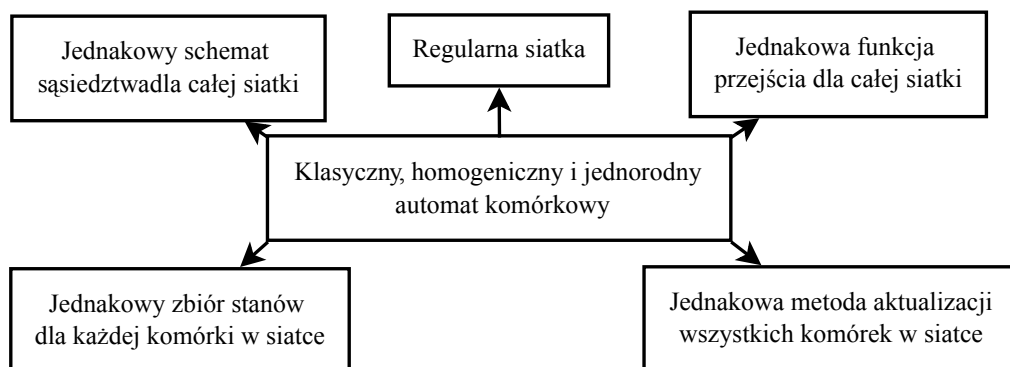
dynamice molekularnej np. Social Force. Należy podkreślić, że modele dyskretne oparte na automatach komórkowych charakteryzują się dużą elastycznością i skalowalnością. Elastyczność jest przydatna w momencie rozszerzania modelu o nowe hipotezy czy eksplorowanie różnych możliwości odwzorowania fenomenu ludzkiego ruchu. Natomiast skalowalność okazuje się być dużą zaletą w momencie prób badawczych z implementacjami modelu dla symulacji z udziałem dużej liczby pieszych.

Celem pracy jest również zaproponowanie szeregu szczegółowych rozwiązań dotyczących walidacji i weryfikacji symulacji dynamiki tłumu. Niezwykle ważnym aspektem modelowania zjawisk jest upewnienie się, że model wiernie odwzorowuje rzeczywistość i uwzględnia warunki brzegowe. Tylko modele z pozytywnym wynikiem w zakresie walidacji i weryfikacji mogą być wykorzystane w zastosowaniach inżynierskich z zakresu projektowania wspomaganego komputerowo. Opracowanie sposobu testowania i zestawu testów daje zdecydowanie większą pewność co do opracowanego i zaimplementowanego modelu dynamiki tłumu.

## Zawartość pracy

Niniejsza praca składa się z ośmiu rozdziałów. Pierwszy zawiera przesłanki podjęcia tematu, cele oraz zawartość pracy.

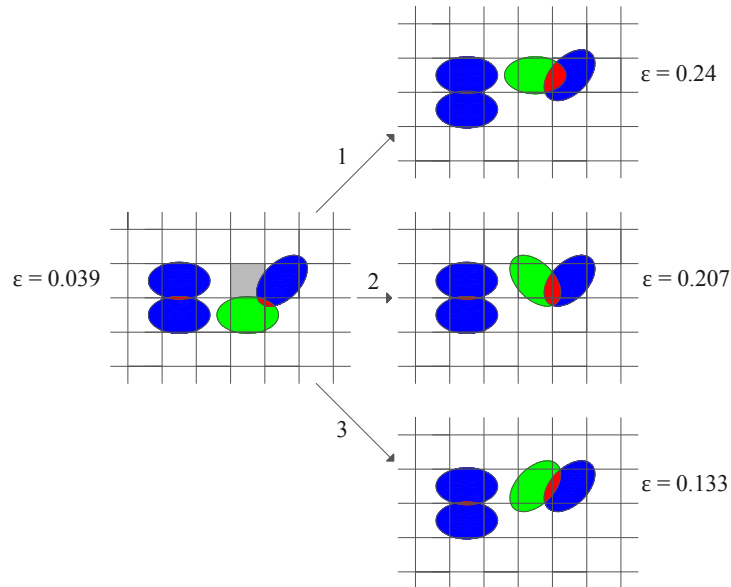
W drugim rozdziale pracy znajdują się podstawowe informacje, które są wprowadzeniem do dalszych części pracy. Została przedstawiona definicja automatu komórkowego (ang. cellular automaton), jako aparatu matematycznego będącego podstawą modeli dynamiki tłumu. Omówiono podział automatów komórkowych według różnych kryteriów m.in. na homogeniczne i niehomogeniczne:



Niehomogeniczny, niejednorodny automat komórkowy występuje w przypadku niespełnienia którejkolwiek z podanych wyżej cech. W kolejnych sekcjach znajdują się informacje na temat symulacji tłumu ludzi, klasyfikacji i rodzajów modeli dynamiki tłumu.

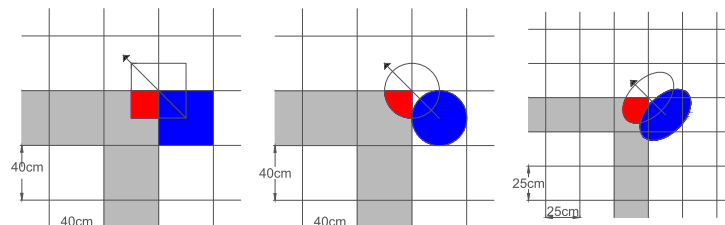
W trzecim rozdziale autor prezentuje propozycje rozbudowy metodologii modelowania dynamiki tłumu. Jest to rozdział opisujący wartość dodaną jaką autor wnosi do obszaru nauki o zachowaniach grup pieszych, sposobie ich modelowania i symulowania. Na początku rozdziału znajduje się prezentacja modelu Social Distances, który został poddany rozszerzeniu przez autora. Po przedstawieniu modelowej

reprezentacji pieszego, opisywany jest proces podejmowania decyzji przez pieszego uwzględniający poziom strategiczny, taktyczny i operacyjny. Zostają zaproponowane definicje pól widzenia, przynależności do grup. Szczegółowy opis rozszerzenia algorytmu ruchu zawiera definicję funkcji kosztu i usprawnienie w sposobie rozwiązywania konfliktów:



Możliwe scenariusze rozwiązywania konfliktów. Po lewej stronie znajduje się początkowa faza konfliktu, z prawej strony możliwe warianty rozwiązania konfliktu. Zielony pieszy wykonuje ruch do szarej komórki, pozycja ciała może się zmienić o 45 stopni w prawo lub w lewo. Jeśli  $\varepsilon \leq 0.21$  dozwolony jest drugi lub trzeci wariant.

W czwartym rozdziale autor przedstawia propozycje szczegółowych metod weryfikacji i walidacji modeli dynamiki tłumu bazujących na automatach komórkowych. Zwraca szczególną uwagę na potrzebę testowania modeli dynamiki tłumu pod kątem jakościowym i ilościowym. Przedstawia nowy zestaw testów, które zostały zaprojektowane w celu przebadania neuralgicznych z punktów widzenia typu modelu aspektów modelowania, np.:

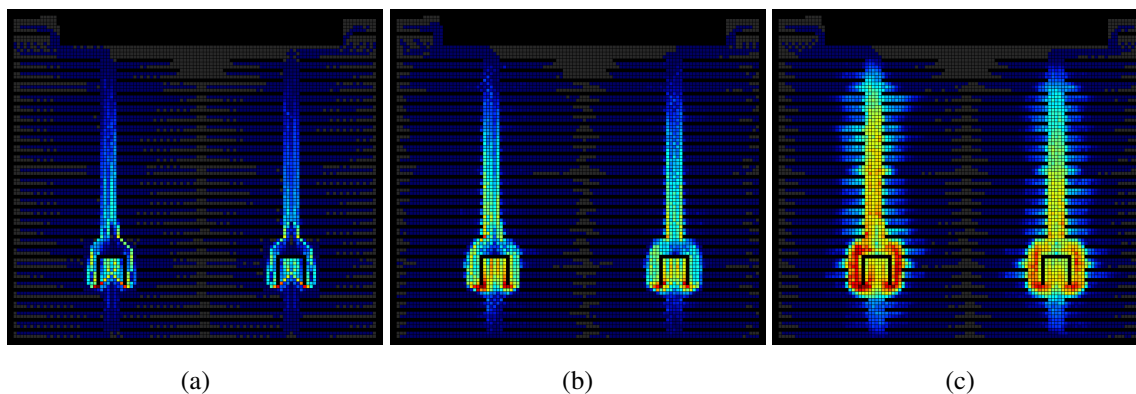


Agent penetrujący ścianę/przeszkodę w modelach o skończonej kwadratowej siatce.

Rozdział zawiera również analizę literatury traktującej o walidacji i weryfikacji modeli dynamiki tłumu.

W piątym rozdziale znajduje się opis implementacji przedstawianej w poprzednich rozdziałach metodologii dynamiki tłumu. Jest to symulator ruchu ludzi, zdolny symulować w czasie rzeczywistym na przykład ewakuację ze stadionów piłkarskich. Autor sugeruje architekturę i sposób realizacji oprogramowania do symulowania masowej ewakuacji, łącząc podejście inżynierskie i naukowe. Opisuje możliwości stworzonego przez siebie oprogramowania.

Szósty rozdział zawiera praktyczne zastosowanie metodologii dynamiki tłumu. Na rozmaitych przykładach prezentowane są wyniki symulacji ruchu ludzi w zależności od przyjętego scenariusza:



Prezentacja przykładowych statystyk: macierz częstości odwiedzin dla trzech scenariuszy: warunki normalne, ewakuacja bez elementów współzawodnictwa i ewakuacja z elementami współzawodnictwa.

Oprócz wyników czysto symulacyjnych można znaleźć również zestawienia symulacji z wynikami empirycznymi potwierdzającymi przeprowadzony poprawnie proces walidacji i weryfikacji opracowanego modelu.

Ostatni rozdział stanowi podsumowanie pracy, z uwzględnieniem propozycji przyszłych badań.

---

## Opublikowane prace autora

### Spis publikacji indeksowanych na liście JCR

1. Adrian Klusek, Paweł Topa, Jarosław Wąs, Robert Lubaś. „An implementation of the Social Distances Model using multi-GPU systems”. W: *The International Journal of High Performance Computing Applications* 32.4, Sage (2018), s. 482–495.
2. Robert Lubaś, Jarosław Wąs i Jakub Porzycki. „Validation and Verification of CA-Based Pedestrian Dynamics Models”. W: *Journal of Cellular Automata*, Old City Publishing (11 2016), s. 285–298.
3. Robert Lubaś, Jarosław Wąs i Jakub Porzycki. „Cellular Automata as the basis of effective and realistic agent-based models of crowd behavior”. W: *The Journal of Supercomputing* 72.6, Springer (2016), s. 2170–2196.
4. Jarosław Wąs i Robert Lubaś. „Towards realistic and effective Agent-based models of crowd dynamics.” W: *Neurocomputing* 146, Elsevier (2014), s. 199–209.
5. Jarosław Wąs i Robert Lubaś. „Adapting Social Distances Model for Mass Evacuation Simulation.” W: *Journal of Cellular Automata*, Old City Publishing (2013), s. 395–405.

### Pozostałe publikacje:

1. Jarosław Wąs, Jakub Porzycki i Robert Lubaś. „Walidacja i wiarygodność narzędzi do symulacji ewakuacji osób”. W: *Budownictwo podziemne i bezpieczeństwo w komunikacji drogowej i infrastrukturze miejskiej*, (2016), 94–97.
2. Pavel Hrabák, Jakub Porzycki, Marek Bukáček, Robert Lubaś i Jarosław Wąs. „Advanced CA Crowd Models of Multiple Consecutive Bottlenecks”. W: *Cellular Automata*. Springer International Publishing, 2016, s. 396–404.
3. Jakub Porzycki, Robert Lubaś, Marcin Mycek, Jarosław Wąs. „Granularity of Pre-movement Time Distribution in Crowd Evacuation Simulations”. W: *Traffic and Granular Flow '15*, Springer International Publishing, 2016, s. 305–312.
4. Robert Lubaś, Jakub Porzycki, Jarosław Wąs. „Distributed computing in crowd dynamics simulation systems”. W: *Traffic and Granular Flow '15*, Springer International Publishing, 2016.
5. Marcin Mycek, Robert Lubaś, Jakub Porzycki, Jarosław Wąs. „An Expanded Concept of the „Borrowed Time” in Pedestrian Dynamics Simulations”. W: *Traffic and Granular Flow '13*. 2015, s. 257–263.

- 
6. Robert Lubaś, Marcin Mycek, Jakub Porzycki, Jarosław Wąs. „Verification and Validation of Evacuation Models - Methodology Expansion Proposition”. W: *Transportation Research Procedia* 2.0 (2014).
  7. Jarosław Wąs, Jakub Rakoczy, Michał Rus, Jakub Porzycki, Robert Lubaś, Marcin Mycek, Katarzyna Szawan, „Problematyka modelowania i symulacji ewakuacji ludzi z tuneli” W: *BiBT* 2014, 171–177.
  8. Jakub Porzycki, Marcin Mycek, Robert Lubaś, Jarosław Wąs. „Pedestrian Spatial Self-organization According to its Nearest Neighbor Position”. W: *Transportation Research Procedia*, 2014.
  9. Jakub Porzycki, Robert Lubaś, Marcin Mycek, Jarosław Wąs. „Application of NIST Technical Note 1822 to CA Crowd Dynamics Models Verification and Validation”. W: *Cellular Automata, Lecture Notes in Computer Science*. Springer International Publishing, 2014, s. 447–452.
  10. Robert Lubaś, Janusz Miller, Marcin Mycek, Jakub Porzycki, Jarosław Wąs. „Three Different Approaches in Pedestrian Dynamics Modeling - A Case Study”. W: *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2013, s. 285–294.