

**Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie**

Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej

KATEDRA INFORMATYKI STOSOWANEJ



AGH

PRACA INŻYNIERSKA

PAWEŁ KŁECZEK

SYMULACJA RUCHU LUDZI W GALERII HANDLOWEJ

PROMOTOR:

dr inż. Jarosław Wąs

Kraków 2013

OŚWIADCZENIE AUTORA PRACY

OŚWIADCZAM, ŚWIADOMY ODPOWIEDZIALNOŚCI KARNEJ ZA POŚWIADCZENIE NIEPRAWDY, ŻE NINIEJSZĄ PRACĘ DYPLOMOWĄ WYKONAŁEM OSOBIŚCIE I SAMODZIELNIE, I NIE KORZYSTAŁEM ZE ŹRÓDEŁ INNYCH NIŻ WYMNIENIONE W PRACY.

.....

PODPIS

AGH
University of Science and Technology in Krakow

Faculty of Electrical Engineering, Automatics, Computer Science and Biomedical
Engineering

DEPARTMENT OF APPLIED COMPUTER SCIENCE



BACHELOR OF SCIENCE THESIS

PAWEŁ KŁECZEK

**A SIMULATION OF PEDESTRIAN BEHAVIOR IN A SHOPPING
MALL**

SUPERVISOR:
Jarosław Wąs Ph.D

Krakow 2013

Spis treści

1. Wprowadzenie.....	6
1.1. Cele pracy	6
1.2. Zawartość pracy.....	6
2. Analiza obecnych rozwiązań.....	7
2.1. Zachowanie agentów	7
2.2. Stosowane modele	7
2.2.1. Model probabilistyczny	8
2.2.2. Model fizyczny.....	8
2.2.3. Model z wykorzystaniem algorytmów genetycznych.....	8
3. Model ruchu pieszych.....	10
3.1. Faza taktyczna	11
3.2. Faza operacyjna	12

1. Wprowadzenie

Zagadnienie modelowania ruchu i zachowania pieszych jest od długiego czasu postrzegane jako istotne z punktu widzenia sektora usługowego i handlowego. Przekonanie to znajduje potwierdzenie w badaniach przytoczonych choćby przez Aloyisa Borgersa i Harry’ego Timmermansa [BT86], które wykazały wysoką zależność rentowności sklepów od sposobu poruszania się potencjalnych klientów. Problem ten jest dość złożony i dodatkowo może być rozważany na różnych poziomach abstrakcji, w zależności od przeznaczenia modelu.

1.1. Cele pracy

Celem niniejszego projektu jest opracowanie modelu ruchu ludzi w centrum handlowym oraz stworzenie na jego podstawie symulacji komputerowej, która pozwoli ocenić jakość modelu.

1.2. Zawartość pracy

Główna część pracy składa się z pięciu rozdziałów. W rozdziale 2 dokonano przeglądu różnych podejść do zagadnienia modelowania przemieszczania się pieszych. W rozdziale 3 przedstawiono stworzony na potrzeby projektu model centrum handlowego. W rozdziale 4 omówiono algorytmy stosowane do modelowania ruchu pieszych. Rozdział 5 zawiera opisy szczegółów implementacyjnych. Rozdział 6 prezentuje wyniki symulacji i ich analizę.

2. Analiza obecnych rozwiązań

W rozdziale tym przedstawiono klasyfikację zachowania agentów oraz dokonano przeglądu niektórych ze stosowanych obecnie podejść do modelowania ruchu pieszych. Ponieważ w niniejszej pracy zastosowane zostało podejście wieloagentowe, zostanie ono omówione szczegółowo w kolejnych rozdziałach.

2.1. Zachowanie agentów

Norma *ISO/TR 13387-1:1999 Fire safety engineering* [FSE99] wprowadza następujący podział modeli ze względu na sposób definiowania zachowania agentów:

- **modele bez określonych zasad zachowania**
Wpływ na ruch agentów mają jedynie czynniki fizyczne.
- **modele z zachowaniem określonym analogią funkcjonalną**
Zostały określone pewne zależności związane z zachowaniem agentów, lecz są one wspólne dla całej populacji (tj. każdy agent działa według tego samego wzoru). Zasady zachowania mogą być zaczerpnięte z dziedzin, w których występują podobne zjawiska (np. dynamika płynów).
- **modele z zachowaniem określonym pośrednio**
Zachowanie agentów określone jest np. poprzez skomplikowane zależności fizyczne.
- **modele z zachowaniem określonym zbiorem reguł**
Każdy agent ma zdefiniowany zestaw zasad określających jego zachowanie (np. Jeśli w pomieszczeniu pojawi się dym, opuszczam je najbliższymi drzwiami.). W tym przypadku problemem jest fakt, że w podobnych warunkach podejmowane są podobne decyzje (w sposób przewidywalny).
- **modele z zachowaniem określonym w oparciu o sztuczną inteligencję**

Większość z tworzonych obecnie modeli definiuje zachowanie agentów w oparciu o analogię funkcjonalną, pośrednio bądź z wykorzystaniem zbioru reguł - metody te stanowią kompromis pomiędzy dokładnością symulacji, a złożonością modelu.

2.2. Stosowane modele

Jak wspomniano we wstępie, zagadnienie modelowania może być rozpatrywane na różnych poziomach abstrakcji - w szczególności różna może być skala rozważanego zjawiska.

Poniżej przedstawiono modele służące do symulacji ruchu pieszych zarówno na dużych obszarach (np. dzielnicy) jak również na stosunkowo niewielkich powierzchniach (np. wewnątrz budynków).

2.2.1. Model probabilistyczny

Przykładem pracy prezentującej takie podejście jest model wyboru trasy przez pieszych poruszających się po obszarach handlowych w centrum miasta [BT86]. Opiera się on na użyciu zmiennych niezależnych i procesie Markowa.

Klient wchodząc do strefy handlowej staje przed problemem wyboru celów (sklepów) i kolejności ich odwiedzania w celu zakupu pewnych dóbr. Decyzję podejmuje na podstawie analizy różnych możliwości i wyboru tej, która zostanie przez niego najwyżej oceniona na podstawie pewnych istotnych dla niego kryteriów (nie tylko odległości). Po osiągnięciu pierwszego celu klient ponownie zastanawia się nad wyborem kolejnego celu – w identyczny sposób. Cykl ten powtarza się aż do chwili zakupu wszystkich dóbr. Model zakłada, że sam proces dokonywania zakupów może stać się impulsem do kupna kolejnych produktów.

Model ten służy do wyznaczania wielkości przepływów pieszych w sieci ulic, bez rozpatrywania zachowania pojedynczych agentów.

2.2.2. Model fizyczny

W swojej pracy o modelowaniu ruchu pieszych w oparciu o dynamikę płynów [Hel92] Dirk Helbing pokazuje, jak można opisać ruch zbiorowości pieszych za pomocą modelu kinetyki gazu (zbliżonego do modelu Boltzmana). Impulsem do badań były wyniki analizy przyspieszonych nagrań ruchu pieszych, kiedy to zaobserwowano podobieństwo potoków ruchu do strug cieczy.

Model opisuje pieszych za pomocą paru zmiennych fizycznych, jak położenie, prędkość aktualna, prędkość z jaką pieszy chciałby się poruszać, skłonność do zmiany kierunku ruchu i prędkości, które następnie zostają powiązane równaniami różniczkowymi z zakresu dynamiki płynów. W odróżnieniu od wcześniejszych podejść rozważa się mieszanie wielu „cieczy” (każda ciecz oznacza osobników chcących poruszać się ze zblizoną prędkością).

Model zwraca uwagę na istotny aspekt modelowania ruchu pieszych: asymetrię w prawdopodobieństwie wyboru sposobu ominięcia przeszkody (np. pieszcego idącego z naprzeciwka) – z lewej lub z prawej strony, choć podobnie jak w przypadku modelu probabilistycznego piesi są tu traktowani jako zbiorowość.

Rozwinięciem idei traktowania pieszych w kontekście dynamiki płynów jest koncepcja *social force* opracowana również przez Helbinga [HM94]. Uwzględnia ona wzajemny wpływ poszczególnych pieszych oraz przeszkód i obiektów (np. ścian budynków) na trajektorię ruchu.

2.2.3. Model z wykorzystaniem algorytmów genetycznych

Artykuł Kitazawy i Batty'ego [KB04] skupia się na opisie sposobu poruszania się klientów wewnątrz galerii handlowej z użyciem algorytmów genetycznych (GA).

W modelu z użyciem GA każdy agent posiada swoje uwarunkowania fizjologiczne (prędkość ruchu, szybkość męczenia się) jak i gusta i preferencje (związane z wiekiem, dochodem, płcią itp.). Na podstawie tych danych tworzony jest wstępny harmonogram odwiedzanych sklepów, który następnie jest realizowany poprzez wybór optymalnej ścieżki (w tym celu używane są algorytmy rozwiązujące problem komiwojażera). Harmonogram wizyty reprezentowany jest przez chromosom, w którym każdy gen oznacza jeden z celów wizyty.

Istotnym aspektem podejścia przedstawionego w pracy jest wyszczególnienie fazy operacyjnej ruchu, w której zachodzą dodatkowe zjawiska nieuwzględniane przez algorytm genetyczny, jak omijanie przeszkód w lokalnym otoczeniu pieszego (*collision avoidance*) bądź grupowanie się (*flocking*). Zjawiska te są modelowane w oparciu o „pole widzenia” i ciągły obszar symulacji.

Porównanie wyników symulacji z danymi rzeczywistymi prowadzi do konkluzji, że klienci tworzą trasę swojej wizyty w centrum handlowym głównie poprzez minimalizację niezbędnej do przebycia drogi. Harmonogram

wizyty reprezentowany jest przez chromosom, w którym każdy gen oznacza jeden z celów wizyty. Podczas losowania początkowego chromosomu zostały wprowadzone pewne ograniczenia (np. na cel początkowy i końcowy oraz na maksymalną odległość pomiędzy sąsiednimi celami).

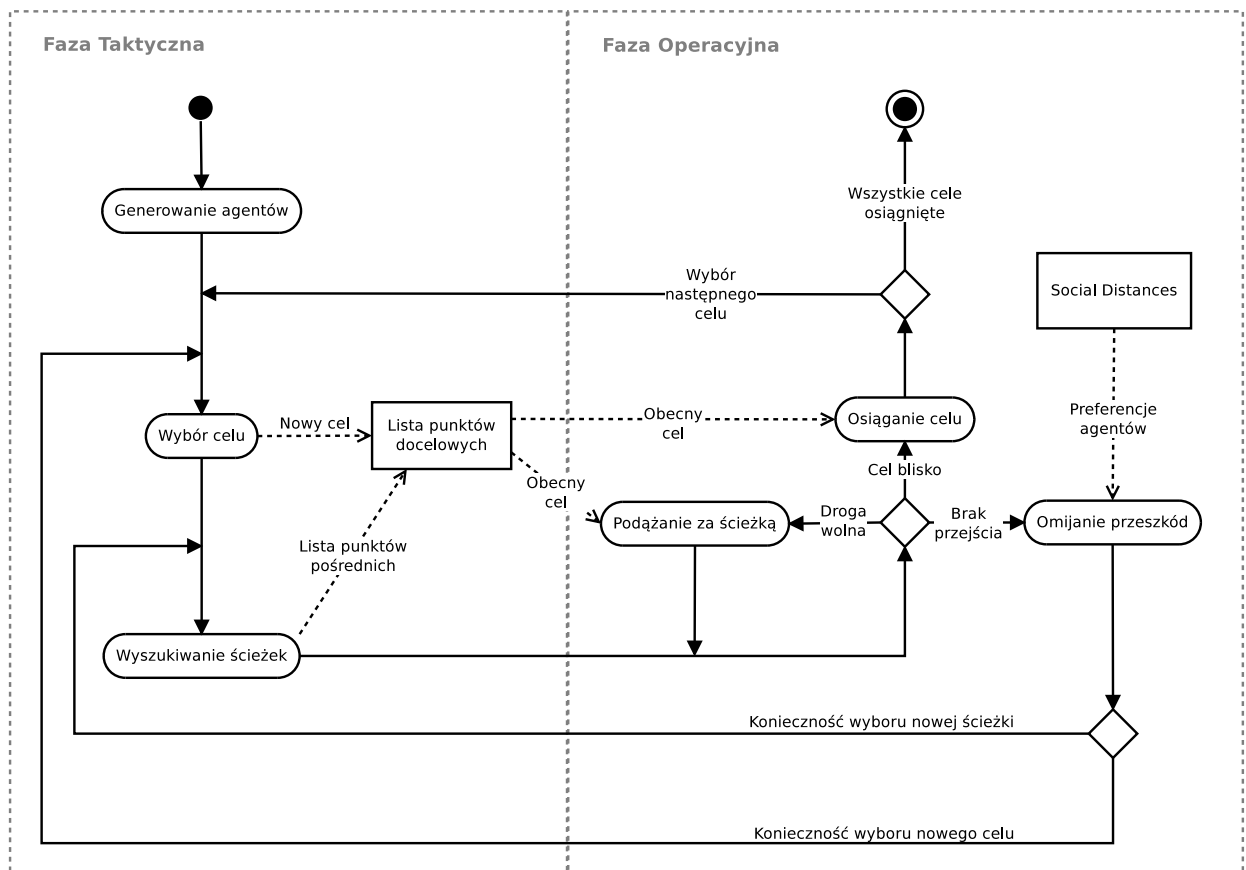
W obecnym kształcie model skupia się na stworzeniu trasy wizyty pojedynczej osoby wyłącznie w oparciu o czynniki przestrzenne (np. rozkład sklepów w centrum handlowym).

3. Model ruchu pieszych

Ponieważ celem niniejszej jest symulacja ruchu pieszych w galerii handlowej, a więc na stosunkowo niewielkim obszarze, konieczne było dobranie modelu odpowiadającego skali rozpatrywanego zagadnienia. Zdecydowano się na podejście wieloagentowe, w którym rozpatrujemy indywidualnie ruch każdego z pieszych.

Zgodnie z definicją podaną przez Wooldridge'a [Woo02] *agent* to system komputerowy, który osadzony jest w pewnym środowisku i który posiada zdolność podejmowania samodzielnych działań w tym środowisku w celu osiągnięcia postawionych mu celów.

W opracowanym na potrzeby pracy modelu każdy agent podejmuje decyzje w dwóch fazach: taktycznej oraz operacyjnej. Wzajemne relacje i interakcje pomiędzy wspomnianymi fazami przedstawiono na Rys. 3.1.



Rysunek 3.1: Diagram aktywności agentów.

Każdy agent generowany jest na podstawie jednego z predefiniowanych archetypów, który określa jego predyspozycje fizyczne oraz zachowanie (np. maksymalną prędkość ruchu, skłonność do zmiany pasa ruchu itp.).

Następnie dla każdego agenta wybierana jest wstępna lista miejsc docelowych, które zamierza on odwiedzić, oraz obliczana zostaje optymalna ścieżka łącząca poszczególne miejsca z listy. Ścieżka ta zostaje zmodyfikowana w oparciu o mapę rozkładu stref specjalnych tak, aby wierniej oddawać faktyczne zamiary danego agenta. Faza taktyczna kończy się wybraniem pewnej niewielkiej ilości punktów pośrednich leżących na wyznaczonej ścieżce - ma to na celu ułatwienie agentowi odnalezienie właściwej drogi.

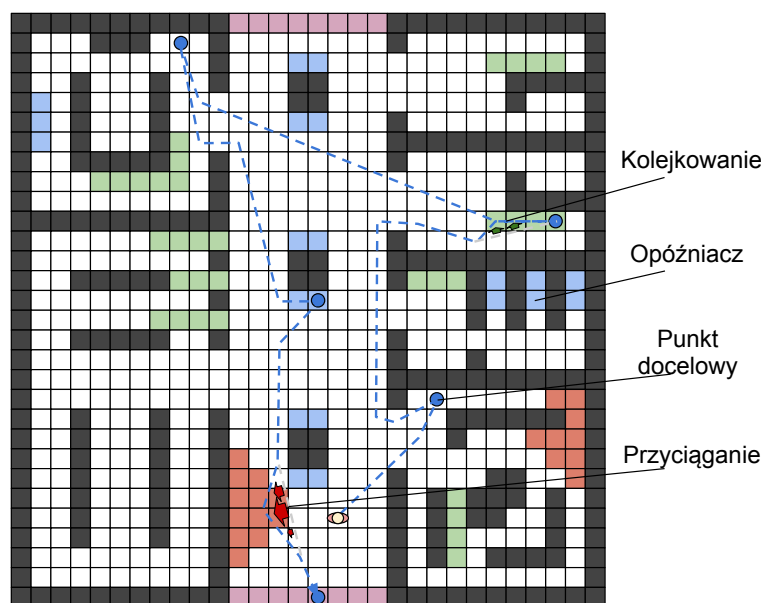
Po wygenerowaniu niezbędnych danych taktycznych przechodzi do fazy operacyjnej, w której następuje właściwe przemieszczanie agentów. W tej fazie dla każdego z agentów rozpatrywane są takie zachowania jak omijanie przeszkód, grupowanie się i podążanie za obroną ścieżką - na podstawie danych z ich lokalnego otoczenia. W przypadku osiągnięcia miejsca docelowego agent zaczyna przemieszczać się w kierunku kolejnego z zaplanowanych celów bądź przechodzi w tryb „błądzenia”, gdy osiągnie ostatni z wyznaczonych celów.

3.1. Faza taktyczna

Faza taktyczna ma na celu oddanie ogólnych zamiarów każdego z klientów co do wizyty w centrum handlowym - wyboru miejsc docelowych oraz obrania drogi prowadzącej po kolei do każdego z nich. Oznacza to, że zachodzi ona globalnie dla każdego z agentów. W fazie taktycznej uwzględniony jest tylko rozkład potencjalnych celów (w tym mapa stref specjalnych), tzn. takie czynniki jak położenie innych agentów (nawet gdy blokują korytarz) nie są brane pod uwagę przy wyznaczaniu ścieżek (Rys. 3.2).

Ścieżki ruchu obliczane są za pomocą algorytmu A^* . Mapa rozkładu stref specjalnych centrum handlowego jest wykorzystywana jako dodatkowa heurystyka A^* - strefy specjalne modyfikują szacowaną ocenę danego punktu należącego do wyznaczonej ścieżki, nadając jej pożądany kształt i prowadząc ją w odpowiedni sposób do celu podróży.

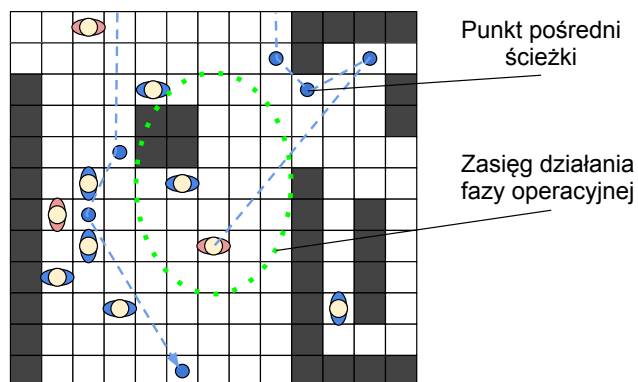
Przy wyznaczaniu ścieżek brane są pod uwagę również atraktory, kolejki i przejścia, które algorytm stara się uwzględnić z pomocą opisanej heurystyki.



Rysunek 3.2: Zakres działania taktycznej części modelu ruchu.

3.2. Faza operacyjna

W fazie operacyjnej dla każdego agenta zostaje podjęta decyzja o jego dalszym ruchu na podstawie danych z jego lokalnego otoczenia (Rys. 3.3) . W szczególności rozpatrywane są warianty uniknięcia ewentualnej kolizji z innymi agentami bądź przeszkodami - w tym celu zastosowano zmodyfikowane algorytmy Ped-4 oraz Social Distances. W niniejszej symulacji pierwszy z nich używany jest do modelowania ruchu ludzi w alejkach i korytarzach (gdyż prowadzi on do samoorganizowania się potoków pieszych w tzw. pasy ruchu), natomiast służy do opisanie ruchu pieszych na placach (gdzie generalnie każdy posiada możliwość swobodnego omijania innych).



Rysunek 3.3: Zakres działania operacyjnej części modelu ruchu.

Algorytm **Ped-4** składa się z następujących etapów:

1. **Dostosowanie kierunku ruchu** - gdy kąt między kierunkiem ruchu, a kierunkiem do celu przekroczy wartość graniczną, pieszy skręca w stronę celu.
2. **Zmiana pasa ruchu** - obliczana jest ilość wolnych pól dla obecnie zajmowanego pasa i dla pasów sąsiednich. Pieszy zajmuje ten pas, który na chwilę obecną umożliwi mu przesunięcie się o największą ilość pól do przodu. Przy wyborze preferowany jest dotychczasowy pas. W przypadku, gdy obecnie zajmowany pas nie jest „czysty” (tzn. z naprzeciwka idzie inny pieszy), aby uniknąć kolizji pieszy stara się „schować” za inną osobą idącą w tym samym co on kierunku.
3. **Krok naprzód** - w przypadku, gdy pole bezpośrednio przed pieszym (zgodnie z kierunkiem ruchu) jest wolne - próba zajęcia go. Jeśli nie jest to możliwe - próba dokonania zamiany miejsca z innym pieszym. Wymiana odzwierciedla sytuację, gdy piesi „skręcają tułowiem”, by „przeciśnąć się” obok siebie. Etap *krok naprzód* powtarzany jest wielokrotnie, dopóki nie skończą się „punkty ruchu” pieszego.

Poniżej zamieszczono preferowaną kolejność dokonywania zamian:

1. między pieszymi idącymi w przeciwnych kierunkach na tym samym pasie
2. między pieszymi idącymi w przeciwnych kierunkach na sąsiednich pasach (na polach po przekątnej)
3. między pieszymi idącymi w kierunkach prostopadłych względem siebie (na polach po przekątnej)
4. między pieszymi idącymi w kierunkach prostopadłych względem siebie (jeden „tarasuje” drugiemu drogę)

Pieszy może wybrać daną możliwość tylko wtedy, gdy jego „partner” do zamiany nie wykonał jeszcze swojego ruchu. Jeśli dana wymiana nie dojdzie do skutku, próbowana jest kolejna opcja z listy (znajduje to potwierdzenie w obserwacjach - w sytuacji dużego tłoku ludzie chętniej dokonują takich manewrów).

Zaproponowany przez Wąsa i in. model **Social Distances** [WGM06] opiera się na obserwacji, że każdy człowiek posiada wokół siebie (głównie przed sobą) tzw. *strefę komfortu*, której naruszenie przez inne osoby prowadzi do dyskomfortu. Oznacza to, że agenci będą poruszać się w taki sposób, by w możliwie jak najmniejszym stopniu naruszać nawzajem swoje strefy komfortu. Aby to osiągnąć na podstawie obszaru poszczególnych stref wyznaczany zostaje swoisty rozkład potencjału, przy czym mając do wyboru kilka możliwych pól agenci przemieszczają się na pole o najmniejszym potencjale. Jeśli w danym momencie brak jest dostępnych pól, pieszy „drepcze” w miejscu w oczekiwaniu na zwolnienie się któregoś z nich.

Bibliografia

- [BT86] A. Borgers and H. Timmermans. A model of pedestrian route choice and demand for retail facilities within inner-city shopping areas. *Geographical Analysis*, 1986.
- [FSE99] Iso/tr 13387-1:1999 fire safety engineering. 1999.
- [Hel92] D. Helbing. A fluid dynamic model for the movement of pedestrians. *Complex Systems*, 1992.
- [HM94] D. Helbing and P. Molánr. Social force model for pedestrian dynamics. 1994.
- [KB04] K. Kitazawa and M. Batty. Pedestrian behaviour modelling - an application to retail movements using a genetic algorithm. 2004.
- [WGM06] J. Wąs, B. Gudowski, and P. Matuszyk. Social distances model of pedestrian dynamics. *Unknown Journal*, 2006.
- [Woo02] M. Wooldridge. *An Introduction to Multiagent Systems*. John Wiley & Sons Ltd, 2002.