

## Spis treści

<b>1. Opis zagadnienia</b>	<b>1</b>
<b>2. Wstęp teoretyczny</b>	<b>1</b>
<b>3. Przyjęty model</b>	<b>5</b>
<b>4. Symulacja problemu - implementacja</b>	<b>7</b>
<b>5. Wyniki symulacji</b>	<b>9</b>
<b>6. Walidacja użytych parametrów</b>	<b>13</b>
<b>7. Wnioski</b>	<b>13</b>
<b>8. Bibliografia</b>	<b>13</b>

### 1. Opis zagadnienia

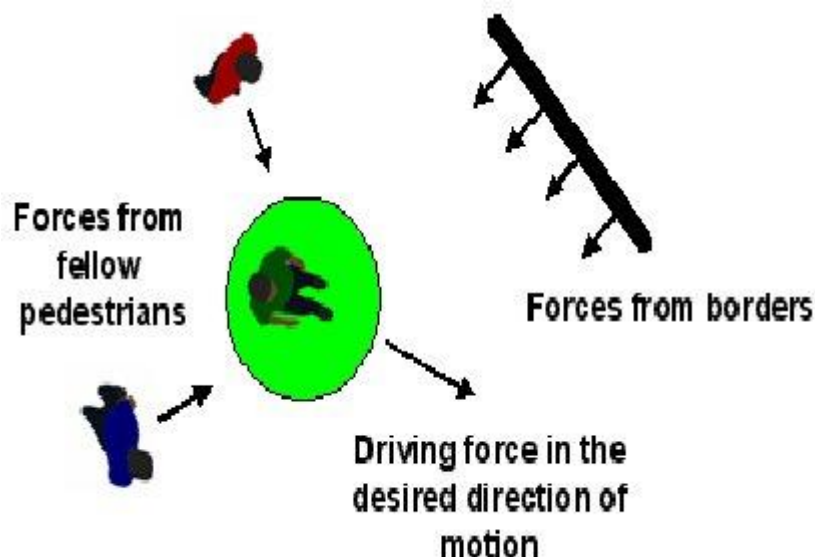
*Crowd pressure* - implementacja przejścia tłumu przez wąskie gardło. Symulacja wykonana przy pomocy modelu Social Force. Zmianę w ciśnieniu obrazują odpowiednie zmiany koloru w wizualizacji pieszych poddanych dużym siłom.

### 2. Wstęp teoretyczny

Wraz ze wzrostem liczby imprez masowych, coraz bardziej popularny staje się temat modelowania ruchu pieszych. Jest on przydatny w wielu dziedzinach takich jak projektowanie budynków, grafika komputerowa, planowanie ruchu robotów czy organizacja dróg. Biorąc pod uwagę, że każdy pieszy ma swój osobny cel podróży, charakter i uwarunkowania kulturowe, przewidywanie ruchu tłumu wydaje się być zbyt trudnym problemem, w rzeczywistości okazuje się to jednak wykonywalne. Początkowo próbowano tego dokonać bezpośrednio obserwując pieszych, fotografie i nagrania z kamer ulicznych. Z czasem jednak skupiono się na modelach symulacyjnych.

Dużą popularnością cieszy się Social Force Model zaproponowany przez Dirka Helbinga i Petera Molnara w 1998. Jest on szeroko badany przez naukowców z całego świata oraz implementowany komercyjnie. Oprócz niego istnieje jeszcze wiele modeli opisujących ruchy pieszych bazując na oddziałujących na nich siłach. Na początku badano głównie symulacje ewakuacji z budynków, by piesi jak najszybciej mogli dostać się do wyjścia.

SFM jest modelem ciągłym i sugeruje, że piesi poddani są siłom socjalnym. Siły te są miarą wewnętrznych motywacji człowieka do wykonywania określonych czynności. Czynniki mające wpływ to m.in. przyspieszenie w kierunku pożądanego celu, zachowanie przestrzeni osobistej czy efekt przyciągania, który zachodzi, gdy pieszy idzie wśród znajomych. Komputerowe symulacje tłumów pokazują, że model odwzorowuje niektóre zachowania pieszych bardzo realistycznie.



Rys. 1: Siły wpływające na pieszego w modelu Social Force.

Istnieje możliwość rozszerzenia modelu o zachowania takie jak wyprzedzanie, czekanie, zwalnianie, unikanie zderzeń, podążanie za kimś, indywidualne preferencje pieszych (jak na przykład chęć poruszania się w grupie) czy dynamiczny wybór trasy na otwartej przestrzeni. Takiej reprezentacji nie można jednak wykorzystać w większych symulacjach komputerowych z powodu złożoności obliczeniowej, która zwiększa się kwadratowo wraz ze wzrostem liczby jednostek.

Zaletą tej metodologii jest duża dokładność symulacji oraz precyzja odwzorowania mikroskopowych oddziaływań między pojedynczymi obiektami a środowiskiem. Do wad do tego podejścia należy relatywnie mała wydajność obliczeniowa i trudności z odwzorowaniem niektórych zdarzeń. Przez wzgląd na wysokie nakłady obliczeniowe metoda ta ma ograniczone możliwości rozwoju co niestety uniemożliwia poczynienie znaczących postępów.



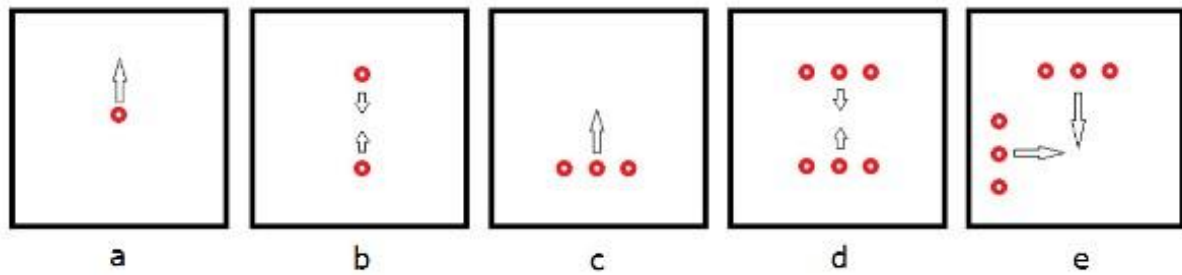
Rys. 1

Rys. 1: Model Social Force umożliwia definiowanie minimalnego dystansu międzyludzkiego dzięki czemu możemy zaobserwować efekt szybciej-znaczy-wolniej. (a) Przedstawia dystans w normalnej sytuacji, wynikiem jest zmniejszony przepływ tłumu przez wąski przesmyk oraz znacznie zmniejszona szansa na fizyczne interakcje. (b) To dystans w sytuacji stresowej czego efektem jest zwiększenie przepływu tłumu oraz zwiększenie szansy na fizyczny kontakt pomiędzy osobami. (c) W tym przypadku dystans interpersonalny jest na tyle mały, że fizyczne interakcje między obiektami powodują ich wzajemne blokowanie co w efekcie uniemożliwia przejście przez drzwi.

Model Social Force nadają się do łączenia z programowaniem agentowym oraz automatami komórkowymi. O ile łączenie tego modelu z klasycznym automatem tj. synchronicznym i homogenicznym nie przynosi dobrych efektów o tyle wykorzystanie tzw. rozszerzonego automatu daje dużo lepsze wyniki. Znacznie bardziej efektywne jest wykorzystanie systemów agentowych, ponieważ pozwalają one na odwzorowanie złożonych interakcji.

Dla modelu Social Force model jednostki ma charakter makroskopowy. To znaczy, że każda osoba reprezentowana jest przez wirtualnego agenta posiadającego indywidualny zestaw zmiennych, które go opisują. Otwarty charakter modelu i możliwość definiowania nowych zachowań pozwala definiować dedykowane zestawy zachowań dla konkretnych scenariuszy. Zachowania te opisane są w taki sposób, aby w jak najlepszym stopniu odwzorować rzeczywiste sposoby przemieszczania się osób. Zatem pod uwagę bierze się rzeczy takie jak: odpowiednie omijanie przeszkód i innych obiektów, wybór odpowiedniej prędkości poruszania się, wyszukanie najlepszej drogi do celu oraz pewne charakterystyczne wzorce. Dzięki temu podejściu możliwe staje się definiowanie zestawów

reguł, które umożliwią symulowanie ruchu osób, które mają różne role w tłumie (dla przykładu: policjant, matka z dzieckiem, dziecko, pojedyncza osoba, grupa znajomych).



Rys. 2

Rys. 2: W pierwszym scenariuszu (a) symulowany jest ruch pojedynczego agenta w ustalonym kierunku. Kolejny przykład (b) obrazuje symulację ruchu 2 agentów, których wektory prędkości mają ten sam kierunek jednak przeciwne zwroty. W związku z czym znajdują się one na ścieżce kolizyjnej. Przykład trzeci (c) obrazuje 3 agentów zgodnie poruszających się w tym samym kierunku. Kolejny rysunek (d) przedstawia ruch 6 agentów, którzy poruszają się w dwóch trzyosobowych grupach. W każdej z tych grup porusza się w taki sam sposób jak agenci w scenariuszu z rysunku b. Ostatni scenariusz obrazuje ruch dwóch trzyosobowych grup, które najdą na siebie pod kątem prostym. Tzn. że kierunki wektorów prędkości tych grup tworzą ze sobą kąt prosty.

### 3. Przyjęty model

Modelem, na którym postanowiliśmy się wzorować jest ten zaproponowany w artykule "How simple rules determine pedestrian behavior and crowd disasters" Moussaïda, Helbinga i Theraulaza. Model ten rozwiązuje część problemów związanych z oryginalnym SFM. Bazuje on na heurystykach behawioralnych.

#### Opis modelu

$i, j$  - pieszy

$W$  - ściana

$x_i$  - wektor pozycji

$v_i$  - wektor prędkości

$m_i$  - masa pieszego

$v_i^0$  - komfortowa prędkość poruszania się pieszego

$O_i$  - cel pieszego

$H_i$  - wektor linii wzroku pieszego

$\phi^\circ$  - kąt widzenia pieszego względem  $H_i$

$\alpha$  - kierunek ruchu  $\in [-\phi, \phi]$

$\alpha_0$  - kierunek do celu pieszego

$\alpha_{des}$  - wybrany kierunek ruchu względem  $H_i$

$v_{des}$  - wybrana prędkość poruszania się

$d_{max}$  - maksymalny zasięg wzroku

$d_h$  - dystans między pieszym a pierwszą przeszkodą

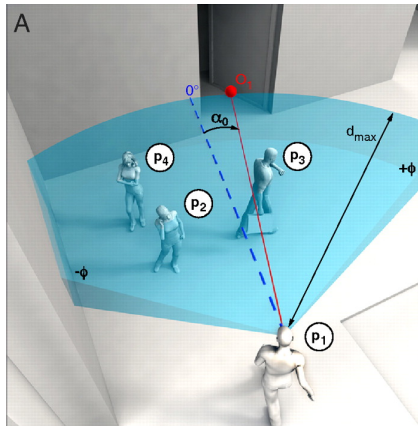
$d(\alpha)$  - dystans do celu  $O_i$

$t$  - czas

$\tau$  - czas relaksacji potrzebny do zmiany zachowania pieszego

$a_i$  - przyspieszenie pieszego

$f(\alpha)$  - dystans do pierwszej kolizji, jeśli pieszy  $i$  porusza się w kierunku  $\alpha$  z prędkością  $v_i^0$ , równy  $d_{max}$  jeśli w kierunku  $\alpha$  nie ma żadnej kolizji



Pierwsza wykorzystana heurystyka: Pieszy wybiera kierunek  $\alpha_{des}$ , związany z jak najbardziej bezpośrednią drogą do celu  $O$ , biorąc pod uwagę możliwe kolizje.

$\alpha_{des}(t)$  jest obliczany przez minimalizację  $d(\alpha)$ :

$$d(\alpha) = d_{max}^2 + f(\alpha)^2 - 2d_{max}f(\alpha)\cos(\alpha_0 - \alpha)$$

Druga wykorzystana heurystyka: Pieszy zachowuje dystans do pierwszej przeszkody na jego drodze, który zapewnia czas do kolizji równy co najmniej  $\tau$ .

$$v_{des}(t) = \min(v_i^0, d_h / \tau)$$

$$a_i = (v_{des} - v_i) / \tau$$

### Efekty kolizji

W przypadku dużego zatłoczenia należy uwzględnić też siły działające na pieszych w związku z bezpośrednim kontaktem fizycznym z innymi ciałami.

$f_{ij}$  - wektor siły zderzenia dwóch pieszych  $i$  oraz  $j$ :

$$f_{ij} = kg(r_i + r_j - d_{ij}) * n_{ij}$$

$k$  - współczynnik skalujący

$g(x) = 0$ , jeśli piesi  $i$  i  $j$  się nie dotykają, w przeciwnym wypadku  $g(x) = x$

$r_i$  - promień reprezentujący ciało pieszego równy  $m_i / 320$

$d_{ij}$  - dystans między środkami ciężkości pie`szych  $i$  i  $j$

$n_{ij}$  - wektor jednostkowy między pieszymi  $i$  i  $j$

$f_{iW}$  - wektor siły zderzenia pieszego oraz ściany:

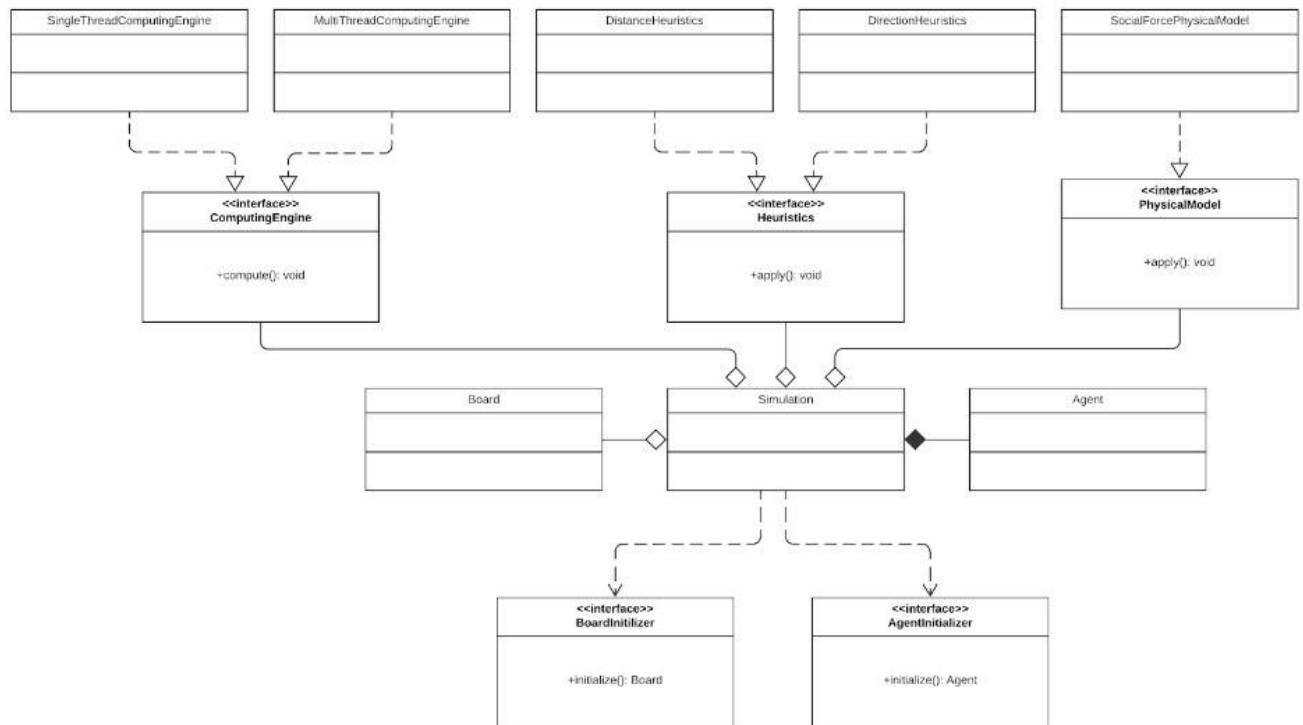
$$f_{iW} = kg(r_i - d_{iW}) * n_{iW}$$

**Na podstawie powyższych równań możemy obliczyć ostateczny wektor przyspieszenia pieszego:**

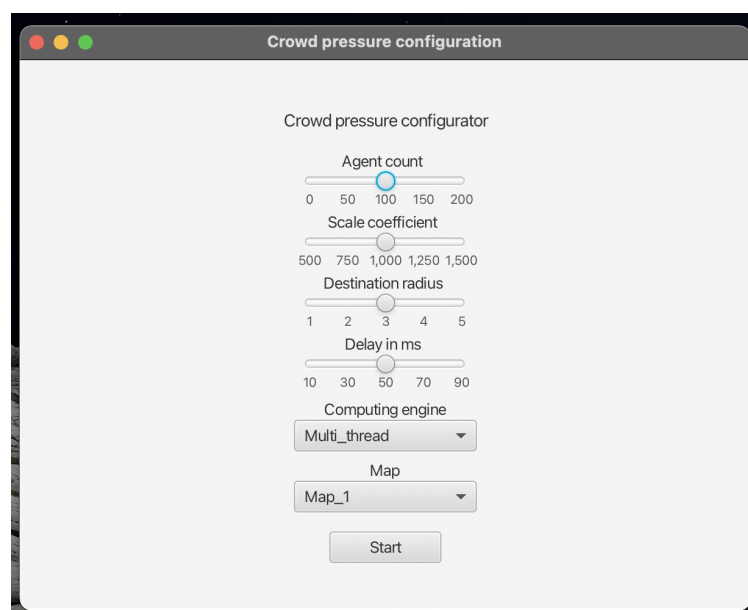
$$a_i = (v_{des} - v_0) / \tau + \sum_j f_{ij} / m_i + \sum_W f_{iW} / m_i$$

## 4. Symulacja problemu - implementacja

Symulacja została zaimplementowana w języku Java. Dzięki zastosowanej architekturze możliwe jest zmienianie parametrów tj. zastosowane heurystyki oraz silnik obliczeń w trakcie trwania symulacji. Poniżej zaprezentowana jest architektura symulacji w postaci diagramu klas UML:



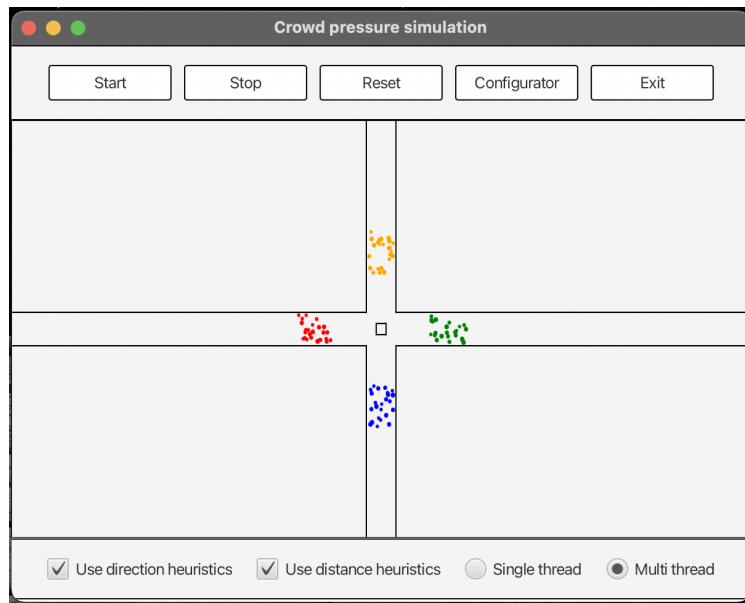
Przed uruchomieniem symulacji musimy odpowiednio ją skonfigurować w oknie konfiguracyjnym wyglądającym w następujący sposób:



Możliwe do konfigurowania parametry to:

- Agent count - ilość agentów w symulacji
- Scale coefficient - współczynnik oddziaływań fizycznych
- Destination radius - promień okręgu do którego dążą agenci
- Delay in ms - czas w ms w co jaki odświeżana jest symulacja
- Computing engine - silnik na którym wykonywane będą obliczenia
- Map - ułożenie ścian oraz agentów

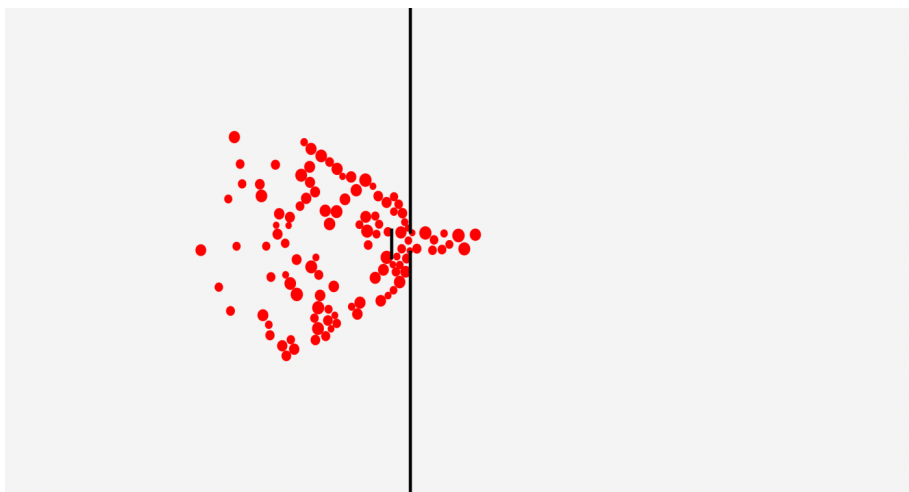
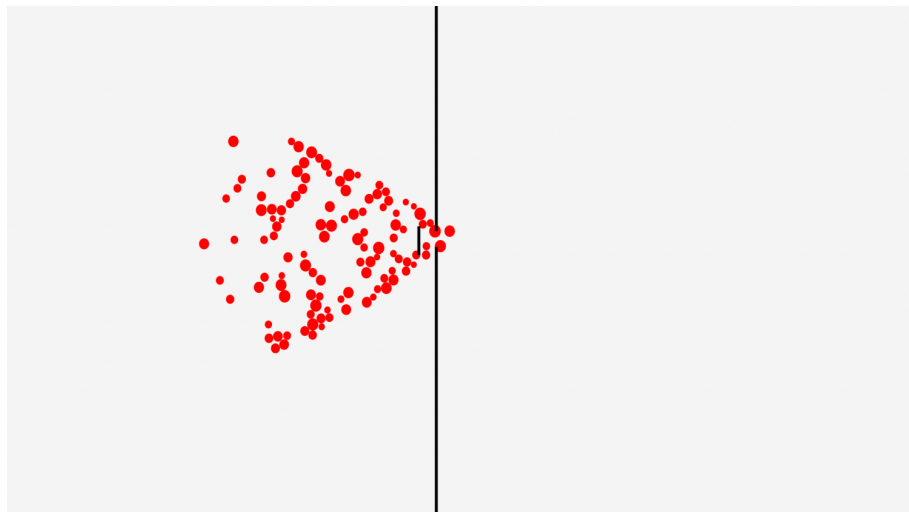
W trakcie trwania symulacji możliwe jest jej zatrzymanie oraz wystartowanie, zresetowanie, wyłączenie i ponowne przejście do okna konfiguracyjnego. Okno symulacji wygląda tak jak poniżej:

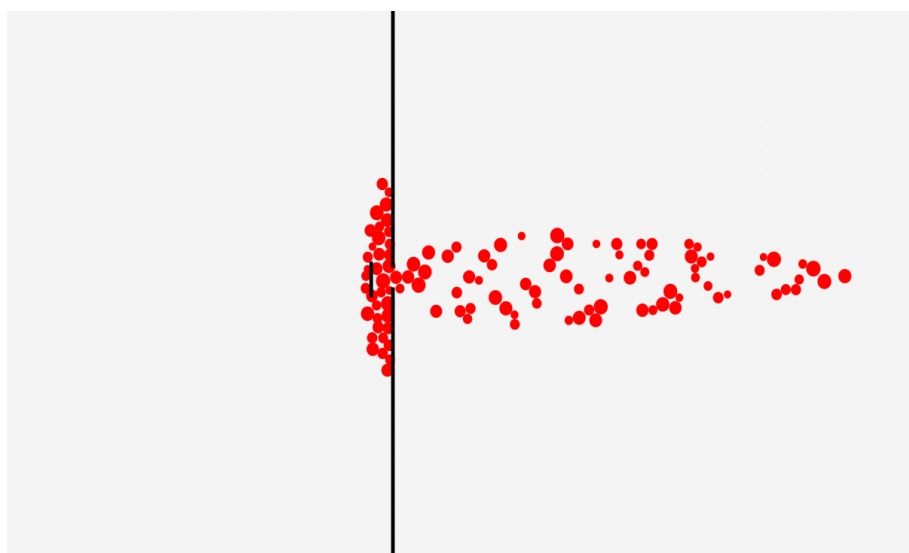
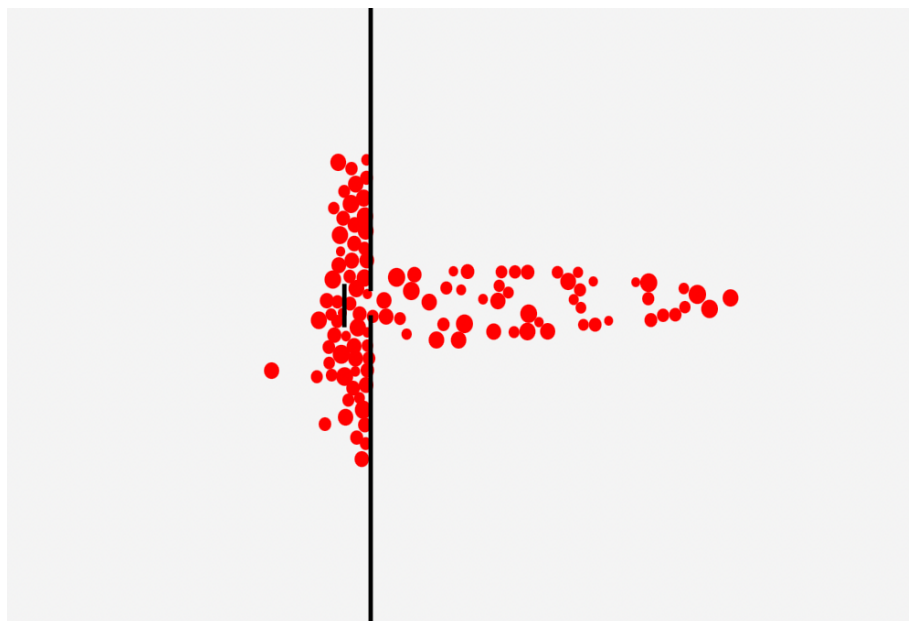




## 5. Wyniki symulacji

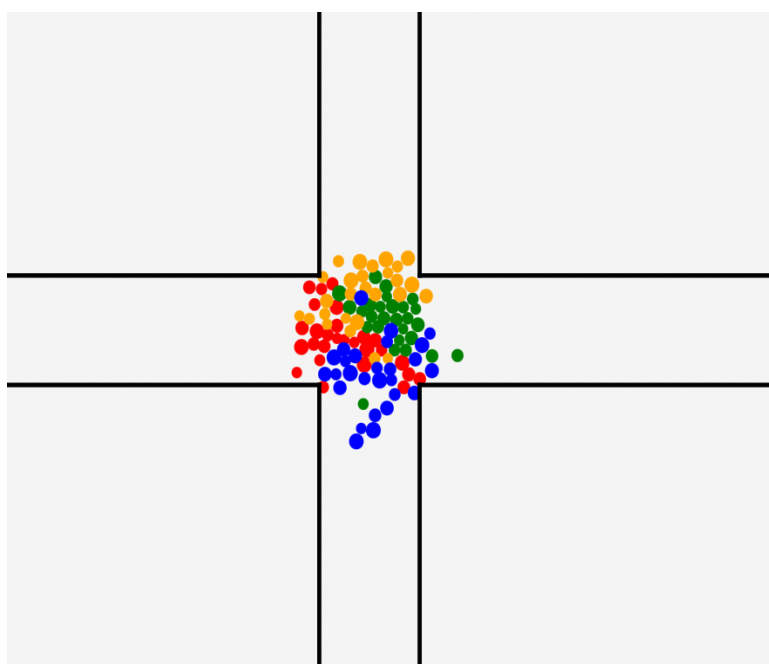
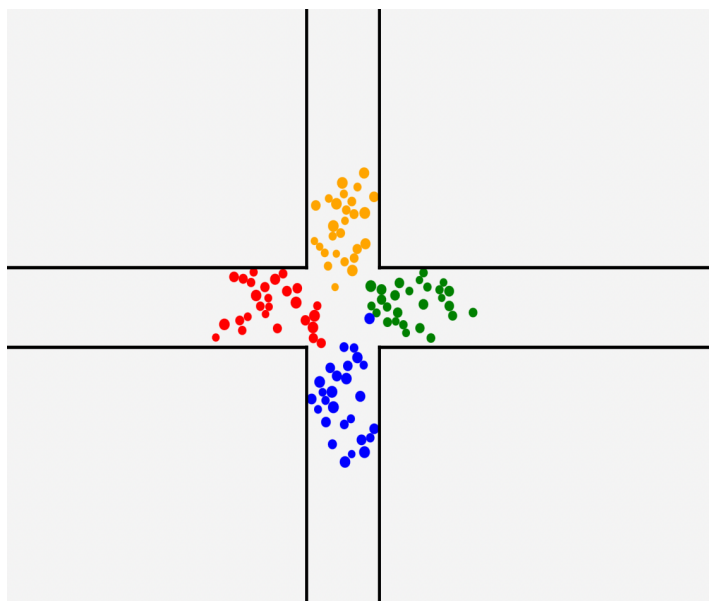
**Wyniki symulacji dla mapy 6 oraz 110 agentów:**

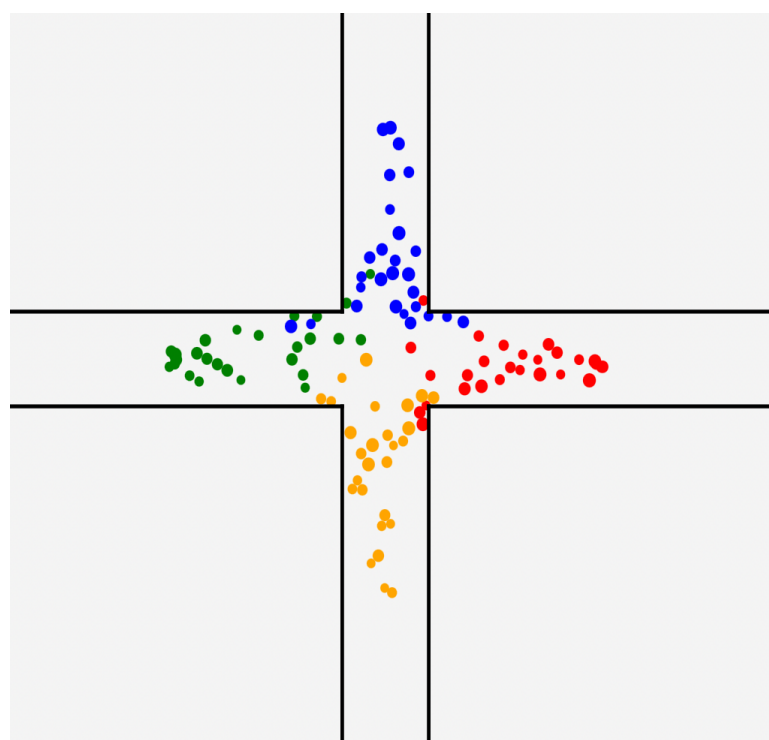
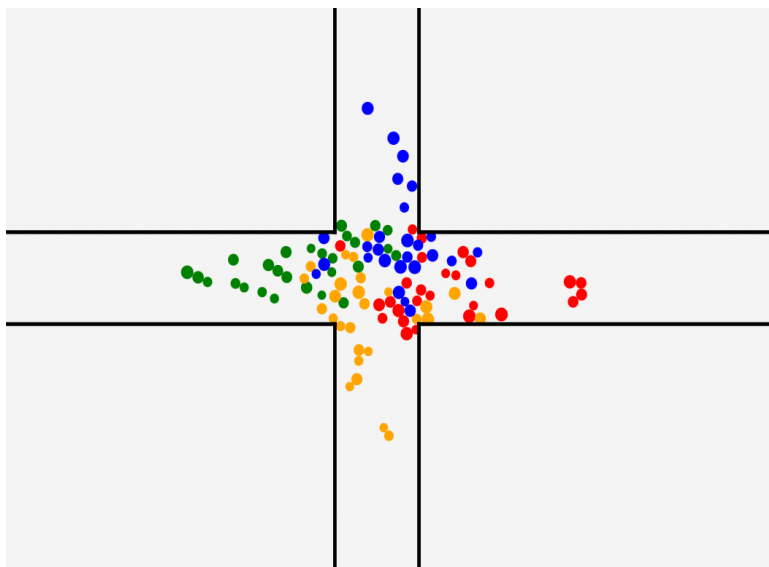




Scenariusz pokazuje poruszanie się grupy ludzi wąskie przejście, przed którym dodatkowo umieszczona barierka. Piesi najpierw omijają barierkę, następnie stopniowo przedostają się przez wąskie gardło. Przed przejściem gromadzi się tłum. Po wydostaniu się z przejścia tłum trochę rozprasza się i kieruje się do wspólnego celu.

**Wyniki symulacji dla mapy 4 oraz 100 agentów:**





Scenariusz przedstawia poruszanie się 4 grup ludzi w korytarzu w kształcie krzyża. Każda z grup chce przedostać się na przeciwną stronę swojego korytarza jednak punkt środkowy stanowi miejsce, w którym wszystkie 4 grupy się spotykają w wyniku czego dochodzi do ich wymieszania. Grupy na krótką chwilę blokują się w tym miejscu, jednak po chwili wszyscy dalej poruszają się w obranym kierunku.

## 6. Walidacja użytych parametrów

Wartości stałych pojawiających w wykorzystanych wzorach oraz implementacji symulacji zostały dobrane na podstawie artykułu "How simple rules determine pedestrian behavior and crowd disasters" Moussaïda, Helbinga i Theraulaza. Następnie były modyfikowane na podstawie własnych obserwacji i empirycznej kalibracji.

Wartości parametrów użytych w symulacji:

$m$ : [50, 100] kg  
 $v_i^0$  - [1.5, 2] m/s  
 $\phi^0$  - [1.2, 1.3] rad  
 $d_{max}$  - [100, 105] m  
 $\tau$  - [0.45, 0.55] s

## 7. Wnioski

Przedstawione przez symulację scenariusze mają odniesienie w życiu codziennym. Pokazują zachowanie pieszych przy ewakuacji z pomieszczenia oraz przy interakcjach z innymi ludźmi oraz z obiektami takimi jak ściany albo barierki. Możemy rozróżniać grupy pieszych na podstawie różnych kolorów i w ten sposób obserwować interakcję między dwoma grupami mającymi np różne cele. Można zaobserwować efekt wąskiego gardła. Drzwi spowalniają ruch pieszych i powodują ich nagromadzenie w jednym miejscu. Można zauważyć *freezing by heating* - zależność ta polega na blokowaniu przejścia, gdy tłum zbyt mocno na nie napiera, piesi znacznie zwalniają, gdy napotykają tłok.

## 8. Bibliografia

- <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1016507108>
- [https://www.researchgate.net/publication/303302099\\_Understanding\\_Social-Force\\_Model\\_in\\_Psychological\\_Principles\\_of\\_Collective\\_Behavior](https://www.researchgate.net/publication/303302099_Understanding_Social-Force_Model_in_Psychological_Principles_of_Collective_Behavior)
- <https://www.ijert.org/crowd-management-social-force-model-2>
- [https://www.researchgate.net/publication/354857367\\_Deep\\_Social\\_Force](https://www.researchgate.net/publication/354857367_Deep_Social_Force)
- [https://www.researchgate.net/publication/1947096\\_Social\\_Force\\_Model\\_for\\_Pedestrian\\_Dynamics](https://www.researchgate.net/publication/1947096_Social_Force_Model_for_Pedestrian_Dynamics)
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915033864>
- [https://www.researchgate.net/publication/228919806\\_Passenger\\_and\\_Pedestrian\\_Modelling\\_at\\_Transport\\_Facilities](https://www.researchgate.net/publication/228919806_Passenger_and_Pedestrian_Modelling_at_Transport_Facilities)