

# Crowd Pressure w oparciu o model Social Force

Jakub Żołnacz, Karol Piwnicki, Wojciech Łupina

Grudzień 2018

## Contents

<b>1</b>	<b>Wprowadzenie</b>	<b>2</b>
1.1	Opis problemu/zagadnienia . . . . .	2
1.2	Potencjalne możliwości rozwiązania - analiza wstępna . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Przegląd literatury</b>	<b>2</b>
2.1	Rozważania teoretyczne . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Proponowany model zjawiska</b>	<b>4</b>
3.1	Stosowane podejście i literatura . . . . .	4
3.2	Cele modelu . . . . .	4
3.3	Założenia algorytmiczne . . . . .	5

# 1 Wprowadzenie

## 1.1 Opis problemu/zagadnienia

Crowd pressure oznacza sytuację, w której w ograniczonej przestrzeni znajduje się tłum, który próbuje stamtąd wyjść. Wąskie przejścia powodują duże ciśnienia w tłumie. Jest to problematyczna kwestia, ponieważ przy tych wąskich przejściach często dochodzi do sytuacji, gdzie ruch jest mały. Istnieją różne warianty przestrzeni, takie jak: przejście z kolumna redukująca siły po środku, przejście przez wąskie drzwi między dwoma pomieszczeniami, itp.

## 1.2 Potencjalne możliwości rozwiązania - analiza wstępna

Modelem do tego problemu mógłby być taki, w którym pieszy podejmuje decyzję, w którym kierunku ma iść głównie na podstawie tego, co w danej chwili widzi, ale także innych bodźców, jak słuch. Na podstawie bodźców wybiera drogę taką jak większość lub taką, która mógłby najszybciej dojść do celu.

# 2 Przegląd literatury

## 2.1 Rozważania teoretyczne

Zachowanie się tłumu jest zjawiskiem złożonym. Często w dużych skupiskach ludzi, np.: podczas imprez masowych, dochodzi do licznych sytuacji stykowych, a w obliczu zagrożenia, takie nagromadzenie ogarniętych paniką uciekinierów może doprowadzić do katastrofy. Ruch każdego człowieka będącego składową tłumu, który np.: próbuje wydostać się z płonącego budynku, może na pozór wydawać się chaotyczny[5]. Jednak dzięki zgromadzonym danym, a także przeprowadzonym eksperymentom o różnym poziomie zaawansowania (od prostych badań zachowania pojedynczych osób zmierzających w przeciwną stronę, aż po sprawdzanie reakcji i oddziaływań w licznych tłumie) opracowano modele, które pomagają przewidzieć zachowanie tłumu. Zaskakujące może być występowanie mocnych analogii takich zachowań do zachowania się cieczy, bądź gazu [4]. Tworzenie takich modeli pomaga przystosować miejsca publiczne oraz imprezy masowe tak, aby były jak najbezpieczniejsze dla ludzi tam przebywających w razie potencjalnego zamieszania.

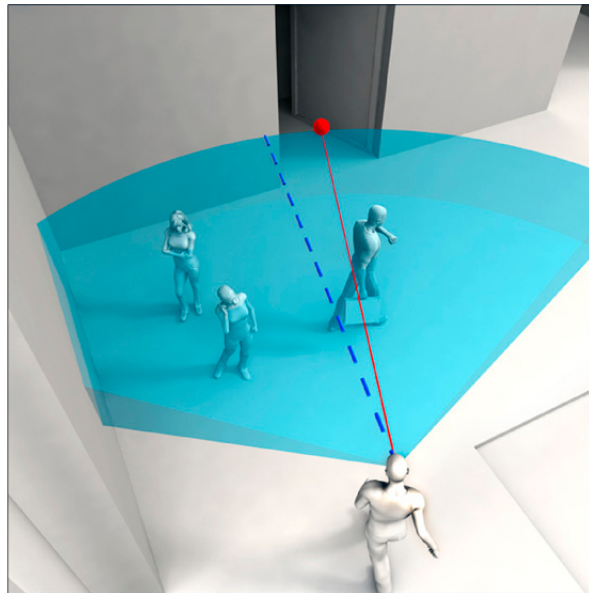
Niektóre modele fizyczne, choć dobrze oddają istotę problemu rozważań, a także dobrze je opisują, mają niestety swoje wady. Często opierają się na stosunkowo skomplikowanych wzorach, które są trudne do kalibracji[8]. Dodatkowo bazują one na relacjach binarnych, pomiędzy poszczególnymi składowymi tłumu [2], co sprawia, że przy odpowiedniej ilości tych składowych, złożoność obliczeniowa takich modeli potrafi być bardzo duża. [9]

Bardzo popularnym podejściem do zagadnienia crowd pressure jest model Social Force. Każdy człowiek jest tu traktowany jako punktowa cząstka, która może oddziaływać z innymi cząstkami bądź przeszkodami siłami przyciągania

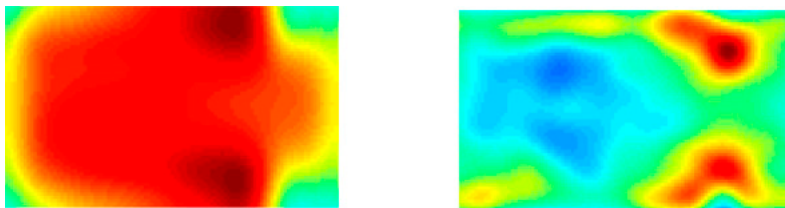
lub odpychania, stąd właśnie pochodzi nazwa tego modelu. Zakłada on, że każda jednostka chce dotrzeć do swojego celu najkrótszą możliwą drogą, poruszając się z odpowiednią dla siebie prędkością domyślną, a na ich ruch wpływać mogą inne jednostki oraz obiekty. Niektóre mogą odpychać, a inne przyciągać (co w tym modelu zwane jest atrakcyjnością). Każda jednostka chce zachować odpowiednią odległość [1] od innych jednostek i przeszkód [6], taka aby nie naruszała one jego sfery prywatności. [10]

Inny model prezentujący problem zachowania tłumu jest oparty o podejście do ruchu i przeszkód z perspektywy uczestnika ruchu. Zakłada on, że najważniejszym źródłem informacji, na bazie którego człowiek podejmuje w takiej sytuacji decyzje jest zmysł wzroku [7]. Jednostka jest opisana za pomocą następujących parametrów: obecnego położenia, prędkości, masy, lokalizacji docelowej, prędkości docelowej oraz zbioru kierunków w jakie może podarzać. Zbiór ten podyktowany jest zasięgiem wzroku jednostki. Dodatkowo, w sytuacjach stykowych może dochodzić do innych nieprzewidzianych przemieszczeń spowodowanych próbą dostosowania się jednostki do sytuacji bądź oddziaływaniem z innymi jednostkami. [9]

Poniższe zdjęcie przedstawia wyżej opisane podejście. Czerwona kropka to cel jednostki, czerwona linia to najkrótsza możliwa droga, natomiast niebieski obszar, to pole widzenia. [9]



Grafiki widoczne poniżej przedstawiają charakterystykę burzliwości przepływu przez wąskie gardło (1 grafika), a także ryzyko upadku w poszczególnych miejscach (2 grafika). [9]



Grafiki te pokazują jak ważne jest badanie zjawiska Crowd Pressure. Wspomniane wcześniej kontrolowane eksperymenty, a także dane zgromadzone na podstawie obserwacji prawdziwych wypadków pozwalają przeprowadzić analizy, których wnioskami są takie właśnie obrazy, które mogą dostarczyć przeciętnej jednostce informacji, jakie zachowanie może jej ocalić życie, a architektom i inżynierom zaproponować rozwiązania, które ułatwią ewakuację i zredukują zagrożenie tragedią. Jednym z takich rozwiązań ustalonych drogą eksperymentalną jest rozmieszczenie kolumn w korytarzu ewakuacyjnym, co redukuje siłę naporu wewnątrz tłumu. [3]

### 3 Proponowany model zjawiska

#### 3.1 Stosowane podejście i literatura

W celu zrozumienia i implementacji symulacji zachowania tłumu w różnych sytuacjach, oprzemy się o model przedstawiony w artykule "How simple rules determine pedestrian behavior and crowd disasters" M. Moussaïd, D. Helbing, G. Theraulaz. Są w nim zawarte wartościowe informacje teoretyczne i rozwiązania algorytmiczne, na których będziemy opierać się podczas pracy nad projektem.

#### 3.2 Cele modelu

Model symulacji wymaga zdefiniowania wejść i wyjść, które będą przetwarzane przez aplikację. Opisujemy je poniżej:

##### Wejścia

- Ludzie
  - Pozycja startowa
  - Masa
  - Prędkość normalna
  - Kąt widzenia
  - Zasięg widzenia

- Czas relaksacji
- Destynacja
- Przeszkody
  - Pozycja
  - Długość

### Wyjścia

- Wizualizacja drogi przebytej przez człowieka z punktu startowego do destynacji
- Wizualizacja zageszczenia i tworzenia się tłumu w wąskich gardłach
- Wizualizacja rozładowywania się tłumów i zageszczeń z wąskich gardeł
- Długość trasy przebytej przez każdego człowieka
- Czas, w którym człowiek przeszedł trasę

### 3.3 Założenia algorytmiczne

W celu implementacji symulacji, potrzebne są skomplikowane obliczenia matematyczne oparte na zmiennych definiujących zmiany w modelu. Poniżej wypisujemy wzory, z których będziemy korzystać przy opracowywaniu silnika poruszania się ludzi i ich kolizji:

- Funkcja określająca odległość człowieka od przeszkody:

$f(\alpha)$ , zwraca  $d_{max}$  gdy brak przeszkód w zasięgu wzroku

- Przyspieszenie człowieka:

$$\frac{dv_i}{dt} = \frac{v_{des} - v_i}{r}$$

- Predkość pożądana:

$$v_{des}(l) = \min(v_{0i}, \frac{d_h}{r})$$

- Algorytm na wyliczenie kierunku ruchu człowieka:

$$\begin{aligned} d_{max} &= H_i \\ d(\alpha) &= d_{max}^2 + f(\alpha)^2 - 2d_{max}f(\alpha)\cos(\alpha_0 - \alpha) \\ \alpha_{des} &= \min(d(\alpha)) \end{aligned}$$

- Siła kolizji między ludźmi:

$$f_{ij} = kg(r_i + r_j - d_{ij})\vec{n}_{ij}, \text{ gdzie } g(x) = 0 \text{ gdy brak kolizji, a } g(x) = x, \text{ gdy wystąpi kolizja}$$

- Siła kolizji człowieka z przeszkodą:

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

- Przyspieszenie końcowe

$$\frac{dv_i}{dt} \hat{i} = \frac{(v_{des} - v_i)}{\gamma_i} + \sum_{i,j} \frac{f_{ij}}{m_i} + \sum_W \frac{f_{iW}}{m_i} + \xi$$

### Legenda zmiennych

$m_i$  - masa człowieka  $i$ ,  $r_i$  - promień,  $t$  - czas,  $x_i$  - pozycja,  $v_{0i}$  - predkość normalna człowieka,  $v_i$  - predkość człowieka,  $\alpha \in [-\phi; +\phi]$ - kierunek,  $H_i$  - Zasięg wzroku człowieka,  $d_{max}$  - Maksymalna widzana odległość,  $d_h$  - odległość między człowiekiem a przeszkodą,  $n_{ij}$  - wektor między ludźmi  $i, j$ ,  $d_{ij}$  - odległość między ludźmi (ich środkami mas),  $d_{iW}$  - odległość między człowiekiem a ścianą,  $k$  - współczynnik skali,  $\gamma$  - czas relaksacji

## References

- [1] Johansson A. “Constant-net-time headway as a key mechanism behind pedestrian flow dynamics”. In: (2009).
- [2] Steffen B. “A modification of the social force model by foresight”. In: (2008).
- [3] Tamás Vicsek Dirk Helbing Illés Farkas. “Simulating Dynamical Features of Escape Panic”. In: ().
- [4] D. Helbing. “Complex Systems 6”. In: (1992).
- [5] Dirk Helbing and Péter Molnár. “Social Force Model for Pedestrian Dynamics”. In: *Physical review. E, Statistical physics, plasmas, fluids, and related interdisciplinary topics* (1998).
- [6] “Highway Capacity Manual”. In: *Transportation Research Board, Special Report 209* (1985).
- [7] Gibson JJ. “Visually controlled locomotion and visual orientation in animals”. In: (1958).
- [8] Moussaïd M. “Experimental study of the behavioural mechanisms underlying self-organization in human crowds.” In: (2009).
- [9] Guy Theraulaz Mehdi Moussaïd Dirk Helbing. “How simple rules determine pedestrian behavior and crowd disasters”. In: ().
- [10] E. Scheffen and N. Ashcraft. “Human Territories: How We Behave in Space-Time”. In: (1976).