

Crowd Pressure

Maria Mamica, Agnieszka Pękała i Karolina Tytko

semestr zimowy 2018/2019

Spis treści

1	Opis zagadnienia	1
2	Wstęp teoretyczny	1
3	Zaproponowany model	2
3.1	Opis i wyznaczanie rozpatrywanych sił	2
3.2	Wyjaśnienie oznaczeń	3
4	Implementacja aplikacji	3
4.1	Architektura i użyte klasy	3
4.2	Walidacja użytych parametrów	5
5	Podsumowanie	6
5.1	Instrukcje dla użytkownika	6
5.2	Wnioski	9
5.3	Możliwe udoskonalenia	9

1 Opis zagadnienia

Zadanie polegało na implementacji przejścia tłumu przez wąskie gardło np. bramki. Symulacja wykonana została przy pomocy modelu Social Force. Zmianę w ciśnieniu obrazują odpowiednie zmiany koloru w wizualizacji pieszych poddanych dużym siłom (wyliczanym z Social Force). Testowanych jest kilka prostych scenariuszy obejmujących barierki czy kolumnę redukującą siły.

2 Wstęp teoretyczny

Modelowanie i analiza ruchu pieszych jest kluczowym czynnikiem zarówno planowania architektury budynków, organizacji dróg, rozmieszczenia obiektów na imprezach masowych, jak i projektowania systemów będących silnikiem ruchu robotów czy wielu innych pozornie niezwiązanych dziedzin. Mimo indywidualnych preferencji pieszych wynikających z ich charakteru, środowiska, w którym się znajdują czy specyficznych zachowań kulturowych [1] oraz destynacji do których dążą, ruch tłumu jest zadziwiająco przewidywalny [2].

Model *Social Force*, na którym opieramy naszą symulację został po raz pierwszy zaprezentowany przez Dirka Helbinga oraz Petera Molnara w latach 90. ubiegłego wieku. Od tego czasu został wielokrotnie zmodyfikowany przez naukowców z całego świata, którzy dopasowują jego działanie i parametry, by zwiększyć dokładność zachodzących zjawisk - np. poprzez uwzględnienie sił odpowiadających za przynależność jednostki do grupy czy zainteresowanie pieszego wystawą sklepową, co może znacznie zmienić zarówno kierunek, w którym się porusza oraz szybkość.

Mimo powszechnej akceptacji modelu w środowisku naukowym, spotyka się on często z krytyką zarówno ze względu na zastosowanie „dynamiki molekularnej” będącej uproszczeniem świata rzeczywistego, jak i częściowego braku pokrycia z podstawami psychologii [7]. Modyfikacja w wykonaniu Vicseka oraz Farkasa usprawiedliwia częściowo te zarzuty, broniąc się chęcią stworzenia przystępnego, a zarazem spójnego modelu matematycznego, pozwalającego opisać zjawiska fizyczne zachodzące w tłumie [3]. Ich praca dotyczy zarówno sytuacji bezstresowych, jak i scenariuszy, które uwzględniają panikę tłumu, stając się tym samym uniwersalną formułą o wielu zastosowaniach. Ten właśnie model, stał się fundamentem do stworzenia naszej symulacji.

3 Zaproponowany model

3.1 Opis i wyznaczanie rozpatrywanych sił

Model sił działających na i -tego pieszego można przedstawić za pomocą poniższej sumy [3]:

$$f_i(t) = f_i^{acc}(t) + \sum_{j(\neq i)} (f_{ij}^{soc}(t) + f_{ij}^{att}(t) + f_{ij}^{ph}) + \sum_b f_{ib}(t) + \sum_k f_{ik}^{att}(t) \quad (1)$$

gdzie:

- $f_i^{acc}(t)$ - wyrażenie przyspieszające pokazujące adaptację prędkości aktualnej do pożądaney.

Wyznaczenie siły [3][5]: $f_i^{acc}(t) = \frac{v_i^0(t)e_i^0(t) - v_i(t)}{\tau_i}$

- $f_{ij}^{soc}(t)$ - odpychająca siła typu *social force*. Opisuje tzw. „efekt terytorialny” i dystans zachowany przy interakcji z nieznanymi pieszymi.

Wyznaczenie siły [3]: $f_{ij}^{soc}(t) = A_i \exp\left(\frac{r_{ij} - d_{ij}}{B_i}\right) \mathbf{n}_{ij} \left(\lambda_i + (1 - \lambda_i) \frac{1 + \cos(\varphi_{ij})}{2}\right)$

Ponieważ zaprezentowany przez nas model podlega trzeciej zasadzie dynamiki Newtona, przyjmujemy, że $\lambda_i = 0$.

- $f_{ij}^{att}(t)$ - przyciągająca siła typu *social force*, która działa gdy pieszy idzie wśród znajomych. Zaprezentowany przez nas model nie uwzględnia przynależności do grupy, stąd $f_{ij}^{att}(t) = 0$.

- f_{ij}^{ph} - siła określająca fizyczną interakcję z sąsiadem (w naszym modelu: kiedy suma promieni agentów jest nie większa od odległości między ich środkami mas). Dzieli się ona na *body force* przeciwdziałając sile naciskającej na ciało oraz na *sliding friction force* pokazującej tarcie między pieszymi.

Wyznaczenie siły [3][4]: $f_{ij}^{ph} = f_{ij}^{body} + f_{ij}^{slidingfriction}$

$$f_{ij}^{body} = kg(r_{ij} - d_{ij})\mathbf{n}_{ij}$$

$$f_{ij}^{slidingfriction} = \kappa g(r_{ij} - d_{ij})\Delta v_{ji}^t \mathbf{t}_{ij}$$

- $f_{ib}(t)$ - siła określająca interakcję pieszego ze ścianą. Dzieli się na *body force* oraz *sliding friction force*.

Wyznaczenie siły [3][1][5]: $f_{ib}(t) = f_{ib}^{body} + f_{ib}^{slidingfriction}$

$$f_{ib}^{body} = A_i \exp\left(\frac{r_i - d_{ib}}{B_i} + kg(r_i - d_{ib})\right)\mathbf{n}_{ib}$$

$$f_{ib}^{slidingfriction} = \kappa k \eta (r_i - d_{ib}) \mathbf{t}_{ib}$$

- f_{ik}^{att} - siła pokazująca zainteresowanie pieszego bodźcami zewnętrznymi (np. witryna sklepowa, reklama etc.). Rozpatrywany przez nas model nie uwzględnia ciał innych niż piesi oraz ściany, stąd $f_{ik}^{att} = 0$.

3.2 Wyjaśnienie oznaczeń

W poniższej tabeli przedstawiamy wyjaśnienie oznaczeń użytych zarówno w powyższych wzorach, jak i przy implementacji symulacji.

Ich znajomość jest kluczowa do zrozumienia działania symulacji.

oznaczenie	nazwa
m_i	masa pieszego
τ_i	czas relaksacji pieszego
r_i	promień pieszego
d_{ij}	odległość od środków masy pieszych i oraz j
k	współczynnik sprężystości pieszego
v_i^0	pożądana szybkość pieszego
v_{max}	maksymalna szybkość pieszego
\mathbf{v}_i	prędkość właściwa pieszego
\mathbf{e}_i^0	kierunek, w którym podąża pieszy
A_i	współczynnik nasilenia interakcji
B_i	współczynnik sił odpychających
φ_{ij}	kąt pomiędzy $\mathbf{e}_i(t)$, a $-\mathbf{n}_{ij}(t)$
$g(x)$	funkcja działająca jak $\max(0, x)$
κ	współczynnik siły tarcia
\mathbf{n}_{ij}	znormalizowany wektor prowadzący od środka masy j do i
\mathbf{t}_{ij}	wektor styczny do \mathbf{n}_{ij} ; $\mathbf{t}_{ij} = (-\mathbf{n}_{ij}^2, \mathbf{n}_{ij}^1)$
Δv_{ji}^t	wektor styczny do różnicy prędkości; $\Delta v_{ji}^t = (\mathbf{v}_j - \mathbf{v}_i) \cdot \mathbf{t}_{ij}$

4 Implementacja aplikacji

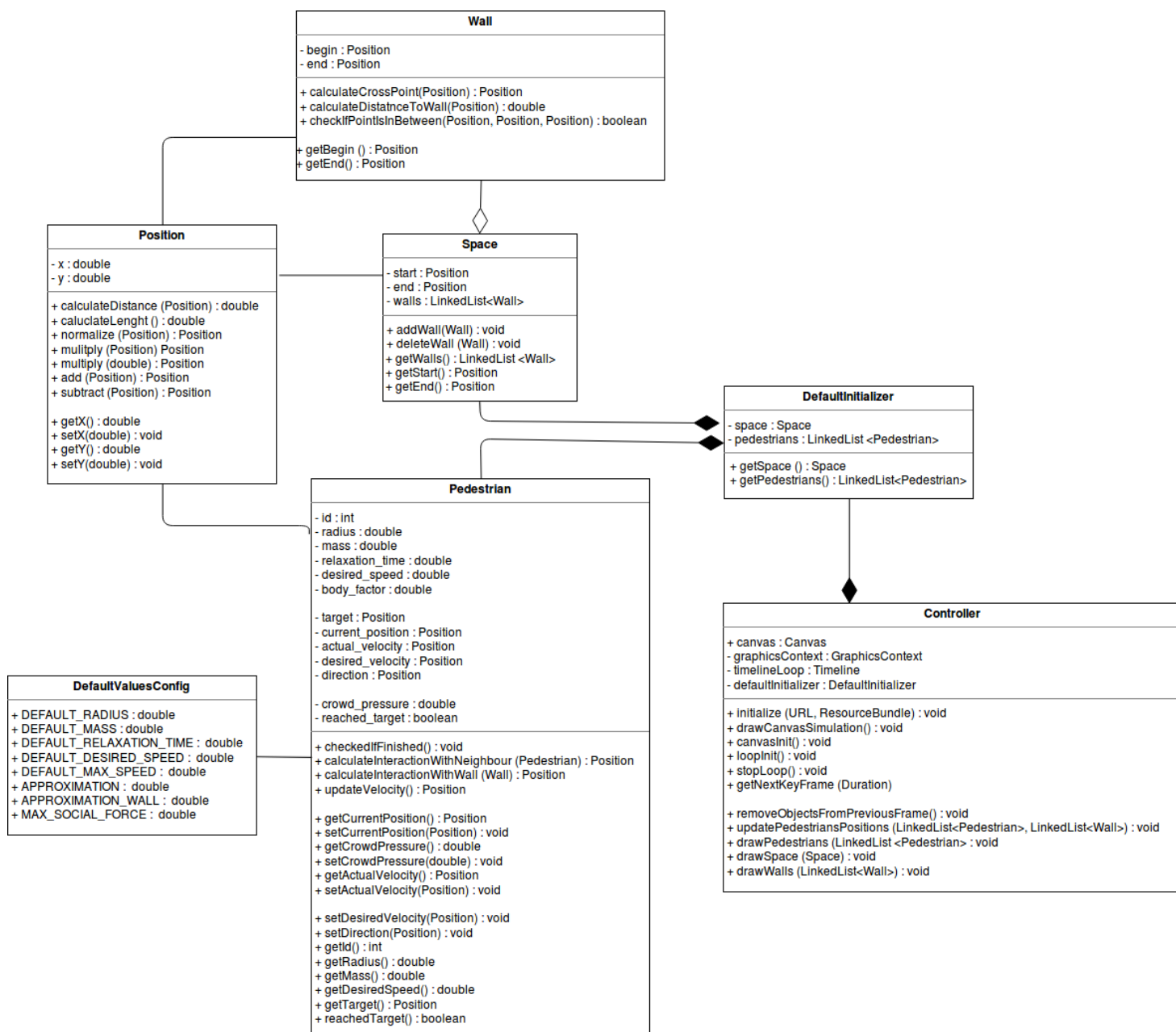
4.1 Architektura i użyte klasy

Symulacja została w całości zaimplementowana przy użyciu języka programowania **Java** ze względu zarówno na jego obiektowy charakter, pozwalający na obsługę paradygmatu *Object-Oriented Programming* i traktowanie pieszych jako instancje zadeklarowanych klas, jak i z powodu prostoty składni.

Do stworzenia interfejsu graficznego użyto platformy **JavaFX**, która oferuje szeroką gamę nieskomplikowanych w użyciu komponentów.

Krótki opis funkcjonalności wykorzystanych klas:

1. **Controller** - odpowiada za zarządzanie aplikacją. Zajmuje się on m.in. wywołaniem funkcji:
 - renderujących scenę (np. drawSpace(...) czy drawPedestrians(...)),
 - aktualizujących stan aktorów (np. updatePedestriansPositions(...)).
2. **DefaultInitializer** - jest polem Controllera. Zawiera w sobie informację o przestrzeni symulacji Space oraz o biorących w niej udział aktorach Pedestrian. Dane zawarte w tej klasie definiują wybrany scenariusz symulacji (zderzenie dwóch grup aktorów, przejście przez wąskie gardło etc.)
3. **Space** - jest polem DefaultInitializer'a. Mówi o wielkości przestrzeni symulacji oraz o rozmieszczeniu ścian.
4. **Wall** - definiuje położenie poszczególnych ścian. Umożliwia obliczenie odległości punktu od ściany, znalezienia rzutu prostokątnego punktu na prostą, oraz sprawdzenia, czy rzut znajduje się pomiędzy końcami danego odcinka.
5. **Pedestrian** - opisuje stan pojedynczego aktora. Pozwala na wyliczenie sił działających na pieszego (interakcja z sąsiadami oraz z otaczającymi go ścianami), które są kluczowym elementem przy wyznaczaniu prędkości, przyspieszenia oraz położenia pieszego.
6. **Position** - klasa opisująca pozycję/punkt na płaszczyźnie. Używana jest również do opisu wektorów (wektory traktowane są jako wektory wodzące - wówczas punkt klasy Position pokazuje, gdzie znajduje się grot strzałki wektora).
7. **DefaultValuesConfig** - klasa udostępnia statyczne pola typu final, które w większości opisują domyślnie wartości atrybutów klasy Pedestrian.



Rysunek 1: Diagram Klas

4.2 Walidacja użytych parametrów

Wartości stałych pojawiających się w wykorzystanych wzorach (a co za tym idzie - również w implementacji symulacji) zostały w większości dobrane na podstawie artykułu *Modifications of the Helbing-Molnar-Farkas-Vicsek Social Force Model for Pedestrian Evolution* [1], *Social Force Model for Pedestrian Dynamics* [6] jak i własnych obserwacji i empirycznej kalibracji.

Poniższa tabela prezentuje wartości parametrów użytych w symulacji.

symbol	wartość parametru
r	0.35
m	60
τ	0.5
v_0	1.34
v_{max}	1.7
k	24000
A	$\frac{-mv_0}{\tau} = 160.8$
B	$\{1, 5\}$
κ	1

Wartości podane zostały w jednostkach SI. Dodatkowo, by móc zwizualizować efekty symulacji, został użyty współczynnik powiększenia (równy 25), aby promień pieszego stał się na tyle duży, by był widoczny w renderowanej scenie.

5 Podsumowanie

5.1 Instrukcje dla użytkownika

Aplikacja oferuje przetestowanie kilku scenariuszy:

1. Grupa idąca w jednym kierunku, brak ścian
2. Dwie grupy idące w przeciwnym kierunku, brak ścian
3. Dwie grupy idące w przeciwnym kierunku, ściana z przejściem
4. Grupa wychodząca z pomieszczenia
5. Grupa wychodząca z pomieszczenia, barierka przy wyjściu
6. Grupa wychodząca z pomieszczenia, wyjście „tunelowe”

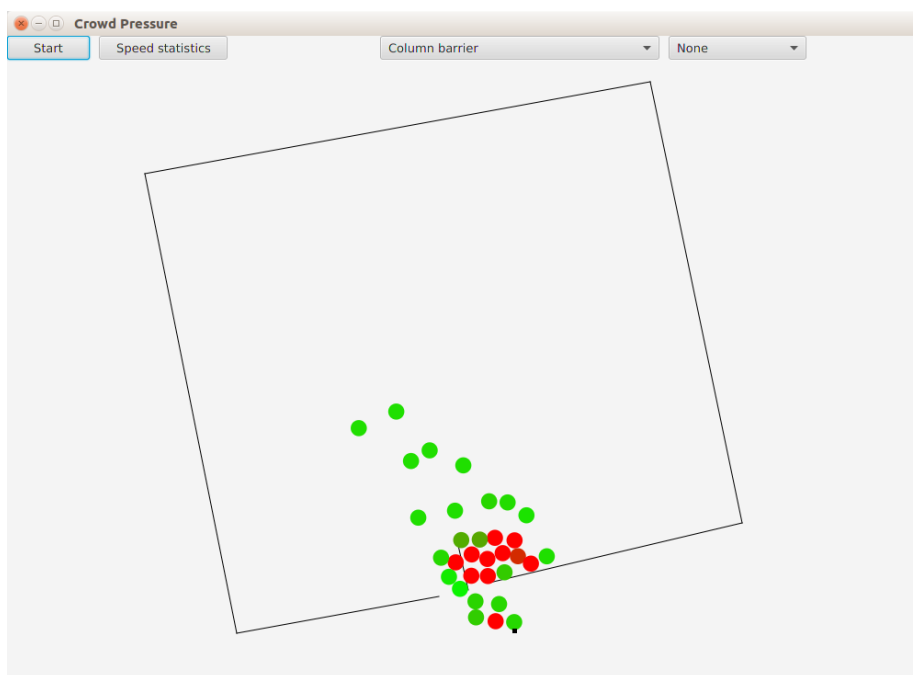
Wybór scenariusza odbywa się poprzez wybranie odpowiedniej wartości z rozwijanego menu na górze ekranu. Dodatkowo, użytkownik może wybrać pieszego, którego trajektoria będzie rysowana na animacji (Opcja: *Mark Trajectory*).

Możliwe jest wyświetlenie **statystyk** w terminalu, na temat szybkości poruszania się pieszych (szybkość średnia, minimalna oraz maksymalna) - służy do tego opcja *Speed statistics*.

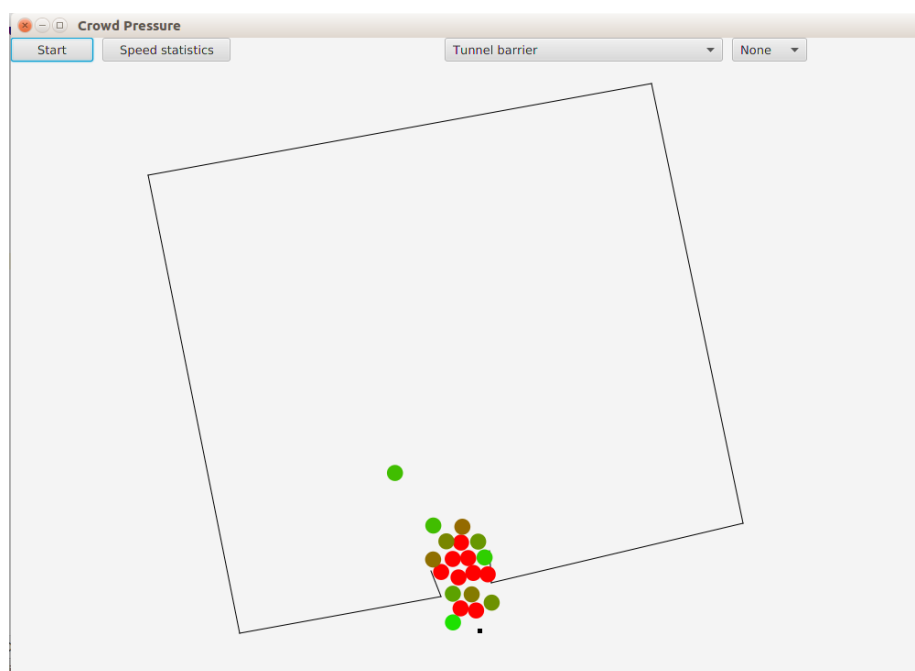
Gdy pieszy dojdzie do celu, w terminalu wyświetlana jest odpowiednia informacja na ten temat.

```
Pedestrian 1: mean velocity=1.683749888455669; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=1.4142098412674131
Pedestrian 2: mean velocity=1.6693174057179714; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=1.0979337427983056
Pedestrian 3: mean velocity=1.6768643938508099; max velocity=1.7000000000000002; min velocity=1.4360651499585173
Pedestrian 4: mean velocity=1.6773251835503988; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=1.4486626787926444
Pedestrian 5: mean velocity=1.6755424576393687; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=1.4176705018959906
Pedestrian 6: mean velocity=1.6654558564771607; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.8605267919824477
Pedestrian 7: mean velocity=1.6488348044010601; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.5632425203380808
Pedestrian 8: mean velocity=1.6572150678317747; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=1.0205825330364073
Pedestrian 9: mean velocity=1.6193649511619306; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.34178221307498247
Pedestrian 10: mean velocity=1.6058510961353094; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.4232076625938806
Pedestrian 11: mean velocity=1.657938223017698; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.5770175000995152
Pedestrian 12: mean velocity=1.6382633747901576; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.7376252600306222
Pedestrian 13: mean velocity=1.6799467807473787; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=1.062791011072619
Pedestrian 14: mean velocity=1.668758749874513; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=1.0637427995185573
Pedestrian 15: mean velocity=1.5927195138736279; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.9071657927830431
Pedestrian 16: mean velocity=1.6369410067431416; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.2581111523844024
Pedestrian 17: mean velocity=1.592506188303064; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.5245923423696862
Pedestrian 18: mean velocity=1.599775634860071; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.6427407915256982
Pedestrian 19: mean velocity=1.613619682302767; max velocity=1.7000000000000002; min velocity=1.056089644593617
Pedestrian 20: mean velocity=1.6032102054160609; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=1.0069708117930303
Pedestrian 21: mean velocity=1.5553825073963214; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.9918508078706771
Pedestrian 22: mean velocity=1.5214315841940576; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.7253877476688944
Pedestrian 23: mean velocity=1.5505166437652096; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=1.0945410597281973
Pedestrian 24: mean velocity=1.5533901352301114; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.3335909405127699
Pedestrian 25: mean velocity=1.5786915954919811; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.3620781826492013
Pedestrian 26: mean velocity=1.603567073221542; max velocity=1.7000000000000002; min velocity=0.33860181048793975
Pedestrian 27: mean velocity=1.6462527826835611; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=1.3321945727025333
Pedestrian 28: mean velocity=1.638236934098777; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.28264651788992534
Pedestrian 29: mean velocity=1.6314582667217776; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.26910860380628976
Pedestrian 30: mean velocity=1.629227727519956; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.5047068910123508
Pedestrian 31: mean velocity=1.6157383900515492; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.5670125516908114
Pedestrian 32: mean velocity=1.5728351065352671; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.16224032352791815
Pedestrian 33: mean velocity=1.6289582808250478; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.2006620923988321
Pedestrian 34: mean velocity=1.6040105924967123; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.31934553573464564
Pedestrian 35: mean velocity=1.5822679399805053; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.47711126662923314
Pedestrian 36: mean velocity=1.6520355944367182; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=1.372687630749016
Pedestrian 37: mean velocity=1.6183678438466578; max velocity=1.7000000000000004; min velocity=0.7798357240497408
```

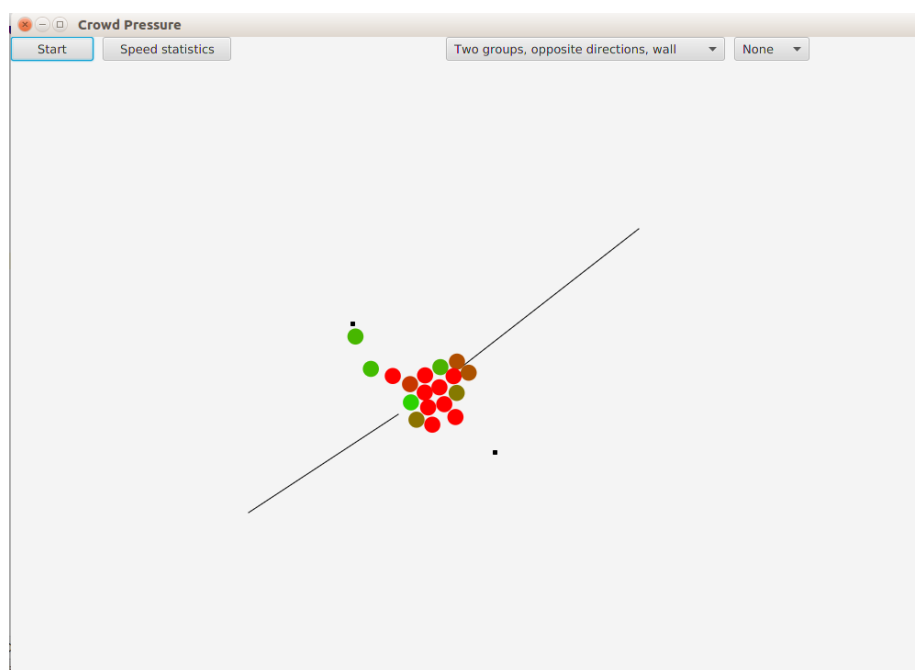
Rysunek 2: Przykładowe statystyki prędkości widoczne z poziomu terminala



Rysunek 3: Klatka z animacji: Grupa wychodząca z pomieszczenia, barkierka przy wyjściu



Rysunek 4: Klatka z animacji: Grupa wychodząca z pomieszczenia, wyjście typu „tunel”



Rysunek 5: Klatka z animacji: Dwie grupy idące w przeciwnych kierunkach

5.2 Wnioski

Symulacja przedstawia scenariusze, które zdarzają się w życiu codziennym. Przedstawione sytuacje pokazują statystyczne zachowania pieszych zarówno przy ewakuacji z pomieszczenia, jak i przy interakcji z innymi ludźmi oraz przeszkodami (ściany, barierki). Ciśnienie wywierane na pojedynczych pieszych wizualizowane jest poprzez zmianę ich koloru - dyskomfort oraz duża wartość sił działających na aktora obrazowane są przez kolor czerwony. Pojawia się on głównie w sytuacji bezpośredniej interakcji z sąsiadem lub w momencie zbliżania się do wyjścia. Drzwi, będące wąskim gardłem, spowalniają ruch pieszych tym samym powodując ich nagromadzenie w jednym miejscu. Dzięki obserwacji symulacji można zauważyć zależność opisywaną określeniem *freezing by heating* - oznaczającą blokowanie przejścia, gdy tłum zbyt mocno na siebie napiera - piesi znacznie zwalniają, gdy napotykają tłok. Łatwo zauważyć, że umieszczenie „przeszkód” typu kolumna w okolicy wyjścia, rozładowuje nacisk wywierany przez pieszych, co znacznie przyspiesza ich ewakuację z pomieszczenia.

5.3 Możliwe udoskonalenia

- automatyzacja dodawanych pieszych (losowość w doborze punktów startowych)
- rozwinięcie GUI - możliwość manualnego dodawania pieszych oraz ścian
- graficzne przedstawienie statystyk

Literatura

- [1] T. I. Lakoba, D.J. Kaup, N.M. Finkelstein *Modifications of the Helbing-Molnár-Farkas-Vicsek Social Force Model for Pedestrian Evolution*. SIMULATION, Vol. 81, Issue 5, May 2005 339-352, 2005 The Society for Modeling and Simulation International
- [2] D. Helbing, I.J. Farkas, P. Molnar, K. Bolay *Self-organizing pedestrian movement*. Environment and Planning B Planning and Design, May 2001
- [3] D. Helbing, I.J. Farkas, P. Molnar, T. Vicsek *Simulation of Pedestrian Crowds in Normal and Evacuation Situations*. in Schreckenberg, M., Sharma, S.D. (Eds.), Pedestrian and Evacuation Dynamics, pp. 21–58.
- [4] M. Moussaïd, D. Helbing, G. Theraulaz *How simple rules determine pedestrian behavior and crowd disasters*. PNAS April 26, 2011 108 (17) 6884-6888
- [5] D. Helbing, I.J. Farkas, T. Vicsek *Simulating Dynamical Features of Escape Panic* Nature, 2000, 407.6803: 487.
- [6] D. Helbing, I.J. Molnar *Social Force Model for Pedestrian Dynamics*. Physical review. E, Statistical physics, plasmas, fluids, and related interdisciplinary topics 51(5), May 1998
- [7] Peng Wang *Understanding Social-Force Model in Psychological Principles of Collective Behavior*. Department of Electrical and Computer Engineering, University of Connecticut