Akademia Górniczo-Hutnicza im.
Stanisława Staszica w Krakowie

Social force model for pedestrian dynamics

Marcin Jakubowski
Minh Nhat Trinh

Prowadzący
Dr hab. inż. *Jarosław Wąs*

28 listopada 2017

Spis treści

Rozdział 1

Wprowadzenie i cel projektu

W ciągu ostatnich dwóch dekad modele opisujące ruch pieszych znalazły znaczące zainteresowanie. Maja one bowiem ogromne znaczenie podczas projektowania i planowania stref masowego użytku publicznego, np. metra lub stacji kolejowych, stadionów, centr handlowych, dzięki możliwości zasymulowania ewakuacji czy innych zjawisk jak problem wąskiego gardła, rozładowania tłumu.

Wszystkie wielkości modelowe, takie jak współrzędne $\vec{r}$ i prędkość $\vec{v}$ pieszych, są możliwe do zmierzenia, a zatem dane symulacyjne są porównywalne z danymi eksperymentalnymi, co daje łatwość w kalibracji modelu symulacyjnego.

W przeszłości wiele osób podejmowało projekty badawcze związane z opracowanie modelu najlepiej opisującego ruch pieszych np. *Couzin & Krause 2003; Ball 2004; Sumpter 2006; Helbing & Molnar 1995; itd.*.

W następnym paragrafie przedstawimy model Ŝocial Force" dla ruchu pieszych zaproponowany pierwotnie w 1995 roku przez Helbinga i Molnara. Model ten opiera się na koncepcji Ŝocial Force" jako siły oddziałującej na pieszego pochodzącej od interakcji z innymi pieszymi w tłumie czy interakcji otoczeniem np. ścianami.

W jaki sposób piesi modyfikują swoje zachowanie w odpowiedzi na interakcje z innymi? Odpowiedź na to pytanie pozwala zrozumieć mechanizmy prowadzące do samoorganizacji w tłumie i pomaga budować niezawodne modele.

Rozdział 2

Koncepcja 'Social force'

Wiele osób ma poczucie, że ludzkie zachowania są *chaotyczne* lub przynajmniej bardzo nieregularne i nieprzewidywalne. W rzeczywistości, szczególnie w dużych zbiorowiskach, ludzkie zachowanie można opisać jako model matematyczny, a w związku z tym da się przewidzieć zachowanie ludzi.

Sugeruje się, że ruch pieszych można opisać tak, jak gdyby podlegał 'Social Force'. Te siły nie są bezpośrednio wywierane przez środowisko zewnętrze pieszego, ale odzwierciedlają one wewnętrzne motywacje pieszego do wykonywania określonych czynności jako odpowiedź na interakcje ze środowiskiem zewnętrznym. W prezentowanym modelu zachowań pieszych zasadnicze znaczenie ma kilka sił. Po pierwsze, konstrukcja opisująca siłę związaną z oczywistym dążeniem pieszego do wyjścia czy przejścia. Po drugie, konstrukcja odzwierciedlająca wpływ innych pieszych, między innymi związana z zachowaniem pewnej odległości pomiędzy pieszymi, tzw. strefy komfortu, a także umożliwiającej pieszemu wykonanie kolejnego kroku. Po trzecie, konstrukcja będąca odzwierciedleniem wpływu wszelkiego rodzaju przeszkód np. ścian. Często dodaje się również składową odzwierciedlającą siłę przykuwania uwagi pieszego do czegoś interesującego, a także siłę odzwierciedlającą to, że często piesi poruszają się w grupach znajomych.

Komputerowe symulacje ruchu oddziałujących na siebie pieszych pokazują, że model 'Social force' jest bardzo realistycznie.

Rozdział 3

Formułowanie modelu Ṡocial force”

3.1 Ogólne równanie

Zgodnie z koncepcją 'Social force' przez *Helbing & Molnar 1995* możemy uznać, że ruch pieszego można opisać za pomocą trzech różnych składowych tak, że

$$f_i^o$$

wewnętrzne zachowanie, odzwierciedlające motywację pieszego
do poruszania się w określonym kierunku z określoną prędkością (wkierunku wyjścia)

$$f_i^{wall}$$

wpływ ścian korytarza na tego pieszego

$$f_{ij}$$

efekty oddziaływania pieszego j na pieszego i.

W tym momencie, poznamy zmianą prędkości v_i pieszego i teraz możemy sformułować całościowe równanie

$$\frac{dv_i}{dt} = f_i^o + f_i^{wall} + f_{ij}$$

3.2 Składowe siły 'Social Force'

Łatwo zauważamy, że wykorzystujemy dane eksperymentalne do sprawdzenia poprawności powyższego równania i określenia najważniejszej funkcji interakcji f_{ij}. Przejdźmy przez wszystkie komponenty.

3.2.1 Zachowanie pojedynczego pieszego

Zgodnie z koncepcją 'Social force' przez *Helbing & Molnar 1995* otrzymujemy równanie dla wewnętrznego przyspieszenia $\vec{f_i^o}$:

$$\vec{f_i^o} = \frac{v_i^o e_i^o - v_i(t)}{\tau}$$

Gdy,

$$v_i^o = 1.29 \pm 0.19 (ms^{-1}) : \text{pożądane prędkości}$$
$$v_i(t)(ms^{-1}) : \text{aktualna prękość}$$
$$\tau = 0.54 \pm 0.05(s)\text{: czas relaksacji}$$
$$e_i^o\text{: pożądany kierunek ruchu}$$

3.2.2 Wpływ ścian na tym pieszym

Zgodnie z wcześniejszymi ustaleniami przez *Johansson et al. 2007* takie efekty ścian korytarzy na tym pieszym można opisać za pomocą równania:

$$f_i^{wall}(d_w) = ae^{\frac{-d_w}{b}}$$

Gdy,

$$d_w(m) : \text{odległość prostopadła z pieszego do ściany}$$
$$a = 3 \text{ i } b = 0.1 : \text{parametry odpowiadające siłom odpychania tego samego rzędu}$$

3.2.3 Interakcje międzyludzkie

Również zgodnie z poprzednimi badaniami *Johansson et al. 2007*, wiemy, że interakcje międzyludzkie f_{ij} mogą być definiowane jako funkcja odległości i kąta pomiędzy prostymi reprezentującymi kierunki ruchu pieszego i i j. podejścia okazują się jasne i uzasadnione $f_{ij}(d, \theta)$ Daje nam to równanie

$$f_{ij}(d,\theta) = -Ae^{\frac{-d}{B}}(e^{-(n'B\theta)^2}t + e^{-(nB\theta)^2}n)$$

Gdy,

$$n_{ij} : \text{zmiany kierunkowe jako wektor jednostkowy w lewą stronę } \vec{t_{ij}}$$
$$d(m) : \text{odległość między dwoma pieszymi } i\text{'em i } j\text{'em}$$
$$\theta(rad) : \text{kąt między kierunkiem interakcji a wektorem skierowanym od pieszego } i \text{ do } j$$
$$A = 4.5 \pm 0.3$$
$$n' = 2.0 \pm 0.1$$
$$n = 3.0 \pm 0.7$$
$$t_{ij} = \frac{\vec{D_{ij}}}{\|\vec{D_{ij}}\|} : \text{kierunek interakcji}$$

Przyjrzyjmy się bliżej parametrowi B: jest zwiększany w kierunku interakcji przez duże prędkości względne i jest zmniejszone, gdy następuje odpychanie w kierunku boków. B zależy więc od:

$$B = \gamma\|D\|$$

Gdy,

$$\gamma = 0.35 \pm 0.01 : \text{parametr równania}$$

I mamy

$$\vec{D_{ij}} = \lambda(\vec{v_i} - \vec{v_j}) + \vec{e_{ij}}$$
$$\lambda = 2.0 \pm 0.2 : \text{względne znaczenie dwóch kierunków}$$
$$\vec{e_{ij}} = \frac{\vec{x_j} - \vec{x_i}}{\|\vec{x_j} - \vec{x_i}\|} : \text{kierunek, w którym porusza się pieszy } j$$

Wykorzystaliśmy początkowo stałe wyznaczone w pracy Helbinga z 2009 roku, później poddamy je kalibracji na własnym modelu.

Rozdział 4

Symulacja komputerowa

Rozdział 5

Podsumowanie

Rozdział 6

Referencje