

シミュレーションを用いた歩行経路推定の精緻化

伊織 瞳† 藤田 悟†

法政大学情報科学部デジタルメディア学科†

1. まえがき

近年、都市部における駅や商業施設、大規模なイベント会場において多数の人が集中する現象がよく見られている。このような場面において、建築物の構造による歩行者流の停滞や、避難時における避難完了時間の大幅な遅延等の問題が発生することがある。そのため、歩行者流の解析による効率の良い建築物の設計や、避難経路の設定等が行われており、群衆の動きを計算機上で再現する歩行者シミュレーションが盛んに研究されている[1]。

歩行者シミュレーションで使用される代表的な歩行者モデルとして、Helbingの提唱する群衆に働く斥力モデルに基づくモデル[2]が挙げられる。しかし、これらのモデルでは人間が周囲の歩行者の動きを予測するという行動を考慮していない。本論文では、将来の状態についてシミュレーションを行い周囲の歩行者の動きを算出することが人間の予測行動に近いと考え、シミュレーションによって数秒後の周囲の歩行者の状態についての予測と、最適な歩行経路を選択する歩行者モデルを提案する。

2. 関連技術

2.1 歩行者モデル

群衆流を表すために様々なモデルが提唱されている。その中の1つであるHelbingの提唱するSocial forceモデルは連続空間上を歩行者が移動する2次元連続空間モデルであり、目的地の決定、他の歩行者間との距離の確保、障害物の回避等に緻密な計算を要し、高い再現精度を期待することができる。

2.2 Social force モデル

Social forceモデルでは歩行者*i*の動きを3つの力の合力で表す。式(1)に力学的な式を示す。

$$m_i \frac{d\vec{v}_i(t)}{dt} = m_i \frac{v_i^0 \vec{e}_i - \vec{v}_i}{\tau_i} + \sum_{j(\neq i)} \vec{f}_{ij}(t) + \sum_W \vec{f}_{iW}(t) \quad (1)$$

m_i は歩行者*i*の体重、 \vec{e}_i は望む歩行方向、 v_i^0 は希望歩行速度の大きさ、 \vec{v}_i は現在の速度ベクトル、 τ_i は速度変化の時定数である。また、 \vec{f}_{ij} は歩行者*i*が歩行者*j*から受ける力であり、 \vec{f}_{iW} は歩行者*i*が障害物*W*から受ける力である。

\vec{f}_{ij} は式(2)(3)にて定義される。

$$\vec{f}_{ij}(t) = -\nabla_{d_{ij}} V_{ij}(b_{ij}) + kg(r_{ij} - d_{ij})\vec{n}_{ij} + k\kappa(r_{ij} - d_{ij})\Delta v_{ji}\vec{t}_{ij} \quad (2)$$

$$V_{ij}(b_{ij}) = A_i B_i \exp(-b_{ij}/B_i) \quad (3)$$

式(2)の $-\nabla_{d_{ij}} V_{ij}(b_{ij})$ は心理的斥力を表しており、 r_{ij} は歩行者*i*と歩行者*j*の身体の半径の和である。式(2)の2項3項は物理的斥力を表す。ここで、 k, κ は定数、 Δv_{ji} は接線速度差、 \vec{n}_{ij} は歩行者*j*から*i*の向きに働く単位ベクトル、 \vec{t}_{ij} は \vec{n}_{ij} と直交する単位ベクトルを表し、 $g(x)$ は身体同士が接触したとき($x > 0$)にだけ値が生じる関数である。式(3)の A_i は他歩行者から受ける影響の強さ、 B_i は影響を受ける距離を表す定数である。また、 b_{ij} は式(4)で表される楕円等ポテンシャル線の短半径である。

$$2b_{ij} = \sqrt{(\|\vec{d}_{ij}\| + \|\vec{d}_{ij} - (\vec{v}_j - \vec{v}_i)\Delta t\|)^2 - \|(\vec{v}_j - \vec{v}_i)\Delta t\|^2} \quad (4)$$

$\vec{v}_i\Delta t$ は*i*の歩行ベクトル、 $\vec{v}_j\Delta t$ は*j*の歩行ベクトル、 $(\vec{v}_j - \vec{v}_i)\Delta t$ は2人の歩行の差を表す。この力の大きさは2人の速度の差に依存している。

また、歩行者*i*と障害物*W*の間に働く斥力 \vec{f}_{iW} も同様に定義される。

3. 提案モデル

3.1 周囲の歩行者の状態予測

初めに、各歩行者は将来の周囲の歩行者の状態について予測を行う。2.2節にて示したSocial forceモデルを用いて、現在の歩行者の状態から1秒後の全歩行者の位置と速度を求める。このシミュレーションによって得た値を歩行者が将来の状態について予測した結果とし、歩行経路選択の際に利用する。

3.2 最適な歩行経路の選択

各歩行者は周囲の歩行者の状態を予測した後、最適な歩行経路を選択する。

歩行経路選択は、2.2節にて示したSocial forceモデルを用いて以下の手順で行う。

1. 望む歩行方向 \vec{e}_i に、前方・前方から右に30度・前方から右に45度・前方から左に30度・前方から45度の5方向を設定する。ここで前方とは、目的地に向かう方向とする。
2. 前方の周囲5m以内に対向者が存在しない場合、前方を望む歩行経路として選択する。

Pedestrian route estimation refined by simulation

†Hitomi Iori, Satoru Fujita, Department of Digital Media, Faculty of Computer and Information Sciences, Hosei University

3. 周囲に対向者が存在する場合、各方向に対し 1 秒間のシミュレーションを行う。この際、 \vec{e}_i は 1 方向に固定し、他歩行者の位置 \vec{r}_j と速度 \vec{v}_j には 3.1 節で予測した値を用いる。
4. 3 のシミュレーションを行った結果、位置が最も目的地と近くなった方向を次の歩行経路として選択する。

この操作を毎ステップ行うことにより、歩行者は移動を行う。

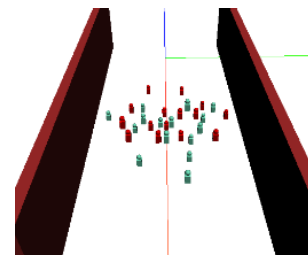


図 1 シミュレーション実行中の様子

4. 実験

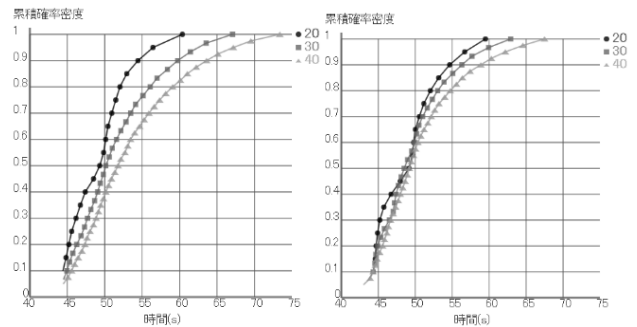
2.2 節にて示した Helbing の提唱する Social force モデルと提案モデルの比較を行う。幅 20m、長さ 40m の通路を、上下 2 つの入り口から進入させ、反対側の進入口に向かって歩行させる。全員が目的地に到達するまでを 1 回の実行とし、歩行者の総数が 20 人、30 人、40 人の 3 パターンについて、50 回の実行における歩行者が目的地に到達する時間の平均について観察を行う。図 1 にシミュレーションの実行中の様子を示す。各パラメータの値には先行研究 [3] にて良いと示された値を使用し、 $r = [0.25m, 0.35m]$, $m = 80kg$, $\tau = 0.5s$, $v_a^0 = 1.0m/s^{-1}$, 初速度 $\vec{v}_0 = \vec{0}$, $\lambda = 0.1$, $k = 1.2 \times 10^3 kgs^{-2}$, $\kappa = 2.4 \times 10^5 kgm^{-1}s^{-1}$ とする。また、定数 A, B は、ビデオ検証より得た値、 $A = 7.28 \pm 7.89N$, $B = 0.7 \pm 0.7m$ を用いる。

図 2(a)(b) に従来モデルと提案モデルについて、総歩行者数を変化させた際の目的地に到着した歩行者数の累積確率密度を示す。従来モデルでは歩行者数が増えるごとに全体的に目的地へ到達する時間が遅くなっている。また、いずれの密度においても、対向者に阻まれ歩行が困難になっている歩行者が目立った。一方、提案モデルでは、どの密度においても 6 割程度までの歩行者の目的地到達時間には大きな差が見られなかった。残りの 4 割程は歩行者数が増えるごとに目的地到達時間が遅くなっている。また、密度の増加によって歩行困難に陥る歩行者の存在に変化は見られなかった。

5. 考察

従来モデルでは、対向者に阻まれ歩行が困難になる歩行者の存在が目立ったが、提案モデルではその存在は少数であった。これは、目的地に直接向かうことのできない歩行経路であっても、他歩行者が少なく最も目的地に近づくことができると判断しているためであると考えた。以上より、提案モデルによって適切な歩行経路を選択し、スムーズな歩行を再現することができていると考えられる。

従来モデルでは、歩行者数が増えるごとに目的地に到達する時間が遅くなっている。一方、提案モデルではいずれの密度においても 6 割程の歩行者の目的地到達時間に大きな変化は見られなかった。歩行者数に関係なく 6 割程度の歩行者は経路推定により



(a) 従来モデル

(b) 提案モデル

図 2 目的地到達時間の累積グラフ

他歩行者のいない経路を選択することができていると考えられる。残りの 4 割程の歩行者は他歩行者のいない経路が存在しない、あるいは選択されたパラメータにより他歩行者から離れようとする傾向が強くなり、歩行速度の減少が大きい歩行者であると考えた。以上より、従来モデルに比べ提案モデルの方が、実世界において対向者数に関わらず、立ち止まらずに歩行する様子を再現できていると考えられる。

6. まとめ

本論文では、シミュレーションを用いて将来の歩行者の状況と、歩行経路を予測する歩行者モデルを提案した。従来モデルと比較した結果、歩行者の挙動において、対向者によって歩行ができなくなる歩行者の存在の有無が見られた。また、提案モデルにより、実世界における歩行者の挙動を再現することができた。

文献

- [1] 藤田悟, 森田晴香, 街角の群衆の歩行者位置推定, 情報処理学会論文誌, Vol.56, pp369-377,2015.
- [2] Helbing, D., Molnár, P.: Social force model for pedestrian dynamics, PHYSICAL REVIEW E, Vol.51, No.5, pp.4282-4286, 1995.
- [3] Johansson, A., Helbing, D. Shukla, P. K.,: Specification of a Microscopic Pedestrian Model by Evolutionary Adjustment to Video Tracking Data, Advances in complex systems, Vol.10,pp271-288,2007.