

視野を考慮した探索範囲削減による人流シミュレーションの高速化

Speeding Up Agent-Based Pedestrian Simulation by Reducing the Search Area in Consideration of the Field of View

片寄 颯人[†]
Hayato Katayose中村 あすか[†]
Asuka Nakamura富永 浩文[†]
Hirobumi Tominaga前川 仁孝[†]
Yoshitaka Maekawa

1. はじめに

人流シミュレーションでは、Helbingの提唱するSocial Force Model(SFM)と呼ばれるモデルが、駅や商業施設など歩行者の流れの解析に広く利用されている[1]。SFMは、近傍のエージェントや壁といった障害物から受ける力の相互作用によってエージェントの進行方向や速度を解くモデルである。SFMを用いる人流シミュレーションは、エージェント数が増加すると相互作用する近傍のエージェントの探索コストが大きくなる。そのため、セル分割法などを用いた探索範囲削減が行われている[2]。また、SFMに視野を導入することで、後方からの接触による押し合いなどを表現することが知られている[3]。視野を導入したSFMでは、各エージェントの視野範囲外の相互作用が働かず、相互作用の計算が不要なセルが存在する。そこで本稿では、探索範囲をエージェントの視野に近づけることで、相互作用を探索するセルの数を削減する手法を提案する。

2. セル分割法を用いた SFM

SFMは、エージェントが目的地に進もうとする力と他のエージェントや壁などの障害物から受ける力の合力により、エージェントの進行方向や速度を算出する。式(1)にSFMの力学方程式を示す。

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = m_i \frac{v_i^0(t)e_i^0(t) - v_i(t)}{\tau_i} + \sum_{j(\neq i)} f_{ij} + \sum_w f_{iw} \quad (1)$$

式(1)中の m_i はエージェント i の体重、 $v_i^0(t)$ は希望速度ベクトル、 $e_i^0(t)$ は目的地までの単位ベクトル、 $v_i(t)$ は現在の速度ベクトル、 τ_i は時定数である。式(1)の第一項はエージェントが目的地へ進む力、第二項は他のエージェントから受ける反発力 f_{ij} の合力、第三項は壁などの障害物から受ける反発力 f_{iw} の合力を現している。 f_{ij} と f_{iw} は図1のような関係にあり、式(2)、式(3)を用いて導出する。

$$f_{ij} = \left\{ A_i \exp \left[\frac{r_{ij} - d_{ij}}{B_i} \right] + kg(r_{ij} - d_{ij}) \right\} n_{ij} - \kappa g(r_{ij} - d_{ij}) \Delta v_{ij}^t t_{ij} \quad (2)$$

$$f_{iw} = \left\{ A_i \exp \left[\frac{r_i - d_{iw}}{B_i} \right] + kg(r_i - d_{iw}) \right\} n_{iw} - \kappa g(r_i - d_{iw}) (\Delta v_i \cdot t_{iw}) t_{iw} \quad (3)$$

式(2)、式(3)中の r_{ij} はエージェント i とエージェント j の体の半径の和、 d_{ij} はエージェント間の距離、 A_i はインタラクシ

ョン作用、 B_i は反発作用、 k は衝突時の反発力係数、 κ は衝突時の摩擦係数、 Δv_{ij} はエージェント i とエージェント j の接線速度の差、 t_{ij} はエージェント i とエージェント j の衝突面の垂直ベクトル、 n_{iw} はエージェント i と壁 W の衝突面の法線ベクトル、 r_i はエージェントの半径である。また、 g はエージェント同士壁などに衝突した時($r_i - d_{iw} \leq 0$ のとき)に値が1.0となり、それ以外の時に0となる。図1のように、各エージェントの行動は、 f_{ij} と f_{iw} の合成ベクトルで表される。

SFMは、図1のように、各エージェントの位置が相互作用する範囲であるかを判定する必要がある、この判定を高速化するために、セル分割法を用いることが多い[2][4]。セル分割法は、解析領域をセルで分割し、近傍のセル内のエージェントのみを探索する。図2にセル分割法の例を示す。図中の赤丸は近傍のエージェントの探索を行うエージェント、黒丸は他のエージェント、四角は解析領域を格子状に分割したセルである。本例では、エージェント4の行動を更新際に青色のセル内のエージェントのみを参照するため、エージェント3、5、9の計算を削減できる。

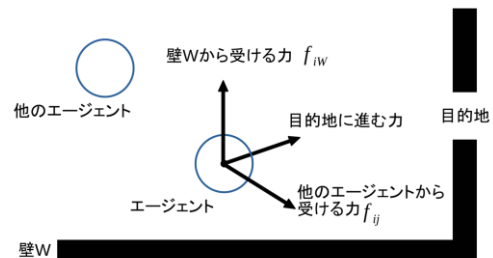


図1 SFMの力学方程式の概念図

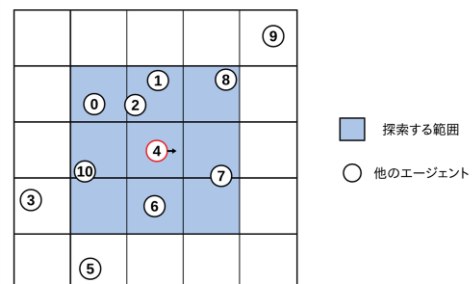


図2 セル分割法の例

[†] 千葉工業大学情報工学科, Department of Computer Science, Chiba Institute of Technology

3. 視野を用いた探索範囲削減手法

SFM では、解析対象の特性を運動方程式に組み込むのが一般的である。視野は、人間の視覚やロボットなどのセンサ感知範囲などを表すパラメータであり、相互作用する範囲を進行方向前方の扇状の領域のみに限定する。図3に視野を用いたSFMの例を示す。図中の丸は探索を行うエージェント、矢印はエージェントの進行方向、点線はエージェントの相互作用する範囲と視野の範囲を表す。本例のように、視野を用いたSFMのエージェントは、次の行動を決定する際に視野外の情報を参照しない。つまり、各エージェントの視野外は相互作用力を計算が不要であり、図3中の白いセルのようにセル単位で参照しない領域が存在する。一方、相互作用力の計算が必要なセルを厳密に判定する場合、進行方向が同じエージェントでも位置座標によって計算が必要なセルが異なるため計算が複雑になる。そこで、提案手法では、エージェントの進行方向を図4に示す4パターンに分類し、探索範囲を削減する。図4に進行方向の判定式と探索するセルを示す。式中の x, y は進行方向の単位ベクトル (x, y) である。図4中の探索しない白色のセルは、エージェントの進行方向後方であり、相互作用する範囲に含まれる可能性が低い。このため、本稿は探索する範囲を青色セルにすることで、近傍のエージェントの探索時間を短縮する。図4に示す探索する範囲は、エージェントの相互作用する範囲が探索しないセルに含まれる場合がある。このような場合、従来のセル分割法を用いて近傍のエージェントの探索する。

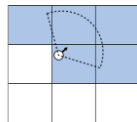


図3 視野を用いた SFM の例

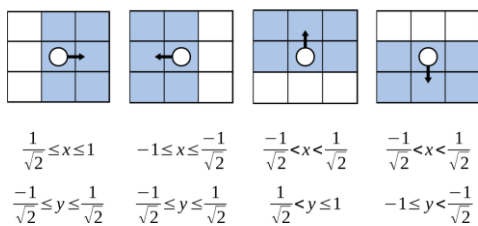


図4 提案手法の探索範囲

4. 評価

提案手法の有効性を評価するために、視野を用いた SFM による人流シミュレーションを行い、実行時間を測定する。評価環境は、CPU が Intel Core i7-4930K、メモリが 64GB である。シミュレーション内容は既存研究[4]を参考に、表1の条件下で図4の位置に配置したエージェントが交差するように移動する様子をシミュレートする。また、エージェント数は 50, 100, 200 の 3 パターンとする。表2に本シミュレーションの実行時間を示す。

表2より、探索範囲を削減した提案手法の実行時間は、従来のセル分割法と比べ、測定したエージェント数で約

1.1 倍高速化することが確認できた。これは、進行方向後方のセル3つに対して探索する処理時間よりも提案手法に用いる上下左右の進行方向の条件分岐を行う処理時間の方が少なくなり、シミュレーション時間の短縮に繋がったからであると考えられる。

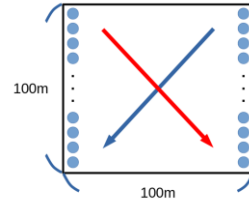


図4 エージェントの初期配置

表1 測定条件

A_i	2,000N
B_i	0,08m
k	$1.2 \times 10^5 \text{kg s}^{-2}$
κ	$2.4 \times 10^5 \text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$
$v_i^0(t)$	1.4m/s
m_i	80kg
τ_i	0.01
r_i	0.25m
視野角	120度
視野距離	20m

表2 SFM の実行時間[s]

エージェント数	セル分割法	提案手法
50	0.40	0.37
100	1.67	1.46
200	6.77	6.06

5. おわりに

本稿では、視野を用いる SFM を高速化するために、視野範囲に合わせて探索範囲を削減する手法を提案し、その有効性を評価した。評価の結果、提案手法は、従来のセル分割法を用いた SFM に対してシミュレーション時間を約 1.1 倍高速化できることが確認できた。

参考文献

- [1] Dirk Helbing, Peter Molnar, "Social force model for pedestrian dynamics.", Physical Review E, Vol.51, No.5 (2008).
- [2] Xiaosong Li, Wentong Cai, "Efficient Neighbor Searching for Agent-Based Simulation on GPU", 2014 IEEE/ACM 18th International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications (2014).
- [3] 磯崎 勝吾, 中辻 隆, "Social Force Model を基にした歩行者の避難シミュレーションモデルに関する研究", 平成 21 年度土木学会北海道支部論文報告集第 66 号 D-3 (2010).
- [4] Robert Chisholm, Steve Maddock, Paul Richmond, "Improved GPU near neighbours performance for multi-agent simulations", Journal of Parallel and Distributed Computing, Vol.137, pp53-64(2020).
- [5] Dirk Helbing, Illes-Farkas, Tomas Vicsek, "Simulating Dynamical Features of Escape Panic, Nature, Vol.407, pp.487-490(2009).