

# 人流シミュレーションにおける格子分割を用いた 進行方向ベクトル計算の削減手法

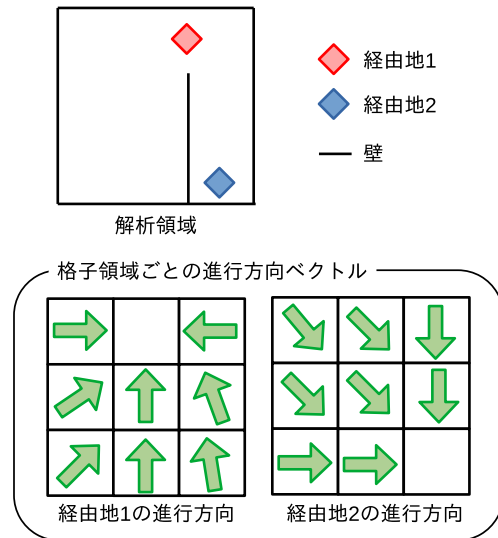
片寄 颯人<sup>†</sup> 中村 あすか<sup>‡</sup> 富永 浩文<sup>‡</sup> 前川 仁孝<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 千葉工業大学大学院情報科学研究科情報科学専攻

<sup>‡</sup> 千葉工業大学情報科学部情報工学科

## 1 はじめに

Social Force Model(SFM) は、人が多く集まる場所の混雑や滞留の様子をシミュレートする手法の一つである [1]. 本手法は、人を運動方程式に基づいて移動するエージェントとしてモデル化し、その動きを再現する [2]. SFM の運動方程式は、エージェントの位置に合わせて目的地までの進行方向が変わるため、時間ステップごとにエージェントの進行方向を再計算する必要がある. そこで、本研究では、SFM を用いた人流シミュレーションを高速化するために、解析領域を格子状に分割し、格子領域ごとに進行方向をあらかじめ設定することで、進行方向ベクトルの再計算を削減する手法を提案する.



## 2 Social Force Model(SFM)

SFM におけるエージェントは、目的地へ進む力と周囲のエージェントから受ける力、壁などの障害物から受ける力を運動方程式を用いて移動を決定する. 式 (1) に SFM の運動方程式を示す.

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = m_i \frac{v_i^0 e_i^0 - v_i}{t_i} + \sum_{j(\neq i)} f_{ij} + \sum_W f_{iW} \quad (1)$$

式 (1) 中の  $m_i$  はエージェント  $i$  の体重,  $v_i^0$  はエージェントの希望速度,  $e_i^0$  は、目的地までの単位ベクトル,  $v_i$  は現在の速度ベクトル,  $t_i$  は時定数,  $W$  は壁などの障害物である. 式 (1) 右辺の第一項はエージェントが目的地へ進む力, 第二項は周囲のエージェントから受ける力  $f_{ij}$ , 第三項は壁などの障害物から受ける

図 1: 領域ごとの格子の進行方向ベクトルの例

力  $f_{iW}$  の合力である. SFM は、時間ステップごとに各エージェントの運動方程式を解くことで、人の動きを再現する.

## 3 進行方向ベクトル計算の削減手法

SFM の運動方程式は、エージェントの位置が変わるたびに、目的地に向かう進行方向ベクトル  $e_i^0$  の再計算が必要となる. 周囲のエージェントから受ける力は、時間ステップごとに各エージェントの位置が変化することから、解析中のみ計算が可能である. 一方で、壁から受ける力  $f_{iW}$  や目的地までに向かう力  $e_i^0$  は、壁や目的地の位置が固定であることから解析前に計算が可能である. そこで、提案手法は、格子状に分割した領域ごとに目的地へ進む力と障害物から受ける力を計算し、あらかじめ格納しておくことで、解析中の進行方向の再計算を削減する. 図 1 に格子ごとの進行方向ベクトルの例を示す. 図中のひし形は経由地, 矢印は進行方向である. 図 1 のように、提案手法は、前処理として各格子領域中心の進行方向ベクトルを計算し、それを

### Reduction Method of Travel Direction Vector Calculation Using Grid Division in Agent-Based Simulation of Pedestrian

Hayato Katayose<sup>†</sup>, Asuka Nakamura<sup>‡</sup>, Hirobumi Tominaga<sup>‡</sup>, Yoshitaka Maekawa<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>Dept. of Information Science, Chiba Institute of Technology, 275-0016, Narashino, Japan

<sup>‡</sup>Information and Computer Science, Chiba Institute of Technology, 275-0016, Narashino, Japan  
katayose@mae.cs.it-chiba.ac.jp

解析中に参照する。図中の空白の格子のように、経路地や障害物が含まれる格子や領域には、0ベクトルを格納し、解析時に個別でエージェントの進行方向を計算する。

#### 4 評価

SFMを用いた人流シミュレーションに対する進行方向ベクトル計算の削減手法の有効性を評価するために、SFMと提案手法の解析時間を測定する。測定条件は、表1であり、文献[3]を参考にしたものである。エージェントの初期配置は、図2、図3、表2とする。解析領域は、 $50m \times 50m$ の大きさであり、図中の緑色の領域にエージェントを配置する。提案手法の格子分割サイズは、 $0.2m$ に設定する。表2の配置条件は、目的地までのベクトルと壁から受ける力の再計算による影響を調べるために、壁粒子のない解析と壁粒子のある解析の2パターン測定する。実行環境は、CPUがIntel(R) Xeon(R) E5-2687W v2、メモリが64GBである。表3に、30万ステップのシミュレーション時間を示す。表中の高速化率は式(2)を用いて算出する。

$$\text{高速化率 [倍]} = \frac{\text{SFMの解析時間 [s]}}{\text{提案手法の解析時間 [s]}} \quad (2)$$

表3より、提案手法は、回転の配置で最大3.3倍、交差の配置で最大1.9倍高速に解析できる。壁粒子がある解析の高速化率は、壁粒子がない解析よりも高速化率が高い。これは、壁粒子がある解析における壁から受ける力  $f_{iW}$  を削減できたことによる差であると考えられる。提案手法は、壁粒子がない解析においても高速化できる。これは、目的地までのベクトル  $e_i^0$  の再計算を削減したため、提案手法の解析時間がSFMの計算時間よりも短縮できたからであると考えられる。回転と交差の高速化率は、壁粒子がある解析において、差が生じる。これは、壁から受ける力  $f_{iW}$  の計算回数によるものであり、壁から受ける力の計算回数が多ければ多いほど、既存手法の壁から受ける力  $f_{iW}$  の再計算が生じるため、提案手法の再計算による計算時間削減の効果が大きいからであると考えられる。

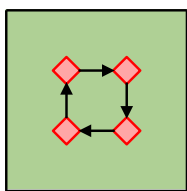


図 2: 回転

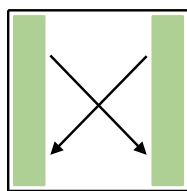


図 3: 交差

表 1: 測定条件

$A_i$	2000N
$B_i$	0.08m
$k$	$1.2 \times 10^5 \text{ kgs}^{-2}$
$\kappa$	$2.4 \times 10^5 \text{ kgm}^{-1} \text{ s}^{-2}$
$v_i^0(t)$	1.4m/s
$m_i$	80kg
$\tau_i$	0.01
$r_i$	0.25m

表 2: 配置条件

配置条件	人数	壁粒子数	経路地数
回転	50	1180	4
交差	50	1180	50

表 3: 各手法の解析時間 [s] と高速化率 [倍]

配置条件		SFM	提案手法	高速化率
回転	壁あり	27.40	8.51	3.21
	壁なし	9.47	8.44	1.12
交差	壁あり	30.56	16.37	1.86
	壁なし	17.17	16.21	1.05

#### 5 おわりに

本研究では、SFMを用いた人流シミュレーションを高速化するために、解析前にあらかじめ進行方向を設定することで、解析中の進行方向ベクトルの再計算を削減する手法を提案した。評価の結果、提案手法は、解析時間を最大で3.3倍高速化できることを確認した。提案手法の高速化率は、壁粒子のない解析よりも壁粒子がある解析の方が高いことが明らかとなった。

#### 参考文献

- [1] 北上靖大, 森俊勝, 坂平文博, 志村泰知, 杉浦哲平: 都市課題の改善に向けたマルチエージェント・シミュレーションの活用, 電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌), Vol. 133, No. 9, pp.1640-1644 (2013).
- [2] Helbing, D. and Molnar, P.: Social force model for pedestrian dynamics, *Physical review E*, Vol. 51, No. 5, p.4282 (1995).
- [3] Dirk Helbing, Illes-Farkas, Tomas Vicsel: Simulating Dynamical Features of Escape Panic, *Nature*, Vol.407, pp487-490(2009).