

ネットワーク型マルチエージェント人流シミュレータのモデル化とパラメータ調整

Models and Tuning Methods for Network-based Multi-Agent Simulator

副田 俊介*¹ 山下 倫央*¹ 野田 五十樹*¹
Shunsuke Soeda Tomohisa Yamashita Itsuki Noda

*¹産業技術総合研究所

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

We propose a network based multi-agent simulator for pedestrian simulation (NetMAS). Pedestrian simulators has been used in various applications, from analysis of evacuation from disasters to planning layouts in shopping malls. In such applications, it is important to know values such as where the congestion occurs and how long a person would take to move from one place to another. NetMAS models pathways as one-dimensional line, where agents can move along the line.

1. はじめに

災害時の避難や商業施設内での購買客の行動を含む、様々な現象は歩行者の流れとして捉えることができる。そのため、これらの現象を分析するために人流を分析したり予測したりするための技術は有用である。

人流を解析するための方法には目的に応じて様々なものが提案されている。例えば、Pan は避難時における人の流れを解析するための手法を、流体モデルに基づくシステム、グリッドベースのシステム、創発システムの3つに分類している [Pan 06]。

マルチエージェント技術を用いた人流シミュレータは、シミュレーション内の一つのエージェントで、解析対象の人流内の個人を表現する手法である [Ohta 00]。マルチエージェント技術を用いた人流シミュレータは、各エージェントごとにどのような行動を取るかについて制御できるため、シミュレートしたい状況やシナリオに対して柔軟性がある。一方で各エージェントごとに複雑な計算を行わなければならないため、大規模なシミュレーションを行うためには工夫が必要となる [Bansal 08]。一方で物理モデルに基づく人流シミュレータは [Kachroo 08] 高速であるものの、柔軟な表現力を持たない。

本稿では、ネットワーク型人流シミュレータ (NetMAS) のための歩行者モデルと、そのパラメータ調整法について提案する。NetMAS は空間をネットワークとして表現したシミュレータであり、歩行者が通る空間 (通路や部屋) はネットワークの辺として、また、辺が交わる箇所 (扉や合流点) はネットワークの節として表現される。歩行者の移動は本来 2 次元的なものであるため、従来の多くの人流シミュレータは歩行者が移動する空間を 2 次元でモデル化していた。一方で、NetMAS ではエージェントの移動方向は辺に沿ったものに限られるため、シミュレーションは 1 次元になる。本来 2 次元の人流を 1 次元でモデル化するため、自明な歩行者モデルは存在しない。

本稿では、まずネットワーク型人流シミュレータの概要について説明した後、人流を 1 次元で表現する歩行者モデルを 2 つ提案する。更に、このモデルで使用するパラメータを 2 次元型の人流シミュレータから得られたデータを利用して調整する方法を提案し、その結果を利用して提案した 2 つのモデルの比較を行う。

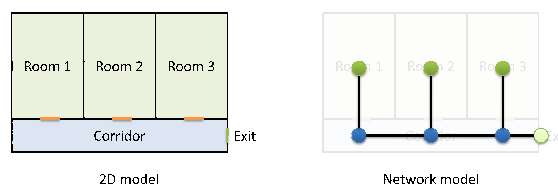


Figure 1: 通常の人流シミュレータの空間のモデル化と NetMAS の空間のモデル化の比較。

2. ネットワーク型人流シミュレータ

NetMAS では歩行者が移動する空間をネットワークとしてモデル化し、歩行者をエージェントとしてモデル化する。通常の人流シミュレータとの差を図 1 に示す。

図 1 で示された空間には 3 つの部屋とそれをつなぐ通路、そして通路に設置された出口が存在する。部屋は辺として、部屋と通路をつなぐ扉と出口は節として表現されている。また、通路は 4 つの辺として表現されている。

各辺は、長さ (l) と幅 (w) の 2 つの属性値を持つ。この l と w を用いて、エージェントが各辺を通過するのにかかる時間を計算する。

各エージェントには自由歩行速度 v_0 が定められている。シミュレーション中のエージェントの速度 v は、 v_0 とエージェントの環境から決定される。本稿では、これらのうちの混雑による速度の低下について扱う。

混雑度の影響はエージェント周辺の群集の密度 $d(\text{person}/\text{m}^2)$ のエージェントへの速度への影響に関する、次の式 [日本 03] を用いて計算している：

$$v = \begin{cases} v_0 & \cdots (d < 1) \\ d^{-0.7945} v_0 & \cdots (1 \leq d \leq d_{\max}) \\ 0 & \cdots (d > d_{\max}) \end{cases}$$

ただし、 d_{\max} は d に関する閾値で、 $d > d_{\max}$ の場合にはエージェントは停止する。図 2 に $d_{\max} = 4$ の場合の d と v の関係を示す。

実際には d は正確に計算することができないため、近似的な値 d' を用いてエージェントの速度を計算する。

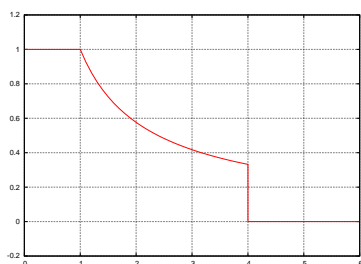


Figure 2: 人の密度と速度への影響

最も単純なモデルでは、 d' は辺ごとに計算する。すなわち、長さ l_e 、幅 w_e の辺について、エージェントが n_e 存在する場合、その密度 d'_e は

$$d'_e = n_e / w_e l_e$$

となる*1。

次節でより洗練された歩行者モデルを 2 つ提案する。

3. 歩行者のモデル

本節ではエージェントの速度を計算する際に、混雑度が与える影響を計算に関するモデルを 2 つ提案する。それぞれ、特定のエージェントのまわりの擬似的な群集密度 d' を、そのエージェントの前にいるエージェントの人数と距離から計算する。

なお、どちらのモデルでも全てのエージェントは同じ方向に進んでいるとする(対向流が存在しない)と仮定する。

3.1 ImmediateFront モデル

ImmediateFront モデルでは、エージェントの直前にいるエージェントの影響のみを考え、そのエージェントからの距離 r_{\min} から d' を計算する。ここで、前のエージェントとの距離による影響は、距離の二乗に反比例し、通路の幅に反比例すると仮定した。また、 r_{\min} がある一定の距離 r_M より大きい場合には速度への影響はないとした。

これらより、 d' を次の式のように定めた：

$$d' = \begin{cases} 1/wd^2 & \dots (0 < r \leq r_M) \\ 0 & \dots (r > r_M) \end{cases}$$

3.2 Lane モデル

Lane モデルは、通路を複数の仮想的なレーンからなると扱うモデルである。エージェントは同じ辺の上にいる直前エージェントではなく、自分のレーンにいる直前エージェントの影響を受けると仮定した。

ここで

- 仮想レーンの幅を w_l
- $\text{floor}(x)$ は x 以下の最大の整数を返す関数
- エージェントの前にいるエージェントへの距離を短い順に並べたものを r_1, r_2, \dots

*1 なお、このモデルでは特定の辺の密度が d_{\max} を越えた場合には人が詰まるため、利用するためには先頭のエージェントは密度の影響を受けない等の工夫をする必要がある。

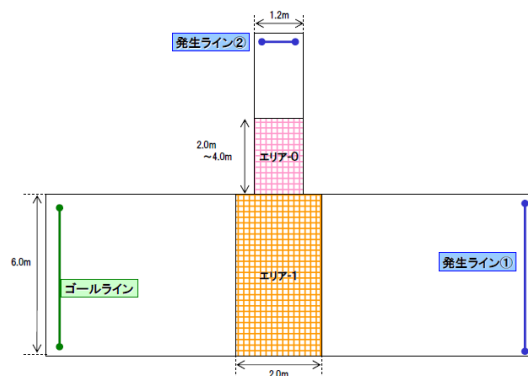


Figure 3: 実験に用いた空間

とする。

これらより、 d' を次のように定めた(ただし a はあるパラメータである)：

$$d' = \begin{cases} d' = a/d_i^2 \text{ where } i = \text{floor}(w/w_l) & \dots (0 < r \leq r_M) \\ 0 & \dots (r > r_M) \end{cases}$$

4. パラメータの調整

ImmediateFront モデルと Lane モデルのパラメータを、2 次元で表現された空間内をエージェントが移動する人流シミュレータ(通常シミュレータ)のシミュレーション結果を用いて調整する方法について提案する。

ここでは、通常シミュレータと NetMAS とに同じ境界条件を与えた上でシミュレーションを行い、結果が近い方が良い結果とする評価を用いることにした。この結果に関しては、各エージェントの通過にかかった時間の差(誤差)の二乗の合計を用いることにした(小さい方が良い)。

4.1 実験の条件

実験に用いた空間を図 3 に示す。これは右と上からエージェントが流入し、左に抜けていく空間となっている。

この空間において、上から流入するエージェントと右から流入するエージェントの密度それぞれを調整して実験を行った。条件としては

- 右からの流入を 1 秒に 1 人、2 秒に 1 人、3 秒に 1 人
- 上からの流入を 5 秒に 1 人、10 秒に 1 人、15 秒に 1 人
- それぞれを 5 回ずつ

の合計 45 回の実験を行った。

4.2 ImmediateFront モデル

ImmediateFront モデルで調整するの必要あるパラメータは r_M と d_{\max} である。ここで r_M を 1.0 から 3.0 の間で、 d_{\max} を 2.0 から 4.0 の間で変化させた結果を図 4 に示す。

その結果 r_M の値は結果に大きな影響を与えない一方で d_{\max} は 3.0 付近で良い成績になり、また 2.5 未満では急激に成績を悪化させることがわかった。

なお、このモデルで最も成績が良かったのは $r_M = 3.0$ 、 $d_{\max} = 3.2$ の時で、二乗誤差の合計は 2134.6 であった。

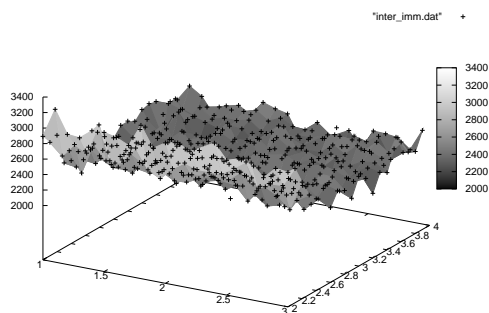


Figure 4: ImmediateFront モデルの調整

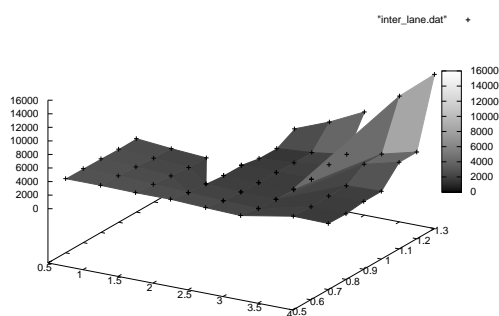


Figure 5: Lane モデルの調整

4.3 Lane モデル

Lane モデルで調整する必要のあるパラメータは a と w_l である。なお, ImmediateFront モデルからの実験により, $r_M = 3.0$, $d_{\max} = 4.0$ に固定してある。

a の値を 1.0 から 4.0 の間で, w_l の値を 0.7 から 1.3 の間で変化させた結果を図 5 に示す。

こちらについては, a , w_l とともに大きい所では急激に成績が悪化することがわかった。

なお, このモデルで最も成績が良かったのは $a = 2.0$, $w_l = 1.2$ の時で, 二乗誤差の合計は 1366.9 であった。

5. おわりに

歩行者が移動する空間を 1 次元で表現するネットワーク型マルチエージェントシミュレータ NetMAS を提案し, 群集の密度の歩行速度への影響に関するモデルを二つ提案した。また, これらのモデルで用いるパラメータを, 従来のシミュレータを利用して調整する方法を提案した。これらの比較を行った結果, 仮想的なレーンを考える手法が優れていることがわかった。

今後の課題としては, 合流現象に関するモデル化や, 大規模な問題を対象とした実験を行うことが考えられる。

謝辞

本研究は文部科学省平成 19 年度安全・安心科学技術プロジェクトの援助により行われました。ここに謝意を示します。

References

- [Bansal 08] Bansal, V., Kota, R., and Karlapalem, K.: System Issues in Multi-agent Simulation of Large Crowds, in *Multi-Agent-Based Simulation VIII*, Vol. 5003/2008, pp. 8–19, Springer Berlin (2008)
- [Kachroo 08] Kachroo, P., Al-nasur, S. J., Wadoo, S., and Shende, A.: *Pedestrian Dynamics Feedback Control of Crowd Evacuation*, Springer-Verlag (2008)
- [Ohta 00] Ohta, M., Koto, T., Takeuchi, I., Takahashi, T., and Kitano, H.: Design and Implementation of the Kernel and Agents for the RoboCup-Rescue, *ICMAS 2000*, pp. 423–424 (2000)
- [Pan 06] Pan, X.: *Computational Modelling of Human and Social Behaviours for Emergency Egress Analysis*, PhD thesis, Stanford University (2006)
- [日本 03] 日本建築学会：建築設計資料集成 - 人間, 丸善株式会社 (2003)