

ソーシャルフォースモデルシミュレーションにおける経路計算手法の改良

○ 豊岡祥 山本晃成 (株式会社 NTT データ数理システム)

Improving Path Finding Method in Social Force Model Simulation

* S. Toyooka and A. Yamamoto (NTT DATA Mathematical Systems Inc.)

概要- ソーシャルフォースモデル (SFM)¹⁾ は移動可能領域と障害物から成る 2 次元空間 (=環境) 内を多数のエージェントがそれぞれの目的地に向けて移動しながら互いに干渉する状況を再現するためのシミュレーションモデルで、イベント会場における混雑予測や、駅・空港などにおける人流シミュレーションなどに応用される。汎用シミュレーションシステム S⁴ Simulation System⁵⁾ はエージェントの出現・移動ルールを定めるだけユーザーが所望する SFM シミュレーションを行うことができる。本稿では S⁴ の経路計算手法のバリエーションを概観する。

キーワード: シミュレーション, ソーシャルフォースモデル, 経路探索

SFM とは、エージェントが他エージェントや障害物からの斥力といった外部作用を受けながら目的地に向けて移動していく様子を表現するシミュレーションモデルである。このとき、目的地に近づくために現在向かうべき方向を求めることが、経路計算の目的である。以下では S⁴ における SFM シミュレーションの核となる経路計算手法について複数のバリエーションを紹介する。

経路グラフ法

移動可能領域上にノードとエッジからなるグラフを用意しておき、グラフの経路計算アルゴリズムを用いて出発地から目的地まで、グラフエッジを經由して移動する経路を求める手法である。この手法は事前にダイクストラ法によって各ノード間の最短距離を求めておくことでエージェントごとの経路計算の必要はなくなり、高速に動作する。また、経路グラフを格子状に適切に細かくとることで 2 点間の実質的な最短経路を求められる。

Corridor Map Method (CMM) 法

CMM 法⁴⁾ は障害物の境界線を要素とした一般化ポロノイ図を用いる手法である。ポロノイ図の境界線は障害物から距離をおいた領域を通る曲線となるため、出発位置から目的位置まで、この境界線上を經由して移動することで、障害物を避けた滑らかな経路を得ることができる。一方でポロノイ図の境界線を経路の基準とするため、移動可能領域の形状によっては不自然な大回りをする経路が得られることがある。

Trajectory Improvement Method (TIM) 法

TIM 法は CMM の経路計算ステップの後処理として、経路を障害物からある程度の距離を保ったまま距離が短くなるように変形させる。具体的には以下のように計算する:

前処理 適当な粒度で移動可能領域を離散化し、その各点から障害物までの距離を Euclidean Distance Transform³⁾ によって求めておく。

経路計算 CMM 法の経路計算を行ったのち、次の後処理を行う:

1. CMM の経路の点列から適当に頂点を間引いて折れ線の経路 (p_1, p_2, \dots, p_N) を得る
2. p_n ($n = 1, 2, \dots, N$) を変数とし、以下の項の総和からなる目的関数を最小化し、得られた新しい (p_1, p_2, \dots, p_N) を経路とする:
 - 経路長の 2 乗 $\|(p_n - p_{n-1})\|^2$
 - 障害物からの距離に応じたペナルティ $\sigma \cdot c(d(p_n))^2$

この目的関数は非線形関数の 2 乗和の形になるため、levenberg marquardt 法などで比較的効率的に最適化できる²⁾。TIM 法は最適化によって障害物との間隔を保ってかつ経路が短い自然な経路が得られ、また障害物ペナルティの重みを変化させることで同じ出発・目的位置でもエージェント毎に多様な経路を取らせることができるなど、人流シミュレーションに適した手法といえる。一方で最適化計算をエージェントごとに行うため計算時間の面では他の手法に劣っている。

参考文献

- 1) Dirk Helbing & Peter Molnar: "Social Force Model for Pedestrian Dynamics" Physical Review E51-5 (1995)
- 2) Levenberg Kenneth "A Method for the Solution of Certain Non-Linear Problems in Least Squares" Quarterly of Applied Mathematics 2 164/168 (1944)
- 3) Ricardo Fabbri et al. "2D Euclidean distance transforms: a comparative survey" ACM Computing Surveys 40-1 1/44 (2008)
- 4) Roland Geraerts & Mark H. Overmars "The Corridor Map Method: Real-Time High-Quality Path Planning" Computer Animation and Virtual Worlds archive 18-2 107/119 (2007)
- 5) 汎用シミュレーションシステム - S⁴ Simulation System - NTT データ数理システム <https://www.msi.co.jp/s4/>