

歩行者モデルを用いた移動ロボットの走行誘導

畑中 信哉[†] 五十嵐 治一[‡]
 芝浦工業大学[†] 芝浦工業大学[‡]

1. はじめに

群集流のモデルがコンピュータグラフィックやロボット、都市計画などの分野で注目を浴びている[1]. 群集流モデルには個々の小さな単位を扱うマイクロな立ち場があり、その1つに物理力モデルを用いる方法がある. 物理力モデルでは Helbing の歩行者モデルが有名である[2].

障害物回避のアルゴリズムは多く研究されている. 通過できる距離だけ離れた地点に仮の目標点を設定しその地点へ向かって移動し、以後この点を連続的に生成することで障害物を回避する手法がある[3]. それに対し、本研究では Helbing の歩行者モデルで用いられる斥力を利用して障害物回避を行う. さらに、障害物からの斥力に関する2種類のパラメータの値を移動効率と安全性の両方の観点から探索する方法を考案した.

具体的には、障害物が配置されたいくつかの局面を用意し、複数台ロボットがゴールへ到達するまでの移動時間と障害物からの距離の最小値とのバランスを考慮したパラメータ値をシミュレーションにより求めた.

2. Helbing の歩行者モデル

Helbing の歩行者モデルでは、歩行者に仮想的な引力と斥力が働くと考えて運動方程式が定義され、運動方程式によって歩行者の速度が決定される. Helbing のモデルでは、歩行者と障害物との間に作用する斥力が指数関数で表されている. このときのエージェント i に働く力 F を(1)に示す.

$$F = F^0 + \sum_{j(\neq i)} F_{ij}(t) + \sum_w F_{iw}(t) \quad (1)$$

$$F^0 = m \frac{v^0(t)e^0(t) - v_i(t)}{\tau_i} \quad (2)$$

$$F_{ij} = F_{iw} = A * \exp(-D/B) \quad (3)$$

(1)では、エージェントの動きは、3つの力に影響を受ける. (1)の第1項 F^0 は希望速度ベクトルへ速度ベクトルを近づける項である. (2)の e^0 と v^0 は、希望速度ベクトルの向きと大きさである. 本研究では、 e^0 はサブゴールへ向かう単位ベクトルとする. ただし、サブゴール到達後はゴールへ向かう単位ベクトルとする.

(1)の第2項は他のエージェント j から受ける斥力 F_{ij} , 第3項は壁から受ける斥力 F_{iw} である. Helbing のモデルは、係数を A , 歩行者と壁の距離を D , 斥力が働く距離を B としている. 本研究では、エージェントの動きに

Navigation of mobile robots based on a model of pedestrian behavior

[†]Shinya Hatanaka, Shibaura Inst. of Tech.

[‡]Harukazu Igarashi, Shibaura Inst. of Tech.

影響が大きい係数 A と斥力 B を調整する. 本来、 F_{ij} と F_{iw} の A, B は異なるが、本研究では計算処理を速くするため同一と仮定した.

3. 本研究における走行誘導方式

3.1 本研究で用いた事例とサブゴールの設定

本研究では、障害物(壁)の先にサブゴールを設定した. サブゴールへの引力と障害物からの斥力によって安全かつ効率的に障害物を回避しながらゴールへ誘導する.

図1に2つの事例を示した. これらの事例では、5体のエージェントが壁を避けながらゴールへ向かう.

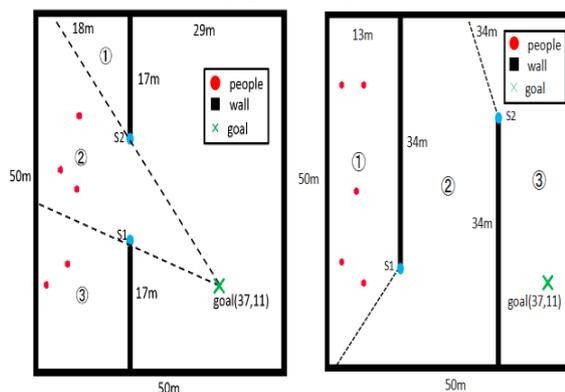


図1(A) 事例1

図1(B) 事例2

サブゴールは、エージェントがゴールへ向かう時に最短ルートを通るように壁の端(S_1 と S_2)に設定した.

事例1では、ゴールと壁の端とを結ぶ直線によってサブゴールの場合分けを次のように行った. ①エージェントが直線(上の点線)よりも上の範囲に存在するときは S_2 , ②直線の間(上と下の点線の間)の範囲に存在するときはゴール, ③直線(上の点線)よりも上の範囲に存在するときは、 S_1 をサブゴールとした.

事例2では、① S_1 と S_2 を結ぶ直線の延長線の手前は S_1 , ②それを越えた場合は S_2 , ③ S_2 とゴールを結ぶ直線の延長線を越えた場合はゴールへサブゴールを切り替えるようにした.

3.2 斥力の設定

図2のようにエージェントが壁から受ける斥力を①~④の場合に分けた. 図2の①, ④では、壁から斥力を垂直に受ける. ②, ③では、壁のエッジから斥力を受けると設定した.

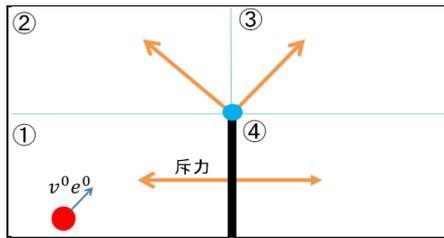


図2 壁からの斥力の場合分け

3.3 安全性の条件

実験では、最後のエージェントの到達時間(ステップ数)をできるだけ早くし、個々のエージェントが他エージェントあるいは壁と1.5mよりも近づかない両方を満たす最適なパラメータ斥力A, 斥力範囲Bを求めた。

4. パラメータの探索

4.1 粗い探索

予備実験により, Helbing の歩行者モデルのパラメータ係数 A, B のとりうる範囲を, それぞれ $0 \leq A \leq 200, 0.5 \leq B \leq 7.5$ とした。

探索は2回に分けて行った。1回目は, パラメータ A, B を10等分した各々の値から,

$(A_1, B_1), (A_2, B_1), \dots, (A_9, B_1), (A_{10}, B_1)$

を作り, 各組に対してランダムに決められた100個の配置(初期配置1, 2)を用意し, 初期配置1の配置データに対してシミュレーションを行った。

4.2 詳細探索

図3のように1回目の実験で求めたパラメータと隣接するA, Bで範囲を限定し, 1回目と同様の実験を行った。

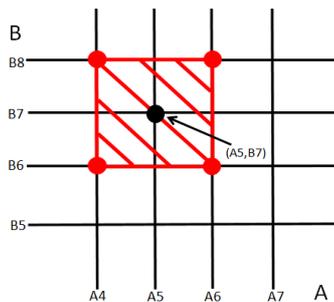


図3 詳細探索における探索範囲

4.3 枝刈りによる探索の高速化

実験において, 事例1, 事例2に対し次のような条件を設定した。

- i)最後のエージェントの到達時間(ステップ数)が300stepを超えてはならない。
- ii)エージェントと他エージェント, あるいはエージェントと壁が1.5mよりも接近してはならない。

どちらか一方でも満たさなかった場合, 次のパラメータ組のシミュレーションに移る枝刈りを行った。

5. 実験結果

各事例に対して探索1回目, 2回目によって求められた最適なパラメータを表1に表した。

次に, 各事例における斥力なしの場合のstep数と探索1回目, 2回目によって求められた最適なパラメータにおけるstep数, 条件i), ii)の両方を満たす組の数, 枝刈りの有無におけるプログラム実行処理時間を表2に表した。

表1 各事例・探索における最適なパラメータ(A, B)

最適な(A, B)/事例番号	事例1	事例2
探索1回目	(40, 1.9)	(80, 1.9)
探索2回目	(36, 1.48)	(76, 1.76)

表2 各事例における実験結果

項目/事例番号	事例1	事例2
斥力無し step数(s)	39.2(s)	93.4(s)
最適な(A, B)による step数(s)	1 : 57.4(s)	1 : 118.2(s)
	2 : 54.0(s)	2 : 114.1(s)
処理時間(枝刈り無し)	1 : 4h23min	1 : 5h19min
	2 : 2h09min	2 : 2h38min
処理時間(枝刈り有り)	1 : 31min	1 : 47min
	2 : 1h12min	2 : 1h49min
条件 i), ii)の両方を満たす組数	1 : 3/100組	1 : 3/100組
	2 : 28/100組	2 : 33/100組

*探索1回目は1, 探索2回目は2と表記

最後に, 求めたパラメータ組の未知データである初期配置2のデータに対する結果を表3に表した。

表3 初期配置2に対する結果

項目/事例番号	事例1	事例2
最適なパラメータ	(36, 1.48)	(76, 1.76)
step数(100回の平均値)	51.3(s)	114.4(s)
条件 i), ii)を両方満たした回数	100/100(回)	100/100(回)

6. おわりに

本研究では, 障害物回避を行うため, サブゴールを設定し, 条件を満たす最適なパラメータ A, B を全探索と枝刈りによって求めることができた。今後は, ユーザーが指定した障害物配置や安全性などの条件下での最適なパラメータをリアルタイムで計算できるアルゴリズムを考案するのが課題である。

参考文献

- [1] 兼田敏之, “Artisoc で始める歩行者エージェントシミュレーション”, 書籍工房早山, 2010
- [2] Helbing, “Simulating dynamical features of escape panic”, Nature, Vol. 407, pp. 487-490, 2000
- [3] 村井, 酒井, 上松, 中嶋, 三谷, 北野, “自立移動ロボット群による搬送システムの実用化”, ロボット学会誌, Vol. 28, No. 3, pp. 311~318, 2010