

分散協調型移動ロボットによる避難誘導手法

～障害物を考慮した評価検討～

Guidance Method by Distributed Cooperative Mobile Robots
- Study and Evaluation Considering Obstacles -岩本 健汰[†] 尾崎 敦夫[†]
Kenta Iwamoto Atsuo Ozaki

1. はじめに

近年、大規模な地震による人的被害が発生している[1]. 大規模な地震では、火災や津波などの二次災害が発生する可能性があり、防災・減災の観点から迅速に被災者を発見し、避難行動に繋げることが求められる。災害時には、天井から落下物や物が転倒することで避難活動における障害物となることが考えられ、誘導員は障害物の回避を行いながら避難誘導を行わなければならない。現状の発災後の避難誘導では、施設の従業員や自治体の職員などが誘導員として避難誘導にあたる場合が多く、誘導員が災害現場で逃げ遅れてしまう可能性がある。本研究では、障害物の割合に応じた避難誘導手法の実現を目的とする。また、誘導員の逃げ遅れを防ぐため、避難者の発見・避難指示はロボットが行うものとする。提案する避難誘導手法の有効性をシミュレーション空間で確かめる。

2. 関連研究

災害現場で複数ロボットが協調し、避難誘導を行う渡辺らの研究[2]においては、シミュレーションで作成した障害物の存在しない空間で、任意の目的地に対して引きつけられる力（以降、引力と称する）とロボット間に働く反発する力（以降、斥力と称する）を用いてロボットの移動を決定し、避難誘導することが可能かを検証している。また、Dirk Helbing らの研究[3]では、シミュレーションでエージェントが壁などの障害物から受ける力などの社会的な力の作用を再現した。

3. 提案手法

我々は、障害物が存在する空間で複数移動ロボットが協調し、効率的に避難誘導を行う手法を提案する。ロボットの移動には、2章で示した引力と斥力、障害物を回避するための反発力によって決定する。本手法では、引力を D_P (式1)、斥力を D_R (式2)、反発力を D_O (式3) と表し、それぞれの力は以下の数式で求める。

引力 D_P を算出する式1では、 $distance$ はロボットから各目的地までの距離を表し、 $weight$ は任意の各目的地が持つ重みとする。また、任意の目的地を識別する番号を i とする。

$$D_P = \sum \frac{weight_i}{distance_i^2} (i = 1, 2, \dots) \quad (式1)$$

斥力 D_R を算出する式2では、 $distance$ はロボット間の距離を表し、任意のエージェントを識別する番号を j とする。

$$D_R = \sum \frac{1}{distance_j^2} (j = 1, 2, \dots) \quad (式2)$$

反発力 D_O を算出する式3では、 $distance_obstacle$ はロボットと障害物からの距離を表し、任意の障害物を識別する番号を h とする。

$$D_O = \sum \frac{1}{distance_obstacle_h^2} (h = 1, 2, \dots) \quad (式3)$$

ここまで説明した力の合力に引力と斥力の強さを表すパラメータ α と反発力の強さを表すパラメータ β を考慮して、ロボットの最終的な移動方向 $Direction$ を決定する。パラメータ α とパラメータ β を持たせることで環境に応じた最適な探索方法の導出を図る。また、移動方向 $Direction$ の数式を式4に示す。

$$Direction = \alpha \times D_P + (1 - \alpha) \times D_R + \beta \times D_O \quad (式4)$$

4. 評価

4.1 評価環境

評価は、python のライブラリである mesa で作成した 50×50 のグリッドで構成されたシミュレーション空間で実施する。グリッドマップを構成する1セルにつき1エージェントまたは障害物が存在可能であるとする。エージェントは、避難者エージェントが100人、ロボットエージェントが2台とする。障害物はマップ内にランダムに生成する。また、全体を 25×25 のグリッドで分割し、それぞれエリアA、エリアB、エリアC、エリアDとし、各エリアの中心にそのエリアの人数を検知可能なセンサを配置した。ロボットはこのセンサから検知した人数を取得できる。また、避難者エージェントが目指す出口は、エリアBの右上の2つのセルとエリアCの左下の2つのセルのどちらかとする。避難者は避難指示を受けるとポテンシャルマップに従い出口へと避難する。ポテンシャルマップでは、エージェント

[†] 大阪工業大学 Osaka Institute of Technology

はポテンシャル値に従い、現在いるセルのポテンシャル値より低いポテンシャル値を持つ近隣のセルに移動することができる。評価環境を図 1 に示す。

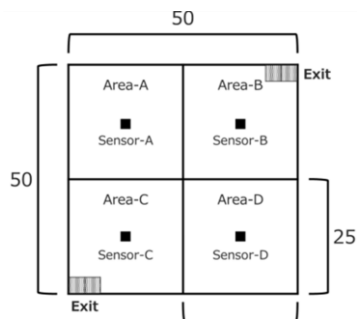


図 1 評価環境

4.2 評価項目

本研究では、提案手法を障害物の存在する空間での避難誘導に適用することの有効性について、ロボットエージェントをランダム移動させたときと提案手法と比較し、「避難完了時間」「避難未完了者数」「避難未完了回数」で評価する。その後、空間に占める障害物割合ごと（5%、10%、15%）の評価を順に実施する。シミュレーションは、1 パラメータにつき 1000 回試行する。

5. 結果

5.1 モデルの有効性

提案手法とランダムモデルを比較した結果を表 1 に示す。表 1 より、ランダムモデルでは 500step 以内に避難が完了することはなく、避難ができなかった避難者が平均 39.36 人となった。全員が避難完了することはなかったが約 6 割は避難完了していた。次に提案手法では、平均避難完了時間が平均 275step、平均避難未完了者数が平均 0.12 人、避難未完了回数が 1000 回中 65 回となった。ほとんどの場合において全員が避難完了した。いずれの項目でも提案手法の方がランダムモデルより良い結果となった。

表 2 モデルの評価結果

評価項目	ランダムモデル	提案手法 ($\alpha=0.5$)
避難完了時間	平均 500step	平均 275step
避難未完了者数	平均 39.36 人	平均 0.12 人
避難未完了回数	1000/1000 回	65/1000 回

5.2 障害物割合毎の最適パラメータ α

評価結果を図 2 に示す。グラフの縦軸に平均避難完了時間、横軸に使用したパラメータ α を示している。グラフ中の青色が障害物割合 5%、オレンジ色が 10%、灰色が 15% を表す。図 2 より、平均避難完了時間は障害物割合が増えることで遅くなる傾向が見られた。障害物割合が 5% の場合は、 $\alpha=0$ の場合を除くとほとんどのパラメータで上限ス

テップの半分以下の時間で避難が完了していたことが分かる。10% の場合は、5% の場合と比べて平均避難完了時間は遅くなったものの、パラメータ α ごとの平均避難完了時間の傾向は類似していた。

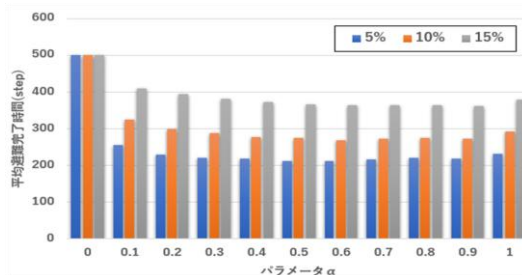


図 2 各障害物割合の平均避難完了時間

6. 考察

5. 2 節の結果より、空間に占める障害物割合が増えることで避難完了までにかかる時間が増える傾向にあることが分かった。これは、障害物が増えたことで経路が複雑になったことでロボットが障害物を迂回するのに時間を費やしたためだと考えられる。また、空間内の障害物割合が増えるにつれて、最適なパラメータ α が大きくなる傾向が見られた。これは、空間内に障害物が増えることでロボットの移動範囲が制限され、避難者の発見をしにくくなっていることが原因だと考える。ロボットには、引力と斥力があり、そのバランスが重要になる。障害物割合の多い環境では、ロボットの移動範囲が制限されているため斥力よりも引力の優先度が高いのではないかと考える。つまり、パラメータ α が大きい場合に避難者を発見しやすくなり、このような傾向が見られたのではないかと考える。

7. おわりに

本研究では、災害現場を想定したシミュレーション空間を用いて、複数エージェントの協調型探索手法を提案した。また、空間における障害物割合ごとの避難誘導に適切なパラメータを調査した。結果として、空間内の障害物割合が増えることで避難誘導に最適なパラメータが変化することが判明した。また、提案手法により、避難完了時間の改善に対しても、一定の有効性が確認できたと考える。今後の課題は、現実空間を対象とした提案手法の有効性を検証することである。

参考文献

- [1] 気象庁, “日本付近で発生した主な被害地震(平成 8 年以降),” <https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/higai/higai1996-new.html> (参照 2024/1/25)
- [2] Kazuki Watanabe, Ryoma Toyomi, Atsuo Ozaki, “Study of Distributed Cooperative Evacuation Guidance Model using Multiple Mobile Robots,” 2024 International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers, and Communications, July 2024.
- [3] Dirk Helbing and P'eter Moln'ar, “Social Force Model for Pedestrian Dynamics,” Physical review A, Atomic, molecular, and optical physics, 51(5), May 1998.