

動的障害物の存在を考慮した自己位置推定

Robust localization in the presence of dynamic obstacles

波山 正陽¹⁾ 金丸 隆志¹⁾
Masaharu Hayama Takashi Kanamaru

1. はじめに

近年、飲食店などの環境において、移動ロボットの活用が進んでいる。移動ロボットの安定した自律移動には、自己位置推定が不可欠である。代表的な自己位置推定手法の1つに、事前に作成した地図と、測域センサから得られる距離情報を照合する方法がある。しかし、この手法では未知の障害物の出現や障害物の移動により照合が適切に行われず、自己位置推定が不安定になる場合がある。

この問題に対して、萬氏は、RGB-D カメラと物体検出 AI で動的障害物を検知し、その方向に対する距離情報へ移動属性を導入する手法を提案している[1]。ここで、移動属性とは、その障害物が移動せずに同じ位置に存在し続ける可能性を表す値である。また、移動せずに固定された障害物を静的障害物と呼び、移動する可能性が高い障害物を動的障害物と呼ぶ。静的障害物と動的障害物の代表例はそれぞれ壁と人などである。これにより、静的障害物の距離情報が地図との照合に優先的に利用され、自己位置推定が頑強になる。

しかし、この手法で用いられている RGB-D カメラは画角が限定的であり、ロボットの周囲360°に存在する障害物を同時に検出することは難しい。また、カメラ画像上の障害物位置と測域センサの各方向の距離情報を正確に対応付けることも大きな課題となる。

そこで本研究では、RGB-D カメラの代わりに全天球カメラを用いる。全天球カメラの導入により、ロボットの周囲360°に存在する障害物の検出と、カメラ画像上の障害物位置と各方向の距離情報の正確な対応付けが可能となる。それにより、動的障害物の存在を考慮した自己位置推定がより頑強になると考えられる。(FIT2026 第 25 回情報科学技術フォーラム 講演論文集 第 3 分冊 (2026) pp. 291-292.)

2. 提案手法

本研究で提案する、動的障害物の存在を考慮する方法を図 1 に示す。本研究で使用する移動ロボットは、ROBOTIS の TurtleBot3 を基に構成されており、測域センサ、ノート PC、全天球カメラである RICOH THETA V が搭載されている。

まず、全天球カメラから取得した画像に対して物体検出 AI (YOLOv5[2]) を適用し、画像中の人などの障害物を検出する。次に、検出された障害物を囲む矩形領域の左右端のx座標から、障害物が存在する方向角 θ_{Lj}, θ_{Rj} を算出する。そして、障害物の種類に応じた移動属性と、その障害物が存在する方向角を自己位置推定プログラムに送信する。自己位置推定プログラムでは、 $\theta_{Lj} \sim \theta_{Rj}$ の方向に対応する距離情報の移動属性を更新し、自己位置推定を行う。

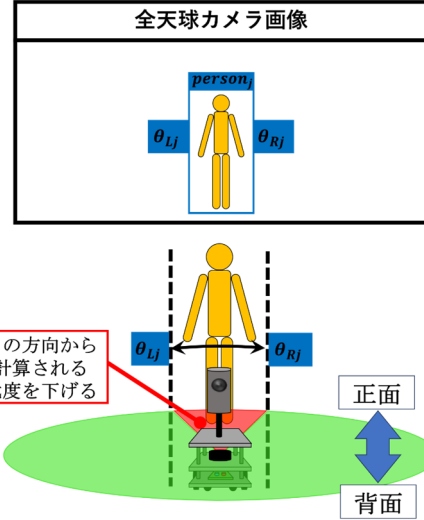


図 1 動的障害物の存在を考慮する方法

2.1 全天球カメラを用いた方向算出

本研究では、村岡氏ら[3]の論文を参考にして、全天球カメラ画像から動的障害物が存在する方向角を算出する。全天球カメラから得られる正距円筒画像では、画像の横方向の座標と実空間における水平方向の方向角が対応している。具体的には、検出されたj番目の障害物に対し、障害物を囲む矩形の左端と右端の横方向座標 x_{ij} [pixel]、画像の横幅 W [pixel]を用いて、方向角 θ_{ij} [°]を式(1)で求めることができる。 $i = L, R$ はそれぞれ矩形の左端と右端であるとする。

$$\theta_{ij} = \frac{360x_{ij}}{W} \quad (1)$$

2.2 自己位置推定への移動属性の導入

障害物が存在する方向角とその障害物の種類に応じた移動属性を、AMCL のビームモデル[4]に導入する。AMCL のビームモデルでは、測域センサから得られる距離情報と、地図上で期待される距離情報がどれだけ一致しているかを評価し、自己位置推定を行う。

そのために、萬氏の論文[1]を参考にして、障害物ごとの移動しにくさを定量化し、移動属性を定義する。各障害物の移動属性を表 1 に示す。壁などの固定された障害物の移動属性は高く、人などの移動する可能性が高い障害物の移動属性は低く設定する。そして、定義した移動属性をその障害物が存在する方向角に対応する距離情報に付与する。例えば、人の移動属性は 0 としていることから、人が存在する方向角の距離情報は無効化されることになる。

これにより、動的障害物の影響を小さくし、静的障害物の距離情報を積極的に地図との照合に利用することで、自己位置推定の安定性を向上させる。

¹⁾工学院大学 Kogakuin University

表 1 障害物の移動属性

障害物の種類	移動属性
人	0.0
椅子、ごみ箱	0.5
壁	1.0

3. AMCL に対する動的障害物の影響

本章では、人が存在する場合と存在しない場合の AMCL による自己位置推定結果を比較し、人が存在する方角の距離情報を無効化することの意義を検討する。実験環境と、実験時の自己位置推定の様子を図 2 に示す。人が存在する場合と存在しない場合のそれぞれで、約2mの経路を 1 往復させる。この動作を 1 回として、計 5 回行い、その自己位置 x の時間変化の平均をグラフ化する。

実験結果を図 3 に示す。人が存在する場合と存在しない場合で、自己位置推定結果に差が生じており、人の存在が AMCL による自己位置推定に影響を与えていることが分かる。これは図 2 において、人に対応する距離情報が、人の奥に存在する壁として誤って照合されているためである。

したがって、人が存在する方角の距離情報を地図との照合に用いないことで、人の存在に起因する自己位置推定の誤差を抑制できると期待される。

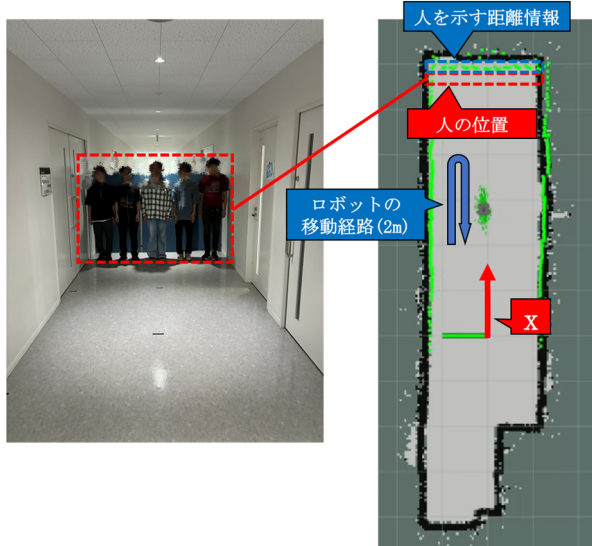


図 2 実験環境と自己位置推定の様子

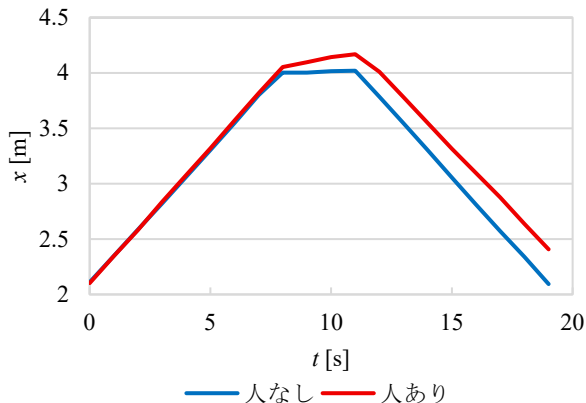


図 3 人の有無がロボットの自己位置 x の推定に与える影響

4. 人が存在する方角の距離情報の無効化

予備実験として、人が存在する方角の距離情報を無効化する処理を実装し、その動作を検証した。その様子を、図 4 に示す。本実験では、人が存在する方角の距離情報については移動属性を 0、それ以外の距離情報は移動属性を 1 とした。図 4 より、人が存在する方角の距離情報のみを無効化できていることが分かる。

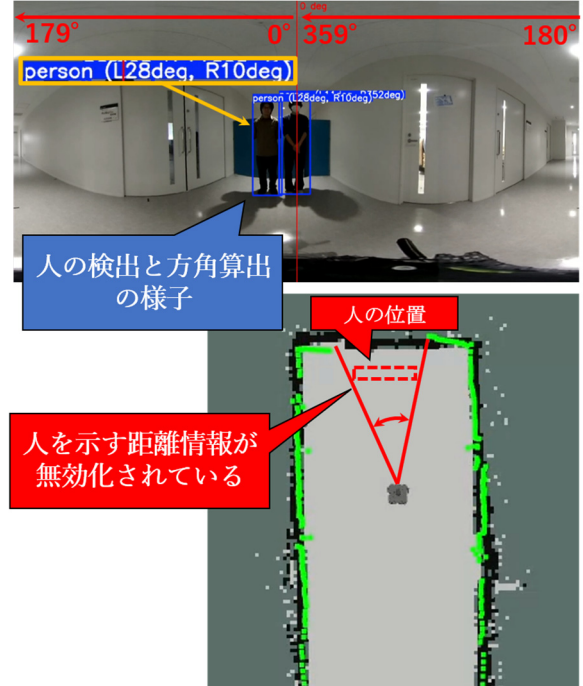


図 4 人が存在する方角の距離情報を無効化した時の様子

5. まとめ

本研究では、動的障害物の存在により、自己位置推定が不安定になる問題に着目した。この問題に対して、全天球カメラを用いて動的障害物が存在する方角を算出し、その方向に対する距離情報へ移動属性を付与する自己位置推定手法を提案した。3 章では、人が存在する方角の距離情報を無効化することで、自己位置推定の誤差を抑制できる可能性を示した。また、4 章では、人が存在する方向に対する距離情報の無効化が可能であることを確認した。

今後は、AMCL に対して、障害物の種類に応じた移動属性を導入する。これにより、ロボットの自己位置推定精度が向上するかを検証する。この検証結果については、講演時に報告する予定である。

参考文献

- [1] 萬 礼応, “物体の属性を考慮した環境変化に対して頑強な自己位置推定”, システム／制御／情報, Vol.66, No.4, pp.121-126 (2022).
- [2] G. Jocher, “YOLOv5 by Ultralytics”, DOI: 10.5281/zenodo.3908559 (2022).
- [3] 村岡 叶夢, 窪田 諭, 安室 喜弘, “単眼全天球カメラを用いた自己位置推定と人の位置情報のマッピング”, 土木学会論文集, Vol.79, No.22, 22-22017 (2023).
- [4] S. Thrun, W. Burgard, D. Fox, 上田 隆一訳, “確率ロボティクス”, マイナビ (2015).