

令和 7 年度 卒業論文  
自律移動ロボットのための価値反復と  
A\*探索を組み合わせた大域経路計画

中村啓太郎  
China Institute of Technology

2026 年 1 月 29 日



# 謝辞

本研究に取り組み，本稿を執筆するにあたり，ご指導を頂いた上田隆一教授および上田研究室のみなさまに感謝します．



# 目次

謝辞	iii
第 1 章 序論	1
1.1 研究背景 . . . . .	1
1.2 従来研究 . . . . .	1
1.3 研究目的 . . . . .	2
1.4 論文の構成 . . . . .	2
第 2 章 移動ロボットの経路計画問題	3
2.1 扱う問題 . . . . .	3
2.2 価値反復 . . . . .	3
2.3 経路探索アルゴリズム . . . . .	3
第 3 章 提案手法	5
3.1 価値反復と $A^*$ の組み合わせ . . . . .	5
3.2 3D $A^*$ の適用 . . . . .	5
第 4 章 実装	7
4.1 $A^*$ の実装 . . . . .	7
4.2 価値反復と $A^*$ の併用 . . . . .	7
第 5 章 実験	9
5.1 シミュレーター実験 . . . . .	9
5.2 実機実験 . . . . .	9
第 6 章 結論	11
参考文献	13



# 第 1 章

## 序論

### 1.1 研究背景

経路計画技術は，現代社会において必要性が見込まれる自律移動システムの要素技術である．少子高齢化によって労働人口が減少している問題に対して，自律移動システムを持つロボットが，解決に寄与すると考えられている．ビルや商業施設の警備や，店舗や家屋の清掃，配膳，農業といった，従来，人が行っていた作業は，移動を基礎とした作業である．そのため，自律移動システムは，これらの作業をロボットが代替する際に，要求される．

自律移動システムは，移動するロボットが，人の操作を必要とせずに，安全に移動を行うシステムである．ロボットが安全に移動するためには，障害物を回避ないしは停止し，ぶつからないことが求められる．障害物は，建造物やロボットが乗り越えられない段差といった短い時間で位置の変化しない固定障害物と，人間や停車している車，看板といった短い時間で位置の変化する移動障害物の 2 種類に分けられる．

自律移動システムには，大別して自己位置推定，経路計画の 2 つの要素技術がある．

自己位置推定は，ロボット自身が環境からセンサを通じて得られる情報から環境内の自身の位置を推定する技術である．センサ情報から自身の位置を推定する技術である．には，MCL ( Monte Carlo Localization ) [Fox 99] が用いられる．

現在，経路計画にはよく A\* アルゴリズムが用いられ，経路追従と障害物回避には DWA ( Dynamic Window Approach ) が用いられる．このように異なるアルゴリズムを用いることにより，計算が簡単になる反面競合する可能性が残っている．そのため，経路計画と障害物回避を同時に行う手法として，ポテンシャル法がある．でも局所最適に陥る問題があり，価値反復はそれを解決する．

### 1.2 従来研究

上田らは価値反復 ROS パッケージを開発した．

### 1.3 研究目的

価値反復 ROS パッケージを用いたナビゲーションにおいて，走り出しまでの時間を短縮することで移動にかかる時間を短縮することを目的とする．

### 1.4 論文の構成

章では，問題設定と価値反復アルゴリズム， $A^*$ アルゴリズムについて述べ，章では，提案手法，章では，実験について述べる．章でまとめる．



## 第 2 章

# 移動ロボットの経路計画問題

### 2.1 扱う問題

本研究では、移動ロボットを平面上で自律移動させる問題を扱う。広く用いられている Nav2[?](ROS 2 の標準ナビゲーションパッケージ) が扱う問題と同様の問題である。ロボットは、行動を始めるタイミングで目的地の座標を与えられ、障害物との衝突を避けながらできる限り短い時間で目的地まで到達しなければならない。ロボットが移動を行う空間を環境と言い、図 2 にその環境の例を示す。環境には、世界座標系が 2 次元の直交座標系で設定されており、ロボットは、位置  $(x, y)$  と、 $x$  軸となす角  $\theta$  を向きとして持っており、これらをまとめてロボットの状態（位置と向き） $x = (x, y, \theta)$  3 変数で表現される。目的地地点は図中の destination area のように  $XY$  平面上の領域や、 $xy\theta$  空間内の領域として与えられる。環境中には、その位置は既知である固定障害物と移動障害物が存在するが、これらは VI パッケージの既存の機能で対処可能である。しかし、本研究では移動障害物の回避は陽には扱わない。

### 2.2 価値反復

価値反復アルゴリズムは、ベルマン方程式の形式に乗るように定式化することで、最適な状態価値関数を得られるアルゴリズムである。

### 2.3 経路探索アルゴリズム

#### 2.3.1 Dijkstra 法

よく知られたグラフ探索アルゴリズムである。

### 2.3.2 A\*アルゴリズム

Dijkstra 法を発展させたものであり，ゴールまでのコストを推定するヒューリスティック関数を追加したものである．

## 第 3 章

# 提案手法

### 3.1 価値反復と A\*の組み合わせ

A\*と価値反復を並列に計算し，A\*の計算結果を価値反復に適用する．

### 3.2 3D A\*の適用

3D のほうがよくなるのではないか



## 第 4 章

# 実装

### 4.1 A\*の実装

A\*の探索空間は,  $xy$  平面であり,

### 4.2 価値反復と A\*の併用

A\*による経路の価値反復への適用は, 次の式にしたがって行う.



## 第 5 章

# 実験

### 5.1 シミュレーター実験

シミュレーターで実験した。

### 5.2 実機実験

実機で実験した。





## 第 6 章

## 結論

よくなりました。



## 参考文献

- [Fox 99] Dieter Fox, Wolfram Burgard, Frank Dellaert, and Sebastian Thrun. Monte Carlo Localization: Efficient Position Estimation for Mobile Robots. In *Proc. of AAAI-99*, pp. 343–349, 1999.