

全方向移動ロボットの移動障害物回避における  
停止時間の低減

創価大学 理工学部 情報システム工学科

指導教員 崔 龍雲

2058215 小野 郁哉

2024 年 1 月

# 目次

第 1 章	序論	1
1.1	本研究の背景 . . . . .	2
1.2	本研究の目的 . . . . .	4
1.3	本論文の構成 . . . . .	5
第 2 章	移動障害物を回避する経路生成	6
2.1	移動障害物の検出 . . . . .	7
2.2	移動障害物における移動先の予測 . . . . .	8
2.3	停止時間の低減をする経路生成 . . . . .	9
第 3 章	移動障害物回避における停止時間の比較実験	11
3.1	実験概要 . . . . .	12
3.2	結果と考察 . . . . .	13
第 4 章	結論	15
4.1	本研究の成果 . . . . .	16
4.2	今後の展望 . . . . .	17
	参考文献	18
	謝辞	19

# 図目次

1.1	ロボットの正面から近づく移動障害物 . . . . .	3
2.1	移動障害物の予測経路の算出 . . . . .	7
2.2	一時的に横方向に移動する例 . . . . .	10
3.1	移動障害物回避を行う実験環境 . . . . .	12
3.2	時間ごとの速度変化 (★ 印はゴール時間) . . . . .	14

# 第 1 章

## 序論

## 1.1 本研究の背景

レストランでは客への料理提供や席への案内，またホテルでは客の荷物運搬や部屋案内など，従業員に代わるロボットの導入が求められている [1]．特にロボットが移動するような作業を行う場合，その時々でロボットは周囲の環境を把握して自律的な移動をする必要がある．レストランやホテルの環境では，ロボットが接客をしているときも，別の客は歩行をしたり，他の客が台車や荷物などを動かすような物の移動が常に起こる．そのためロボットが作業を行う際に，客や物が移動をしても衝突をしない自律的な移動をする必要がある．

例えば，ロボットがバイキング形式のレストランで客を座席へ案内する際，他の客はバイキングとしてレストラン内を歩行している可能性がある．そのような場面では，ロボットは移動しながら他の客が歩行をしていても回避する必要がある．これに対して，客や物などの移動を検出し，その動きから予め回避できる経路を生成することで解決する．

先行研究では，ロボットが 2D LiDAR を用いて周辺に存在する障害物を 2 次元の点群として取得し，人のような移動障害物を検出した上で経路を生成する [2]．このときロボットは，正面を通る移動障害物に対して一時的に停止し，回転を行うことで衝突を回避する．ここでロボットの正面から近づく移動障害物の例を図 1.1 に示す．人がこのまま歩行を続ける場合，ロボットは避ける必要がある．しかし先行研究では，停止して回転を用いているため回転する時間が長い場合，人の進路を妨害する．つまりロボットの正面から近づく移動障害物においては，ロボットの停止時間が長いことで，移動障害物の進路を妨げてしまう．

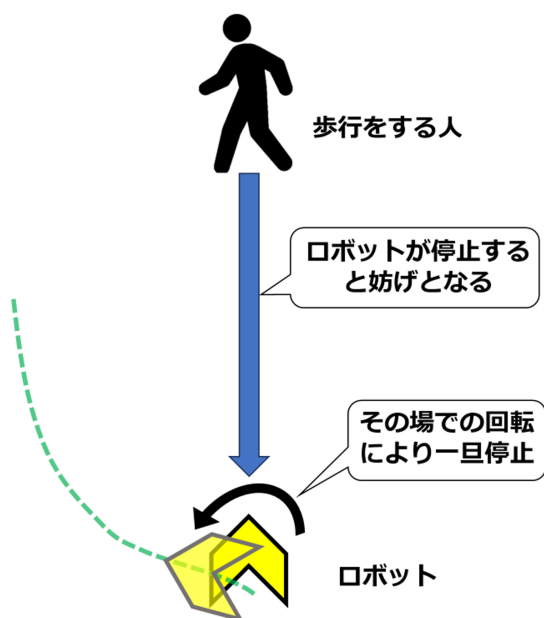


図 1.1 ロボットの正面から近づく移動障害物

## 1.2 本研究の目的

本研究では，移動障害物に対して移動前の過去の位置と現在の位置からその軌道を予測し，回転の省略によって停止時間を低減することで課題を解決する．全方向移動ロボットとして SOBIT PRO [3] を用いる．本論文では，移動障害物の検出手法と軌道予測手法を述べる．その軌道予測からロボットの経路を算出するためのマップ，および停止時間を低減する経路生成手法について述べる．そして本実験は，移動障害物の行動パターンごとにロボットの速度，および停止時間を先行研究の手法と本手法で比較する．

### 1.3 本論文の構成

本論文は、以下のように構成される。第 1 章では、本研究の背景をもとに、先行研究に対する課題を取り上げ、本研究の目的について述べた。第 2 章では、移動障害物を回避する経路生成の手法について述べる。第 3 章では、移動障害物回避における停止時間を従来手法と本手法で比較し、本手法を用いたことによる停止時間の変化について考察を行う。最後に、第 4 章では、得られた結果をもとに、本研究の結論と今後の展望についてまとめる。



## 第 2 章

# 移動障害物を回避する経路生成

## 2.1 移動障害物の検出

2D LiDAR による移動障害物の検出方法と軌道予測を図 2.1 に示す．はじめに，2D LiDAR で取得した点群から各物体ごとに二重線に囲っている部分のようなクラス分けを行う．このとき図 2.1 の破線で囲っている点群は，1 人分の両足で 1 つのクラスとなる必要がある．しかし人間の足は離れているため別々のクラスとして検出されてしまう．このような人の点群へのクラス分けに関しては，人の足の点群を学習した Distance Robust SPatial Attention and Autoregressive Model(DR-SPAAM) [4] を用いる．次に，クラス分けした障害物の位置を決定する．各クラスの位置は，誤差が大きいほど，後述する軌道予測の精度が低下する．そこで各クラスの位置は，0.1 秒間のデータを 5 回取得し，平均値を取得することで誤差を小さくする．これによって，0.5 秒間で取得した障害物の位置を現在  $t$  でのステップとする．そして各クラスの位置をステップごとに比較し，障害物が移動をしているか判定する．図 2.1 の破線で囲っている部分は， $t-2$ ， $t-1$ ， $t$  ステップで点群の位置が移動している．このような移動をしている点群のクラスは移動障害物とする．

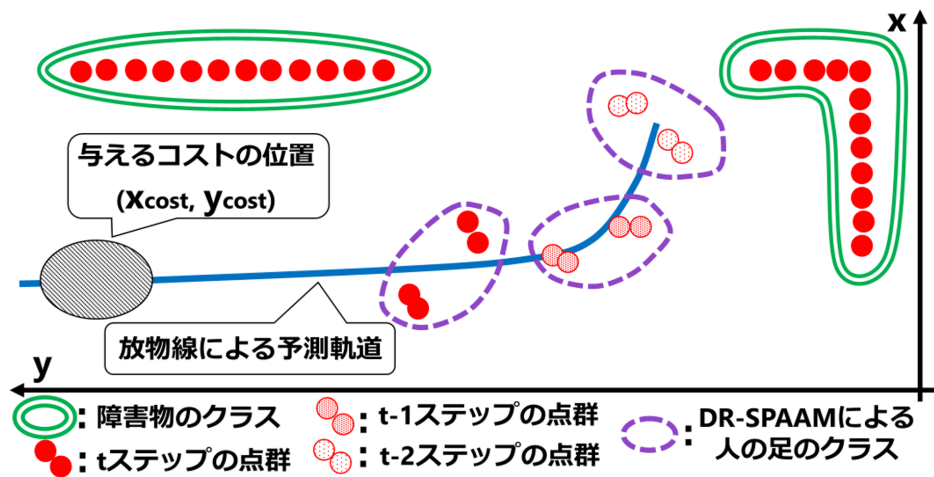


図 2.1 移動障害物の予測経路の算出

## 2.2 移動障害物における移動先の予測

2.1 節により検出したクラス別の各移動障害物において予測した移動先をロボットの進入禁止領域 (コスト) として与える。ここでの移動障害物の移動先の位置とは、コストの中心の位置とする。移動障害物の予測した軌道を図 2.1 の実線で示す。その軌道は、クラスごとに  $t, t-1, t-2$  の 3 ステップの位置から近似した放物線とする。放物線を用いることによって、移動障害物の移動が直線的でなくても予測することができる。加えて、円運動のような等加速運動にならないため、曲がり角を曲がるような、後に直線になる予測をすることができる。予測した軌道から、ロボットと移動障害物の距離、速度を用いて与えるコストの中心の位置を算出する。与えるコストの位置  $(x_{cost}, y_{cost})$  は、 $t$  ステップでの移動障害物の位置を  $(x_t, y_t)$ 、速度を  $(v_{ox}, v_{oy})$ 、ロボットとの距離を  $(d_x, d_y)$ 、またロボットの速度を  $(v_{rx}, v_{ry})$  としたとき、以下の式 (2.1) から算出する。

$$\begin{pmatrix} x_{cost} \\ y_{cost} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_t - d_x \frac{v_{ox}}{v_{rx} - v_{ox}} \\ ax_{cost}^2 + bx_{cost} + c \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

これにより、移動障害物によるコストの中心の位置を予測した軌道上の座標として取得する。

## 2.3 停止時間の低減をする経路生成

本手法では、Navigation における Global Path を A\*アルゴリズム [?] によって算出する。その Global Path を追従するロボットの移動制御に Dynamic Window Approach(DWA) [6] を用いる。また、2D LiDAR で取得可能となる局所的な障害物情報 (コストマップ) の範囲は、ロボットを中心として前後左右 1.5 メートルとする。この範囲には、2D LiDAR で検出した移動をしていない障害物によるコストも含む。そこで移動障害物に対して、Global Path 生成におけるロボットのコストの設け方を設定する。移動障害物によって発生するコストの中心の位置は、2.2 節によって算出した位置  $(x_{cost}, y_{cost})$  とする。こうすることでロボットは、移動障害物の進路を妨げることのない経路を生成する。このとき、移動障害物の移動方法によっては、ロボットの正面にコストが与えられることがある。このようなロボットの正面にコストがある場合におけるロボットの移動制御について図 2.2 に示す。このとき、先行研究と同様な前方のみの DWA では、予測経路が全て棄却されるため、並進速度が停止してしまう。そこで一時的に横方向の DWA の予測経路を生成し、横移動をする速度を決定する。Global Path のうち、コストマップの外へ出る部分の経路の方向  $\theta_2$  を図 2.2 の矢印によって示す。その  $\theta_2$  とロボットの現在の姿勢における方向  $\theta_1$  を比較する。このとき、図 2.2 の例のように  $\theta_1$  と  $\theta_2$  が同程度かつ、Global Path が前方の DWA の予測経路より横方向の DWA の予測経路の方が近い場合、一時的に横方向へ移動する。以上により、停止時間を低減することができる。

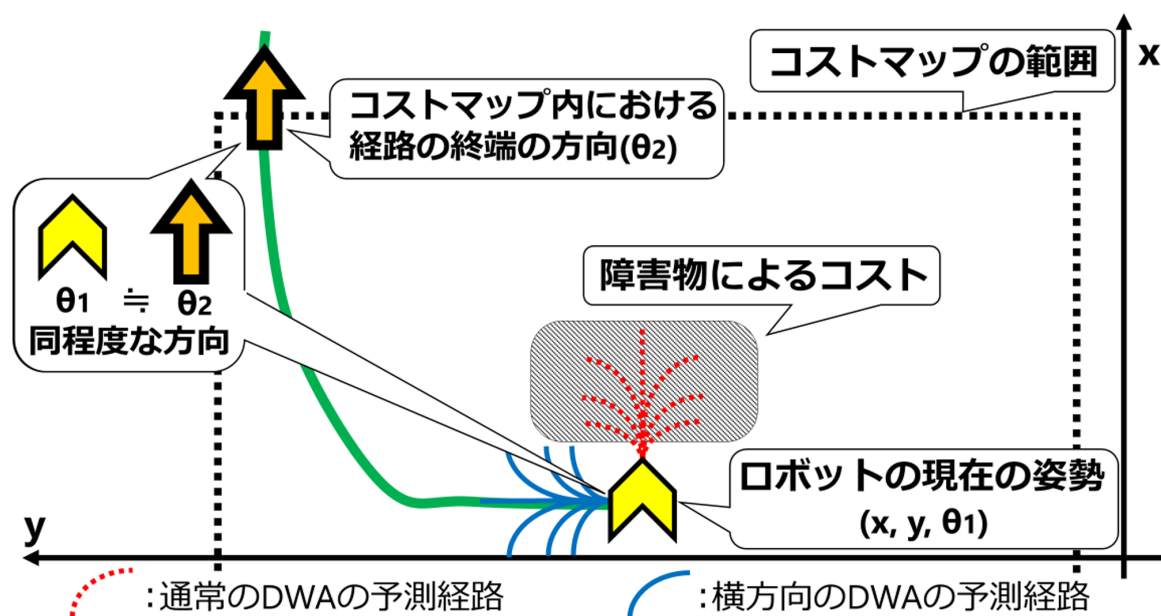


図 2.2 一時的に横方向に移動する例

## 第 3 章

# 移動障害物回避における停止時間の 比較実験

### 3.1 実験概要

本実験は、移動障害物の回避において本手法による停止時間の低減を検証する。実験環境を図 3.1 に示す。移動障害物の回避が明確になるよう、移動障害物が存在しない場合の経路を直線で移動することのできる環境とする。図 3.1 の破線の矢印で示すように、移動障害物を 3 パターン設ける。パターン A は、ロボットのゴールからロボットとすれ違うように逆向きへ進む。パターン B, C は、ロボットが十字路に差し掛かる前、差し掛かる時に、ロボットの経路と交差するように進む。本実験には、全方向移動ロボットである SOBIT PRO を用いる。停止時間の低減を評価するため、それぞれの移動障害物のパターンごとの速度変化と停止時間を従来手法と本手法で比較する。

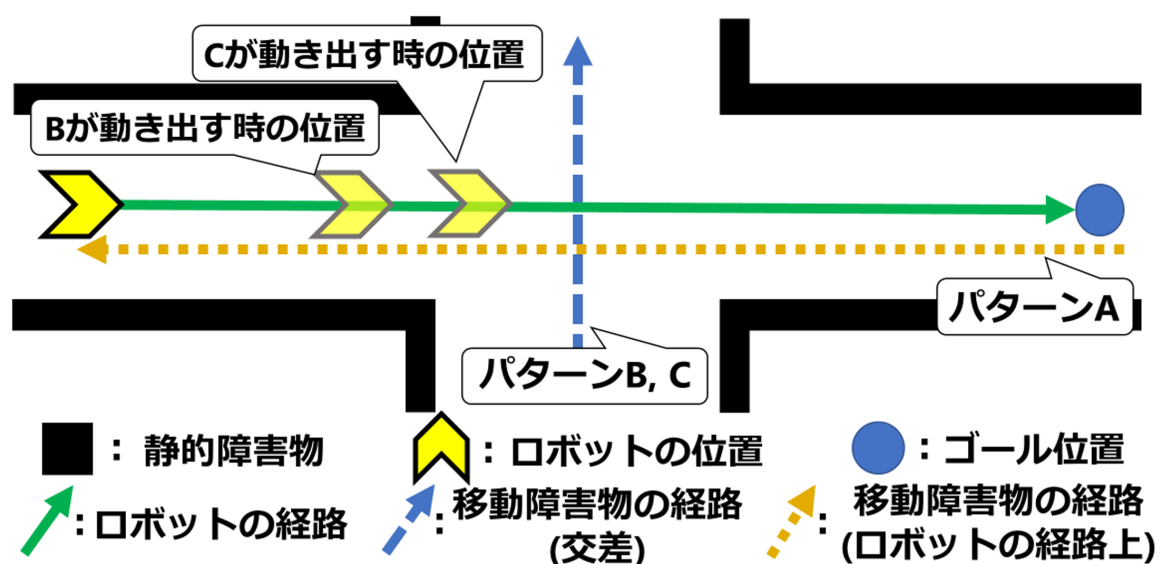


図 3.1 移動障害物回避を行う実験環境

## 3.2 結果と考察

実験結果のうち、速度変化を図 3.2 に、停止時間の合計を表 3.1 に示す。図 3.2 の速度変化について、どちらの手法も最高速度は  $0.3\text{m/s}$  で同じである。しかし、すべての移動障害物の行動パターンにおいて、従来手法よりも本手法での移動の方が到着時間は早くなった。これらから本手法では、速度が同程度で時間が短くなっているため、移動量が少なくなったと考えられる。表 3.1 の停止時間について、従来手法では回転による方向転換中の並進速度は停止するため、停止時間が  $4\text{s}$  以上となった。しかしそれに対して本手法では、どの移動障害物においても停止時間が  $2\text{s}$  未満となり低減されている。これはコストがロボットの正面にある場合でも、停止し回転することなく、横方向に移動する移動制御に切り替えることができたと考えられる。このことから、本手法での移動における停止時間は、前方のみでの DWA から横方向への制御に切り替わる瞬間、またそこから前方のみでの DWA に戻る瞬間のみであった。つまり、本手法の経路生成を用いることで、ただちに横方向の移動ができたと考えられる。



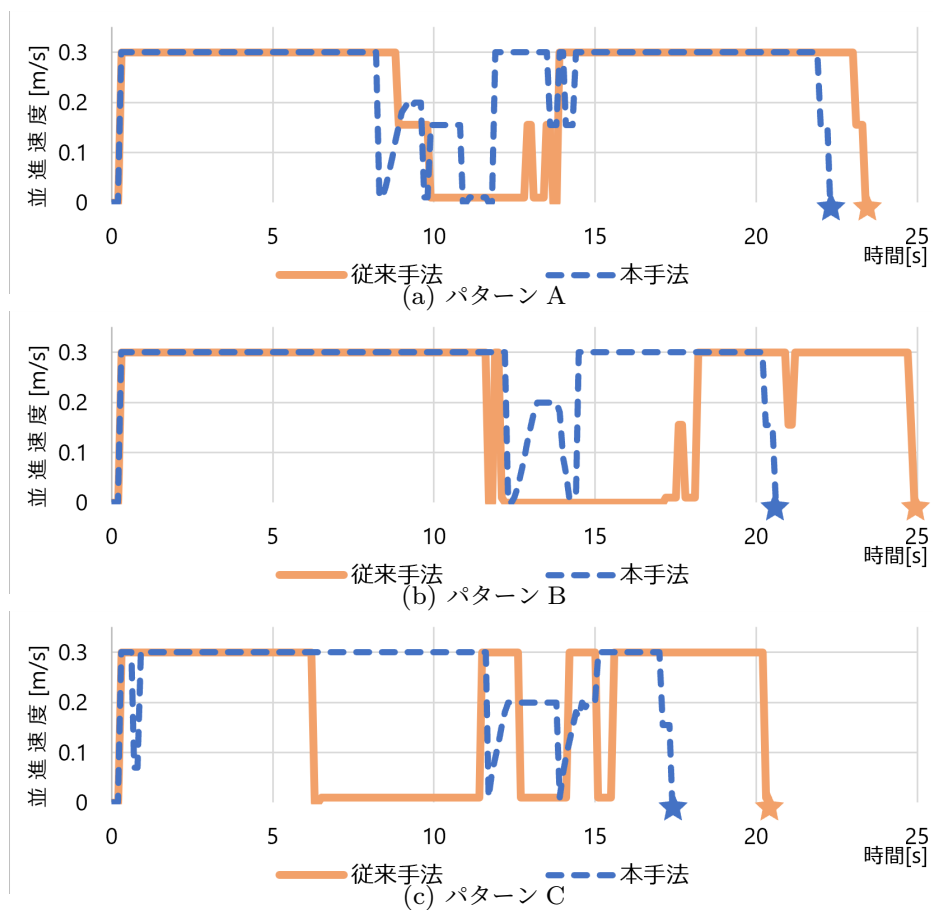


図 3.2 時間ごとの速度変化 (★ 印はゴール時間)

表 3.1 停止時間の比較 (単位 : s)

パターン	A	B	C
従来手法	4.0	6.4	7.6
本手法	1.7	0.9	0.6

## 第 4 章

## 結論

## 4.1 本研究の成果

本稿では、ロボットが移動障害物の軌道予測を行い、予測した移動先にコストを与える方法について述べた。軌道の予測には、直線的な予測や等加速運動のような単調な軌道予測にならずに曲がり角にも対応することのできる放物線を用いた。また、コストによって停止時間が長くなってしまいう課題を解決するため、一時的に横方向の DWA の予測経路を生成した。それによるロボットの停止時間を低減する移動制御方法について述べた。実験では、移動障害物の回避において従来手法は停止時間が 4s 以上になったのに対し、本手法では 2s 未満になることを示した。

## 4.2 今後の展望

本論文では、曲がり角にも対応することのできる放物線を予測した軌道としたが、実験に直線的な移動をする移動障害物を設けた。しかし、曲がり角で曲がる移動障害物に軌道の予測は、放物線を用いても誤差が出やすくなると考える。

今後は、様々な動きをする移動障害物を設ける。特に、曲がり角で方向転換をする移動障害物を設定し、予測が外れた場合にも同様の結果が得られるかについて検証する。また、実験を行う環境によって予測した移動障害物における軌道の検出精度に誤差が生じる可能性も考えられる。そのため、レストランやホテルを模した環境で同様な実験を行う。

## 参考文献

- [1] 総務省, “インダストリー 4.0 の課題”, (<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/html/nd135230.html> 参照 2023-9-23).
- [2] Huixu Dong, *et al.*, “Real-time Avoidance Strategy of Dynamic Obstacles via Half Model-free Detection and Tracking with 2D Lidar for Mobile Robots” ,*IEEE ASME Trans Mechatron*,26(4),pp.2215-2225, 2021.
- [3] 創価大学, “Choi Laboratory” , (<https://home.soka.ac.jp/~choi/robot.html> 参照 2024-1-11).
- [4] D.Jia, *et al.*, “DR-SPAAM: A SpatialAttention and Autoregressive Model for Person Detection in 2D Range Data” , *IROS*, pp.10270-10277, 2020.
- [5] P.Hart, *et al.*, “A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths” , *IEEE, Transactons of Systems Science and Cybernetics*, vol.ssc-4, no.2, pp.100-107, 1968.
- [6] D.Fox, *et al.*, “The Dynamic Window Approach to Collision Avoidance” ,*IREB Robotics and Automation Magazine*, vol.4, no.1, pp.23-33, 1997.

# 謝辞

本研究の遂行にあたり、担当教授として、ご指導を頂きました崔龍雲教授に感謝の意を表します。それに加えて、研究面だけでなく、進路などの面でもご指導をいただき、安心できる大学生活を送らせていただいたことに感謝申し上げます。韓潤銖氏、小出学氏、伊藤一樹氏、鈴木汰知氏、三江啓貴氏、金子大基氏を始めとした本研究室のメンバーには、日々の研究への姿勢を教えていただき、ときに研究の分野という垣根を越えた相談まで真摯に聞いてくださりました。また、VALENTIN CARDENAS KEITH 氏、大熊裕樹氏、小林浩章氏、向川裕樹氏、山田廉氏、小椋正志氏、大森秀之氏、福田紅葉氏には、ロボティクス分野での研究への第一歩を教えていただきました。そして、同期の川口颯矢斗君、筒井亮太君、森尾真唯さん、鈴木幸志郎君、砂川大翔君、落合裕介君、高須由梨さんと共に研究活動を続け、創価大学や崔研究室の成長を常に考え、最後まで研究活動に励むことができました。深く感謝を申し上げます。また、後輩の鈴木誠人君、足立大地君、SIM JIAHAO 君、田邊弘英君、下村英雄君、花嶋優作君、油橋和明君、戸田叶子さんにも大変お世話になりました。そして、創価大学での勉学の機会をくださり支えてくださった両親に深く感謝申し上げます。何より、このような仲間たちと切磋琢磨し、研究に没頭できる環境を作ってくださった、創立者の池田大作先生に深く感謝申し上げます。最後に、お世話になった全ての方々への御恩に報いるため、一日一日勇気・慈悲・智慧の生活を送り、全力を尽くし今後の研究に励むことを誓い、私の謝辞とさせていただきます。