

# 2D LiDAR と RGB-D センサによる人検出手法を組み合わせた 人追従走行ロボットシステムの開発

## Development of a Person-Following Robot System that Combines a 2D LiDAR and a RGB-D Sensor based Person-Detection Methods

21M5302 村上大希

指導教授 崔龍雲

### Abstract

The objective of this research is to develop a person-following robot, a robot that does not lose track of a target person. In person-following where the robot keeps moving, the target person must be kept within the measurement range of the sensor in order to acquire the target. In addition, person-following requires response to changes in distance and velocity between the person and the robot, and obstacle avoidance. Therefore, in this study, person-tracking is combined a method of detecting a person in the image by letting it orient the RGB-D sensor on a pan/tilt-rotated mechanism to the target direction and 2D LiDAR-based person-detection method. The person is tracked by using Kalman filter input from these two detection results. The control of the robot combines following-control using a virtual spring model and the Dynamic Window Approach method for avoiding obstacles. In this paper, the effectiveness of this method in person-following through the results of the experiment in a simulated corridor environment. The paper also discuss the need to verify it in a more complex environment.

**Keywords:** Person-following robot, 2D LiDAR, RGB-D sensor, Kalman filter, Virtual spring model, DWA

### 1 はじめに

人追従走行ロボットとは、カメラや深度センサなどを用いて人の位置を取得し、人を追従するロボットである。このロボットは、物流分野の自動化・省人化の手段として期待されている [1]。

従来研究として、2D LiDAR とパン・チルト回転機構上の RGB-D センサを用いた人追従走行ロボットがある [2]。人追従走行を行うためには、人物追跡と走行制御が要求される。人物追跡とは、センサ用いて追従対象者の位置を求めることである。走行制御とは、追従対象者の位置にロボットを追従させるための制御を求めることである。この手法の人物追跡では、2つの手法を組み合わせている。1つ目は、パン・チルト回転機構上の RGB-D センサを追従対象方向に向け画像内の人を検出する手法である。2つ目は、測域範囲が広い 2D LiDAR を用いて物体追跡する手法である。この2つの手法により、それぞれのセンサの利点を活かした追跡が可能である。しかし、この手法の人検出は、RGB-D センサの画像のみで行われる。そのため、RGB-D センサの測域範囲外に人がいる状態では、人検出ができない。また走行制御では、Dynamic Window Approach(DWA)[3] による障害物回避と方向転換が行われる。DWA は人とロボットの距離や速度の変化を考慮していないため、目的位置が変化し続ける人追従走行において柔軟な対応が困難である。

そこで、手法 [2] の人物追跡に 2D LiDAR での人検出を組み合わせた。これにより、どちらかのセンサで人を検出していれば追跡し続けることが可能となる。また手法 [2] の走行制御に追従制御を組み合わせ、人とロボットの距離や速度の変化に対応した走行を可能とする。

本研究では、2つのセンサを用いた人物追跡と、追従制御と障害物回避を組み合わせた走行制御による人追従走行システムの評価を行う。本稿では、提案する人物追跡手法と走行制御手法それぞれについて述べる。実験では、障害物と人がいる環境での本手法の動作を評価する。

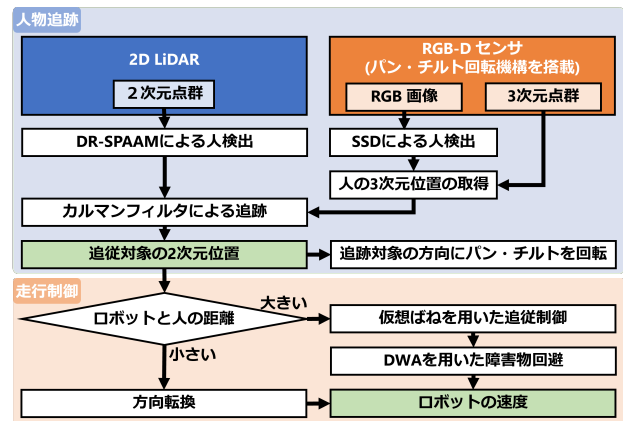


図1 人追従走行ロボットシステムの構成図

### 2 人追従走行ロボットシステム

#### 2.1 システム概要

本手法の構成を図1に示す。人物追跡では、2D LiDAR と RGB-D センサから得られたセンサデータをもとに追従対象者を追跡する。その後、パン・チルト回転機構上の RGB-D センサを回転させて追従対象者の方向に向ける。走行制御では、人物追跡で取得された追従対象者の位置へロボットを移動させるために、追従制御と障害物回避を組み合わせで行う。

#### 2.2 2つのセンサを用いた人物追跡

人物追跡では、図1に示すように 2D LiDAR の 2次元点群、RGB-D センサの RGB 画像と 3次元点群を入力することで、追跡対象の 2次元位置を求める。初めに、Distance Robust SPatial Attention and Auto-regressive Model(DR-SPAAM)[4] を用いた 2次元点群による人検出と Single shot multibox detector(SSD)[5] を用いた RGB 画像による人検出を行う。このとき、SSD の検出結果と 3次元点群を組み合わせることで、RGB-D センサ上の人の位置を取得する。次に、2つの

人の位置を観測値として、Kalman filter[6] による追跡対象の位置と速度の推定を行う。初期状態の観測値は、検出結果の中から最も近い人とする。このとき RGB-D センサの測域範囲外に人がいる場合、DR-SPAAM での人検出結果からパン・チルト回転機構上の RGB-D センサを人の方向に回転させることで、2つのセンサでの人検出を可能にする。初期状態後の観測値は、前フレームの推定位置に最も近い人とする。このとき、どちらかの観測値が得られない場合、その観測値を除いて状態推定する。推定後は、パン・チルト回転機構上の RGB-D センサを推定位置の方向に回転させる。これにより、次フレーム時も画像による人検出を可能にする。

## 2.3 追従と障害物回避を組み合わせた走行制御

走行制御では、人追跡結果から得た 2D LiDAR 上の人の点群とそれ以外の障害物の点群を用いて人の動きと障害物を考慮した制御を求める。本手法では、図 1 に示すように追従対象者とロボットの距離に対応して制御を切り替える。追従対象者とロボットの距離が閾値以下の場合、追従対象者との衝突を防ぐためロボットを追従対象者の位置に向けて方向転換する。閾値以上の場合、仮想ばねモデルを用いた追従制御 [7] と DWA による障害物回避を組み合わせた制御を行う。仮想ばねモデルを用いた追従制御は、人間の急激な動作に対応する制御として提案された手法である。この手法では、ロボットと人を仮想的にばねでつなぎ、そのときのばねの弾性力から追従するための速度を求める。これにより、追従者が遠いと速度が大きくなり、近いと速度が小さくなる。提案する制御では、仮想ばねモデルから得た速度をベースとして DWA を行う。DWA では、予測経路に対して評価関数を用いて、最適経路を求める。本手法では、評価関数に予測経路と仮想ばねモデルから得た経路の一致度を追加する。この評価関数を用いることで、人の動きと障害物を考慮した経路を求める。

## 3 評価実験

### 3.1 実験概要

本実験の目的は、本手法の人追従走行を評価することである。評価項目は、RGB-D センサの測域範囲外に人がいる状態から人物追跡が可能であるか、障害物と人がいる環境で人追従走行が可能であるかの 2 点である。実験では、2D LiDAR とパン・チルト回転機構上の RGB-D センサを搭載したロボットを使用する。実験環境は、高さ 0.5[m] のパーティションを用いた図 2 のような環境とする。実験では、被験者は A 地点に立ち、その後ろにロボットを配置する。このとき、RGB-D センサの測域範囲外に人がいる状態にする。次に、被験者は A 地点から B 地点まで歩行し、ロボットが人追従走行を行う。そして、追跡結果とロボットの走行経路を記録し、ロボットが人追従走行できるかの可否を確認する。この手順を被験者 10 人で 3 回ずつ行う。

### 3.2 実験結果と考察

30 回の試行のうち、B 地点まで人追従走行が成功した割合は、73.3[%] となった。A 地点では、RGB-D センサの測域範囲外に人がいる状態から人物追跡を行った。このとき、LiDAR での人検出結果からパン・チルト回転機構上の RGB-D センサを人の方向に回転させることで、2つのセンサそれぞれでの人検出を可能にした。これにより、本手法はどちらかのセンサで人を検出していれば追跡し続けることが可能であると分かった。図 3 に示す追跡軌跡から、人物追跡では被験者と障害物や被験者以外の人を正しく判別したことが分かる。走行制御では、図 3 に示す経路をロボットが走行し、本手法は人追従走

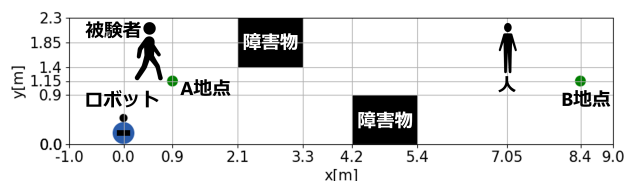


図 2 実験環境図

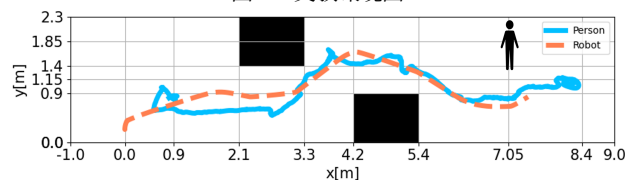


図 3 成功時の実験結果

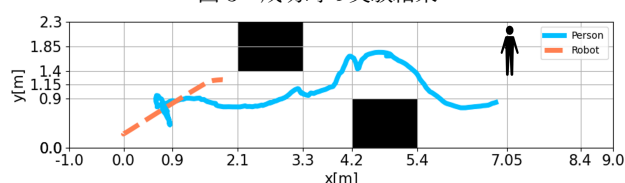


図 4 失敗時の実験結果

行が可能であることが分かった。したがって、本手法は障害物と人がいる環境で RGB-D センサの測域範囲外に人がいる状態からの人追従走行において有効である。

また、人追従走行が失敗した要因として、図 4 に示す経路のようにロボットが障害物に接近して停止したことがあげられる。これは被験者が障害物に接近する方向に早く歩行し、走行制御での仮想ばねモデルの経路において速度が大きくなったことが原因である。DWA のベースとなる仮想ばねモデルの速度が大きくなったことで障害物を避ける前にロボットが障害物に接近した。これにより、障害物に衝突する可能性があるとしてロボットが途中で停止した。この課題に対して、追従対象者が障害物に接近している場合に仮想ばねモデルにおける追従制御での速度を抑制する必要がある。他の失敗原因として障害物を大きく避けた時、被験者の位置がセンサの測域範囲外となった。そのため、追跡が途切れ被験者とは別の人が追跡された。この課題に対して、被験者の位置がセンサの測域範囲外となった場合に、画像による人物同定が必要である。

## 4 まとめ

本研究では、2つのセンサを用いた人物追跡と、追従制御と障害物回避を組み合わせた走行制御による人追従走行ロボットシステムの開発を行った。人物追跡は、画像と 2D LiDAR それぞれで人を検出することで追跡が行われた。走行制御は、仮想ばねモデルを用いた追従制御と DWA による障害物回避を組み合わせて行う。実験では、本手法を用いて、障害物と人がいる環境での人追従走行が可能であることを確認した。

今後は、障害物接近時の走行制御とセンサ上で追従対象者を見失った場合での人物同定の開発を進める。開発後、改良手法の汎用性を確認するため、障害物が多数存在する複雑な環境での評価実験を行っていく。

## 参考文献

- [1] METI, “自動配送ロボットの社会実装に向けて”, 2019.
- [2] 村上大希, et al., *ROBOMECH*, 2021.
- [3] D.Fox, et al., *IEEE Robot Autom Mag*, 1997.
- [4] D.Jia, et al., *IROS*, 2020.
- [5] W.Liu, et al., *ECCV*, 2016.
- [6] E.Kalman, *Journal of Basic Engineering*, 1960.
- [7] K.Morioka, et al., *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 2004.