

P D III

## 2D-LiDAR と YOLOv8 を用いた人追従システムの開発

指導教員 出村 公成 教授



金沢工業大学

工学部ロボティクス学科

金澤 祐典

令和5年度

2024年1月12日

# 目次

<b>第1章 序 論</b>	<b>1</b>
1.1 はじめに . . . . .	1
1.2 論文構成 . . . . .	2
<b>第2章 従来研究</b>	<b>3</b>
2.1 従来研究 . . . . .	3
2.1.1 図の貼り方 . . . . .	3
2.1.2 表の貼り方 . . . . .	3
2.1.3 参考文献の引き方 . . . . .	4
<b>第3章 提案手法</b>	<b>6</b>
3.1 概要 . . . . .	6
3.2 要求仕様 . . . . .	6
3.3 データセットの作成 . . . . .	7
3.4 YOLOv8 による学習 . . . . .	7
3.5 ロボット台車の制御 . . . . .	7
3.5.1 式の貼り方 . . . . .	7
<b>第4章 実験</b>	<b>9</b>
4.1 実験方法 . . . . .	9
4.2 実験結果 . . . . .	9
4.3 考察 . . . . .	10
<b>第5章 結 言</b>	<b>11</b>
5.1 結言 . . . . .	11
<b>謝 辞</b>	<b>12</b>
<b>参考文献</b>	<b>13</b>



# 図目次

2.1	Automatic annotation overview using the Fluorescent AR Marker . . . . .	3
2.2	Automatic annotation overview . . . . .	4
4.1	Automatic annotation overview . . . . .	9

# 表 目 次

2.1	Equipment . . . . .	5
4.1	Results of experiment . . . . .	10

# 第1章

## 序 論

### 1.1 はじめに

近年の日本において、少子高齢社会による人手不足が課題となっている。2023年の65歳以上の人口は3623万人であり、総人口に占める65歳以上の割合(以下、高齢化率)は29.1[%]と過去最高である[1]。また、2070年での高齢化率は38.7[%]に達し、2.6人に1人が65歳以上であると推計されている[2]。加速する少子高齢化により、就業者不足の問題が深刻化しており、解決策の1つとしてロボットによる作業の自動化やサポートの導入が増えている。建設業では、2D-LiDARを用いた自動追従台車である「かもーん」が建設現場で導入されており、運用実績を上げ続けている[3]。また、製造業では2D-LiDARを用いた協働運搬ロボットである「サウザー」が実用化されており、「自動追従走行機能」によって運搬業務をサウザーで行うことができ、製造業界だけでなく空港や市役所などの公共環境における導入例があり、世界各地で約400台の販売実績がある[4]。以上のことから、2D-LiDARを用いた人追従ロボットへの需要と期待は増加し続けていることがわかる。

2D-LiDARを用いた人追従ロボットに関する手法には、深層学習を用いる手法[5][6][7][8]、背景減算によって脚を検出する手法[9]、AOAタグを2D-LiDARと組み合わせる手法[10]などがある。これらの手法では、主に距離データをもとに人の両脚部分を検出するが、雑多な環境下では追従が不安定になる可能性があり、また実験環境が椅子や机などのオブジェクトがなく、広域な経路での実験により人追従を評価している。2D-LiDARから提供される距離データでは、椅子や机などの脚部分は人の両脚部分と類似しているため、誤検出により本来の追従対象ではないものに追従してしまうという課題がある。

本プロジェクトでは、屋内環境による雑多な環境下での人追従システムの開発を目的とし、2D-LiDARとYOLOv8を用いることで人の両脚部分を検出し、追従目標の特定処理を加えることで、雑多な環境下での人追従が可能なシステムを開発する。

## 1.2 論文構成

本レポートの構成について述べる。第2章では、これまでの2D-LiDARを用いた人追従に関連する従来研究について述べる。第3章では、本プロジェクトでの提案手法を述べる。第4章では、提案手法による人追従能力の検証結果について述べる。第5章では本プロジェクトをまとめ、結論及び今後の課題について述べる。

## 第 2 章

## 従来研究

### 2.1 従来研究

従来研究では、あらかじめ人のいない状態の空間において、2D-LiDAR の値から、深層学習を用いた人検出の手法がある。この手法では、雑多な環境における人の検出が不安定である。

#### 2.1.1 図の貼り方

Fig. 2.2 と Fig. 2.1 見てね！

#### 2.1.2 表の貼り方

Table2.1 を見てね！

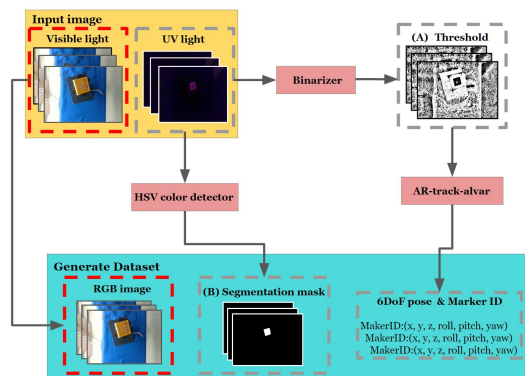


Fig. 2.1: Automatic annotation overview using the Fluorescent AR Marker



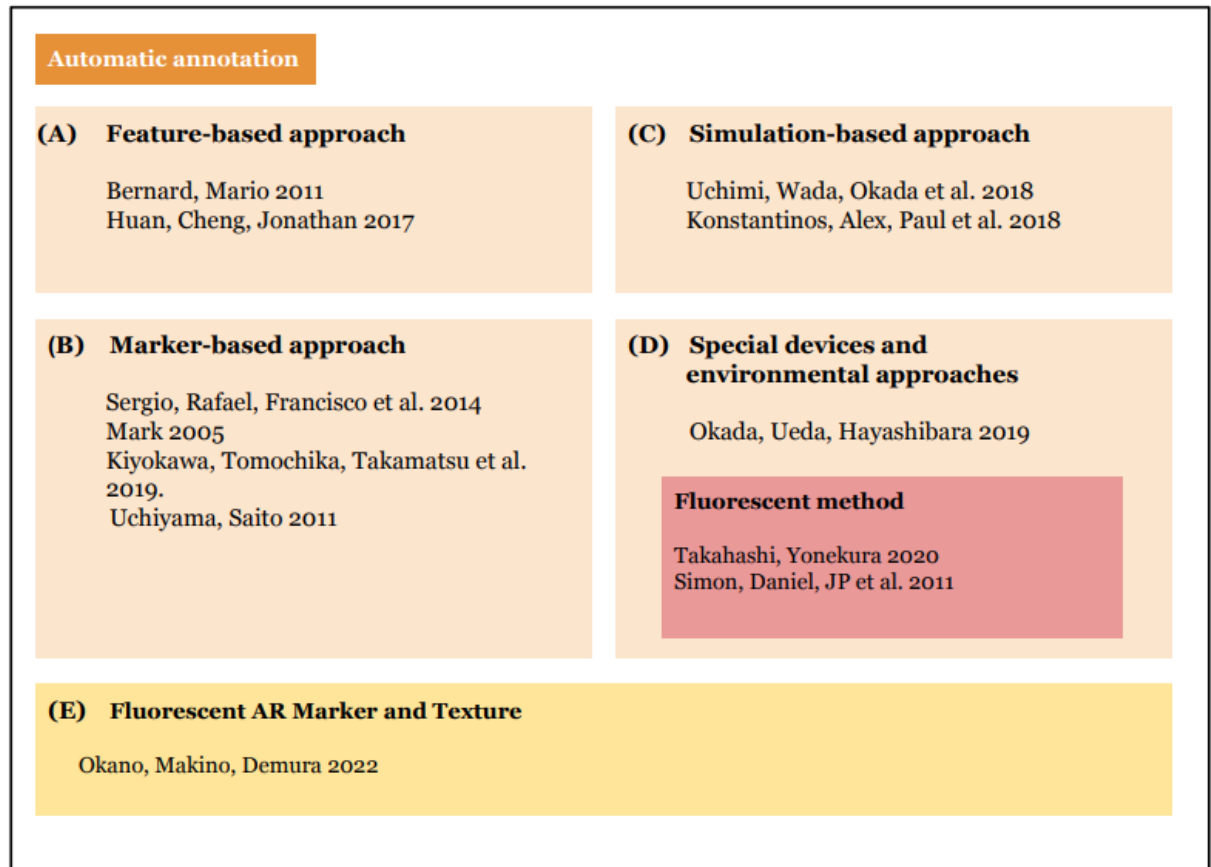


Fig. 2.2: Automatic annotation overview

### 2.1.3 参考文献の引き方

[?] と [?] を参考にする

Table 2.1: Equipment

Microcomputer	Arduino Uno
Motor	Dynamixel XM430-W350-R
Communication converter	ROBOTIS, U2D2 SMPS2
Solid State Relays	Solid State Relays Kit Type 20A
Visible light	Fluorescent LED light 40W
UV light	TOSHIBA black light FL4BLB/N
Camera	Realsense D435

## 第 3 章

# 提案手法

### 3.1 概要

本プロジェクトが提案する手法は、YOLOv8 の物体検出モデルにより、人の脚部を検出し、目標座標へロボット台車を制御する人追従システムである。ソフトウェアの開発環境は Ubuntu22.04 で Robot Operating System 2 (以下 ROS2) を使用した。

人の脚部検出では、前処理として 2D-LiDAR から取得した距離データを俯瞰画像へ変換する。俯瞰画像を YOLOv8 の物体検出モデルで学習し、学習した重みと画像を用いて人の脚部を検出する。ロボット台車の制御では、目標座標までの角度の偏差と距離の偏差の 2 つを収束させる PD 制御を実装している。目標座標は、人の脚部を検出したときの Bounding Box の中心座標を人の座標とし、中心座標の後方に生成した座標を目標座標としている。

### 3.2 要求仕様

本プロジェクトでは、RoboCup 2023 で開発したロボットである Happy Edu を使用する。Fig 1 にロボットの全体図を示す。Happy Edu のロボット台車は、ROBOTIS の TurtleBot3 Big Wheel であり、ロボット台車の前方に 2D-LiDAR を搭載している。2D-LiDAR は、北表電気株式会社の UTM30-LX を使用している。制御 PC は、NVIDIA GeForce RTX 4070 8GB を搭載しているノート PC を選定した。

以上の構成で以下の要求仕様を設定する。

- (1) 2D-LiDAR のデータで人追従ができる
- (2) 雑多な状態の空間でも人追従ができる
- (3) 0.5[m/s] 以下の歩行速度で追従する

### 3.3 データセットの作成

2D-LiDAR のデータを俯瞰画像へ変換し、データセットを作成する。2D-LiDAR のデータは、ロボットが静止した状態で前方に人が2人ランダムに歩行する状態で、ROS2 の Bag 機能で/scan トピックを保存した。ROS2 Bag のデータを元に 12032 枚の画像データを生成し、人の脚部を person クラスとしてアノテーションを行った。Fig2 にデータセットの例を示す。また、データセットには、画像の回転処理、モザイク処理、2 枚の画像を合成し、新しく 1 枚の画像を生成する Mix Up 処理をすることでデータ拡張を行った。

### 3.4 YOLOv8 による学習

学習では、NVIDIA GeForce RTX 4090 16GB を搭載している PC を使用し、バッチサイズは 12、エポック数は 500 で学習を行った。過学習を防ぐため、100 エポック以降で Early Stopping を設定した。使用するモデルは、ロボットに搭載する制御 PC の処理能力が高いため、YOLOv8 で最もパラメータ数の多い YOLOv8x を用いた。

### 3.5 ロボット台車の制御

YOLOv8 による物体検出での推論結果から目標座標を生成し、ロボットから目標座標までの角度の偏差と距離の偏差を収束させるため PD 制御を実装した。

時刻  $t$  での、ロボットの座標から目標座標までの角度の偏差を  $\theta(t)$  とし、ロボット台車のエンコーダから取得できる旋回速度  $\omega(t)$  とすると、ロボット台車の制御量である旋回速度  $u(t)$  は以下ようになる。

$$u(t) = K_P \cdot \theta(t) + K_D \cdot \left\{ \frac{d}{dt} \theta(t) - \omega(t) \right\} \quad (3.1)$$

$K_P$ 、 $K_D$  は調整パラメータである。(3.1) 式の第 1 項は、ロボットの座標から目標座標までの角度の偏差を比例制御している。第 2 項は、実機での制御を考慮し、不足しているまたは過剰な制御量を微分制御により調整している。

#### 3.5.1 式の貼り方

$$HorizontalAngle = (p_x - \frac{W}{2}) \cdot \frac{HFOV}{W} \quad (3.2)$$

$$VerticalAngle = (p_y - \frac{H}{2}) \cdot \frac{VFOV}{H} \quad (3.3)$$

$$x = depth \cdot \tan(HorizontalAngel) \quad (3.4)$$

$$y = depth \cdot \tan(VerticalAngel) \quad (3.5)$$

where  $p_x$  and  $p_y$  are the pixels at the center of gravity of the segmentation area.  $W$  and  $H$  are the image sizes of Realsense D435, and  $HFOV$  and  $VFOV$  are the angles of view of Realsense D435.

## 第4章

## 実験

### 4.1 実験方法

実験では、要求仕様(2)を検証するため、雑多な環境を作成し追従実験をする。雑多な環境では、Fig 5 (a) のような環境を想定し、人間は追従対象の1人のみとする。実験する経路は、直線経路、曲線経路、直角経路をそれぞれ10回実験する。また、要求仕様(3)を検証するため、Fig 5 (b) のような10[m]での直線経路にて最大追従速度実験をする。0.1[m/s]から、0.1ずつ速度を上昇させ、追従できなくなる速度の直前を最大追従速度とする。要求仕様(2)、(3)が満たされたら、要求仕様(1)も満たされたものとする。

### 4.2 実験結果

直線経路、曲線経路、直角経路、最大追従速度の実験結果を Fig. 4.1 に示す。追従実験では、直線経路と直角経路がそれぞれ10回中10回成功した。曲線経路では、10回中9回成

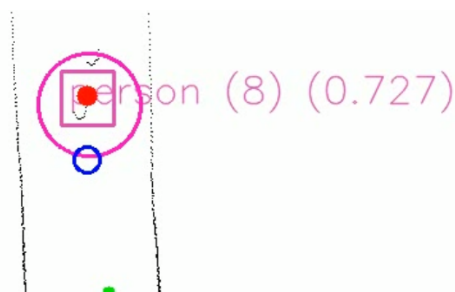


Fig. 4.1: Automatic annotation overview

Table 4.1: Results of experiment

<b>Straight road</b>	<b>100%</b>
<b>Curved road</b>	<b>90%</b>
<b>Right angle road</b>	<b>100%</b>
<b>Maximum tracking speed</b>	<b>0.5 m/s</b>

功した。最大追従実験では、0.5[m/s] が最大追従速度となった。0.6[m/s] で3回実験したが、追従は確認されなかった。

### 4.3 考察

実験結果から直線経路と直角経路では、雑多な環境において一度も止まらず安定した挙動で要求仕様を満たすことができた。しかし、曲線経路では一度だけ停止した。曲線経路で停止した原因は、ロボット用ノート PC のバッテリー低下だと考えられる。ロボットが停止しなかった場合の ROS2 bag では、システム全体の通信が平均 10[Hz] 以上で安定しているのに対し、曲線経路で停止したときは、平均 4.9[Hz] であった。実験が成功している ROS2 bag では、通信速度の低下は確認されず、ノート PC のバッテリーが 10% 以下であったのは、曲線経路で停止した場合のみであった。

## 第5章

## 結 言

### 5.1 結言

本プロジェクトでは、2D-LiDAR のデータと YOLOv8 を用いた人追従システムの開発を行い、雑多な環境でも目標人物を追従することができた。

今後の課題として、追従対象とロボットの間を他の人間が遮る状態での追従精度を向上させる。



## 謝 辞

本研究を行うにあたり全体を通してご指導、ご教授、議論などのご助力をいただきました本学ロボティクス学科の出村公成教授に深く感謝いたします。

令和4年2月

## 参考文献

- [1] 総務省統計局, ”統計からみた我が国の高齢者”, (<https://www.stat.go.jp/data/topics/pdf/topics138.pdf>, 2024 年 2 月 1 日閲覧).
- [2] 内閣府, ”高齢化の現状と将来像”, ([https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2023/zenbun/pdf/1s1s\\_01.pdf](https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2023/zenbun/pdf/1s1s_01.pdf), 2024 年 2 月 1 日閲覧).
- [3] 宮口幹太, “近年の建設工事用ロボット開発について” 計測と制御 第 61 巻 第 9 号, p. 641-644, 2022.
- [4] 大島章, 城吉宏泰, 柄川索, 松下裕介, 阪東茂, ”既存 AGV を超える特長を持った協働運搬ロボット「サウザー」”, 日本ロボット学会誌 第 39 巻 第 1 号, p. 65-66, 2021.
- [5] 飯田一成, 出村公成, ”深層学習を用いた人追従機能の開発”, 令和 4 年度金沢工業大学工学部ロボティクス学科プロジェクトデザイン III, 2023.
- [6] Claudia Álvarez-Aparicio, Ángel Manuel Guerrero-Higueras, Francisco Javier Rodríguez-Lera, Jonatan Ginés Clavero, Francisco Martín Rico and Vicente Matellán, ”People Detection and Tracking Using LIDAR Sensors”, Robotics 2019, 8, 75.
- [7] Fei Luo, Stefan Poslad, and Eliane Bodanese, ”Temporal convolutional networks for multi-person activity recognition using a 2D LIDAR”, IEEE Internet of Things Journal, Volume: 7, Issue: 8, 2020.
- [8] Ángel Manuel Guerrero-Higueras, Claudia Álvarez-Aparicio, María Carmen Calvo Olivera, Francisco J. Rodríguez-Lera, Camino Fernández-Llamas, Francisco Martín Rico and Vicente Matellán, ”Tracking People in a Mobile Robot From 2D LIDAR Scans Using Full Convolutional Neural Networks for Security in Cluttered Environments”, Frontiers in Neurobotics, Volume 12, Article 85, 2019.

- [9] Mahmudul Hasan, Junichi Hanawa, Riku Goto, Hisato Fukuda, Yoshinori Kuno and Yoshinori Kobayashi, "Tracking People Using Ankle-Level 2D LiDAR for Gait Analysis", *Advances in Artificial Intelligence, Software and Systems Engineering*, pp 40-46, 2020
- [10] DAPING JIN , ZHENG FANG, (Member, IEEE), AND JIEXIN ZENG, "A Robust Autonomous Following Method for Mobile Robots in Dynamic Environments", *IEEE Access*, Volume: 8, pp. 150311-150325, 2020.

## 本研究に関する学術発表論文