

## 自動走行カート搭載の LiDAR を利用した人物判定手法 Human Detection Method Using LiDAR Mounted on an Autonomous Cart

坂本 朝陽<sup>†</sup> 望月 遥貴<sup>‡</sup> 清原 良三<sup>‡</sup>  
Asahi Sakamoto Haruki Mochizuki Ryozyo Kioyohara

### 1. はじめに

近年、大学や商業施設におけるセキュリティ対策の重要性が増している。しかし、警備業界では人手不足が深刻化しており、すべての状況に迅速に対応することが難しくなっている。特に大学では、夜間に迷い込んだ高齢者、不審者を早期に発見し、適切に対応することが求められている。

しかし、巡回警備には多くの人手が必要であり、24 時間体制の警備を維持することが困難になっている。そこで、これらの課題を解決するために、ロボットが代わりに巡回警備を行う取り組みが注目されている。ロボットによる巡回警備を実現するためには、周囲の状況を正確に把握し、特に人物を高精度に検出する手法が不可欠である。

そのため我々の先行研究[1]では、我々自律走行のために搭載される LiDAR による人物判定手法を提案した。しかし、先行研究では決まった姿勢のみを対象にしていた。そこで本論文では、大学に迷い込んでしまった人を想定し、立位・座位・倒れている（横向き・縦向き）の 4 つの姿勢の人物判定をする手法を提案する。

### 2. 関連研究

人物判定において、LiDAR を用いた研究は多岐にわたる。2D-LiDAR を用いた研究では、動いている対象に対して有効な手法が提案されている[2]。この研究では、屋内環境において通過する物体を追跡するために、自己位置推定 (SLAM) と環境地図の同時作成を行い、LiDAR で生成された地図上から対象の位置を特定する手法が用いられている。これにより、自律走行ロボットの経路計画だけでなく、時系列的な点群の移動変化から対象を追跡することが可能となる。我々の先行研究[3]では、LiDAR とカメラの融合により、歩行者と自転車の検出手法を提案している。この手法では、LiDAR の点群データからクラスタを抽出し、サイズフィルタリングによって候補を検出し、特徴量と分類器を用いて分類を行っている。関連研究[4]では、3D LiDAR センサーを用いた人物の検出、追跡、分類に関するモジュール式アプローチを提案しており、極端な姿勢変化にも対応し、リアルタイム処理を実現している。このように、LiDAR によって得られる点群情報から移動体の検出が可能であり、動いている人物の判定には一定の効果がある。

しかしながら、これらの手法はあくまで対象が移動していることを前提としているため、対象が静止している場合には検出することができない。

そこで、先行研究[1][5]では、複数の 2D-LiDAR を使用することで静止した人物の検出を行っている。この研究では、LiDAR を人間の胴体および足元の高さに配置し、それぞれの高さで取得された点群データをもとに人物と障害物の識別を行っている。これにより、単一の固定型 2D-LiDAR では

取得が難しい人間の形状的特徴の把握が可能となり、静止

している人物の判定精度が向上した。

さらに、先行研究[6]では、3D-LiDAR を用いた人物判定手法を進展させ、LiDAR の設置高さを動的に調整可能とすることで、より広範囲かつ遠距離において高精度な人物判定を実現している。この手法では、対象との距離に応じて LiDAR の高さを変化させることにより、胴体および足の特徴点を適切に取得可能としており、固定型 LiDAR で生じる照射角の制限や距離変化へ対応している。

また、ロボットによる人間の不快感の先行研究[7]では、ロボットが 5m 未満に接近した場合で多くの対象の人物が不快に感じる事が確認された。そこで、実際のロボット走行を想定したパーソナルスペースを考慮した距離で人物判定を行う必要がある。

これらの先行研究では、静止状態にある人物の立位に対しては高い精度で判定が可能であることを示している。しかし、その他の姿勢の検出には対応できていない。

本研究では、これらの課題に対処するために、3D-LiDAR を用いて立位、座位、倒れている人（横向き、縦向き）の姿勢を判定する新たな手法を提案する。

### 3. 提案手法

先行研究では、立位の検出に焦点が当てられており、座位や倒れている人物の検出には対応していなかった。

本研究では、3D-LiDAR を用いて取得された点群データから、立位・座位・倒れている（横向き・縦向き）の人物を分類する手法を提案する。

LiDAR を用いて立位、座位、倒れている（横向き、縦向き）の人物の点群を取得する際、LiDAR は周囲にレーザを照射し、反射して戻ってきた時間や角度から 3 次元の点群データを生成する。立位の人物は、地面から一定の高さまで垂直方向に点群が分布する。座位の人物は、立位に比べて低い位置に点群がまとまり、地面と接する部分の点群が密になる傾向がある。倒れている人物（横向き）は、水平方向に長い点群の分布を示し、地面に近い位置に広がる。LiDAR の点群取得の様子を図 1 に示す。同様に倒れている人物（縦向き）は、その倒れている方向に応じて、水平または垂直に近い方向に点群が分布する。LiDAR の点群取得の様子を図 1 に示す。

判定を行う物体点群の検出には背景差分処理を用いる。これは、事前に取得した周辺地図の点群データと、現在の LiDAR で取得した周辺の点群データを比較することで、背景以外の物体の点群を検出することができる。検出点群に

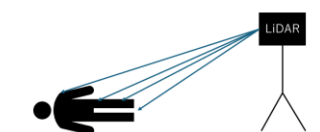


図 1 倒れている人の点群取得例

<sup>†</sup> 神川工科大学大学院 Graduate School of Kanagawa Institute of Technology

<sup>‡</sup> 神奈川工科大学 Kanagawa Institute of Technology

対して、PointNet を用いた深層学習モデルによって人物判定および姿勢分類を行う。

背景差分によって得られた人物候補の点群に対し、PointNet を用いた分類モデルにより、人物判定および姿勢分類を行う。PointNet は、点群の順序に依存せず特徴量を抽出できる深層学習モデルであり、人物の点群の構造的特徴を活かして姿勢の識別が可能である。

本研究では、以下の 4 クラス分類を行う

1. 立位
2. 座位
3. 倒れている人(横向き)
4. 倒れている人(縦向き)

#### 4. 実験と評価

LiDAR が取得した点群データから対象の人物の姿勢を判定できるか評価するための実験を行った。点群情報を取得する際に用いたLiDARはVelodyne社のVLP-16を使用した。また、屋内でLiDARから5mの距離で人物の点群情報を取得した。これは先行研究[7]で示されたパーソナルスペースを侵害しない距離である。実験環境を図2、図3に示す。

学習データには、大学に迷い込んでしまった人を想定して、立位・座位・倒れている(横向き・縦向き)、この4つの姿勢とした。PointNet が採用されている Classify point clouds using PointNet でクラス分類を行う際の学習回数を60回、バッチサイズ32とし、機械学習の過程を図4に、図5に結果を示す。

図4からモデルは学習データに対しては高い精度を維持している。テストデータにおいても0.8以上の精度を維持していることがわかる。図5の結果を見ると、立位、座位、倒れている姿勢(横向き)については完全な分類ができているが、座位に関しては倒れている姿勢(縦向き)との混同が



図2 倒れている人  
(横向き)



図3 倒れている人  
(縦向き)

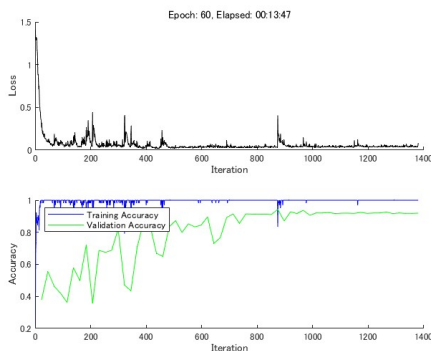


図4 人物判定の学習過程

	真のクラス			座位
	立位	倒れている (横向き)	倒れている (縦向き)	
予測されたクラス	座位			147
	倒れている (横向き)		255	1
倒れている (縦向き)		192		66
立位	200			

図5 姿勢判定の結果

見られた。これは座位と倒れている点群形状が類似していると推察できる。

#### 5. まとめ

本研究では、3D-LiDAR を用いて人物の姿勢を立位・座位・倒れている(横向き)・倒れている(縦向き)の4つに分類する手法を提案し、5m先の対象に対して高精度な分類が可能であることを確認した。学習データでは完全な精度を示し、テストデータに対しても80%以上の精度が示された。しかし、座位と倒れている(縦向き)の混同が生じる結果となった。これは点群形状が類似しているためであると考えられる。そこで今後の課題としては、LiDAR の設置角度や高さの最適化、座位と縦向き倒位の判別精度の向上、さらに人以外の物体を含めたデータセットの拡充を進めることで、より実環境に即した人物判定の実現を目指す。

#### 参考文献

- [1] T. Watanabe, Y. Terashima and R. Kiyohara, "Standing Human Detection Method Using 2D-LiDARs," 2023 IEEE 47th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC), pp. 1260-1265, 2023
- [2] 竹之内 康希, 田村 仁, "LiDAR を用いた対人追従システム," 第 82 回全国大会講演論文集, Vol. 2020, pp. 467-468
- [3] H. Mochizuki, T. Watanabe, M. Horii, Y. Terashima and R. Kiyohara, "Stationary Human Detection Method by 2D-LiDARs," 2024 International Conference on Information Networking (ICOIN), 2024, pp. 35-38
- [4] 波平 勇気, 三浦 純, 大石 修士, "LIDAR-カメラ統合による歩行者・自転車検出, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集," Vol. 2016, 2016, セッション ID 2P2-07b4
- [5] Gómez, Juan, Olivier Aycard, and Junaid Baber, "Efficient Detection and Tracking of Human Using 3D LiDAR Sensor" Sensors 23, no. 10, 2023
- [6] 望月遥貴, 清原良三: 動的な高さ調整可能な LiDAR による遠距離からの人物判定精度向上手法, 研究報告高度交通システムとスマートコミュニティ (ITS), 2025-ITS-101, 27, p. 1-6,
- [7] Personal Spaces for Security Guard Robots in a Campus. 17th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics Tatsuya Umemura, Haruki Mochizuki, Mari Ueda, Ryoza Kiyohara