

異高複数設置 2DLiDAR による立ち止まり人物判定手法

渡辺 拓哉¹ 澤野 雄哉¹ 寺島 美昭² 清原 良三³

概要: 神奈川工科大学では、キャンパス内で小型の自律走行するロボット運用し、配送、警備、掃除、サインエージといった用途に利用することを想定して、KAIT モビリティリサーチキャンパスプロジェクトを実施している。このような自律走行ロボットでは、SLAM の技術および障害物や人の検知が重要である。本論文では動いている人だけではなく、静止状態の人も発見することを目的に、コストをあまりかけずに実現する手法を検討した。自律走行のために搭載している 3D-LiDAR の情報を活用し、かつ計算量を抑えた手法として、3D-LiDAR の情報の一部を複数の高さの異なる 2D-LiDAR として活用する手法を提案し、その基礎評価を行った。

1. はじめに

神奈川工科大学（以降 KAIT）では、KAIT モビリティキャンパス [1] プロジェクトを推進している。このプロジェクトでは、人工知能技術、センサ・認識技術、通信技術など様々な技術を統合したモビリティ（小型ロボットカート）が活躍する予定である。

プロジェクトの一環で自律走行ロボットが、昼間は配送用のロボットや、案内ロボットとして活躍し、夜間は警備用のロボット、早朝では、落ち葉を集める掃除用のロボットでの運用などを想定している。

ロボットカーが自律走行するために、LiDAR や、WiFi を搭載し、自己位置推定をしながら、SLAM の技術により走行することを想定している。SLAM は、自己位置推定と周辺の状況センシングを行い、これを MAP として保存するとともに、同じ位置に来た際に地図上の同じ位置にいることを認識して、自己位置推定するという処理を繰り返す。

構内をこのような自律走行ロボットを動かす場合の要求を以下に示す。

- 精度よく自己位置推定し、計画道に走行できること。
- 障害物などがある場合に、計画外でも避けて構内を走行できること。
- 構内にいる人とは一定の距離 (2m 未満など) に近づかずに走行できること。

これらの要求を満足するための大きな課題は以下の 2 点である。

- 人物の認識
- SLAM における自己位置推定精度向上

人物の認識手法は、多くの手法が提案されている。自動運転などの車両においても必要な技術であるが、高価なカメラを利用するものが多い。カメラを利用する手法でも、ステレオカメラを利用できれば距離がわかるものの、コストを抑えて単眼カメラでは、人物であることがわかって距離がわかりにくい。周辺に見える構造物の大きさ情報から立っている位置などを利用して距離を推定することも可能と考えられるが、複数人がいる場合などでの適用が難しい。また、LiDAR の他に高感度のカメラをつけることはコストも高くなる。そのため、LiDAR だけでできることが望ましい。

また、SLAM における自己位置推定機能は、タイヤの摩擦や滑りやすい路面など様々な要因で、直進運動しているつもりがずれている場合などがあり、頻繁に正しい位置の補正が必要となるなど、環境側にコストをかければ対応可能であろうが、GPS や WiFi などで、建物のある環境での推定も課題といえる。

本論文では、これらの課題の中でも人物の認識に関して従来の手法を紹介するとともに、その課題を述べ、解決策を提案する。また、自動走行ロボットカートは 3D-LiDAR を搭載して走行するが、SLAM 処理だけでも非常に大きな計算量となるため、センシングデータは共用できるものの、別環境で実装せざるを得ないと考えられるため、できるだけ計算量を落とした形が望ましい。そのため、3DLiDAR を複数の 2DLiDAR として扱うことを想定する。

¹ 神奈川工科大学大学院

² 創価大学

³ 神奈川工科大学

2. LiDAR

自動運転やロボットの自律走行などには必要不可欠である LiDAR について、その仕組みや欠点について示す。LiDAR とは Light Detection And Ranging 即ち、光による検出と距離の計測を行うセンサである。レーザ光を照射することで、物体に反射してセンサに戻った時と照射時の位相差を比較することで物体の有無とその物体までの距離を検出する。画像データなどには無い 3 次元的に計測を行うことができる。高精度に周囲の状況を取得できるため、地形の計測などに利用されている。近年では自律走行ロボットの自己位置推定、障害物検出や自動車の衝突防止、自動運転などに広く利用されている。

しかし、取得方法の特性から、悪天候時に取得可能距離の減少や、誤検知することや、反射光を得ることのできない場所に関しては、データの取得を行うことができない。例として、ガラスが挙げられる。ガラスは、レーザを透過するため、ガラス自体は取得することは不可能であり、その背後に物体があればその物体を取得する。

また、取得対象物に重なる形でレーザ光を反射するアルミシートなどの物体が存在する場合、その部分に関しては何も取得されない。しかし、これを補完する手法が提案されている [2]。

LiDAR は機構により分類されており、大きく回転型とソリッドステート型に分類される。回転型はレーザ光を照射するモジュールを回転させることで 360 度のスキャンを行うことで優れた検知範囲を持つ。しかし、物理的に回転する特性上この機構の耐久度が低い。また、自動車などに搭載する場合振動なども発生するためこのような場所に搭載することには不向きである。ソリッドステート型は物理的な稼働部はなくビームステアリングを用いてスキャンを行う。回転型に比べスキャン範囲は減少するが、物理的な稼働部がなく耐久性が高い。しかし、自動運転など全方位の状況を把握することが必要な場合などは複数台搭載しなければならずコストが増加する。

また、照射するレーザー光の本数による分類があり、レーザを特定の高さ 1 ラインのみに照射しデータを取得する 2D-LiDAR(図 1) と複数ラインに照射しデータを取得する 3D-LiDAR(図 2) がある。前者は取得するこの点群情報は少ないが、その分情報量も少なく比較的安価である。計測範囲内の物体の有無の判断が可能であり、高度な検知が必要ない自律走行ロボットの障害物回避や自己位置推定などに用いられる。後者は多段の点群情報を得ることが可能でありカメラなどのセンサを用いることなく自動車や人間など様々な物体を検知することができる。しかし、その分情報量は膨大であり処理には高性能コンピュータが必須となる。また、高価である。主に自動運転機能搭載の自動

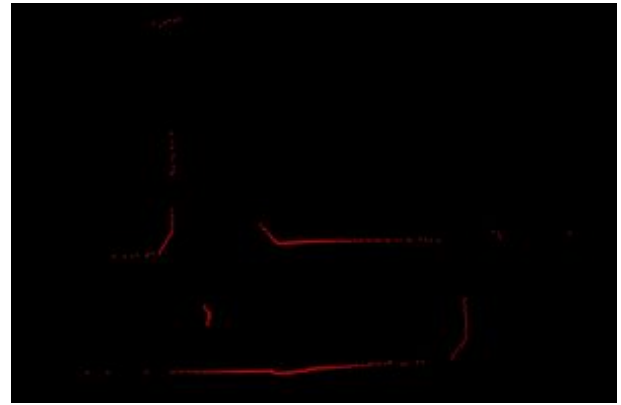


図 1 2D-LiDAR で得る点群情報の例

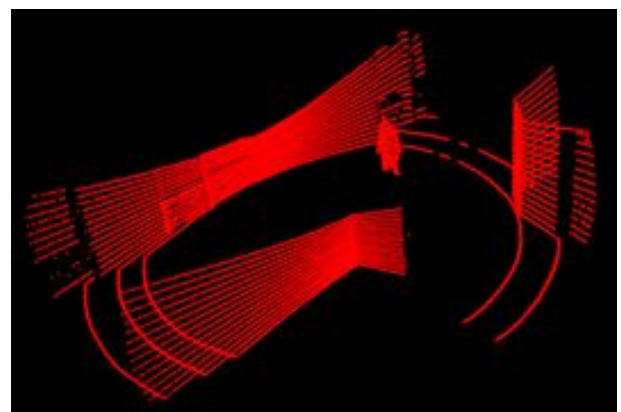


図 2 3D-LiDAR で得る点群情報の例

車や自動警備ロボットなどの高度な検知が必要とされるものに搭載される。

本論文では、回転型の 3DLiDAR の情報から一部を利用するため、2D-LiDAR を想定する。

3. 関連研究

車載レーザレンジセンサによる複数移動物体の検出・追跡法が研究されている [3]。屋内環境において、2 次元レーザレンジセンサを全方向移動ロボットに搭載し、走行時における観測地情報を独自のルールと占有グリッド法を利用して壁、静止物体と移動物体を区別し、カルマンフィルタを用いて移動物体の追跡をするというものである。ロボットの視野から出ないように人間 2 人が移動した場合その 2 人を移動物体として認識した。しかし、より大きな移動物体を検出、追跡を行う場合対象を剛体として取り扱い形状と位置などを認識する必要があるとしている。移動物体の検出は可能であるものの、その移動物体が人間であるかどうかの判断は不可能でありまた、移動しない物体に対しては背景として削除されてしまうためこれらを考慮し検討する必要である。

LiDAR を用いた形状的特徴による人認識について研究されている [4]. 3D-LiDAR で取得した 3 次元データに対してクラスタリングを行いその中でも立体物に対して特徴点抽出を行い実時間性の高い人認識を行う. 更に, 得られた形状的特徴に対して SVM を用いて評価を行うことでより高精度な人認識を行い結果として人間として認識された対象物体を候補に追跡することが可能であるとしている. LiDAR を利用し人間の検出は可能であるが, 3D-LiDAR を利用しているため費用の増加やデータ量の増加が考えられるためこれらを削減することの出来る 2D-LiDAR での検討が必要である.

センサフュージョンを用いた SLAM による障害物検出に関する研究が行われている [5]. レーザレーダを利用し, SLAM を行いフレームマッチングを行うことで移動障害物の検出を行い検出された障害物をカメラの映像に投影し関心距離を検出し移動障害物と判断された場合は距離を表示するというものである. SLAM を利用することで高い精度での人間及び障害物の検出を可能にしているが, マップマッチングを行うため事前にマップを取得していなければならない. また, 前後のフレームでマップマッチングを行っているため, センサの移動をすることが不可能である. そこで移動し続ける場合であっても物体を検出できる手法を検討する必要がある.

焦電型赤外線センサと iBeacon を用いた匿名者と非匿名者の位置検出に関する検討が行われている [6]. デバイスを所有し, 自分が誰で現在どこにいるかを伝える人物を非匿名者, そうでない人物を匿名者としそれぞれを屋内で検出することを目的としている. 焦電型赤外線センサと iBeacon を統合した検知装置を屋内の天井に設置し人物の検出及び匿名者か非匿名者かの検出をおこなう. 人物の有無を検知するために焦電型赤外線センサを利用し, 匿名者かそうでないかの判断を iBeacon で行う. 人物の検知については約 1 m の精度で検出する事ができるが, iBeacon の RSSI 値については距離に対して値が比例していないとの実験結果を得ている. 屋内における人物の検出は可能だが, 屋外の場合天井が存在する場所が少ないため天井のない場所に置いての人物検出について検討する必要がある.

2次元点群情報を利用して人間を検出し対象者を追跡する研究として, 人検出タスクにおける単体 LRF 環境での深層学習モデルの提案とその評価が行われている [7]. ここでいう LRF とは LiDAR と同じ装置を指している. 単体 LRF より取得したデータに対して PCL(Point Cloud Library) のクラスタリングを利用しこのデータを PointNet-AutoEncoder を用いて深層学習を行った結果, hand-crafted 特徴量を利用した検出率と比較し胴体と足のそれぞれの検出率を向上し追跡対象者を検知し追跡が可能であると示している. 胴体と足を別々に識別しており足の検出については一部 hand-crafted 特徴量と比較して劣る場合が存在す

る. また, 使用されているセンサが高解像度なものであるため, 処理の高速化が見込める程解像度なセンサでの検討が必要である.

4. 提案手法

先行研究 [8] では, 腕と腹の特徴に着目し, おおよそ 93% の精度を得ている. しかし, 季節ごとに服装は異なり, 重ね着をすることで, 薄着の場合と異なる形状になることが考えられる. さらには, 人によって体系は異なるため, あらかじめ様々な体系のデータを取得しておく必要がある. つまり, 学習すべきデータ量が増え, 計算量が増加する上に, 曖昧性も多くなり, 精度が落ちることが推定される.

そこで, 体系や服装に左右されにくい足首の情報も追加し, 一定の推定精度が得られるとすれば, 学習量を増やすことなく推定精度を保つことができると推測できる.

そこで, 胴回りの高さの点群情報と足首周辺の点群情報を合わせた形で学習することで精度の向上の可能性を検討した. 胴回りと足首周辺の特徴に関連性が高いとすれば, 合わせた形で精度の向上は期待できる. しかし, 独立していると考えれば, 個別に学習し, 両方で人であると判定する方が精度の向上は検討できる可能性がある. しかしながら, 見逃す確率もあがる.

最終的な目的が自律走行カートが人と離れたところを走行することが目的であることを考えると, 見逃さないことが重要となるため, どちらかの判定で人と判断したら, 人と考えべきかもしれない.

そこで, どの程度の精度を得ることができるかを知るために足首に関して検討した. 足首と似たような形状をしているものとして, 構外だと図 3, 構内だと図 4 に示すようなものが挙げられる. しかし, 足のように棒が二本, 近距離で構成されているものではなく, 足首で人物の判別が可能ではないかと考える.



図 3 構外



図 4 構内

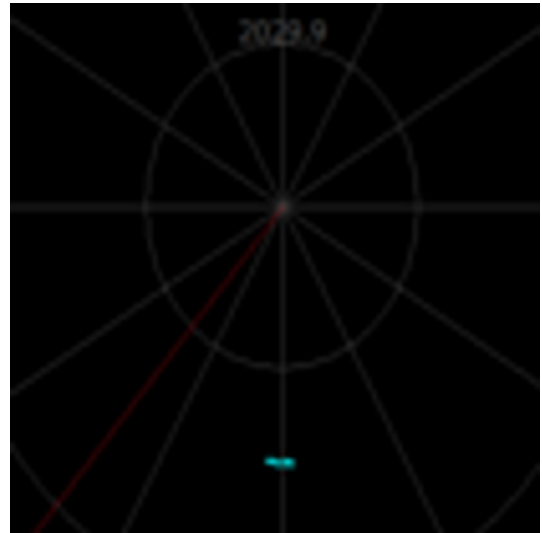


図 6 後方に立った場合

また、高精度な判別をするには、あらかじめ学習させておくデータが多く必要である。しかし、学習させておくデータの準備に時間がかかることや、データの学習に時間がかかることが課題として挙げられる。そこで、LiDAR を中心にして取得できる人間のよう形状をしたものの点群情報は、図5と図6に示すように、同じような形状をしているので、学習させるデータはLiDAR でデータが取得できる360度のうちの0度から180度の半分が良いはずである。

5. 実験

どの程度の精度になるかを知るために、基礎実験を実施した。今回の正解データの取得には、障害物が映りこまないように、実験協力者には台の上に立ってもらい、足首だけのデータを取得できるような環境を図7のように作成し



図 7 正解データ

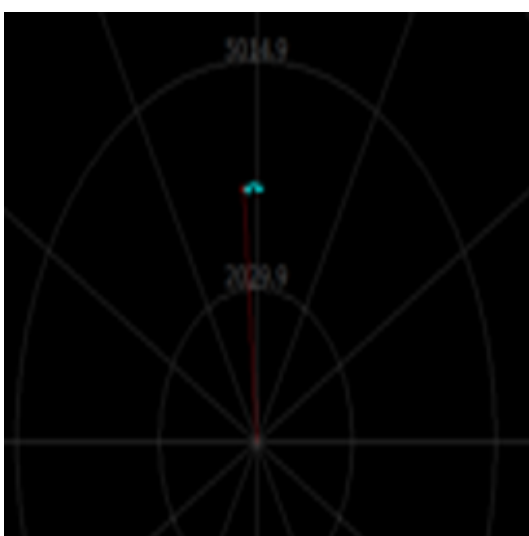


図 5 正面に立った場合

た。また、不正解データは、足に似た形状のものを取得するために、図8のように高さを調節してデータの取得を行った。足首に似たオブジェクトを不正解データとして用いた理由として、足首からきちんと特徴を抽出し、足首に似たオブジェクトと判別が可能かどうかを判断するためである。

2DLiDAR からの距離は1,2,3,4mの4種類とし、実験協力者には2DLiDAR に対して向き合った状態を0度とし、右回りで、45度、90度、135度の角度を向いてもらいそれぞれ5回ずつデータを取得した。2DLiDAR で取得できる点群は、0度と180度の場合、45度と225度の場合といったように反対方向を向くと、人間の体は同じ形状をする特徴があるため、180度以降のデータの取得は行わなかった。



図 8 不正解データ

6. 評価

今回実験に用いた評価は、SVM(Support Vector Machine)[9]を用いて2クラス分類を行った。まず、対称的な形状の点群の判別に関しては、LiDARの正面に立った場合と不正解データを基に、後方に立った場合のデータで分類を行った。結果、人間の足の検出率は41.0256%と良い精度は出なかった。また、足元だけのデータでの人間の検出は、正面に立った場合の3.4mのデータの正解データと不正解データを基に、1.2mのデータで分類を行った。結果、人間の足の検出率は12.5%と良い精度ではなかった。

角度ごとの評価を表1に示す。今回はLiDARに対して、0度、45度、90度、135度ごとに角度を人間の角度を変えてデータの取得を行った。結果、0度、45度、135度の場合は、足首の検出ができず、90度の場合は、50%の検出率となった。90度の場合はLiDARから見える人間の形状が、1本の棒状に見えているため、不正解データである2本の棒状の形状と区別できたと考えられる。しかし、それでも精度はよくなく足首だけで人間の判別は不可能であると分かった。

言い換えると、胴体まわりと足首まわりのどちらかが人の可能性があるという判断手法あるいは、複数の判定の両方が必要という手法では精度があがらないことがわかった。

表 1 角度ごとの検知率

0度	45度	90度	135度
0%	0%	50%	0%

7. まとめ

自律走行台車が人から一定の距離を置いて走行するために、障害物と人の違いを判定することを目的に自律走行台車が搭載しているであろう3D-LiDARの点群情報を使って人を認識する手法を提案した。提案にあたっては、計算量の削減を考慮して、3D-LiDARから得られる異なる高さの2D-LiDARの情報を利用した認識手法とした。

提案手法の有効性を確認するために、基礎実験として、足元の2本足の特徴を利用した点群をSVMを利用して認識できるかの実験を実施した。今回は、昼夜やコスト削減を考慮し、安価な2D-LiDARを用いて人物の発見を試みた。取得するデータは、服装に左右されにくい足首のデータを用いた。

点対称な形状の点群に関しては、あまり精度はよくなく、学習させておくデータは、360度全方向から取得したデータを必要とすることが分かった。これはおそらく、取得できる点群情報に、オブジェクトの形状の情報だけではなく、LiDARとオブジェクトとの位置関係が含まれているためと考えられる。

足首の他、人間と判別できるような特徴点を探し、異なる高さで複数台のLiDARを用いて点群情報を取得し、再度実験する必要がある。これに加え、SVMにかけるモデルの作成に必要なデータ量を減らす手法を考えると考える。

8. 今後の課題

8.1 改善

人間の体は、腕を下げて立っている状態であれば、腰あたりは”く”の字あるいは”凸”の字といった形、足首のあたりは棒2本が立っている状態である。これらより、先行研究の提案手法の、腰あたりの特徴を用いて人物らしいオブジェクトと2DLiDARで判断した場合、もう一方の2DLiDARで足首の判断を行い、再度精度を確認する必要がある。しかし、2DLiDARに対して横を向かっている状態では、腰と足首の状態は棒一本で構成されていると認識されてしまう可能性があるため、再度検討が必要である。

8.2 通行人の判別

今回は、立ち止まっている人物に着目し、服装に左右されにくい足首のデータを取得したが、実際には、自律走行台車の周辺の人物が歩行している場合が想定されるため、時系列データを用いた手法を提案する必要がある。具体的には、自律走行台車が人間と判断した瞬間から、取得した時刻から1~5秒程度の点群情報の一つのデータとして、時系列データの作成を行う。

8.3 通行人以外の判別

自律走行台車を走行させる際に、人間の足首と同じ高さに 2D-LiDAR を設置する場合、問題点として挙げられるのが、下り階段の検出である。階段から落下すると、自律走行台車が故障する可能性がある。そこで、2D-LiDAR を少し傾けた状態で自律走行台車に設置し、走行している地面の状況を把握しながら走行させるようにする。

参考文献

- [1] 神奈川工科大学先進技術研究所, <https://www.kait.jp/topics/atrc/report07.html>
- [2] 二宮舜, 徳留成亮, 西田健, ” LiDAR の計測欠落の補完” 第 34 回ファジィシステムシンポジウム論文集, pp320-325(2018)
- [3] 橋本雅文, 緒方聡, 大場史憲, 岡田三郎, ” 車載レーザレンジセンサによる複数移動物体の検出・追跡法,” 日本機械学会論文集 (C 編)72 巻 717 号, pp. 162-169(2006)
- [4] 横田隆之, 黒田洋司, ” LIDAR を用いた形状の特徴による人認識,” ロボティクス・メカトロニクス講演会演習概要集, 3P1-K04(2014)
- [5] 黒木研太郎, 胡振程, ”センサフュージョンを用いた SLAM による障害物検出に関する研究,” http://www.iri.pref.kumamoto.jp/sgk/2011/cdrom/thesis/04_hall/05_session/453.pdf(2020/11/18)
- [6] 秦淑彦, 加川航大, 久保貴志, 物部佑樹, ”焦電型赤外線センサと iBeacon を用いた匿名者と非匿名者の位置検出に関する検討,” 情報処理学会研究報告書 Vol.2015-ASD-2 No.14, pp1-8(2015)
- [7] 小原裕輝, 中沢実, ”人検出タスクにおける単体 LRF 環境での深層学習モデルの提案と評価,” 情報処理学会論文誌 Vol.62 No.1 ,pp246-251(2021)
- [8] 永井 悠人, 澤野 雄哉, 寺島 美昭, 鈴木 孝幸, 清原 良蔵: 不審人物検出のための 2 次元点群情報による人物検出と評価, 情報処理学会研究報告, Vol.2022-ITS-88 No.6 2022/3/8
- [9] https://github.com/bellonemauro/SVM_pcl_demo
- [10] https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/re_delivery_reduce.html