

3DLiDARによるSLAM実行時の危険領域判定手法

クオン ヒョクジン¹ 永井 悠人² 澤野 雄哉² 鈴木 孝幸¹ 清原 良三¹

概要: 自律走行の台車などでは、3DLiDARを装着し、SLAM技術により自律走行しながら周辺状況を取得し、マップを自動的に生成する手法をとることが多い。しかしながら、3DLiDARには死角となるエリアが存在する。死角エリアに穴があったり、階段があったりと本来入るべきでないエリアを如何に判定するかはSLAMの課題の一つである。本論文では死角を整理し、自律走行台車によってある程度の危険領域の判定手法を提案し、実際にデータを取得して評価したので報告する。

1. はじめに

LiDAR(Laser Imaging Detection And Ranging)技術の発展に伴い、LiDAR技術は従来から使用されていた海洋、地質、農林業などの分野だけでなく、自動運転技術など幅広い分野で利用されるようになってきた。

この中でも神奈川工科大学では、自動運転技術を活用し、3DLiDARを自律走行台車に装着し、大学構内を走らせる計画を進めている[1]。自律走行台車は、早朝には落ち葉を認識し、掃除をする台車とし、構内に人が多い時間帯は、サイネージをつけて配送業務を実行あるいは訪問社の案内などに活用し、夜間には警備員の代わりに動き回るといったことを想定している。

中でも警備においては人を判定する技術の研究[2]や、許可された人かどうかをなどを判定する研究[3]が進められている。また、自律走行台車の位置から発見した人の位置を推定する手法の研究も進められている[4]。

しかし、3DLiDARを搭載した自律走行台車の効率的な運用には、まだ解決すべき点が存在する。SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)技術による自動マップ作成時の障害物検出である。自律走行台車は自律走行時、障害物検出のために3DLiDARから近赤外レーザー光を対象物にパルス状で照射し、対象物に当たって跳ね返ってくるまでの時間差を利用して距離を測定するリモートセンシング方式を利用している。そのため、レーザー光が届かないところや届くが行ってはいけなところへの対処が問題点として挙げられる。

3DLiDARの機材は、床を水平として中心から一定の上

下の角度で放射状にレーザー光を照射して対象物や障害物を検出するが、下り階段はレーザー光が直接階段に当たることはなく、下り階段の先にある床や壁が検出されることが予想される。この場合3DLiDARは壁までまだ十分な移動距離があるまたは床が検出されたことから移動可能範囲であると誤判断し、下り階段を降りてしまい、台車やLiDARが故障するのみならず、人的被害にまで発展する恐れがある。

そのため、従来の自律走行台車は階段などの危険段差をマップ上に進入禁止領域として予め指定し、進入を禁止する方法を採用している。この方式はマップが既に作成された状態を前提とした手法であり、マップが作成されていない状態でSLAMを使い、マップを作成する段階で用いることはできない。

本研究では従来の進入禁止領域を指定する方式ではなく、SLAMのマップ作成時にも使えるリアルタイム性を重視した危険と思われるところへの対処手法を提案し、実験で用いる3DLiDARを搭載した台車を基準として考察し、危険領域の一つである下り階段の段差の認識及び死角への対処が可能であるか検証を行う。

2. SLAM

SLAMは位置特定と地図作成を同時に行う技術を意味し、この技術を使用することによって自分がどこにいるのか、周辺がどうなっているのかを把握することができる。自動運転、AGV、ドローン、ロボット、AR/VR/MRなど様々な分野で使用される技術である。

いずれも自己位置と周辺地図を正確に把握することが非常に重要な分野であり、SLAMによって自身と周辺にある障害物との正確な距離を検出して回避するなど自身の次の行動を判断することも可能である。更に機械を利用した人

¹ 神奈川工科大学
Kanagawa Institute of Technology

² 神奈川工科大学大学院
Graduate School of Kanagawa Institute of Technology

間の行動(物をとるなど)を真似する作業ではより正確に自己位置と周辺地図を把握することが重要である [5].

3. 関連研究

PBS[6] による階段の下り段差の検出が研究されている [7]. PBS とは赤外 LED ($\lambda = 880nm$) 光線により半円状のフィールドをスキャンし, 対象物との距離計測とそのステップ角度により座標を計算し, 設定されたエリア内の障害物を検出するセンサである. 計測範囲は上下 180° , 計測距離は $3m$, 幅は $2m$ まで計測可能である.

基礎実験として PBS を人の腰の高さ $1m$ に固定し, 床に垂直な方向を角度 0° とし, 階段 $1m$ 前で床から天井に向かって 180° スキャンした結果, 70° 時点で床の検出が不可能となり, 約 $2.7m$ 先の床を検出していることから前方 $2.5m$ 以内の床面の変化を検出できている.

壁及び上り階段も検出可能であることから, これらを基に下り段差の検出は床の検出可能範囲を考慮して $5.3^\circ < \theta < 70^\circ$ で行うと定めている. 下り段差が存在する場合には床までの距離が大きくなることからこの変化を利用して下り段差検出を行なっている. 実験結果, 壁及び上り階段は $3m$ 手前で 100% 検出可能であり, 下り階段や危険段差を含む下り段差の検出は $2m$ 手前では 100% 検出可能であることを示している. また, 下り階段と危険段差の区別は, $0.8m$ 手前で 80% 可能となり, $0.5m$ 手前では 95% 可能としている.

しかし, PBS を用いた検出手法と同じ手法をとることは不可能である. 3DLiDAR の代わりとして PBS を使用するという発想もあるが, 検出距離 $3m$, 検出保証範囲幅 $2m$ の PBS を LiDAR の代用として使用することは精度的に困難である.

そこで, 本手法は参考として 3DLiDAR にあった手法の検討を行うこととした.

4. 提案手法

3DLiDAR は PBS と同じく赤外線を利用しているが, 3DLiDAR の検出距離は $100m$ 近くあるのに対して, PBS は $3m$ 程度である. 角度は逆に Velodyne 社の 3DLiDAR では図 1 に示すように, 上下 15° , 計 30° の検出範囲しか持たないが, PBS は上下 90° , 計 180° の検出範囲を持っている. さらに曲がり角などでは, 図 2 に示すように時系列的に遠くから見ることはできない. すなわち, 見ることができない死角が発生している.

このことから限られた照射角度を持った 3DLiDAR は PBS より狭い検出範囲で障害物を判断する必要がある. 3DLiDAR の照射角度だとレーザー光が下り階段であることを決める判断材料の一つである一定間隔の段差が繰り返されるという特徴を捉えることができず, 下り階段があるということのみを検出することが可能である.

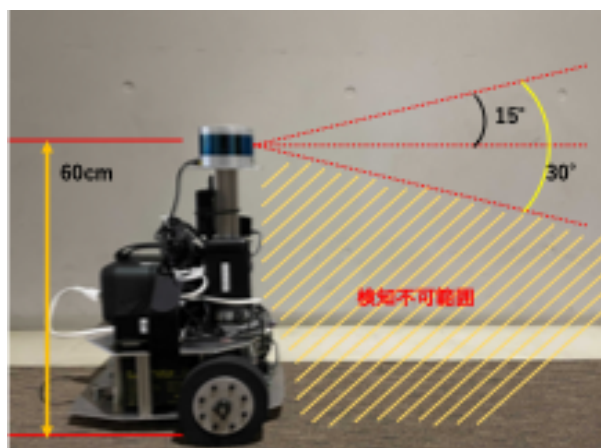


図 1 3DLiDAR の検出範囲 (進行方向)

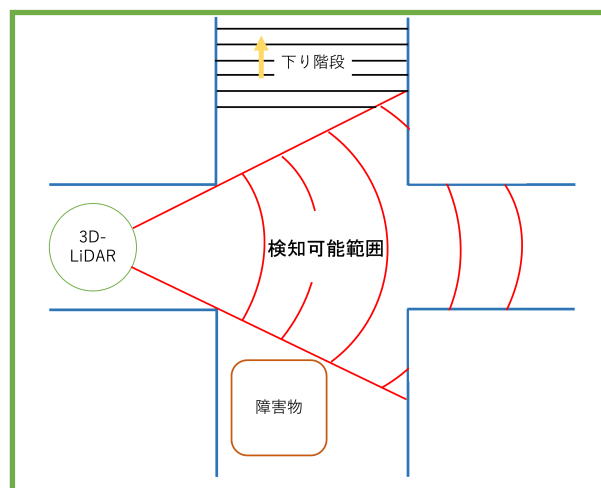


図 2 3DLiDAR の検出範囲 (曲がり角)

本研究では 3DLiDAR が PBS と同じ赤外レーザー光を利用している点と段差の検出は可能である点に注目し, 下り段差が検出されたかつ近くで上り階段が検出された場合下り段差を下り階段であると判断する手法を提案する.

神奈川工科大学の屋内では, 下り階段が存在しない一階と上り階段が存在しない最上階を除く全ての階は上り階段と下り階段が対として存在している. 多くの建物では階段に多くのスペースを使われないことを避けているため階段の種類の一つである折り返し階段やかね折れ階段が多々採用されている.

上り階段と下り階段は踊り場もしくは踊り場のような空間を境に分けられてあり, 各階段が必然的に隣接している仕組みとなっているため上り階段を利用することで確実に下り階段の存在をより確かなものとする事ができるためである.

4.1 床検出

3DLiDAR は、台車上の地面から約 60cm のところにあり、最初に床が検出される距離は $\chi = 60\text{cm}(\tan 15^\circ)$ であることから台車から約 $\chi = 220\text{cm}$ 離れた距離から初めて地面の検出ができると考えられる。

4.2 下り段差検出

台車が平地を自律走行時、3DLiDAR から照射されたレーザー光が床に当たって跳ね返ってくるまでの時間は外部要因による影響を除けばある程度一定であり、角度毎に距離が一定であるとも言える。下り段差が出現すると同時に床を検出していたレーザー光が床までの距離以上に伸び、その先にある下の階の床または壁が検出されると考えられる。PBS と同じく段差が現れると検出対象までの距離が変化する性質を利用した段差を検出することができる。

4.3 上り階段検出

建築基準法で定められている階段の寸法は幅 75cm 以上、踏み面 15cm 以上、蹴上げ 23cm 以下である、因みに一般成人男性の平均足底の長さは 24.3cm、靴を履くと約 29.3cm であり、階段の蹴上げは平均約 18cm である。

建築基準法に基づき 3DLiDAR を利用した上り階段検出を行う際には蹴上げの高さが 23cm 以下であり、幅が 75cm 以上であるものを階段として扱う。そして階段の特徴である一定で連続した奥行きと蹴上げのある段差である点を利用して上り階段の検出を行う。踏み面は上り階段検出を行う際に 2 段目以降は識別することが難しくなり、判別特徴として用いることは不適切であると判断し、今回の実験では利用しないこととした。

5. 検出結果と評価提案手法

実験環境は神奈川工科大学 K1 号館 7 階にある研究室前の廊下と階段であり、3DLiDAR を利用した床、下り段差と上り階段、そして角を曲がってすぐの障害物の検出を行なった。階段は幅約 150cm、蹴上げ約 18cm、踏み面約 30cm である。

5.1 床

3DLiDAR が初めて床を検出する距離は上記の 4.2 床検出で計算した結果では台車から約 220cm であったが実計測では約 210cm で初めて床検出が出来ることが判明した。約 10cm の検出範囲の差が生まれたが、恐らく床の材質による微妙な凸凹や台車の移動時発生する揺れによる 3DLiDAR の地面との水平の維持が出来なかったことが原因ではないかと推測される。

5.2 下り段差

$\tan X^\circ = 18\text{cm}/30\text{cm}$ であるから X は 31° である。つ

まり階段を検出するには最低 31° の角度から検出を行わない限り検出不可能であることが計測結果確認できた。実際に 3DLiDAR を利用して下り階段の検出を試みた結果、検出不可能であることが確認できた。上記の 4.2 で述べたようにレーザー光は階段を検出することはなく、床までの距離以上に進行して下の階の壁が検出されたことを図 3 で示す。レーザー光の距離変化が確認できたことから下り段差が存在することは認識できる。

5.3 上り段差

上り階段の検出は下り段差とは違ってある一定の高さ(蹴上げ)毎に一定の距離奥へ進む特徴を持っている。図 4 と図 5 のように 3DLiDAR を利用して上り階段の蹴上げが確認でき、一定距離毎に奥へ進む特徴も確認できた。

しかし、本来図 4 の階段数は 3 段であり、1 段目が検出されなかった理由は 3DLiDAR との距離が近すぎたことが原因であると考えられる。

また、図 5 で示されたように上り階段の 1,2,3 段目は確実に蹴上げが見て取れたが 4 段目以降は蹴上げのほんの一部のみが検出できたことから段の数が増えるほど上り階段検出の正確度は低下すると予測できる。

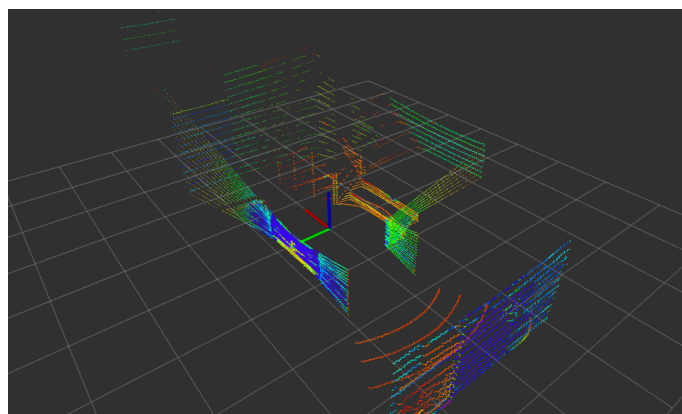


図 3 下り段差検出

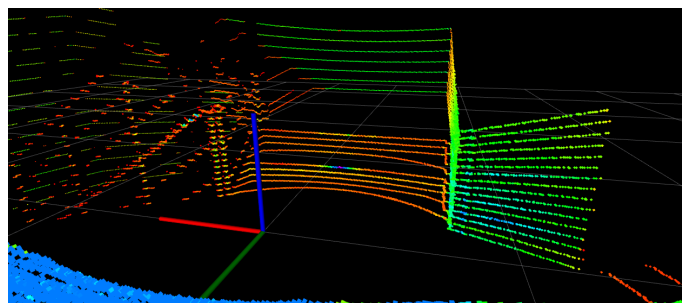


図 4 上り階段検出 1

5.4 角を曲がってすぐの障害物検出

角を曲がった際にどこまで検出できるかを図6に示す。

障害物は高さ25cmの四角形の箱である。計測結果、箱の上から半分まで検出することができた。完全に3DLiDARの死角に入る障害物への対処は恐らく不可能であることから超音波センサなどを利用して障害物認識処理を行う必要があると思われる。その結果3DLiDARでは解決出来ないガラス問題の解決にも繋がると考える。

6. おわりに

3DLiDARを利用した下り階段検出に使用予定の下り段差と上り階段の特徴を確認することができた。また角を曲がってすぐの障害物に対しての処理は別途のセンサが必要であると考えた。今後の課題として今回の実験で用いた階段以外の階段の種類についての検出手法を考える必要がある。また、死角を検出するためのセンサの種類と搭載位置の検討が必要である。

参考文献

- [1] 神奈川県立大学先進技術研究所, "KAITモビリティリサーチキャンパスの構築" <https://www.kait.jp/topics/atrc/report07.html> (参照2021年8月26日)
- [2] 永井悠人, 澤野雄哉, 寺島美昭, 鈴木孝幸, 清原良三, "自律走行台車を活用した2次元点群情報による人物検出手法," 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバ

- イル (DICOMO2021) シンポジウム, pp.728-733(2021)
- [3] Yuto Nagai, Yuya Sawano, and Ryoza Kiyohara, "A study of patrol system by automated robotic car," International Workshop on Informatics(IWIN) 2020, pp.169-174 (2020)
- [4] 澤野雄哉, 永井悠人, 鈴木孝幸, 清原良三, "警備に活用する自律走行台車の自己位置推定手法," 情報処理学会研究報告マルチメディア通信と分散処理 (DPS), 2021-DPS-187(2021)
- [5] "SLAM(スラム)とは?? SLAMの基本技術と活用について," <https://www.macnica.co.jp/business/maas/columns/134751/> (参照2021年5月27日)
- [6] 北陽電機株式会社, "測域センサPBS," <https://www.hokuyo-aut.co.jp/search/?cate01=1> (参照2021年5月27日)
- [7] 寺田万里子, "PBSによる階段の下り段差の検出", ライフサポート, Vol.19, No.2, pp.64-65(2007)

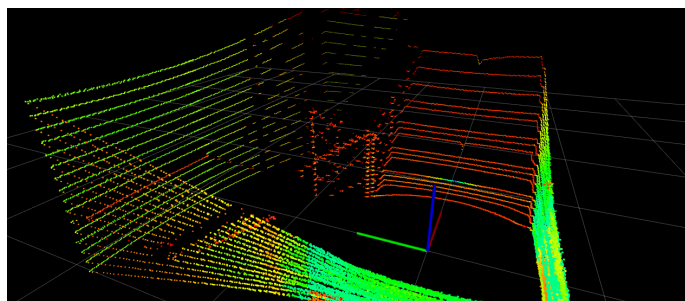


図5 上り階段検出2

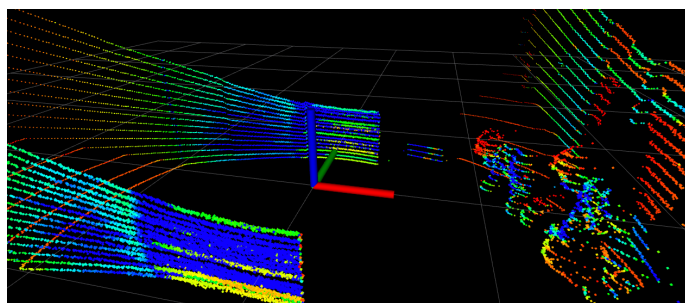


図6 角付近の障害物検出