

2次元固定LiDARの点群データの線分近似表現による 移動物体軌跡の視覚化

窪田諒我[†] 田谷昭仁[‡] 戸辺義人[♭]

青山学院大学大学院理工学研究科理工学専攻[†]

東京大学所生産技術研究所[‡]

青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科[♭]

1. はじめに

近年、自動運転車両や自走ロボットなどに、周囲との距離を取得する際に使われるものにLiDAR (Light Detection And Ranging) がある[1]. 回転式LiDARでは距離と角度の情報が含まれる2次元を表現した点群データ取得できる. しかし、取得した点群データは非均一なデータサンプルの集合であり、解析時の取り扱いが困難である. また、大量のデータが存在するため、アプリケーションとする際に、ネットワークを逼迫する等の可能性がある.

本研究では、壁面や家具などにより平面が多く含まれる屋内空間において、回転式LiDARを用いて取得した2次元の点群データに対して、直線近似を行うことで任意の角度における距離を表す解析解を導出する. さらに、これを応用した点群データの圧縮を試みたのち、移動物体の視覚化を試みる. 本稿では、点群を用いた圧縮及び解析しやすい空間情報の表現形式の検討と作成を目的とし、設計、実装について述べる.

2. 関連研究

文献[2]では、2次元LiDARとBLE (Bluetooth Low Energy)、GNSS (Global Navigation Satellite System) を用いて不審者の検出を行う手法に関して提案していた. 提案手法としては、LiDARから取得したデータを画像として扱いかスケード分類を行った後、人間を感知したかの検証を行っていた. この際、2次元LiDARの情報の少なさから人の検知が難しくなっていた. そのため、本稿では移動の検知、視覚化に関して、検討、提案をする.

3. 提案手法

LiDARでは角度、距離のペア (r, θ) を取得することができる. これらのデータは空間的に非均一であり、単独の点では意味をなさない. そのため、複数の点のまとまりに対して信号処理を行うことを考える. 我々は壁面や家具などにより平面が多く含まれる屋内空間は直線が多いと考えた. そのため、近隣にあるいくつかの点が物体表面を取得した際、点群は微小区間ごとで直線を構成すると仮定した. 本稿では近隣の点をまとめるために主成分分析を用いて線分近似を行う. 主成分分析は任意の角度 θ において、一定範囲以内の点に対して行う. 図1に直線近似の概要を示す. 近似直線 A は θ ごとに変化するため、 $A(\theta)$ と表記する. 提案手法では直線 $A(\theta)$ を、原点からの距離 $l(\theta)$ と傾きを表す $\varphi(\theta)$ の2つのパラメータで表現する. LiDARで観測した物体表面が平面の場合、一定区間 $l(\theta)$ と $\varphi(\theta)$ は変動しないことが期待される. $l(\theta)$ と $\varphi(\theta)$ は次式で表すことができる.

$$l(\theta) = r(\theta) \cos(\theta - \varphi(\theta)) \quad (l(\theta) > 0). \quad (1)$$

この $l(\theta)$ と $\varphi(\theta)$ は点群の主成分分析により求めることができる. これを求める際には次の分散共分散行列の固有値解析を行う.

$$C_\theta = \frac{1}{|\mathcal{N}(\theta)|} \sum_{j \in \mathcal{N}(\theta)} (P_j - \bar{p})(P_j - \bar{p})^T. \quad (2)$$

ここで、 P_j は点群のデータ、 \bar{p} は点群データの平均、 $|\mathcal{N}(\theta)|$ は一定区間内の点群データの個数である. C_θ は各成分を a, b, d を用いて以下のように表す.

$$C_\theta = \frac{1}{|\mathcal{N}(\theta)|} \begin{bmatrix} a & b \\ b & d \end{bmatrix}. \quad (3)$$

分散共分散行列の固有値解析を行う際、3次元の点群データでは数値計算を行う必要がある. しかし2次元点群では、閉形式として求めることができる.

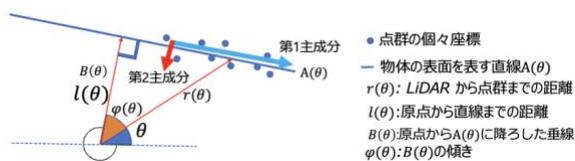


図 1：提案手法を表現した図

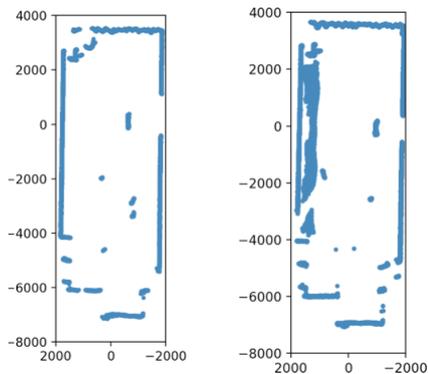


図 2：元の部屋の点群（左）と人移動時の点群（右）

点群を主成分分析で取り扱うのは、今回の点群は物体を表す際に直線と仮定しているため、第 1 主成分が直線と並行なベクトルとして求めることができる。そして、第 2 主成分が直線に垂直なベクトルになる。次式のように第 2 主成分の向きから $\varphi(\theta)$ を求めることができる。

$$\varphi(\theta) = \tan^{-1} \left(-\frac{1}{2b} \left(a - d + \sqrt{(a+d)^2 - 4ad + 4b^2} \right) \right). \quad (4)$$

また、 $l(\theta)$ を求めるためには、 $r(\theta)$ が必要となるが、一定範囲以内の点との距離の平均を用いた。

求めた $l(\theta)$ と $\varphi(\theta)$ を用いることで、任意の角度 θ に関して、 $r(\theta)$ を次式のように求めるが可能となる。

$$r(\theta) = \frac{l(\theta)}{\cos(\theta - \varphi(\theta))}. \quad (5)$$

これにより、不均一であった点群データを均一なデータとして取り扱うことが可能となる。

4. 実験評価

本章では実験方法と評価について述べる。

4.1. 実験方法

本研究では LiDAR に Slamtec 社の RPLIDAR A2M8 を用いた。この LiDAR は 1 周で 800 点取得し、1 秒間に、8000 点のデータを取得することができる。

実験は青山学院大学の教室にて実施した。実

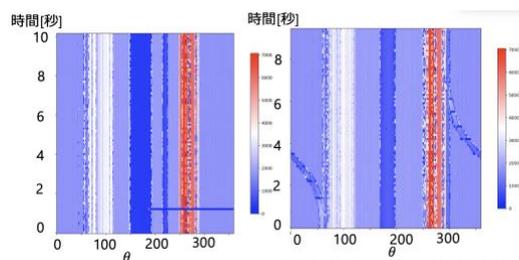


図 3：物体固定時の $l(\theta)$ と θ の時間経過図（左）と物体移動時の $l(\theta)$ と θ の時間経過図（右）

験を実施した教室で、物体移動がない際に取得した点群データは図 2 の左図である。これに対して、右図は、図 2 の左図 A 地点から B 地点まで、人が約 9 秒間動いた際の点群データである。

図 3 は移動物体の検出を試みるために、 $l(\theta)$ に関してヒートマップを作成して表現したものである。左図は移動物体がないもの、右図は人移動時となっている。

4.2. 評価

評価について述べる。図 3 右図では物体が移動した際の $l(\theta)$ の移動の軌跡が斜めの帯のように現れることがわかる。このような傾きを持った帯を検出することで移動物体の存在を確認することができた。

5. まとめ

本稿では、2 次元の回転 LiDAR を用いて取得した点群データに関して線分近似表現を行った後の、移動物体の視覚化に関する手法を提案した。今後の展望として、データ圧縮への応用や物体認識を行う予定である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP21K17734 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) You, L. and Javier, I.G.: Lidar for Autonomous Driving, IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE, pp. 50-61, (2020)
- 2) 永井悠人, 澤野雄哉, 寺島美昭, 鈴木孝幸, 清原良三: 2D-LiDAR による人物検知手法の提案, 情報処理学会第 83 回全国大会 (2021)
- 3) Slamtec <https://www.slamtec.com>