

マニピュレータに設置した鏡を利用した移動ロボット搭載 LiDARの検知領域拡大手法の提案

○松原和輝（東北大学） 永谷圭司（東京大学） 平田泰久（東北大学）

1. 緒言

近年、省人化や安全の観点から、ロボット技術を活用したプラント点検の自動化に対する要求が高まっている。特に、海上プラットフォームは、作業員の負担や、人件費などのコストが大きいため、プラント内自動巡回ロボットの実現が期待されている [1]。この種の移動ロボットは、環境地図の生成や、自律走行時に自己位置の推定を行う必要がある。この際、周辺環境を取得するために広く用いられるのが LiDAR (Light Detection And Ranging) である。特に、全方位 3 次元 LiDAR は、周辺環境の 3 次元点群を取得することが可能であり、これは、移動ロボットが自律走行を行う上で、大変有用な情報となっている。

このような移動ロボットでは、ロボットの本体上部など、できるだけ周辺環境を取得できる位置に LiDAR を設置するため、LiDAR による機体近距離の計測ができない場合が多い。そのため、障害物への衝突や、階下への落下などの危険が存在する。この問題に対処するためには、近距離計測用の別のセンサが必要となるが、コスト増となる。そこで筆者らは、この問題に対して、LiDAR の未活用領域に鏡を設置することにより、機体前方の計測範囲の拡大を実現した [2]。しかし、固定鏡で拡大できる計測範囲は、事前に設定した領域のみであるため、設定していない領域の計測には対応できないという問題があった。

一方、移動ロボットの中には、複雑なタスクをこなすため、機体上部にマニピュレータを搭載したものが存在する。一例として、筆者らの研究グループで開発してきた小型マニピュレータ搭載型移動ロボット Quince を、図 1 に示す [3]。このような移動ロボットに搭載されたマニピュレータを用いることで、先端に搭載されたグリッパの位置と姿勢を正確に制御しながら、機体近距離にある物体の把持などを実現することができる。さらに、マニピュレータ上にグリッパなどのツールだけでなく、カメラや LiDAR といった観測機器を設置することで、これらの観測機器の計測範囲を拡大することができる [4]。そこで筆者らは、本研究において、このマニピュレータと観測機器および鏡の組み合わせに着目した。具体的には、機体に搭載された LiDAR から照射されるレーザーを、マニピュレータに設置した鏡を用いて反射させることで、任意の位置に計測範囲を拡大する手法を提案する。本手法は、マニピュレータに LiDAR を追加で設置する手法と比較し、設置コストが低く、配線や LiDAR の大きさに左右されにくい。そのため、本体に LiDAR とマニピュレータを搭載した既存のロボットに対し、容易に導入できることが期待される。

本稿では、計測したい領域に対する 2 次元での鏡の



図 1: 小型マニピュレータを搭載した移動ロボット Quince

位置および姿勢の決定方法の提案を行う。さらに、実際に鏡を使用して 3 次元 LiDAR の計測範囲を拡大する試験を行い、提案手法の有用性を検証したので、これを報告する。

2. 計測したい領域に対する鏡面位置および姿勢の決定方法

拡大を目指す計測範囲（以下、計測目標範囲と呼ぶ）に対し、それを実現する 2 次元平面内での鏡の位置および姿勢は、無数に存在する。しかし、下記の 3 つの拘束条件を付加することで、計測目標範囲に対して鏡の位置および姿勢が一意に定まる。

- 計測目標範囲の中心を計測目標点とし、計測目標点に到達するレーザーが鏡の中心にて反射すること
- 計測目標点に進入するレーザーの進入角度を事前に指定すること
- 計測目標点に到達するレーザーを含め最も多くのレーザーを反射することができる鏡のうち、最も LiDAR からの距離が短いこと

なお、前提条件として、鏡がマニピュレータの可動範囲内に入っている必要がある。また、鏡は平面の鏡面反射鏡を使用し、鏡の大きさは、マニピュレータの通常の動作に影響のない大きさとする。上記の条件より、鏡の位置を幾何学的に計算し、その鏡の位置・姿勢を実現するようにマニピュレータを制御する。

3. 検証試験

第 2 節にて述べた計測目標範囲に対する鏡の設置要件において、計測範囲が目標位置に拡大されることを確認する試験を行った。

3.1 試験方法

試験装置および試験環境を図 2 に示す。本試験では、マニピュレータの姿勢推定精度の影響を排除する

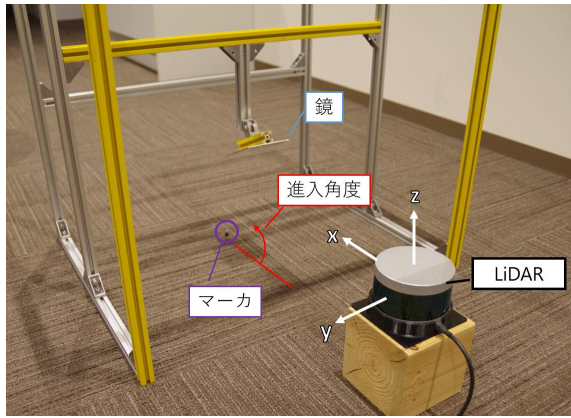


図 2: 試験環境

ため、マニピュレータではなく、第 2 節にて示した拘束条件より計算された鏡面の位置と姿勢を実現するための試験装置を使用した。LiDAR は Velodyne 社製 VLP-16 を使用し、高さ 120 mm の台の上に設置した。この高さは、図 1 に示す Quince に搭載することを想定した際の LiDAR の高さとはほぼ同一である。また、図 2 中に示した座標系にて、計測目標点を前方 $(x, y, z) = (500 \text{ mm}, 0.0 \text{ mm}, -160 \text{ mm})$ に設定した。さらに、複数の計測目標点へのレーザーの進入角度にて計測範囲を拡大できることを確認するため、進入角度を 60° と 120° の 2 通りで試験を行った。それぞれの条件における鏡面の中心座標および姿勢を表 1 に示す。なお、この鏡の位置は、Quince に搭載されたマニピュレータで実現できるものである。

LiDAR の計測範囲が正しく拡大できていることを検証するため、計測目標点には、図 2 中に示す高反射強度の再帰反射マーカを設置した。本試験では、拡大した計測範囲にて、このマーカが計測できることを確認する。

3.2 試験結果および考察

図 3 に、計測目標点へのレーザーの進入角度が 60° のときの、LiDAR から取得した点群の可視化結果を示す。これより、通常のレーザーでは計測ができない白い円内の領域に対して、計測範囲を拡大することができていることがわかる。さらに、拡大した計測範囲内において、マーカを認識できていることから、計測範囲が正しく拡大されているといえる。

進入角度が 120° についても、同様の結果を得ることができたことから、計測目標範囲に対して、提案手法により決定した位置に鏡面を置くことで、計測範囲が正しく拡大されることを確認できた。以上より、マ

表 1: 計測目標点 $(x, y, z) = (500 \text{ mm}, 0.0 \text{ mm}, -160 \text{ mm})$ に対するレーザーの進入角度別の鏡面中心座標と姿勢

計測目標点への レーザーの進入角度	中心座標 \mathbf{x} [mm]			姿勢 $[\circ]$
	x	y	z	θ
60°	366	0.0	71	65.5
120°	587	0.0	10	29.5

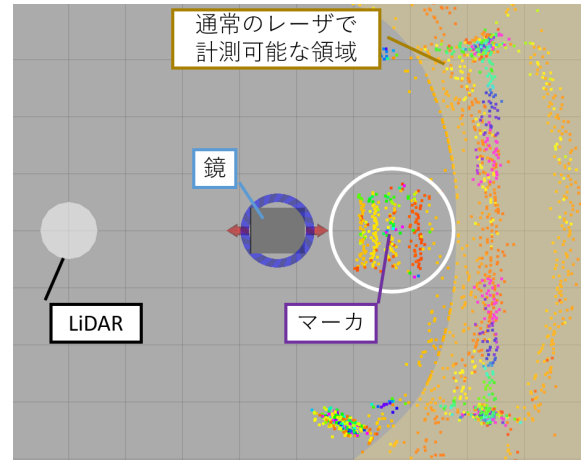


図 3: 取得点群の可視化結果 (進入角度 60° の場合)

ニピュレータの手先の位置および姿勢を正確に制御することができれば、全方位 3 次元 LiDAR のレーザーを、マニピュレータに設置した鏡によって反射させることにより、任意の位置に計測範囲を拡大できることがわかった。

4. 結言

本研究では、マニピュレータに鏡を設置することによる全方位 3 次元 LiDAR の計測範囲拡大について、2 次元における計測目標範囲に対する鏡面位置および姿勢の決定方法の提案を行った。また、提案手法により決定した鏡面位置を使用して正しく計測範囲が拡大していることの確認試験を行った。試験結果より、設定した計測目標範囲に対して、鏡を提案手法により決定した位置に設置することで、目標位置に計測範囲が拡大できることを確認した。

今後は、提案手法の 3 次元拡張や、実際にマニピュレータに鏡を設置した状態での評価試験を行う予定である。

5. 謝辞

本研究の一部は三菱重工株式会社との共同研究によって実施された。

参考文献

- [1] 大西 献, 宿谷 光司. 防爆移動ロボットのプラント自動巡回点検への応用. 第 36 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 3F3-03, 2018.
- [2] 松原和輝, 永谷 圭司. 移動ロボットに搭載された LiDAR の鏡を使用した計測領域の拡大. ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2019, pp. 2P1-A01, 2019.
- [3] 桐林星河, 岡田佳都, 永谷 圭司, 吉田和哉, 小柳栄次. 不整地移動マニピュレータの直感的遠隔操作が可能なベース姿勢同期機能を有するマスタスレーブシステム. 第 25 回日本ロボット学会学術講演会, pp. 3-6, 2010.
- [4] P Moubarak, Pinhas Ben-Tzvi, Zhou Ma, Kirk M SUTHERLAND, and Melanie DUMAS. A Mobile Robotic Platform for Autonomous Navigation and Dexterous Manipulation in Unstructured environments. In *Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition (IMECE 2010)*, 2010.