

複数の LiDAR を用いた混雑環境下での作業員追跡に関する研究 Tracking Workers in Crowded Environments Using Multiple LiDAR

○足羽 智貴*¹, 山田 昇吾*², 成田 遼太*³, 足立 愛実*⁴, 関口 和真*⁵, 野中 謙一郎*⁶
Tomoki Ashiwa*¹, Shogo Yamada*², Ryota Narita*³, Manami Adachi*⁴, Kazuma Sekiguchi*⁵ and
Kenichiro NONAKA*⁶

*^{1,3,4} 東京都市大学機械システム工学科

Department of Architecture, Tokyo City University.

*² 株式会社大林組 技術研究所 都市環境技術研究部 環境情報博

Urban Environment Technology Research Department, Technical Research Institute, Obayashi Corporation,
Doctor of Environmental and Information Studies.

*⁵ 東京都市大学機械システム工学科 准教授 工博

Associate Professor, Department of Architecture, Tokyo City University, Doctor of Engineering.

*⁶ 東京都市大学機械システム工学科 教授 工博

Professor, Department of Architecture, Tokyo City University, Doctor of Engineering

キーワード : 工事現場; 物体追跡; 複数 LiDAR; Joint Probabilistic Data Association Filter; NDT-matching

Keywords: Construction Site; Object Tracking; Multiple LiDAR; Joint Probabilistic Data Association Filter; NDT-matching.

1. はじめに

工事現場で、建設機械の自動制御が進められており、作業員の危険検知システムの開発が必要不可欠である。工事現場では、機材や壁、タワークレーンといった遮蔽物によって、遮蔽物の裏に追跡対象が隠れるようなオクルージョンを考慮した追跡が必要となる。そこで本研究では、広域で遮蔽の影響を抑制するために、複数の LiDAR を使用し、正確な対応付けを有する作業員追跡を実現した。図1には LiDAR で計測した工事現場の点群と、複数 LiDAR から異なる計測値を得られる様子を示す。

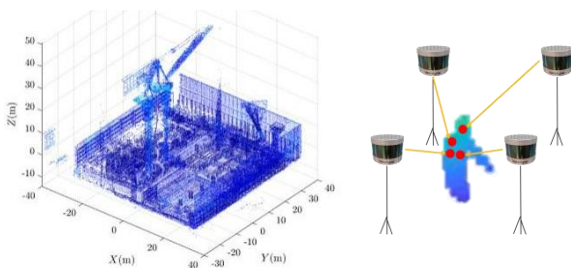


図1 点群データおよび複数観測値が存在する様子

る NDT-SLAM を用いる。一方、固定設置 LiDAR では複数周期の点群を合成して環境地図を生成し、現場の全体地図と環境地図を NDT-matching によるマップマッチング²⁾を行う。NDT-matching では NDT アルゴリズムを用いて、次時刻での点群が地図の正規分布と重なる位置を評価関数に基づく最大化問題として定義することで、初期位置を基準とした自己位置推定の把握を実現する。図2および図3に、ある工事現場における赤で示した全体地図と青で示した環境地図のマッチング前後の様子を示す。この結果から NDT-matching による剛体変換が行えたことがわかる。

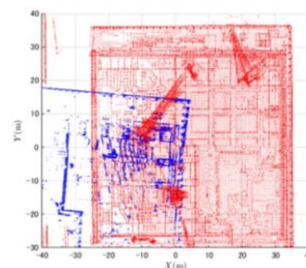


図2 マッチング前

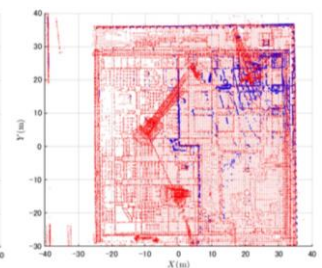


図3 マッチング後

2. システムの構成

2.1. LiDAR の位置推定¹⁾

施工状態が漸次的に変化する工事現場では、正確な3次元点群地図を得るのが難しい。そこで周辺の全体地図と LiDAR 自身の自己位置を同時に推定する SLAM により、現場の全体地図を生成する。全体地図生成には点群をボクセルに分割し、各ボクセル内の点群をガウス分布に近似す

2.2. 作業員の抽出

逐次取得される点群データから作業員を抽出するには、地面や壁、機材などの作業員以外の点群を除去する。そこで、実時間で観測される逐次点群から、作業員がいない環境地図を除くことで抽出する。具体的には、環境地図と逐次点群をボクセルに分割し、ボクセル内に存在する点群の個数を把握する。その後、逐次点群のボクセル内点群から

環境地図のボクセル内の点群を減算し、閾値以上の点群数が存在する場合、そのボクセル内点群は作業員の点群とみなして抜き出す。図4に、環境地図から作業員を抜き出した様子を示す。

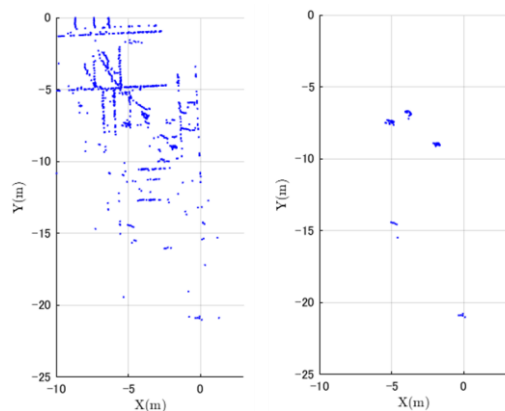


図4 環境地図（左図）と抽出した作業員（右図）

2.3. クラスタリング³⁾および円近似による重心位置算出

LiDARで作業員を抽出したのち、クラスタリングによって作業員を分類する。使用する手法は **k-means** 法であり、クラスタ数に応じて設定する重心に対して、データと重心までの距離に対する最小化問題として表される。またLiDARで取得される点群は作業員の表面のみであるため、クラスタを構成する点群に対し、円フィッティングを行う。図5に、作業員の点群に対して円フィッティングを行った際の様子を示す。

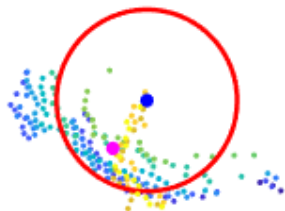


図5 点群重心（紫）と円の中心位置（青）

2.4. 複数観測値を統合した推定⁴⁾

2.3章で記述した重心位置に対して、図1に示したように複数のLiDARを使用する場合、**matching**の誤差や観測ノイズにより重心位置がずれてしまう。したがって、ずれてしまった観測値を事前推定値に基づく重み計算および重なりを考慮することでターゲットを区別した追跡が可能となる。図5に、現場全体をみたときのある時刻での検知と追跡の結果を示す。赤が重心位置、緑が追跡対象を示す。この結果から重心位置に対して作業員を追跡できていることがわかる。なお、重心位置が存在し、追跡対象として認識されていない箇所は、作業員以外を示しており、センサのノイズ、作業員以外の点群による影響であると考えられる。また、図6に追跡対象に対する追跡率を示す。

ここでは、追跡対象が点群として観測された時間（紫）と追跡対象として認識された時間（青）で評価を行った。全体の追跡率においても96%となった。この様に高精度な追跡が実現した。

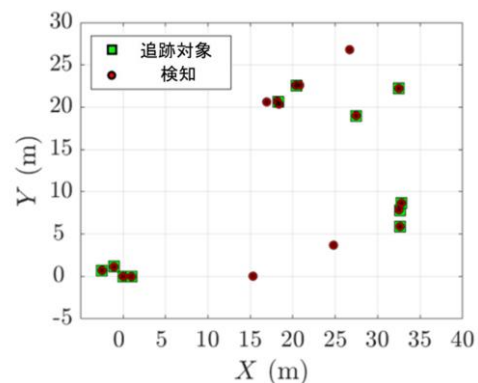


図6 工事現場での検知と追跡の様子

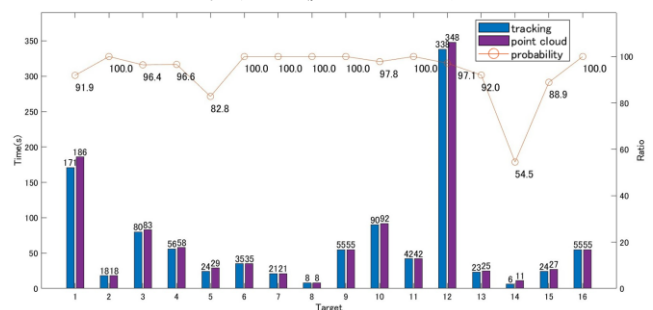


図7 ターゲットに対する追跡率

3. 結論

広域かつ遮蔽の多い工事現場における複数のLiDARを使用した、正確な分類および対応付けを有する作業員追跡を実現した。

【参考文献】

- 1) Martin Magnusson, Achim Lilienthal, and Tom Duckett, "Scan registration for autonomous mining vehicles using 3d-ndt", Journal of Field Robotics, 24:803-827, 10 2007
- 2) Ryota Narita, et al., "Improved robustness on angular displacement in NDT-SLAM utilizing MCMC", SICE2023
- 3) Manami Adachi, et al., "Tracking of multiple pedestrians in close proximity based on JPDAF and k-means method for point cloud data", SICE2023
- 4) Y. Bar-Shalom, F. Daum and J. Huang, "The probabilistic data association filter," in IEEE Control Systems Magazine, vol. 29, no. 6, pp. 82-100, Dec. 2009, doi: 10.1109/MCS.2009.934469.
- 5) D. J. Salmond, "Mixture Reduction Algorithms for Point and Extended Object Tracking in Clutter," in IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 45, no. 2, pp. 667-686, April 2009, doi: 10.1109/TAES.2009.5089549.
- 6) D. Reid, "An algorithm for tracking multiple targets," in IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 24, no. 6, pp. 843-854, December 1979, doi: 10.1109/TAC.1979.1102177.