

建機搭載 LiDAR による複数作業者の追跡とその応用

Tracking Multiple Workers by LiDAR on Construction Machinery and its Application

山本拳士朗¹ 石塚健太¹ 大平和輝¹ 三代雅博² 中川雅史¹
 Kenshiro Yamamoto¹ Kenta Ishizuka¹ Kazuki Ohira¹ Masahiro Mishiro² Masafumi Nakagawa¹

芝浦工業大学¹ 渡辺エンジニアリング²
 Shibaura Institute technology¹ Watanabe Engineering²

1. 背景・目的

現在の建設業界では、効率化と安全性向上を目的に ICT 建機の導入が進められている。既往研究には、GNSS 測位や LiDAR を用いた作業者の位置把握による安全性の可視化があるが、近接協調作業における 3D 相対位置情報が不足している課題がある。そこで本研究では、水平走査 LiDAR と鉛直走査 LiDAR を組み合わせた物体認識や追跡結果を基にした危険度評価方法を提案し、さらに斜め LiDAR を用いた追加効果を検証する。

2. 手法

本研究における提案手法を図 1 に示す。提案手法は各 LiDAR で取得した点群の統合、バケットおよび作業者の認識処理、作業者の追跡処理、危険度推定処理によって構成される。

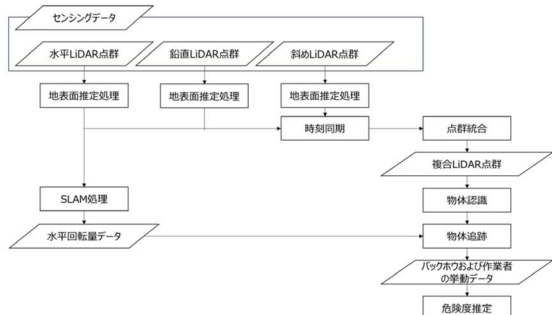


図 1. 提案手法

2.1 点群統合

点群取得時に記録した GPS 時刻によって、各 LiDAR の時刻同期を行い、LiDAR の傾きとオフセット値の実測値を利用し、複数の LiDAR で取得した点群を得る。

2.2 物体認識

建機のバケットと作業者を対象とした物体認識を適用する。まず、バケットの点群抽出では、建機前方の地物としてラベル付けされた点群のうち、近距離にある点群をアームとバケットに再分割し、バケットの形状データを用いてバケットを認識する。次に、作業者の点群抽出では、異なるクラス間の最小ユークリッド距離とクラス内の最小点群数を閾値として設定しクラスタリングを行う。その後、各クラスの高さと高さに基づく閾値を設け、作業者の大きさと一致するクラスを作業者として認識する。

2.3 追跡処理

作業者の識別と追跡では、まず作業者と推定される点群クラスターの重心を求める。次のシーンで重心が近い位置にあるクラスターを同一人物として認識し、追跡する。ただし、バックホウの水平旋回が追跡処理を難しくする可能性があるため、SLAM 処理を利用した水平回転補正を行い、補正された時系列点群を用いて追跡を行う。

2.4 危険度評価

物体認識・追跡により、作業者の移動速度・方向、建機との相対位置、バケットの挙動が分かるので、次の式を用いて危険度評価を行う。

$$Risk = aP + bV + c\theta + dB \quad (\text{式 1})$$

P : バケットに対する作業者の相対距離

V : 作業者の移動速度

θ : バケットに対する作業者の向き

B : バケットの挙動に関する変数

a, b, c, d は重み係数



図 2. 危険度推定評価公式

3. 実験

バックホウと作業者による掘削や埋め戻し、旋回などの作業を再現した模擬施工空間 (図 3 左) において、LiDAR (図 3 右) で約 60000 シーン (約 100 分) の時系列点群 (53 億点) を取得した。バックホウの操縦席前方に水平 LiDAR (VLP-32C、Velodyne)、鉛直 LiDAR (VLP-16、Velodyne)、斜め LiDAR (Horizon、Livox) を搭載した。



図 3. 模擬施工空間 (左図) ・建機搭載 LiDAR (右図)

4. 結果・考察

3つの LiDAR スキャナによる点群統合処理の結果、水平 LiDAR のみで取得した点群に比べてカバレッジが向上することが確認できた。しかし、バックホウの振動により、時系列データの一部で位置合わせがずれる場面が見られた。物体認識については、バックホウと作業者を正確に認識できた (図 4 左)。しかし、作業者が他の物体と非常に近い場合、誤って別の物体としてクラスタリングされ、誤認識が発生することを確認した。作業者の追跡に関しては、水平回転があっても正確な軌跡を出力できた。危険度評価では、建機と作業者の協調作業における危険度を推定できた (図 4 右)。しかし、作業者が同じ動作を続ける前提で予測しているため、急な停止などの動きはリアルタイムに推定できないことが明らかとなった。

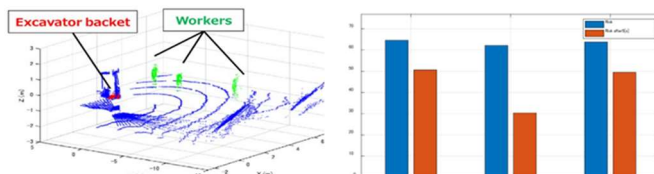


図 4. 物体認識結果 (左図) ・危険度推定結果 (右図)