

LiDAR 搭載ドローンによる表面メッシュ生成手法の開発

吉田 英晴* 中山 恵介** 富田 洋文** 平間 毅*

1. はじめに

昨今、工場・インフラ設備の点検や物資配送のためのドローン自律飛行運転の研究が進められている。ドローンによる点検のための自律飛行システムでは、飛行中に対象物の3次元形状を解析し、その解析結果をもとに飛行ルート判定を行う場合が多い。しかし、対象物の解析に必要な点群データは数万点規模の位置データを扱う必要があり、解析の計算負荷が高いことから、その処理時間が課題になる。

2. 目的

本研究では、点群データから表面メッシュを生成する手法の高速化を目的とし、新たな表面メッシュ生成方法を開発した。さらに、表面メッシュ生成の前処理に使用可能なダウンサンプリング、ノイズ除去手法を開発した。

3. 研究内容

3.1 LiDAR データのダウンサンプリング

本研究では、非反復走査 FOV のレーザ照射パターンを持つ Light Detection and Ranging (LiDAR、Livox 社製 Mid-70¹⁾) を使用した。この照射パターン (図1) は、中心に近づくほど高密度になる特徴がある。そこで、点群密度が均質になる次の手法でダウンサンプリングを行った。まず、ダウンサンプリング対象の散布図に任意の幅を持つグリッドを作成する。その後、そのグリッドの交点の最近傍の点を選択し、この点をサンプリングする。この手法の模式図を図2に、レーザ照射角度図に対して実施した例を図3に示す。

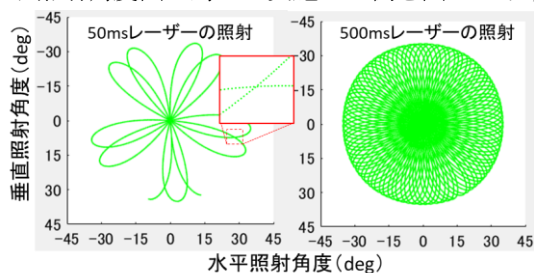


図1 Mid-70におけるレーザ照射パターン

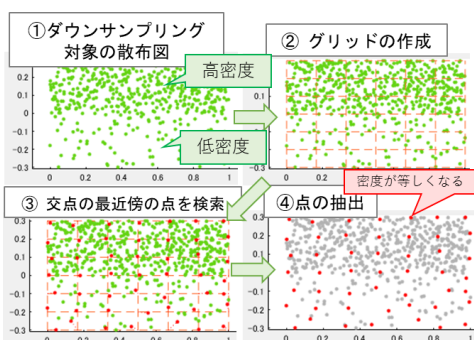


図2 ダウンサンプリング手法の模式図

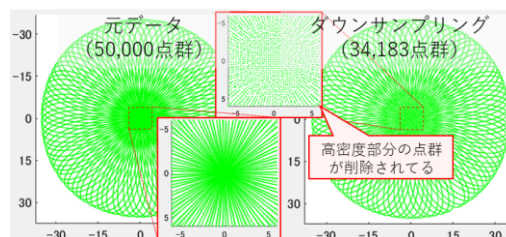


図3 レーザ照射角度点群に対するダウンサンプリング

3.2 ノイズ除去

3次元モデルの生成を行う予備実験の結果、撮影対象物のエッジ近辺で、特にノイズが発生する傾向にあった。このノイズを次の方法で除去した。LiDAR座標系の原点を基準とした場合の点 A_i の位置ベクトルを $\vec{A_i}$ 、点 A_{i+1} の位置ベクトルを $\vec{A_{i+1}}$ とする (i はレーザ照射の順番を示す)。また、 $\vec{A_i}$ を $\vec{A_{i+1}}$ へ射影したベクトルを $\vec{A'_i}$ とする。この時、 $\vec{A_{i+1}} - \vec{A'_i}$ のコサイン類似度が 0.7 未満の場合、ノイズと判定することとした。ノイズ判定対象の角度を図4に示す。さらに、その後、Radius based outlier filter 法²⁾を用いて、ノイズ除去を行った。図5にノイズ除去の結果を示す。この例では、ノイズ点群の 78%、正六面体点群の 50%、背面点群の 23% が削除され、本手法でノイズ点群を削除することができた。

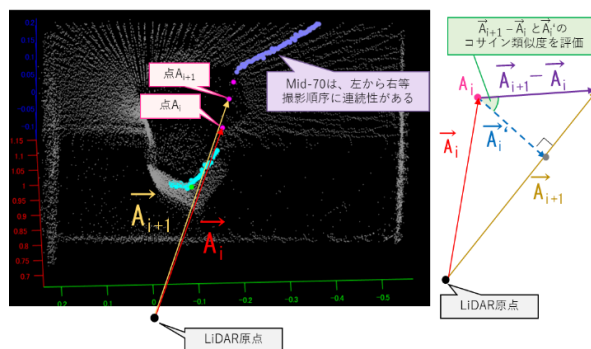


図4 ノイズ除去手法の説明

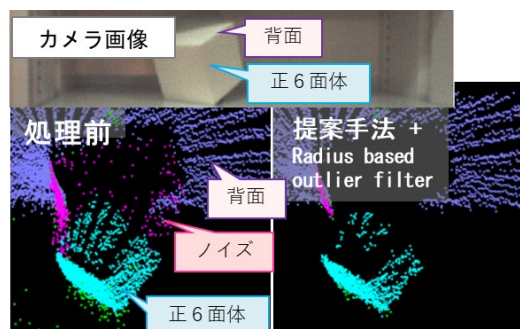


図5 提案手法 + Radius based outlier filter 法によるノイズ除去の例

3.3 表面メッシュの生成

LiDARで撮影したデータに対して、ダウンサンプリングとノイズ除去等の前処理を行った後、次の方法で、表面メッシュを生成した。まず、レーザ照射角度点群に対して、ドロネー三角分割法を用い、三角形分割を行った。次に、3次元点群データに対して、三角形分割の結果を表面メッシュとして適用させた。さらに、生成した表面メッシュに対して、所定の長さ以上の辺を持つ表面メッシュを削除することで、物体を分離した。一連の処理の流れを図6に示す。

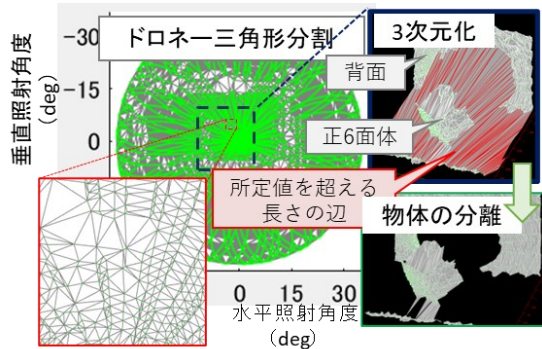


図6 レーザ照射角度点群に対するドロネー三角分割と3次元化と物体の分離

3.4 3次元モデルの生成と処理時間の計測

穴の開いた板の3次元モデルを生成した例を、図7に示す。このモデルを対象として、表面メッシュの描画とその処理時間を評価した。また、Open3D³⁾に搭載されており、使用方法が容易であるBall Pivoting法⁴⁾を用いた表面メッシュ生成との処理時間の比較評価を行った。

本処理を7回実行したところ、提案手法、比較手法の処理時間は、それぞれ0.0060±0.00040秒、84±9.2秒であり、10,000倍以上高速に実行された。

また、比較手法において、板状の穴が検出されない問題や、板の上に穴が生じる問題などが生じた。一方、提案手法でのメッシュ生成においては、そのような問題は発生しなかった。

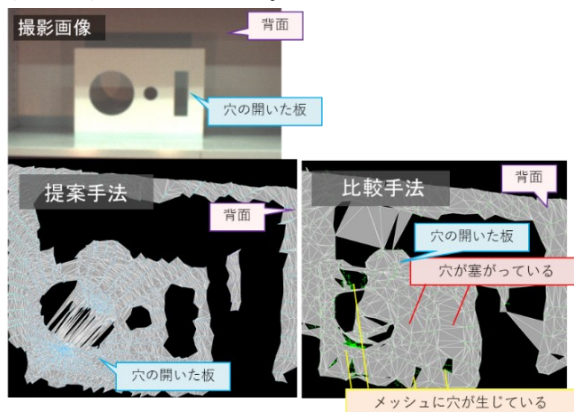


図7 穴の開いた板の3次元モデル生成例

3.5 考察

表面メッシュの生成速度は、提案手法が比較手法よ

り、10,000倍以上高速化した。これは、比較手法は3次元点群の情報を使用しているのに対して、提案手法は、レーザ照射角度の2次元点群を使用しており、計算負荷が低くなったためと考える。

比較手法でのみ、板状穴の不検出や、穴がメッシュで塞がる問題が発生した。この違いは、メッシュを生成するために用いる点群の種類が、提案手法と比較手法とで異なることに起因する。図8に示す例では、穴の端間の距離は近い場合においても、提案手法では穴の間にある背面点群を認識することができるため、穴などの特徴を検知することができたと考える。

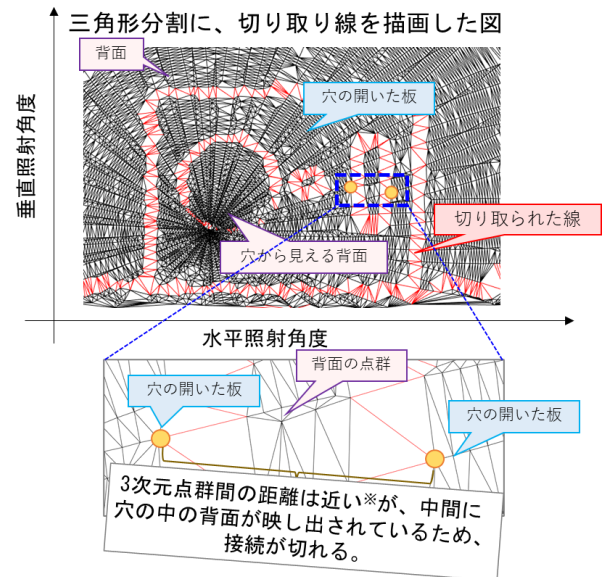


図8 3次元モデル生成例の三角形分割結果

4. まとめ

ドローン自律飛行制御に対象物3次元形状解析処理を組み込むべく、ダウンサンプリング手法、ノイズ除去手法、表面メッシュ生成手法を開発した。

その結果、提案手法と比較手法の表面メッシュの処理時間を比較したところ、10,000倍以上高速化した。さらに、比較手法では検出できないような穴についても、提案手法では検出することができた。

なお、本研究は令和4年度から令和8年度まで文部科学省特別電源所在県科学技術振興事業「次世代メンテナンスビジネスに向けたドローンの高機能化に関する試験研究事業」の一環として実施しているものである。

5. 参考文献等

- 1) <https://www.livoxtech.com/jp/mid-70>
- 2) Rusu, R. B., Z. C. Marton, N. Blodow, M. Dolha, and M. Beetz. "Towards 3D Point Cloud Based Object Maps for Household Environments".
- 3) <https://www.open3d.org/>
- 4) F. Bernardini, J. Mittleman, H. Rushmeier, C. Silva, G. Taubin. "The ball-pivoting algorithm for surface reconstruction".