

[研究ノート]

# 平面の交線を用いた 3次元点群の重ね合わせ手法に関する検討

北川悦司

**抄録：**近年の技術進歩により容易に取得できるようになってきた3次元点群データは、多岐にわたる利用用途がある点で注目されている。特に、異なる時系列のデータを比較することは、地図更新や構造物の維持管理、災害時の状況把握などに活用できる点で非常にニーズが高い。しかし、時系列変化を把握するために必須となる3次元点群データの重ね合わせ手法は、計測箇所や点群密度の問題などからまだまだ発展途上の技術となっている。そこで、本研究では、現在主流である点と点のパターンマッチングであるICPではなく、平面の交線を用いた手法について検討を行った。本手法は、点群密度の影響などを受けにくいことから、新しい重ね合わせ手法になる可能性と、既存の手法との併用で今までより高精度の重ね合わせが実現できる可能性がある。

## 1. はじめに

近年の技術進歩と3次元データのニーズの高まりによって、今日では、図1のように、衛星(カメラ、合成開口レーダ(SAR))や航空機(レーザプロファイラ(LP)、カメラ)、UAV(カメラ、レーザ)、車(モバイルマッピングシステム)、地上(カメラ、距離画像センサ、レーザ)といった様々なプラットフォーム上で様々なセンサ機器を利用して3次元データを容易に取得できる。この3次元点群データは、多岐にわたる利用用途がある点で非常に注目されている。特に、異なる時系列のデータを比較することは、地図更新や構造物の維持管理、災害時の状況把

握などに活用できる点で非常にニーズが高い。しかし、時系列変化を把握するために必須となる3次元点群データの重ね合わせ(位置合わせや、レジストレーションとも呼ぶ)手法の現状は、オープンソースのライブラリであるPCL(Point Cloud Library) [1]にも実装されているICP(Iterative Closest Point)を利用した事例や研究[2]-[4]が多い。ただし、これらの手法は、点と点を誤差なく一致させるパターンマッチング手法の延長である。そのため、対象物の形状に変化がなかったとしても、図2のように各点群データの同じ位置に点が存在するとは限らない「計測箇所の問題」や、航空機から取得したデータと地上から取得したデータの密度が異なる「点群密度の問題」などが原因で、同じ撮影方法で点群の密度が非常に多いデータなど

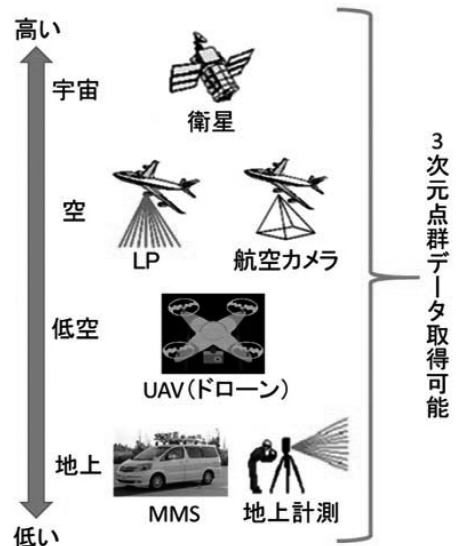


図1 様々なプラットフォームからの3次元計測

しか上手く重ね合わせることができないのが現状である。そこで、本研究では、既存の課題を解決する重ね合わせ手法を構築するために、3次元点群データから平面を抽出し、平面と平面の交線をパターンマッチングで重ね合わせをする手法について検討した。この手法は、点と点をマッチングしないため、「計測箇所の問題」や「点群密度の問題」の影響は受けない。ただし、平面を抽出できる程度の点群密度は必要である点と、対象物が自由曲線のみで構成されているなど平面が全く存在しない場合は利用できない点に注意が必要である。しかし、現状ニーズが高い地図更新や構造物の維持管理、災害の状況把握などに関しては、地表面（グラウンドデータ）や側壁などに多くの平面が存在するために問題なく適用できると考える。

## 2. 処理フロー

具体的な処理フローを図3に示す。入力データとしては、複数の3次元点群データである。ただし、この点群データは、重ね合わせることが目的のため、一定以上オーバーラップして（重なって）いる必要がある。出力データとしては、基準となる点群データ（本研究では1つ目の点群データ）に重ね合わせるための座標変換パラメータ（平行移動行列と回転変換行列）[5]となる。処理としては、まず、外れ値除去など

の前処理を行う。次に、基準となる平面を決定するために基準平面抽出処理を行う。そして、基準平面上の複数の交線を抽出する交線画像作成処理を行う。最後に、交線画像同士をマッチングし、座標変換パラメータを求める交線画像マッチング処理を行う。ただし、本論文では、最後の交線画像マッチング処理が現状未実装であり、目視での確認となっている。

## 3. 前処理

点群データには、計測誤差であるゴミデータが含まれていることがよくある。そのため、本処理では、まず、ゴミデータを除去するための一般的な手法である外れ値除去（オープンソースのPCLに用意されている `pcl::StatisticalOutlierRemoval` クラスを利用）を行う。次に、全ての3次元点群データに対してダウンサンプリング（PCLの `pcl::VoxelGrid` クラスを利用）を行う。ダウンサンプリングを行う理由として、下記の2つが挙げられる。1つ目は、処理の高速化のために点群密度を下げることである。2つ目は、後の処理で行う平面抽出を高精度に行うためである。一般的に平面抽出は、RANSAC法などで平面上に多くの点群が存在する平面を探索することで実現する。そのため、点群密度が多い部分（レーザなどの場合は撮影位置に近い部分）が優先的に抽出され

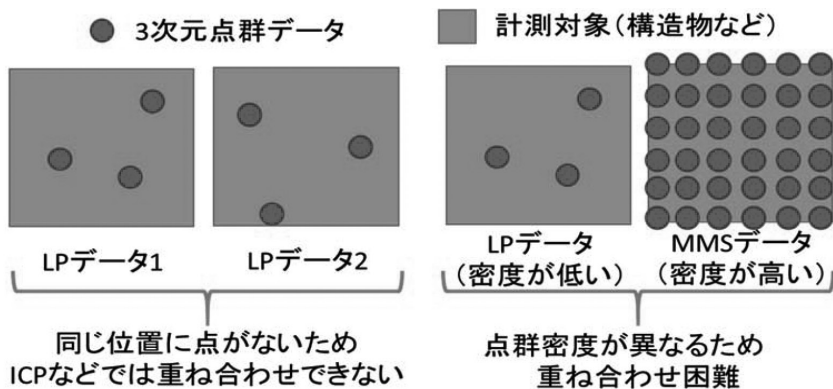


図2 計測箇所の問題と点群密度の問題

てしまい、高精度に平面を取得できない場合がある。そこで、本研究では、ダウンサンプリング処理をして点群データ全体の点群密度を一定にする。本研究は、重ね合わせや結合するための座標変換パラメータを求めることが目的のため、ダウンサンプリングで点群を除去しても様々なニーズに対応する際の問題にはならない。その理由は、本研究で算出した座標変換パラメータをダウンサンプリングする前の元の点群データに適用すれば解決するからである。

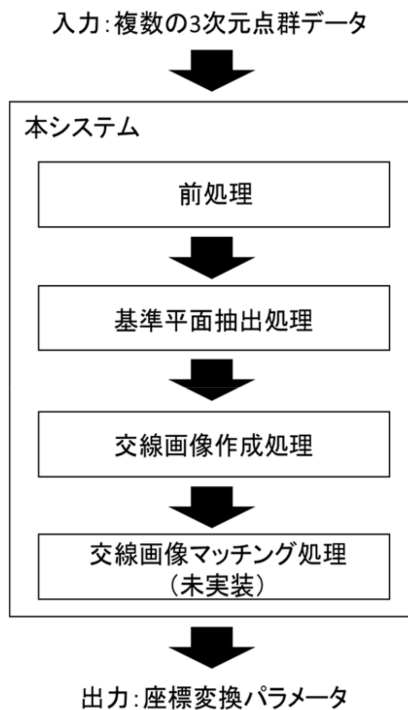


図3 処理フロー

#### 4. 基準平面抽出処理

本処理では、各点群に対して基準となる平面を抽出 (PCLの `pcl::SACSegmentation` クラスを利用) する。本研究では、平面上に点群が一番多く存在する (つまり面積が大きい) 平面を基準平面とした。理由としては、面積が大きい平面が複数の点群内に一番存在している可能性が高いからである。しかし、撮影角度やオーバー

ラップ率の影響で面積が大きい平面が重ね合わせる点群間で共通でない場合の可能性も0ではない。この共通でない状況への対応は今後の課題とする。

### 5. 交線画像作成処理

本処理では、基準面上に他の平面との交線を描画した交線画像を作成する。具体的な処理は、下記ようになる。

#### 5.1 基準面をXY平面に座標変換

点群データは3次元であり、画像は2次元であるため、基準面を3次元空間上のXY平面となるように座標系を変換する。変換手順は次のようになる。

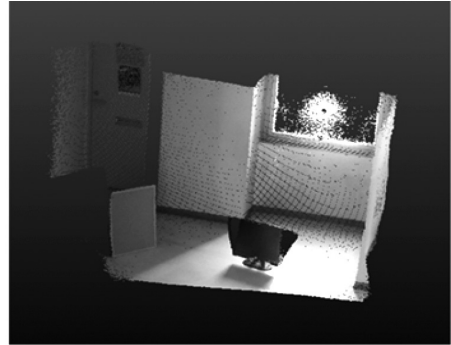
- 抽出した基準平面の重心座標を原点に移動させる。
- 基準平面の法線ベクトル  $(a, b, c)$  とZ軸  $(0, 0, 1)$  の外積を計算し、回転軸を算出する。
- 上記の回転軸とX軸  $(1, 0, 0)$  の内積からなす角を算出する。(正負の符号は、回転軸のベクトルのYを利用して判定)
- 回転軸を中心に上記のなす角で全点回転させて、回転軸をX軸に重ねる。
- $(a, b, c)$  もなす角で回転させる。→  $(a', b', c')$
- $(a', b', c')$  とZ軸  $(0, 0, 1)$  の内積でなす角を求める。(正負の符号は、回転軸のベクトルの  $b'$  を利用して判定)
- 全点を上記のなす角でX軸周りに回転させる。

#### 5.2 基準平面との交線を算出

5.1節の座標変換を行った点群に対して、面積が大きい平面を順番に抽出 (PCLの `pcl::SACSegmentation` クラスを利用) し、その平面と基準平面の交線を算出する。



点群1の撮影位置

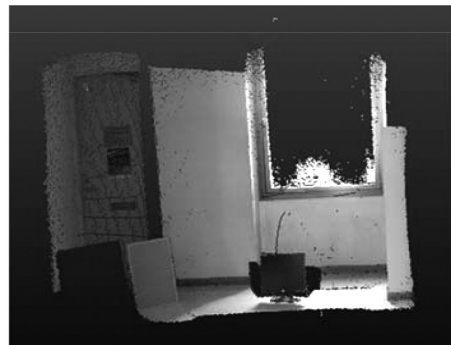


点群1



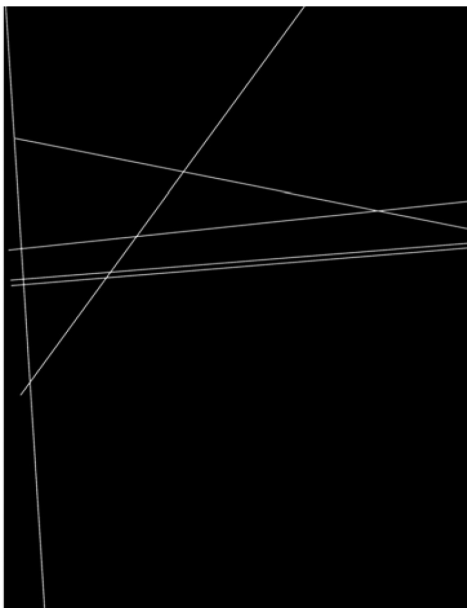
点群2の撮影位置

図4 撮影位置からの画像

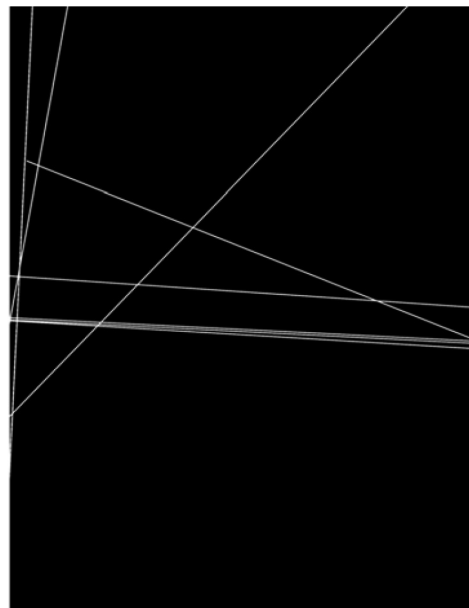


点群2

図5 3次元点群データ



点群1の交線画像



点群2の交線画像

図6 交線画像

### 5.3 交線画像作成

5.1で基準平面をXY平面になるように回転変換しているため、5.2で算出した交線の直線方程式のZ成分はほぼ0になっており、その値を捨てることにより2次元で線が描画できるようになる。その描画した画像を交線画像とする。

## 6. 交線画像マッチング処理

本研究の目的は、重ね合わせるための座標変換パラメータを求めることである。5.1節で基準平面をXY平面に変換している点で3次元の内の1次元分の変換パラメータは算出できている。そして、複数の交線画像をパターンマッチングなどの画像処理技術[6]を用いてマッチングさせることで残りの2次元分の変換パラメータを算出することができる。これらの変換パラメータを結合することで、出力したい座標変換パラメータを作成することができる。

## 7. 実証実験

本実証実験では、Microsoft社製のKinect V2センサを用いて3次元点群データを取得した。Kinectと同じ位置から撮影した画像を図4に示す。また、取得した点群データを図5に示す。さらに、作成した交線画像を図6に示す。図6からわかるように、2つの交線画像間で一致する交線が非常に多く、画像処理技術で十分にマッチングできる精度であることを目視で確認できる。

さらに、図4の写真上の黒のモニタのように、実際は基準平面の床と接していない平面の場合もその延長線上で交線を算出できている点の特徴である。このことが、「計測箇所の問題」や「点群密度の問題」の影響を受けない理由である。

## 8. おわりに

本研究において、各点群データの同じ位置に

点が存在するとは限らない「計測箇所の問題」や、航空機から取得したデータと地上から取得したデータの密度が異なる「点群密度の問題」に依存しない重ね合わせ手法を検討した。その結果、異なる点群においても交線画像上に同様の形状を取得でき、新しい重ね合わせ手法になる可能性と、既存の手法との併用で今までより高精度の重ね合わせが実現できる可能性を示すことができたと考える。

今後は、点群数と面積だけで基準平面を決定するのではなく、形状特性も踏まえながらの決定方法を実現していきたい。また、交線画像マッチング処理の自動化と、様々な機器や環境での実証実験なども今後の課題である。

### [付 記]

本稿は、2016年度阪南大学産業経済研究所助成研究「3次元点群データの重ね合わせ手法に関する研究」の成果報告の一部である。

### 参考文献

- [1] Point Cloud Library 1.8.1-dev API Documentation (URL : <http://docs.pointclouds.org/trunk/>)
- [2] Besl, P.J., McKay, N.D.: A Method for Registration of 3-D Shapes, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, No.14 -2, pp. 239-256, 1992.
- [3] Natassha, G., Leslie I, Szymon R: Geometrically Stable Sampling for the ICP Algorithm, Proceedings of the Fourth International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM' 03), pp. 260-267, 2003.
- [4] 徐放, 趙希祿, 萩原一郎: 多記述子点群モデルによる高速自動位置合わせに関する研究, 日本機械学会論文集(C編)日本機械学会, Vol. 78, No. 787, pp. 53-68, 2012.
- [5] 解析写真測量委員会編: 解析写真測量(改訂版), 日本写真測量学会, 1997.
- [6] 奥富正敏, 他: デジタル画像処理[改訂新版], CG-ARTS協会, 2015.

(2017年11月24日掲載決定)