

# 大規模環境の統合点群モデルの自動生成(第二報) -点群平面投影画像群のマッチングに基づくレジストレーション-

北海道大学 ○松山 雄介, 伊達 宏昭, 金井 理

## 要旨

本研究では, 同一建設物や環境の複数計測点群データを用いた, 大規模環境の統合点群モデルの自動生成を目的とする. 本報では, 床や地面などの基準平面を用いたレーザ計測点群のスライスと投影による平面投影画像生成と, その画像間のマッチングに基づく, レーザ計測点群間の効率的なレジストレーション手法を提案する.

## 1. はじめに

中・長距離 3次元レーザ計測技術の進展に伴い, 建設物や市街地などの大規模環境の3次元計測点群の入手が容易になってきている. 現在, TLSやMLS, ALS, ハンディタイプスキャナなどの様々な計測方式が利用可能であり, 同一の建設物や環境を計測した, 計測範囲や密度の異なる複数の点群が取得できるようになっている. そのため, これらの複数点群を統合した点群モデルを用いて, 建設物や環境の高精度なモデリングや各種シミュレーションを実現することへの要求が高まっている.

本研究では, 同一建設物や環境の複数計測点群データから, 大規模環境の統合点群モデルを自動で生成することを目的とする. このためには, 様々な方式で計測された異なる性質(密度, 点分布)の点群を効率良くレジストレーションする手法, ならびに点群同士が合致するか否かを判断するマッチ判定手法が必要になる. 点群のレジストレーション法は数多くの手法が提案されてきているが[1], その自動化や効率性にはまだ課題が残されている. そこで本報告では, 床や地面などの基準平面と平行な平面を用いたレーザ計測点群のスライスと投影により平面投影画像を生成し, その画像間のマッチングに基づく, TLSからのレーザ計測点群間の効率的なレジストレーション手法を提案する.

## 2. 平面投影画像を用いた点群レジストレーション手法

### 2.1 概要

提案手法の概要を図1に示す. 本手法の入力は, TLSで計測された二つの点群(ソース点群 $P_S$ とターゲット点群 $P_T$ )である. 本手法では, まず各点群において点間の隣接情報を作成し, 領域成長法を用いてそれぞれの点群内の基準平面(床/地面)を抽出する(図1A1, A2). 次に基準平面からの高さに基づいて両点群 $P_S, P_T$ から平面投影画像を生成する(図1A3). そして, 生成した平面投影画像から図形のコーナー点や端点を特徴点として抽出する. 最後に, 抽出した特徴点集合に対するRANSACにより, 2つの画像の特徴点を最もよくマッチさせる座標変換行列を求め, これを点群に適用することにより点群間のレジストレーションを行う(図1A4). 以降では, 計測器の位置が座標系の原点であり, 鉛直方向がほぼ $z$ 軸に沿っていると仮定する.

### 2.2 点の隣接関係生成と点群からの基準平面抽出

本手法では, 平面投影画像生成とレジストレーション処理の効率化のために, 各点群から床面もしくは地面を表す基準平面の抽出を行う. このために, まず, 点群の座標系を球座標に変換し, 各点において偏角を用いて隣接点を得

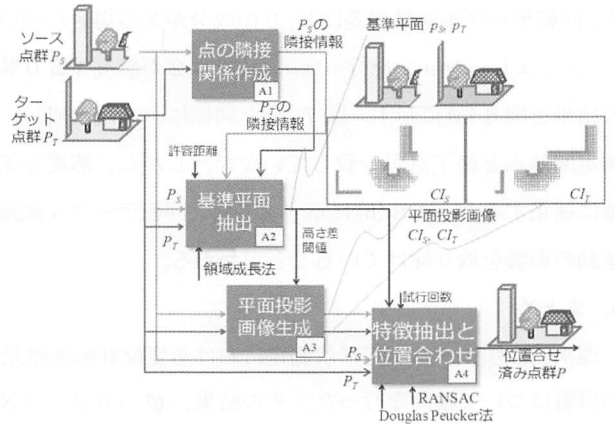


図1 提案手法の概要

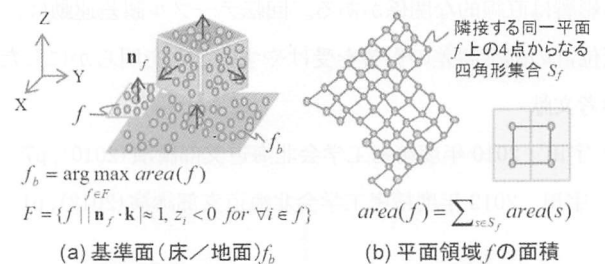


図2 基準平面の抽出

る(各点において最大4つの隣接点を得る). 次に, 隣接点との差分ベクトルの外積計算により, 各点における法線を計算する. その後, 法線の向きがほぼ等しい同一平面上に属する点集合を, 領域成長法により抽出する.

基準平面は図2(a)に示すように, 得られた平面のうち, 平面上の点の $z$ 値(高さ値)が全て負であり, 法線が $z$ 軸とほぼ平行な平面のうち, 最大の面積を持つものとして抽出する. 平面領域の面積は, 図2(b)に示すように, 隣接する点間を結ぶことにより得られる四角形の面積の総和として算出する.

### 2.3 平面投影画像生成

平面投影画像の生成手順を図3に示す. この処理ではまず, 基準平面からの高さ $h$ で等間隔に点群をブロック分け(スライス)する. 次に各ブロックにおいて, 基準面と平行な面上に点を投影し, 投影画像を生成する. 投影画像は, 画像中心が $xyz$ 座標系の原点(計測器の位置)となるようにし, 点群の点の一つ以上含まれるピクセルの値を1, そ

の他を 0 とする 2 値画像とする。画像とピクセルのサイズは、計測器の計測可能範囲と点密度を考慮して決定する(詳細は 3 節で述べる)。

#### 2.4 対応抽出と位置合わせ

屋内環境の計測点群  $P_S, P_T$  から得られる平面投影画像は、図 4(b)に示すように主に壁面を投影した線画となり、画像中の図形のコーナー点や端点が位置合せにとって有用な特徴点といえる。そこで本研究ではまず、各平面投影画像から Douglas- Peucker アルゴリズムにより、投影画像中の図形のコーナー点と端点を特徴点として抽出する。そして、RANSAC に基づく以下の 1～5 の反復処理により、 $P_S, P_T$  それぞれの同じ層から得られた画像(ソース画像  $I_S$  とターゲット画像  $I_T$ ) の特徴点が最もよく一致する、画像の座標変換行列  $T_b$  を求める。

- 1 ソース画像  $I_S$  からランダムに特徴点对を選択し、点对の点間距離  $d$  を計算する。
- 2 ターゲット画像  $I_T$  から点間距離が  $d$  に近い特徴点对集合を求め、その各点对に対し以下の 3, 4 の処理を実施する。
- 3 2 つの画像上の点对が一致するような座標変換  $T$  を求め、 $I_S$  の特徴点に適用する。
- 4 座標変換後の  $I_S$  の各特徴点と位置が一致する  $I_T$  内の特徴点の数  $N_C$  を数える。もし  $N_C$  が今までの反復中で最大の場合には、 $T_b = T$  とする。
- 5 反復が指定した回数に到達するか、十分な大きさの  $N_C$  が得られたら処理を終了する。そうでなければステップ 1 に戻る。

上記アルゴリズムの適用後、点群同士の基準平面を一致させる座標変換をソース点群に適用し、上記で得られた  $T_b$  を点群空間のスケールに変更して、ソース点群に適用する。

#### 3 レジストレーション結果と精度評価

図 4(a)に、入力二つの計測点群(それぞれ約 300 万点)、図 4(b)にそれぞれから得られた平面投影画像と抽出された特徴点を示す。また、図 4(c)にレジストレーション結果を示す。入力点群は、北大情報科学研究科棟の 1F を FARO Focus3D で計測して取得した。レジストレーションに要した時間は 4.31[s] (CPU : Core i7 3.4GHz, RAM : 8GB) であり、効率的なレジストレーションが完全自動で実現されることを確認した。なお、本実験に用いた計測器が 10m 先の地点で点間隔約 1mm の点群を取得できることから、平面投影画像は、壁面部などで値を持つ画素が連続して現れるよう画素の大きさは  $5\text{cm} \times 5\text{cm}$  とし、画像の大きさはレーザ計測機の計測範囲の主要部 ( $20\text{m} \times 20\text{m}$ ) が収まるように  $400\text{pixel} \times 400\text{pixel}$  とした。また、1 フロアを 3 層程度にスライスできるよう、点群のスライス間隔は 70cm とした。

#### 4 結論

本報告では、点群から生成した平面投影画像のコーナー点検出による特徴点抽出と、RANSAC による特徴点マッチングによる TLS 点群間の自動レジストレーション法を提案し、大学研究科棟内の TLS 計測点群が完全自動で効率よくレジストレーションできることを確認した。今後は、異なる

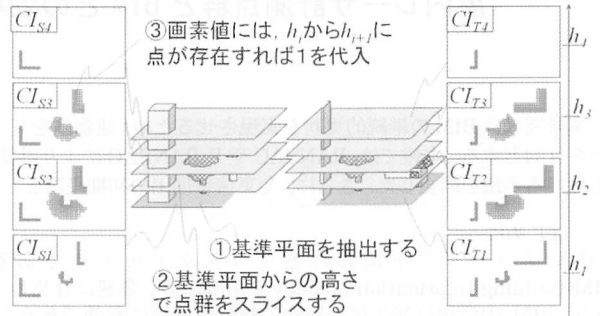
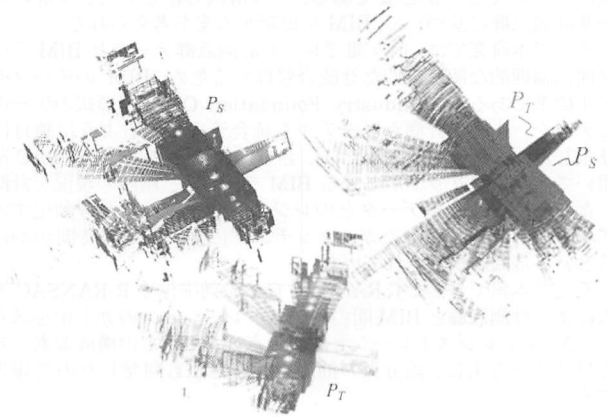
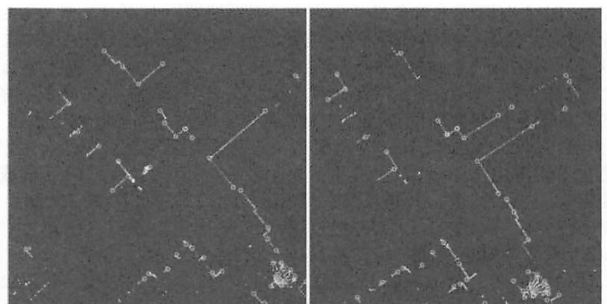


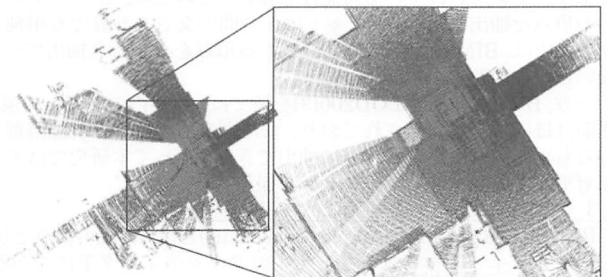
図 3 平面投影画像の生成



(a)入力点群 左: ソース点群(上)とターゲット点群(下) 右: 点群の初期配置



(b)平面投影画像とコーナー検出点 左: ソース点群 右: ターゲット点群



(c)レジストレーション結果

図 4 本手法の適用結果

る計測方式で得られた点群間の自動統合手法を開発する予定である。

#### [ 参考文献 ]

- [1] 例えば Zhizhong Kang, et al, "Automatic Registration of Terrestrial Laser Scanning Point Clouds using Panoramic Reflectance Images" Sensors 2009, 9(4), 2621-2646(2009)