

## 特徴点を用いた3次元点群データ位置合わせ法の検討

小野 竜志<sup>†</sup>小野 景子<sup>†</sup>龍谷大学理工学部電子情報学科<sup>†</sup>

## 1 はじめに

近年、実世界を忠実に再現した3次元モデルに対する需要が高まっている。構造物の3次元モデルを再現する場合、複数の視点から計測を行い、3次元点群データを統合するレジストレーションが必要である。従来レジストレーション方法としてICP(Iterative Closest Point)アルゴリズムが提案されており、KinectFusionでも使われている。しかしICPアルゴリズムは、1フレームごとの位置合わせに使うことを想定しており、離れている距離での位置合わせには限界があり、プレレジストレーションという前処理が必要であった[1]。また、すべてのデータ点を用いたレジストレーションには膨大な計算時間がかかることや、この問題は局所解が多く存在することが知られている。そこで、本研究では、プレレジストレーションが不要な3D物体の位置合わせ法を目指し、その第一歩として、位置合わせに用いる特徴点の抽出を提案する。

## 2 ICP(Iterative Closest Point)

ICPアルゴリズムは、点群として構成される形状データ間の最近傍点を探索し、それらを仮の対応点とする。そして最近傍点間距離を求め、その対応点間の距離を最小化するような剛体変換を推定する。この対応点探索、剛体変換の推定を繰り返すことで、2つの点群データを高精度に位置合わせする方法である。しかし、ICPアルゴリズムは最も近い対応点間距離を求めるので、2つのモデルの距離を離れた場合において、プレレジストレーションを行わずにICPを実行するとFig.1のようになる。

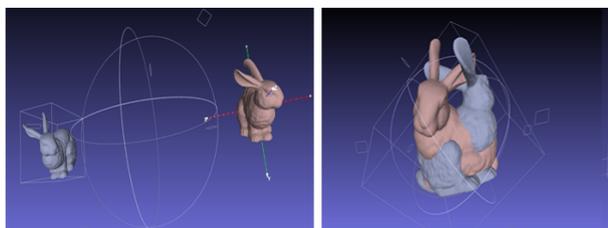


Fig. 1: プレレジストレーションの必要性

一方、離れた物体の位置合わせのナイーブな方法として、全ての点の対応を用いる方法が考えられるが

計算量が多く時間がかかってしまうことから、特徴点を用いた手法の開発が必要である。ただし特徴点は対象とする3D点群データ間で等しくなく $m:n$ であることが普通でありそれらの対応付けは非常に難しい問題である。本研究はまず初めの一步として、ある特徴点の近傍に存在する特徴点との距離を元に対応点を推定する手法を提案する。

## 3 提案法

本研究では、NARF (Normal Aligned Radial Features) 特徴点を用いる [2]。NARFは3Dにおける特徴点で、レンジ画像(奥行の画像)を用いて特徴点を調べる。NARFにおける特徴点は主に、安定した平面の点となるその点の周辺の点は物体の境界部分が近くにあるなど、大きく変化が生じている点でなければならない。

## 3.1 特徴点の抽出方法

NARFのアルゴリズムは大きく分けて以下の3つの段階になっている。

Step1: 境界部分の検出

Step2: 特徴点の検出

Step2では、次の手順で特徴点を求める。

S2-1: それぞれの注目点について、近傍から表面の変化部とその有力変化方向をスコアリングする。また、境界部分の情報も統合してスコアリングする。

S2-2: 有力な変化方向のそれぞれの点について、互いの変化方向がどれほど異なっているかを調べる。また、表面の変化がどれくらいかを計算する。

S2-3: 得られた値を平滑化する。

S2-4: 最適な特徴点を検出し表示する。

## 3.2 特徴点の対応付け

レジストレーションを行う2つの3D点群モデルに対し、それぞれ特徴点を3.1節のように求めるが、求めた特徴点の数は等しくならず $m:n$ であることが普通である。2つのモデルのうち特徴点が $m$ の物をベース、 $n$ の物を対象と呼ぶことにする。対象の特徴点の数 $n$ の中から、ベースの特徴点の数 $m$ に対応した点を求める。提案法では対応付けの方法として、特徴点間の距離を用いる。ベース特徴点を

$$B = \{n_m; m = 1, \dots, M\} \quad (1)$$

とする。そのうち $n_m$ に最も近い5つ特徴点集合

$$N^* = \{n_i^*; i = 1, \dots, 5\} \quad (2)$$

を抽出し、その距離を

$$dist(n_m) = \sum_{i=1}^5 |n_m - n_i^*| \quad (3)$$

とする。対象モデルの特徴点を

$$O = \{o_j; j = 1 \dots J\} \quad (4)$$

とした時、同様に  $dist(O_j)$  を求める。この時、 $n_m$  の対応点は

$$\hat{o}_j(n_m) = \arg \min_{1 \leq j \leq J} |dist(n_m) - dist(o_j)| \quad (5)$$

であり、最も  $n_m$  に近い点を対応点と推定する。同様にして、全てのベースの特徴点の対応関係を求める。

## 4 評価実験

### 4.1 テストデータ

ベースモデルを変換して、テストデータを作成する。最もナイーブな方法として、今回は回転を用いる。回転をかけた後の特徴点の数は  $n$  個となり特徴点の数が変わり、 $m : n$  の対応付けとなる。このような、 $m : n$  の効率の良い対応点の組み合わせの方法を検討する必要がある。本研究では、ベースとなる点群データを X 軸に 30 度、60 度、90 度回転させたものの特徴点を用いる。

### 4.2 評価方法

ベースの特徴点  $n_m$  と推定した対象点  $\hat{o}_j(n_m)$  の距離を用いて、提案法の性能を検証する。ここで

$$\alpha = |n_m - \hat{o}_j(n_m)| \quad (6)$$

とする。  $\alpha$  の値を次のように 3 つ決める。

$$\alpha < 0.15, \quad \alpha < 0.2, \quad \alpha < 0.5 \quad (7)$$

この 3 つの値を基に、対応していると判断できる距離かを分析する。  $\alpha$  が範囲内に入っている場合には、「Positive」、そうでない場合には「Negative」と判断する。これにより、「Positive」と判断されたものを実際目で確かめ、対応しているかどうかの判断とする。

## 5 性能評価

提案法を適応した結果、36619 点の 3 次元点群データより、回転角が 30 度、60 度、90 度のとき、それぞれ 165、147、146 点の特徴点が抽出された。

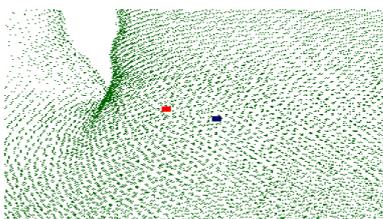


Fig. 2: 対応していると判断できる点

Fig.2 に  $\alpha < 0.15$  の結果を示す。ここで、赤い点がベースとなる点群データの特徴点、青い点が回転後の点群データの特徴点である。このように  $\alpha < 0.15$  のときに対応していると目で見て判断できると言える。また、 $\alpha < 0.15$ 、 $\alpha < 0.2$ 、 $\alpha < 0.5$  とした時の結果を Table1 に示す。x 軸に 30、60、90 度回転した結果、 $\alpha$  が増加すると「Positive」が増加するが目視で判断した場合、 $\alpha < 0.15$  の時に最も精度が高く  $\alpha < 0.15$  が最も  $\alpha$  の範囲として有効だとわかった。

Table 1: 回転させたときの各範囲  $\alpha$  の「Positive」の数

回転パターン	$\alpha$ の範囲		
	$\alpha < 0.15$	$\alpha < 0.2$	$\alpha < 0.5$
30 度回転した場合	7	52	85
60 度回転した場合	5	13	63
90 度回転した場合	3	25	70

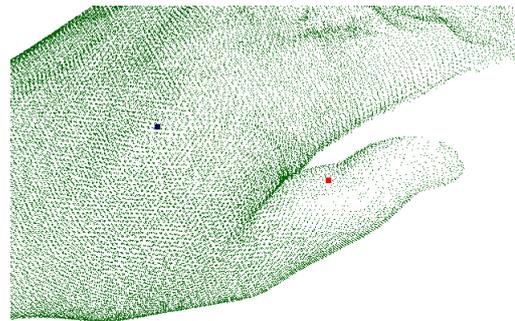


Fig. 3:  $\alpha_2$  と  $\alpha_3$  の場合に含まれる「Negative」

次に Fig.3 に  $\alpha < 0.5$  とした場合に「Negative」と判断された結果を示す。これより、大きく離れた Fig.4 のような範囲も含まれるので、有効とは言えないとわかった。  $\alpha < 0.15$  にした場合は妥当な対応付けが可能であった。  $\alpha$  を大きくする毎に「Positive」は増えるが、目視すると精度が低い場合もあり、  $\alpha$  の制御が難しいことがわかった。距離以外の特徴量を使うことは今後の課題である。

## 参考文献

- [1] Luciano Silva, "Precision Range Image Registration Using a Robust Surface Interpenetration Measure and Enhanced Genetic Algorithms", IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, VOL.27, pp.762-pp.776 (2005)
- [2] Bastian Eteder, "Point Feature Extraction on 3D Range Scans Taking into Account Object Boundaries", in Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.2601-pp.2608 (2011)