

# 変位場の滑らかさを前提としない頑健な点群マッチング手法の開発

Robust point set registration without the assumption of a smooth displacement field

広瀬 修

Osamu Hirose

金沢大学 理工研究域

Institute of Science and Technology, Kanazawa University

Point set registration is a problem of finding point-by-point correspondences between two point sets, each of which characterizes an object shape. Many state-of-the-art algorithms to solve this problem are based on the assumption of a smooth displacement field, which forces neighboring points to move coherently. The assumption is reasonable in many situations and the algorithms often elegantly solve point set registration problems. In this article, I propose a novel point set registration algorithm that works effectively even if the assumption of the smooth displacement field is not appropriate.

## 1. はじめに

点群マッチング問題は物体の形状を表現する2つの点集合間の対応関係を見つける問題である。点群マッチング問題の中で点群間の対応関係に加え、点群をもう一方の点群に移す写像を求める問題は点群レジストレーション問題と呼ばれる。点群レジストレーション問題は想定する写像の種類に応じて剛体変換と非剛体変換のものに分類され、最近では非剛体変換に基づいた点群レジストレーションが、その柔軟さのため非常に活発に研究されている。

Coherent point drift (CPD) は非剛体変換に基づいた点群マッチング手法の代表的な手法である [Myronenko 10]。CPDの成功の要因としてまず挙げられるのが、外れ値への耐性である。ここで、外れ値とは、点群によって表現される形状とは無関係に存在する点とする。CPDは点群レジストレーション問題を混合分布を基礎とした確率分布の推定問題として定義する。その際、混合分布の構成分布の1つとして外れ値の分布を明示的に与えることが、外れ値への耐性の主要な要因である。CPDのもう1つの成功要因として挙げられるのが、非剛体変換される点群に対する「変位場の滑らかさ」である。変位場の滑らかさとは、非剛体変換される点群を構成する任意の点の変位と、その他の点の変位が、その距離が近ければ近いほど相関するとした仮定である。この仮定は非常に自然な仮定であるため、CPDは多くの点群レジストレーション問題において精度の高いレジストレーション結果を与える。一方で、変位場の滑らかさの仮定が適切ではない場合、CPDは容易にレジストレーションに失敗する。例えば、人間の手の形状マッチングを行う場合、人差し指と中指を構成する点は比較的近くに位置するが、その動きは逆相関する傾向があり、このような場合には変位場の滑らかさの仮定が不適切であるためである。

この問題を克服する方法の1つとして挙げられるのが、教師あり学習に基づくアプローチである。もし人差し指と中指の動きが逆相関する傾向にあることを事前に知っていれば、その知識をレジストレーションアルゴリズムに組み込むことにより、高精度のレジストレーションが期待できるからである。今回、新たに開発した、教師あり学習法に基づいた点群レジストレーション手法に対するレジストレーション性能の評価について報

告する。開発手法は外れ値の分布を構成分布の1つとして持つ混合分布に基づいているため、外れ値への優れた耐性を有する。また、物体の形状変化モデルに、訓練データから得られる事前知識を組み込むため、変位場の滑らかさの問題を自然に解決することができる。

## 2. 実験

開発したレジストレーション手法と代表的な点群レジストレーション手法である Coherent Point Drift (CPD) [Myronenko 10] と Thin Plate Spline Robust Point Matching (TPS-RPM) [Chui 03] の性能の比較を行った。使用したデータは IMM hand data である [Stegmann 02]。このデータは、40種類の人間の手の画像に対し、手と背景の境界部分に56個の特徴点を人手で打点したものである。各々の特徴点は40種類の画像で対応関係がとられるように打点されている。図1が IMM hand data 中の点群番号6に対するCPD、TPS-RPM および開発手法のレジストレーション結果を表す。図1の1段目が推定されるべき手の形状を表し、2段目がレジストレーションの対象となるデータで、手法の頑健性を検証するため正解データに4種類の改変を施したものである。左から順に(1)点の複製、(2)欠損、(3)外れ値の付加、(4)回転の改変を表す。図1の3段目の赤色で示された点が最適化の初期形状、すなわち、平均形状を表す。3, 4, 5段目がそれぞれ提案手法、CPD、TPS-RPMの適用結果を表す。データ(1)、(2)、(3)で提案手法が正解とほぼ同一の形状の推定に成功した。CPDとTPS-RPMについては、全てのデータで親指以外の指が細くなる現象が見られた。これは、変位場の滑らかさの欠点の1つを表している。ある指を形成する点は近隣に存在する、他の指を形成する点ともその変位が相関することが原因である。データ(1)に対しては全ての手法で概ね正解の形状を推定したが、CPDとTPS-RPMには指が細くなる現象が見られた。データ(2)に対して提案手法は欠損領域の点群の推定に成功した。一方でCPDとTPS-RPMは親指を含む全ての指が短く描画された。これは欠損領域の推定には変位場の滑らかさがうまく機能しないことを意味している。この問題は、形状変化の対象となる点群中の点の近隣に参照点群の点が存在しない場合、その点に変位場の局所的な相関の影響をより強く受けるために起こる。データ(3)に対して、提案手法は正解の形状と

連絡先: 広瀬 修, 金沢大学理工研究域, 920-1192 石川県金沢市角間, hirose@se.kanazawa-u.ac.jp

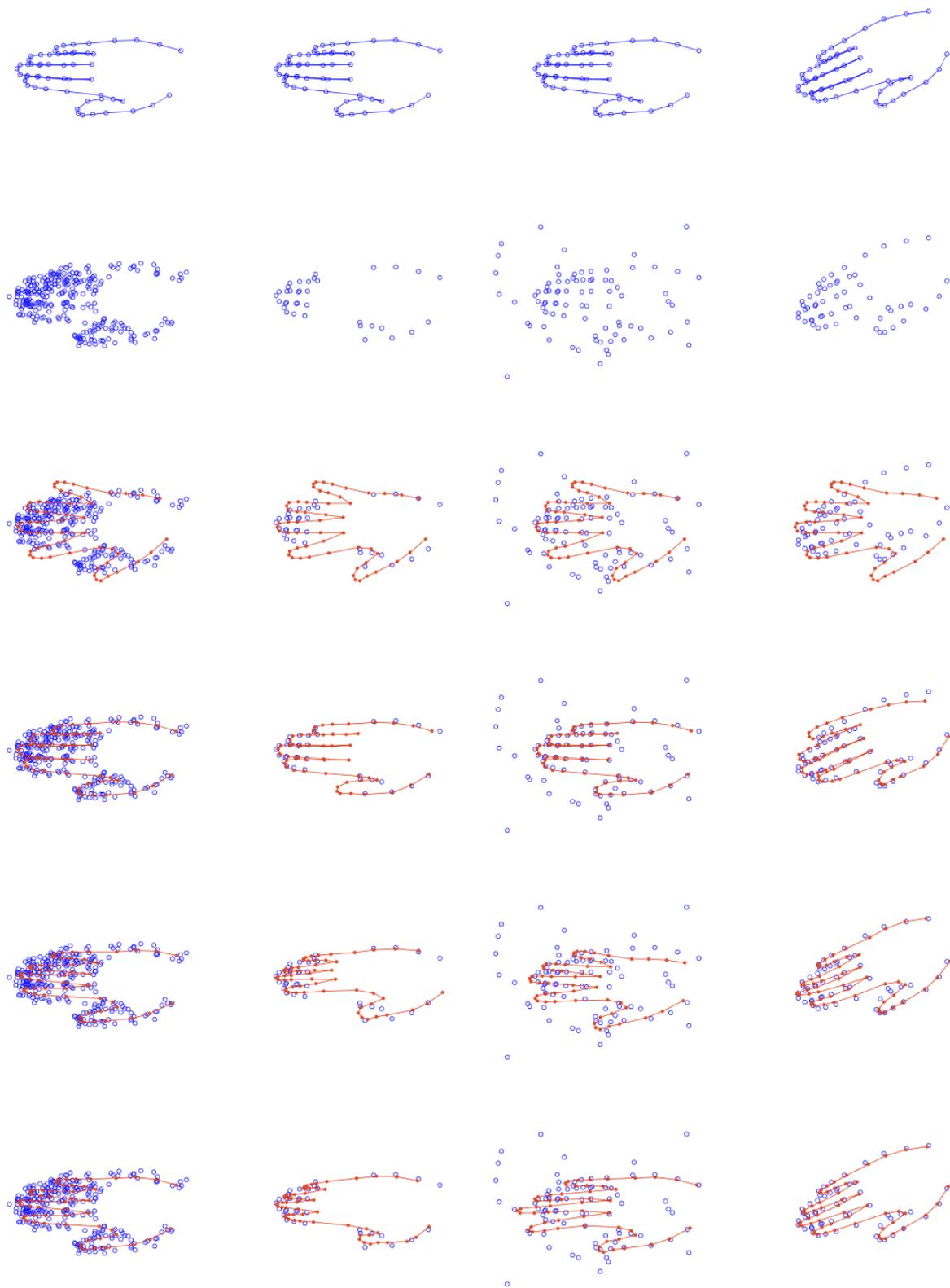


図 1: 提案手法, CPD, TPS-RPM の比較. 1 段目の図は推定されるべき正解の形状を表す. 2 段目の図はレジストレーションの対象となるデータ. 3 段目の赤の点群が最適化の初期形状を表す. 手法の頑健性を検証するため正解データに 4 種類の改変を施した. 左から順に (1) 点の複製, (2) 欠損, (3) 外れ値の付加, (4) 回転の改変を表す. 3, 4, 5 段目がそれぞれ提案手法, CPD, TPS-RPM の適用結果を表す.

---

ほぼ同一の形状を推定した。一方で CPD と TPS-RPM は正解の形状ではなく初期形状に近い形状を推定した。データ (4) に対しては全ての手法が概ね正解の形状を推定したが、CPD と TPS-RPM では指が細くなる現象が見られた。提案手法では小指の形状の推定に失敗した。

## 参考文献

- [Chui 03] Chui, H., and Rangarajan, A.: A new point matching algorithm for non-rigid point set registration (2003), *Computer Vision and Image Understanding* 89, 114-141.
- [Myronenko 10] Myronenko, A., and Song, X.: Point set registration: Coherent point drift (2010), *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 32(12), 2262-2275.
- [Stegmann 02] Steggman, M. B., and Gomez, D. D.: A brief introduction to statistical shape analysis.