

# 形状事前分布および変位場の滑らかさを同時に利用した点群マッチングアルゴリズムの開発

広瀬 修†

金沢大学理工研究域†

## 1. はじめに

点群位置合わせ問題は、物体の形状を表現する2つの点集合間に対し、1つの点群をもう一方の点群に移す写像を求める問題である。点群位置合わせ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位置合わせが、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 2010]。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 は点群位置合わせ問題を混合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 は多くの点群位置合わせ問題において精度の高い位置合わせ結果を与える。一方で、変位場の滑らかさの仮定が適切ではない場合、CPD は容易に位置合わせに失敗する。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だけでは不十分であるためである。

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方法である。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、その知識を位置合わせアルゴリズムに組み込むことにより、高精度の位置合わせ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位置合わせ手法に対する位置合わせ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

開発した位置合わせ手法と代表的な点群位置合わせ手法である CPD 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 データである [Stegmann 2002]。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 データ中の点群番号6に対する CPD, TPS-RPM および開発手法の位置合わせ結果を表す。図1の1段目が推定されるべき正解の手の形状を表し、2段目が位置合わせ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。3~5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), (4) の全て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が、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空いてしたが、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。

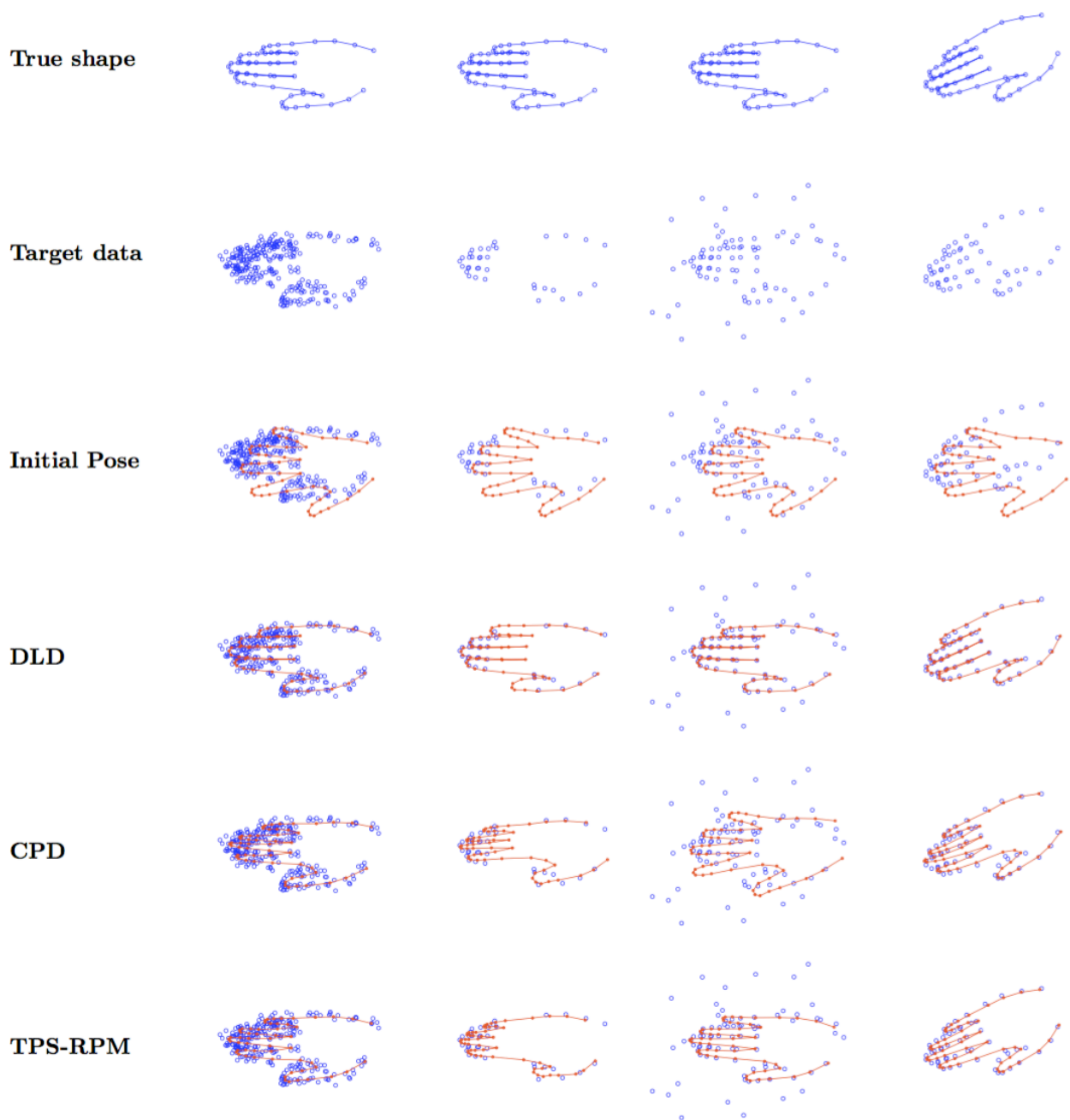


図 1. 提案手法, CPD, TPS-RPM の比較. 1 段目の図は推定されるべき正解の形状を表す. 2 段目の図は位置合わせの対象となるデータ. 3 段目の赤の点群が最適化の初期形状を表す. 手法の頑健性を検証するため正解データに 4 種類の改変を施した. 左から順に (1) 点の複製, (2) 欠損, (3) 外れ値の付加, (4) 回転の改変を表す. 3 ~ 5 段目がそれぞれ提案手法, CPD, TPS-RPM の適用結果を表す.