

法線ヒストグラムを用いた手の姿勢推定

Hand pose estimation using orientation histograms

○ 村井 隼人 (中央大) 正 多田 充徳 (産総研) 増山 岳人 (中央大) 正 梅田 和昇 (中央大)

Hayato MURAI (Chuo University, murai@sensor.mech.chuo-u.ac.jp),
Mitsunori TADA (Digital Human Research Center, AIST, m.tada@aist.go.jp),
Gakuto MASUYAMA (Chuo University, masuyama@mech.chuo-u.ac.jp),
Kazunori UMEDA (Chuo University, umeda@mech.chuo-u.ac.jp)

In this paper, we propose a method for estimating the pose of a human hand by orientation histograms. This method can estimate the pose of a human hand without placing any makers and using motion capture which is much expensive. First, some postures of a human hand model are generated using Dhaiba Hand. After getting the point cloud data of a human hand by using RGB-D sensor, histograms of normals are generated from a hand model and a point cloud. Those orientation histograms are compared with each other with Residual Sum of Squares. The result of the experiment shows that the hand posture could be estimated comparing with 3 postures of hand model using this method.

Key Words: depth image, human hand model, orientation histogram, pose estimation

1 はじめに

近年、デジタルカメラやスマートフォンなどの、手で握って操作する製品の握りやすさを考慮した設計が、エルゴノミック設計（人間中心設計）として重要視されている。こうした設計を実現させるため、人間の手モデルに製品の3Dデータを仮想的に把持させることで、製品の握りやすさを評価する研究がなされている[1]。握りやすさの評価には、実際の人間の手の運動姿勢を取得する必要がある、モーションキャプチャを使用した手姿勢の計測が、従来は行われていた。しかし、モーションキャプチャ自体が非常に高価な機器であり、較正や後処理に手間がかかる問題点がある。

本研究では、PrimeSense製の距離画像センサ Carmin 1.09（以下、Carmin）を使用することで、より安価かつ簡便に手の姿勢推定を行うことを目的としている。

2 方法

距離画像センサを用いて取得した手の点群データと、仮想空間上の複数手モデル姿勢とを比較することにより、手の姿勢推定を行う。手モデルについては、産業技術総合研究所が開発したデジタルハンド「Dhaiba Hand」[1]を用いる。手モデルは、人間の手表面を再現したメッシュと関節角度情報を持つリンク構造から成る。計測した手の点群データと手モデルのメッシュから法線ヒストグラムを計算し、類似性の高い手モデルのリンク構造を持つ関節角度をその手の姿勢とする。

2.1 比較に使用するデータの準備

Dhaiba Hand を使用し、比較対象とする手モデル姿勢を予め生成する。製品を握ったときのあらゆる手姿勢を比較対象とすることで、推定結果として求められる関節角度は、より比較対象に近いものとなると推測される。よって、生成する手の姿勢の数は多い事が望ましいが、本実験では例として、生成する姿勢の数を P

とする。

2.2 法線ヒストグラム

法線ヒストグラムは、法線の向きを分布化したものである。法線の方向を仰角（ $-90\text{deg} \sim 90\text{deg}$ ）と方位角（ $-180\text{deg} \sim 180\text{deg}$ ）で表し、それぞれの角度を s と t の領域に分割することで、分割領域における法線の密度を球面上に表現できる[2]。法線の密度を正規化し、 $s \times t$ のビン数で法線密度の分布を表したものを、法線ヒストグラムと呼ぶ。

2.3 法線ヒストグラム比較手法

ヒストグラムの比較手法として、誤差二乗和を用いる。誤差二乗和の値が 0 に近いほど、互いのヒストグラムは類似していると言える。比較対象となるヒストグラムをそれぞれ p_{ij} , q_{ij} として表すと、誤差二乗和は式 (1) となる。ここで、ヒストグラムは $s \times t$ のビンで表す事が出来る。

$$d(p, q) = \sqrt{\sum_i \sum_j (p_{ij} - q_{ij})^2} \quad (1)$$

3 実験

実際に、Carmin を使用して手の点群データを取得する。取得した手の点群データと手モデルから法線ヒストグラムを導出、その比較を行い、最後に姿勢の推定を行う。

3.1 手の点群データと手モデル

Carmin は近距離用の距離画像センサである。手元の 3 次元環境を計測するには適していると考え、本研究では使用する。価格は 2 万円程度であり、モーションキャプチャと比較すれば非常に安価で購入出来る。PCL (Point Cloud Library) と呼ばれるオープンソフトウェアを使用することで、3 次元点群データを簡便に処理する事も可能である。本実験では、Fig.1 に示すような 3 つの姿勢を比較の対象とする。

一方、手モデルに関しても、Dhaiba Hand を用いて、例として Fig.2 に示すような 3 つの姿勢を生成する。Carmin で取得したものと同一ような姿勢を、予め生成する。ただし、姿勢の呼称は、左から平板型（略称、Hb）、こぶし型（Ko）、はさみ（Hs）型とする [3]。

3.2 法線方向の推定

手モデルの表皮メッシュモデルは 3 次元ポリゴンメッシュであるため、その情報から法線方向を一意に導出する事が出来る。

一方、Carmin から取得した点群データには、法線情報は含まれていない。そこで、各点の近傍 5mm の点群に対して主成分分析（PCA）を行い、全ての手の点群ばらつきを求めることにより、各点における法線方向を推定する。主成分分析の結果、最もばらつきの少ない方向を手の点群データにおける法線方向であると仮定している。

3.3 法線ヒストグラムの導出

推定された法線方向から、法線ヒストグラムを導出する。本研究では、法線ヒストグラムを姿勢の特徴とみなすことで、姿勢の比較を行えるようにする。

導出した 3 つの姿勢における法線ヒストグラムを、Fig.3 から Fig.5 に示す。本実験では、例として 32×64 （仰角 $\times$ 方位角）の領域に分割している。ヒストグラムの各領域の色は、その方向に存在する正規化された法線密度を表しており、青色は法線密度最小、赤色は法線密度最大を表す。

4 結果、考察

ヒストグラム比較による、姿勢推定評価の結果を、Table1 に示す。

Table 1 Evaluation Result

		計測した手の姿勢		
		平板型	こぶし型	はさみ型
手モデルの姿勢	平板型	2.81	2.68	5.23
	こぶし型	3.70	3.55	5.40
	はさみ型	4.71	3.90	4.73

評価の結果より、平板型及びはさみ型の計測した手の姿勢と類似性が高い（誤差二乗和の値が小さい）姿勢同士は、それぞれ手モデルの同じ姿勢である事が見て取れる。そのため、計測した手の姿勢を基準とした手の姿勢推定に関しては、平板型とはさみ型に関して成功したと言える。

一方、計測したこぶし型の手の姿勢と類似性を最も高とする姿勢は、手モデルの平板型の姿勢であった。これは、こぶし型の姿勢から導出される法線が、他の 2 姿勢の法線方向と共通する部分が多く見られたためである。

5 結論

本稿では、距離画像センサ Carmin を使用した手の姿勢推定手法を提案した。こぶし型を除く二つの姿勢に関しては、計測した手の姿勢と手モデルの同様の姿勢は、法線ヒストグラムを比較すると、類似性が高くなるという結果を得た。今後は、更に姿勢推定精度を向上させるためには、使用する Carmin の台数を増やす、

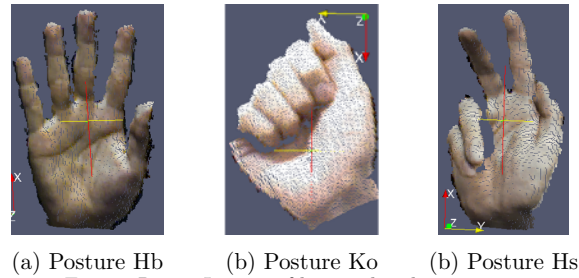


Fig. 1 Range Images of human hand postures

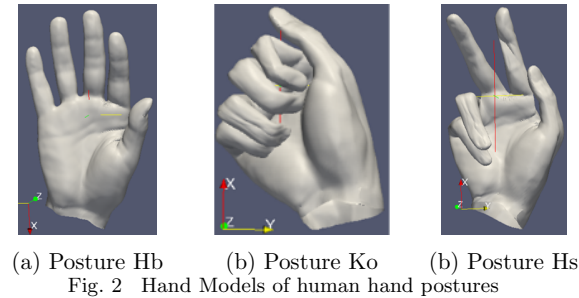


Fig. 2 Hand Models of human hand postures

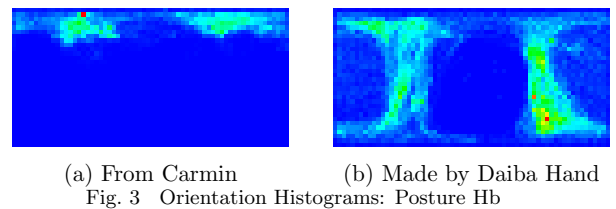


Fig. 3 Orientation Histograms: Posture Hb

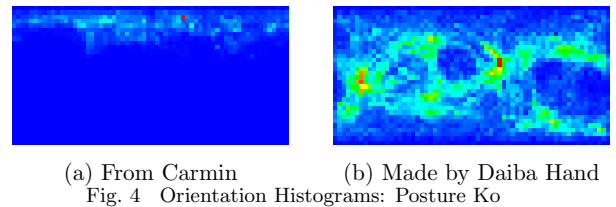


Fig. 4 Orientation Histograms: Posture Ko

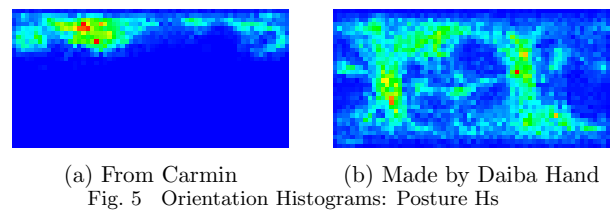


Fig. 5 Orientation Histograms: Posture Hs

法線ヒストグラム導出の過程におけるパラメータの変更など行う必要がある。

参考文献

- [1] 遠藤維ほか, “デジタルハンドとプロダクトモデルとの統合によるエルゴノミック評価システムの開発 (第 1 報): 製品の把持安定性仮想評価機能,” 精密工学会誌 74 巻 2 号 (2008), pp. 182-187.
- [2] A. Makadia, “Fully automatic registration of 3D point clouds,” CVPR '06 Proceedings of the 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (2006), pp. 1297-1304.
- [3] 鎌倉矩子, 手のかたち 手のうごき (1989), 医歯薬出版.