

平成 25 年度 修士論文概要

主査	舟橋 健司	副査	北村 正	研究室	舟橋研究室
入学年度	平成 24 年度	学籍番号	24417562	氏名	高橋 寛昌

論文題目 医学的知見による代表手動作に基づく少数センサデータグローブのデータ補正法  
 A Data Adjustment Method of Low-priced Data-glove based on Representative Hand Motion with Medical Knowledge

## 1 はじめに

人間の手動作を正確に取得するためには、多数のセンサを備えたデータグローブを用いる必要があるが高価である。一方で、各指全体の曲げ角を一つのセンサでまとめて計測する安価なデータグローブも存在するが、詳細なデータを直接的には取得できない。当研究室では、後者の少数センサデータグローブから得られるセンサ値のみを利用し、ユーザの手動作を取得する手法を提案している [1]。まず、日常的に行う把持動作の中から握る・摘まむ・挟み込む動作 (便宜的に候補 0 とする) を代表手動作として設定する。そして、各代表手動作に対するユーザの手動作の比率を算出し、その結果を基にユーザの指各関節角度を推定することで、代表手動作以外の手動作も表現可能としている。しかし、手動作の推定精度が十分ではなく、ユーザの指関節角度と推定された指関節角度に大きな誤差が生じてしまう場合がある。また、上記 3 種類の手動作を代表手動作として用いることが適切なのか否かについては議論していなかった。本研究では、センサ値の個人内変動を考慮することで手動作推定手法を改良し、また多様な手動作を表現するのに適切な代表手動作について議論する。

## 2 手動作推定による関節角度決定法

代表手動作を行った時のセンサ値をサンプリングし、得られたデータを代表手動作  $p$  における理想的な値としている。そして、各データと現在のセンサ値との 5 次元特徴空間でのユークリッド距離  $l_p$  を求め (図 1)、 $l_p$  の値が小さい二つの代表手動作を選択する。さらに現在の手動作は選択された代表手動作  $p$  を比率  $r_p$  で含む合成動作であると仮定し、各代表手動作における指関節角度決定式から得られる代表手動作別の指関節角度を  $r_p$  を用いて内分することで、中間的な動作も含む現在の各指関節角度を決定する。

## 3 個人内変動を考慮した手動作推定

実際には代表手動作を行ったときのセンサ値がある程度ばらつくことを考慮する必要がある。そこで、各代表手動作を行った時のセンサ値を用いて、有意水準

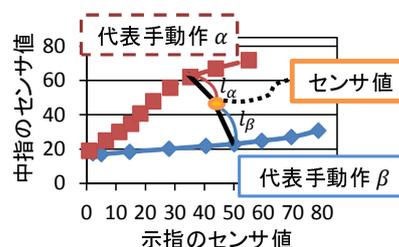


図 1: 各サンプルデータとの最短距離  $l_p$

5% で D'Agostino-Pearson 検定を行ったところ、全てのサンプルデータにおいて有意差が認められなかった。従って、代表手動作を行った時の各指のセンサ値の分布は、正規分布に従うと仮定し、各センサ値を特徴量とした 5 次元特徴空間においてもセンサ値の分布は多変量正規分布に従うと仮定した上で、各指のセンサ値を特徴ベクトルとした 5 次元特徴空間における  $n$  点に対して、多変量正規分布の確率密度関数に基づく次式を設定する。

$$L_{pn}(\mathbf{S}; \boldsymbol{\mu}_{pn}, \boldsymbol{\Sigma}_{pn}) = \exp\left\{-\frac{1}{2}(\mathbf{S} - \boldsymbol{\mu}_{pn})^T \boldsymbol{\Sigma}_{pn}^{-1}(\mathbf{S} - \boldsymbol{\mu}_{pn})\right\} \quad (1)$$

ただし、 $\mathbf{S}$  はセンサ値ベクトル、 $\boldsymbol{\mu}_{pn}$  および  $\boldsymbol{\Sigma}_{pn}$  は手動作  $p$  における  $n$  ( $1 \leq n \leq 25$  を満たす整数) 点目のセンサ値平均ベクトル、分散共分散行列を表す。続いてグローブから実際にセンサ値が得られた場合、式 (1) より出力される値の中で最大となるものを選択する。その上でユーザが行っている手動作を 3 種類の代表手動作の合成動作として考え、手動作  $p$  の比率  $r_p$  を次式に従い決定する。

$$r_p = \frac{L_p}{\sum_{p=1}^2 L_p} \quad (2)$$

この比率  $r_p$  を重み係数として、実験的に求めた各代表手動作における指関節角度決定式から得られる代表手動作別の指関節角度の加重平均値を算出することで、ユーザの各関節角度を推定する。

## 4 代表手動作の再考察

人の手の把持行動に関する研究 [2] により、大項目 4・小項目 14 のグループに分類された把持フォームを基に代表手動作を再考察する。本研究では、まずこの分類のうち物体把持後の手の形状がおおよそ一定であり、さらに各手形状に至るまでのセンサ値が一定以上の変化を見

せる 10 種類を代表手動作の候補とした (図 2)。この 10 種類の手動作について、その最終的な手形状に至るまでの各指関節角度の推移を調査したところ、ある手形状に至るまでの関節角度の推移の中の一部で他の手動作が表現可能である場合が確認できた。そこで Standard により Parallel Flex と Circular Flex、Lateral Contact により Phalangeal Ext を包括的に表現するとし、Parallel Flex、Circular Flex および Phalangeal Ext を除いた 7 種類を代表手動作の候補 1 とする。続いて候補 1 の各

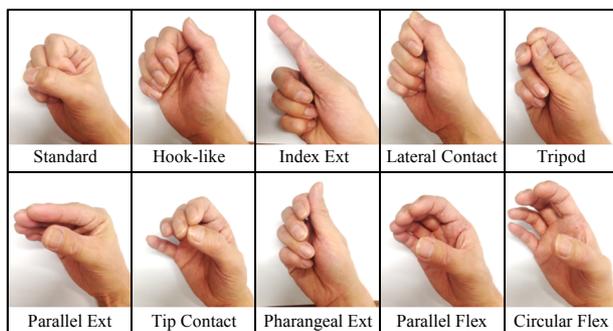


図 2: 10 種類の手動作

手動作を行った時のセンサ値を取得し、それらを標準化 (平均 0、分散 1) する。これを用いて ward 法による階層型クラスタ分析を行い、候補 1 に関するデンドログラムを作成する (図 3)。図 3 を基に、各手動作を  $C_1$ : Standard、 $C_2$ : Hook-like・Lateral Contact・Index Ext、 $C_3$ : Tripod・Tip Contact、 $C_4$ : Parallel Ext の 4 つのクラスに分類する。この中で単独でクラスを形成している手動作は、代表手動作の候補 2 として選定する。複数の手動作が存在するクラスに対しては、各クラスの平均得点との差が最も小さい手動作を候補 2 として選定する。ただし、平均得点との差が手動作間で無い場合には、指全体の屈曲量が大きいものを選定する。以上の手順に従い、Standard、Lateral Contact、Tripod、Parallel Ext の 4 種類を代表手動作の候補 2 として選定する。また  $C_2$  および  $C_3$  に属する手動作の指関節角度データの平均値から、図 4 のような  $C_2$  に対する平均手動作  $MC_2$  と  $C_3$  に対する平均手動作  $MC_3$  を構築し、これらに Standard と Parallel Ext を加えた 4 種類を代表手動作の候補 3 とする。

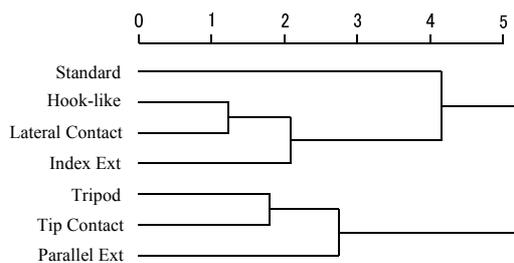


図 3: 候補 1 に関するデンドログラム



図 4: 平均手動作 (左:  $MC_2$ 、右:  $MC_3$ )

## 5 実験と結果

候補 0~3 をそれぞれ代表手動作とし、提案手法を適用した実験システム 0~3 を構築した。データグローブは、5DT 社の Data Glove 5 Ultra を用いる。本実験では、提案手法における手動作の推定精度を検証するために、従来システムおよび実験システム 0 に対して設定した代表手動作を行ったときの各指のセンサ値を入力データセットして与えたときに出力される推定比率  $r_p$  値を確認した (表 1)。また真値と推定された各指の関節角度との誤差 (表 2) を確認した。入力手動作は、ロボットハンド・アームの協調的機構に関する研究 [3] より、代表手動作とは異なる 5 つの手動作を選んだ。なお表 2 は、実験システム別の 5 つの手動作および第 1、第 2、第 3 関節角度誤差の平均値を表す。

表 1 より、3 種類全ての手動作において従来システムに比べ実験システム 0 での平均  $r_p$  値が高く、提案した手動作推定手法の有効性が確認できる。また表 2 より、実験システム 2 における指関節角度誤差が最も小さく、多様な手動作における各関節の角度推定精度の向上が確認できる。今後の課題としては、ユーザの手形状に応じて各種パラメータを自動的にキャリブレーションすることなどが挙げられる。

表 1: 推定比率  $r_p$  の平均値

	握り	摘まみ	挟み込む	平均
従来システム	0.64	0.62	0.62	0.63
実験システム 0	0.97	0.92	0.86	0.92

表 2: 関節角度誤差 [度]

	拇指	示指	中指	環指	小指
従来システム	11.4	12.5	13.9	20.2	24.7
実験システム 0	11.3	11.2	11.8	18.9	12.3
実験システム 1	12.1	7.31	14.4	14.5	19.2
実験システム 2	10.8	6.29	12.5	9.26	12.8
実験システム 3	10.2	7.29	13.2	9.99	15.4

## 参考文献

- [1] 濱口他, “センサー数の少ないデータグローブによる手動作推定に基づくデータ補正法”, 日本 VR 学会第 16 回大会講演論文集, 33D-6 (DVD-ROM), 2011.
- [2] Kamakura et al., “Patterns of static prehension in normal hands”, Am J Occup Ther 34, pp.437-445, 1980.
- [3] 大西他, “人間形ロボットハンドの高機能化に関する研究—ハンド・アームの動作分類を用いた接触覚センサベース制御”, バイオメカニズム 16, pp.155-165, 2002.