

平成 27 年度 修士論文概要

主査	舟橋 健司	副査	徳田 恵一	研究室	舟橋研究室
入学年度	平成 26 年度	学籍番号	26417619	氏名	森 裕太郎

論文題目 センサ位置が限定された低価格データグローブのデータ補正法

Data Adjustment Method of Low-priced Data-glove that Sensor Positions are Limited

1 はじめに

センサを多数備えたデータグローブは、手の姿勢の詳細なデータを得ることができるが高価である。比較的安価なデータグローブも存在するが、センサ数が少ないために取得可能なデータは限定される。そこで当研究室では、センサ数が少ないデータグローブから指の全ての指関節角度を取得するための指関節角度推定法を提案している [1]。ユーザが行う手動作用が把持動作であると仮定し、いくつかの代表的な把持動作を合成した動作として表現することでユーザの指関節角度を決定する。この手法では、センサが第 2, 第 3 関節にまたがるように備えられたデータグローブを想定している。しかし、データグローブの中にはセンサが第 2 関節部のみしか備えられていないものもある。このようなデータグローブを用いる場合、センサ値は直接的には第 2 関節の運動によってしか変化しない。第 1 関節角度は第 2 関節角度との比例関係によって決定可能である [2] が、第 3 関節角度を従来の指関節角度推定法によって決定するのは適当でない。また、ユーザの手動作用を合成動作として表現するために、現在の手動作用が代表手動作用のいずれに近いかを推定する必要がある。しかし、このようなデータグローブでは、従来の手動作用推定法を単純に適用することはできない。本研究では、指の第 2 関節部のみセンサが存在するデータグローブのための指関節角度推定法を提案する。

2 代表手動作用による指関節角度推定

ある単一の代表手動作用 p における指 i の第 j 関節角度 θ_{pij} は、事前にサンプリングされたデータグローブのセンサ値と指関節角度の真値から、最小二乗法によって関係式を求めることで決定できる (式 1)。

$$\theta_{pij} = E_{pij}S_i^3 + F_{pij}S_i^2 + G_{pij}S_i + H_{pij} \quad (1)$$

ここで、 S_i は指 i のセンサ値を表し、 $E_{pij} \sim H_{pij}$ は定数である。ユーザの手動作用を合成動作として表現するために必要な代表手動作用の比率 r_p は、式 2 から導出される尤度 L_{pn} の中から最大の値となるものを代表手動作用それぞれについて求めることで決定できる。

$$L_{pn} = \exp \left\{ -\frac{1}{2} (S - \mu_{pn})^T \Sigma_{pn}^{-1} (S - \mu_{pn}) \right\} \quad (2)$$

ここで、 S はセンサ値ベクトル、 μ_{pn} および Σ_{pn} は代表手動作用 p における n 点目のセンサ値平均ベクトル、分散共分散行列を表す。最終的なユーザの指関節角度は代表手動作用の比率 r_p と、その代表手動作用を行っているとしたときの指関節角度 θ_{pij} から加重平均を算出することで決定できる。

3 センサ位置が限定されたデータグローブの指関節角度推定

3.1 代表手動作用の再考

これまで代表的な手動作用として最も適当であると提案してきた手動作用 (図 1) の中には、第 3 関節の運動が主である動作が存在する。本研究で想定するデータグローブを装着してこの手動作用を行った際には、センサ値がほとんど変化しないことが実験結果から確認できた。そのため、この手動作用は代表手動作用とする意義が薄いものとして代表手動作用から削減した。



図 1: 代表手動作用の候補となる把持動作

3.2 重回帰分析による第 3 関節角度推定

ある代表手動作用を行う際に、各試行間で指の屈曲の仕方が大きく異なっていることはないため、本研究では代表手動作用ごとに指同士の相関関係が存在すると仮定し、複数の指のセンサ値から指関節角度を推定することを試みる。重回帰分析により代表手動作用 p における指 i の第 3 関節角度 θ_{pi3} を推定する式 3 が決定できる。

$$\theta_{pi3} = \sum_{f=1}^5 C_{pif3} S_f + I_{pi3} \quad (3)$$

ここで、 S_f は指 f のセンサ値を表し、 C_{pif3} および I_{pi3} は定数である。さらに、説明変数が目的変数に与える

影響の大小に応じて変数を削減し，冗長な計算を削減した式 4 と，選択された変数の次数を 2 とした式 5 も検討する．これらを本研究で提案する第 3 関節角度推定式の候補とする．

$$\theta_{pi3} = \sum_{f=1}^5 T_{pif} C_{pif3} S_f + I_{pi3} \quad (4)$$

$$\theta_{pi3} = \sum_{f=1}^5 T_{pif} (C_{pif3} S_f + D_{pif3} S_f^2) + I_{pi3} \quad (5)$$

ここで， D_{pif3} は定数である．また， T_{pif} は，説明変数が目的変数に与える影響に応じて 1 または 0 の値をとる．

3.3 一般化逆行列による手動作推定

本研究で想定するデータグローブは動作範囲が比較的狭く，手を開いた状態や大きく曲げた状態付近ではセンサ値が全く変化せずに，代表手動作のセンサ値サンプルデータのあるサンプル点において，ある指のセンサ値の分散が 0 または非常に小さな値となることがある．センサ値の分散が 0 である時，そのサンプル点におけるセンサ値の分散共分散行列が非正則となるため，式 2 の逆行列 Σ^{-1} が定義できない．そこで，そのようなサンプル点ではムーア-ペンローズの擬似逆行列を代替として用いることで，式 2 による手動作推定を可能とする．また，正しい値の増減ではなく動作範囲外であるにも関わらずノイズとして値が変化すると，分散は 0 ではないが，正しい逆行列は求まらずに手動作推定ができないため，経験的に決定した閾値に従ってノイズを除去することで手動作推定を行う．最終的なユーザの第 3 関節角度は，式 3~5 のいずれかから導出された関節角度を，それぞれの代表手動作の比率に従って加重平均を算出することで決定する．

4 実験と結果

4.1 最も有効な第 3 関節角度推定式

まず，重回帰分析によって構築した推定式の有効性の検証を行った．式 3~5，および参考のために式 1 を用いた際の，各代表手動作における第 3 関節角度誤差，および指関節角度推定プロセスにおける計算速度を比較した（表 1，2）．その結果，式 3~5 のいずれの関節角度誤差も，式 1 のものより小さくなった．式 3 と式 4 の比較では，推定精度を落とすことなく計算時間を削減することができた．式 5 ではさらに誤差を小さくでき，計算時間も式 1 と同程度にとどめることができた．

表 1: 指関節角度誤差 [度]

	手動作 1	手動作 2	手動作 3	Ave.
式 1	10.3	10.0	6.2	8.9
式 3	4.3	8.4	3.4	5.4
式 4	4.9	8.0	3.3	5.4
式 5	3.9	7.7	3.6	5.0

表 2: 指関節角度推定プロセスの処理速度 [$\times 10^{-7}$ 秒]

	式 1	式 3	式 4	式 5
処理速度	4.0	3.8	3.7	4.1

4.2 未知の手動作に対する指関節角度推定

続いて，ユーザが未知の手動作を行った場合でも指関節角度推定が行えるのかを確かめた．提案手法として，第 3 関節角度の推定は式 5 により行った．実験の結果，これまで想定していたデータグローブで代表手動作以外の手動作を行った際と指関節角度誤差が同程度となることが確認できた．また参考のために従来手法を用いた場合と比べても第 3 関節角度が適切に求められていることが確認できた（図 2）．



図 2: 推定された手の姿勢の違い

5 むすび

本研究では，センサが第 2 関節部にのみ存在するデータグローブのためのデータ補正法を提案し，安価なデータグローブのインタフェースとしての有用性を示すことができた．今後は，把持動作以外の手動作への対応も目指し，安価なデータグローブを用いたバーチャルリアリティコンテンツが一般家庭に普及していくことを期待したい．

参考文献

- [1] H. Takahashi, K. Funahashi, “A Data Adjustment Method of Low-priced Data-glove based on Representative Hand Motion Using Medical Knowledge”, Proceedings of ICAT2013, 2013.
- [2] ELKOURA G, “Handrix: Animating the Human hand”, Proceedings of the 2003 ACM SIGGRAPH / Eurographics Symposium on Computer Animation, pp. 110-119, 2003.