

各ユーザの手形状の相違に対応した 少数センサデータグローブのデータ補正手法

A Data Adjustment Method of Low-priced Data-glove
Corresponding with each User Hand Size

森裕太郎¹⁾, 舟橋健司²⁾

Yutaro MORI and Kenji FUNAHASHI

1) 名古屋工業大学 情報工学専攻

(〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所町, moriyu@center.nitech.ac.jp)

2) 名古屋工業大学 情報工学専攻

(〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所町, kenji@nitech.ac.jp)

概要: データグローブは VR 分野における代表的なインタフェースである。センサを多数備えたグローブは高価であり, 一般家庭での利用には適さない。一方で安価なグローブはセンサが少ないため全ての指関節角度を直接取得することができない。そこで当研究室ではセンサ数が少ないグローブから全ての指関節角度を推定するためのデータ補正法を提案している。しかしこれまでのデータ補正法では, 推定のために必要となる各パラメータは, 事前にユーザそれぞれに適した値を導出しておく必要がある。そこで本研究では, 各ユーザの手の大きさを基に, 推定に必要な各パラメータを簡易に決定する手法を提案する。

キーワード: データグローブ, 手の大きさ推定, 関節角度推定

1. はじめに

近年のバーチャルリアリティ (VR) 技術の発達により, 一般家庭でも利用可能な VR コンテンツが登場してきている。VR 分野において広く利用されているインタフェースとしてデータグローブがあり, データグローブに関する様々な研究が行われている [1]。データグローブは主に指に備えたセンサにより各指関節の屈曲度合を測定するものである。手全体の指の屈曲度合を正確に測定するためには, 多数のセンサを備えていることが理想である。しかしそのようなグローブは高価であり, 一般家庭での利用を考えた場合には適切なインタフェースとはいえない。一方, 一般家庭での利用が期待できる低価格のグローブも存在するが, そのようなグローブはセンサ数が少ないために指関節角度を正確に取得できないという問題点がある。例えば, 5DT 社から販売されている Data Glove 5 Ultra は, 各指につき 1 本のバンドセンサを備えている。1 本のバンドセンサにつき値は 1 つしか得られないため, 3 つの関節角度を直接求めることはできない (図 1)。

そこで当研究室では, このようなセンサ数の少ないデータグローブからでも全ての指関節角度を推定するための研究を行ってきた。この方法では, まずユーザが行う手動作を把持動作に限定し, 人が行う把持動作の中からいくつかの

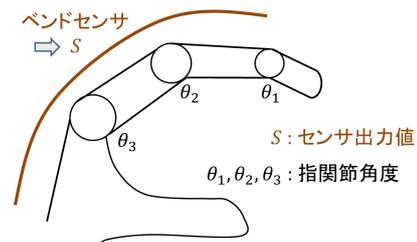


図 1: バンドセンサの構造

代表的な把持動作を設定しておく。そして, ユーザが行う把持動作は複数の代表把持動作の合成動作として表すことができると仮定する。既知の把持動作に対しては, 事前にセンサの値と各指関節角度の関係を調べておくことで, 比較的容易に角度推定が可能である。そこで各代表把持動作と想定したときの指関節角度を, 代表把持動作の比率に基づいて加重平均を算出することでユーザの指関節角度を決定していた。

ところで, ユーザの手形状には違いがあり, 同じ手動作を行った場合でもその時のセンサ出力値はユーザによって異なっている。そのため先行研究では, 指関節角度を推定するための式における各パラメータは, 煩雑な作業を経た

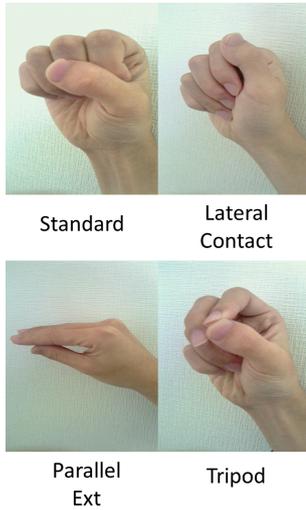


図 2: 代表把持動作

上でユーザ個々に合わせた値を事前に導出しておく必要があった。そこで本研究では、ユーザが簡易な手動作を行った際のセンサ値からユーザの手の大きさを推定し、推定された手の大きさから各パラメータを決定することを目指す。

以下、2章ではこれまでの指関節角度推定法について、3章では手の大きさに基づくパラメータ決定について、4章では実験結果とその考察について述べる。

2. 指関節角度推定法

これまで当研究室で提案してきた指関節角度推定法を以下に述べる。ユーザが行う手動作を把持動作に限定し、ユーザが行う把持動作はいくつかの代表的な把持動作の合成動作として表現できると仮定している。

2.1 代表手動作の設定

まず、人が行う把持動作の中から、4つの代表把持動作を設定する(図2)。具体的な決定方法については文献[2]を参照されたい。また、これらの代表把持動作を行った際の少数センサデータグループのセンサ出力値、および関節角度真値の時間経過に対する推移を測定する。なお当研究室では関節角度の真値としてセンサを多数備えたデータグループ(Immersion社, CyberTouch)から得られた値を用いている。そして、センサ値と真値の同時刻における値を対応付けることで、図3のような対応関係を得る。この対応関係から、代表手動作 p における指 i の第 j 関節角度 θ_{pij} を求める3次多項式を得る(式1~3)。

$$\theta_{pi1} = \frac{2}{3}\theta_{pi2} \quad (1)$$

$$\theta_{pi2} = E_{pi2}S_i^3 + F_{pi2}S_i^2 + G_{pi2}S_i + H_{pi2} \quad (2)$$

$$\theta_{pi3} = E_{pi3}S_i^3 + F_{pi3}S_i^2 + G_{pi3}S_i + H_{pi3} \quad (3)$$

ここで、 S_i は指 i におけるセンサ出力値であり、 E_{pij} , F_{pij} , G_{pij} , H_{pij} は定数である。なお第1関節角度は第2関節角度との比例関係を用いて求める[3]。

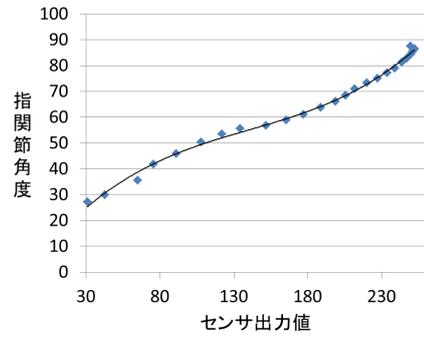


図 3: センサ値と関節角度真値の対応関係の例

2.2 手動作推定と関節角度推定

ユーザが行っている手動作を代表手動作の合成動作として表現するために、ユーザの手動作が代表手動作のどれに近いかを推定する[4]。まず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式4を設定する。

$$L_{pn} = \exp\left\{-\frac{1}{2}(\mathbf{S} - \boldsymbol{\mu}_{pn})^T \boldsymbol{\Sigma}_{pn}^{-1}(\mathbf{S} - \boldsymbol{\mu}_{pn})\right\} \quad (4)$$

ここで \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 点目のセンサ値平均ベクトル、分散共分散行列を表す。実際にデータグループからセンサ値が得られた際、式4から得られる値の中で最大となるものを選択し、現在のセンサ出力値に対する代表手動作 p における尤度を得る(式5)。

$$L_p = \max_n \{L_{pn}(\mathbf{S}; \boldsymbol{\mu}_{pn}, \boldsymbol{\Sigma}_{pn})\} \quad (5)$$

各代表手動作について L_p を求め、得られた L_p から比率 r_p を求める(式6)。

$$r_p = \frac{L_p}{\sum_{p=1}^P L_p} \quad (6)$$

ここで、 P は代表手動作の総数を表す。最後に、各代表手動作の指関節角度を、その代表手動作の比率に基づいて加重平均を求めることでユーザの指関節角度を決定する。

3. 手形状の相違に対応したパラメータ決定

各ユーザの手形状には違いがあり、それに伴ってある手動作を行った際のセンサ出力値にも違いが生じる。そのため2章において述べた指関節角度推定法を用いるためには、推定式における各パラメータをユーザごとにあらかじめ求めておく必要があった。これは煩雑な作業であるため、本研究では各パラメータを簡易に決定することを試みる。

3.1 手のサイズの定義

各パラメータを決定するために、ユーザの手形状を特徴付ける値として「手のサイズ」を設定する。ここで「手のサイズ」は手首の皺の部分から中指先端までの直線距離と定義する(図4)。そして、ユーザが簡易な手動作を行った際のセンサ値から手のサイズを推定することを考える。ここ



図 4: 手のサイズの定義

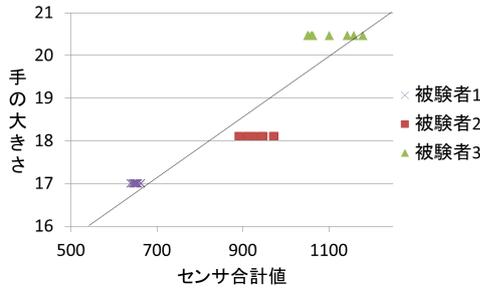


図 5: センサ合計値と手のサイズとの関係

では手を握った際のセンサ値の合計値に注目する．事前実験として，3名の手の大きさの異なる人物が手を握った際のセンサ値の合計値を調査した．図5にその分布を示す．この分布図から，次の関係式を得る．

$$H_{size} = aS_{total} + b \quad (7)$$

ここで H_{size} は手のサイズを表す．また S_{total} はセンサ合計値を表し， a, b は定数である．この式を用いることで，ユーザの手のサイズを推定する．

3.2 パラメータ決定

推定された手のサイズから，式1~3における未知のユーザ u のための各パラメータ $E_{upij} \sim H_{upij}$ を決定する．

$$E_{upij} = \frac{(h_u - h_B)E_{A_{pij}} + (h_A - h_u)E_{B_{pij}}}{h_A - h_B} \quad (8)$$

$$F_{upij} = \frac{(h_u - h_B)F_{A_{pij}} + (h_A - h_u)F_{B_{pij}}}{h_A - h_B} \quad (9)$$

$$G_{upij} = \frac{(h_u - h_B)G_{A_{pij}} + (h_A - h_u)G_{B_{pij}}}{h_A - h_B} \quad (10)$$

$$H_{upij} = \frac{(h_u - h_B)H_{A_{pij}} + (h_A - h_u)H_{B_{pij}}}{h_A - h_B} \quad (11)$$

ここで， h_u は推定されたユーザの手のサイズであり， h_A, h_B は事前実験参加者3名の中で手のサイズがユーザのものに近い2者 A, B の手のサイズを表す ($h_A > h_B$)．パラメータ $E_{A_{pij}} \sim H_{A_{pij}}$ ，および $E_{B_{pij}} \sim H_{B_{pij}}$ はそれぞれ A, B の指関節角度推定のためのパラメータであり，3者のパラメータは事前に求めておく．式8~11を用いることで，ユーザの手のサイズに合わせてパラメータを決定することが可能となる．

表 1: 検定統計量 χ_0^2

	A 群	B 群	C 群
Standard	22.44	28.64	28.84
Lateral Contact	29.34	36.22	20.87
Tripod	31.60	35.51	29.89
Parallel Ext	33.69	35.54	32.41

また，手動作推定のためにはユーザが各代表手動作を行った際のセンサ値サンプルデータ μ_{upn} が必要となる．そこで，パラメータ決定の際と同様に，ユーザの手のサイズの加重平均を用いて次式のとおりに各代表手動作のセンサ値データを設定する．

$$\mu_{upn} = \frac{(h_u - h_B)\mu_{A_{pn}} + (h_A - h_u)\mu_{B_{pn}}}{h_A - h_B} \quad (12)$$

ここで $\mu_{A_{pn}}, \mu_{B_{pn}}$ は A, B が各代表手動作を行った際のセンサ値サンプルデータを表す．以上のようにして，ユーザの手のサイズにあわせて指関節角度推定のために必要な各パラメータとセンサ値サンプルデータを決定する．

3.3 分散共分散行列の検定

式4を用いる際に，ユーザが各代表手動作を行った際のセンサ値の分散共分散行列が必要となる．これまでの実験システムにおいては，ユーザが複数回手動作を行った際のセンサ値データから導出した行列を用いていた．しかしそれを新規ユーザに対して逐一行くと，ユーザに強い負担が多くなる．そこで本研究では，ユーザの分散共分散行列を直接求めることを避けるため，手のサイズが異なる人物間における分散共分散行列の同等性について統計的仮説検定により調査した．表1に，得られた検定統計量 χ_0^2 を示す．なお，A群，B群，C群はそれぞれ被験者1と2，2と3，1と3である．

得られた検定統計量 χ_0^2 は χ^2 分布に従う．ここでは有意確率 α を 0.001 とし， $\chi^2(\alpha = 0.001) = 37.70$ である．表の結果を見ると，全ての項目で χ_0^2 が 37.70 を下回っているため，ユーザ間におけるセンサ値の分散共分散行列には差が認められないことが分かる．このことを利用し，未知のユーザの手動作推定を行う際には，被験者1~3のセンサ値分散共分散行列の平均をとった行列を用いることとした．

4. 実験と結果

本研究にて提案したパラメータ決定法の有効性を確かめるために，実験を行った．実験にあたり，我々は2つの実験システム A, B を構築した．システム A は全てのユーザに対して同一パラメータを用いて指関節角度推定を行う．システム B は本研究で提案したパラメータ決定法を用いて，ユーザの手のサイズに合わせてパラメータを決定する．2名の被験者に対して，この2つのシステムを用いた際の指関節角度推定の精度を比較する．実験システムは CPU: Pentium(R) Dual-Core CPU E5200 2.50GHz の Linux マシン上に C 言



図 6: 実験の様子

表 2: 推定された手のサイズ [cm]

	真値	H_{size}	誤差
被験者 4	17.6	18.0	0.4
被験者 5	19.1	19.9	0.8

語を用いて実装した。またモニター上には推定された指関節角度に基づいて手の CG 描画を行う(図 6)。

4.1 手のサイズの推定精度

3.1 節で述べた方法で推定された手のサイズの結果を表 2 に示す。推定された結果を見ると、推定された手のサイズと真値との誤差は 1.0cm 以内に収まっており、おおむね正しく推定できていることが確認できる。これにより、3.1 節で述べた手のサイズの推定法の有効性が示された。

4.2 指関節角度推定精度

次に、被験者が各手動作を行った際の両システムにおける指関節角の真値と推定角度との誤差を表 3, 4 に示す。両者の結果を見ると、多くの動作で推定の精度が改善していることが確認できる。被験者 4 における Parallel Ext, 被験者 5 における Tripod, Parallel Ext では精度が悪化しているが、悪化の割合はいずれも 1 度以内であり、改善を示した項目の改善割合に対して小さい。このことから、システム B ではシステム A よりも推定の精度が改善したといえる。以上より、3.2 節で提案した方法を用いることで、ユーザに対して適切なパラメータを決定できることが示された。

5. むすび

本研究では、従来は事前に導出しておく必要のあった指関節角度推定のためのパラメータを、ユーザの手のサイズを推定することで簡易に決定した。手のサイズはユーザが手を握った際のセンサ合計値から推定することで、ユーザに強い負担を最小限のものとした。また、手動作推定のために必要なセンサ値の分散共分散行列は、統計的仮説検定によりユーザ間の有意差が認められなかった。このことから、事前実験により求めておいた複数人の人物のセンサ値の分散共分散行列の平均行列をユーザの手動作推定のた

表 3: 両システムにおける指関節角度誤差 (被験者 4) [度]

	システム A	システム B
Standard	10.5	10.0
Lateral Contact	12.0	11.0
Tripod	14.4	12.5
Parallel Ext	10.4	10.8

表 4: 両システムにおける指関節角度誤差 (被験者 5) [度]

	システム A	システム B
Standard	13.2	10.0
Lateral Contact	18.0	12.9
Tripod	14.3	14.5
Parallel Ext	11.7	12.4

めに用いることとした。以上に基づいて実験システムを構築し、全てのユーザに対して同一パラメータを用いるシステムとの比較を行ったところ、指関節角度推定の精度が向上することが確認された。

今後は、指の各関節間の長さなど更に詳細な情報を用いてパラメータを決定することを試みたい。また、把持動作以外の動作についても対応するなどして、ユーザが行う全ての手動作を少数センサデータグローブのセンサ値から取得できるようにデータ補正法の実現を目指す。

謝辞 研究を進めるにあたり、有益な議論を頂いた本研究室諸氏に感謝する。なお、本研究の一部は JSPS 科研費 24501186 の研究助成による。

参考文献

- [1] Francesco Camastra, Domenico De Felice: LVQ-based Hand Gesture Recognition using a Data Glove, Proceedings of Neural Nets and Surroundings Smart Innovation, Systems and Technologies, vol. 19, pp. 159-168, 2013.
- [2] Hiromasa Takahashi, Kenji Funahashi: A Data Adjustment Method of Low-priced Data-glove based on Representative Hand Motion Using Medical Knowledge, Proceedings of ICAT2013, 2013.
- [3] ELKOURA G: Handrix: Animating the Human hand, Proceedings of the 2003 ACM SIGGRAPH / Eurographics Symposium on Computer Animation, pp. 110-119, 2003.
- [4] 高橋寛昌, 舟橋健司: 医学的知見を利用した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, 日本バーチャルリアリティ学会第 18 回大会講演論文集, pp. 574-577, 2013.