

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

A data adjustment method of low-priced data-glove based on hand motion pattern estimation

濱口真一¹⁾, 舟橋健司²⁾

Shinichi Hamaguchi and Kenji Funahashi

1) 名古屋工業大学 工学研究科

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

2) 名古屋工業大学 情報基盤センター

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

Abstract : Data-glove is an I/O device widely used in virtual reality research field. An expensive glove tends to have many sensors, but a low-priced one has too few sensors to get accurate data of human hand motion. In this paper, we propose a data adjustment method for reproducing natural motion by few-sensored data-glove. We survey an angle correlation between each finger joint about three types of motion, and estimate the present motion type using this correlation. Then we adjust data-glove outputs to appropriate finger angles according to estimated motion. Using this method, we can use few-sensored and low-priced data-glove to capture natural hand motion.

Key Words: data-glove, hand motion pattern estimation, finger joints correlation

1. はじめに

近年、エンターテインメントをはじめとする様々な分野で、バーチャルリアリティ(VR)技術を用いたコンテンツに関する研究が盛んである。このようなコンテンツのインターフェースとしては、キーボードやマウスによる入力に加え、VR研究において広く使われているデータグローブが挙げられる。現在のデータグローブは高価格帯のものほど多数のセンサーを備える一方、低価格帯のものではセンサー数が少なくなる傾向にあり、後者では手の動作の詳細なデータを取得できない。当研究室では、一般家庭での利用を想定し、センサー数の少ない低価格帯のデータグローブで自然な手動作の取得を行うために、指の各関節同士の相関関係を用いる手法 [1] を提案している。しかし、この手法では手の動作を手を開いた状態から握る状態への 1 種類に限定しており、我々の手で実際に可能な多様な動作については対応できていない。人間の手の多様な動作を、把持対象となる物体の形状情報と運動学を用いて再現する研究 [2] も行われている。そこで当研究室では、指の各関節同士の相関関係と把持対象となる物体の形状情報を併用する手法 [3] も提案している。

本論文では、物体の形状情報を用いるのではなく、データグローブのセンサー出力値のみを利用し、各指同士の屈曲具合の関係を基に手動作を取得するデータ補正法を提案す

る。まず手の動作のうちキーとなる代表的な動作を想定し、各動作における各指同士の屈曲具合の関係を実験により導出する。これらの関係を基に、データグローブのセンサー出力値から現在の手動作の種類を推定し、その上でそれぞれの種類の動作における指関節同士の相関関係により測定値を補正することで、センサー数の少ないデータグローブでも自然な手動作の取得が可能となる。

2. 従来研究

当研究室では、これまでにセンサー数の少ないデータグローブで自然な手の動作を取得するためのデータ補正法 [1] を提案している。低価格帯のデータグローブが備えるセンサーは、複数の指の関節の動きをまとめて計測する仕様のもが多く、手動作のデータを正確に取得することはできない。そこで、この手法では手動作の種類を手を開いた状態から握るという 1 種類に限定し、その動作における指関節角度の相関関係から角度を決定している。まず、指のセンサーが測定した値を基に各指の第 3 関節 (指の付け根側) の曲げ角度を決定する。そして、握る動作での、第 3 関節角度及び指関節同士の相関関係に基づき、残りの指関節の曲げ角度を決定する (式 1-3)。

$$\theta_{i3} = A_i s_i + B_i \quad (1)$$

$$\theta_{i1} = C_i \theta_{i3} + D_i \quad (2)$$

$$\theta_{i1} = \frac{2}{3}\theta_{i2} \quad (3)$$

θ_{i1} 、 θ_{i2} 、 θ_{i3} はある指 i における第 1、第 2、第 3 関節の曲げ角度であり、 s_i は指 i のセンサーの測定値を表す。また、 A_i 、 B_i 、 C_i 、 D_i は指 i における定数である。なお、式 3 はよく知られた関係式である [4]。これらの式を用いて 1 個のセンサーから指の各関節角度を求めることで、合計 5 個のセンサーから 15 個の関節角度を決定し、手動取得することができる。しかしこの手法では、現実の手で実際に可能な複雑かつ多様な動作には対応できていない。

3. 手動作推定に基づくデータ補正

本論文では、人間が日常的に行う手動作の種類を調査結果 [5] から、「物体を把持する動作」に着目し、「握る動作」、小さなものを「摘む動作」、薄いものを「挟み込む動作」の 3 種類を主要な把持動作と位置付ける。これらの手動作において、人間の指は動作の開始から終了まで、手全体である程度決まった動きをすることを考えられる。このことから、特定の手動作において、手の指同士には「ある指がこの程度屈曲していたら別の指はこの程度屈曲する」という関係が見られる。ここでは、3 種類の手動作における各指同士の関係から現在の手動作を推定し、推定結果に基づいてデータを補正する手順について述べる。

3.1 データグループの正規化

本手法を様々なデータグループに適用可能とするために、センサーが測定した値を正規化することを考える。低価格帯のデータグループの多くは、指 1 本に対して 1 つのバンドセンサーを備えるタイプのものが一般的である。本論文における実験で使用するデータグループは、各指につき 1 つのバンドセンサーを備え、手全体で 5 つのセンサーをもつ 5DT 社の 5DT Data Glove 5 Ultra (図 1) である。5DT のバンドセンサーは第 2 関節と第 3 関節を覆うように設置されており、第 1 関節の動きは測定できない。



図 1: 5DT Data Glove 5 Ultra

データグループが測定した値を正規化するため、実際にグローブを装着してデータ収集を行う。指の各関節角度が 0° のときを初期状態とし、ここから第 3 関節角度が 30° 、 60° 、 90° の時にセンサーが測定した値を収集する。このとき第 2 関節は動かさないものとする。収集したデータを基に散布図 (図 2) を作成し、図中のように各データ点の近傍

を通る直線を引く。ある指 i のセンサー測定値 s_i に対して、正規化後の値 S_i を求める式は直線の方程式 (式 4) とする。

$$S_i = N_{1i}s_i + N_{2i} \quad (4)$$

N_{1i} 、 N_{2i} は定数である。この式を用いて、測定データを正規化する。なお、正規化値 S_i は第 3 関節そのものの角度を示すものではない。なぜなら第 2 関節も曲げた場合のセンサー測定値、正規化値はともに第 3 関節だけではなく、第 2 関節の影響も受けているからである。また今後、本稿で述べる「センサー出力値」はセンサーが測定した値を正規化した値を指すものとする。

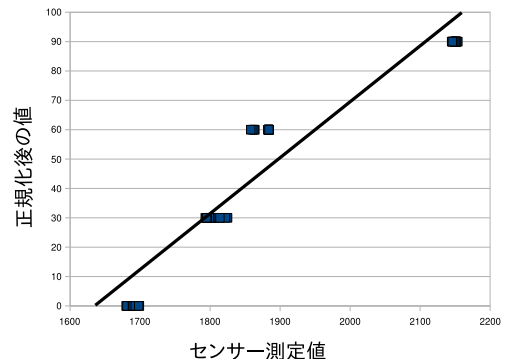


図 2: 正規化のための散布図 (人差し指の例)

3.2 指同士の関係による手動作推定

現在の手動作の種類を推定するために、物体を握る動作、摘む動作、挟み込む動作のそれぞれにおいて指同士にみられる関係を調査する。まず事前に、実際にグローブを装着して動作の開始から終了までのセンサー出力値をサンプリングする。各動作につき複数回サンプリングを行い、平均を取った結果は図 3 のように表せる。実際には指 5 本のセンサー出力値であり 5 次元空間として表されるが、図では 2 次元の例を示す。ここまでの調査で、各動作において、ある指 i のセンサー出力値が S_i のときの他の指のおおよそのセンサー出力値がわかる。

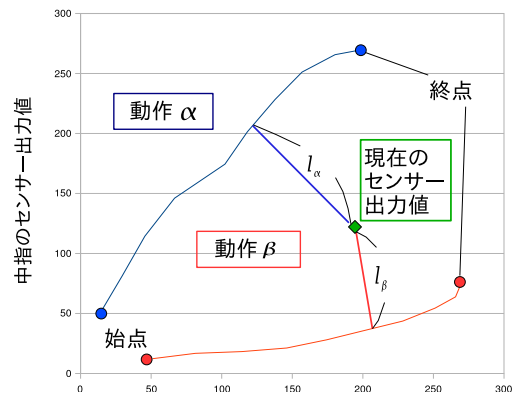


図 3: 指同士のセンサー出力値の関係 (人差し指と中指の例)

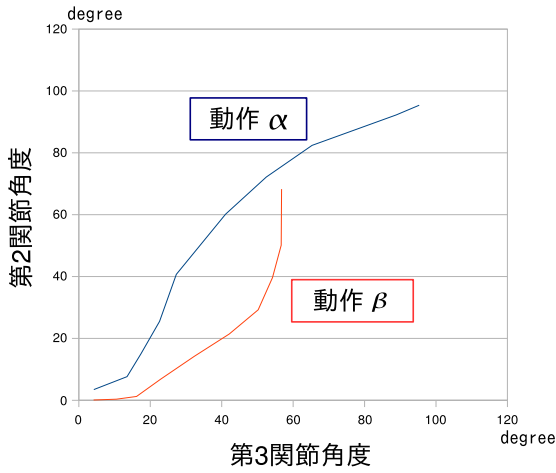


図 4: 第 2、第 3 関節角度の関係 (人差し指の例)

続いて、調査した各動作における出力値サンプルと現在の手動作における指同士の動きの関係から、現在の手動作の種類を推定する。ユーザーの現在の手動作が 3 種類のどれかに近い場合、各指のセンサー出力値はその手動作におけるサンプルデータに近い値になると予想される。しかし実際には、現在の手動作におけるセンサー出力値が、3 種類の手動作のうち 1 種類のサンプルデータに完全に一致することは少ない。そこで本稿では、現在の手動作を、3 種類すべての手動作の要素を併せ持つ「合成動作」であると考え、現在の手動作に含まれる各手動作の比率 r を推定する。 r の推定には、3 種類の手動作における出力値サンプルと現センサー出力値の 5 次元空間上での最短距離を用いる。ここで、例として動作 α と動作 β の 2 種類の合成動作を考え、このときの各手動作の比率 r を推定する。動作 α のサンプルデータと現在のセンサー出力値との最短距離を l_α 、動作 β のサンプルデータと現センサー出力値との最短距離を l_β とすると、動作 α の比率 r_α 及び動作 β の比率 r_β は、以下の式 5 のように求められる。

$$r_\alpha = \frac{l_\beta}{l_\alpha + l_\beta}, r_\beta = \frac{l_\alpha}{l_\alpha + l_\beta} \quad (5)$$

これにより、現在の手動作は比率 r_α で動作 α を含み、比率 r_β で動作 β を含む合成動作であると推定する。

3.3 指関節角度の決定

前節の推定結果に基づき、データグローブの出力値から指の関節角度を求める手順について述べる。まず事前に、センサー数の多いデータグローブ (Immersion 社、CyberTouch: 各指につき第 3 関節と第 2 関節に計 2 個、その他の部位に数個、全体では計 18 個のセンサーをもつ) を用いて、各手動作の開始から終了までの各指の第 2、第 3 関節角度のサンプリングを行う。各動作につき複数回サンプリングを行い、関節ごとに平均を取った結果は図 4 のように表せる。この結果と図 3 の出力値サンプルを、開始点と終了点が一致するように対応付けることにより、各指の第 2、第 3 関節について図 5 に示すような関係が得られる。ある手動作 p におけるある指 i のセンサー出力値 S_i に対し、各指の角度 θ_{i2} 、

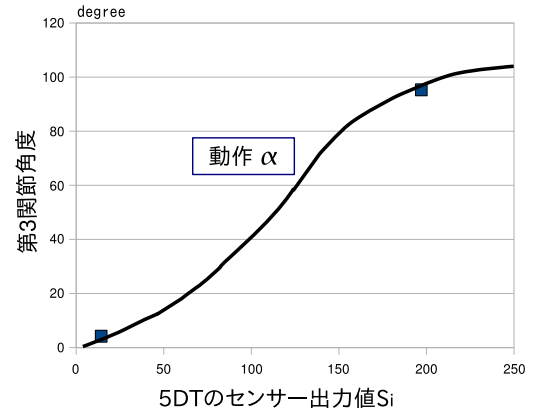


図 5: 出力値に対する第 3 関節角度 (人差し指の例)

θ_{i3} を以下の関節角度決定のための近似曲線方程式 (式 6、7) により求める。

$$\theta_{i2} = E_{pi2}S_i^3 + F_{pi2}S_i^2 + G_{pi2}S_i + H_{pi2} \quad (6)$$

$$\theta_{i3} = E_{pi3}S_i^3 + F_{pi3}S_i^2 + G_{pi3}S_i + H_{pi3} \quad (7)$$

なお E_{pij} 、 F_{pij} 、 G_{pij} 、 H_{pij} は定数である。

実際にデータグローブから各指 i のセンサー出力値 (正規化後) S_i が得られた場合、各手動作の合成比率 $r_p(r_\alpha, r_\beta)$ を求めた上で、以下の式により関節角度決定のための合成係数 $E_{wij} \sim H_{wij}$ を得る。

$$\begin{aligned} E_{wij} &= r_\alpha \cdot E_{\alpha ij} + r_\beta \cdot E_{\beta ij} \\ &\vdots \\ H_{wij} &= r_\alpha \cdot H_{\alpha ij} + r_\beta \cdot H_{\beta ij} \end{aligned} \quad (8)$$

$E_{\alpha ij} - H_{\alpha ij}$ 、 $E_{\beta ij} - H_{\beta ij}$ はそれぞれ動作 α と動作 β における式 6、7 の係数である。合成係数を適用した式 6、7 と S_i から、各指の第 2、第 3 関節の角度が得られる。また、第 1 関節角度については式 3 により決定する。

4. 実験

本論文で述べたデータ補正法に基づく実験システムを作成した。実験システムの様子を図 6 に示す。実験システムは Dual-Core AMD Opteron(tm) Processor 1210 1GHz の CPU をもつマシン環境で、C 言語により実装している。実験システムでは取得した関節角度に基づく仮想手を CG として描画し、操作者は自身の仮想手を認識しながら操作を行うことが可能である。

自然な手動作取得が行えているか確認するため、データグローブを装着した被験者に 3 種類の動作を実行してもらい、アンケート調査を行った。以下に実験の手順を示す。

1. データグローブを装着した状態で握る動作、摘む動作、挟み込む動作を実行する。
2. 手を動かしているときの実際の手と画面上の仮想手の動きを比較する。



図 6: 実験システムの様子

- どの程度自然に動いているか、動きに違和感はないかを評価する。

これらの実験は 20 代の男性 9 人に対して行った。評価はリッカート法による 7 段階の尺度とし、「違和感を感じない」を「7」、「違和感を感じる」を「1」として行った。実験の結果を以下の表 1 及び図 7 のグラフに示す。

表 1: 評価点の平均値

	握る動作	摘む動作	挟み込む動作
平均値	6.4	5.3	3.5

握る動作と摘む動作については比較的高い評価が得られており、ある程度自然な手動作の取得が行えたといえる。一方、挟み込む動作についてはそれほど高くない評価が得られた。被験者からは、「仮想手の指関節が実際の手に比べて曲がりすぎているように感じる」との意見があった。これは、手動作推定における合成比率 r を、現在の出力値と各動作の出力値サンプルとの最短距離に基づいて決定しているためだと思われる。挟み込む動作の出力値サンプルの一部は、握る動作の出力値サンプルの一部と 5 次元空間上での座標が近い。そのため、手動作推定の際、これらの手動作の出力値サンプルと現在の手動作の出力値との間で、最短距離の差が小さくなる場合がある。このとき、被験者が意図していない握る動作の合成比率 r が大きくなると考えられる。

5. むすび

本論文では、センサー数の少ない低価格帯のデータグローブで自然な手動作を取得するためのデータ補正法を提案した。実験より、指同士の関係から手動作の種類を推定した後、その種類に応じて関節角度を決定することで、ある程度自然な手動作の取得が可能であるといえる。しかし、握る動作と挟み込む動作のような指同士の関係が類似している手動作では、どちらかの手動作についてユーザーに違和

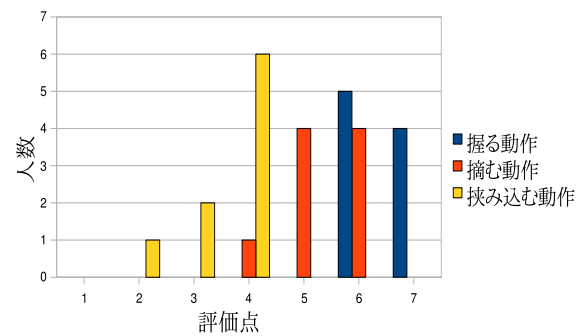


図 7: 各手動作の評価点

感を与える場合がある。この点を改善する事を今後の課題としたい。その他の課題点としては、指の長さや太さなどの手形状の個人差を考慮し、事前にユーザーの手形状の情報を取得してデータグローブのキャリブレーションを行うことが考えられる。また、文献 [3] の把持物体の形状情報を用いる手法との併用により、手動作推定の精度を向上することも挙げられる。今回は物体を把持する動作に着目して 3 種類の手動作を想定しているが、本手法は物体把持以外の手動作についても適用が可能である。センサー数が少ないデータグローブでも多様な手動作の取得が可能な自由度の高いデータ補正法の実現を目指したい。

参考文献

- 濱口真一, 舟橋健司: VR ネットショッピングのためのセンサー数の少ないデータグローブによるデータ補正法, 日本バーチャルリアリティ学会第 15 回大会講演論文集, 2A2-4 (DVD-ROM), 2010
- Ramon Mas Sanso, Daniel Thalmann: A Hand Control and Automatic Grasping System for Synthetic Actors, Computer Graphics Forum, Vol.13, No.3, pp.167-177, 1994
- 山本三四郎, 金沢秀典, 舟橋健司: 物体形状情報を利用したセンサー数の少ないデータグローブによる補正法, 日本バーチャルリアリティ学会第 16 回大会講演論文集, 2011 (印刷中)
- ELKOURA G.: "Handrix: Animating the Human Hand", Proceedings of the 2003 ACM SIGGRAPH / Eurographics Symposium on Computer Animation, pp.110-119, 2003.
- 長尾竜郎: 手指動作の研究 - 日常生活動作における正常手指機能の分析, リハビリテーション医学, Vol.8, No.1, pp.3-12, 1971