

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

A data adjustment method of low-priced data-glove based on object shape knowledge

山本三四郎¹⁾, 金沢秀典²⁾, 舟橋健司³⁾

Sanshiro YAMAMOTO, Hidenori KANAZAWA and Kenji FUNAHASHI

1) 名古屋工業大学 大学院工学研究科 情報工学専攻

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

2) NTT コムウェア東海株式会社

3) 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 widely used interface device in virtual reality. However, data-glove is generally so expensive, and inexpensive data-glove is not accurate measurements because of a small number of sensors. We have proposed a data adjustment method for reproducing natural motion by few-sensored data-glove. This method is based on an angle correlation between each joint of a finger in specific hand motion. However, this method can not reproduce the motion of grasping the various shape objects because of restricting hand motion to specific motion. In this paper, we propose a data adjustment method based on target object shape knowledge. The proposed method derives an angle correlation between each finger joint from target object shape. Then we can get the proper reproduction of grasping the various shape objects.

Key Words: data-glove, object shape knowledge, finger joints correlation

1. はじめに

データグローブはバーチャルリアリティ(VR)の分野において広く使用されているインターフェースの1つである。しかし、データグローブは高価なインターフェースであるため身近な生活の場では使用されていない現状にある。また、比較的安価なデータグローブはセンサー数が少なく手の動作を正確に計測、再現することができない。

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を用いた場合でも、自然な手の挙動を取得するためにデータグローブの出力値を補正する手法[1]を提案している。この手法では特定の動作での各指における指関節同士の相関関係式を利用してデータを補正し、自然な挙動を再現している。しかし、手の動作を特定の動作に限定しているため様々な物体形状に対する把持動作の再現ができない。

そこで本論文では、計算機は仮想空間上の物体の形状情報を有しているという点に着目し、把持対象となる物体の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の補正法を提案する。提案手法では、キーとなる特定の対象物体を正面から把持する場合における指関節同士の相関関係式を導出する。その上で、対象物体に対する手の姿勢(ここ

では、3次元空間内での手の傾きを意味する)も考慮して相関関係式を補正し、把持動作の再現を行う。これにより、様々な形状の物体に対して適切な把持動作の再現を可能にする。

2. 従来研究

当研究室ではこれまでに、少数のセンサーしか有しないデータグローブでも自然な手の挙動を取得するための補正手法[1]を提案している。この手法ではまず、各指に取り付けられているセンサーの出力値から、その指の第三関節(指の付け根側の関節)の曲げ角度を算出する。そして手を広げた状態から握るという特定の動作での、各指における関節同士の角度の相関関係と指の第三関節の曲げ角度から残りの指関節の曲げ角度を算出する(式1-3)。

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

$$\theta_{i2} = C_i \theta_{i3} + D_i \quad (2)$$

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

$\theta_{i1}, \theta_{i2}, \theta_{i3}$ は指 i における第一、第二、第三関節角度を表す。また、 A_i, B_i, C_i, D_i は指 i における定数であり、 s_i は、

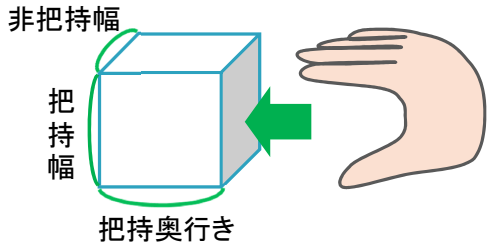


図 1: 手の姿勢に対する把持寸法

指 i のセンサーの測定値を表す。なお、式 3 は広く知られた関係である [2]。このようにして 1 個のセンサーから各指の各関節角度を求めることで、合計で 5 個のセンサーから 15 個の関節角度を算出し、仮想手の動きを再現している。しかし、この手法では手の動きは手を広げた状態から握るという特定の動作に限られており、様々な形状の物体に合った把持動作は再現できない。

3. 提案手法

3.1 物体形状を利用した補正法

人間が物体を把持する際の手の動作は、把持対象物体の形状やサイズに大きく依存する [3]。このことから、把持対象物体の形状情報から、人がその物体を把持する際の手の動作を推定することができると考えられる。また、形状情報の他に物体 (e.g. 鉛筆、携帯電話) の機能や質量に応じて物体に適した把持を行うと考えられるが、今回は物体形状情報に着目し、物体の機能や質量については考慮しないこととする。

ここで、実際には様々な形状の物体や把持の仕方があるが、物体形状の多くはおおまかに直方体や円柱などの基本的な形状で概形を表すことが可能であり、また、把持の仕方もいくつかのパターンに分類することができる [4]。そこで本論文では、いくつかのキーとなる直方体に対する把持動作について考察し、指関節同士の相関関係式を導出する。続いて、任意の直方体に対する関係式の導出方法について検討し、また直方体の正面だけでなく斜め方向からの把持についても考慮する。

3.2 基本把持寸法と基本把持動作

まず、キーとする直方体の大きさ (寸法) にいて考える。人が基本的な形状の物体を把持するとき、親指以外の四指の付け根をつないだ線と、物体の慣性主軸のいずれかが同じ方向を向くという傾向がある [5]。直方体を把持する場合は手の平が直方体のある一面に対しほぼ正対し、隣り合う一面とそれに向かい合う一面をそれぞれ親指と親指以外の四指で押えるように把持すると考えられる。そこで把持寸法を以下のように定義する (図 1)。

- 把持幅：親指と他四指にはさまれる方向の長さ
- 非把持幅：親指以外の四指の並びの方向の長さ
- 把持奥行き：手の平と向かい合う方向の長さ

この把持寸法に着目し、物体形状に基づく基本的な把持動作を考える。片手で扱う直方体の把持動作には様々な形態

	非把持幅 2cm	非把持幅 6cm	
		奥行き 2cm	奥行き 6cm
把持幅 2cm	つまみ小 	にぎり小 	はさみこみ小
把持幅 6cm	つまみ大 	にぎり大 	はさみこみ大

図 2: 基本把持動作と基本把持寸法

が考えられるが、ここでは以下の 3 つの動作を代表的なものとして扱う。

- つまみ：指先で物体を支える把持動作
- にぎり：指先を曲げて指全体で物体を支える把持動作
- はさみこみ：指先を伸ばして指全体で物体を支える把持動作

これらの基本的な把持動作を非把持幅と把持奥行きの 2 つの把持寸法から、以下のように分類する。

- つまみ：非把持幅の小さい物体を対象とした把持動作
- にぎり：非把持幅が大きく、把持奥行きが小さい物体を対象とした把持動作
- はさみこみ：非把持幅が大きく、把持奥行きが大きい物体を対象とした把持動作

続いて、把持寸法に基づき把持動作を分類する。事前に行った予備実験により、基準とする把持寸法を 2cm と 6cm と定め、これを基本把持寸法とする (図 2)。すると基本把持寸法により、キーとする直方体の把持寸法と基本的な把持動作は 6 つに分類できる。これら 6 つの把持動作を基本把持動作とする。それぞれの基本把持動作に対して、従来研究と同様に、式 2 に相当する式 4 (基本相関関係式) を導出する。

$$\theta_{i2} = C_{im}\theta_{i3} + D_{im} \quad (4)$$

ここで C_{im}, D_{im} は指 i の基本把持動作 m における定数である。なお、 θ_{i3}, θ_{i1} は式 1、式 3 を用いて求める。これにより、基本把持寸法の物体に対する把持動作の再現が可能である。

3.3 物体寸法に応じた把持動作の補正

把持対象物体が任意の把持寸法であるときは、対象物体の把持寸法と、基本把持寸法である 2cm, 6cm との差に従い、基本相関関係式のパラメータ同士の補間を行うことで把持寸法に応じた相関関係式を導出する。たとえば、対象物体の注目する把持寸法が k cm のとき、対応する把持寸法が 2cm の基本把持動作 α と 6cm の基本把持動作 β の基本相関関係式のパラメータ $C_{i\alpha}$ と $C_{i\beta}$ の内分 (外分) としてパラメータ $C_{i\alpha\beta}$ を、式 5 により決定する。

$$C_{i\alpha\beta} = \frac{nC_{i\alpha} + mC_{i\beta}}{m + n} \quad (5)$$

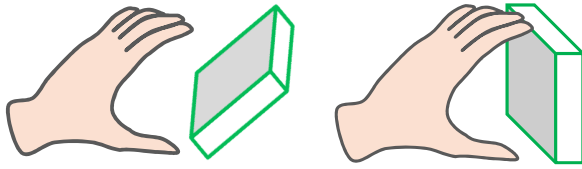


図 3: 同一の対象物体における把持動作の変化

m, n は対象物体の把持寸法と基本把持寸法の差で、 $m = k - 2, n = 6 - k$ である。同様に $D_{i\alpha\beta}$ についても、以下の通り補間する。

1. 把持奥行きの値に注目し、基本把持動作にぎり小と、はさみこみ小の相関関係式の内分・外分と、基本把持動作にぎり大と、はさみこみ大の相関関係式の内分・外分をとる
2. 非把持幅の値に注目し、基本把持動作つまみ小と 1. で求めた小の把持動作同士の相関関係式の内分・外分と、基本把持動作つまみ大と 1. で求めた大の把持動作同士の相関関係式の内分・外分をとる
3. 把持幅の値に注目し、2. で求めた 2 つの相関関係式の内分・外分をとる

以上の手順により、物体寸法に応じた把持動作の相関関係式を導き、物体寸法に応じた把持動作の再現が可能である。

3.4 手の姿勢に応じた把持動作の補正

ところで、物体把持に至る途中では手と物体とが正対していない場合もある (図 3)。そのため物体形状情報が既知でも物体に対する把持動作は一つに特定することができない。一方、把持の直前、および把持に至った後では手と物体は比較的対正しており、この関係を利用して、複数の物体が存在する状況から把持対象を予測する手法がある [5]。また、この関係に着目し、物体に対して手がどの方向から把持するかを推定する手法 [6] がある。本論文では文献 [6] の手法を応用し、把持対象物体に対する手の姿勢を推定した上で相関関係式の補正を行うことを考える。

まず、把持対象物体の方向を表す 3 本のベクトルを物体把持線、手の方向を表すベクトルを把持方向線、手の傾きを表すベクトルを把持傾き線として、以下のように定義する (図 4)。

- 物体把持線：把持対象物体である直方体の各面の垂線方向のベクトル
- 把持方向線：手の平の垂線方向のベクトル
- 把持傾き線：薬指の第三関節から人差し指の第三関節へ向かうベクトル

また、物体を把持する際に把持方向線の向きと一致する物体把持線の向きを把持方向、把持傾き線の向きと一致する物体把持線の向きを把持傾きとする。

次に、人が物体を把持する際に手の方向が物体に対し斜めに向かうことを考える。この場合、把持方向線と把持傾き

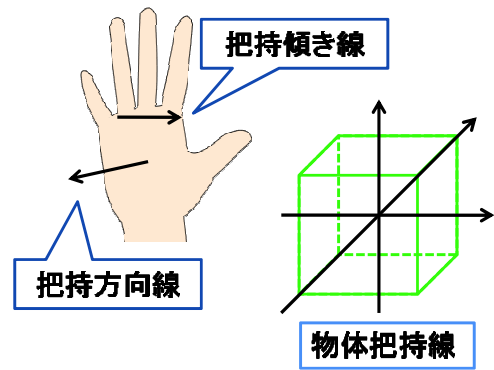


図 4: 把持方向線、把持傾き線、物体把持線

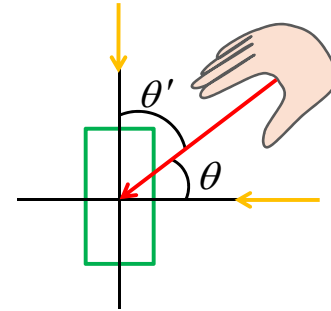


図 5: 把持方向線と 2 つの仮の把持方向のなす角

線は物体把持線の向きと同じ向きであるとは限らない。そこで、物体把持線と把持方向線、把持傾き線から把持寸法を推定し、これを元に相関関係式を導出する。しかし、手が物体に向かう途中で推定した方向と別の方向から物体を把持するように変化することも考えられる。そのため、2 つの把持寸法候補を決定し、それぞれについて物体寸法に応じた把持動作の相関関係式を求め、これを補正することを考える。

1. 把持方向線と各物体把持線の内積を求め、絶対値が大きい物体把持線を仮の把持方向として 2 つ選択する
2. 選択したそれぞれの物体把持線について、選択した物体把持線と直行している残り 2 つの物体把持線と把持傾き線の内積をそれぞれ求め、絶対値が大きい物体把持線を仮の把持傾きとする
3. 仮の把持方向、仮の把持傾きから把持寸法を推定し、それぞれについて相関関係式を算出する
4. 求めた 2 つの相関関係式のパラメータを把持方向線と仮の把持方向のなす角度 θ, θ' (図 5) を内分比として補正する

以上の手順により、物体把持線と把持方向線、把持傾き線から手の姿勢に応じた相関関係式を導き出す。この相関関係式を用いることで手の姿勢に応じた把持動作の再現が可能である。

さらに、把持対象となる物体が 2 つ存在する場合には、まず各物体に対する相関関係式を導出する。次に、手と各物体との距離を内分比として相関関係式を補正することにより、自然な把持動作が再現できる。

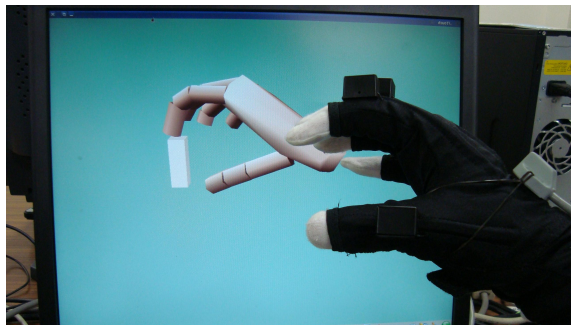


図 6: 実験の様子

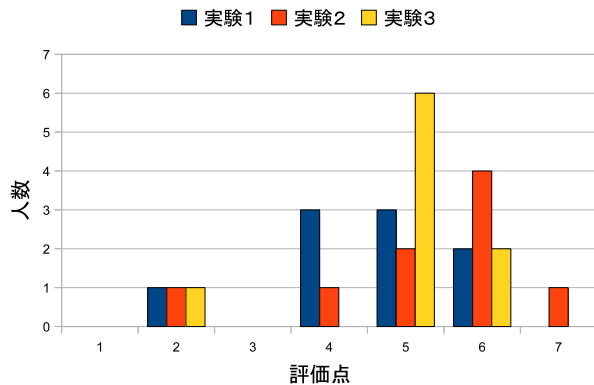


図 7: 各実験における評価点

4. 実験・考察

提案手法に基づく実験システム (図 6) を実装した。センサー数の少ないデータグローブとして 5DT 社の 5DT Data Glove5 Ultra を、手の 6 自由度を計測するために POLHEMUS 社の PATRIOT を用いた。実験システムでは、取得した関節角度に基づく仮想手が CG として描画され、操作者は自身の仮想手を確認しながら、ともに表示されている仮想物体を把持することができる。データグローブの補正法を評価するため、被験者 9 人に実験システムを体験してもらい、「仮想手の挙動の自然さ」について 7 段階にて評価してもらった。その結果を図 7、表 1 に示す。評価の目安は、「1:まったく自然に感じられない」、「4:モデルとして利用可能な程度の自然さを感じる」、「7:限りなく自然に近く感じられる」とした。

- 実験 1: 基本把持寸法以外の物体に対し物体と正対する方向から把持
- 実験 2: 基本把持寸法の物体に対し任意の方向から把持
- 実験 3: 基本把持寸法以外の物体を任意の方向から把持

実験の結果、センサー数の少ないデータグローブを用いても、物体の形状情報を利用することで、様々な物体に応じた把持動作のある程度自然な挙動が再現できるという評価が得られた。しかし、各実験の評価点にはばらつきが見られた。低い評価点を付けた人の評価はどの実験においても低く、高い評価点を付けた人の評価はどの実験において

表 1: 各実験における評価点の平均値

	実験 1	実験 2	実験 3
評価点の平均値	4.6	5.2	4.9

も高かった。これは、指の長さには個人差があるためセンサーの出力値から指の第三関節の角度を求めるときに誤差として表れ、把持動作の再現を行う過程で誤差が大きくなったためと考えられる。

5. むすび

本論文では、センサー数の少ない比較的安価なデータグローブでも、把持対象としている物体の形状情報を利用することで、手の動作を再現可能な補正法について提案した。本手法では、片手による把持を想定した任意の直方体物体に対して、任意の方向からの把持動作を再現可能である。今後の課題としては、指の長さなどの個人差によって生じるセンサーからの出力値の誤差を考慮することや、直方体だけでなく円柱や角錐などの物体や複数の物体が結合した物体への適用が挙げられる。また、一般ユーザー向けのサービスとして期待できる、VR ネットショッピングシステム [7] への適用も実現していきたい。

参考文献

- [1] 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
- [2] George Elkoura, Karan Singh: Handrix: Animation the Human Hand, Proc. ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation, pp.110-119, 2003
- [3] 福田浩士, 福村直博, 片山正純, 宇野洋二: 対象物の認知と手の把持形状の計算との関係: ヒトの把持運動への計算論的アプローチ, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J82-DII, No.8, pp.1314-1326, 1999
- [4] 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
- [5] 中村宜孝, 宮里勉, 岸野文郎: 把持動作における preshaping の解析とターゲット予測, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-A, No.6, pp.1003-1013, 1997
- [6] 山崎仁之: 把持対象に注目した動作計測に基づく手のアニメーション, 奈良先端科学技術大学院大学修士学位論文, 2006
- [7] Kenji Funahashi, Masahisa Ichino, Mototoshi Teshigahara: Experiments for Developing Touchable Online Shopping System, Proc. ACM VRST2009, pp.241-242, 2009