

# 12関節からなる構造的に強相関な指姿勢の データグローブ4出力経由制御

岩崎 耕祐<sup>1</sup> Lim Jing Zhi<sup>2</sup> 鈴木 寿<sup>3</sup>

**概要:** 各指につき第2関節および第3関節(掌側)を覆うように1本の光ファイバーを這わせ掌側の一端から投入した光が指先側の一端にて折り返し戻るまでに光ファイバーの曲がりに応じて漏れる原理に基づく曲げセンサーを利用することにより5本の各指のたわみの程度を計測するデータグローブとして5DT Data Globe 5 Ultraの右手用を対象とし、親指以外の4本の光ファイバーすなわち曲げセンサーの出力から各指の第2関節の角度および第3関節の角度を推定することを試みた。具体的には、被験者1人が7種類の直径の円筒を握った際の各指の第2関節および第3関節の角度の700実測値(画像上のマーカによる計測)に対するセンサーの700出力値の局所的線形近似における誤差分散を求めた。その結果を記録し線形補間を伴う表参照方式、および、各指において第1関節(指先側)の角度は第2関節の角度のほぼ2/3であるという知見に基づき、同データグローブを用いた仮想空間内右手モデルの親指以外の4指をなす12関節の制御性の感性評価を試みた。

## 1. はじめに

AR/VR技術の分野において、手モデル(手の形状をした仮想物体)の姿勢を制御する試みがおこなわれており、データグローブによる直感的な情報入力を用いた手法が、高い没入感を実現するとして注目されている。手モデルの制御には、データグローブのセンサー出力値から手の姿勢(指節の位置と向き)を推定することが必要であり、研究がおこなわれている[1], [2]。本論文では、これらの手法で 사용되는多数のセンサーを備えた高価格のデータグローブに加えて、将来的に普及が見込まれる低価格の少数のセンサーを搭載したデータグローブにおいてもセンサー出力値から手の姿勢(各指の第2関節および第3関節の角度)を推定し、手モデルの制御がおこなえる手法を提案する。そして、実際にデータグローブを用いて手モデルの親指以外の4指をなす12関節の制御性の感性評価をおこなう。

## 2. 使用する機器

### 2.1 データグローブ

データグローブは、人間の手の動作によって情報入力がおこなえるセンシング装置である。本論文では、5DT (Fifth Dimension Technologies)製の5DT Data Glove 5 Ultraの右手用を使用する。同データグローブは、各指に

つき第2関節および第3関節(掌側)を覆うように1本の曲げセンサーを搭載し、各指のたわみの程度を計測する。

### 2.2 右手モデル

データグローブのセンサー出力値から推定した各関節の角度を入力することにより、制御ができる仮想空間内の右手モデルを作成した。右手モデルの構造について述べる。親指以外の各指が第1関節は0度から80度、第2関節は0度から100度、第3関節は0度から90度の範囲で曲がるように設計した[3]。指の長さ、手ひらの幅の比率については、河内らの計測結果[4]を参考にした。

## 3. マーカーによる画像上位置の取得

手指関節の画像上位置をマーカーによって取得する手法を提案する。さらに、手指関節の位置制約を利用し、領域抽出の処理途中で発生する外れ値の影響を低減する。

提案手法は、以下の6つの処理で構成される。

- (1) 入力画像の色空間をHSVに変換
- (2) 二値画像の作成
- (3) モルフォロジー処理
- (4) ラベリング
- (5) 抽出した領域ごとに候補点を定義
- (6) 手指関節の制約を満たす候補点を探索

処理の流れについて述べる。

まず、撮影照度の影響を除去するために、入力画像の色

<sup>1</sup> 中央大学大学院 理工学研究科 情報工学専攻

<sup>2</sup> 中央大学大学院 理工学研究科 電気・情報系専攻

<sup>3</sup> 中央大学 理工学部 情報工学科

空間を HSV に変換する。続いて、マーカーの各色に対応した色領域を設定し、入力画像から二値画像を作成する。次に、二値画像にモルフォロジー処理をおこない、インパルスノイズと領域中の穴を除去する。それから、二値画像にラベリングをおこない、マーカーと推定される領域をすべて抽出する。さらに、抽出した領域を包括する最小の矩形を求め、その矩形の中心座標を算出し、候補点とする。そして、候補点から手指関節の制約を満たす点を探索し、見つけた点の座標を手指関節の画像上位置とする。ここで、上述の手法を利用して、手指関節の画像上位置を推定するプログラムを作成した。外れ値として複数のマーカーを貼付し、黒枠をデータグローブと見立てて、枠内に人差し指の指節の長さと同じ間隔で色マーカーを貼付したボール紙を撮影し、入力画像として処理をおこなった結果、入力画像に外れ値が存在する場合にも、影響を受けず、手指関節の画像上位置を推定できることを確認した。

#### 4. 手指関節の角度推定

前章で提案した手法から得られる画像上位置の情報とともに、手指関節の角度を計測することが可能である。

親指以外の 4 本の曲げセンサーの出力から各指の第 2 関節の角度および第 3 関節の角度を推定することを試みた。具体的には、被験者 1 人が 7 種類の直径の円筒を握った際の人差し指第 2 関節の角度の 700 実測値（画像上のマーカー計測により 28[deg] から 88[deg] までの整数値として分布）に対するセンサーの 700 出力値（3 から 65 までの整数値として分布）の局所的線形近似における誤差分散は 23.33、第 3 関節の角度の実測値（36[deg] から 82[deg] まで分布）に対するセンサーの出力値（3 から 65 まで分布）の局所的線形近似における誤差分散は 61.36 であった。同様に、中指第 2 関節の角度の実測値（24[deg] から 87[deg] まで分布）に対するセンサーの出力値（48 から 91 まで分布）のそれは 13.44、第 3 関節の角度の実測値（46[deg] から 92[deg] まで分布）に対するセンサーの出力値（48 から 91 まで分布）の局所的線形近似における誤差分散は 29.46 であった。薬指第 2 関節の角度の実測値（22[deg] から 88[deg] まで分布）に対するセンサーの出力値（3 から 79 まで分布）のそれは 21.62、第 3 関節の角度の実測値（42[deg] から 88[deg] まで分布）に対するセンサーの出力値（3 から 79 まで分布）のそれは 66.84、小指第 2 関節の角度の実測値（12[deg] から 66[deg] まで分布）に対するセンサーの出力値（15 から 75 まで分布）のそれは 28.67、第 3 関節の角度の実測値（36[deg] から 84[deg] まで分布）に対するセンサーの出力値（15 から 75 まで分布）のそれは 31.44 であった。以上の結果を記録し線形補間を伴う表参照方式、および、第 1 関節の角度  $\theta_{DIP}$  と第 2 関節の角度  $\theta_{PIP}$  には、比例の相関関係があり、George らの研究 [5] によって以下の式が知られていることに基づき、角度の推定をおこなう。



図 1 右手モデルの制御実験

$$\theta_{DIP} = \frac{2}{3}\theta_{PIP} \quad (1)$$

#### 5. 右手モデルの制御実験

データグローブを用いた仮想空間内右手モデルの親指以外の 4 指をなす 12 関節の制御性の感性評価を試みた。実験時に撮影した画像を図 1 に示す。実際の手と仮想空間内の右手モデルの姿勢を比較したところ、実験 16 項目のうち、人差し指は 8 項目、中指は 6 項目、薬指は 5 項目、小指は 1 項目で違和感を覚えるという結果が得られた。

#### 6. おわりに

本論文では、各指の第 2 関節および第 3 関節の角度の実測値に対するセンサーの出力値の局所的線形近似における誤差分散を求め、その結果を記録し線形補間を伴う表参照方式によって、センサーの出力値から各指の第 2 関節の角度および第 3 関節の角度を推定することを試みた。

今後は、手指関節の角度とセンサー出力値の関係に加えて、手指関節どうしの角度の関係や手指どうしの姿勢の関係についても調査をおこない、右手モデルが人間の手の構造上不可能である姿勢を表示した場合について例外処理を適用する機能を開発する予定である。

#### 参考文献

- [1] 大内田裕胤, 藪内智浩, 船富卓哉, 飯山将晃, 棕木雅之, 美濃導彦: 姿勢事例の獲得とその補完による手の計測形状の姿勢操作, 電子情報通信学会技術研究報告, HIP, ヒューマン情報処理, Vol. 109, No. 471, pp. 465-470, 2010.
- [2] 山根卓也, 船富卓哉, 飯山将晃, 美濃導彦: データグローブのセンサデータに基づく各指節の位置・向き推定手法の検討, 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU, パターン認識・メディア理解, Vol. 111, No. 353, pp. 77-82, 2011.
- [3] 米本恭三, 石神重信, 近藤徹: 関節可動域ならびに測定法, リハビリテーション医学, Vol.32, No.4, pp.207-217 (1995).
- [4] 河内まき子: 2012: AIST 日本人の手の寸法データ (online), 入手先 <<https://unit.aist.go.jp/hiri/dhrg/ja/dhdb/hand/index.html>>
- [5] George ElKoura, Karan Singh: Handrix: Animating the Human Hand, Proceedings of the 2003 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation, pp. 110-119, 2003.