

# 手指画像における輪郭と爪を用いた手の形状推定

旭川工業高等専門学校 ○平沢 拓己, 戸村 豊明

## 要 旨

市販の USB カメラを平行に配置したステレオカメラを用いて、掌側から撮影した手指画像から手の形状推定を行う場合、手の輪郭のみから正しい指先・指間位置を検出するのは困難である。そこで本研究では、画像内の手の輪郭と爪領域を用いて、正しい指先・指間位置を検出する事により、高精度な手の形状推定を行う手法を提案する。

### 1. はじめに

ナチュラルユーザインタフェースにおいて、マーカーやデータグローブを装着せず、ユーザの手の動作だけで対象を操作するのが最も理想的かつ直観的な手段である。近年、カメラと赤外線カメラを組み合わせたセンサや、2台の赤外線カメラを組み合わせたセンサが次々と製品化されており、これらを用いて手の形状を非接触で獲得できる。これらに対し、市販の USB カメラを平行配置したステレオカメラは、より安価で高解像度なセンサになり得る。

このようなステレオカメラを用いて、掌側から撮影した手指画像から手の形状推定を行う場合、指の関節を大きく曲げると、手の輪郭のみから正しい指先・指間位置を検出するのが困難となり、輪郭以外の情報が必要となる。

そこで本研究では、ステレオカメラの手指画像における手の輪郭と爪領域を用いて、画像内での正しい指先・指間位置を検出する事により、高精度な手形状推定を行う手法を新たに提案する。

### 2. 本研究で提案する手形状推定手法

#### 2.1. 指先・指間位置の検出

本研究において、左右のカメラで撮影されたカラー画像から指先・指間位置を検出する手順は以下のとおりである。

- (1.1) カメラ画像を RGB 色空間から修正 HSV 色空間へと変換した後、 $0 < H < 30, 20 < Q_c < 170$ を満たす画素を肌色画素として抽出することにより、二値画像を作成する。
- (1.2) 二値画像において最大面積を持つ領域を手領域とし、手領域内の全画素の  $(x, y)$ 座標を主成分分析することにより、重心  $G$  と正規直交基底  $v_x, v_y$  を算出する。

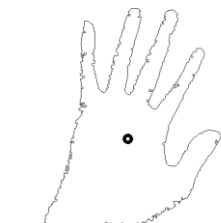


図 1. 手領域の輪郭

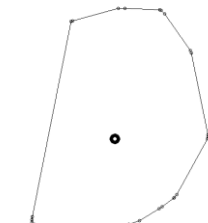


図 2. 輪郭の凸包



図 3. 検出された指先と指間



図 4. 修正後の指先と指間

- (1.3) 手領域の輪郭 (図 1) を凸包化し、各凸点の近傍に他の凸点がある場合、 $G$ からの距離がより大きい凸点のみを残すことにより、凸包を単純化する (図 2)。
- (1.4) 単純化された凸包の各凸点を位置ベクトルとして  $v_y$  へ射影する。この値が正ならば、その凸点から次の凸点までの区間において、 $G$ からの距離が極大値をとる輪郭点と始点の凸点を指先  $P_i (i = 1, 2, 3, 4, 5)$  として、極小値をとる輪郭点を指間  $Q_i (i = 1, 2, 3, 4, 5)$  として検出する (図 3)。
- (1.5) 検出された指先と指間を、親指～小指という順番に並び替えて、新しい指先  $P_i' (i = 1, 2, 3, 4, 5)$  と指間  $Q_i' (i = 1, 2, 3, 4, 5)$  を得るとともに、指間  $Q_1'$  と  $Q_5'$  がそれぞれ示指の根元と小指の根元に位置するように、 $Q_2'$  から最短距離の点  $Q_1''$ 、 $Q_4'$  から最短距離の点  $Q_5''$  へと更新する。
- (1.6) 単純化された凸包から凹状欠損を算出し、各凹点を位置ベクトルとして  $v_x$  へ射影する。この値が正であり、かつ、 $v_y$  へ射影した値が負ならば、この凹点を親指の根元とする (図 4)。ただし、 $Q_0$  の候補が複数ある場合、 $v_y$  への射影が最小の凹点を  $Q_0$  とする。
- (1.7) 上記から得られた  $P_i' (i = 1, 2, 3, 4, 5)$  を検出後の指先  $F_i (i = 1, 2, 3, 4, 5)$  とし、 $Q_0, Q_1'', Q_i' (i = 2, 3, 4), Q_5''$  を検出後の指間  $I_i (i = 0, 1, 2, 3, 4, 5)$  とする。

#### 2.2. 爪領域の検出

本研究では、藤嶋・星野が提案する手法 [1], [2] を用いて、手領域内に存在しているかもしれない爪領域を検出する。はじめに、第 1 探索の手順を以下に記す。

- (2.1) 手順(1.2)で得られた手領域内の各画素の RGB 成分から各成分の平均値を算出した後、RGB 成分と平均値の偏差を各画素について算出する。
- (2.2) 手順(2.1)で得られた偏差を主成分分析し、手領域内の各画素の第 3 主成分座標を爪尤度として定義する。爪尤度が閾値 (= 6.0) を超える画素を爪候補画素として抽出し、二値画像を生成する。
- (2.3) 手順(2.2)で得られた二値画像を平滑化・ラベリングすることにより、爪候補領域  $R_i (i = 1, \dots, L)$  を得る。
- (2.4)  $R_i$  において爪尤度の大きい 100 画素を抽出し、その重心  $G_i (i = 1, \dots, L)$  を注目点とする。

次に、第 2 探索①の手順を以下に記す。

- (2.5)  $G_i$  を中心とする  $5 \times 5$  領域を類似色集合領域 (以下、SCSR) とし、各 SCSR 内の爪尤度の平均を算出する。
- (2.6) 各 SCSR の外周上にある点の爪尤度と平均値の差が  $-3.0$  以上ならば、その点を SCSR に連結する。SCSR を一周後、爪尤度の平均値を再計算する。連結される点が無くなるまで、これを繰り返す。
- (2.7) 手順(2.6)が終了した後、面積が大き過ぎる SCSR を爪候補から除外する。

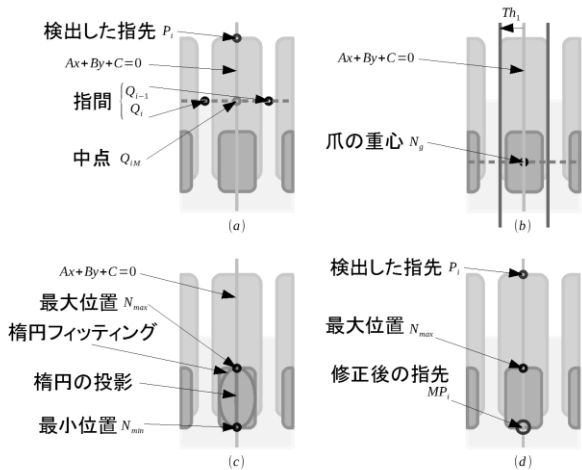


図 5. 爪領域を用いた指先位置の修正手法

続いて、第 2 探索②の手順を以下に記す。

- (2.8) 手順(2.5)~(2.7)により得られた爪候補領域の注目点  $G_j (j = 1, \dots, M)$  を中心に、 $41 \times 41$  の Region of Interest (ROI) 領域を考える。ROI 領域内で上位 25% の爪尤度を持つ画素を、二値画像  $I_j^{ROI}$  へ転写する。
- (2.9) 各  $I_j^{ROI}$  にメディアンフィルタを適用し、平滑化画像  $I_j^{smooth}$  を生成した後、その白画素数  $N_c^i$  を数える。
- (2.10)  $I_j^{ROI}$  と  $I_j^{smooth}$  の排他的論理和によって得られる二値画像の白画素数  $N_s^i$  を数える。
- (2.11)  $N_s^i / N_c^i < 1.2$  を満たす  $R_j$  を、爪領域  $N_k (k = 1, \dots, N)$  として検出する。

### 2.3. 指先位置の修正

2.2 節の手法により 1 つ以上の爪領域  $N_k$  が得られた場合、2.1 節の手法により検出された指先  $F_i$  には誤検出が含まれている可能性がある。本研究では、以下に記す手順に従って爪と指先との対応関係を求める事により、誤検出された指先位置を修正する。

- (3.1)  $i = 2, 3, 4, 5$  (拇指以外の指) において、2.1 節で検出された指先  $F_i$  と、指間  $I_{i-1}, I_i$  の中点  $I_{iM}$  を通る直線  $Ax + By + C = 0$  の係数  $A, B, C$  を求める (図 5 (a))。
- (3.2)  $N_k$  の重心と  $Ax + By + C = 0$  との距離が最小で、かつ、閾値  $Th_1$  以下である爪領域を求める。これが得られたら、その爪領域の重心を中心として、カメラ画像をもとに、 $41 \times 41$  のエッジ画像を作る (図 5 (b))。
- (3.3) 手順(3.2)により得られたエッジ画像に対して、楕円フィッティングを適用する。これによって得られた楕円と  $Ax + By + C = 0$  との交点として、爪の最大位置  $N_{max}$  と最小位置  $N_{min}$  を算出する (図 5 (c))。
- (3.4)  $N_{max}$  と  $F_i$  との距離が閾値  $Th_2$  以下ならば、指先位置を更新せず、閾値よりも大きければ、 $F_i = N_{min}$  へと更新する (図 5 (d))。

### 2.4. 形状推定

左右のカメラ画像それぞれに対し、2.1 節, 2.2 節, 2.3 節の手法を適用する事により、画像内の正しい指先・指間位置が得られる。次に、平行ステレオ法を用いて、カメラ座標系に



図 6. 指先位置修正の成功例



図 7. 指先位置修正の失敗例

における指先・指間の 3 次元位置を計算する。最後に、これらの位置をもとに、カメラ座標系における掌の位置・姿勢、および各指の関節角度を推定する。

本研究では、掌の位置・姿勢の計算に主成分分析を用い、各指の関節角度の推定にロボットマニピュレータの逆運動学問題の反復解法である Cyclic Coordinate Descent 法 [3] を用いている。ただし、各指の関節間距離は、予め測定しておくものとする。

### 3. 実験結果

本研究で提案している手の輪郭と爪領域を用いた手形状推定手法の有効性を確認するため、正しい指先・指間位置を検出する実験を行なった。

はじめに、本実験の成功例を図 6 に示す。次に、図 6 と同じ入力画像に対して、異なる閾値を与えて実行した場合、図 7 のような結果となる。

### 4. 考察

図 6 の実行例において、環指および小指の指先位置  $F_4, F_5$  の修正は成功している。しかしながら、中指の指先位置  $F_3$  が指間位置  $I_3$  付近へと誤修正されている。一方、図 7 の失敗例においては、閾値が不適切なため、全く修正されていない。本実験では、最初は閾値  $Th_2$  を一定値に保っておき、閾値  $Th_1$  を増大させていくことで、図 6 のように一部の指先の修正は成功したが、同時に誤修正も生じた。以上の結果より、点と直線の距離に関する閾値をある程度緩く設定しておく必要があるが、緩すぎれば誤修正が生じることがわかった。

### 5. まとめと今後の課題

本研究では、ステレオカメラの手指画像における輪郭と爪を用いて、画像内の正しい指先・指間位置を検出する事により、高精度な手形状推定を行う手法を提案し、指先・指間位置の検出実験を行なった。

今後の課題としては、GPU を用いた検出処理の高速化や、指が自己隠蔽された場合の形状推定などが挙げられる。

### 参考文献

- [1] 藤嶋教彰, 星野聖 : 肌領域における色の連続性を利用した爪検出の高精度化, 社団法人映像メディア学会技術報告, Vol.37 No.12, pp.5-8, 2013.
- [2] Noriaki Fujishima, Kiyoshi Hoshino : Fingernail Detection System Using Differences of the Distribution of the Nail-Color Pixels, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.17 No.5, pp. 739-745, 2013.
- [3] Chris Welman : Inverse Kinematics and Geometric Constraints for Articulated Figure Manipulation, M.Sc. Thesis, Simon Fraser University, 1993.