

## ハフ変換による掌の位置と形状の推定法の検討

安達栄輔、福本一朗  
長岡技術科学大学

本報告では、マンマシンインタフェースへの応用を目的として、掌の位置と形状を Hough 変換を用いて推定する方法を提案する。

本方法では、掌の動きをビデオカメラで撮影し、得られた連続する 2 枚の画像列からオプティカルフローと呼ばれる見かけの速度場を計算する。このオプティカルフローの大きさと方向が、ある条件を満たしている領域を抽出する。その後、Hough 変換によりその領域の形状を解析することによって、掌位置と形状を推定する。

掌位置によりポインティング動作を、掌形状によりコマンド入力を行うことを想定し、手に付けたマーカーを基準として掌位置の精度と掌形状の識別の評価を行った。

### A examination of method estimating palm's position and shape by Hough transform

Eisuke ADACHI, Ichiro HUKUMOTO  
Nagaoka University of Technology

In this paper we propose a method that estimate the palm's position and shape using Hough transform for man-machine interface.

First, this method calculates optical flow from two sequential hand images that is captured by video camera. And a region that satisfies a certain condition about magnitude and direction of motion vector is extracted. After analyzing the shape of the region, this method estimates palm's position and shape using Hough transform.

On the supposition that palm's position and shape respectively realize pointing movement and command input, we evaluated accuracy of the palm's position on the basis of marker attached to the hand and distinction of the palm's shape.

#### 1 はじめに

マンマシンインタフェースに用いるための掌の追跡方法には、手にマーカーを付着させる方法や、肌色を抽出する方法が考えられる。マーカーを付ける方法では、ユーザに煩わしさを与えてしまう。また、肌色を抽出する方法では、肌以外で肌色と誤認識してしまったり、長袖でなければならぬという制限がある。そこで、手

の動きに着目することによって、衣服や、肌の色に依存しない掌の追跡法を提案する。

本報告では、まず動き領域を抽出する方法を述べ、その後この領域を解析して掌の位置と形状を推定する方法を述べる。

## 2 動き領域の抽出

カメラ内では、主に手のみ運動しているものとする。そこで、まずオプティカルフローを算出し、フローを大きさ成分と方向成分に分けて考え、最も頻度の高い方向成分を手の動き領域とする。

### 2.1 オプティカルフローの算出

動き領域の抽出には、時間的に連続する2枚の画像列を用いる。この2枚の画像から勾配法によりオプティカルフローを求める。勾配法の基礎方程式は、

$$\nabla I(\mathbf{x}, t) \cdot \mathbf{v} + I_t(\mathbf{x}, t) = 0 \quad (1)$$

で表される。この方程式に加えて、局所領域において得られるオプティカルフローは一定であるという条件を用いる。すなわち、

$$E(\mathbf{x}) = \sum_{\mathbf{x} \in \Omega} W(\mathbf{x}) [\nabla I(\mathbf{x}, t) \cdot \mathbf{v} + I_t(\mathbf{x}, t)]^2 \quad (2)$$

のような重み付き最小二乗誤差が最小となる  $\mathbf{v}$  を求める。 $\nabla E(\mathbf{v}) = 0$  より、次式が得られる。

$$\mathbf{v} = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{B} \quad (3)$$

但し、

$$\mathbf{A} = \sum_{\mathbf{x} \in \Omega} W(\mathbf{x}) \times \begin{bmatrix} I_x(\mathbf{x}, t)^2 & I_x(\mathbf{x}, t)I_y(\mathbf{x}, t) \\ I_y(\mathbf{x}, t)I_x(\mathbf{x}, t) & I_y(\mathbf{x}, t)^2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} = - \sum_{\mathbf{x} \in \Omega} W(\mathbf{x}) \begin{bmatrix} I_x(\mathbf{x}, t)I_t(\mathbf{x}, t) \\ I_y(\mathbf{x}, t)I_t(\mathbf{x}, t) \end{bmatrix}$$

ここで  $W(\mathbf{x})$  を2次元の等方性ガウス関数とした。

### 2.2 手の領域の抽出

式(3)から求めたオプティカルフローについて、絶対値  $|\mathbf{v}(\mathbf{x})|$  に対して閾値を設定し、二値画像

$$F(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 & (|\mathbf{v}(\mathbf{x})| > \text{thleshold}) \\ 0 & (\text{elsewhere}) \end{cases}$$

を得る。また、オプティカルフローの方向  $\theta(\mathbf{x})$  に対してヒストグラムを算出し、最大のピークを持つ山が存在する角度範囲のフローを持つ位置を1、それ以外を0とする二値画像

$$G(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 & (\theta_1 < \theta(\mathbf{x}) < \theta_2) \\ 0 & (\text{elsewhere}) \end{cases}$$

を得る。その後、これら二つの二値画像間でAND演算を施すことにより、手の領域

$$I(\mathbf{x}) = F(\mathbf{x}) \cdot G(\mathbf{x})$$

を得る。

## 3 手の形状のモデル

本方法で用いる手のモデルは、図1に示す様な、楕円と長方形が組み合わさった2次元モデルと考える。掌を楕円と考え、前腕部を長方形とみなす。

前腕の軸を  $l_1$ 、これに直角で、掌の膨らみの極大に位置する軸を  $l_2$  とする。掌の位置は、 $l_1$  と  $l_2$  の交わる点とし、掌の形状は、この楕円の長軸と短軸の長さ  $a$ 、 $b$  により表す。但し、 $a$  は常に  $l_1$  と平行な方の軸の長さとし、 $b$  は常に  $l_2$  と平行な方の軸の長さとする。

## 4 Hough 変換による掌の検出

本方法では、図1における、 $l_1$  及び、 $l_2$  を Hough 変換により検出し、これらの交点を求める事によって掌位置を推定する。また、掌形状は  $\rho - \theta$

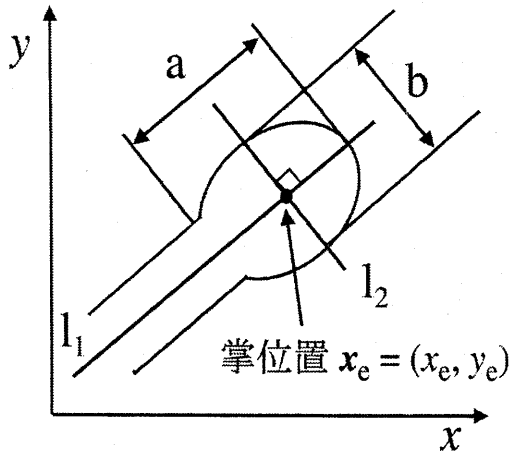


図 1: 手のモデル

空間内で掌の縦横の幅を計測することにより求める。

#### 4.1 掌の位置推定

まず、二値画像  $I(\mathbf{x})$  に Hough 変換を施す。すなわち、 $I(\mathbf{x}) = 1$  なる  $\mathbf{x} = (x, y)$  に対して、

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta, (0 \leq \theta < \pi)$$

により、 $\rho - \theta$  空間上に投票する。

ここで、 $\rho, \theta$  に対する投票度数を  $H(\rho, \theta)$  とし、

$$P(\theta) = \sum_{\rho} H(\rho, \theta)^2$$

を計算すると、 $P(\theta)$  の極大点は、二値画像  $I(\mathbf{x})$  において最も多く手の領域を通過する直線を表す。そこで、この極大点を  $(\rho_1, \theta_1)$  とする。

次に、 $\theta_1$  より  $\frac{\pi}{2}$  ずらしたものを  $\theta_2$  とする。そして  $H(\rho, \theta)$  上において、 $\theta = \theta_2$  で固定し、 $\rho$  を変化させて極大点を検出する。これは、二値画像  $I(\mathbf{x})$  において、前腕方向において、掌の膨らみを検出することに相当する。ここで、掌の膨らみの位置に相当する極大点を  $(\rho_2, \theta_2)$  とすると、

掌以外にも服のしわ等の膨らみに対応する極大点が存在し得る。そこで、一つ前のフレームにおいて算出した極大点  $(\rho_2', \theta_2')$  から最も近い極大点を現フレームにおける掌の膨らみ位置に対応する極大点とする。

以上で求めた、 $(\rho_1, \theta_1)$ 、 $(\rho_2, \theta_2)$  によって特定される 2 直線の交わる点を計算し、これを掌の推定位置  $\mathbf{x}_e = (x_e, y_e)$  とする。

#### 4.2 掌の形状推定

掌の形状は、縦幅  $a$  と横幅  $b$  により表すことは上に述べた。まず、横幅  $b$  は、 $\rho - \theta$  空間上において、

$$b = H(\rho_2, \theta_2)$$

として得られる。次に縦幅  $a$  は、 $\rho - \theta$  空間上において、 $\theta = \theta_2$  と固定し、

$$a_u = \min(|\rho - \rho_2|), (H(\rho, \theta_2) = 0, \rho_2 < \rho)$$

$$a_d = \min(|\rho - \rho_2|), (H(\rho, \theta_2) = 0, \rho_2 > \rho)$$

のように、前腕の両端から  $\mathbf{x}_e$  までの距離を算出する。この距離が短い方の端点を指先と考え、

$$a = 2 \cdot \min(a_u, a_d)$$

により掌の縦幅  $a$  を得る。

## 5 実験

### 5.1 実験条件

実験は室内光の下で行った。被験者には、掌位置の推定結果の評価のための黒色のマーカを掌中央付近に取り付け、掌のマーカ側をビデオカメラの前にかざし、腕振り運動をさせた。この時、掌の形状を、“グー”の状態から、“パー”の状態、“人差し指を立てた”状態(以下“人差し指”)というように、遷移させて撮影した。(図 2)

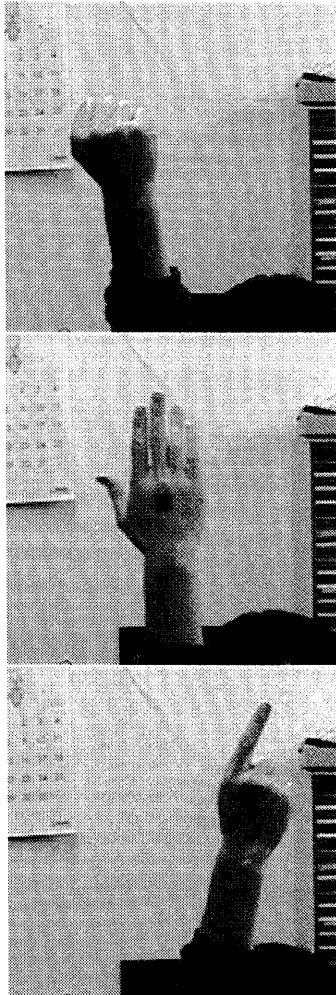


図2: 掌の形状 図(上): ”ゲー”、図(中): ”パー”、図(下): ”人差し指”

この映像を、パーソナルコンピュータに動画として取り込んだ。一枚の画像は、 $256 \times 256$  ピクセルのグレースケールで、 $30[\text{frame/sec}]$  のレートで480フレーム取り込んだ。その後、上述した方法により、掌の推定位置  $\mathbf{x}_e$ 、及び掌形状パラメータ  $a$ 、 $b$  を算出した。

## 5.2 データ処理

まず、原画像に対してスムージングをかけノイズを除去した後、上述した方法で推定位置  $\mathbf{x}_e$  と形状パラメータ  $a$ 、 $b$  を算出した。この時、オプティカルフローの二値化には、実験的に求めた、ほぼ最適と思われる閾値を用いた。また、 $\rho - \theta$  空間のセルの大きさは、 $256 \times 256$  とした。

規準のためのマーカは、二値化の後、円形度と面積によって抽出した。そしてその重心をマーカ位置  $\mathbf{x}_c$  とした。

## 5.3 位置推定の結果

図3に推定位置  $\mathbf{x}_e$  とマーカ位置  $\mathbf{x}_c$  の相関図を示す。図3(上)が水平方向 ( $x$ ) 位置、図3(下)が垂直方向 ( $y$ ) 位置の図である。マーカの位置  $\mathbf{x}_c$  の検出にもエラーがあったので、その時点のデータは排除した。また、推定位置  $\mathbf{x}_e$  において手の動きがほとんど無いと判断された時点では、その時点より1フレーム前の位置を推定位置とした。両方とも  $\mathbf{x}_e$  と  $\mathbf{x}_c$  の間で強い相関関係があるのがわかる。垂直方向位置と水平方向位置の相関図を見比べると、やや垂直方向位置の相関図の方がばらつきが大きい。これは、原画像において、前腕がほぼ垂直方向の角度を保っていた事から、掌の膨らみを検出するときの誤差を表していると考えられる。しかし、掌の推定位置を示すポイントを原画像に描画し、観測した限りでは、誤差はほとんど気にならない程度であった。

## 5.4 形状測定の結果

図4に測定した形状パラメータの分布図を示す。

図から、”ゲー”の形状と”パー”の形状、及び”ゲー”の形状と”人差し指”の形状の間で分離されていることが分かる。よって「ON」「OFF」操

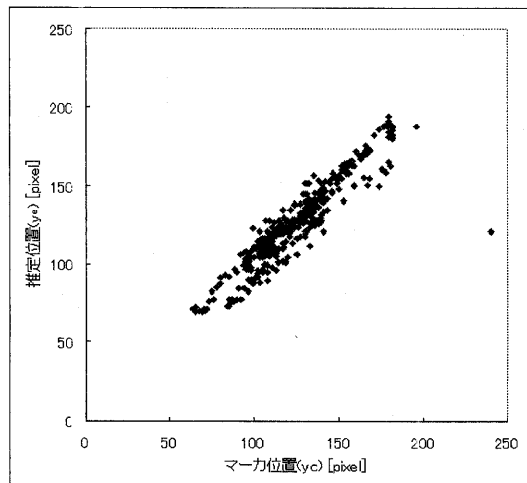
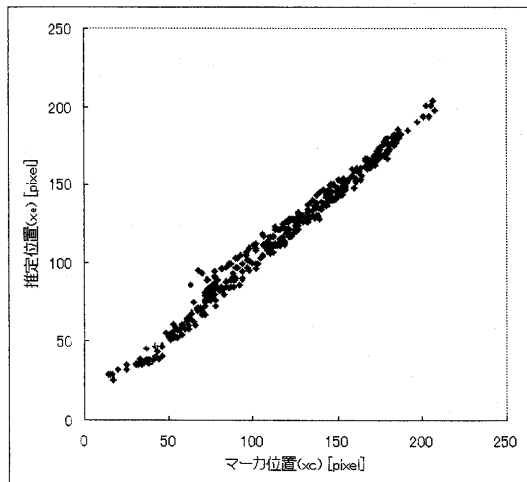


図3: マーカー位置と推定位置の相関図

作に用いる事ができると考えられる。また、“ゲー”と“バー”の間では、横幅  $b$  は意味が無く、縦幅  $a$  のみで、これらの間の認識が行えると考えられる。

## 6 まとめ

本報告では、手の動き領域に対して Hough 変換を行うことにより、掌の位置と形状を推定する手法を提案した。手に付けたマーカを基準に位置推定の精度を評価したところ、良い結果が

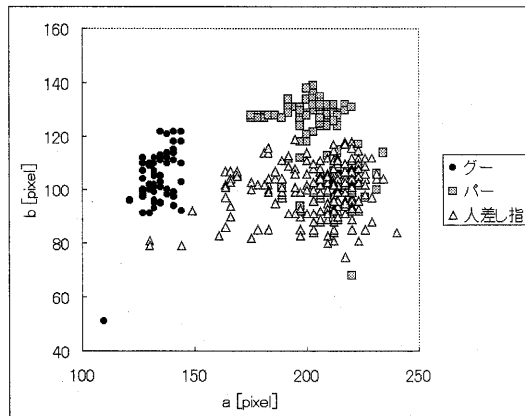


図4: a と b の分布図

得られた。また、掌の形状推定に関しては、パラメータ  $a$  によって、“ゲー”と“バー”の形状の識別ができる事がわかった。

本方法により、手に何も装着する事無く、また、衣服に対する制約もほぼ無いマンマシンインタフェースができると考えられる。今後は、複数物体がある状況や、上半身が写っている状況に対しても本方法が適用できるように改良を行っていききたい。