手指画像に対するエネルギー関数を用いた三次元モデルマッチング*

亀田 能成 † 天野 晃 ‡ 美濃 導彦 § 池田 克夫 ¶

京都大学工学部 ‖

1 はじめに

剛体を対象物とし、それを写した濃淡画像から対象物の位置や三次元形状を再構成する様々な研究が行われてきた。しかし、対象物が非剛体の場合のモデルマッチング方法はまだ少ない。

非剛体は、アメーバのように不定形のものと、人体のように複数の剛体から成り立つものとに分けられる。本稿では、後者に属す人間の手指を対象とし、モデルマッチングによってその三次元的な形状を復元する方法を提案する。手指は複数の剛体から成るので、そのモデルも複数の部品からなる。このモデルを変形させて画像上の手指と二次元マッチングを行う。これは二段階からなり、初めにモデルの投影図と画像とが概ね一致するようにモデルを変形させた後、エネルギー関数を用いた詳細なマッチングを行う。

2 手指モデルと制約条件

手指モデルは、23 個の円筒の形をした部品を図 4のように接続して設定する。図中の線は、各部品の中心線を示している。手指モデルの制約条件として、部品どうしの接続点 (図 4中の黒丸) では、それぞれ可能な折曲方向と屈曲角度の許容範囲とが定められている。全ての部品の位置を決定したとき、それをその時のモデルの状態という。

3 輪郭線を用いた概形の決定

撮影条件として、対象画像は、右手の手首から先の部分を手の平側から写したものであり、背景は黒色であるとする。カメラは手指の正面に位置し、手指に向けられている。手指側からみて、光源方向とカメラの方向とをなす角度は、およそ $\pi/4$ とする。

まず、最初に手指画像の輪郭情報を用いて、モデルの大まかな状態を決定する。このために、輪郭線を、曲率が負の極値となる点で、幾つかの線分に分割する。このときにスケールスペースフィルタリングを用いて、輪郭線のノイズに対処している。各線分は、手指モデルのいずれかの部品の投影された輪郭の一部分に対応する。線分長が長い線分について、それがモデルのどの部品に対応するかを以下のようにして決定する。

初めに、モデルの制約条件及び撮影条件を考慮して、候補となる部品を選ぶ。抽出した画像上の輪郭の線分に、候補の投影図形の縁が一致するように、候補の三次元位置を定める。次いで、モデルの制約条件に従って、その他の部品の位置を決定する。このモデル全体を画像上に並行投影し、画像の手指領域との重なり程度を評価する。重なりの程度は大きいほど良い。これを並行投影の条件と呼ぶ。最も重なりの大きいモデルの状態が、その手指画像に対するモデルの状態として選ばれる。

4 エネルギー関数を用いたモデルマッチング

このときのモデルの状態は、単にモデルの制約条件と撮影条件とから定められたものであり、画像の二値情報しか用いていない。そこで、画像の濃淡値を利用するエネルギー関数を導入し、さらに詳細なモデルマッチングを行う。

本方法で用いるエネルギー関数は、Potential Energy である。すなわち、ここでのエネルギーは、モデルの状態が一意に定まれば、求めることができる。座標軸系には XYZ 直交座標軸を用いる。

$$E = F_{potential}(\vec{\sigma}_1, \vec{\sigma}_2, \cdots, \vec{\sigma}_{23}) \tag{1}$$

ここで $\vec{\sigma}_i$ は部品の三次元位置を表す 6 次元ベクトルである。エネルギー関数は見かけ上 138 自由度を持つが、実際にはモデルの制約条件及び撮影の制約条件によって拘束を受ける。

本方法では、モデルのエネルギーを、各部品についてのエネルギーの和と見なして求める。

$$E = \sum_{i=1}^{23} u(\vec{\sigma}_i)\, \mu \int_{side\ line} f_{gradient}(\vec{\sigma}_i) dl \tag{2}$$

ここで、$u(\sigma_i)$ は、他の部品に隠されていないとき 1、隠されている時 0 をとる。また、$f_{gradient}(\sigma_i)$ は、画像上のその点の廻りの濃淡値分布の傾斜方向及びその大きさに比例して、部品に加わる力である。画像上に投影された部品の輪郭線において、もとの円筒側面に相当する輪郭線分 (side line 図 1) 上での $f_{gradient}$ の総和が、部品に加わる力となる。

---

* A 3D-Model Matching with Energy Functions for Hand Images

† Yoshinari KAMEDA

‡ Akira AMANO

§ Michihiko MINOH

¶ Katsuo IKEDA

‖ Faculty of Engineering, Kyoto Universuty

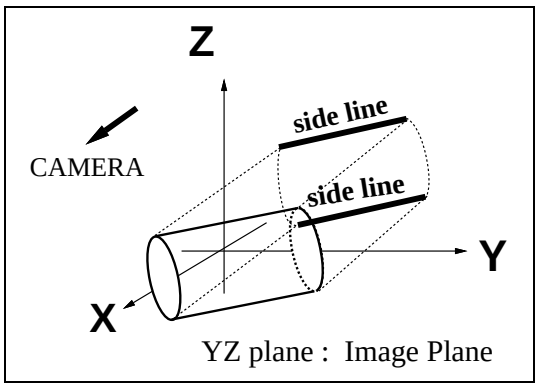

図 1: 力の加わる場所

手指画像の輪郭線より求められたモデルの状態を初期状態として、式 (2) から部品に加わる力を計算し、それを μ ずつ移動させてモデルの状態を漸近更新していく。μ の大きさが、エネルギーの収束の早さを決定する。このとき、手指モデルの制約条件や並行投影の条件に反するような状態への更新は禁止される。モデルに対するエネルギーが収束すれば、そのときのモデルの状態が、手指画像に対するマッチング結果である。

この方法では、エネルギー関数が最小となるようなモデルの状態が得られる保証がない。しかし、輪郭を用いて予めモデルの状態を画像上の手指の状態に近付けてあるので、エネルギー値が最小でなくとも、それに近い状態まで到達できる。

5 実験結果

図 2の原画像に対して、輪郭線から、線分長の長い線分を切り出したものが図 3である。また、本手法を適用した結果が図 4である。ただし、手指モデルの最終状態を、カメラの位置から水平に左へ $\pi/4$ 移動したところから見たものである。

図 2: 原画像

6 まとめ

可変構造をもつ手指を対象として、一定の制約条件のもとで、一枚の濃淡画像からその三次元形状を再構成することができた。

今後の課題として、任意の方向から写した手指画像を扱えるようにすることと、モデルの構成部品を円筒以外にも拡張することが挙げられる。

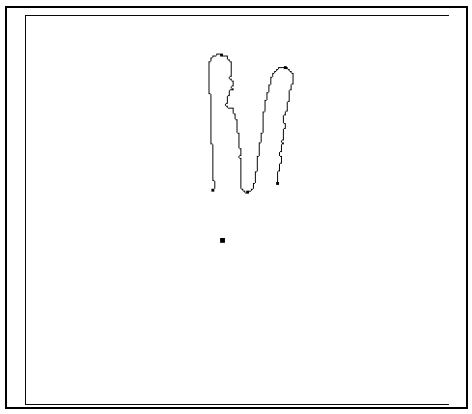

図 3: 切り出された輪郭上の線分

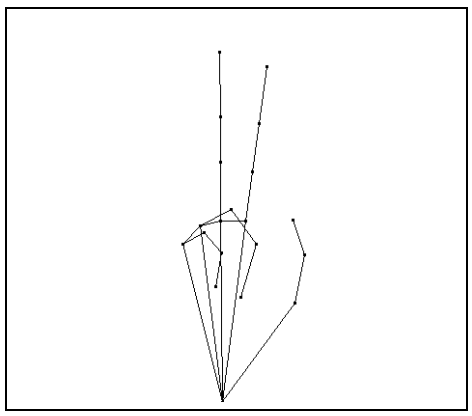

図 4: 結果

参考文献

[1] Durek, G. and Tsotsos, J. K. : *Recognizing Planar Curves Using Curvature-Tuned Smoothing* 10th International Conference on PATTERN RECOGNITION, pp. 130-135, 1990.

[2] Witkin, A.P. : *"Scale-Space Filtering,"* READINGS IN COMPUTER VISION, pp.329-332, 1987.

[3] Hoffman, D.D. and Richards, W.A.: *"Parts of Recognition,"* READINGS IN COMPUTER VISION, pp.227-242, 1987.

[4] 松山 隆司 : "画像理解のための多角的情報の統合," , 第１９回画像工学コンファレンス論文集, pp. 97-102, 1988.