シルエットを用いた手指の三次元形状理解のための戦略*

亀田 能成 † 美濃 導彦 ‡ 池田 克夫 §

京都大学工学部 ¶

1 はじめに

我々はこれまで、手指を対象とし、モデルマッチングによって画像から手指モデルの三次元形状を理解する方法について研究を行ってきた。手指は一般で言う多関節物体であり、従来よく研究されてきた剛体についての方法とは異なるアプローチが必要である。

現在は、一枚のシルエット画像でどこまで手指モデルの形状理解が可能かについて研究している [3]。その中の問題の一つが、モデル内部の隠蔽とシルエットとの対応付けである。本稿ではこの対応関係を明らかにし、シルエットに基づく多関節物体のモデルマッチングに有効な戦略について述べる。

2 マッチング手法の概要

本節ではマッチングの手法 [3] について簡単に説明する。

人間の右手指を対象とし、一枚のシルエット画像が与えられたとき、計算機内部に持っている三次元手指モデルをそのシルエットに矛盾しない形状に変形させてゆく。手指モデルは木構造に連結された 17 個の剛体部品で構成される。この木構造のことを部品位置決定木と呼ぶ。根の剛体部品は腕に相当する部分である。部品位置決定木では、関節は一ないし二自由度を有する剛体部品間の 16 本のリンクで表現され、合計 22 の関節パラメータが存在する。

マッチング処理は、根の剛体部品から葉の剛体部品に向かって部品位置決定木内のリンクを辿っていく。あるリンクが選択されると、そのリンクに存在する関節パラメータの値が決定され、子側の剛体部品の位置が定まる。処理が全ての葉に行きつけば、マッチング終了となる。部品位置決定木中のリンクをどの順に辿るかが、本手法の問題点となる。

3 シルエットを利用したマッチング戦略

関節パラメータはマッチング処理の進行に伴い、逐次的に決定される。実際には、注目するリンクの子側の剛体部品をシルエット上へ投影し、シルエットと剛体部品の影との重畳関係を関節パラメータ決定の指針とする。この重畳関係をどのように評価するかについて、以下に考察を行う。

画像平面上に投影された剛体部品 k の領域を m_k とし、それ以外の領域を $\bar{m}_k$ と表記する。また、もとのシルエット画像において、シルエットの存在する領域を S、それ以外の領域を $\bar{S}$ と表す。いま、手指モデル中のリンク選択順序に従って 1 番から n $(n = 1, 2, \cdots, 17)$ 番までの剛体部品の位置が決定しているとすると、画像平面上の領域は表 1、図 1のように四つに分類される。ただし、 $M_n = m_0 \cup m_1 \cup \cdots \cup m_n$ $(m_0 = \emptyset)$ である。各欄の矢印は、処理開始前から処理が進むにつれて各領域の面積がどのように推移するべきかを示している。

表 1: 領域の種類

	M_n	$\bar{M}_n$
S	$0 \rightarrow S$	$S \rightarrow 0$
$\bar{S}$	$0 \rightarrow 0$	$\bar{S} \rightarrow \bar{S}$

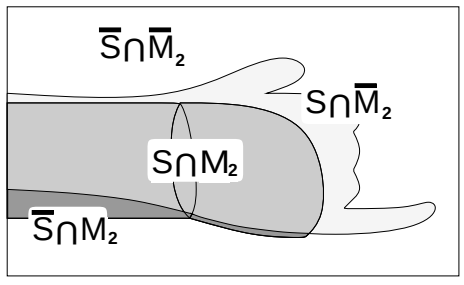

図 1: シルエットとモデルの影との関係 (M_2 の場合)

マッチング処理の進行に際しては、以下の二つの条件が満たされねばならない。条件 (1) は手指モデルの影がシルエットからはみ出してはいけないことを意味し (外圧条件)、条件 (2) は手指モデルの影によってシルエットが全て覆われることを意味する (内圧条件)。

$$(1) \qquad \bar{S} \cap M_{17} = 0$$

$$(2) \qquad S \cap \bar{M}_{17} = 0$$

上記条件が満足されれば、マッチング処理終了時点でのマッチング評価値 E は最小値 0 になる。

$$E = \frac{(\bar{S} \cap M_{17}) \cup (S \cap \bar{M}_{17})}{S} = \frac{S \oplus M_{17}}{S}$$

3.1 順序独立戦略

条件 (1)(2) はそのままではマッチング処理に利用できないので、式の変形を行う。ここでは、マッチング処理

---

* A 3D Shape Recognition Strategy For a Hand Using its Silhouette

† Yoshinari KAMEDA

‡ Michihiko MINOH

§ Katsuo IKEDA

¶ Faculty of Engineering, Kyoto University

が剛体部品毎に行われることを考慮し、式中に m_i, S とその否定 $\bar{m}_i, \bar{S}$ のみが現れるようにする。

$$\begin{aligned} \bar{S} \cap M_{17} &= \bar{S} \cap (\bigcup_i m_i) = \bigcup_i (\bar{S} \cap m_i) \\ S \cap \bar{M}_{17} &= S \cap \overline{(\bigcup_i m_i)} = \bigcap_i (S \cap \bar{m}_i) \end{aligned}$$

ただし、$\bigcup_i, \bigcap_i$ はいずれも $i = 1$ から 17 までの和ないし積を表すものとする。

マッチング処理は上の二式の和を最小にすることで実現される。しかし、実際の処理は逐次的に行われるので、上の二式の和全体を各剛体部品の位置決定に用いることは出来ない。そこで、剛体部品 k の位置決定において、上式の $i = k$ の項のみを利用することを考える。すなわち、次の評価基準 D_α を最小にする関節パラメータをその解とする。

$$D_\alpha = (\bar{S} \cap m_k) \cup (S \cap \bar{m}_k) = S \oplus m_k$$

この方式は、部品位置決定木で根から葉に向かう任意のリンク選択順序に対して、同一のマッチング結果を与えるという利点を有する。しかし、D_α の式は処理の都合上で定義されたものであり、D_α の最小化が必ずしも E の最小化を意味しない。

3.2 順序依存戦略

マッチング処理においてリンク選択順序が何らかの手段で与えられた場合、条件 $(1)(2)$ の式は M_n を用いて書き換えが可能である。

$$\begin{aligned} \bar{S} \cap M_{17} &= \bar{S} \cap (\bigcup_i (m_i \cap \bar{M}_{i-1})) = \bigcup_i (\bar{S} \cap (m_i \cap \bar{M}_{i-1})) \\ S \cap \bar{M}_{17} &= S \cap (\bigcap_i (\bar{m}_i \cup M_{i-1})) = \bigcap_i (S \cap (\bar{m}_i \cup M_{i-1})) \end{aligned}$$

ただし、上式の $\bigcup_i, \bigcap_i$ は与えられたリンク選択順序に従って演算されていくものとする。

この式に対して、3.1と同じく $i = k$ の項のみを利用して評価基準 D_β を定義する。これもまた D_α 同様 E を最小にする必要条件である。

$$\begin{aligned} D_\beta &= (\bar{S} \cap (m_k \cap \bar{M}_{k-1})) \cup (S \cap (\bar{m}_k \cup M_{k-1})) \\ &= S \oplus (m_k \cap \bar{M}_{k-1}) \end{aligned}$$

D_β に従えば、S を逸脱しないようにしながら、モデルの影 M_{k-1} ではまだ被覆されていないシルエット領域を覆うように剛体部品 k の位置が決定される。

4 実験結果および考察

実験の一例を示す。図 2の左側のシルエットに対して、D_α, D_β を用いた戦略の適用結果を表 2に示す。また、D_α の最小化に基づくマッチング結果を図 2の右側に表示する。なお、どちらも同一のリンク選択順序でマッチング処理を行っている。

部品位置決定木のリンク選択順序に独立な結果を与えるという点で、D_α を用いる戦略は簡潔で効率のよい戦略だといえる。ただし、何らかの形でリンク選択順序が固定である場合には、D_β も有効である。

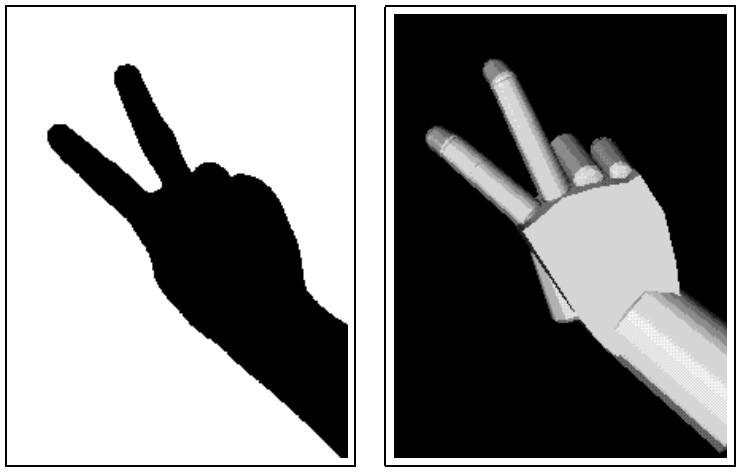

図 2: シルエットと D_α の最小化による解

実際の実験では、D_α によるマッチング評価値が $E = 0.13 \sim 0.21$ 程度なのに対し、D_β によるマッチング評価値は $E = 0.14 \sim 0.32$ であり、幾分 D_α のほうが良い結果であるが明確な差異ではなかった。

ゆえに、リンク選択順序決定には現在のところ明確な基準がない点からみても、順序独立な D_α が優れているといえる。

表 2: 各戦略の結果 (単位:%)

	$(S \cap M)/S$	$(S \cap \bar{M})/S$	$(\bar{S} \cap M)/S$	E
D_α	94.91	5.090	7.690	12.78
D_β	93.69	6.310	9.320	15.63

5 まとめ

特徴量としてシルエットの面積を利用する場合、D_α の評価基準を用いれば手指の形状理解がマッチング評価値 $E = 0.20$ 程度まで可能であることが明らかになった。

面積だけでは同じ評価値を持つマッチング結果でもその形状に差異があり得る。今後は、シルエットの形状についての特徴量も導入していこうと考えている。

参考文献

[1] H. Rijpkema, M. Girard, "Computer Animation of Knowledge-Based Human Grasping," SIGGRAPH, Computer Graphics, vol. 25, no. 4, July 1991.

[2] 亀田, 天野, 美濃, 池田, "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," 第４３回情処全大, vol. 2, pp. 389-390, 1991.

[3] 亀田, 美濃, 池田, "シルエットを利用した手指の三次元形状推定法," MIRU'92, 情処シンポジウム論文集, vol. 92, no. 3, pp.239-246, 1992.