

多関節非剛体物体のモデル獲得 -複数部位の時系列におけるパラメータ推定-

2K-6

米元聡 鶴田直之 菅沼明 谷口倫一郎
九州大学大学院システム情報科学研究科

1 はじめに

我々は実空間からデータを獲得し、これを基に高リアリティ現実を実現することを目指している。複雑な3次元多関節物体に内在する自己隠蔽や、動きによる変化に対処可能とするため、変形可能モデルを用いた画像合成による解析 (AbIS) の枠組を提案する。この枠組のもとで、多視点動画像から複数部位の形状・姿勢パラメータ系列を推定する方法を述べる。

2 AbIS の枠組

2.1 AbIS の基本原理

合成による解析とは、ある状態 (パラメータ) にあるモデルを観測データと同じ次元に射影し、その射影されたモデルサンプルと観測データとの誤差を評価関数として最小化することで、モデルの状態を観測データに適應させる、モデル当てはめの原理である。我々の場合、具体的にモデルはパラメータ化した3次元モデル、観測データは2次元画像 (特徴点) であり、この原理は一般に、3次元幾何形状モデルの見え方ベースのマッチングと呼ばれる。しかし、本手法では多関節構造による複数部位モデルの存在を仮定しており、他のモデルの影響により当てはめ対象 (モデルサンプルとデータの対応ペア) から外れるものを除去する必要がある。そこで我々は、適切な当てはめ対象のみを選択する処理を導入したモデル当てはめの原理 (*Analysis-by-Image-Synthesis*) を提案する。

2.2 3次元多関節物体追跡システムの概要

AbIS の原理を用いて多視点時系列画像から多関節物体の形状・位置・姿勢に関するパラメータ系列を獲得する手法の概要を述べる。

1. 対象物モデルの作成と初期情報の獲得

3次元形状モデラ (後述) を用いて、概略的なモデル (全体を構成する部位の形状とその構造) の作成と初期モデルパラメータの推定を行なう。

2. 各多視点入力フレームにおける観測データの追跡

連続2フレーム間での観測データの追跡は適当な特徴点追跡の方法 [山田 97] により達成する。

3. 多関節構造体のモデルパラメータの推定

3. の結果をもとに各部位のモデルパラメータを更新
- 次の時刻のフレームに対して 2.~4. を繰り返す

時系列に渡るパラメータ推定により、対象物の形状・位置・姿勢に関するパラメータ系列を獲得する。

A Model Acquisition Method of Multipart Nonrigid Objects - Time-varying Parameter Estimation for Multiparts-
YONEMOTO Satoshi, TSURUTA Naoyuki,
SUGANUMA Akira, TANIGUCHI Rin-ichiro
Graduate School of Information Science and Electrical Engineering,
Kyushu University
6-1 Kasuga-Koen, Kasuga, Fukuoka 816, JAPAN

3 多関節構造体の形状モデリング

3.1 3次元形状モデラ

様々な対象物に対してシステムを適應させるため、また、我々の目標でもある「手軽な事前情報の付与」という観点からも、対象物のモデリングにはユーザの負担が少ないことが望まれる。その負担を軽減するために、GUIベースのインタラクティブな3次元形状モデラの開発を行っている [一木 97]。

3.2 対象物モデルの記述

今回、本報告では数少ないパラメータで表現可能で、変形能力を有する *Deformable SuperQuadrics* (以下、DSQ) をモデルとした。DSQのうち、*tapering* や *bending* といった変形能力を容易に扱える、*Metazas* らの用いたモデルを利用した [米元 97]。対象物モデル全体は DSQ を部位とした複数モデルの接続構造で表現される。それらモデル間の接続関係については後述する。

4 多関節構造体のパラメータ推定

4.1 初期モデルの獲得

モデラにより作成した対象物モデルを用いて初期パラメータ推定を行なう方法を述べる。

各視点 v からの初期フレーム群 $\{f_v(0) | v = 1, \dots, V\}$ (V は視点の総数) について以下の処理を行なう。

Step 1. 半自動の初期フレームでの位置合わせ

Step 2. 観測データの選択

Step 3. モデルサンプルと観測データの初期対応決定

各部位、各視点ごとに対応仮説を生成する。

1. 可視モデルサンプル点の選択
2. 対応仮説の検証による対応更新

各部位に渡って、上記の対応仮説生成を行なった後、各特徴点に対する対応 (どの部位上の、どのモデルサンプル点に対応するか) を決定する。

以上求めた初期パラメータおよび観測データとモデルの初期対応は、時系列にわたって推定するための良い初期値を与える。

4.2 構造制約と推定戦略

部位全体において、各部位ごとのパラメータを一度に推定しようとする、膨大な探索空間となり、現実的な解として求めることができない。したがって本手法においては、その構造から来る以下の制約を利用し、トップダウン的に準最適解を求めるパラメータ推定戦略をとる。

- 自然界における動物の構造は部位をノードとした階層的な木構造で表現できる
- 動物の部位は関節 (1点) を中心に互いに接続されている

4.3 時系列におけるパラメータ推定

初期フレーム群での初期対応結果を利用して、フレーム群 $\{f_v(t) | v = 1, \dots, V\}$ ($t = 1, \dots$) で各部位のパラメータを推定する方法を述べる。

- 1) 観測データの追跡 全特徴点を追跡する。
- 2) 推定戦略順に各部位のパラメータを推定 4.3.2 節。

4.3.1 モデル当てはめ問題

モデルと観測データとの間の誤差を以下の評価関数によって定義し、それを最小化することで推定を行なう（以下、 t は省略する）。

$$E_i = \sum_{v=1}^V \sum_{j \in P^i} \left(({}^vU_{mj}^i - {}^vU_j^i)^2 + ({}^vV_{mj}^i - {}^vV_j^i)^2 \right) \quad (1)$$

ここで、 $(U_m, V_m), (U, V)$ はそれぞれモデルの投影座標と観測データの座標、 ${}^vP^i$ は部位 $part_i$ の視点 v における対応ペアの存在するモデルサンプルの添字の集合。

4.3.2 各部位のパラメータ推定

Step 1. モデルサンプルと観測データの対応決定

各部位 $part_i$ の、各視点 v からのフレーム $f_v(0)$ ($v = 1, \dots, V$) について、以下の処理を行なう。

- (1-1) 部位 $part_i$ の追跡データの決定 前フレームにおいて部位 $part_i$ 上のモデルサンプル点に対応していた特徴点に対し、特徴点追跡処理で追跡可能であったもの（あるいは新たに出現した特徴点）を求める。
- (1-2) 可視モデルサンプル点の選択 具体的にモデルの画像を合成する手順は以下の通りである。

- Z-buffer アルゴリズムを用いて、部位全体のモデルの投影像を作成する。
- その投影像から部位 $part_i$ 上の可視モデルサンプル点を求める。

(1-3) モデルサンプル点と観測データとの対応決定

観測データの追跡処理により、フレーム $f_v(t)$ でのデータ点が前フレームにおいて追跡されていることから、フレーム $f_v(t)$ における可視モデルサンプル点との対応仮説を立てることができる。

Step 2. パラメータの反復推定 Step 1. の当てはめ対象すべてに対し、式 (1) を適用する。

1. 最急降下方向に各パラメータを微小調整する。
2. 位置が更新されたモデルサンプル点と観測データとの対応に対して評価関数 E_i を計算し、1.へ（収束していれば終了）。

Step 3. 出現した可視モデルサンプル点への対処

推定後、新たな隠蔽によって消滅するモデルサンプル点に対する対応ペアは破棄する。次フレーム $f_v(t+1)$ での処理のために、新しい可視モデルサンプル点に対応する観測データを初期フレームでの対応の時と同様に（存在すれば）求める。

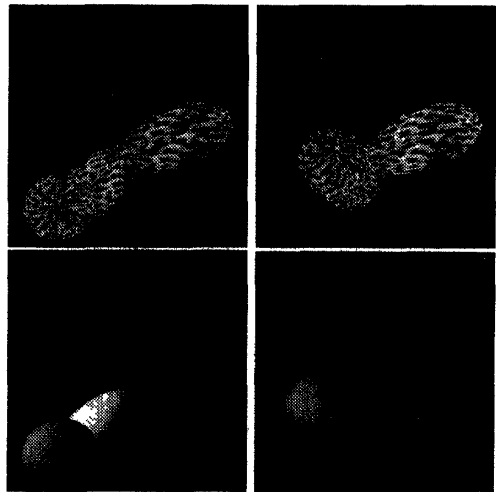


図 1: 原画像（上行）と推定モデル投影像（下行）の一部

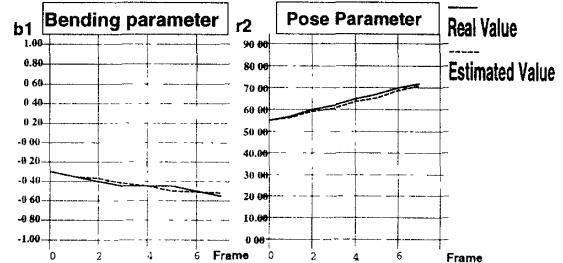


図 2: パラメータ推定結果の真値との比較（真中の部位）

5 シミュレーション実験

今回、提案手法の基本的な性能を評価するため、対象として2つの関節で連結した3部位から成る腕が折り曲がる場合を想定し、表面にテクスチャを張り付けた合成モデルに対して実験を行なった。

図1はある1視点からの原画像と推定モデル投影像の初期（左列）と最終（右列）のフレームを示している。図2は真中の部位の推定モデルパラメータと真値モデルパラメータの一部を示している。自己隠蔽の存在下でも、部位の推定・追跡が可能であることがわかる。

6 おわりに

複雑な3次元多関節構造を有する非剛体の自己隠蔽の問題に対処することができるのが本手法の最大の特長である。また、合成モデルによるシミュレーション実験により提案した枠組の基本的な性能を確認した。

今後の課題としては、多視点実画像系列を実時間で得るための分散マルチカメラシステムの開発、実時間処理（処理時間の低減）のための予測機構の導入、分散協調アルゴリズムとしての推定戦略の実装などが挙げられる。

参考文献

[米元 97] 米元 聡, 鶴田 直之, 谷口 倫一郎, 変形可能モデルを用いた3次元多関節物体の形状・姿勢パラメータの推定, 信学技報 PRMU, 1997(発表予定).

[一木 97] 一木 他, 多関節非剛体物体のモデル獲得-画像からのパラメータ推定機能を持った形状モデル-, 第55回情処全大, 2K-07, 1997(発表予定).

[山田 97] 山田 他, 多関節非剛体物体のモデル獲得-ダイナミックリンクを用いた特徴点追跡と部位パラメータの推定-, 第55回情処全大, 2K-05, 1997(発表予定).