

多視点画像を利用した3次元形状モデラの開発

一木 篤史 米元 聡
有田 大作 谷口 倫一郎

九州大学大学院システム情報科学研究科

{ichiki,yonemoto,arita,rin}@limu.is.kyushu-u.ac.jp

我々は、動画画像から対象物の位置・姿勢・形状に関する様々なパラメータを獲得し、そのパラメータを用いて3次元アニメーションを作成するシステムを開発している。一般に、画像から物体の3次元形状や動きのパラメータを獲得する問題は、何らかの事前情報がなければ解けない不良設定問題である。これに対し、我々は、問題毎に事前情報を付与するユーザの介入を認め、

仮想空間内に提示するために必要な情報 = 事前情報 + 獲得情報

という枠の中で、必要以上に情報獲得が難しくならず、しかも手軽に事前情報を与えることができるようなシステムを作成する。本稿では、対象物の位置・姿勢・動きパラメータを推定するために用いる初期モデルの構築を容易にするため、画像から形状パラメータを半自動的に獲得する機能を備えた形状モデラを提案する。

和文キーワード： 3次元形状モデラ, ユーザ支援, モデル当てはめ, 多視点画像

A 3D Modeler with Parameter Estimation from Multiview Images

Atsushi Ichiki, Satoshi Yonemoto,
Daisaku Arita and Rin-ichiro Taniguchi

Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

We have been developing a system that estimates shape and pose parameters of 3D multi-part objects from video sequence and maps the objects into virtual environments. In general, estimating 3D parameters from 2D images is an ill posed problem. To solve this problem it is necessary for users to provide a priori informations about objects to the system. This paper describes a 3D modeler by which users can easily provide such a priori informations. A user roughly adjusts parts of an object model on multi-view object images and the system automatically adjusts the model and images to estimate parameters of the object.

English Keyword: 3D Modeler, User Support, Model Fitting, Multiview Images

1 はじめに

近年、高いリアリティをもった仮想空間を実現するために、仮想空間と実空間の融合を目指した研究が盛んに行われている [1][2][3]。その中で、我々は、実空間（動画）から対象物の位置・姿勢・形状に関する様々なパラメータを獲得（推定）し、そのパラメータを用いて3次元アニメーションを作成するシステムを開発している。

一般に、画像から対象物体の3次元形状や動きのパラメータを獲得する問題は、何らかの事前情報がなければ解けない不良設定問題である。これに対し、我々は、問題毎に事前情報を付与するユーザの存在を認め、

仮想空間内に提示するために必要な情報
 = 事前情報 + 獲得情報

という枠の中で、必要以上に情報獲得が難しくならず、しかも手軽に事前情報を与えることができるようなシステムを作成する。

このシステムの中で、実空間（動画）からの動物の位置・姿勢・形状に関する様々なパラメータの獲得は、大きく分けて

- ユーザによる対象物の形状モデルの作成と初期フレームにおける事前情報の付与
- 第2フレーム以降の連続画像からの対象物のパラメータ推定

の二つの処理に分かれる。ここで言う「事前情報」とは、システムが動画の初期フレームに対象物のモデルを当てはめることによって獲得する対象物の位置・姿勢・形状のパラメータである。この二つの処理のうち、第2フレーム以降の連続画像からの対象物のパラメータ推定において、パラメータを正確に推定するためには、ユーザが、初期フレームにおいて、対象物のより正確な位置・姿勢・形状のパラメータを求めて、システムに「事前情報」として与える必要がある。本稿では、動画の初期フレームにおいてユーザが手軽に、また正確な形状モデルを作成することができるために、対象物に対する「モデル当てはめ」の機能をもった形状モデラを提案する。

2 処理の概要

本研究で提案するシステムの処理の概要を図1に示す。システムの入力は、

- カメラN台から撮影した対象物の動画の初期フレーム
 - システム側が用意しているプリミティブモデル
- である。処理の大まかな流れは以下の通りである。

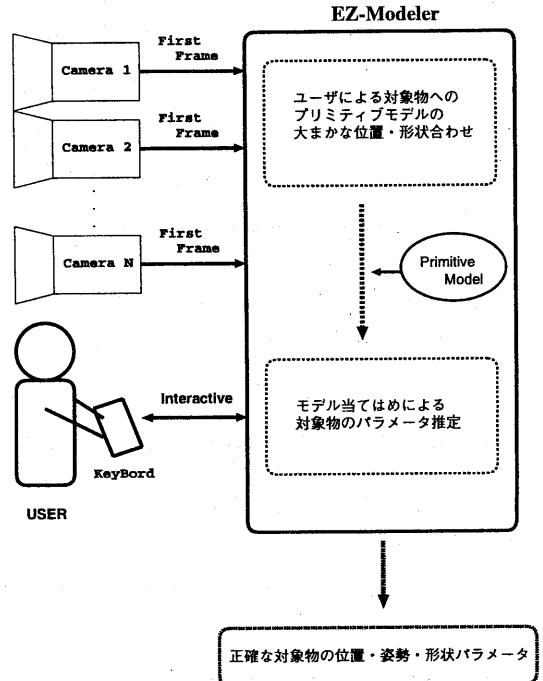


図 1: 処理の流れ

1. ユーザが、簡単なプリミティブモデルを用いて、情報を獲得する対象物のモデル（以下、対象物モデル）を作成
2. システムは、ユーザが作成した対象物モデルと実際の画像を重ね合わせて表示し、ユーザに提示
3. ユーザは、提示された画像上で対象物とモデルが適合するように、マウス・キー等を用いてモデルに対して移動・回転・変形の操作を加える

本研究では、以上の操作がユーザによる事前情報の付与に当る。

上記の操作において、ユーザは厳密に対象物モデルの位置・姿勢・形状を合わせる必要はない。ユーザがある程度の位置・姿勢・形状を合わせると、後はシステムが自動的に正確な対象物の位置・姿勢・形状パラメータを推定する。言い換えると、ユーザはシステムがパラメータを推定できる程度に当ては

めを行なえばよく、手軽に事前情報を与えることができる。もし、一度で正確な推定が行なえなかった場合は、ユーザによる操作を繰り返せば良い。これにより、より正確な対象物の位置・姿勢・形状パラメータを出力することができる。

3 3次元形状モデラ

3次元形状モデラは、ユーザがプリミティブモデルを組み合わせるだけで簡単に対象物モデルを作成することができることを目的としたモデラである。モデラの概観を図2に示す。

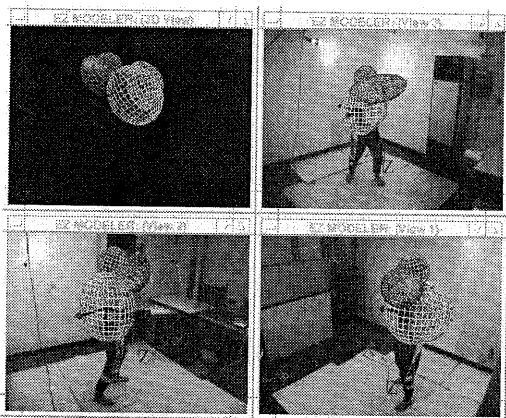


図2: 3次元形状モデラの概観

モデラの表示画面は対象物を撮影したカメラの台数分とモデルの全体像を把握できる1つのウィンドウ(図2では、カメラの台数3+1の4つ)から成っている。図2の左上のウィンドウ(3D View Window)では、ユーザがモデルの全体像を把握できるようにモデルを回転させている。右下(View1, 視点1), 左下(View2, 視点2), 右上(View3, 視点3)のウィンドウ(Multi-View Window)では、それぞれカメラ番号1, 2, 3(カメラ番号の決め方は任意)から撮影された対象物の画像上にそのカメラの位置から見たモデルの像を重ね合わせて表示している。このMulti-View Windowにより、ユーザが対象物モデルを作成する際に対象物と対象物モデルとの位置関係を捉えることが容易になる。

4 3次元形状モデル

本研究では、モデル当てはめにおける3次元形状モデルとして、二次曲面を拡張した超二次曲面(Su-

perQuadrics, 以下SQ)[4]に、先細り(Tapering), 曲げ(Tapering)の拡張を行った変形可能超二次曲面(Deformable SuperQuadrics, 以下DSQ)[5]を用いた。DSQは、数少ないパラメータで位置・姿勢だけでなく様々な形状を表現することができるという特徴を持っている。本研究では、このDSQを部位とした多関節構造体で対象物モデル全体を表現する(図3)。

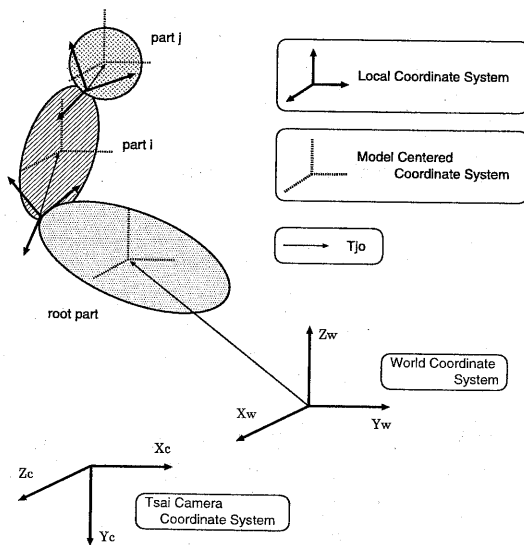


図3: 多関節構造体の定義

4.1 超二次曲面の定義

中心がモデル(部位)座標系(Model Centered Coordinate System)の原点にあるSQ上の点 \vec{X}_{SQ} および、その点における法線ベクトル \vec{N}_{SQ} は、媒介変数 η ($-\frac{\pi}{2} \leq \eta \leq \frac{\pi}{2}$), ω ($-\pi \leq \omega < \pi$)を用いて次式で表される。

$$\vec{X}_{SQ} = \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{pmatrix} = a \begin{pmatrix} a_1 C_\eta^{e_1} C_\omega^{e_2} \\ a_2 C_\eta^{e_1} S_\omega^{e_2} \\ a_3 S_\eta^{e_1} \end{pmatrix}$$

$$\vec{N}_{SQ} = \begin{pmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (1/a_1) C_\eta^{2-e_1} C_\omega^{2-e_2} \\ (1/a_2) C_\eta^{2-e_1} S_\omega^{2-e_2} \\ (1/a_3) S_\eta^{2-e_1} \end{pmatrix}$$

e_1 によりz軸方向の形状が変化し、 e_2 によりz軸に垂直な断面の形状が変化する。 a_1, a_2, a_3 は、それぞれSQのx,y,z軸方向の大きさを決める。これらのパラメータを変化させるだけで、多くの形状を表すことができる。例えば、立方体と球の中間の形状を連続的に表現できる。SQモデルは、ここに示し

a ($a > 0$) a_1, a_2, a_3 ($0 < a_1, a_2, a_3 \leq 1$) ϵ_1, ϵ_2 ($\epsilon_1, \epsilon_2 > 0$)	スケールパラメータ アスペクト比 形状パラメータ
C_η^ϵ S_η^ϵ $\text{sign}(x)$	$\text{sign}(\cos \eta) \cos \eta ^\epsilon$ $\text{sign}(\sin \eta) \sin \eta ^\epsilon$ x の符号 (<i>minus or plus</i>)

た6個のパラメータに平行移動(3個)と回転(3個)のパラメータを加えた計12個のパラメータで表現する。

4.2 変形可能超二次曲面の定義

中心がモデル(部位)座標系の原点にあるDSQ上の点 \vec{X}_{DSQ} は、SQ上の点 $\vec{X}_{SQ} = (\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3)^T$ を用いて、

$$\vec{X}_{DSQ} = \begin{pmatrix} \left(\frac{\epsilon_1 \epsilon_3}{a a_3} + 1\right) e_1 + b_1 \cos\left(\frac{\epsilon_3 + b_2}{a a_3} \pi b_3\right) \\ \left(\frac{\epsilon_2 \epsilon_3}{a a_3} + 1\right) e_2 \\ \epsilon_3 \end{pmatrix} \text{と}$$

なる。また、その点における法線ベクトル \vec{N}_{DSQ} は、SQ上の点 \vec{X}_{SQ} における法線ベクトル $\vec{N}_{SQ} = (n_x, n_y, n_z)^T$ を用いて、

$$\vec{N}_{DSQ} = \begin{pmatrix} B & 0 & 0 \\ 0 & A & 0 \\ -BC & 0 & AB \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{pmatrix}$$

ただし、

$$\begin{cases} A = \frac{\epsilon_1 \epsilon_3}{a a_3} + 1 \\ B = \frac{\epsilon_2 \epsilon_3}{a a_3} + 1 \\ C = \frac{\epsilon_1 \epsilon_1}{a a_3} - \frac{\pi b_1 b_3}{a a_3} \sin\left(\frac{\epsilon_3 + b_2}{a a_3} \pi b_3\right) \end{cases}$$

t_1, t_2 ($0 < t_1, t_2 \leq 1$) b_1 (positive or negative), b_2 ($-1 \leq b_2 \leq 1$), b_3 ($0 < b_3 \leq 1$)	Tapering パラメータ Bending パラメータ
---	---------------------------------------

t_1 はx軸方向、 t_2 はy軸方向のTapering変形を表し、 b_1 はBendingの大きさを、 b_2 はBendingが行われたときのz軸の位置を、 b_3 はBendingの形状の変化の範囲をそれぞれ表す。

これらのパラメータを変化させることにより、SQを曲げたり、先細りの形状にしたりすることが可能となる。DSQモデルは、ここに示した5個のパラメータにSQのパラメータ(6個)と平行移動(3個)と回転(3個)のパラメータを加えた計17個のパラメータで表現される。

4.3 局所変形の導入

本研究では、モデルの形状をより詳細に表現するために、局所変形を導入する。本研究で用いる局所変形は、原らが考案した「だ円膨張法」[6]の考えを3次元に拡張したものである。

局所変形の定義 DSQの各緯度に対して、だ円膨張法の考えを適用する。ここでいう緯度とは、DSQをモデル(部位)座標系におけるz軸方向に離散化したものである。つまり、図4のようにDSQの媒介変数 η ($-\frac{\pi}{2} \leq \eta \leq \frac{\pi}{2}$)を等間隔でn分割(分割数は任意)したものである。そしてこの緯度を $\eta = -\frac{\pi}{2}$ の時に番号0とし、 $\eta = \frac{\pi}{2}$ まで番号づけしたものを緯度番号とする。

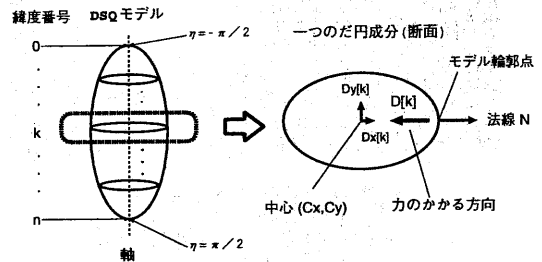


図4: 局所変形の定義

モデル当てはめの際は、図4の様に、各緯度におけるモデル輪郭上の点の法線を利用し、その法線方向と反対の向きに力を与えて収縮させる。ここで用いるパラメータは以下の通りである。

D	だ円全体の大きさの変化量
D_x, D_y	だ円の中心(C_x, C_y)におけるx軸、y軸方向への変化量

このだ円は、各緯度毎にそれぞれ独立して変形させることができるので、DSQのTapering、Bendingパラメータを用いるよりも複雑な形状を表現することができる。

5 モデル当てはめの手順

ここでは、システムが自動で行なうパラメータ推定について述べる。パラメータ推定は、画像上に表示されたモデル像の輪郭(以下、モデル輪郭)と実際の対象物の輪郭とのずれを評価関数とし、これをモデルパラメータに関する最急降下法により最小化することによって行なう。以上の処理を他のすべての部位に対して再帰的に行なうことで、多関節

構造体のパラメータ推定を行なうことができる。なお、本研究ではより正確な対象物のパラメータ推定を行なうために、まず DSQ のパラメータ推定を行ない、その後に局所変形のパラメータ推定を行なう (図 5)。

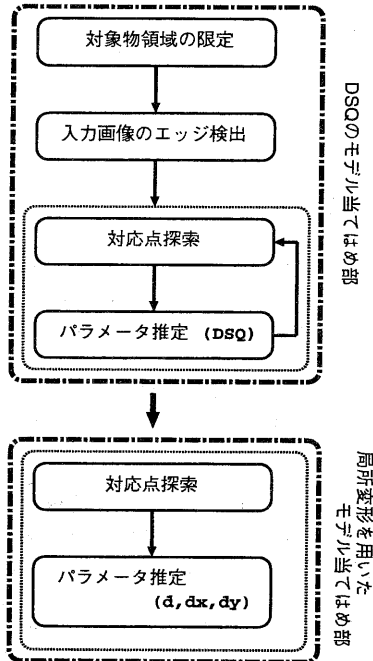


図 5: モデル当てはめの流れ

5.1 DSQ のパラメータ推定

評価関数を構成し、 DSQ のパラメータを推定する手順を以下に述べる。

1. 全ての視点からの画像について、モデル像の周囲で対象領域を限定
2. その領域のエッジ検出 (Canny filter [7])
3. エッジ上の点とモデル輪郭上の点 (以下、モデル輪郭点) との対応を求める
4. 対応点間の距離の総和を評価関数とし、最急降下法を用いてパラメータを推定

ここでは、モデル輪郭上にある点と対象物のエッジ上の点とを対応させるために、モデル輪郭上にある点の近傍を調べ、その点からの 2次元距離が一番近い対象物のエッジ上の点を対応点とする。また、最急降下法の任意の繰り返し推定回数毎に対応点の見直しを行なうことでパラメータ推定の時間を少なくする。

5.2 局所変形のパラメータ推定

局所変形のパラメータ推定は、 DSQ のパラメータ推定の結果を基にして行う。4.3 節で述べた通り、本研究で用いる局所変形は、モデルの各緯度ごとに独立して変形させることが可能であるので、局所変形のパラメータ推定も各緯度ごとに独立して行う。また、局所変形によるモデル当てはめの対応点探索は、すべてのモデル輪郭点を対象物のエッジに対応させるのではなく、モデルの各緯度におけるモデル輪郭点のみを対象物のエッジ上の点と対応させる。

なお、局所変形のパラメータ推定では、モデルに Bending が施されている場合とそうでない場合で推定するパラメータの数が異なる。具体的には、モデルに Bending が施されている場合は D, D_x, D_y パラメータ、Bending が施されていない場合は D パラメータのみである。このように推定するパラメータが異なる理由は、 D_x, D_y パラメータが、Bending パラメータと同様にモデルを曲げる性質を持っているからである。そのため、モデルに Bending が施されていない場合は D_x, D_y パラメータを推定する必要はない。ここでは、対応点探索についてのみ述べる。

対応点探索 各緯度におけるモデル輪郭点と対象物のエッジとの対応づけを行うために、まず、各緯度においてモデル輪郭上にある 2点 (ただし、緯度番号 0 ($\eta = -\pi/2$), 緯度番号 n ($\eta = \pi/2$) の時は 1点) を探索する (図 6 の緯度 k における点 k, k')。

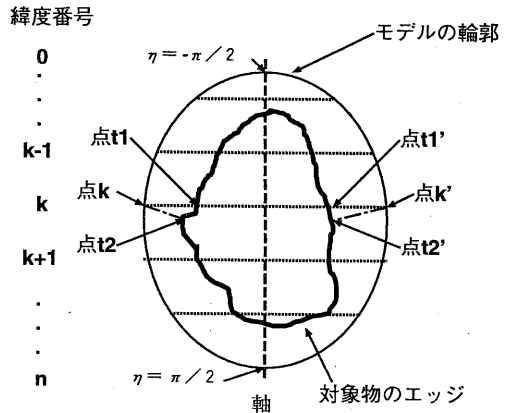


図 6: 対応づけ

各緯度におけるモデル輪郭上の点が集まると、次に対象物のエッジとの対応づけを行なう。ここでは、モデルに

- Bending が施されていない場合
- Bending が施されている場合

の二つの場合に分けて異なる対応づけを行なう。このように対応づけを変えているのは、モデルに Bending が施されている場合とそうでない場合とで推定するパラメータが異なるからである。モデルに Bending が施されている場合は、 D_x, D_y パラメータの推定を行うが、この二つのパラメータはそれぞれモデル(部位)座標系の x 軸方向、y 軸方向のみしか変化させることができない。従って、 D_x, D_y パラメータを正確に推定するためにはモデルの各緯度と同緯度にある対象物のエッジと対応づけを行う必要がある。以下にそれぞれの場合における対応づけを述べる。

1. Bending が施されていない場合

モデルに Bending が施されていない場合は、各緯度におけるモデル輪郭上の点から最短距離にある対象物のエッジを対応点とする(図 6における点 $t1, t1'$)。

2. Bending が施されている場合

モデルに Bending が施されている場合は、各緯度におけるモデル輪郭上の点同士を結んだ直線上にある対象物のエッジを対応点とする(図 6における点 $t2, t2'$)。

6 実験

図 7 のような対象物に対して、DSQ によるモデル当てはめと局所変形を用いたモデル当てはめの実験を行なった。モデルの初期位置を図 8、DSQ によるモデル当てはめの結果を図 9、局所変形を用いたモデル当てはめの結果を図 10 に示す。DSQ によるモデル当てはめの際の対応点間の距離(誤差)は、一対応点あたり約 5.8 画素、局所変形を用いたときは、一対応点あたり約 2.5 画素であった。これより局所変形を用いることで、より正確な対象物のパラメータ推定が行えると言える。また、この誤差は量子化誤差等を考慮すれば許容できる誤差であると言える。

7 おわりに

本稿では、動画像の初期フレームにおいてユーザが手軽に、またより正確な形状モデルを作成することができるために、対象物に対する「モデル当てはめ」の機能をもった形状モデラを提案した。また、

実験により本手法の有効性を確認した。今後の課題としては、「関節点の設定の問題」がある。本手法では、関節点はユーザが指定したものをそのまま使用している。しかし、ユーザが必ずしもちゃんとした関節点の設定をしてくれるとは限らない。関節点がある程度正確に設定されていなければ、動画像を追跡するモジュールで正確に追跡を行うことができない可能性がある。そこで、システム側で関節点の推定を行うなどをして対処する必要があると考えられる。

参考文献

- [1] H.Shum, K.Ikeuchi, R.Reddy: "Virtual Reality Modeling from a Sequence of Range Images", *IUW*, pp.1189-1198, 1994.
- [2] D.Terzopoulos, T.Robie: "Animat Vision : Active vision with artificial animals", *ICCV*, pp.801-808, 1995.
- [3] 中島, 西原, 高橋: "仮想現実世界構築のための単眼カメラからの魚の行動データの獲得", 電子情報通信学会技報, MVE95-7, pp.41-48, 1995.
- [4] A.H.Barr : "Superquadrics and angle-preserving transformations", *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.1, pp.11-23, 1981.
- [5] D.Metaxas, D.Terzopoulos: "Shape and Non-rigid Motion Estimation through Physics-Based Synthesis", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.15, No.6, pp.580-591, 1993.
- [6] 原 潤一, 加藤 博一, 井口 征士: "だ円膨張法を用いた動物シルエット画像の記述と認識", 電子情報通信学会論文誌, Vol.J74-D-II, No.3, pp.366-375, 1991.
- [7] J.Canny: "A Computational Approach to Edge Detection", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.8, No.6, pp.679-698, 1986.

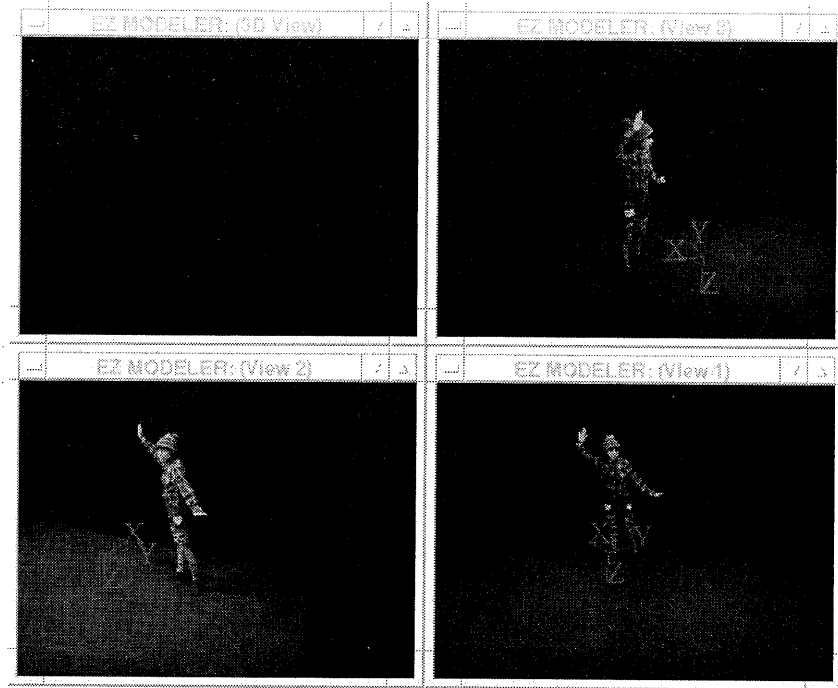


図 7: 対象物画像

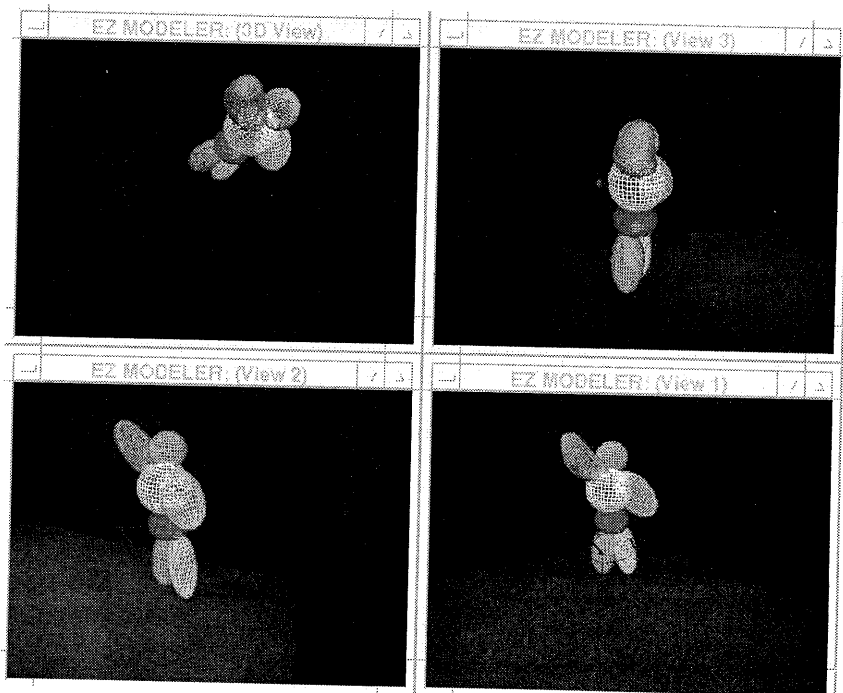


図 8: モデルの初期位置

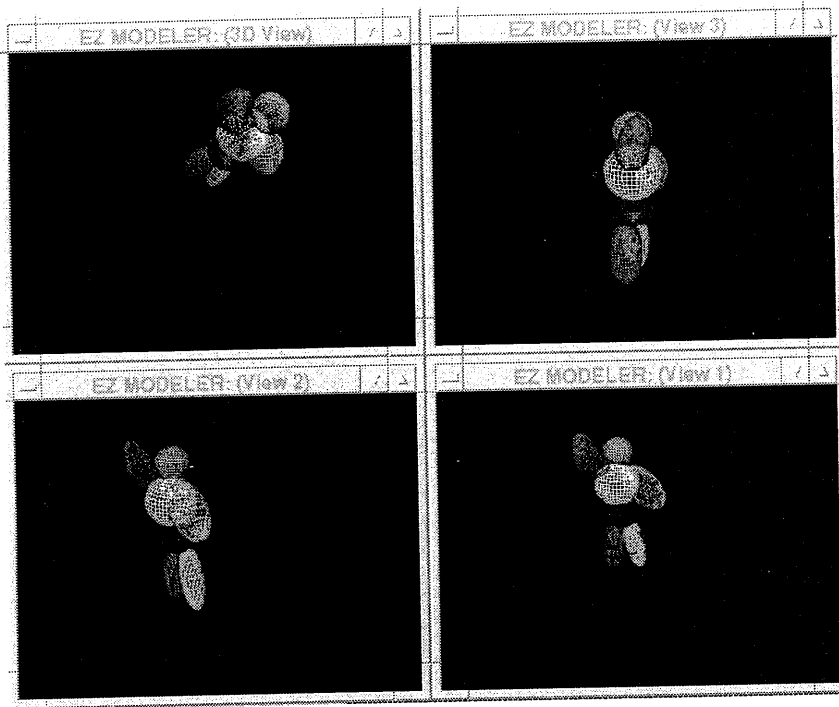


図 9: DSQ によるモデル当てはめの結果

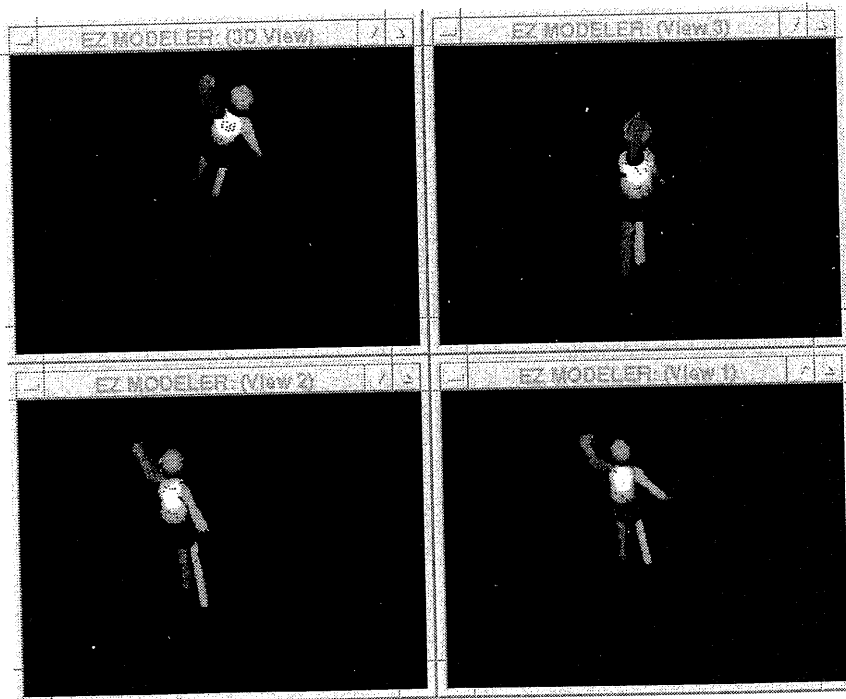


図 10: 局所変形を用いたモデル当てはめの結果