

視体積交差法復元形状への標準人体モデル当てはめによる高精度化

服部 雄一† 中澤 篤志†‡ 竹村 治雄†‡

複数カメラの撮影画像から視体積交差法を用いて人体形状を復元する研究は多く行われているが、シルエットを元に復元を行うため、形状推定精度には限界がある。精度を上げるために、カメラの台数を増やすなど取得環境を改善しても、手法の特性上、形状データに角がでたり、表面の法線情報が失われるなどの問題は解決しない。そこで本研究では、復元した形状に対し対象に関する知識を用いた整形処理を利用して高精度化を行うことを試みる。まず、取得した人体形状データから姿勢を推定し、あらかじめ用意した標準人体モデルパーツを当てはめてパーツ当てはめモデルを作成する。次に、人体形状データを、パーツ当てはめモデルの表面の法線ベクトルを参照しながら法線方向をベースとした変形を行う。この手法によって、元の人物の姿勢と身体的特徴は保持しつつ、正確で高精度な3次元人体モデルを得ることができる。

Refinement of the Shape Reconstructed by Visual Cone Intersection using Fitting the Standard Human Model

YUICHI HATTORI,[†] ATSUSHI NAKAZAWA,^{†,‡} and HARUO TAKEMURA,^{†,‡}

3D human model reconstruction using visual cone intersection between images captured by multiple cameras has been thoroughly researched, but the accuracy of the shape estimation by previous methods is limited due to the use of silhouette images. Increasing the number of cameras can help improve accuracy, but the problems of unsmooth surfaces appearing in the shape data and the disappearance of the surface normal will still remain. In this research, we try to refine this process by reshaping the reconstructed model. First, we estimate a subject's pose from captured human shape data and create a parts-fitted model using standard human model parts prepared in advance. Afterwards, we reshape the parts-fitted model based on the surface normal vector. By doing this, we can obtain an accurate and refined 3D human model that maintains the subject's pose and characteristics of his body.

1. はじめに

複数のカメラを用いて物体形状を取得し、3次元モデルを生成する研究は数多く行われている¹⁾²⁾³⁾。その対象が人体である場合、人体の形状を3次元モデルとして復元することで、人間の身体形状や姿勢をコンピュータによって再現することができる。3次元人体モデルは、コンピュータグラフィックス作成⁴⁾を始めとして、運動動作解析⁵⁾、人間工学、生体力学、また医療、教育、娯楽分野など幅広い分野での応用が考えられる。

復元によって得られる人体モデルの精度は、カメラの台数や解像度、対象人物の服装・姿勢、また3次元復元の手法に大きく依存する。復元手法として最もよく用いられるのは視体積交差法である⁶⁾。しかし、こ

の手法で復元した3次元モデルには、データに角(かど)がでたり、表面の法線が失われるなど、精度の面でいまだ問題が多い。復元のための入力情報は多視点の2次元画像であるため、カメラの台数を増やせば復元時の3次元形状を真値(実際の人体形状)に近づけることはできるが、法線情報の復元を行うことはできない。

近年、人体形状の生成に関しては、学習モデルや事前知識を利用する手法がいくつか提案されている。Anguelovらは、体型形状と姿勢のバリエーションを持った人体モデルを生成するものである⁷⁾。この手法では、姿勢変化による形状変形および個人の体格差による体型形状のバリエーションを学習してモデル化することで、学習セットに無いような姿勢・体型のモデルを生成することができる。

また、Allenらの手法⁸⁾では、あらかじめ人体のテンプレートモデルを用意しておく。このモデルを、マーカおよびレンジスキャンによって取得した実際の人体モデルに頂点単位でフィッティングすることで、さまざまな体型の人体モデルを得ることができる。これら

† 大阪大学大学院 情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology,
Osaka University

‡ 大阪大学 サイバーメディアセンター
Cybermedia Center, Osaka University

の手法のように、人体に関する前提知識として標準的なモデルを用意しておくことで、高精度な人体モデルの生成が容易になると考えられる。

本研究のアプローチは、人体の各部位の知識（標準人体モデル）を用いて、視体積交差法による復元を行った3次元モデルの精度を高めるものである。復元後の3次元人体モデルから人体の姿勢推定を行い、姿勢データに標準人体モデルの各パーツを当てはめ、パーツ当てはめモデルを作成する。この際、パーツごとに元のポリウム形状を参照しながら当てはめを行うことで、対象人物の関節位置や関節間の距離等の身体的特徴を大まかに反映させることができる。標準人体モデルのパーツデータはコンピュータ・アニメーション作成に使用されるデータで、滑らかな表面形状を持つものである。当てはめた後に、ポリウムモデルをパーツ当てはめモデルと法線方向を基準としてフィッティングすることで、モデル全体の表面形状を調整する。この手法によって、ポリウムモデルに見られる姿勢と身体的特徴は保持しつつ、より自然な表面形状を持った3次元人体モデルを得ることができると考えられる。

2. 提案手法

提案手法の全体的な流れを図1に示す。概要を以下に述べる。

- (1) 対象人物を複数カメラを備えたスタジオで撮影し、人体形状のボクセルデータ、およびそれを元にした人体の関節データを得る。
- (2) ポリウムモデル（ボクセルデータをポリゴンに変換したもの）に対し、複数の撮影画像を使用したテクスチャマッピングを行う。
- (3) 関節データの各部分に11部位に分かれた標準人体モデルパーツを当てはめ、パーツ当てはめモデルを作成する。このパーツは用意されたポリゴンモデルである。当てはめの際、位置やスケールの調整のために、ポリウムモデルを参照する。
- (4) パーツ当てはめモデルを参照してポリウムモデルの表面フィッティングを行い、より高精度な3次元モデルを生成する。

以下では、前段階部分(1)について簡単に述べた後、(2)および高精度化のアルゴリズム(3)(4)について詳しく説明する。

2.1 3次元モデルの取得と姿勢推定

対象人物の画像を天井に固定された複数のカメラから撮影し、視体積交差法によってボクセルデータを求める。ここでは、8台のカメラが人物を周囲より見下ろす環境を設定している。各カメラは、平面パターンを用いてレンズの非線形歪みを校正し、次に既知の大きさのキャリブレーションボックスを用いて、カメ

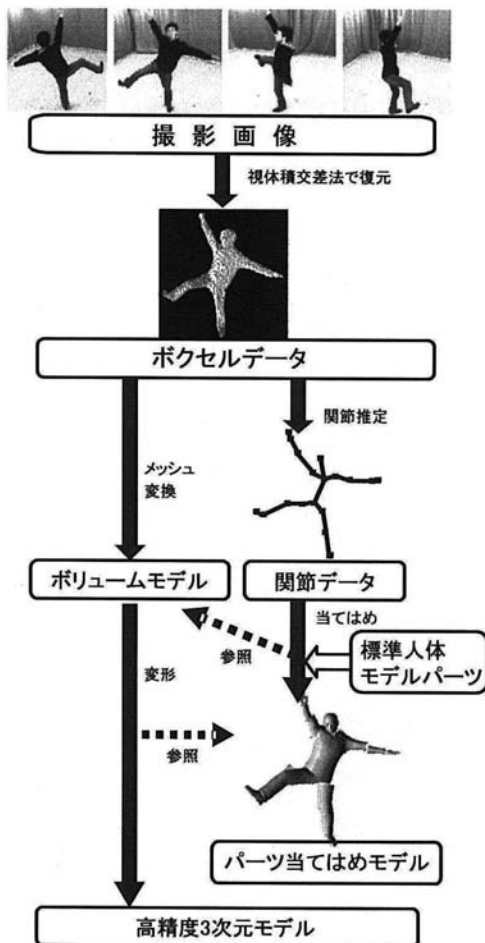


図1 手法全体の流れ

ラパラメータを求めておく⁹⁾¹⁰⁾。入力画像から色相を考慮した背景差分を用いることで対象の領域を抜き出し、カメラパラメータを用いて対象人物のボクセルデータを復元する。ここでは、このデータをマーチン・キューブ法によって表面形状のみをもつポリウムモデル（ポリゴンメッシュデータ）に変換して用いる。

続いて、得られたポリウムモデルを細線化してスケルトンモデルに変換し、人体の部位判定を行い、関節位置と角度の推定を行うことで、撮影した人物の関節データを得る¹¹⁾。

2.2 テクスチャマッピング

次に、ポリウムモデルに対し、撮影画像をもとにしたテクスチャマッピングを行う。

図2にその概要図を示す。3次元モデル復元の際に用いたカメラパラメータがあれば、世界座標系からカメラの座標系への線形変換を行うことができる。これにより、3次元モデルの頂点座標を撮影画像の座標（テ

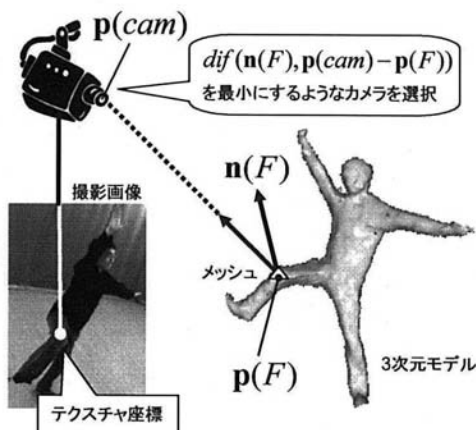


図2 テクスチャマッピング

クスチャ座標)に変換し、各メッシュに対応するテクスチャを貼ることができる。しかし、カメラから映っていない部分(横、裏側、オクルージョン部等)のテクスチャは貼ることができないので、各メッシュに対して、そのメッシュが最もよく見えているカメラ(最適カメラ)を決定する必要がある。面 F の最適カメラ $bestcam(F)$ は以下の式で決定する。

$$bestcam(F) = \arg \min_{cam} [dif(\mathbf{n}(F), \mathbf{p}(cam) - \mathbf{p}(F))] \quad (1)$$

面の法線ベクトル $\mathbf{n}(F)$ と、面の座標 $\mathbf{p}(F)$ (面を構成する頂点の平均座標とする)からカメラ撮影点の座標 $\mathbf{p}(cam)$ へ向かう方向ベクトルのベクトル差分が最も小さい cam を採用する。

なお、2つのベクトル \mathbf{p}, \mathbf{q} の角度の差 $dif(\mathbf{p}, \mathbf{q})$ は以下の式で計算する。

$$dif(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = \arccos(\mathbf{p} \cdot \mathbf{q}) \quad (2)$$

全ての面に対して最適カメラを求めた後、各頂点に対応するテクスチャ座標が有効か無効かを判定する。頂点が無効になるのは次の3通りの場合である。

- (1) その頂点がどのカメラからも見えていない(=ベクトル差分が大きすぎる)場合。例えば、股の下や足の裏など。
- (2) その頂点がおの他の体の部位に隠れ、最適カメラから映っていない場合。例えば、手を上げた際に隠れる顔の横など。
- (3) その頂点に背景部が映りこんでいる場合。カメラパラメータの誤差等が影響する。

1つ以上の無効な頂点が含まれる面では、カメラを左右のすぐ隣のものに切り替えて、有効化した場合は最適カメラをそちらに切り替える。(2)や(3)の場合はこの対処で解決できる。

ただし、(1)の場合はいずれのカメラに対しても無効面であることが多く、この場合は周囲のデータから

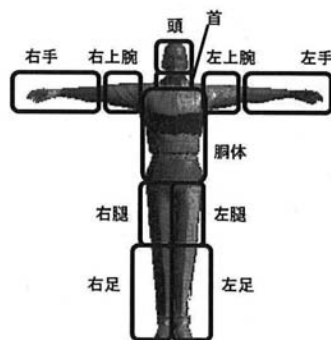


図3 標準人体モデルパーツの構成

の推定補完を行うことになる。隣接点に有効点が1つある場合はその隣接点のテクスチャ座標を、2つ以上ある場合はそれらの平均の座標を埋め込む。隣接点全てが無効点の場合は保留とし、周囲からの伝播を待つ。

以上の処理により、全ての面にテクスチャを貼ることができる。

2.3 パーツ当てはめモデルの生成

得られた姿勢データにあらかじめ用意された標準人体モデルパーツを当てはめ、撮影された人体と同じ姿勢を持ったパーツ当てはめモデルを生成する。標準人体モデルパーツの構成を図4に示す。これはe-fronteer社のPoser¹²⁾に内蔵されているオブジェクトデータをポリゴンデータに変換して用いた。これらは頭から足まで人体の11部位に分かれており、関節データの表す関節座標と角度を参照して配置する。

しかし、人間の関節間の距離、すなわち手足や胴などの長さには個人差があり、あらかじめ用意しておいたパーツを当てはめるだけでは関節部分に大きな隙間ができたり、パーツ同士が重なったりする可能性が大きい。また、関節位置のみを情報としてパーツ当てはめを行った場合、形状データが大きすぎてしまい、参照モデルとして使用できなくなる可能性もある。

そこで、ここでは第一段階で取得したポリウムモデルを参照し、モデル形状を変形させながら位置合わせを行う。具体的には、図4に示すように各々の標準人体モデルパーツに3方向のスケール変換パラメータ、平行移動パラメータ、および回転パラメータの3種10個の変形パラメータを設定し、入力形状に最も近づくパラメータを求める。

パーツ当てはめの大きな流れとしては、まず各パーツをパーツごとに設定されている初期位置に置き、パラメータを初期値に設定する。続いて、パーツを当てはめたモデルのポリウムモデルに対する近似度を求め、この近似度の値が小さくなるようにパーツの各パラメータを収束させる。この結果、最もポリウムモデルに近い形状のパーツ当てはめモデルを得ることができる。

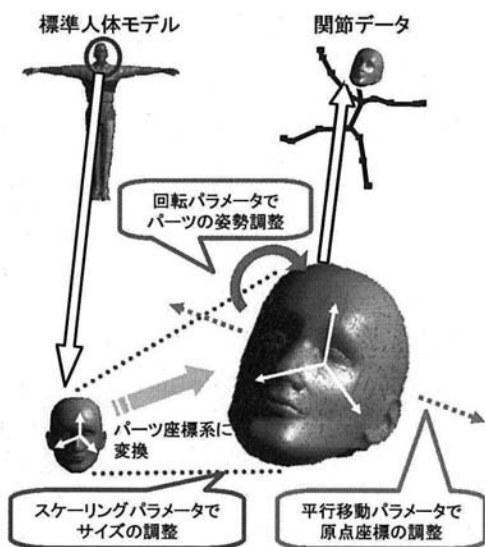


図4 関節データへの標準人体モデルパーツ当てはめ

以下では、形状モデルの変形方法、近似度の計算方法およびパラメータの収束方法について述べる。

(a) パーツの6自由度と変形パラメータ

v を標準人体モデルパーツ上の頂点、 v' を変形後の頂点とすると、本手法の推定は、下記の行列 T で表現できる。

$$v' = Tv \quad (3)$$

$$T = \begin{pmatrix} r_{11}s_x & r_{12}s_y & r_{13}s_z & t_x \\ r_{21}s_x & r_{22}s_y & r_{23}s_z & t_y \\ r_{31}s_x & r_{32}s_y & r_{33}s_z & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$s = (s_x, s_y, s_z)$ の各要素は、モデルの各軸に対する形状変化(スケール)を表す。 $t = (t_x, t_y, t_z)$ の各要素は平行移動パラメータであり、パーツの中心位置を表す。

$$R = \begin{pmatrix} x & y & z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix}$$

は、パーツの姿勢を表す回転行列であるが、これは大きさ1の四元数 $Q = [q_1, q_2, q_3, q_4]$ から計算できる。

ここで、パーツの初期位置および初期姿勢は、入力データから得られた関節モデルを元に設定する。例えば、胴の位置を表す t_{body} の初期パラメータは以下の式で表される。

$$t_{body} = \frac{1}{2}p_{body} + \frac{1}{2}p_{hip}$$

また、胴パーツの姿勢を表す回転行列の各要素は、以下の式で表される。

$$x_{body} = p_{lthigh} - p_{rthigh}$$

$$y_{body} = (p_{body} - p_{hip}) \times x_{body}$$

$$z_{body} = x_{body} \times y_{body}$$

これらの式の値を正規化したものが初期値となる。ただし、 p_{body} 、 p_{hip} 、 p_{lthigh} 、 p_{rthigh} はそれぞれ関節データから得られる、胴、尻、左腿、右腿の関節座標である。

(b) 変形したパーツとボリュームモデルの近似度計算

ボリュームモデルへの近似度は、以下の式で評価する。

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n dist^2(S_i, V_i) \quad (5)$$

$$V_i = \arg \min_V [dist(S_i, V)] \quad (6)$$

$$dist(S_i, V) < distthre$$

$$n(S_i) \cdot n(C) < normthre$$

n はパーツの総頂点数である。また、 P はパーツ、 V はボリュームモデルであり、 P_i 、 V_i は、それぞれパーツの i 番目の頂点 ($1 \leq i \leq n$) とそれに対応するボリュームモデルの頂点を表す。この式の a は両データの対応点間のユークリッド距離の二乗平均を表す。

ボリュームモデル上の対応点 V_i は、パーツの各頂点とユークリッド距離が最小となる頂点を選ぶが、このとき距離閾値 $distthre$ と法線ベクトル閾値 $normthre$ を設け、一定距離離れている、あるいは法線ベクトル $n(V)$ が一定角度以上ずれている場合はその値を閾値の倍に設定してペナルティを与える。この結果、一度で適切な対応点が見つからない場合も出てくるが、対応点の探索は各パラメータを一時的な最適値に動かすたびに行うので、次回以降の探索で見つかるのを待つ。

(c) パラメータの探索

なお、パラメータの収束は各パーツ毎に最急降下法を用いて行う。毎回、スケールパラメータ、平行移動パラメータ、回転パラメータの順でパラメータを微小幅で動かし収束させていく。

2.4 パーツ当てはめモデルを用いたボリュームモデルの形状変形

以上の処理で、標準人体モデルパーツの大きさと位置が調整され、パーツ当てはめモデルが完成する。続いて、これを参照データとしてボリュームモデルの形状変形を行う。

ここで行う処理は、ボリュームモデルのもつ被写体の形状的特徴(背、体型など)はそのままに、表面法線を標準人体モデルに近づけるものである。標準人体モデルパーツを当てはめたパーツ当てはめモデルは、滑らかに整形された法線方向が明確なサーフェスをもつが、ボリュームモデルの表面は凹凸が多い。そこで、ボリュームモデルの面の法線ベクトルが、パーツ当てはめモデルのそれに近くなるように各頂点を動かしていく。ただし、ここで頂点全体に大きな動きをかける

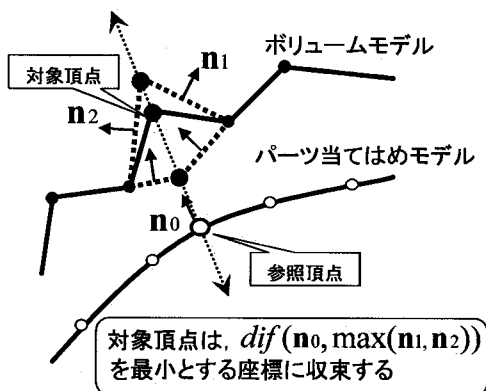


図5 パーツ当てはめモデルの形状変換

と被写体の特徴が失われる可能性があるため、変形は各頂点ごとに行い、動かす方向はパーツ当てはめモデルの対応点へ直線的に向かう（あるいは遠ざかる）方向のみとする。

大まかな流れとしては、まずポリウムモデルの各頂点に対するパーツ当てはめモデル上の対応点を決定する。続いてその対応点の方向を見ながら各頂点を微小幅ずつ動かし、評価値を計算する。そして、この評価値が最小値をとるような対応点を探索する。

(a) 対応点の決定

まず、ポリウムモデルの各頂点に対するパーツ当てはめモデル上の対応点を決定する。

$$P_i = \arg \min_P [dist(V_i, P)] \quad (7)$$

ポリウムモデル上の頂点 V_i に対応するパーツ当てはめモデル上の頂点 P_i は、ポリウムモデルの頂点とユークリッド距離が最小になる点を選ぶ。対応点探索は各頂点が移動することに行うため、対応点が収束途中で切り替わることもある。

(b) 形状の変形

ポリウムモデルの各頂点に対して行う変換は以下のような式で表される。

$$V'_i = \alpha V_i + (1 - \alpha) P_i \quad (8)$$

V_i は変形前、 V'_i は変形後の対象頂点座標であり、 P_i は参照頂点（パーツ当てはめモデル上の対応点）の座標である。頂点は、参照頂点へ向かう（あるいは遠ざかる）方向に動き、パラメータ α が変化することでその近づき具合が変化する。

(c) 評価値の計算

主に法線ベクトルの角度差（式(2)）を用いて、変換後の頂点座標の評価を行う。変換後のポリウムモデルを V' とすると、その頂点座標は以下のように決

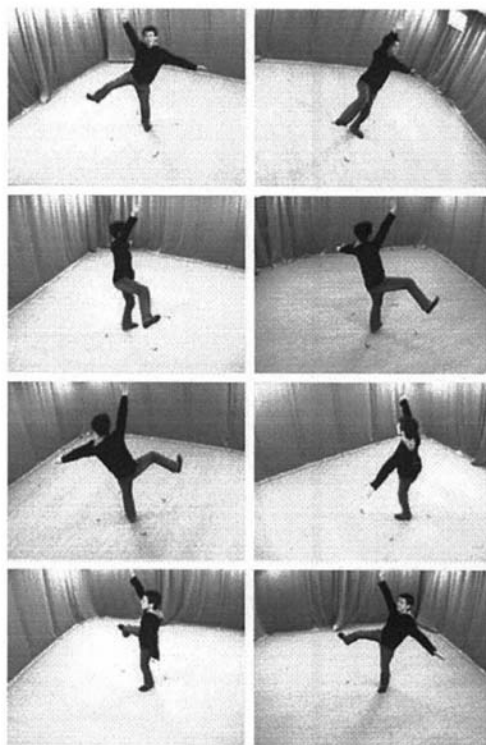


図6 8台のカメラによる撮影画像

定する。

$$V'_1, \dots, V'_n = \arg \min_{V'_1, \dots, V'_n} \left[\max_{f \in adj(i)} (dif(\mathbf{n}(V'_f), \mathbf{n}(P_i))) \right] \quad (9)$$

変換後のポリウムモデル V' において、ある頂点 V'_i に着目し、その頂点に隣接する（取り囲む）全ての面 $f | f \in adj(i)$ の法線ベクトルと、パーツ当てはめモデル P の対応頂点 P_i の法線ベクトルの角度差を調べる。その中での最大値をこの2頂点間の法線ベクトルの差分値として扱う。

図5に示すように、頂点を1つ動かすことで周囲の面も引っ張られて動くが、その際に最も歪む面の「歪み具合」を評価値として使うことになる。この評価値を観察しながら各頂点 V'_i を式(8)に習って動かしていき、評価値が最小となるような座標を、各頂点における収束座標とする。

(d) 頂点座標の探索

評価値の探索は各頂点毎に最急降下法を用いて行う。対象頂点を式(8)の通りに微小幅で動かし、評価値を調べながら収束させていく。

3. 実 験

実際に8台のカメラで取得した人体のボクセルデー

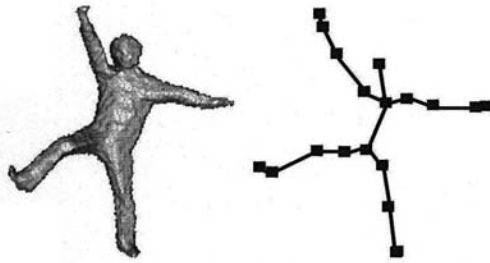


図7 ボリュームモデル(左)と関節データ(右)

タを元に、提案手法を用いて3次元モデルの高精度化を行った。

図6は8方向から撮影された画像であり、これらと背景画像から得たシルエット画像をもとに視体積交差法によってボクセルデータを復元した。図7は、これをマーチン・キューブ法によりポリゴンモデルに変換したボリュームモデル(左)、およびそれから得られた関節位置データ(右)である。

図8は、関節部位データに対して、11部位に分かれた標準人体モデルパーツを当てはめたパーツ当てはめモデルであり、ボリュームモデルと重ねて比較している。上図はフィッティングによるパーツの位置、回転量、スケーリングのパラメータ調整を行っていない初期の当てはめ状態のもので、下図はパラメータ調整済みの完成版パーツ当てはめモデルである。上図に比べると下図のモデルは、特に左手や右足および胸部などが分かる。ここで、図9は右腿部および胸部のフィッティングの過程を表したものである。いずれも、左が初期のもの、右が最終収束状態のものである。いずれも、最初は大きめのスケーリングパラメータを設定しているため、ボリュームモデルに比べてかなり大きい形状になっているが、最終的にはボリュームモデルに合ったサイズに収束していることが分かる。

続いて、パーツ当てはめモデルを用いたボリュームモデルの表面形状の変形を行った。上記のパーツ当てはめモデルを用いて法線ベースの変形を行った過程を図10に示す(なお、ここではテクスチャマッピングを行っていない状態のものを示した)。左が全体図、右が胸部の拡大図である。ボリュームモデルには、マーチンキューブ出力に特有の斜めの段状の表面形状が見られるが、処理が進むにつれて表面形状が滑らかになり、改善していることが分かる。また、撮影画像、ボクセルモデル、ボリュームモデル、変形後のボリュームモデルのそれぞれの頭部の拡大比較を図11に示す。処理が進むにつれ、徐々に形状の再現度合が上がっていることが分かる。

最後に、変形前のボリュームモデルと変形後のモデルにテクスチャマッピングを行ったものを図12に示



図8 パーツ当てはめモデルとボリュームモデルの重畳比較
(上:パラメータ未調整,下:パラメータ調整済み)

す。テクスチャを貼ることで結果の違いがより明確になり、3次元モデルの高精度化が高精細なコンピュータグラフィックス生成に有効であることが分かる。

4. おわりに

本稿では、標準人体モデルパーツの当てはめにより、視体積交差法で復元した3次元人体ポリゴンモデルを高精度化する手法を提案した。

人体の標準人体モデルパーツを知識としてあらかじめ用意しておくことで、取得段階ではなく3次元復元後の段階の処理で3次元モデルの高精度化を試みた。この手法を用いることで、比較的カメラ台数の少ない環境でも正確性の高いポリゴンモデルが得られれば、コストパフォーマンスの高い3次元モデル生成手法に

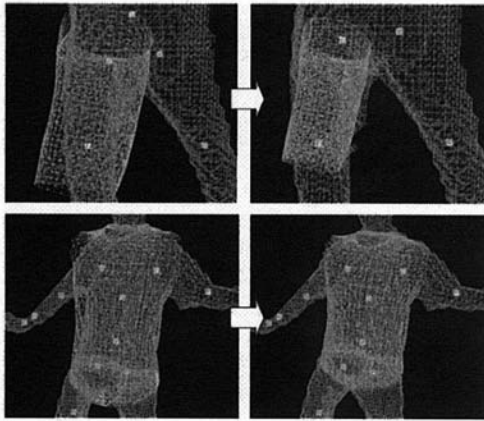


図9 標準人体モデルパーツのフィッティング過程
(上：右腿部のフィッティング，下：胴部のフィッティング)

なると考えられる。

今後は、出力されるモデル精度の向上のため、パーツ当てはめ方法の改善、頂点変換のための評価値の検討を行う。また、出力したモデル精度の定量評価についても検討する必要がある。

謝辞 本研究は文部科学省「知的資産の電子的な保存・活用を支援するソフトウェア基盤技術の構築」プロジェクトの支援により行われた。

参 考 文 献

- 1) R.F. Rashid: "Towards a system for the interpretation of moving light display," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.2, No.6, pp.574-581, 1980.
- 2) S.Moezzi, L.Tai, P.Gerard: "Virtual view generation for 3D digital video," IEEE Multimedia, pp.18-26, 1997.
- 3) G.Cheung, T.Kaneda: "A Real Time System for Robust 3D Voxel Reconstruction of Human Motions," in Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.714-720, 2000.
- 4) 松山隆司, 高井勇志, ウ小軍, 延原章平: "3次元ビデオの撮影・編集・表示", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, No.4, pp.521-532, 2002.
- 5) T. Shiratori, A. Nakazawa, K. Ikeuchi: "Detecting dance motion structure through music analysis," In Proc. of Sixth International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, pp.857-862, 2004.
- 6) ウ小軍, 和田俊和, 東海彰吾, 松山隆司: "平面間透視投影を用いた並列視体積交差法", 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.SIG6(CVIM2), pp.33-43, 2001.
- 7) D.Anguelov, P.Srinivasan, D.Koller, S.Thrun, J.Rodgers, J.Davis: "SCAPE: Shape Completion and Animation of People," ACM Transactions on Graphics (ACM SIGGRAPH 2005), Vol.24, No.3, pp.408-416, 2005.
- 8) B.Allen, B.Curless, Z.Popovic: "The space of human body shapes: reconstruction and parameterization from range scans," Proc. SIGGRAPH'03, pp.587-594, Assidon-Wesley, 2003.
- 9) 加藤博一, M.Billinghurst, 浅野浩一, 橘啓八郎: "マーカー追跡に基づく拡張現実感システムとそのキャリブレーション", 日本バーチャルリ

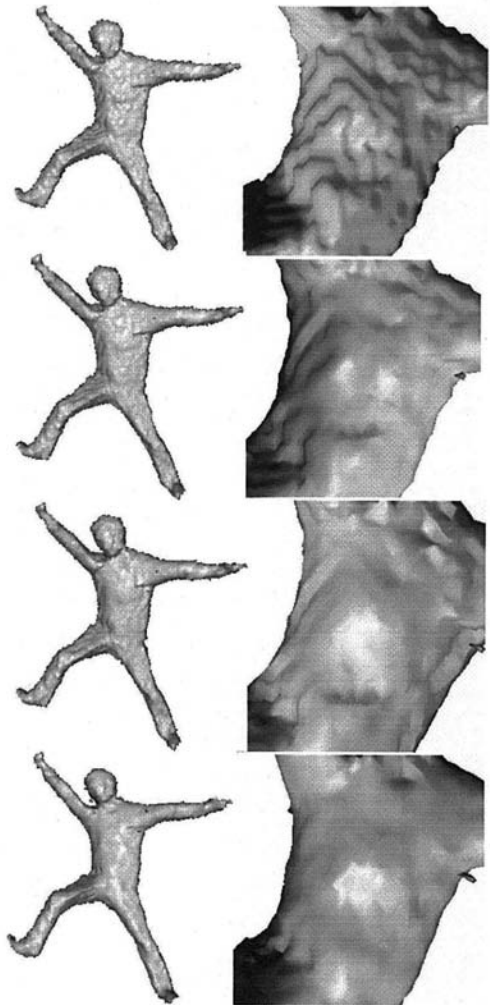


図10 3次元モデルの変形過程
(左：全体図，右：胴部拡大図。上から下へ行くにつれ，高精度化処理が進行している)

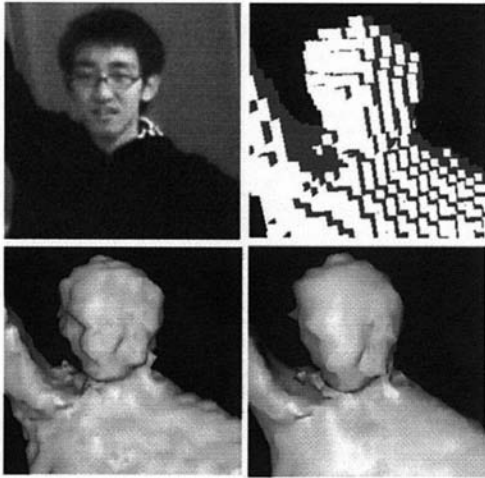


図 11 撮影画像と各ポリゴンモデルの拡大図
(左上:撮影画像, 右上:ボクセルデータ, 左下:ボリュームモデル, 右下:変形後のモデル)



図 12 テクスチャマッピングを行った 3 次元モデル
(左上:全体図(変形前), 右上:右腿部拡大図(変形前),
左下:全体図(変形後), 右下:右腿部拡大図(変形後))

アリティ学会論文誌, Vol.4, No.4, pp.607-616,
1999.

- 10) 井口征士, 佐藤宏介:“三次元画像計測”, 昭晃堂, 1990.
- 11) 田中秀典, 中澤篤志, 町田貴史, 竹村治雄:“ボリュームデータの細線化とグラフマッチングを用いた事例ベース人体姿勢推定”, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU)講演論文集, pp.70-77, 2006.
- 12) Poser 日本語公式 Web サイト <http://www.e>