

# 統計的人体モデルを用いた 個体適応型モデルベースド・モーションキャプチャの開発

垂水 信二<sup>†</sup> 岩下 友美<sup>††</sup> 倉爪 亮<sup>††</sup>

<sup>†</sup>九州大学大学院システム情報科学府 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地

<sup>††</sup>九州大学大学院システム情報科学研究科 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地

E-mail: <sup>†</sup>tarumii@irvs.is.kyushu-u.ac.jp, <sup>††</sup>{yumi,kurazume}@ait.kyushu-u.ac.jp

あらまし 対象人物の動作と体格を同時に推定するモデルベースド・モーションキャプチャを開発した。本システムは、ボディラインスキャナで計測した多数の日本人の人体形状から、三次元 Thin Plate Spline を用いた解剖学的特徴点の非剛体レジストレーションにより構築された統計的人体モデルと、複数カメラによる動作・体格推定手法から構成される。統計的人体モデルは 10 個の関節を有する基本形状と 11 個の体格パラメータからなり、多様な体格の全身形状を少数のパラメータで表現できる。動作・体格の推定は、複数カメラによる対象人物のシルエット画像と画像上の二次元距離場を用いるもので、人物像に合う関節角・体格パラメータを高速に推定する。実験により、体格が一定の人体モデルを用いた従来システムに比べ、より高精度に動作を推定できることを確認した。

キーワード モデルベースド・モーションキャプチャ, 人体モデル, Active Shape Model, Thin-Plate Spline

## 1. はじめに

我々は、多関節を有する三次元人体モデルと複数カメラ画像上の人物像とを比較し対象人物の動作を推定する、分散カメラシステムを用いたモデルベースド・モーションキャプチャを開発している [12]。このシステムは、まず適当な初期姿勢で人体モデルをカメラ画像上に投影した後、その投影像と人物像との間でエッジや輪郭線などの画像特徴を比較し、それらが最もよく一致する人体モデルの位置・姿勢を探索することで、動作を推定する。しかし、対象人物と人体モデルとの間に体格差がある場合、二つの画像特徴が一致する位置・姿勢が得られないため、正確に動作を推定できない。そのため、対象人物の体格に合わせた固有の人体モデルを予め用意しておく必要があった。

これに対して、各部位を円柱や超楕円形で表現した人体モデルを用いたモデルベースド・モーションキャプチャ [1] [2] が提案されている。これらのシステムは、人体モデルの各部位の形状をパラメータで表現しており、対象人物の画像特徴に最もよく一致するパラメータの組を探索することで、対象人物の体格を推定する。しかし、これらのシステムは、人体モデルが正確な人体形状を表現していない、推定すべきパラメータ数が多い、関節位置が正確に推定できない、といった問題があった。

そこで本論文では、これらの問題を解決するモデルベースド・モーションキャプチャを提案する。本システムは、多様な体格の全身形状を少数のパラメータで表現できる統計的人体モデルと、複数カメラによる動作・体格推定手法から構成される。統計的人体モデルはボディラインスキャナで計測した多数の日本人の人体形状から

構築したもので、10 個の関節を有する基本形状と 11 個の体格パラメータからなる。各体格パラメータを操作して、全身形状と関節位置を同時に変更できる。動作・体格の推定は、複数カメラによる対象人物のシルエット画像と画像上の二次元距離場を用いるもので、人物像に合う関節角・体格パラメータを高速に推定できる。

本稿ではまず統計的人体モデルの構築手法について述べた後、実際に構築した統計的人体モデルによる全身形状表現の例を示す。次に、二次元距離場を用いた動作・体格推定手法について述べる。最後に、開発したシステムを用いた実験について述べる。

## 2. 統計的人体モデル

### 2.1 従来研究

これまでに、ボディラインスキャナ等で得られた多数の人体三次元モデルに対して、非剛体レジストレーションや穴埋め、姿勢変形などの処理を行い、統計的処理により一般的な三次元人体モデルを得る手法が Allen ら [3] や Anguelov ら [4] によって提案されている。一方、日本人の人体形状データから構築した三次元人体モデルとしては、持丸ら [5] によって足部形状相同モデルや顔形状のモデルが提案され、また全身形状モデル [7] や相同モデル化のためのソフトウェアも販売されている。しかし、日本人の全身形状を対象とし、解剖学的特徴点の同一性を考慮した統計処理により作成された人体形状モデルは公開されていない。

そこで我々は、日本人の全身形状の統計的学習に基づいた体格変形と、関節角度による幾何学的な姿勢変形を同時に実現可能な、モデルベースド・モーションキャプチャのための統計的人体モデルを独自に構築した。

## 2.2 概要

構築した統計的人体モデルの体格変形は、少数のパラメータの組み合わせにより多様な体格を効率よく表現できる、Active Shape Model [6] を用いて表現される。Active Shape Model は頂点の対応関係が既知である複数の形状から統計的形状を持つモデルを構築する手法である。この手法では、まず使用する形状の平均を計算して、基本形状を求める。次にその基本形状と各形状との差分に対して主成分分析を行うことで、形状を変形するためのパラメータを抽出する。本論文では、複数の人体形状データを用いて Active Shape Model を構築する。姿勢変形は、構築した Active Shape Model の基本形状に関節を挿入し、関節で分離した各部位を関節を中心に回転することで実現する。

## 2.3 人体形状データ

総計的人体モデルの構築には産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センターが提供する人体寸法・形状データベース [7] を使用した。この人体形状はボディラインスキャナ (C9036-02, 浜松ホトニクス) で計測した 20~30 歳の男性 49 名, 20~35 歳の女性 48 名の全身形状であり、表面情報を持った頂点群として表わされる。本稿では、このうち男性 17 名の全身形状をモデル構築に使用した。計測時の姿勢は ISO 20638 が推奨する以下の条件を満たす。

- 頭部は耳眼面を水平に保持する。
- 両足を平行にし、足軸間の距離を 20cm とする。
- 肘をまっすぐ伸ばし、手のひらを後面に向ける。
- 静かに呼吸する。

人体形状の頂点数は約 140000, 三角パッチ数は約 300000 である。各人体形状の体表面には、同一の熟練者によって解剖学的に定義された 17 箇所のランドマーク点がある (図 1)。なお、これらの点は胴体や脚部に集中しており、頭部や両腕部に不足している。そこで、統計的人体モデルの構築にあたり、幾何学的な特徴に基づき独自に定義した 8 箇所の追加ランドマーク点 (両足先, 両踵先, 両手先, 頭頂部, 鼻先) を、既存のランドマーク点と合わせて使用した。

## 2.4 人体形状の頂点对応付け

使用する人体形状は人物間で頂点数が異なり、またランドマーク点以外の頂点の対応付けは行われていない。しかし Active Shape Model の構築には頂点の対応関係が既知である形状が必要なため、モデルの構築にあたり、全ての人体形状を同一頂点数かつ同一幾何学的構造の形状として再構築した。本論文では、三次元 Thin-Plate Spline と法線情報を用いて人体形状の頂点对応付けを行った。以下に手法の詳細を示す。

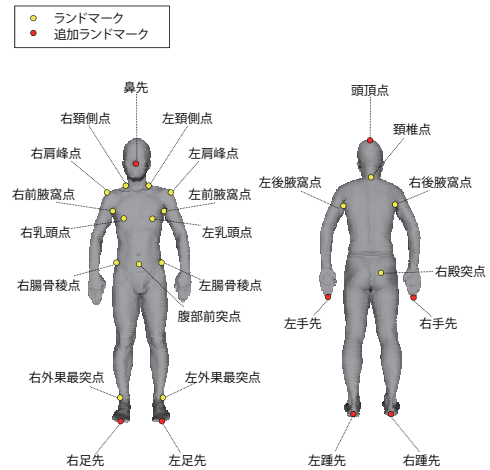


図 1 人体形状とランドマーク点

### 2.4.1 三次元 Thin-Plate Spline を用いた人体形状の非剛体レジストレーション

非剛体レジストレーションは異なる形状を持つ二つの物体のうち、一つの物体を非剛体変形させて、もう一つの物体の形状に一致させる手法である。代表的な手法は Free Form Deformation [8] を用いたものである。Free Form Deformation は三次元形状の周辺に制御格子点を配置し、それらを動かして内部の形状をなめらかに変形する手法である。また別のアプローチとして、Thin-Plate Spline [9] を用いた非剛体レジストレーションがある。Thin-Plate Spline は Free Form Deformation と異なり、任意の数・位置の制御点によって物体を非剛体変形できる。そのため、生物形態学において二つの生物の形の差異を空間の歪みで表現する際に、解剖学的特徴点を制御点とした Thin-Plate Spline による非剛体変形が現在でもよく利用されている [5]。

そこで本論文では Thin-Plate Spline を三次元に拡張した三次元 Thin-Plate Spline を用いて非剛体レジストレーションを行う。三次元 Thin-Plate Spline は、 $x \cdot y \cdot z$  軸方向の三つの移動量を持つ制御点を操作することで、各軸方向に独立に変形する。

まず、三次元空間上に  $n$  個の制御点  $P_n = (x_n, y_n, z_n)$  を設定する。また  $P_n$  が有するある一軸方向の移動量を  $v_n$  とする。 $P_n$  と  $v_n$  から空間の歪みを計算するには、式 (1) を  $W$  と  $A$  について解けばよい。 $W$  は非線形変形のための重み付け係数であり、 $A$  は線形変形のためのアフィン変換係数である。

$$\begin{bmatrix} K & P \\ P^T & O(4,4) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W \\ A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V \\ O(3,1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T \quad (2)$$

$$A = (a_1, a_x, a_y, a_z)^T \quad (3)$$

$$K = \begin{bmatrix} 0 & U(r_{12}) & \dots & U(r_{1n}) \\ U(r_{21}) & 0 & \dots & U(r_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ U(r_{n1}) & U(r_{n2}) & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$U(r_{ij}) = r_{ij}^2 \log r_{ij}^2 \quad (5)$$

$$P = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & z_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & z_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_n & y_n & z_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$V = (v_1, v_2, \dots, v_n)^T \quad (7)$$

ただし、 $O(r, w)$  は  $r \times w$  の零行列、 $K$  は制御点間の距離  $r_{ij} = |P_i - P_j|$  に関する関数  $U(r)$  からなる行列である。また  $P$  は制御点の座標からなる行列、 $V$  は制御点の移動量からなる行列である。

三次元空間内の任意点  $(x, y, z)$  における移動量  $f(x, y, z)$  は重み付け係数  $W$  とアフィン変換係数  $A$  を用いて以下の式で表わされる。

$$f(x, y, z) = a_1 + a_x x + a_y y + a_z z + \sum_{i=1}^n w_i U(|P_i - (x, y, z)|) \quad (8)$$

制御点に定めた  $x$  軸、 $y$  軸、 $z$  軸方向の三つの移動量それぞれに対して、式(1)-(8)を計算することで、任意点  $(x, y, z)$  における三軸方向の移動量  $f_x(x, y, z)$ 、 $f_y(x, y, z)$ 、 $f_z(x, y, z)$  が得られる。よって、任意点  $(x, y, z)$  の変形後の座標  $(x', y', z')$  は以下の式で与えられる。

$$(x', y', z') = (x + f_x(x, y, z), y + f_y(x, y, z), z + f_z(x, y, z)) \quad (9)$$

三次元 Thin-Plate Spline を用いて直方体中の人体形状を非剛体変形した例を図2に示す。

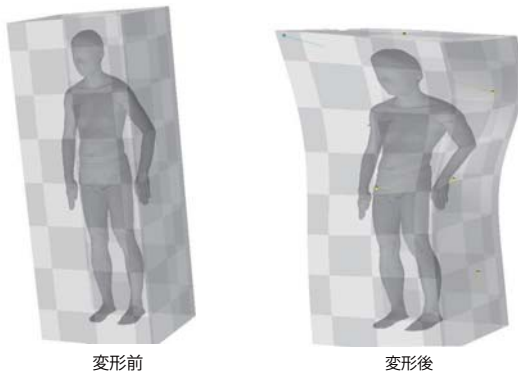


図2 三次元 Thin-Plate Spline を用いた非剛体変形

上述した三次元 Thin-Plate Spline を用いた人体形状

データの非剛体レジストレーションの手順を示す。

(1) 人体形状の中から基準とする人体形状(基準形状)を一つ選択する。

(2) 残りの人体形状から基準形状と対応付けを行う人体形状(対象形状)を一つ選択する。

(3) 基準形状と対象形状の重心が一致するように二つの人体形状を重ね合わせる。

(4) 基準形状のランドマーク点上に3D Thin-Plate Splineの制御点を定義する。

(5) 制御点を対象形状のランドマークと一致するように移動させ、基準形状を非剛体変形する。

(6) 二つの人体形状間で距離が大きい領域では、基準形状の体表面上に新たな制御点を定義し、対象形状の体表面上の最近傍点に移動して、基準形状を非剛体変形する。

これらの処理を行った結果を図3に示す。基準形状が対象形状に近づくように非剛体変形していることがわかる。

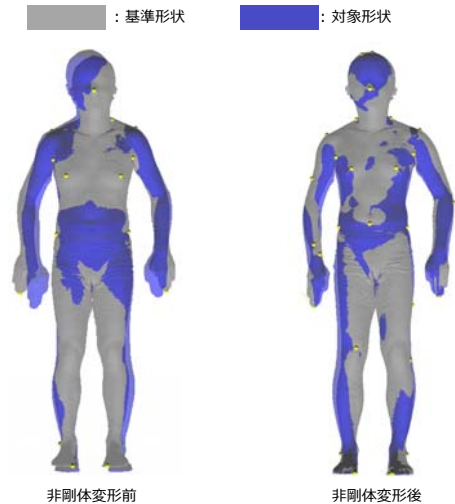


図3 3D Thin-Plate Spline を用いた非剛体レジストレーション結果

しかし、基準形状と対象形状は完全には一致していない。また、頂点数や幾何学的構造も異なったままである。そこで、非剛体レジストレーション後に、次節で示す法線情報を用いた頂点の対応付け処理を行う。

#### 2.4.2 法線情報を用いた頂点对応付け

まず、基準形状の各頂点において、隣接する全ての三角パッチの法線ベクトルから平均ベクトルを求めて、これらを各頂点の法線ベクトルとする。次に求めた基準形状の頂点の法線ベクトルと、対象形状の三角パッチとの交点を求め、それらの交点に基準形状の頂点を移動する(図4)。これらの処理を行った結果を図5に示す。基準形状がより正確に対象形状に一致していることがわかる。こうして変形した基準形状を対象形状の代わりに新たな人体形状データとして登録する。これらの処理を残りの

人体形状に対して同様に行い、全ての人体形状を同一頂点数・同一幾何学的構造の人体形状として再構築する。

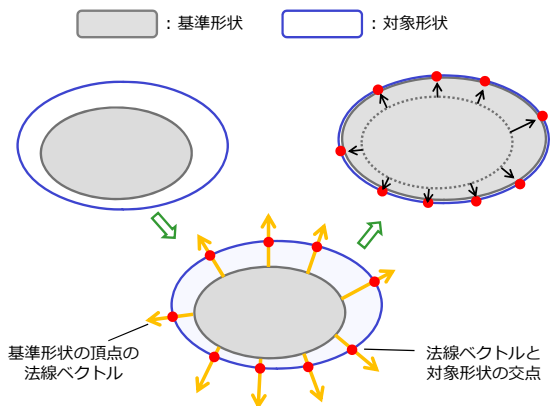


図 4 法線を用いた頂点对応付け手法

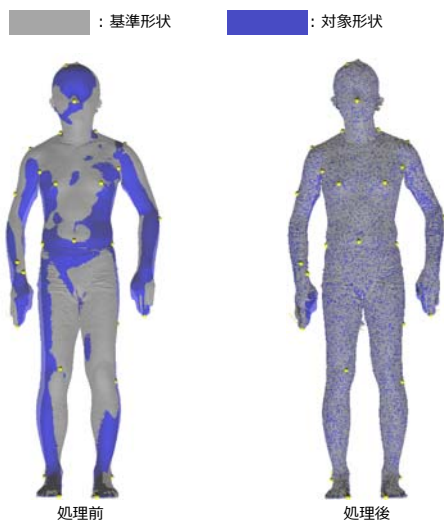


図 5 法線を用いた頂点对応付け結果

## 2.5 頂点数の削減

頂点对応付けによって再構築した全ての人体形状は基準形状と同数の頂点・三角パッチを持つ。これらをそのまま用いても統計的人体モデルは構築できるが、頂点数・三角パッチ数が非常に多く、次節で述べる Active Shape Model の構築に必要な計算量が膨大になる。そこで 3dsMAX(オートデスク) を用いて、人体形状の頂点数、三角パッチ数を削減した。処理前後の頂点数および三角パッチ数を表 1 に、人体形状の見えの変化を図 6 に示す。

	処理前	処理後
頂点数	148884	3000
三角パッチ数	297399	5915

表 1 頂点数・三角パッチ数の変化

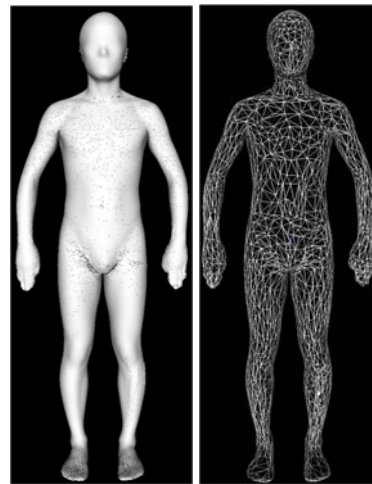


図 6 頂点数削減処理結果

## 2.6 Active Shape model の構築

頂点对応付けを行った人体形状から、Active Shape Model を構築する。人体形状の個数を  $N$ 、各人体形状の頂点数を  $k$  とすると、各頂点は  $(x, y, z)$  の三次元の値を持つため、一つの人体形状は  $3k$  次元のベクトル  $\mathbf{x}_i (i = 1, 2, \dots, N)$  として以下の式で表現される。

$$\mathbf{x}_i = (x_{i1}, y_{i1}, z_{i1}, \dots, x_{ik}, y_{ik}, z_{ik})^T \quad (10)$$

まず最初にモデルの基本形状  $\bar{\mathbf{x}}$  を構築する。基本形状は全ての人体形状の平均を計算して求める。

$$\bar{\mathbf{x}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{x}_i \quad (11)$$

次に基本形状  $\bar{\mathbf{x}}$  と各人体形状  $\mathbf{x}_i$  との差分  $d\mathbf{x}_i$  を求める。

$$d\mathbf{x}_i = \mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}} \quad (12)$$

この差分  $d\mathbf{x}_i$  の分散・共分散行列  $\mathbf{S}$  に対して、主成分分析を行うことにより統計的人体モデルを定式化することができる。 $\mathbf{S}$  は以下の式で表される。

$$\mathbf{S} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d\mathbf{x}_i d\mathbf{x}_i^T \quad (13)$$

行列  $\mathbf{S}$  について、以下の固有方程式を解く。

$$\mathbf{S} \mathbf{e}_j = \lambda_j \mathbf{e}_j \quad (14)$$

ここで  $\lambda_j$  と  $\mathbf{e}_j$  はそれぞれ  $\mathbf{S}$  の固有値、および固有ベクトルを表し、 $j = 3k$  である。さらに次元圧縮のため対応する固有値が大きい順に固有ベクトルを主成分として  $t$  個選択したとき、統計的人体モデルは以下の式で表される。

$$\mathbf{x} = \bar{\mathbf{x}} + \mathbf{E} \mathbf{b} \quad (15)$$

ここで  $\mathbf{E} = (\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \dots, \mathbf{e}_t)$  は  $t$  個の主成分に対応した

固有ベクトルの行列,  $\mathbf{b} = (b_1, b_2, \dots, b_t)^T$  は各主成分の重みである. この  $t$  個の重みを体格パラメータとして操作して, 統計的人体モデルの体格を変形する. 主成分の累積寄与率を図 7 に示す. 11 個の主成分を使用することで, 学習した人体形状の 95% を表現可能であることが分かる. 構築した統計的人体モデルの第 1 主成分から第 4 主成分に対応する体格パラメータの値を変化させたときの体格変形の例を図 8 に示す.

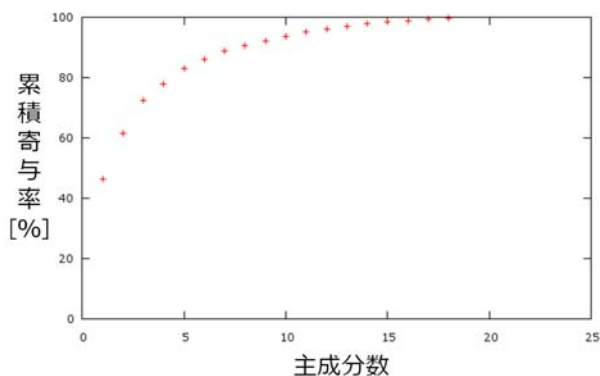


図 7 主成分の累積寄与率

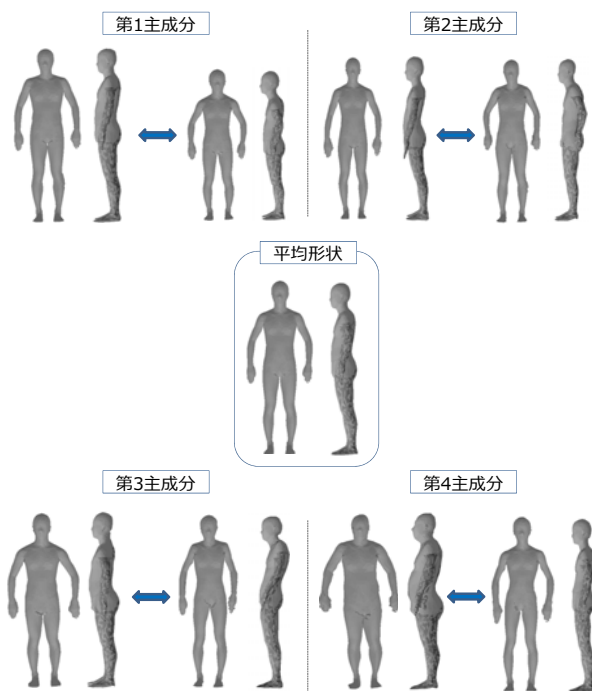


図 8 主成分に応じた体格変形例

## 2.7 関節の導入

Active Shape Model として構築した統計的人体モデルは, 同一の姿勢の人体形状から構築しており, 姿勢を変更できない. そこで, 基本形状に関節を導入し, 関節を中心に両腕・両足を回転することで姿勢変形を実現する. 関節位置は使用した「AIST/HQL 人体寸法・形状

データベース 2003」内の人体寸法データを参考に定義した. 各関節は周辺の表面形状と関連付けられており, 体格変形に合わせて表面形状から推定される位置に移動する. 本論文では, 統計的人体モデルの姿勢は, 首・足首を除く 10 個の関節 (各腕 3, 各脚 2, 全 22 自由度) の回転角度によって決定されるものとする. 関節位置および姿勢変形の例を図 9 に示す.

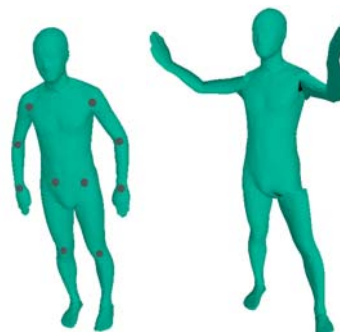


図 9 統計的人体モデルの関節位置と姿勢変形例

## 2.8 体格変形中の姿勢補正

統計的人体モデルの構築に使用した人体形状は同一の姿勢で計測したものであるが, 人物によって姿勢にわずかな違いがある. そのため, 統計的人体モデルの体格変形は, 姿勢も同時に変形してしまうという問題があった. そこで体格変形による姿勢変形を防ぐため, 体格変形前の姿勢と体格変形後の姿勢が一致するように各関節角を補正する. この処理を交互に繰り返して, 体格変形前後で常に同じ姿勢を維持する. 姿勢補正の結果を図 10 に示す.

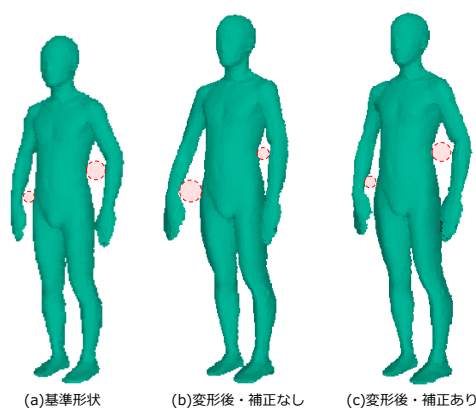


図 10 体格変形中の姿勢補正

## 3. 二次元距離場を用いた動作・体格推定

開発したシステムは, カメラ画像上に構築した 2 次元距離場を用いて対象人物の動作と体格を高速に推定する. システムの処理の流れを以下に示す.

- (1) 背景差分法によってカメラ画像上の対象人物の

シルエット画像を抽出する。

(2) シルエット画像に Level Set Method [10] [11] を適用し、対象人物の動的輪郭モデルを抽出する。

(3) Fast Marching Method [10] を用いて、得られた動的輪郭モデルから 2 次元距離場を構築する。

(4) 統計的人体モデルを、適当な初期姿勢で 2 次元距離場上に投影する。

(5) 投影した統計的人体モデルの輪郭線に対応する面を求める。

(6) 面の投影点における 2 次元距離場の値を用いて誤差を計算する。

(7) 誤差を減少させるための統計的人体モデルの位置・姿勢・体格パラメータの修正量を計算し、統計的人体モデルに反映する。

(8) 1-7 を統計的人体モデルの輪郭線と動的輪郭モデルが一致するまで繰り返す。

位置・姿勢の修正量計算は [12] を用いた。詳しくは [12] を参照されたい。以下、本章では (7) の体格パラメータの修正量計算について説明する。

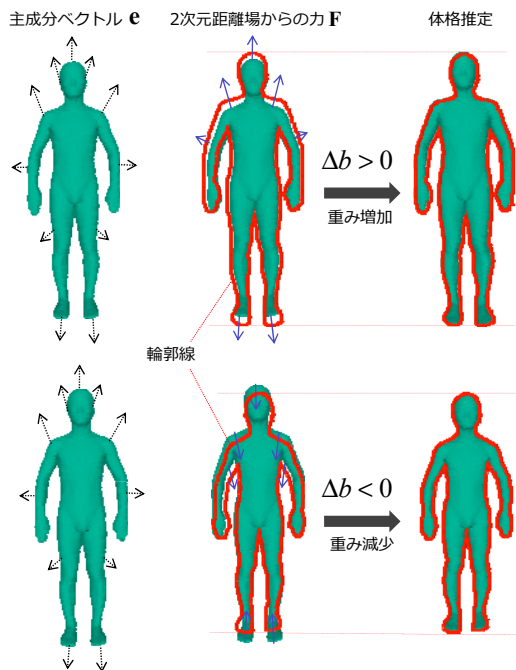


図 11 主成分ベクトルと 2 次元距離場を用いた体格推定

### 3.1 体格パラメータの修正量計算

#### 3.1.1 主成分ベクトルと 2 次元距離場を用いた体格推定

構築された 2 次元距離場を用いた統計的人体モデルの体格修正量の計算手順を示す。修正量を計算する体格パラメータは統計的人体モデルの主成分  $\mathbf{E} = (e_1, e_2, \dots, e_t)$  に関する重み  $\mathbf{b} = (b_1, b_2, \dots, b_t)^T$  である。ここでは説明の都合上、ある 1 つの主成分  $e$  に関する重みパラメータ  $b$  を推定する場合を示す。モデルの頂点数を  $k$  とするとき、主成分は長さ  $3k$  のベクトルとして以下のように表わされる。ただし、 $e_i$  はモデルの  $i$  番目の頂点に対応する主成分ベクトルである。

$$\mathbf{e} = (e_1, e_2, \dots, e_k)^T \quad (16)$$

$$e_i = (x_i, y_i, z_i)^T \quad (17)$$

モデルの投影輪郭上の頂点  $p_j$  に対応する主成分ベクトルを  $e_j$ 、頂点  $p_j$  が 2 次元距離場から受ける力を  $F_j = (F_x, F_y, F_z)^T$  とするとき、重み  $b$  の修正量  $\Delta b$  は以下のように求められる。

$$\Delta b = \sum_j F_j \cdot e_j \quad (18)$$

$F_j \cdot e_j$  は投影輪郭上の頂点に加わる力とその頂点に対応する主成分ベクトルとの内積であり、力と主成分が同じ方向を向いているときは正の値を、相反する方向を向いている時は負の値をとる。よって式 (18) はモデル全身の投影輪郭線とシルエット画像との差を小さくするよう重み  $b$  を修正する (図 11)。以上の処理を全ての体格パラメータに対して同様に行う。

#### 3.1.2 位置・姿勢の修正量に基づく階層的体格推定

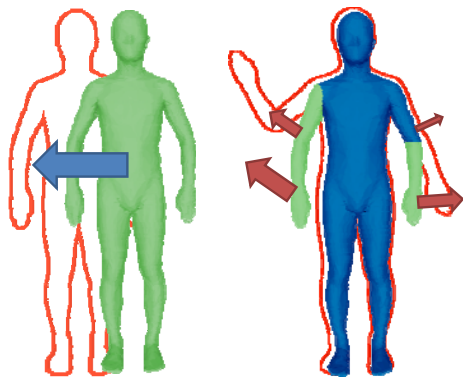
位置・姿勢の修正量計算を開始してから正しい位置・姿勢が推定されるまでの間、シルエット画像とモデル輪郭線との間には、ずれが存在する。そのため、提案する手法を用いて位置・姿勢と体格を同時に推定する場合、そのずれが体格パラメータの推定精度を低下させる可能性がある。特に手先・足先といった末端の部位近くでは、輪郭線間のずれが発生しやすい。

一方、統計的人体モデルの体格パラメータは全身形状を一変形するため、胴体など体の大部分を占める部位をシルエット画像と一致するように体格パラメータを変更することで、腕や脚についても対象人物に近い形状が得られると期待できる。

そこで、上述した問題を解決する手法として、位置・姿勢の修正量に基づく階層的な体格推定を提案する。この手法は、2 次元距離場による誤差計算で、誤差が大きな部位は位置・姿勢が正しく推定されていない、という仮定に基づく。各部位における 2 次元距離場上の誤差を計算し、ある閾値以上の誤差を有する部位を体格推定の計算対象から除外することで、位置・関節角度が正しく推定されている部位だけを体格推定に利用する手法である。手法の処理の詳細を以下に示す。なお、位置・姿勢の修正量の閾値は事前に決定しておくものとする。

- (1) 全ての部位の体格推定を ON にする。
- (2) 全身位置の修正量と閾値を比較し、閾値以上の時、全ての部位の体格推定を OFF にして処理を終える。
- (3) 肩・上腿の関節角の修正量と閾値を比較し、閾値以上の部位の体格推定を OFF にする。このとき OFF にした部位の先に繋がる部位も OFF にする。

■ : 体格推定に使用する領域    □ : 画像の輪郭線  
 ■ : 体格推定に使用しない領域



(a)位置修正量が閾値以上の場合    (b)関節角修正量が閾値以上の場合

図 12 位置・姿勢の修正量に基づく階層的体格推定

(4) 肘・膝の関節角の修正量と閾値を比較し、閾値以上の部位の体格推定を OFF にする。このとき OFF にした部位の先に繋がる部位も OFF にする。

(5) 手首の関節角の修正量と閾値を比較し、閾値以上の部位の体格推定を OFF にする。

#### 4. システムの処理時間の検証

開発したシステムの処理時間の検証を行った。使用した CPU は Intel(R) Xeon E5420@2.50GHz，画像の解像度は 640 × 480 である。結果を表 2 に示す。

処理	処理時間 (sec)
2次元距離場構築	0.04
位置・姿勢・体格の修正量計算	0.02

表 2 開発したシステムの処理時間

これより、開発したシステムは 15fps の速さで実行できることを確認した。

#### 5. 実画像を用いた動作・体格実験

実際のカメラで撮影した画像を用いて、動作・体格推定を行った。使用したカメラは 2 台の Dragonfly2(Point Grey Research)，撮影した画像の解像度は 640 × 480pixel である。体格の異なる 2 人の人物に対して動作推定を行い、体格推定の有無による推定結果の違いを確認した。本実験では同一の動作に対する推定結果の比較のため、あらかじめ撮影しておいた画像にオフラインで動作・体格推定を行った。オフライン処理はカメラ画像 1 フレーム毎に前章で述べた修正量計算を 5 回繰り返すことで行った。推定結果を図 13 に示す。体格推定を行わない場合、脚部が正しく動作推定されていないが、体格推定を行うことで、脚部も正しく動作推定されていることがわかる。画像上の輪郭線とモデル輪郭線との距離の平均誤差 (ピクセル値) の推定開始以降の変化

を図 14 に示す。どちらの人物についても、体格推定を行った場合の方が輪郭線間の誤差が小さくなっていることがわかる。推定した統計的人体モデルの身長と実際の対象人物の身長との比較を図 15 に示す。

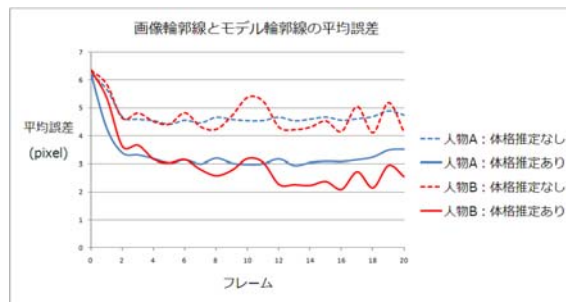


図 14 画像上の輪郭線とモデルの輪郭線の平均誤差の変化

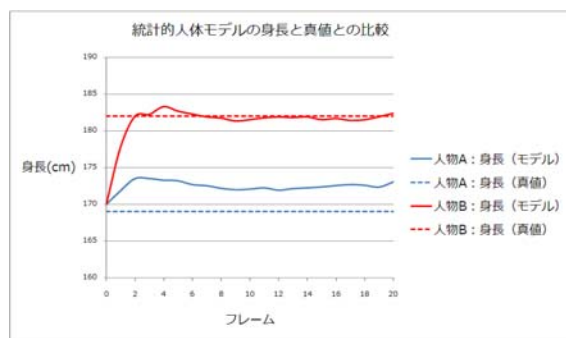


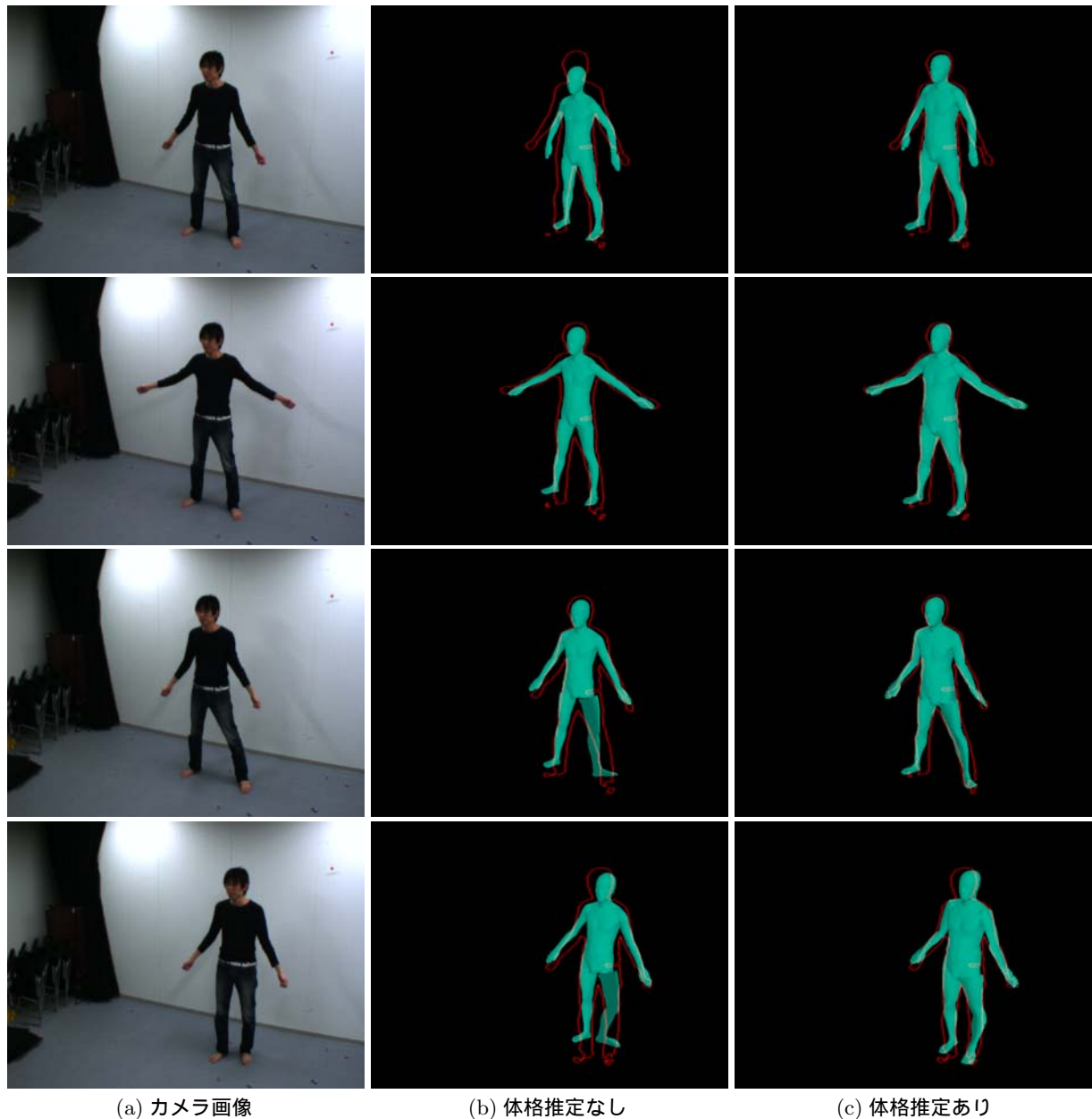
図 15 推定したモデルの身長と真値との比較

#### 6. ま と め

本論文では、統計的人体モデルを用いた個体適応型の動作・体格推定システムを提案した。まず、三次元 Thin-Plate Spline と法線情報を用いた複数人体形状の頂点对応付けに基づく、多関節を有する統計的人体形状モデルを示した。さらに、カメラ画像上で構築された二次元距離場を用いた動作・体格の実時間推定手法を提案した。最後に、実際のカメラ画像を用いた動作・体格の推定実験を行い、体格推定による動作推定精度の向上を確認した。また、統計的人体モデルの身長と対象人物の身長との比較を行い、システムの有効性を確認した。

#### 文 献

- [1] H. Sidenbladh, M. J. Black, and D. J. Fleet, "Stochastic tracking of 3D human figures using 2D image motion", Proc. European Conference on Computer Vision, vol. 2, pp.702-718, Dublin, Ireland, June. 2000.
- [2] R. Kehl, L. V. Gool, "Markerless tracking of complex human motions from multiple views", Computer Vision and Image Understanding, no.104, pp.190-209, 2006.
- [3] B. Allen, B. Curless, Z. Popovic, "The space of human body shapes: reconstruction and parameterization from range scans", Acm Siggraph, pp.27-31, July. 2003.
- [4] D. Anguelov, P. Srinivasan, D. Koller, S. Thrun,



(a) カメラ画像

(b) 体格推定なし

(c) 体格推定あり

図 13 開発したシステムを用いた動作・体格推定結果

- J.Rodgers, "SCAPE : shape completion and animation of people", Acm Siggraph, , pp.408-416, 2005.
- [5] 持丸正明, "人体形状の変異と産業応用", バイオメカニズム学会誌, vol.29, No.2, pp.90-94, 2005
- [6] T. F. Cootes, C. J. Taylor, D. H. Cooper, and J. Graham, "Active Shape Models - Their Training and Application", Computer Vision and Image Understanding Vol.61, No.1, pp.38-59, January.1995.
- [7] 河内まき子, 持丸正明, AIST/HQL 人体寸法・形状データベース 2003, 産業技術総合研究所 H18PRO-530, 2006
- [8] T. W. Sederberg, "Free-Form Deformation of Solid Geometric Models", Acm Siggraph, pp.151-160, 1986
- [9] F. L. Bookstein, "Principal warps : Thin-plate splines and the decomposition of deformations", IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. pp.567-585, 1989.
- [10] J. Sethian, Level Set Methods and Fast Marching Methods, second edition, Camblidge university Press, UK, 1999.
- [11] Y. Iwashita, R. Kurazume, T. Tsuji, K. Hara, and T. Hasegawa, "Fast implementation of level set method and its realtime applications", Proc, IEEE international Conference on Systems,Man and Cybernetics, pp.6302-6307, 2004.
- [12] Y. Iwashita, R. Kurazume, T. Mori, M. Saito and T. Hasegawa, "Model-based motion tracking system using distributed network cameras", Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.3020-3025, Anchorage, May 3-8, 2010.