

モデルベース人体体幹部 3次元形状推定

齋藤 俊太^{†1} 河内 まき子^{†2}
持丸 正明^{†2} 青木 義満^{†1}

本稿では、身体の輪郭を正確に反映したシルエットが取得可能な理想条件下において正面および側面から撮影した2枚の人物シルエット画像から体幹部領域を手動抽出後、対象人物の体幹部3次元形状をモデルベースに推定する手法を述べる。事前に多数の被験者に対し全身ボディスキャナによる全身形状計測を行い、相同化の後主成分分析を行って得た任意体型が合成可能なモデルを用いる。このモデルと入力をシルエット同士で比較し、モデルの変形パラメータを最適化することで形状推定を行う。

Model-based Human Torso 3D Shape Estimation

SHUNTA SAITO^{†1}, MAKIKO KOCHI^{†2},
MASAAKI MOCHIMARU^{†2} and YOSHIMITSU AOKI^{†1}

This paper attempts to estimate a 3D shape of human torso from 2 pictures which are front and side silhouette of a subject. Our method assumes that input pictures have accurate contours of a subject's body. And regions of torsos are extracted manually from input pictures. We use a deformable body model for estimation. This model is generated by Principal Component Analysis to a homologous model database which is made of whole body scanned data. A result shape is computed by optimizing some deformation parameters of the model with comparing model's silhouettes and input silhouettes.

^{†1} 慶應義塾大学 大学院 理工学研究科 総合デザイン工学専攻
School of Integrated Design Engineering, Graduate School of Science and Technology, Keio University
^{†2} 産業技術総合研究所デジタルヒューマン工学研究センター
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology Digital Human Research Center

1. 研究背景

人体各部の寸法データは様々な工業製品の設計に利用されている。近年、特にユニバーサルデザインと呼ばれる「様々なユーザにとって一様に使いやすい製品デザイン」には大きな注目が集まっており、この実現のために製品設計者には多様なユーザによる製品の使用状態を設計段階から考慮することが求められている。そこで、あらかじめ計算機上に構築した多様な仮想人体モデルによって製品の使用状態をシミュレートする研究が進められているが¹⁾、仮想人体モデルがユーザの様々な個体間差異を十分に再現可能であるためには事前に多くのサンプルから身体寸法を取得し蓄積した上で、それを踏まえたモデルの構築が必要となる。しかし、身体寸法計測の方法として従来行われてきたマルチン式²⁾と呼ばれる専門家による特殊な計測器具を用いた直接計測法では、大量の寸法収集にあたって多くのコストと時間が必要になる。そこで、専門家による直接計測に代わる、簡便に身体寸法が計測可能なシステムが求められている。

また、個人でも利用可能な簡易なシステムにより身体寸法を取得できれば、オーダメイド製品の設計に際し直接計測の必要がなくなり、個人に適合した製品の設計がより容易に可能となる。さらに、インターネットなどを利用した通信販売での衣服購入が一般化している昨今では、仮想的に衣服のコーディネートが行えるサービスの実用化も始まっている³⁾。しかし、こういったサービスは未だ個々人の体型を反映したモデルは用いておらず、多様なユーザの試着をシミュレートすることはできていない。これを実現するためには、個々人の体型を反映したモデルを生成する必要があり、身体寸法のみならず主に体幹部の3次元形状を取得できることが望ましい。

身体寸法は工業製品の設計だけでなく健康管理の現場でもしばしば重要な指標として利用されている。容易に人体各部の寸法データを記録することができるシステムの応用範囲は広く、例として近年注目を集めているインターネット・クラウドを活用した個人の健康情報、いわゆるパーソナル・ヘルス・レコード (PHR)⁴⁾ を収集・管理するサービスなどがある。こういったサービスにおいても、いかにして個人の身体寸法情報を取得するかという問題は依然大きな課題となっている。また、個人の身体寸法の変化や形状の変化を健康情報として記録し、理想体型のシミュレーションなどを行うシステムが実用化されているが⁵⁾、個人の3次元形状モデルを取得するために大掛かりかつ高価な計測装置を必要としている。このため、より簡易に個人の3次元形状を取得する技術への期待は大きい。

2. 関連研究

従来より物体の3次元形状を推定する研究は幅広く行われている。レンジスキャナを用いた手法⁶⁾や、特殊なパターンを投影するプロジェクタとそのパターンを撮影するカメラにより構成されるシステム^{7),8)}により、高精度な物体3次元形状の復元が可能であることが知られる。しかしこういった手法は専用のハードウェアを必要とし、またキャリブレーションなどの事前の専門的な作業が必要であるため、一般個人が利用可能な簡便なシステムとは言えない。

また簡易な画像入力から、対象が既知であることを利用した、モデルベース形状推定の研究も多く見られる。⁹⁾では、事前に対象物体の3次元形状モデルデータベースに対し主成分分析を行い、低次元の固有空間内の1点から形状を復元する Active Shape Model¹³⁾ という手法を用いてモデルフィッティングを行っている。しかし、対象の姿勢を未知としているため、フリーハンド撮影された複数枚の画像に対し手で目、鼻などの解剖学的な特徴点の位置を指定する必要がある。また寸法の推定は行われていない。

本研究では、体幹部の正面および側面を撮影した画像であることを入力の前提とすることで対象物体の姿勢を既知として扱う。フリーハンドではカメラ側の姿勢も問題となるが、本研究では少なくともカメラ側の姿勢は固定されていることを前提とする。

3. 提案手法

提案手法の流れを図1に示す。まず、事前に体幹部の3次元形状モデルデータベースを用意し、これに主成分分析を行う。すると、得られた部分空間上の1点は1つの体幹部形状を指し示すこととなる。これにより少数のパラメータを用いて体幹部形状を表現することが可能になる。部分空間上の原点はデータベースの平均形状を意味しており、これを初期形状として部分空間上を移動しオリジナルの次元数の空間に再投影すると、人間の体幹部らしい形状を維持したまま平均モデルを変形したことになる。この変形可能な体幹部モデルの正面および側面のシルエットを正射影により得、入力シルエットと比較する。モデルシルエットと入力シルエットの差異は後述の評価関数によって定義され、これを最小とするよう変形モデルを最適化する。この際、評価関数はモデルの形状を示すパラメータである、部分空間上の点の位置を意味する主成分得点ベクトルを変数として持つ。

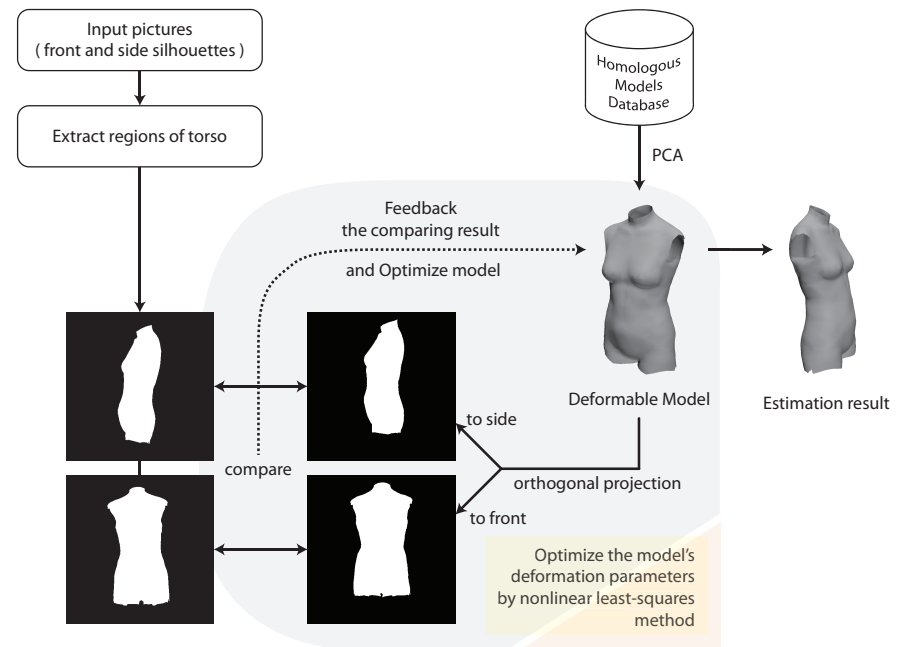


図1 提案手法の概要
Fig.1 Framework of our method

4. 相同モデル

人体の体幹部は、それが人体の体幹部である以上はどのような個体差が存在するとしてもトポロジーは共通であり、また個体差はその分布がほぼ正規分布に従うことが分かっているため、平均値や標準偏差のような代表値で集団内の個人差を容易に表現することが可能である。体幹部形状を統計的に処理するためには、計測時の位置変動を除外するために人体座標系にて表現された3次元形状データを用いる必要があり、さらに同一の点数で構成されていて、各データ点が解剖学的に同じ意味をもつように定義されている必要がある。これらの条件を満たし、統計的な処理を行えるよう開発された人体形状モデルとして、持丸 正明らによる相同モデル¹⁷⁾がある。本稿では、この人体全身のモデルデータから体幹部を抽出したものをを用いている。

4.1 相同モデルの生成方法

前述のような特徴を持った相同モデルの生成方法について述べる。まず、人体表面の代表的な特徴点である 21 点のランドマークに対しマーカシールを貼付し、レーザスキャナにより人体全身を計測する¹⁸⁾。得られた点群データに対し、事前に平均寸法に基づいて作られた人体全身の模型を計測して得たジェネリックモデルをフィッティングすることで相同化を行う¹⁹⁾。

4.2 体幹部相同モデルの生成

本稿では計測の対象を体幹部としているため、用いるモデルも体幹部のみを表したモデルである必要がある。そこで、全身の相同モデルから体幹部を構成する部分を解剖学的な特徴に基づき抽出した。まず形状ではなく姿勢による点の位置の違いを最大限除去するために、頸側点 (Side neck point)、腋窩点 (Axilla point)、肩の凸点 (Shoulder point) と殿溝 (Gluteal sulcus) を基準に体幹部を定義した (図 2)。体幹部を表す頂点群は、左右対称に作られている日本人の標準身体寸法を持つ相同モデル (ジェネリックモデル) に対し、以下の手順を行うことで決定した。(図??参照)

- 両足の除去: 臀溝 (Gluteal sulcus) を通り身体中心軸に垂直な平面より下部の取り除く
- 頭部の除去: 頸側点 (Side neck point) を通り、切り口が最も平面に近くなる頂点より上部を取り除く
- 両腕の除去: 腋窩点 (Axilla point) と両肩の凸点 (Shoulder point) を通り、人体の前後方向に平行な平面によって区切られる部位を取り除く

このように定義することにより腕と体幹部、脚と体幹部および頭部と体幹部の相対的な位置ずれが形状の個人差として統計処理の際に変異の重要な軸として現れてしまうことをある程度抑えることができる。

4.3 可変形モデルの生成

相同モデルの特徴を生かし、相同モデルデータベースに対し主成分分析を行う。主成分分析はデータベース内の各データをできる限り情報損失を抑えるように張られた低次元の部分空間によって再表現する統計的手法である。

データベース内に n 個の頂点により構成される 3 次元形状データ

$$\mathbf{x} = (x_1 \ y_1 \ z_1 \ x_2 \ y_2 \ z_2 \ \cdots \ x_n \ y_n \ z_n)^t \quad (1)$$

が m 体あるとする。これらをそれぞれ $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_m$ とおき、主成分分析の結果として得られる部分空間の基底を $\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \dots, \mathbf{p}_k$ と表す。ただし k はベクトル \mathbf{x} の要素数とデータ数

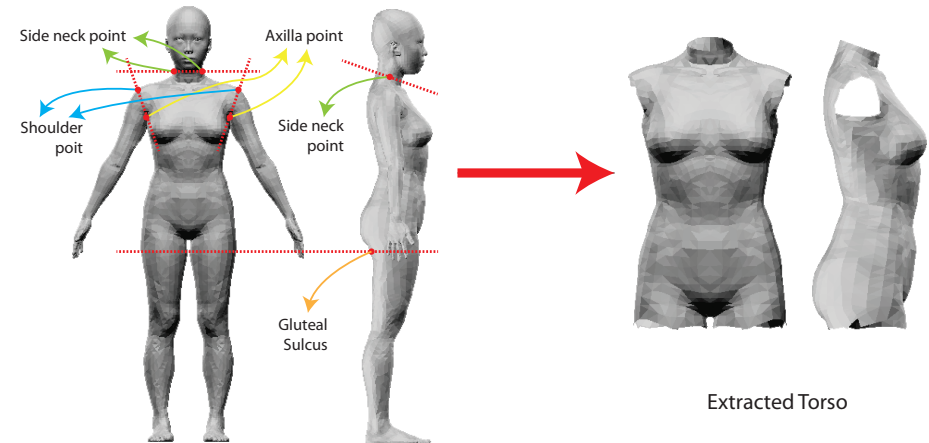


図 2 体幹部の頂点抽出
Fig. 2 Torso extraction from whole body model

m のうち小さい方となり、 $\mathbf{p}_i \in \mathbf{R}^3 (1 \leq i \leq k)$ である。このとき、 n 個の頂点により構成される体幹部形状は、この部分空間の原点を意味するデータベースの平均形状 $\bar{\mathbf{x}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \mathbf{x}_i$ を初期値として、以下のように計算される。

$$\mathbf{x} = \bar{\mathbf{x}} + \sum_{i=1}^k s_i \mathbf{p}_i \quad (2)$$

よって、主成分分析により得られた部分空間上の点を表すベクトル $\mathbf{s} = (s_1 \ s_2 \ \cdots \ s_k)^t$ は形状データ \mathbf{x} と一意に対応しており、 \mathbf{s} の各要素 s_i を平均形状を表しているときの値 0 から変化させ式から \mathbf{x} を計算することで、体幹部 3 次元形状を平均形状から変形させることができる (図 4)。この手法を用いて入力シルエットとこの可変形モデルのシルエットの差異が最小となるような最適な主成分得点ベクトル \mathbf{s} を選び、形状推定を行う。

また、第 i 主成分を表す基底 \mathbf{p}_i 上の各データ点が持つ分散が、 $\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \dots, \mathbf{p}_k$ のそれぞれの分散の合計に対して占める割合を寄与率という。そこで、第 1 主成分から順にこの寄与率を合計していき、累積寄与率が 95% を初めて超えるような主成分順位までを本稿では変形パラメータとして用いた。このとき可変形モデルはデータベースのおおよそ 95% を再現可能なモデルとなっていることが保証される。図 3 は 100 体の成人女性の体幹部相同モデ

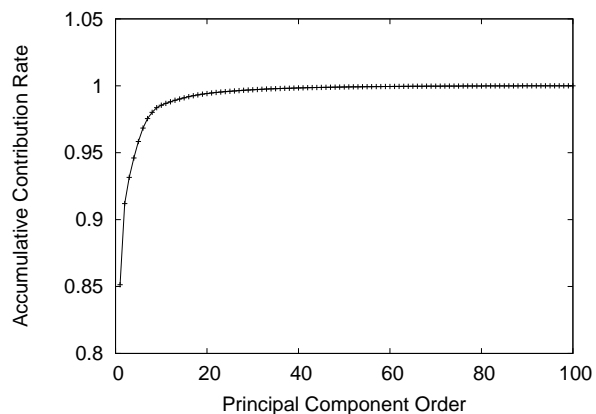


図3 累積寄与率

Fig. 3 Accumulative contribution rate

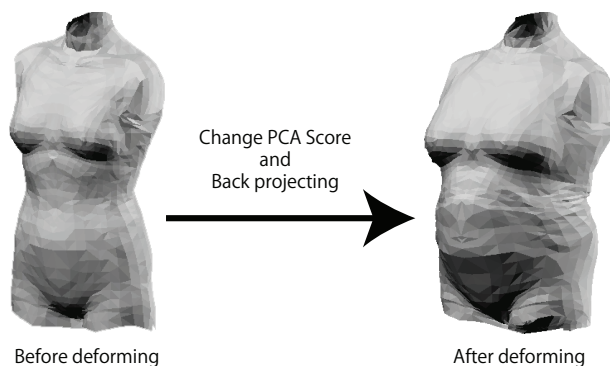


図4 可変形モデル

Fig. 4 Deformable model

ルに対し主成分分析を行った場合の、主成分順位ごとの累積寄与率のグラフである。グラフから、第5主成分までで累積寄与率95%を超えていることが分かる。これは男性の場合もほぼ同様であった。

5. フィッティング

本研究では入力シルエットと、可変形モデルを正面方向・側面方向に正射影して取得したシルエットを正面・側面各々について比較し、差異の合計が最も少なくなるよう主成分得点ベクトル \mathbf{s} を決定することでモデルを最適化する。以下に入力シルエットが得られてからのモデル最適化手順を示す。

- (1) 可変形モデルから正面・側面のシルエットを得る
- (2) 入力シルエットと可変形モデルのシルエットの重心が重なるよう可変形モデルのシルエットを平行移動させる
- (3) 評価関数によってシルエット同士の差異を計算する
- (4) 評価関数を最小にする主成分得点ベクトル \mathbf{s} を求める

5.1 評価関数

シルエット同士の差異をはかる評価関数の定義について述べる。シルエットの形状は可変形モデルの3次元形状と対応しており、また3次元形状は式(2)のようにして、主成分得点ベクトル \mathbf{s} によって決定される。このため、結果的にはシルエットも \mathbf{s} の関数と見なせ、評価関数は \mathbf{s} の関数である入力シルエット画像 S_{input} および可変形モデルのシルエット画像 S_{model} によって表現される。

まず、モデルシルエットの輪郭から離れれば離れるほど画素値が大きくなる性質を持つ離輪郭距離変換画像 d を以下のように定義する。

$$d = D(S_{model}) + D(\hat{S}_{model}) \quad (3)$$

S_{model} は可変形モデルシルエットを、 \hat{S}_{model} は S_{model} の二値反転画像を、そして D はユークリッド距離変換画像を表す(図5)。この画像上を入力シルエットの輪郭画像 L (輪郭を構成するピクセルだけが値を持つ2値画像)に従って走査し、画素値の合計によりシルエットの類似度を評価する。離輪郭距離変換画像は可変形モデルシルエットの輪郭上のピクセルを画素値0とし、輪郭から離れれば離れるほど画素値が大きくなるように定義されているため、入力シルエットと輪郭の類似性が高い場合は以下の評価関数の値は小さくなる。

$$f(\mathbf{s}) = \iint_A d(u, v) du dv \quad (4)$$

但し

$$A = \{(u, v) \mid L_{input}(u, v) = white\} \quad (5)$$

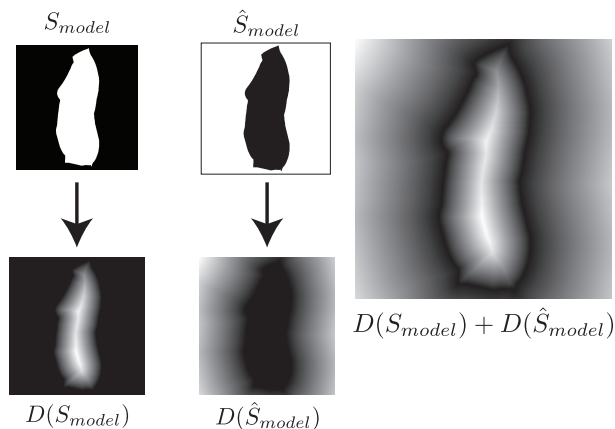


図 5 離輪郭距離変換画像

Fig. 5 Euclidean distance from model's silhouette contour

ここで、式 (3) の S_{model} および式 (5) の L_{input} として入力可変形モデルそれぞれの正面シルエットを用いた場合の式 (4) を $f_{front}(s)$ 、側面シルエットを用いた場合を $f_{side}(s)$ とすると、

$$F(s) = f_{front}(s) + f_{side}(s) \quad (6)$$

によって定義される評価関数を正面・側面両シルエット間の差異を定義したものとす。

離輪郭距離変換画像を評価に用いた理由として、将来的にカメラなどから得た画像を元に抽出した体幹部シルエットは、モデルの正射影に比べエッジが不安定であることが予想されるため、シルエット同士を重ね合わせたとき画素値が異なっている領域の面積によって差異を定義するのではなく、輪郭からの距離を連続的に表すことができる離輪郭距離の方がより適していると考えた。実際、比較されるシルエット同士を重ね合わせた際に画素値が異なっているピクセルの数によって評価関数を構成し後述の実験と同様の実験を行ったが、式 (6) の評価関数を用いた場合の方がより精度が高いことが分かっている。

5.2 最適化法

第 l 主成分までを最適化する場合、式 (2) における s は、 $s_i = 0 (l < i \leq k)$ として、 $1 \leq i \leq l$ の範囲の s_i の値を変数として評価関数を最適化することになるため、式 (6) は実質 l 変数関数となる。また、主成分得点 s_i に対し、評価関数は非線形となるため、以下のように二乗和の形をとったエネルギー関数 $E(s)$ を定義し、これを Levenberg-Marquardt

法²⁰⁾ によって最適化した。

$$E(s) = \sum_{i=1}^l (F_i(s))^2 \quad (7)$$

6. 精度評価実験

まず、成人女性の体幹部相同モデルを 100 体用意した。これらに対し主成分分析を行い、前述のようにして可変形モデルを生成しておく。そして、システムへの入力となるシルエットが理想的に取得できた場合を仮定することで、本システムのみ起因する誤差を評価することを目的とした実験を行った。ここでは、これら 100 体のモデルのうちから 1 体を順次正面・側面方向へ正射影して得たシルエットを入力シルエット画像として用いた。ただし、推定のためのデータベースに入力シルエット生成用のモデルが含まれてしまうと、本来データベースに無い形状を推定するためのシステムであることから正確な誤差評価実験とならないため、入力シルエット生成に用いたモデルを除外した 99 体を可変形モデル生成用のデータベースとして用いた。

本実験では入力モデルとして 100 体すべてを順次採用し、その都度残りの 99 体を用いて可変形モデルを再生成した。こうして入力モデルごとに得られる可変形モデルを用いて、評価関数・最適化方法については前述の手法に従い、形状推定を行った。よって、結果的に 100 体の体幹部形状が推定結果として得られ、それぞれ真値となる形状データも既知であることになる。誤差評価は推定結果である形状データと、その推定の際入力シルエット生成のために用いたモデル（双方とも相同モデルである）とを比較することにより行った。

6.1 評価項目

評価項目として推定誤差の平均と標準偏差、シルエット比較による最適化の処理時間を調べた。推定された 3 次元形状は収束した可変形モデルとしての出力であるため相同モデルであり、点数は 2437 点となる。よって推定誤差を出力モデルの各点と入力シルエット生成に用いたモデル上の面との間の距離によって評価した。

6.2 実験結果

本手法による誤差は体幹部全体に渡って平均 9.361mm であった。この精度は冒頭で述べた仮想的に試着を行うようなアプリケーションに対しては十分に個体差を反映したモデルが得られていると言えるものであろう。

誤差平均に対して標準偏差が 9.361mm と大きな値をとっていることから、誤差には大き

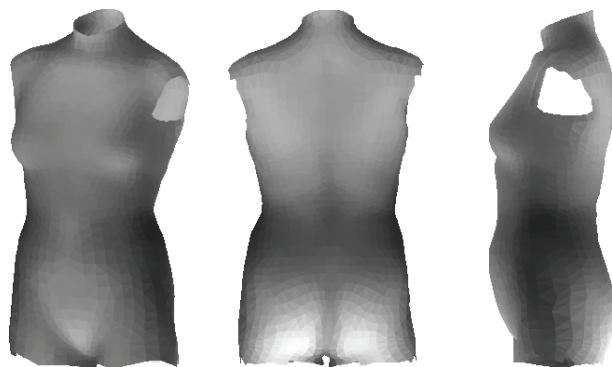


図 6 誤差分布
Fig. 6 Error distribution

な分散が存在していることが分かる。つまり、部位ごとに誤差の大きな箇所と小さな箇所が存在する。図 6 は各点ごとの平均誤差の分布をデータベースの平均モデル上にグレースケールで表示したものである。黒から白になるにつれて誤差が大きくなることを示す。この図から、特に臀部周辺に誤差が集中していることが分かる。また、胴囲周辺には誤差が少ない傾向がある。これらの原因として、シルエットの輪郭全体に渡って差異が最小となるよう最適化しているため、胴囲付近を境に形状の分散に独立性が存在し、上部もしくは下部の一方を最適に変形するともう一方は誤差が大きくなるということが考えられる。胴囲付近を境にした姿勢変動による表面形状の位置の違いが存在するのであろう。

処理時間に関しては MacOS X 10.6.5, 2.53 GHz Intel Core 2 Duo, 4GB RAM の環境下において平均で 10.391sec であった。

7. おわりに

本稿では、正面・側面の 2 枚の体幹部シルエットを用いて、モデルベースに 3 次元形状を推定する手法を提案した。データベースとして 100 体の女性体幹部相同モデルを用い、可変形モデルを生成してシルエット同士の比較により最適化を行った。誤差評価実験の結果、平均誤差は 10mm 程度となり、おおまかな形状を反映した個人モデルを用いた試着シミュレーションなどの応用に対しては十分な精度で推定が可能であることを示した。しかし、直接計測法の代替手段としての応用を考えた場合は、十分な精度とは言えない。本稿では形状推定結果からの寸法推定は行っていないが、周長などの推定に際しては表面形状の点ごとの

誤差が 1 周分加算されることになり、本稿の実験で得られた平均誤差よりはるかに大きな誤差が生じ得る。このため、寸法計測システムとして求められる精度を満たすためにはさらに高い精度での形状推定が必要である。もしくは寸法が必要な箇所に関して優先的にフィッティングを行うような工夫が必要であろう。

また、図 6 に示された誤差分布に関しては、原因と思われる胴囲を境にした姿勢要素を調整可能なパラメータをモデルに付加し、これを評価関数に加味することでより高精度な形状推定が可能になると思われる。しかし、姿勢変動を考慮するためには形状変形に伴って変化する体幹部内部の関節位置の再計算が必要となるため、計算量が大きくなる。また表皮形状から関節位置を解剖学的に正しく計算するのは困難である。よって、現在産業技術総合研究所デジタルヒューマン工学研究センターにて開発された機能的関節中心の埋め込まれた相同モデルデータベースに対し主成分分析を行う手法に取り組んでいる。これを用いると、主成分分析による表皮形状の変形にともなって内部にある関節位置も同時に変形するため、常に関節位置が判明した状態で表皮形状の変形が可能になる。この関節位置の伴った相同モデルデータベースを用いて姿勢変動を考慮した形状最適化を行うのが今後の課題である。

参 考 文 献

- 1) Masaaki M, "Dhaiba, The Digital Human Software to Represent Human Functions and Individual Variations", Journal of the Society of Instrument and Control Engineers 45(12), 999-1004, 2006-12-10
- 2) Martin R., und R. Knussmanb, 1988: Anthropologie: Handbuch der vergleichenden Biologie de Menschen, Band I. Gustav Fischer.
- 3) digital fashion ltd., HAOREBA®, DRESSSTA®, available from (<http://www.dressingsim.com>)
- 4) Kaelber, David; Pan, Eric (2008). "The Value of Personal Health Record (PHR) Systems". AMIA Annu Symp Proc: 343?347.
- 5) 日本ユニシス株式会社, からだスッキリ 3D ナビ, available from (<http://www.karada3d.net>)
- 6) M. A. Brunsman, H. A. Daanen and K. M. Robinette, "Optimal postures and positioning for human body scanning", Proceedings of International Conference on Recent Advances in 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM '97), pp. 266-273 (1997)
- 7) L. Zhang, N. Snavely, B. Curless and S. M. Seitz, "Spacetime faces: High Resolution Capture for Modeling and Animation", ACM Transaction on Graphics, 23, 3, pp. 548-558 (2004)

- 8) J. P. Siebert, S. J. Marshall: "Human body 3D imaging by speckle texture projection photogrammetry", *Sensor Review*, 20, 3, pp. 218-226 (2000)
- 9) 鈴木 誠司, 斎藤 秀雄, 持丸 正明, "フリーハンド撮影された多視点スナップショットからの顔形状復元", *映像情報メディア学会誌* Vol 63, No. 4, pp. 506-515 (2009)
- 10) 今尾 公二, 亀田 能成, 美濃 導彦, 池田 克夫, "シルエット画像に基づいて個人体形を反映する 3次元形状モデルの変形法: 仮想試着室の実現に向けて", *電子情報通信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-パターン処理*, 82, 10, 1684-1692 (1999)
- 11) J. Lee, B. Moghaddam, H. Pfister, R. Machiraju, Jinho Lee, Baback Moghaddam, Hanspeter Pfister, Raghu Machiraju, *Silhouette-Based 3D Face Shape Recovery*, *Graphics Interface* (2003), pp. 21-30.
- 12) Edmee Amstutz, Tomoaki Teshima, Makoto Kimura, Masaaki Mochimaru and Hideo Saito, *PCA Based 3D Shape Reconstruction of Human Foot Using Multiple Viewpoint Cameras*, *Proceedings of 6th International Conference on Computer Vision Systems(ICVS2008)*, *Lecture Notes in Computer Science* 5008, pp. 161-170, May 2008.
- 13) T.F. Cootes and C.J. Taylor and D.H. Cooper and J. Graham (1995). "Active shape models - their training and application". *Computer Vision and Image Understanding* Vol. 61, No. 1, January, pp. 38-59 (1995)
- 14) ALLEN, B., CURLESS, B., AND POPOVIC, Z. 2003. The space of human body shapes: reconstruction and parameterization from range scans. *ACM Trans. Graph.* 22, 3, 587-594.
- 15) Brett Allen, Brian Curless, Zoran Popovic, *Articulated body deformation from range scan data*, *Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, July 23-26, 2002, San Antonio, Texas
- 16) ANGUELOV, D., SRINIVASAN, P., KOLLER, D., THRUN, S., RODGERS, J., AND DAVIS, J. 2005. SCAPE: shape completion and animation of people. *ACM Trans. Graph.* 24, 3, 408-416.
- 17) Mochimaru, M. and M. Kouchi, 2000: *Statistics for 3D body forms*. SAE Technical Paper, 2000-01-2149
- 18) 持丸正明, 河内まき子, 大矢高司: *人体形状の高速・隠れなし計測装置の開発*, 第19回センシングフォーラム, pp.47-52, 2002
- 19) (社)人間生活工学研究センター、2005:平成16年度経済産業省委託事業 中小企業知的基盤整備事業 高度人体デジタル計測システム技術の開発調査報告書
- 20) Jorge J. More, "The Levenberg-Marquardt algorithm: Implementation and theory," *Lecture Notes in Mathematics*, vol. 630, p.105-116, 1978.