

人体計測データからのパッチモデル生成

西尾裕志[†] 山内航一郎^{††} 佐藤幸男^{†††}

nishio@hilbert.elcom.nitech.ac.jp, yamauchi@hilbert.elcom.nitech.ac.jp, sato@nitech.ac.jp

あらまし:近年 CG や服飾の分野など,実在する人物の 3 次元全身計測データが必要とされる場面が増加しており,すでにいくつかの人体計測装置が開発・利用されている.しかし計測データそのままでは各種分野への応用は難しい.これは計測データが人体データとしてモデル化されていないことによる問題である.そこで本稿では人体の全身計測データに対し,あらかじめ用意した人体パッチモデルをアクティブバルーンモデルの原理を用いてフィッティングすることを考える.本手法では一般的な CG ソフトで作成された人体データを人体モデルとして使用することを前提としており,人体モデルの構造に依存しないモデル化を行うことが可能である.またフィッティングの際に問題となる姿勢合わせについては少数の特徴点を指定することで解決する.

キーワード:人体モデル, 人体計測, アクティブバルーンモデル, 距離画像, レンジファインダ

Surface Model Construction from Human Body Range Data

Yuji Nishio[†] Koichiro Yamauchi^{††} Yukio Sato^{†††}

Abstract: Recently, it has been increasing that a demand for a range data of human body in the fields of Computer Graphics or apparel, and some 3D human body measurement system have been used. However, it is difficult to apply these range data to various fields, because these data is not modeled as a human body model. In this paper, we propose a method for modeling a human body from a range data by the principle of Active Balloon Model. It is premised on using a human CG data created with a general CG software as the human body patch model. And we also solve the problem about normalization of human model posture by specifying a few feature points.

Keywords: human body model, human body measurement, Active Balloon Model, range data, range finder

1. はじめに

近年のコンピュータ技術の発達には社会に多大な影響を与えており,様々な応用技術も研究・開発されている.特にコンピュータグラフィックス(CG)分野の発展はめざましく,昨今ではフル CG で作成された映画や,実在する人物を登場キャラクターのモデルとしたゲームなども登場し始めた.しかしよりリアルな CG 表現が可能になるほどそれを作成する労力も大きくなり,コスト面や製作日数の面での制約が増大してくる.このような状況において実在する物体の形状データをコンピュータへ取り込み CG として

利用したいという要望が現れるのは当然であると言えるかもしれない.特に CG で人物を表現することは非常に難しいため,実在する人物の形状計測データをそのまま CG として利用することができればそれは大きな利点と言えるだろう.また人体計測によるメリットを得られるのは CG 分野だけではない.例えば医療分野において日々の体型変化をデータベースとして蓄積することで病気診断の補助が可能となるかもしれないし,服飾分野においては自動採寸システムやネットワーク上での仮想試着システムなどへの応用も考えられる.

このような要望を満たすため,近年いくつかの人体計測装置が開発・利用されている.しかしこれらによって得られた人体計測データそのままでは各種分野への応用は難しい.その理由は計測データが人体としてモデル化されていないことにある.すなわち計測データのどの部分が人体の顔でありどの部分が足にあたるか,という人体に関する情報をデータが保持していないために計測された形状を人体データとして扱えないのである.

[†]名古屋工業大学大学院 電気情報工学専攻
Department of Electrical and Computer Engineering,
Nagoya Institute of Technology
^{††}名古屋工業大学 電気情報工学科
Department of Electrical and Computer Engineering,
Nagoya Institute of Technology
^{†††}名古屋工業大学大学院 しくみ領域
Shikumi College, Nagoya Institute of Technology

この問題を解決するため、過去にいくつかの研究がされてきた。1つに計測データに対してBスプライン曲線をフィッティングさせる方法[2]がある。このような関数近似によって人体をモデル化する方法は胸囲や身長など幾何学的な量の計算が簡単であるというメリットがある。しかし複雑な形状をしている人体計測データを関数フィッティングによって正確に表現可能であるとは限らず、形状の欠落が発生する可能性がある。別の研究としてあらかじめ用意した人体モデルを計測データにマッチングさせる手法[1]がある。これは人体モデルを円筒や球などで表現し計測データにマッチングさせることで計測データに対してモデル化を行うものである。この手法は計測された人体形状データの姿勢によらずロバストな結果を得ることができるが、人体モデルの構造(「前腕部」や「大腿部」などの人体データの分割方法)が固定であり、実際のCGとしての応用場面において想定と異なったパーツ構造を持った人体モデルが必要となった場合、柔軟に対応することは難しい。

そこで本稿では人体計測データの各種分野への応用のしやすさを重視し、一般的な人体CGデータを人体パッチモデルとして使用し計測データへ直接フィッティングする手法を提案する。本稿における人体モデルの条件はパッチの集合で表現されたモデルである、という点のみである。計測データの応用場面でどのような人体モデル構造を要求されても、フィッティング元となる人体CGデータさえ適切に用意すれば本手法は柔軟に対応することができる。例えば通常2~3パーツと考えられることの多い胴体を多数のパーツとし、背骨のような構造をもった人体モデルを生成することも原理的には可能である。またフィッティングの際問題となる計測データとの姿勢合わせ問題については、少数の特徴点をマニュアルで指定しこれを用いてパッチモデルを変形させることで解決する。

本論文の構成は次の通りである。まず第2節で人体パッチモデルと計測データについて述べる。第3節では特徴点を用いたパッチモデルの正規化(姿勢合わせ)手法について説明する。さらに第4節で正規化されたパッチモデルの計測データへのフィッティング方法を述べ、第5節で実験によって本手法の有効性を確認する。最後に第6節でまとめ、本稿を締めくくる。

2. 人体データ

2-1 人体モデル

人体計測データは箱やボールのような一般的な物体に比べ複雑な形状をしている。そのため球のような単純なパッチモデルを人体計測データへフィッティングした場合、脇など凹部の形状がなまるといった問題の発生が考えられ、良い結果が得られることは期待できない。

そこで本稿ではCGで作成された任意の人体CGデータを人体モデルとして使用することを考える。人体CGデータは人体を表現するのに適した構造をしていることが多く、前述のような問題を回避することができると考えられる。また本稿では人体モデルの構造に関して特別な定義を行わないことにする。すなわちユーザが自由に人体モデルを設計できるようにし、ユーザの要求に柔軟に対応可能な人体モデル構築手法を目指す。本手法ではフィッティング前後でパッチモデルの頂点数が変化しないため、フィッティング後のデータを元のCGデータと同様に扱うことができる。つまり人体モデルとなるCGデータのもつ構造がそのまま人体モデルの構造となるため、任意の構造をもつ人体モデルを容易に生成することが可能となる。

2-2で述べるが、本手法における人体パッチモデルの各頂点は、それ自身が体のどのパーツ(前腕部、大腿部など)に属する頂点であるかという情報を持っている必要がある。この情報を各頂点ごとにマニュアルで設定することも可能であるが、人体CGデータから各パーツごとに別個にファイル出力することで簡単に得ることができる。また関節付近に存在する頂点は複数のパーツに属することを可能とする(例:肘付近の頂点は前腕部と上腕部に属している)。

2-2 計測データ

本研究で用いるフィッティングは、パッチモデルの各頂点を最も近い計測データに引き寄せるようにして行う(4節参照)。このときパッチモデルと計測データとの初期位置によっては、図1に示すように本来は腕を表しているパッチ頂点が胴体方向へ収束してしまうといった不具合が発生する可能性がある。

そこで本研究では図2に示す一例のようにフィッティング処理前に計測データをパーツごとに分割しておくことを前提条件とし、2-1で述べたようにパッチモデルの各頂点はこれらのパーツの少なくとも一つに対応付けられているものとする。フィッティング時、パッチモデルの頂点を対応付けられたパーツ方向へのみ収束させることで(すなわちパッチモデル前腕部の頂点は計測データの前腕部のみに引き寄せられる)、

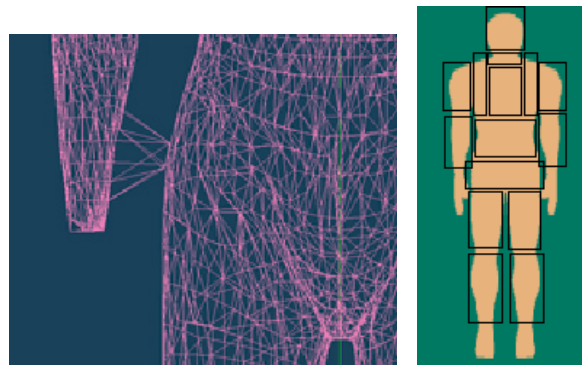


図1 フィッティングミス 図2 パーツ分割

図1のようなフィッティングミス回避することができる。

3. パッチモデルの正規化

本研究ではフィッティング手法としてアクティブバルーンモデル[3]の原理を使用する(詳細は4節参照)。ここで問題となるのが人体計測データと人体パッチモデルとの姿勢の差異であり、これを解決するためフィッティング前にパッチモデルの正規化を行う。本節ではパッチモデル正規化の重要性と具体的な方法を述べる。

3-1 初期化の必要性

ここではパッチモデルの正規化を行うことの重要性を述べる。本稿において正規化とは「パッチモデルと計測データとの姿勢が一致するように、パッチモデルを回転・拡大縮小・変形させる」ことを指すものとする。

今、図3(a)に示すようにパッチモデルと計測データの姿勢が異なっているとす。先にも述べたが、本研究でのフィッティングはパッチモデルの頂点を最も近い計測データへ向かって収束するように行う。そのため図3(a)の状態ではフィッティングを行うと計測データの一部が反映されず図3(b)のようなフィッティングミスが起こる可能性がある。これを回避するため図3(c)のようにパッチモデルを計測データの形状とある程度重なるように変形する必要がある。これはアクティブバルーンモデルにおいて計測データをバルーンの中央に配置することと意味的に同じであると考えられる。

本研究では回転・平行移動量などのパラメータをパーツ単位で求め、パッチモデルの頂点を各個に移動させることにする。これは本研究で対象としている人体は多関節物体であり複雑な姿勢をとることができるため、全身に対し単一の変換を施すだけでは不十分であると考えたためである。

3-2 パッチモデル正規化手法

3-2-1 特徴点の指定

パッチモデル正規化の前処理として、計測データとパッチモデル双方に対し特徴点の指定を行う。ここで人体形状は立方体のようなエッジ部分が少なく特徴点の安定した自動抽出が困難であること、特徴点は必ずしも形状のエッジ部

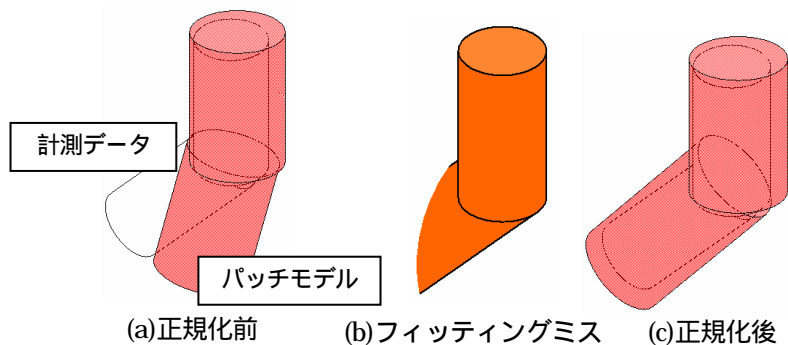


図3 正規化の影響

分や凹凸部に存在しているわけではないことを考慮し、本研究では特徴点の指定をマニュアルで行うこととする。また特徴点は2-2で分割したパーツ一つにつき2点を使用するものとする。

具体的な特徴点の位置(例)を図4に示す。この例では計測データは図2のような15個のパーツに分割されており、特徴点の位置についてはおおよそ各パーツの両端の頂点を使用するようにしている。また特徴点は複数のパーツで兼用可能であるので、この場合は全身で20点のみを指定するだけでよい。また、本稿では簡単のため手と足については考慮しないものとする。

なお、図4の特徴点配置はあくまでも一例であり、使用する人体パッチモデルの構造に沿った特徴点の位置を適宜決定する必要がある。

3-2-2 平行移動

上記のように取得した特徴点を使用し、始めにパッチモデル各頂点の平行移動量を求める。まず計測データの各パーツごとにパーツ中心座標を求める。パーツに含まれる計測点群の中からX座標、Y座標、Z座標それぞれの最大値・最小値を求め、これらの平均をデータの中心座標(X_{d0}, Y_{d0}, Z_{d0})とする。図5に2次元平面での模式図を示す。ここで中心座標を重心としなかったのは計測データの密度が一定でないことを考慮しているためである。

次にパッチモデル側の中心座標(X_{p0}, Y_{p0}, Z_{p0})を求める。2-1で述べたように、パッチモデルの各頂点は自分がどのパーツに対応しているかという情報を保持している。この情報を参照し1つのパーツに対応するパッチ頂点をリストアップして、計測データと同様の方法でパッチモデルにおける各パーツに対応する中心座標(X_{p0}, Y_{p0}, Z_{p0})を得る。

そして計測データの中心座標(X_{d0}, Y_{d0}, Z_{d0})とパッチモデルの中心座標(X_{p0}, Y_{p0}, Z_{p0})との差分ベクトルT

$$T = (X_{d0}, Y_{d0}, Z_{d0}) - (X_{p0}, Y_{p0}, Z_{p0}) \quad (1)$$

を平行移動ベクトルとする。

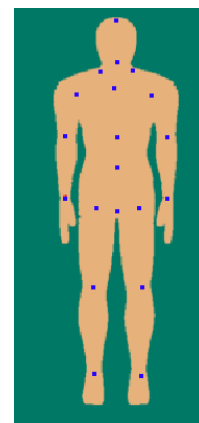


図4 特徴点の配置

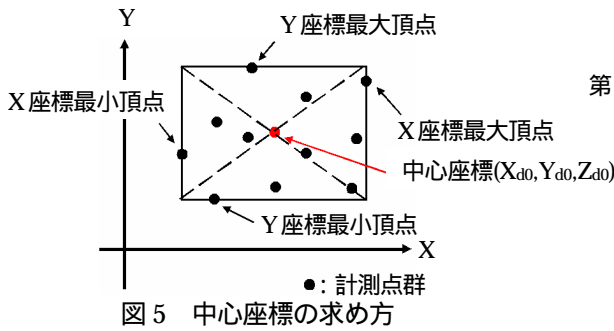


図5 中心座標の求め方

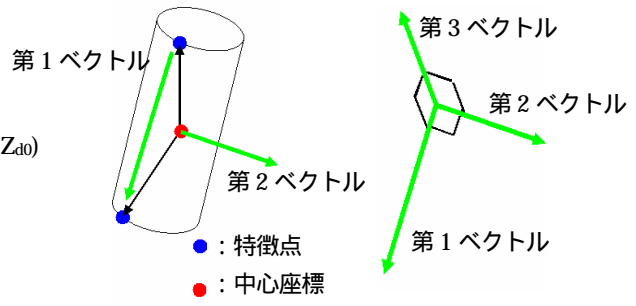


図6 直交3ベクトル

3-2-3 回転

次に,3-2-2 で計算したパーツ中心座標と3-2-1 で指定した特徴点を使いパーツごとの回転量を求める.各パーツにつき2点の特徴点と中心点の合計3点が既知であることを利用し,これらを用いて直交3ベクトルを求める.これを計測データ側,パッチモデル側双方について求め,これらが一致するような回転量を計算する.図6に直交3ベクトルを示す.

まず第1ベクトルとして2つの特徴点間の単位ベクトル,第2ベクトルとして中心座標から2つの特徴点への2本のベクトルによる外積の単位ベクトルをとる.そして第1ベクトル,第2ベクトルの外積の単位ベクトルを第3ベクトルとすることで直交3軸を求めることができる.

この直交3軸を使用して回転行列を計算する.計測データ側の第*i*ベクトルを $\mathbf{u}_i=(u_{xi},u_{yi},u_{zi})$,パッチモデル側の第*i*ベクトルを $\mathbf{v}_i=(v_{xi},v_{yi},v_{zi})$ とすると,回転行列 \mathbf{R} を用いて

$$\mathbf{u}_i = \mathbf{R} \mathbf{v}_i, \quad \mathbf{R} = \begin{pmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{pmatrix} \quad (2)$$

と表現される.式(2)を変形して

$$\begin{pmatrix} u_{xi} \\ u_{yi} \\ u_{zi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_{xi} & v_{yi} & v_{zi} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & v_{xi} & v_{yi} & v_{zi} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & v_{xi} & v_{yi} & v_{zi} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \\ r_4 \\ r_5 \\ r_6 \\ r_7 \\ r_8 \\ r_9 \end{pmatrix} \quad (3)$$

とする.式(3)はベクトル*i*について成り立つものである.3つのベクトルを使用することで9つのパラメータを持つ回転行列 \mathbf{R} を線形に計算することが可能となる.この \mathbf{R} を現在注目しているパーツについての回転量とする.

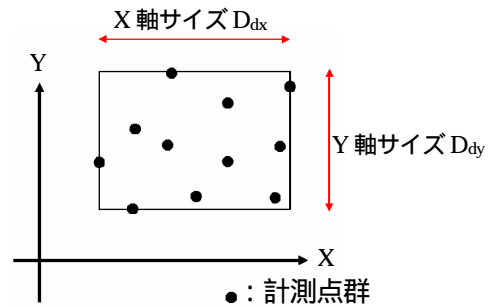


図7 サイズの正規化

以上の処理によってパーツごとの平行移動量 \mathbf{T} ・回転量 \mathbf{R} が求められたので,パッチ頂点のパーツへの対応付け情報を参照し各頂点ごとに平行移動・回転処理を施す.

3-2-4 拡大縮小

続いてパッチモデルの拡大縮小を行い大きさに関する正規化を行う.ここで人体の体型には個人差があり縦横比も異なるため,単純な拡大縮小では十分な結果が得られない.そこでX軸,Y軸,Z軸方向の拡大縮小率を独立させることでパッチモデルと計測データとの体型差を吸収することを考える.

まず計測データの一つのパーツについて,3-2-2と同様にしてX座標,Y座標,Z座標それぞれの最大値・最小値を求め,座標軸ごとに距離(D_{dx}, D_{dy}, D_{dz})を計算する(図7).またこのパーツに対応するパッチモデルの頂点をリストアップし,同様に座標軸ごとに最大値・最小値の距離(D_{px}, D_{py}, D_{pz})を計算する.そして計測データ側の距離(D_{dx}, D_{dy}, D_{dz})に対してパッチモデル側の距離(D_{px}, D_{py}, D_{pz})がある一定の比率になるようなパッチモデルの拡大縮小率を座標軸ごとに計算する.

以上の計算をパーツごとに行い,パーツ中心座標を原点としてパッチモデルの各頂点を拡大縮小する.

3-2-5 関節領域の設定

前節までの処理によってパッチモデルの各頂点を変形させた場合,パーツ間の境界領域(主に関節部分)が不自然に離れてしまう問題が発生する(図8(b)).そこで関節領域のパッチ頂点は複数のパーツに対応付けられるものとし,各々

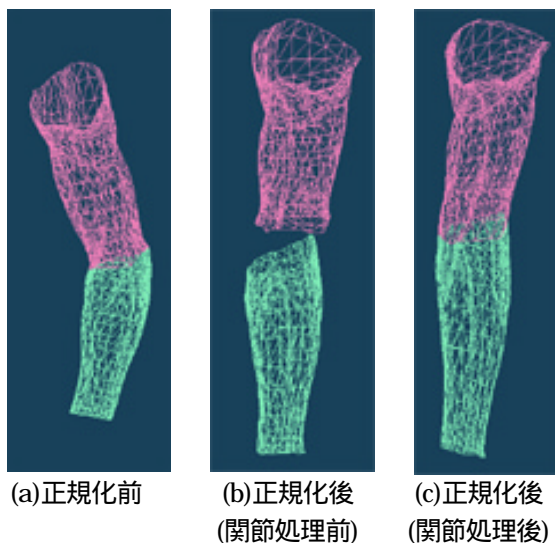


図8 関節領域の処理

のパーツごとに計算した移動量を平均することで関節領域を滑らかに接続することを考える。

今、2つのパーツに対応付けられているパッチ頂点 (X_{pi}, Y_{pi}, Z_{pi}) があると、各パーツごとに別個に正規化したときの頂点座標をそれぞれ $(X'_{pi}, Y'_{pi}, Z'_{pi})$, $(X''_{pi}, Y''_{pi}, Z''_{pi})$ とする。このとき初期化後の平均座標 $(\bar{X}_{pi}, \bar{Y}_{pi}, \bar{Z}_{pi})$ は

$$\begin{aligned} & (\bar{X}_{pi}, \bar{Y}_{pi}, \bar{Z}_{pi}) \\ & = \{(X'_{pi}, Y'_{pi}, Z'_{pi}) + (X''_{pi}, Y''_{pi}, Z''_{pi})\} / 2 \end{aligned} \quad (4)$$

で表される。

さらに関節領域以外の頂点(一つのパーツのみに対応付けされている頂点)についてもアフィン変換によって変形させることでパッチモデル全体での整合性をとる。先程のパーツごとに初期化した頂点 $(X'_{pi}, Y'_{pi}, Z'_{pi})$ と平均をとった頂点 $(\bar{X}_{pi}, \bar{Y}_{pi}, \bar{Z}_{pi})$ との関係は、アフィン変換を用いて

$$\begin{pmatrix} \bar{X}_{pi} \\ \bar{Y}_{pi} \\ \bar{Z}_{pi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X'_{pi} \\ Y'_{pi} \\ Z'_{pi} \end{pmatrix} \quad (5)$$

のように表現できる。ここで $r_1 \sim r_9$ はアフィン変換パラメータである。式(5)を変形し

$$\begin{pmatrix} \bar{X}_{pi} \\ \bar{Y}_{pi} \\ \bar{Z}_{pi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X'_{pi} & Y'_{pi} & Z'_{pi} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X'_{pi} & Y'_{pi} & Z'_{pi} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X'_{pi} & Y'_{pi} & Z'_{pi} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \\ r_4 \\ r_5 \\ r_6 \\ r_7 \\ r_8 \\ r_9 \end{pmatrix} \quad (6)$$

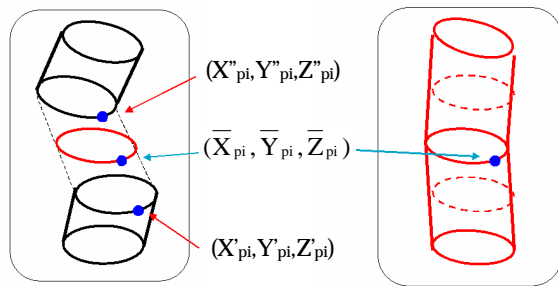


図9 アフィン変換処理

とするとアフィン変換パラメータ r_i についての線形方程式を得ることができ、 $(X'_{pi}, Y'_{pi}, Z'_{pi})$ 及び $(\bar{X}_{pi}, \bar{Y}_{pi}, \bar{Z}_{pi})$ の組み合わせが3点以上あればパーツごとにアフィン変換パラメータを最小2乗法により求めることができる。このパラメータを用いて、一つのパーツにのみ対応付けられているパッチ頂点(すなわち (X_{pi}, Y_{pi}, Z_{pi}) 以外の頂点)を式(5)に従って変形させることで、図8(c)のようにパッチモデルをシームレスに正規化することが可能となる。図9(a)はアフィン変換前の状態、(b)はアフィン変換をパッチ全体にかけたときの概念図である。

4. パッチモデルフィッティング

第3節の手法によって正規化されたパッチモデルを計測データにフィッティングさせ人体パッチモデルを得ることを考える。ここで複雑な人体形状に対して精度良いフィッティングを行うためには繰返し計算によって徐々に収束させていくことが適当であると考え、フィッティング方法にアクティブバルーンモデルの原理[3]を用いることとする。

本節ではアクティブバルーンモデルについての基本的な部分を述べた後、本研究におけるフィッティング手法を説明する。

4-1 アクティブバルーンモデル

アクティブバルーンモデルとは、パッチモデルの各頂点ごとにエネルギー関数を設定し「エネルギーが最も小さくなる方向にパッチ頂点を微量移動し、その後再びエネルギーを評価してさらにエネルギーが小さくなる方向へ移動する」という処理を繰り返すことによって徐々に計測データにパッチモデルをフィッティングさせていく手法である。

パッチモデル上のある頂点 x に対するエネルギー関数は内部エネルギー E_{int} と外部エネルギー E_{ext} の和で表されており、

$$E_{point}(x) = E_{int}(x) + E_{ext}(x) \quad (7)$$

の式で表現される。さらに E_{int} と E_{ext} はそれぞれ

$$E_{int}(x) = \alpha \sum_{i=0}^5 \left\{ \max_{j \in \left\{ \begin{array}{l} x \text{ に接続している} \\ \text{パッチモデル頂点} \end{array} \right\}} (p(j) - p(x)) \cdot e_i \right\}^2 \quad (8)$$

$$E_{ext}(x) = k \sum_{i \in \{\text{計測点}\}} -G_{\sigma}(P(i) - p(x)) \quad (9)$$

$$G_{\sigma}(\mathbf{x}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{\mathbf{x} \cdot \mathbf{x}}{2\sigma^2}\right)$$

のように計算される。ここで $p(x)$ は注目しているパッチモデル頂点ベクトルを表す。式(8)において $p(j)$ は頂点 x に隣接するパッチモデル頂点ベクトルを表し、 $e_0 \cdots e_5$ は X 軸正方向, X 軸負方向, Y 軸正方向, Y 軸負方向, Z 軸正方向, Z 軸負方向の単位ベクトルを表す。式(9)において $P(i)$ は計測データ頂点のベクトルを表し、 G はガウス関数である。また、 k はそれぞれ内部エネルギー・外部エネルギーの重み係数である。

4-1-1 内部エネルギー

まず式(8)の内部エネルギーについて説明する。内部エネルギーはパッチモデルの滑らかさに関するエネルギーであり、この値が小さい場合パッチモデル頂点が表面上に均等に分散していることを意味している。

計算方法は次の通りである。現在注目している頂点 x (座標 (X_0, Y_0, Z_0)) と隣接している頂点 j (座標 (X_j, Y_j, Z_j)) があるとき、この 2 点の座標値の差のベクトル

$$(X_{0j}, Y_{0j}, Z_{0j}) = (X_j, Y_j, Z_j) - (X_0, Y_0, Z_0) \quad (10)$$

を計算する。これを注目頂点 x の隣接頂点全てに対して計算し、内積 $(X_{0j}, Y_{0j}, Z_{0j}) \cdot e_i$ の最大値を $e_0 \cdots e_5$ それぞれについて求める(最大値が負の場合は 0 とする)。そしてこれらの 2 乗和を内部エネルギーとする。

4-1-2 外部エネルギー

次に外部エネルギーについて説明する。外部エネルギーはパッチモデルを計測データへ引き寄せるように作用する関数である。

式(9)に示すように、外部エネルギーは注目し

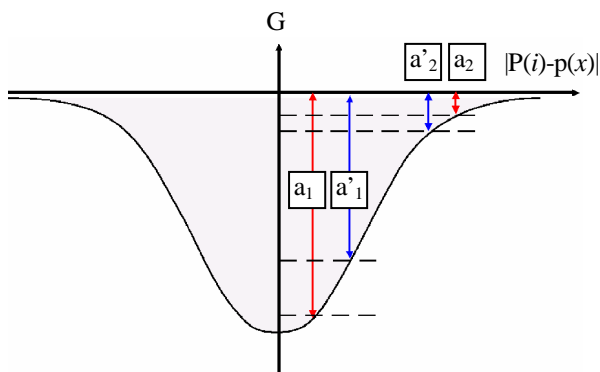


図 10 外部エネルギー計算

ているパッチ頂点 $p(x)$ と計測データ上の頂点 $P(i)$ との距離 $|P(i) - p(x)|$ をガウス関数の変数部分とした形をしている。つまりパッチ頂点の持つ外部エネルギーは自分から遠い計測データにはほとんど無関係であり、近い計測データであるほどより強く影響を受ける関数であると言える。

外部エネルギーの概念図を図 10 に示す。今、注目しているパッチモデル頂点 x と複数の計測データ頂点が図 11 のように位置しているとす。パッチ頂点 x に近い計測データ 1 (頂点数 1 点) から受ける外部エネルギーを a_1 、遠い計測データ 2 (頂点数 N 点) からの外部エネルギーを a_2 とおくと、頂点 x の受ける外部エネルギーは図 10 中で $a_1 + a_2 \times N$ と表される。ここでパッチモデル頂点 x が x' へ移動したとすると外部エネルギーは図 10 中で $a_1' + a_2' \times N$ へと変化し、 N が大きくなければ結果としてエネルギーが増加することとなる。これより、パッチ頂点は自身から遠い位置にある多数の計測データよりも近い位置にある少数の計測データに強く引き寄せられることが分かる。

以上のようにして計算された外部エネルギーと先に求めた内部エネルギーの和を計算し、それが最も小さくなる方向へとパッチ頂点を微小移動移動し、再びエネルギーを計算し新たな移動方向を決定することを繰り返してパッチモデルを計測データへとフィッティングする。

4-2 フィッティング方法

本手法ではアクティブバルーンモデルの原理を使用して人体モデルのフィッティングを行う。以下にフィッティング処理の実行手順を示す。

-) パッチモデルの 1 つの頂点に注目する。
-) 注目頂点の移動方向を決定する。
-) その方向へ移動させたときのパッチモデルのエネルギーを計算する。
-) で決定した方向とは異なる移動方向を定め、へ戻る。全ての移動方向に対して の処理を行った後、最もエネルギーが少なくなった方向を最終的な移動方向として保存する。
-) パッチモデルの別の頂点に注目し へ戻る。パッチモデルの全ての頂点に対し ~ の処理を行った後、で保存された移動方向へ全パッチ頂点を一斉に移動させる。
-) へ戻る。 ~ の処理を一定回数 (n 回) 繰返したらフィッティングを終了する。

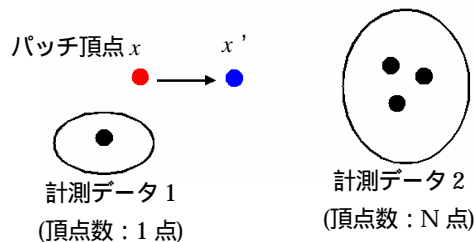


図 11 頂点の移動による影響

本研究でのアクティブバレンモデルからの変更点は、大きく分けて外部エネルギーの計算方法とパッチモデル頂点の移動方法の2点である。以下にこれらの変更点を詳しく述べる。

4-2-1 外部エネルギー計算

4-1 で述べたような、外部エネルギーの計算時1つのパッチ頂点につき全計測頂点を考慮する方法では計算コストが大きくなる。特に本稿で扱っている人体計測データは頂点数が多く全計測データを考慮するのは現実的ではない。

そこで外部エネルギーの計算対象にする計測データを全データの一部のみに限定することで計算コストの削減を図る。計測データの選択方法は以下の2つの手順によって行われる。

手順 1) パッチモデルの各頂点は、計測データの1つ以上のパーツに対応付けされている。そのパーツに含まれる計測データをリストアップする。これを候補頂点群と呼ぶことにする。

手順 2) 候補頂点群の中から最もパッチ頂点に近い計測データ頂点を適当数選択する。ここで選択された計測データを外部エネルギーの計算に使用する。

以上の計測データ選択処理はパッチモデル正規化後に一度だけ行い、フィッティング中は変化させない。これによりフィッティングにかかる時間は大幅に削減されるが、一方でフィッティング前のパッチモデルの状態が最終的なフィッティング結果に大きく影響するという問題を生じる。しかし本手法では特徴点を使うことによって良い精度で正規化を行えるため、この問題はさほど大きくないと考えられる。

このようなデータ選択処理を行った理由は計算時間の短縮のみではない。既に 2-2 でも述べたが、本研究で対象としている人体は複雑な形状をしており単純な方法ではフィッティングミスを起こす可能性がある。ここでパッチモデルの外部エネルギー項はパッチ頂点を計測データに引き寄せる意味を持つことを考えると、外部エネルギーに影響を与える計測データを先のよ

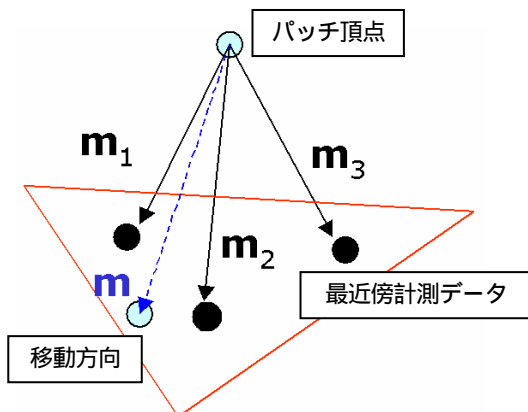


図 12 パッチ頂点移動ベクトル

うに限定することで図1のようなパッチモデルの誤った収束を防止することができると思われる。

4-2-2 パッチモデル頂点の移動

次にパッチ頂点の移動方向の決定方法(フィッティング手順 2)について述べる。本研究では4-2-1でも述べたようにパッチモデル頂点と計測データとの対応付けがされているため、これを使用して移動方向を決定する。

4-2-1の手順2によって対応付けられた計測点群をVとする。まずVの中からパッチ頂点に最も近い計測点3点を選ぶ。次にパッチ頂点からこの3点へのベクトル m_1, m_2, m_3 を求め、その線形和で表されるベクトル m

$$m = am_1 + bm_2 + cm_3 \quad (11)$$

$$\begin{aligned} (-k_1 \leq a \leq k_2, -k_1 \leq b \leq k_2, \\ -k_1 \leq c \leq k_2, a + b + c = 1) \end{aligned}$$

を計算し、その単位ベクトルを移動方向ベクトルとする。図12にこの様子を示す。ここで式(11)中の a, b, c は重み付け係数であり、条件式を満たす範囲で任意に設定可能である。 k_1, k_2 は任意の正数であり、値が大きいくほど移動範囲の自由度が増加する。この重み係数 a, b, c を順次変更することで様々な移動方向を設定することが可能となる。

次に移動量を計算する。図12に示すように、ベクトル m は先程選択した3点 m_1, m_2, m_3 によって構成される平面上への、パッチ頂点からのベクトルであることが分かる。すなわちベクトル m の大きさ $|m|$ だけ移動すれば3点で構成される平面上へ移動することになるが、一度に計測データ上へパッチを収束させるのはフィッティングとしては危険である。そこで繰返し計算回数 i によって変化する係数 $f(i)$ を用意し、繰返し数が増すにつれ徐々に計測データへと収束していくようにパッチ頂点の移動ベクトル m_i を

$$m_i = f(i) \cdot m \quad (12)$$

のように定義する。本研究では $f(i)$ を経験的に

$$f(i) = \frac{i}{n} \quad (13)$$

のように定めた。ここで n は繰返し計算数の最大値であり、繰返し計算の最終段階で $i=n$ となり $f(i)=1$ となる。すなわち最終的なフィッティング計算が終了したとき、パッチモデルは計測データ表面上に収束している結果となる。

5. フィッティング実験

これまで述べた手法を用いて実際にフィッティングを行った結果を示す。今回は人体パッチモデルとして、市販のCG作成ソフトで使用されている人体データを用いた。計測データにつ

いては、人体モデルとは異なるCGソフトで作成された人体CGをシミュレーションデータとして使用した。シミュレーションデータは図2のように全身で15パーツに分割し、特徴点は図4の位置に全20点指定した。なお、これらの作業は全てマニュアルで行った。式(8)および式(9)のエネルギー計算の重み係数 k はそれぞれ0.003, 10000とし、式(11)の移動方向計算時の係数 a, b, c はそれぞれ-1~1の範囲で等間隔に6通り考慮し、計216通りの移動方向を試行できるようにした。これらの値は経験的に決定したものである。図13に人体モデル、図14にシミュレーションデータを示す。なお、本実験では簡単のため手と足部分は考慮しないこととした。

図15にパッチモデル正規化後の結果を、図16にフィッティング結果を示す。これらの結果から人体モデルとシミュレーションデータ間での姿勢の差を正規化によって吸収し、既存の人体CGデータを変形させ異なる人体データへうまくフィッティングされていることが分かる。関節部分など細かい箇所では若干の歪みが見受けられるが全体としては非常に良い結果であると考えられ、本手法が人体計測データに対する人体モデルの生成に有効であることが確認できた。

6. まとめ

本稿では、アクティブバルーンモデルの原理を利用し既存の人体CGデータを人体計測データへフィッティングさせ人体パッチモデルを生成する手法を提案した。その際問題となるのが人体形状が多関節モデルであることによる姿勢の差異であり、この影響によって人体モデルが正しく生成されないことが考えられる。これを解決するためのパッチモデルの正規化を、計測データをパーツに分割することと少数の特徴点を指定することで簡単に行う手法を提案した。

またフィッティング時にパッチモデルと計測データとの対応関係を参照することでより良いフィッティング結果を得ることが可能となった。

本研究の成果の応用として、例えばCG分野において実在の人物の計測データを使用したCGムービーの作成を支援したり、医療分野において日々の体型変化のデータベース化による病気診断支援などを挙げることができる。

今後の課題には、本研究ではマニュアルで行った計測データのパーツ分割の自動化、計測データに含まれるノイズを考慮したフィッティング手法の考察、また本研究では考慮しなかったテクスチャの扱い方や顔部分のより正確なフィッティング手法の開発などが考えられる。

参考文献

- [1]美濃導彦, "3次元人体モデル中心処理", 情報処理学会論文誌 CVIM, Vol.43 No.SIG4 pp.10-23, 2002
- [2]渡辺弥寿夫, "人体計測システムにおける曲面フィッティングと形状操作", 研究報告 CVIM No.063-007, 1989
- [3]土屋健一, 松尾啓志, 岩田彰, "アクティブバルーンモデルと仮対称性仮説を用いた3次元再構成", 信学論 D-II Vol.J76-D-II No.9 pp.1967-1976, 1993
- [4]Kass M., Witkin A. and Terzopoulos D., "Snakes: Active Contour Models", International Journal of Computer Vision Vol.1 no.4 pp.321-331, 1988
- [5]飯島貴志, CG WORLD 編集部, "人体のしくみ-CGデザイナーのためのグラフィックバイブル", ワークスコーポレーション, 2003
- [6]桜木晃彦, 武田美幸, "CGクリエイターのための人体解剖学-超現実を描けるのは現実を知る者だけ-", ボーンデジタル, 2003

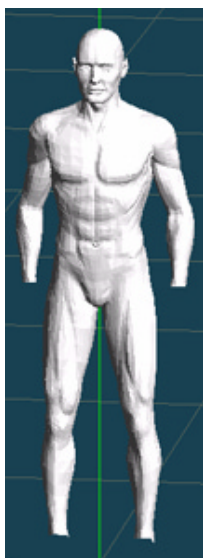


図13 人体モデル

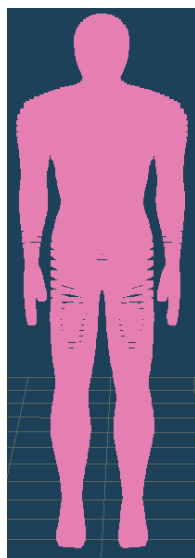


図14 シミュレーションデータ



図15 正規化結果



(a)前



(b)後

図16 フィッティング結果