

3D 足部モデルの座標系の設定法の提案

高橋瑛逸† 矢原弘樹‡ 三谷純† 福井幸男†

† 筑波大学大学院システム情報工学研究科

‡ 筑波大学教育開発国際協力研究センター

E-mail : yoitsu@npal.cs.tsukuba.ac.jp

身体に適合する製品の設計や、身体形状の統計的な性質の調査に利用される身体モデルの生成には、解剖学的な特徴を表すランドマークの位置情報が必要である。またこれらのランドマーク間の位置関係を表す位相情報は標準化されている必要がある。標準化された身体形状モデルはランドマークを基準とした座標系上で定義されなければならない。ところが、3次元計測により得られるデータはスキャナ上の座標系で定義された点群の座標値のみである。そこで、まず点群データからランドマークの位置を推定し、ランドマークから改めて座標系を設定することを試みた。これにより形状モデルが容易に生成できることとなる。

Proposal of Setting Method of Coordinate System of 3D Foot Model

Yoitsu TAKAHASHI† Hiroki YAHARA‡ Jun MITANI† Yukio FUKUI†

† Graduate School of Systems and Information Engineering,

University of Tsukuba

‡ Center for Research on International Cooperation in Educational
Development, University of Tsukuba

Body models, used to design wearing products or to research of statistical character of body shape, need to contain information of the positions of anatomical landmarks. And it is also necessary to standardize topology that shows positional relations between landmarks. Standardized models have to be set their own coordinate systems based on landmarks. But the data, we can obtain by 3D scanner, have only coordinate values based on coordinate system of the scanner. So we try estimating the positions of landmarks from point cloud and setting coordinate system on model again by them. This makes modeling easy.

1.はじめに

身体に身に付ける製品は、製品設計の手法により、大きく2つに分けられる。その一つは大量生産製品である。この場合、製造コストを抑えられ、製品提供が容易であるという利点を持つ。しか

し、大まかなサイズ分類に基づく製品設計のため平均的な体型から大きくはずれた身体への適合性が良くない。もう一つの製品設計の手法は、オーダーメイド製品である。この場合は身体寸法を測り、個人専用の製品を作るため、身体へ

の適合性が良い製品が出来上がるという利点を持つ。しかし、人の手により身体の寸法を測る手間と製造コストがかかってしまう。

近年、3次元計測技術の発展により、容易に身体の形状データが得ることが可能となった。このため、低コストで身体への適合性の良い製品設計の手法として身体の形状データを用いた手法が注目されている[1]。これらの手法では、仮想空間上に3次元の身体形状モデルを生成することで製品設計が行なわれる。また、製品設計に必要な情報は単に身体形状だけでなく、骨格位置に関わる解剖学的特徴点（以降、ランドマークと呼ぶ）に基づく特定位置間の寸法等があり、これらの設計情報は身体形状から直接得られる訳ではない。

ここで、本研究で扱う3次元身体モデルを利用した製品設計について簡単に説明する例として、靴を作る工程について説明する。まず、身体に3Dスキャナを通して足形状の計測を行ない、そこからランドマークを持つ3次元足部モデルが生成される。そこから、先ほど述べたようにランドマークの位置を元に身体の寸法などが算出され、靴型が作られ、最終的にその靴型を元に実際の靴が作られる。以上が、製品の製造工程になる。この手法の利点としては、オーダーメイド製品を作る際に、従来は手作業により計測していた身体寸法を、コンピュータを用いる事で自動的に算出している点である。

また一方で大量生産製品を作る際にも、その基となる標準的な規格の策定のために、従来は専門家の手作業により多くの時間とコストをかけて膨大な数の身体計測を行ってきた。このような身体形状の統計的な性質を調べるためのデータを得るためにも、3次元身体モデルの利用が見込まれる。

ところが前述の通り、ランドマークの位置は身

体形状から直接得られる訳ではない。手作業によりマーカを貼り付けた後で、身体をスキャンしているというのが現状である。

しかし、実際の現場での利用を考えた場合、マーカを身体に貼るということはユーザに対して心理的な負担を強いる事やマーカを貼る手間、また、このマーカを貼るには専門家が必要であるという問題点がある。

このような問題の解決のためにマーカ貼らずにスキャンしたデータから、自動でランドマークを推定・検出を行う研究が行われている[2]が、これらにおいても、モデルの座標系を設定する際に基準となるいくつかのランドマークについては自動化が困難であり、その座標系は既知のものとして扱われてきた。

そのため本稿では、基準のランドマークにもマーカを貼ることなく3次元スキャナで計測した、表面形状のみのデータから、3次元足部モデルの座標系を設定する手法を提案する。

2.基本事項

ここでは本研究で扱う足部モデルの定義や帰分析についての説明を以下に述べる。

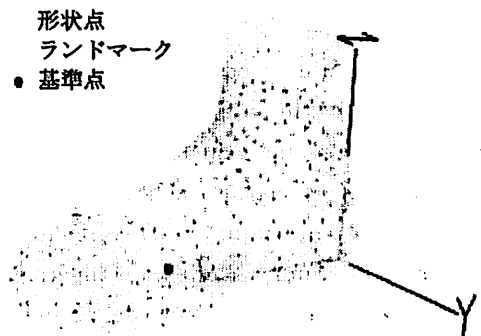


図 1. 3次元足部モデル

2.1.3 次元足部モデル

足部モデルは、3種類の点群データをから成る(図1).形状点,ランドマーク,基準点である.

2.2.形状点

3次元スキャナで身体の表面形状を直接計測した身体形状データであり,数万点からの点群で構成される.

2.3.ランドマーク

製品と身体の対応付けに用いられる(身体寸法を計測するときに基準となる)ランドマークデータである.ランドマークは,主として人体の骨格,表面形状を元に定められているため,手作業による計測が必要である.

2.4.基準点

ランドマークのうち,3次元足部モデルの座標系を設定する上で重要な点を特に基準点と呼ぶ.基準点は3点あり,それぞれMT, MF,踵点と呼ばれる.

MTは親指の付け根の骨(中足骨頭)の最も外側に対応する点であり, MFは小指側の同様の点である.

2.5.座標系

モデルの座標系は以下のように定義される. XY平面に対して垂直で踵点を通る直線とXY平面との交点となる.またこの直線がZ軸となる.原点から, MTとMFの midpointから底面に下ろした垂線の足の方向に引いた直線がX軸となる. Y軸はXおよびZ軸と右手座標系をなすように定義される.

図2に足部モデルの基準点と座標系を示す.

2.4.サンプルモデル

我々は複数の専門家の手によりマーキングし

た足を計測して得た足部モデルを用意し, これらをサンプルモデルと呼んでいる. サンプルモデルは3種類の点群データおよび座標系を全て備えている.

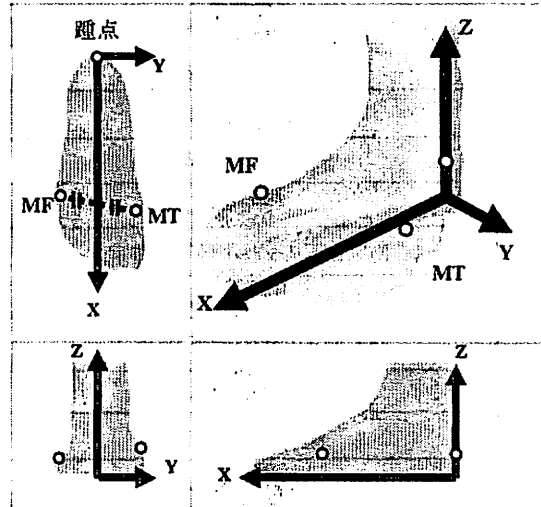


図2.足部モデルの基準点と座標系

2.5.標準モデル

標準モデルはサンプルモデルのランドマークの平均位置をランドマークとするモデルである.

2.6.推定対象モデル

本稿において,提案手法において,基準点の位置を推定し,座標系を設定しようとする対象モデルである.

2.7.回帰分析

回帰分析はしばしば予測や制御に用いられる手法で,これは推定するある変数の値を,他の値が既知である変数を用いて予測するものである.本稿ではMT・MFのxおよびy座標値を目的変数として,MT・MFの座標値と相関の高い,いくつかの形状の特徴的な点の座標を説明変数として用いている.

3.処理手順

提案手法の図3に示されるように,大きく5つのステップにからなる.以下では,この手順に沿って説明をしていく.



図3.処理の手順

3.1.仮座標系の設定

前述のとおり,本来,足部モデルの座標系の定義によればX軸とY軸の向きはMT・MFの位置に依存する.

しかし,3次元スキャナから得られるデータ点群の座標値はスキャナ上の座標系のものであり,足部モデルの定義に基づいた座標系によるもの.そのためこの段階ではモデルの座標値を扱うことが出来ない.

そこで,MTとMFの位置を推定するために,以下のような方法で仮座標系を定義する.

ここで補足しておく,XY平面とZ軸の方向に関して,モデルの座標系と,生データのものとは同一であり,これらは既に定義されているとみることができる.

また,スキャン時の姿勢から爪先の向きが極端に大きくずれることはないものとする.($\pm 5^\circ$

の範囲を想定.)

1. XY平面に投影された形状点について,X'軸を仮定する.(これはスキャナの座標系におけるX軸方向と同一)
2. X'座標が最大となる形状点を探す.
3. 2の点と踵点を結ぶ線分の垂直二等分線を引く
4. 踵点から3で引いた垂直二等分線の中点(端点は二等分線上で最も外側に位置する形状点)に向けて直線を引きこれをX''軸とする.
5. Y軸をX'軸およびZ軸と右手座標系をなすように定義する.

図4にこれらの処理の一部を示す.

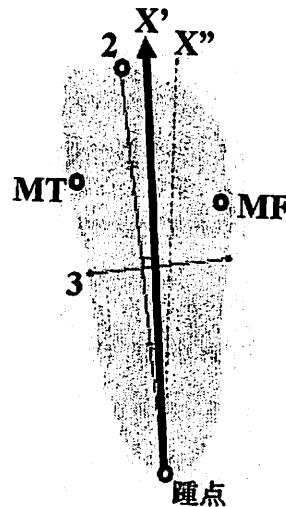


図4.仮座標系の設定

3.2.足指先端の抽出

先行研究の手法を用いて,足指先端にあるランドマークを抽出する[4]. この手法では入力の一部としてMTとMFが要求されるが,この値の精度が高くなくとも,足指先端のランドマークを精度良得ることができるので,本稿では標準モデルMTとMFの座標値を用いた.

3.3.MT,MFのx座標値の推定

サンプルモデルから,x座標の推定に用いるべく回帰式を算出する.ここでは,5つ足指先端を説明変数の候補として予備実験を行い,最も結果が良かった式をx座標の推定に採用した.

1式に示されるようにMTのx座標の推定には第1,第4,第5指の先端を用いた.またMFの推定には2式に示されるように第5指の先端のみを用いる.なお式中の添え字“const”は定数項を示す.

$$x_{MT} = a_1x_1^2 + a_4x_4^2 + a_5x_5^2 + a_{const} \quad (1)$$

$$x_{MF} = a_5x_5^2 + a_{const} \quad (2)$$

これらの式について,サンプルモデルの足指先端の座標値から回帰係数を求める.

算出された回帰式に推定対象モデルの足指先端のx座標を代入することでMTとMFのx座標が求められる.

3.4.MT,MFのy座標値の推定

次に,再び回帰分析を用いることでy座標を推定する.しかしこの場合,表面形状の特徴から説明変数とできるような点を得るのが困難であった.そこで本稿では,足の底面の点群に着目した.ここで,足底の点群とは $0 \leq z \leq 1.5 \text{ mm}$ なる点群を指す.

足底点群において, $x' = x_{MT}$ なる点で,y座標が最大である点をMTy_{max}とし,また $x' = x_{MF}$ なる点で,y座標が最小である点をMFy_{min}とする(図5),3式および4式で示すように,それぞれMTとMFのy座標を推定する際の説明変数とする.

$$y_{MT} = b_{MTy_{max}} \cdot y_{MTy_{max}} + b_{const} \quad (3)$$

$$y_{MF} = b_{MFy_{min}} \cdot y_{MFy_{min}} + b_{const} \quad (4)$$

これらについてサンプルモデルから回帰係数を計算する.推定対象モデルからも説明変数となる点を取り出し,それぞれ,3式および4式に代入することでMTとMFのy座標値を推定する.

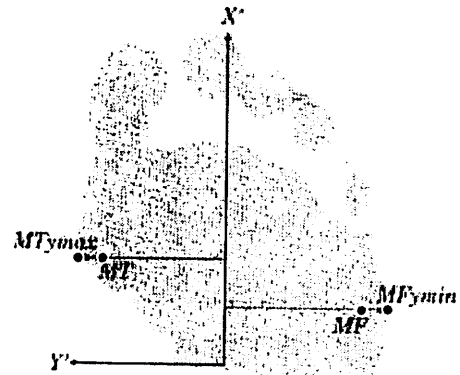


図5.y座標値の推定時の説明変数となる点

3.5.座標系の設定

XY面上において,これまでの過程で推定されたMTとMFからそれらの中点の位置が決まる.この中点に向けて踵点から直線を引き,これを足部モデルのX軸とする.

またY軸をX軸およびZ軸と右手座標系をなすようにとり,座標系を定義し直す.

以上の処理を行い,足部モデルに座標系を設定する.

4.結果

40個の足部モデルについて座標系を定義する実験を行った.結果を図6に示す.

ここで誤差とは,提案手法によって定義された座標系と,専門家によってマーキングされたものから算出された座標系における比較した際に,踵点を中心として両X軸が(Y軸でも同様)なす角である.

ここで,人の手による基準点の計測誤差は1mmと言われている.標準モデルにおいて,踵点が1mmずれていた場合,0.66°の誤差が出る計算であることを考慮すると,この誤差は十分小さいと見ることができる.

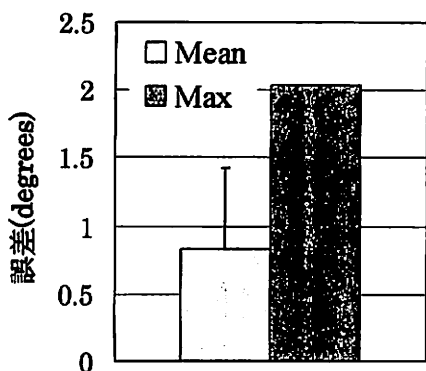


図 6.実験結果

5.まとめ

本稿では、回帰分析を用いて MT と MF の位置を推定し、それらを基に 3 次元足部モデルの座標系を定義する手法を提案した。また評価実験の結果について、人の手によって定義する場合の誤差を考慮すれば、良い結果が得られたと考えられる。

今後は、本手法により設定された座標軸を基に自動ランドマーキングおよび身体形状モデルの生成に応用していきたい。

謝辞

(独) 産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センターの持丸正明副センター長、(株) アイウェアラボラトリー木村幸三社長にデータを提供いただいた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

1. 日本皮革産業連合会,"イージーオーダーシステム研究報告書,"日本皮革産業連合会,1989.
2. H.Yahara, N.Higuma, Y.Fukui, S.Nishihara, M. Mochimaru, M.Kouchi, "Estimation of anatomical landmark positions from model of 3-dimensional foot by the FFD method," Systems and Computers in Japan, Vol.36, No.6,

pp26-38, Apr. 2005.

3. E.Tsutsumi,M.Kouchi,"Geometrical modeling of the foot",5th ASEE International Conference ECGDG,pp.171-174,1992.
4. H.Yahara,S.Inou,Y.Fukui,S.Nishihara,M.Mochimaru,M.Kouchi,"Extraction of Five Anatomical Landmarks on Toes of a Foot Model by using the Surface Shape," SAE Digital Human Modeling for Design and Engineering,pp.2005-01-2730
5. 産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究センター
<http://www.dh.aist.go.jp/>
6. 株式会社アイウェアラボラトリー
<http://www.iwl.jp/>