シルエット画像に基づく３次元人体モデルの変形法

A Shape Deformation Method of a Three Dimensional Human Model Based on a Silhouette Image

今尾 公二　亀田 能成　美濃 導彦　池田 克夫

Koji Imao　Yoshinari Kameda　Michihiko Minoh　Katsuo Ikeda

京都大学工学部

Faculty of Engineering, Kyoto University

1　はじめに

本稿では，２次元画像から対象物体の形状を表現する３次元形状モデルを得る方法の一つとして，原形モデルをシルエット画像に基づいて変形する手法を提案する．対象物体の形状変化の範囲を限定する場合，その範囲内の形状を代表する原形モデルを予め用意することができる．この原形モデルを，対象物体を撮影して得たシルエット画像に基づいて変形することによって，対象物体の形状を表現する３次元形状モデルを構成できると考える．

本研究では，対象物体として人体を扱い，形状変化の範囲としては，体形の変化を考える．３次元形状モデルとしては，３次元物体の表面を，接続された複数の多角形で近似するパッチモデルを使用する．

2　人体モデル

人体の表面形状を形成する要素としては，剛体である骨が，関節によって結合した骨格，骨格を覆う柔軟な組織がある．つまり，頭，手などの体節が関節によって区切られ，それら体節の集合が全体を構成する．また，各体節は，円筒の近似形と見ることができるものが多い．異なる人体の間では，構造の類似性から，体節の形状変化は，単純であると考えられる．これらの点に注目した変形手法を提案する．

本研究では，原形モデルとして，距離画像より生成したパッチモデルを使用した．パッチモデルは，頂点，辺，パッチから構成されており，各頂点の３次元空間での位置と，各パッチを構成する頂点の組の情報で表現される．また，扱いを簡単にするため，各パッチは三角形のみを使用し，パッチモデルは，各頂点を移動させることのみで変形する．

距離画像は，画面に垂直に測定した対象物体までの距離を画素値としたものである．男性の人体から距離画像を取得し，その距離画像から坂口の方法 [1] により原形モデルを生成した．ただし，両手と両足の先端部分の形状が，測定精度に比べて細かい上に，測定機器の特性により，正確な測定ができないため，それらの部分は省略した．

3　変形手法

本研究では，人体モデルを，シルエット画像を撮影した際と同じ条件で投影した投影像が，シルエット画像と一致するように変形する．ただし，投影像の輪郭のある部分が，変形後，シルエット画像の輪郭のどの部分へ一致するかを決める必要がある．特に，人体モデル，シルエット画像間の体節の対応づけが重要である．

原形モデルの輪郭は，上述の条件のもとでの投影像の，輪郭上に位置する頂点をつないでできる，閉じた折れ線である．つまり，それらの頂点に対してシルエット画像の輪郭上の点を求めることが対応づけとなり，その点と，頂点の投影像が重なるように，頂点を移動することが本変形手法の一過程となる．以後，このような頂点を，輪郭上頂点と記す．

本変形手法は，軸を中心とする変形と，相似変形の制約による整形の２段階に分かれる．第１段階では，体節の対応づけを大まかに行うために，各体節に軸を設定し，その軸を中心に変形する．第２段階では，人体の円筒近似できない部分，軸の連結部の変形と，軸設定の誤差を吸収するために，相似変形の制約による整形を行う．

3.1　軸を中心とする変形

第１段階では，まず，人体の各体節を，シルエット画像と原形モデルで対応づける．実際には，円筒近似できる人体の体節に対して，その円筒の軸を，シルエット画像と原形モデルに人間により設定する．ただし，シルエット画像上には，円筒軸を投影した像として設定する．原形モデルとシルエット画像で，それぞれの軸に平行な輪郭の投影像を一致させるように変形する．

輪郭上頂点以外の頂点は，シルエット画像からは変形情報が得られないため，原形モデルの形状をできるだけ継承するように移動させる．シルエット画像と人体モデル上において，まず，軸の投影像の長さを一致させ，次に，軸に垂直な断面が，軸との交点を中心として相似変形をするように変形する．

その他，円筒近似できない部分や，軸の連結部では，他の変形された部分の変形量を補間し，変形する．

3.2 相似変形の制約による整形

第１段階の補間による変形の部分では，シルエット画像からの情報を利用しない．また，人間の設定した軸の誤差の，変形結果への影響を減らすために，相似変形の制約により整形する．ただし，第２段階では，第１段階の変形結果を初期値として利用する．

人体の個体間における局所的な変形は相似変形であると仮定する．相似変形による制約を，整形後のモデルと原形モデルが相似になったときに，値が０となるようなエネルギー関数で表現し，この関数の値が最小となる形状へ変形する．最小化には最急降下法を用いた．その際には，投影した際にシルエット画像の輪郭上に位置するという条件のもとで，輪郭上頂点を自由に移動させる．

相似変形の制約には，各パッチの面積比の保存，隣接パッチ間の角度の保存，各パッチの形状の保存を用いた．以下に使用したエネルギー関数 E を示す．E_s，E_a，E_vはそれぞれ上記の三つの制約に対応する．

$$E = w_1 E_s + w_2 E_a + w_3 E_v \quad (1)$$

$$E_s = \sum_i^n \sum_j^3 \left(\frac{S_i}{S_i^0} - \frac{S_{h(i,j)}}{S_{h(i,j)}^0} \right)^2 \quad (2)$$

$$E_a = \sum_i^n \sum_j^3 \left(A_{ih(i,j)} - A_{ih(i,j)}^0 \right)^2 \quad (3)$$

$$E_v = \sum_i^n \sum_{k,l} \left(\frac{L_{ik}}{L_{il}} - \frac{L_{ik}^0}{L_{il}^0} \right)^2 \quad (4)$$

w_1, w_2, w_3	重みパラメータ
n	総パッチ数
$h(i,j)$	パッチ i に隣接する３パッチ　$j = 0, 1, 2$)
S_i	整形後の各パッチの面積
S_i^0	原形モデルの各パッチの面積
$A_i j$	整形後の隣接２パッチ間の角度
$A_i j^0$	原形モデルの隣接２パッチ間の角度
k, l	各パッチの異なる２辺
L_{ik}	整形後のパッチ i の辺の長さ
L_{ik}^0	原形モデルのパッチ i の辺の長さ

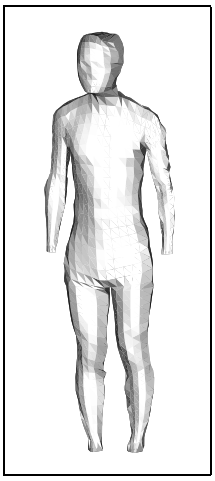
4 実験

実際に，本手法を，変形の度合を大きくするため，男性を計測して生成した原形モデルと，女性を撮影して生成したシルエット画像に対して適用した．この結果を，シルエット画像を生成した女性を計測して得た距離画像と比較し，シルエット画像の撮影方向に平行に誤差を計算した．変形結果と，誤差の大きさを濃度で表した画像を図に示す．全体で平均した誤差の大きさは，１５ mm 程度であった．

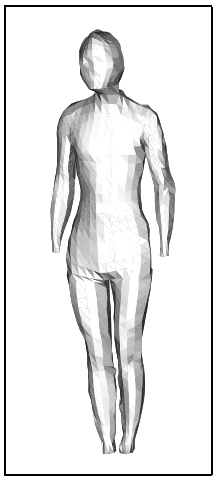
結果は，原形モデルの特徴を継承しつつ，シルエット画像に適合するように変形されている．男女間では体形が大きく違う部分では，１枚のシルエット画像からは十分な情報を得られず，大きい誤差が出た．誤差を減らすためには，不足した情報を何らかの形で補わなければならない．

5 おわりに

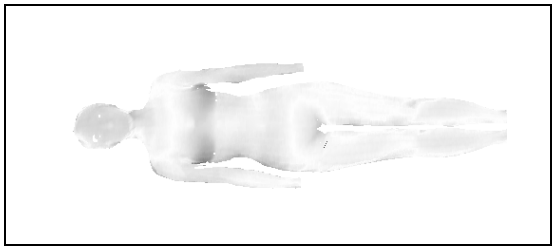
対象人体のシルエット画像に従って，原形モデルを変形し，対象人体の形状を表現するパッチモデルを得る方法を提案した．この方法により，原形モデルとシルエット画像からの形状情報を利用した３次元モデルを構成することができた．さらに，結果の精度を高めるために，複数のシルエット画像からの情報を統合する，濃淡画像を用い，その情報を利用する等の方法が考えられる．また，十分な精度を保つための，原形モデルの形状に対する条件を調査する必要がある．



原形モデル



変形結果



誤差

図　：実験結果

参考文献

[1] 坂口嘉之，美濃導彦，池田克夫:　仮想服飾環境 PARTY-型紙と人体形状からの格子形成法-，信学技報, PRU92-81(1992), 25-32.

[2] George Celniker and Dave Gossard: Defoemable Curve and Surface Finite-Elements for Free-Form Shape Design, Computer Graphics, 25-4(1991), 257-268.