

スケルトンを利用したシュリンクラップとそれに適したモフォロジカルスケルトン

萩原 義裕[†] 萩原由香里^{††} アデルジャン イミティ^{†††} 三好 扶[†]
西川 尚宏[†]

A Shrink Wrapping with Skeleton and Suitable Morphological Skeleton for the Wrapping

Yoshihiro HAGIHARA[†], Yukari HAGIHARA^{††}, Adiljan YIMIT^{†††}, Tasuku MIYOSHI[†],
and Naohiro NISHIKAWA[†]

あらまし スケルトンを利用することにより複雑な形状の物体に適したシュリンクラップ手法と、シュリンクラップに適したマセマティカルモフォロジーのスケルトン生成アルゴリズムを提案する。シュリンクラップは人物モデルに着用させる衣類の設計などによく用いられる有用な方法であるが、従来の方法にはそれぞれ一長一短な面があり、目的によって使い分ける必要がある。本論文では、これらのうち、いくつかの方法の特徴を併せ持ち、元の形状を比較的損なわずにシュリンクを行う手段として、モフォロジカルスケルトンを利用する方法を提案する。これにより従来手法では不適切な収縮が起きる複雑な形状の物体でシュリンクラップが実現できることを示す。ポリゴンデータからスケルトンを生成するためにはいくつかの問題がある。本論文ではそれについて説明し、解決手段を示す。これらの有効性を検証するため、実験を通して本手法と従来手法とを比較した結果、本手法は従来のいくつかの手法の特徴を併せ持ち、元の形状を比較的損なわないという点で、新たなシュリンクラップ手段として従来手法とともに利用可能であることが示され、また、従来手法では適切にラッピングできないケースでも本手法は有効であることが示された。

キーワード シュリンクラップ, スケルトン, マセマティカルモフォロジー, モーフィング, 三次元グラフィックス

1. ま え が き

スケルトンを利用することにより複雑な形状の物体に適したシュリンクラップ手法とそのシュリンクラップに適したマセマティカルモフォロジーのスケルトン生成アルゴリズムを提案する。

ポリオレフィン系などのフィルムの熱可塑性や内部応力を利用して縮退させ、脱気包装を行うものをシュリンクラップ包装と呼び、製品の保護・防錆 [1] に使

われる。電線を保護絶縁する熱収縮チューブもこの原理を用いている。コンピュータグラフィックにおけるシュリンクラップ処理はこの方式を模したもので、メッシュの再構成 [2] やポリウムデータからメッシュを構成 [3] する手段としての有用性が示されている。

シュリンクラップは布のしわなどをシミュレートするクロスシミュレーションと異なり、人物モデルに着用させる衣類の設計・皮膚の再メッシュ化・人物にゼッケンを張り付けるようなテクスチャマッピングなどによく用いられる。近年では多くの三次元グラフィックスソフトウェアに搭載されているほか、これをそのまま現実の衣類のオーダメードに適用したり、個人の体型に合わせたパワーアシストスーツの設計に利用するなど、マルチメディアの実用化手段として、またヒューマン情報処理の実現手段として、様々な広がりを見せている。一方、ポリウムデータを操作する手段としてマセ

[†] 岩手大学工学部, 盛岡市

Faculty of Engineering, Iwate University, 4-3-5 Ueda, Morioka-shi, 020-8551 Japan

^{††} 岩手大学技術部, 盛岡市

Technical division, Faculty of Engineering, Iwate University, 4-3-5 Ueda, Morioka-shi, 020-8551 Japan

^{†††} 岩手大学大学院工学研究科, 盛岡市

Graduate School of Engineering, Iwate University, 4-3-5 Ueda, Morioka-shi, 020-8551 Japan

マティカルモフォロジー [4]~[7] を用いて様々な操作を行う方法が提案されている。マセマティカルモフォロジーは簡単な操作の組合せで複雑な処理を実現できるためプログラムへの実装や対象に応じたカスタマイズが容易である。そのため、二次元及び三次元上で物体の曲面などの情報を損なわないフィルタリング [8]~[12] や三次元形状の類似度検索 [13]・テクスチャ解析 [14]・パターン抽出 [15] など多様な応用範囲があり、三次元モーフィング [16] や三次元形状表現 [17] にも利用できていることが知られている。

シュリンクラップには様々なパラエティがある。中心へ向かって収縮する方法・特定の軸に向かって収縮する方法・特定の面に向かって収縮する方法・最近傍の頂点に向かって収縮する方法・面の法線方向に収縮する方法である。

これらの方法にはそれぞれ一長一短な面があり、目的によって使い分ける必要がある。例えば、面の法線方向に収縮する方法は物体の形状が紡錘形の場合には問題なくフィットするが、開いた袖口のような形状では太さが細くなるに従って長さが伸びてしまう。最近傍の頂点に向かって収縮する方法は物体同士の場合の相違が小さいときは極めて有効であるが、形状が大きく異なる場合は迷走してしまい適切なフィッティングは困難である。残りの3種は、フィットさせる対象の形状がそれぞれ、球状、柱状、面状であれば適切にフィットするが、そうでない場合には有用な動作は期待できない。

これらの特徴のため、シュリンクラップは物体をいくつか部品に分けた上でそれぞれの部品に対して単純な形状の部品をフィットさせたり、細かく（例えば円柱の場合収縮軸の位置や方向など、部品に分けた場合それぞれの部品ごとの）パラメータを定義したり、多数の頂点データの修正を手作業で行う必要がある。しかし、このような操作は手間がかかるものであり、シュリンクラップの価値を損ねる原因となっている。本手法はこういった手間をできるだけ少なくすることを目的とし、複雑な形状の物体のシュリンクラップとそのシュリンクラップに適したマセマティカルモフォロジーのスケルトン生成アルゴリズムを提案する。

2. スケルトン算出と提案アルゴリズム

2.1 提案アルゴリズムの概要

提案するアルゴリズムは、マセマティカルモフォロジーを用いてスケルトンを作成し、そのスケルトンに

向かって面の頂点を移動することによって収縮するものである。例えば球体のスケルトンは点であり、円柱のスケルトンは線分であり、平面のスケルトンは面であるので、スケルトンに向かって面の頂点を移動するという方法は、中心へ向かって収縮する方法・特定の軸に向かって収縮する方法・特定の面に向かって収縮する方法の三つの特徴を併せ持つことになる。加えて収縮軸などを手動で与える必要もなく、元のデータの幾何的位相や形状的な特徴をある程度保持しているスケルトンを用いるため収縮させても形状を比較的損なわないという点で、新たなシュリンクラップ手段となり得る。また、例えば人物モデルのように、枝分かれした複雑な物体も局所的には点、線分、面であり、それぞれの骨格に向かって収縮させることができるため、複雑な物体をそのまま収縮させることができる。

スケルトンは一般に閉じた物体に対して定義される。例えば複数のポリゴンで囲まれており、完全に外部と遮断されていれば定義できるが、そうでない場合、厳密には内部と外部は区別できない。このようなケースでもマセマティカルモフォロジーならスケルトン関数の算出過程における簡単な操作で内部と外部を遮断できる。

2.2 提案アルゴリズムの構成

本手法は以下のような処理で構成される。

- (1) ソースモデルのポリゴンのボクセル化
- (2) スケルトン及びスケルトン関数算出
- (3) ソースモデルの頂点とスケルトンの対応点探索
- (4) ソースモデルの頂点の移動とターゲットモデルへの密着

2.3 ソースモデルのポリゴンのボクセル化

ソースモデルのポリゴンのボクセル化は以下の手順で実現される。ポリウムデータにはあらかじめ全てのボクセルのボクセル値を1にしておく。

(1) ポリウムデータ内のすべての位置に対し、そのインデックスを要素とするベクトル v_i についてスケールファクタ s とオフセット v_o を用いてワールド空間上の位置 v_w を求める。

$$v_w = sv_i + v_o \quad (1)$$

(2) ポリゴン p を構成する平面 p_p と位置 v_w の距離 d_p と平面上への射影位置 v_{pw} を求める。

(3) v_{pw} がポリゴンの内側にあるか調べる。

ポリゴンの各頂点から v_{pw} へのベクトルと各頂点から次の頂点までのベクトルの外積を求め、これと平

面 p_p の法線ベクトルとの内積の符号が、全て負であるとき、 v_{pw} がポリゴンの内側であると判定する。

(4) 距離 d_p がしきい値以下かつ v_{pw} がポリゴンの内側にあるときボクセル値を 0 とする。

2.4 スケルトン及びスケルトン関数算出

(1) 従来のスケルトンとスケルトン関数の算出方法
スケルトンとスケルトン関数の一般的な算出方法 [4] を以下に示す。ごく小さな、原点を中心とした球体構造要素 B を考え、半径 n (ただし n は 0 以上の整数) の球体構造要素を nB とする。 nB は最小球体 B を n 回ミンコフスキー和で処理したもの ($n=0$ のときは原点のみからなる構造要素) である。今、 n が与えられたとき、 nB を内包するボクセルの集合 (= 中心が存在する範囲、スケルトンの候補) は、縮退 (Erosion, 演算記号 \ominus) によって求められる。更にこれをオープニング (収縮-膨張 Opening) したものは、球体がポリウムデータの縁に接しない内部に存在するか、または 1 点でしか接しないような平滑な辺を構成する要素である。したがって、入力画像 I において、接点が二つ以上存在するような位置の集合 $SK_n(I)$ は両者の差で求められる。

$$SK_n(I) = (I \ominus nB^s) - (I \ominus nB^s) \circ B \quad (2)$$

ここで、演算記号 \circ はオープニング処理で、 B^s は B の対称集合である。この処理によって、内包できる最大の球の半径が n であるボクセルの集合、すなわちスケルトンのうちスケール n に関する部分集合 $SK_n(I)$ が得られる。この処理をあらゆる n に対しても行い、求められた結果をそれぞれ n 倍して加算すればスケルトン関数 $SKF(I)$ が得られる。

この方法は効率的でないため、一般に、モフォロジーによるスケルトン算出は以下のように演算を効率化した手順で行われる。まず、次式により初期化を行う。

$$n = 0 \quad (3)$$

$$I_n = I \quad (4)$$

この後、以下の演算を後述の条件を満たす間繰り返す行う。

$$I_{n+1} = I_n \ominus B^s \quad (5)$$

$$SK_n(I) = I_n - I_{n+1} \oplus B \quad (6)$$

$$SKF_n(I) = n \cdot SK_n(I) \quad (7)$$

演算記号 \oplus は膨張 (ミンコフスキー和) であり、

$SKF_n(I)$ はスケール n に関するスケルトン関数の部分集合である。繰返しの条件は次式のようにポリウムデータが空集合でない期間である。

$$I_{n+1} \neq \emptyset \quad (8)$$

終了後、 n の値を最大値 N として記録する。

$$N = n \quad (9)$$

最後にスケルトン $SK(I)$ 及びスケルトン関数 $SKF(I)$ は次式で求められる。

$$SK(I) = \bigcup_{n=0}^N SK_n(I) \quad (10)$$

$$SKF(I) = \bigcup_{n=0}^N SKF_n(I) \quad (11)$$

(2) 問題点と対処方針

(a) ポリゴン群内部領域の定義

ポリゴンで構成される物体は内部が空洞なのでポリゴンに囲まれた内部領域を定義する必要がある。ポリゴン上のボクセル値を 0、そうでない領域を 1 とし、ボクセル値が 1 である領域をラベル化することにより内部と外部を区別する。

(b) ポリゴン群のほころび

ラベル化するためにはポリゴンが閉じている必要がある。しかしスケルトン化では完全に閉じたソースモデルを用意するのは困難な場合も多い。図 1 はそのようなポリゴンの 1 例で、ほぼ閉じているが、わずかなほころびがあるものである。図 1 (a) の角度から見るとどんなに拡大しても画面上表示されず (表示されるかどうかは三次元ビューアの性能に依存)、(b) のように異なる角度から見ると初めて矢印で示す位置にほころびが画面上に表示される。(c)(d) は両者を拡大したものであるが、(c) では確認できず (d) は矢印で示すようなほころびがあることが分かる。

以上、ポリゴンは必ずしも完全に閉じているとは限らないため単純なラベル化はできない。ほぼ閉じており、わずかなほころびが存在する程度であっても、例えば幾何的な位相の保持を主眼とした従来のスケルトン化手法 [18] では、ラベル化に必要な内部と外部を区別したスケルトン化は困難である。

このような狭いほころびがある場合、マセマティカルモフォロジーの縮退により領域を閉じさせることができる。したがって、スケルトンの作成中、ある程度縮退が進んだところでラベル化することにより、内部と外部を正しく区別することができる。この処理によ

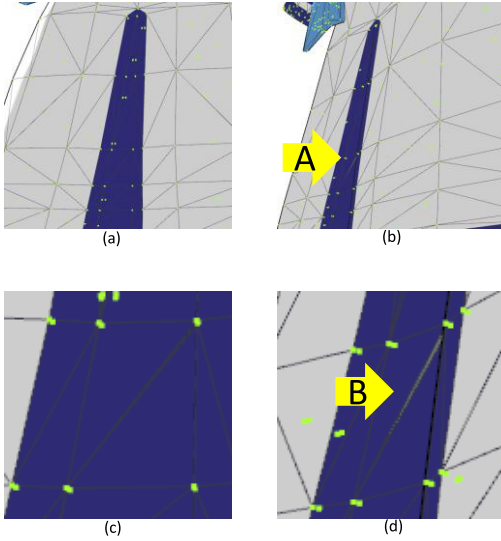


図 1 ほころびのあるソースモデルの例. (a) ソースモデル (b) 別の角度から見たモデル (c) 拡大図 (d) 別の角度から見たモデルの拡大図

Fig. 1 Examples of source model with seams (a) view of a source model (b) view of same source model from another angle (c) enlarged view (d) enlarged view from another angle.

り、ほころびが存在してもラベル化が可能になる。この処理を行わない場合、ターゲットモデルを大きく拡大し、あらゆる角度から眺めながら全てのほころびを事前にふさぐ作業が必要となるが、これらの作業を本処理は不要にする。

なお、図 1 に表示されている部分には、表示されたほころび以外に少なくとも 2 箇所の見えないほころびが存在することが確認されている。ほころびが生じた原因は頂点選択のミス（頂点をマウスで選択する際誤って隣接する頂点を選択した。頂点が一つだけしかないように誤認したか、頂点同士があまりにも隣接しすぎているので適切な頂点をマウス選択できずにあきらめたため）である。全て発見してふさぐ労力は少なくないことが容易に予想できる。本処理はこれらの労力の一つのパラメータ（後述）によってほとんど不要にすることができるのである。

(c) ポリゴン群の微小な凹凸

ポリゴン群に微小な凹凸がある場合、ポリゴン近傍に多数のひげ状・ごま塩状のスケルトンが生じる。このようなスケルトンをそのまま用いると収縮がほとんど進まないうちにスケルトンに到達してしまう。このようなスケルトンが発生しないように、ある程度縮退

が進んだのちにスケルトンの生成を開始する。

(3) 改良されたスケルトン算出アルゴリズム

スケルトン及びスケルトン関数算出は以下の手順で実現される。

(a) 初期化

次式により初期化を行う。

$$n = 0 \quad (12)$$

$$I_n = I \quad (13)$$

$$SKK_{-1}(I) = \emptyset \quad (14)$$

$$SKKF_{-1}(I) = \emptyset \quad (15)$$

(b) 繰返しによるスケルトン関数算出

この後、以下の (c) から (e) までの演算を後述 (f) の条件を満たす間繰返し行う。次第に縮退しながら必要な領域を取り出し、スケルトンを作成していく。

(c) 処理領域の抽出

閉じる必要があるほころびの短辺の最大サイズを n_1 とする。 $n = n_1$ のとき、すなわち一度だけ以下に述べるラベル化処理を行う。 $n = n_1$ のとき、初めてラベル化を行うことにより、2.4(2)(b) で述べたようなほころびが縮退し、ふさがれた後にラベル化が行われることになる。

I_{n+1} に対しラベル化を行い、ラベルデータ L を得る。物体の内部であることが既知である位置 p におけるラベル値 $Lf(p)$ を求め、ラベルデータの要素値が $Lf(p)$ と等しい全ての位置の集合 q に対しポリウムデータ I_{n+1} の要素値 $If_{n+1}(q) = 1$ とし、それ以外の位置の集合 \bar{q} に対しては要素値 $If_{n+1}(\bar{q}) = 0$ とする。これにより半径 n_1B 以下のポリゴン群のほころびを除いた物体内部の領域が得られる。なお、ポリゴン上のラベル要素値は常に 0 であり、物体がポリウムデータの端に接していない (= 物体がラベル探索の開始点上には存在しない) 場合は外部領域のラベルデータの要素値は 1 であり、かつ、物体の内部領域が一つである場合には要素値は 2 である。複数の物体に分かれる場合には要素値は様々な値をとるが、物体がポリウムデータの端に接していない場合は、外部領域のラベルデータの要素値が 1 となるので、物体内部領域の要素値は必ず 1 より大きい値となる。したがって、要素値が 2 以上の全ての領域を利用することで処理領域の抽出が実現できる。以上の処理により 2.4(2)(a) で述べたような内部と外部の区別が実現される。

(d) 縮退 (Erosion)

ボクセル値が 1 である領域を次式により縮退する.

$$I_{n+1} = I_n \ominus B^s \quad (16)$$

(e) ノイズ除去または部分集合の算出

n の値に応じて以下の処理を行う. 除去したい凸領域の最大サイズを n_2 とする.

・ $n < n_2$ のとき

$$SKK_n(I) = SKK_{n-1}(I) \quad (17)$$

$$SKKF_n(I) = SKKF_{n-1}(I) \quad (18)$$

プログラム実装上は何もしないでよい. この場合は繰返し処理中 (d) の縮退のみが行われることになり, 2.4 (2)(c) で述べたポリゴン群の微小な凹凸が削除される.

・ そうでないとき

スケール n に関する部分集合 $SK_n(I)$, $SKF_n(I)$ を求める. またこれを利用して n_2 から n までのスケルトンの部分集合 $SKK_n(I)$, スケルトン関数の部分集合 $SKKF_n(I)$ を求める.

$$SK_n(I) = I_n - I_{n+1} \oplus B \quad (19)$$

$$SKF_n(I) = n \cdot SK_n(I) \quad (20)$$

$$SKK_n(I) = SKK_{n-1}(I) \cup SK_n(I) \quad (21)$$

$$SKKF_n(I) = SKKF_{n-1}(I) \cup SKF_n(I) \quad (22)$$

(f) 繰返し

繰返しの条件は次式のようにボリウムデータが空集合でない期間である.

$$I_{n+1} \neq \emptyset \quad (23)$$

この条件を満たす場合 (c) に戻る.

(g) 終了処理

前記繰返しの処理の後, このときの n の値を最大値 N として記録する.

$$N = n \quad (24)$$

スケルトン $SK(I)$ 及びスケルトン関数 $SKF(I)$ は次式で求められる.

$$SK(I) = SKK_N(I) \quad (25)$$

$$SKF(I) = SKKF_N(I) \quad (26)$$

繰返し処理の結果, 既に算出されているためプログラム実装上は何もしないでよい.

2.5 対応点探索

ソース頂点とスケルトンの対応点探索は以下の手順で実現される.

(1) 一つのポリゴンの頂点 v_p とスケルトン上の全ての点 v_s との距離をそれぞれ求める. この値を d_{ps} とする.

(2) 以下の評価値を最小にするスケルトン上の点 v_{ps} をその頂点の対応点とする.

$$d_{ps} - w \cdot SKFf_s \quad (27)$$

$SKFf_s$ はスケルトン上の点 s がもつスケルトン関数値であり w は重み係数である. w が 1 であればポリゴンの頂点を構成要素とするスケルトンが選択される. 1 より大きければ近傍で, より大きなスケルトン関数値をもつスケルトン位置が選択される. 近傍であっても小さなスケルトン関数値である場合, ポリゴン群の凹凸に起因するノイズの可能性があるため, より太い骨格に向けて収縮することを可能にするための係数である.

図 2 は, この評価値とスケルトンを模式的に表したものである. 太い骨格上のスケルトンと, ポリゴン群の凹凸に起因するノイズであるスケルトンの, それぞれのスケルトン関数が影響を及ぼす範囲を点線の円で, それに重み係数をかけたものを実線の円で示した. 本手法の評価値は矢印で示された線分の長さである (ただし頂点が円内のとき評価値の符号は負, 円外のとき評価値の符号は正. したがって円内のときは距離が長いものが, 円外のときは距離が短いものかつ, ほかに円内のものがない場合のみ, 選択される).

図 3 は, スケルトンの位置と頂点の位置との距離, 及びそのスケルトン関数である. この図は, より分か

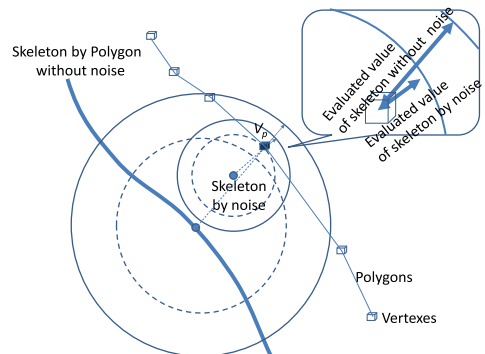


図 2 スケルトンと評価値

Fig. 2 Skeleton and Evaluation value.

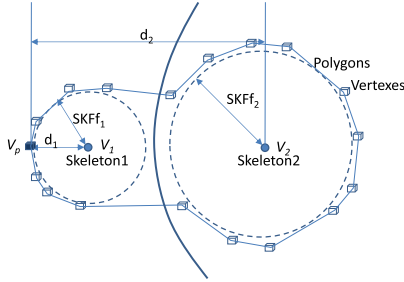


図3 スケルトンと頂点との距離とスケルトン関数
Fig.3 Distance between vertex and skeletons and skeleton functions.

りやすくするために大きなノイズとみなせる極端な突起（図中中央太い曲線の左側の頂点群がノイズ候補）がある例である．図3に基づいて，重み係数 w の決定方法の目安を示す．図3において，頂点の収束候補として，スケルトン1とスケルトン2を考える．どちらが選択されるかは，評価関数で決まるので，

$$d_1 - w \cdot \text{SKFf}_1 < d_2 - w \cdot \text{SKFf}_2 \quad (28)$$

のとき，スケルトン2，そうでないときスケルトン1が選択される．よって，スケルトン2を選ぶ場合，

$$\frac{d_1 - d_2}{\text{SKFf}_1 - \text{SKFf}_2} < w \quad (29)$$

となるような w にすればよい．

ここで， $d_1 \ll d_2$ ， $\text{SKFf}_1 \ll \text{SKFf}_2$ ， $d_2 > \text{SKFf}_2$ とすると，

$$\frac{d_2}{\text{SKFf}_2} < w \quad (30)$$

とおける．わずかな凹凸に起因するノイズであるスケルトンの除去を目的とするなら $d_2 \approx \text{SKFf}_2$ とみなせばよく，

$$1 < w \quad (31)$$

すなわち w は1より大きな値であればよく，調整はほとんど必要ないのである．

2.6 ソースモデルの頂点の移動とターゲットモデルへの密着

ソースモデルの頂点の移動後の位置 v_{pm} は以下のように求められる．

$$v_{pm} = (1 - t)v_p + tv_{ps} \quad (32)$$

ただし t は通常0以上1以下の任意の実数値である．0より小さい場合収縮でなく膨張することになる．ま

た，1より大きい値は無効である．また，0から t まで変化させたときにソースモデルのポリゴンがターゲットモデルのポリゴンと衝突する場合には，その値（衝突するターゲットのポリゴンが複数ある場合には最小値）とする．これによりソースモデルのポリゴンがターゲットモデルのポリゴンに密着するような動作を実現できる．

3. 実験と結果

3.1 基本性質の確認

(1) 実験方法及び試料

いくつかの物体を収縮させ，基本的な性質を調べた．シュリンクラップは一般にこれらのソースモデルを収縮させ別のターゲットモデルのポリゴンに密着するように移動させる処理であるが，ここではまず収縮の様子を調べるためターゲットモデルを置かずに，物体を少しずつ収縮させた．収縮する方向が向かう先は，中心点・Y軸・XZ平面及び本手法で求めたスケルトンの4種類とした．

図4，図5に実験に用いた原画像とワイヤフレームをそれぞれ示す．実験に用いた物体は，球状，円筒状，平面的な直方体及び，スーツをモデル化したもの（スーツのモデルには微細なほころびが多数存在）の4種類である．ソースモデルの形状をわずかでも保つことを目的としたシュリンクを行う場合（ターゲットモデルに完全に密着させずに，途中で停止して利用する場合は，腕・胸部・スカートなどボディの部品ごとにモデルを分割することが多い[19]．そうでないとシュリンクに成功しないことが多いためである．ここで評価する複雑なモデルは，スーツのモデル一つのみであるが，いくつかの部品を複数評価するのと等価であり，かつ，各部品ごとに軸や重心を設定することなしにシュリンクさせたときの基本的な性質が確認できる．

ポリゴンの頂点の数・位置が変わるとスケルトンも変わることがある．ここでは球状，円筒状，平面的な直方体について，より多くのポリゴンをもつモデルでも同様の実験を行って性質を確認した．

(2) 実験結果

図6に算出したスケルトン（ボクセルデータなのでパスは原画像と異なる．また，図6(d)のみ密度が高すぎるので間引き表示）を，図7に球状の物体を収縮させた結果を，図8に円筒状の物体を収縮させた結果を，図9に平面的な直方体を収縮させた結果を，

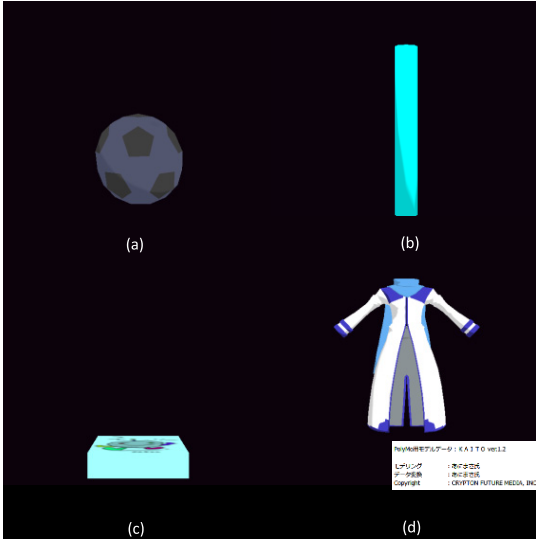


図 4 原画像. (a) 球体 (b) 円柱 (c) 直方体 (d) スーツのモデル

Fig. 4 Original images (a) a sphere (b) a column pillar (c) a rectangular parallelepiped (d) a 'coat' model.

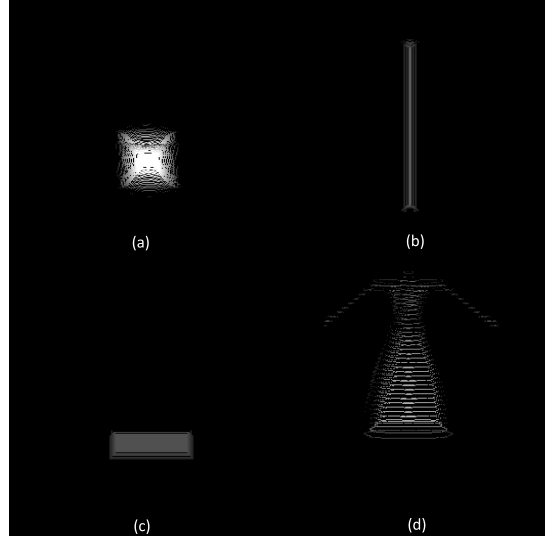


図 6 スケルトン (a) 球体 (b) 円柱 (c) 直方体 (d) スーツのモデル

Fig. 6 Skeletons (a) a sphere (b) a column pillar (c) a rectangular parallelepiped (d) a 'coat' model.

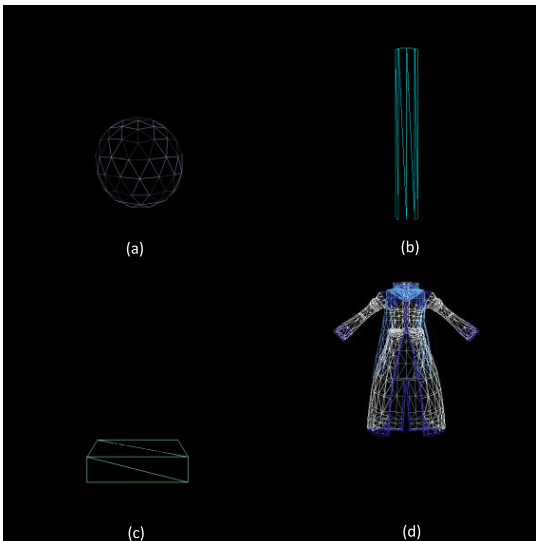


図 5 原画像 (ワイヤフレーム). (a) 球体 (b) 円柱 (c) 直方体 (d) スーツのモデル

Fig. 5 Original images (wire frame view) (a) a sphere (b) a column pillar (c) a rectangular parallelepiped (d) a 'coat' model.

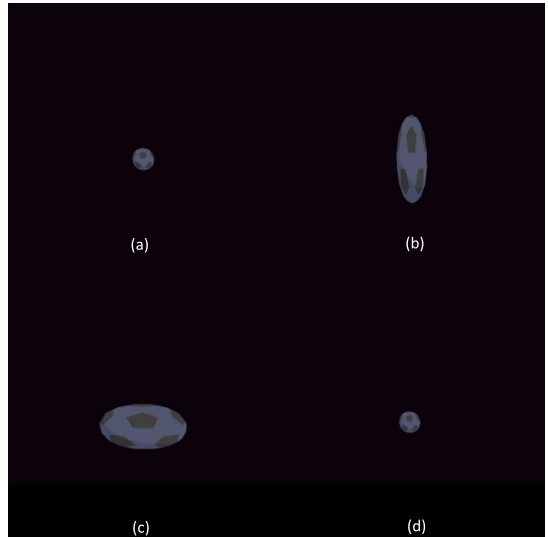


図 7 球の縮退. (a) 点への縮退 (b) Y 軸への縮退 (c) XZ 平面への縮退 (d) 本手法による縮退

Fig. 7 Shrink wrapping of a sphere (a) for a point (b) for the Y axis (c) for the XZ plane (d) by the proposed method.

図 10 にスーツをモデル化した物体を収縮させた結果を、それぞれ示す。また、図 11 にスーツをモデル化した物体を膨張から収縮まで変化させた様子を示す。

内外判定を失敗すると物体の外部のスケルトンが抽

出される。図 6 から、提案手法で求めたスケルトンは、そのようなケースがないことが分かる。また、図 6 (d) から、提案手法で求めたスケルトンは、(従来手法と同じく冗長性が少ないとはいえないものの,) ほころ

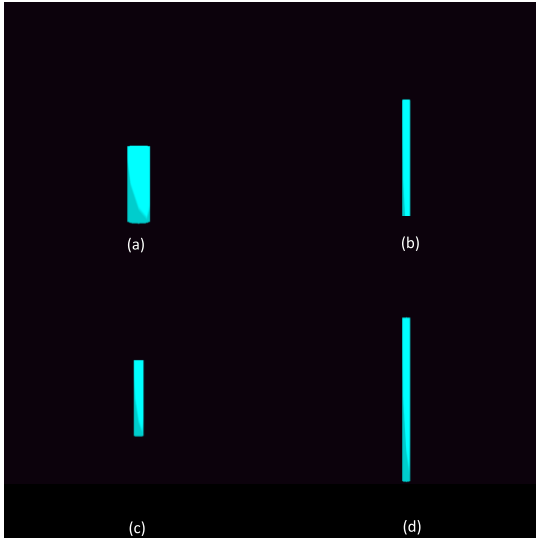


図 8 円柱の縮退. (a) 点への縮退 (b) Y 軸への縮退 (c) XZ 平面への縮退 (d) 本手法による縮退

Fig. 8 Shrink wrapping of a column pillar (a) for a point (b) for the Y axis (c) for the XZ plane (d) by the proposed method.

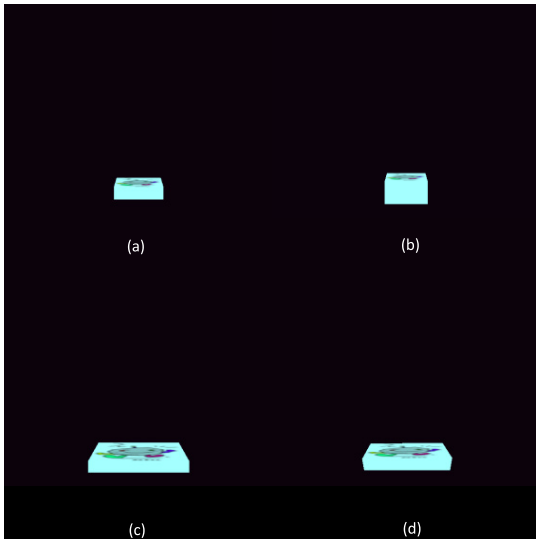


図 9 直方体の縮退. (a) 点への縮退 (b) Y 軸への縮退 (c) XZ 平面への縮退 (d) 本手法による縮退

Fig. 9 Shrink wrapping of a rectangular parallelepiped (a) for a point (b) for the Y axis (c) for the XZ plane (d) by the proposed method.

びを通して外部に漏れ出しているスケルトンはないことが分かる. 以上, 少なくとも内外判定が自動的に行われて, シュリンク失敗につながるスケルトンはなく

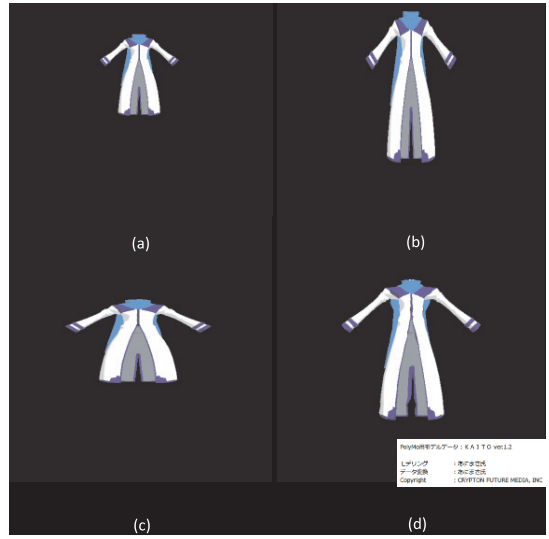


図 10 スーツのモデルの縮退. (a) 点への縮退 (b) Y 軸への縮退 (c) XZ 平面への縮退 (d) 本手法による縮退

Fig. 10 Shrink wrapping of a 'coat' model (a) for a point (b) for the Y axis (c) for the XZ plane (d) by the proposed method.

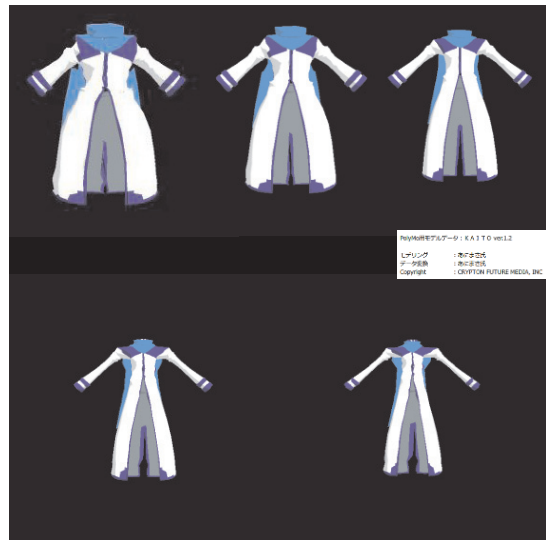


図 11 スーツのモデルの膨張から縮退への過程

Fig. 11 A wrapping process of a 'coat' model by the proposed method form fatten to shrink.

なり 2.4(2)(a)の問題は解決されていること, また, 図 4(d)のように 2.4(2)(b)に示したほころびがあるデータに対しても問題なくスケルトン化に成功していることが確認できる.

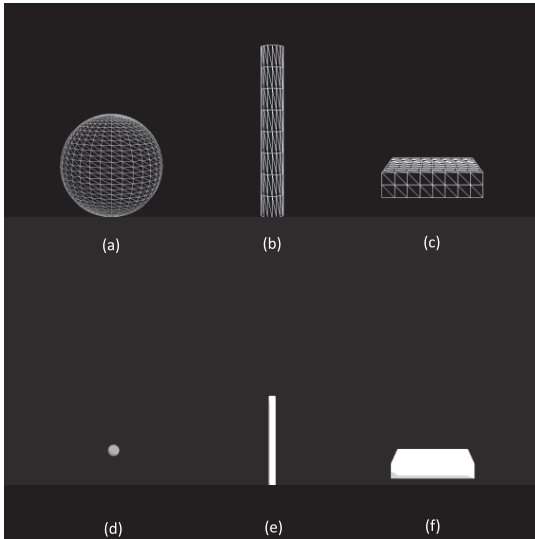


図 12 より多くのポリゴンをもつモデルと提案手法による結果 (a) 球体 (b) 円柱 (c) 直方体 (d) 球体の結果 (e) 円柱の結果 (f) 直方体の結果

Fig. 12 Models with more polygons and results of the proposed method (a) a sphere (b) a column pillar (c) a rectangular parallelepiped (d) result of the sphere (e) result of the column pillar (f) result of the rectangular parallelepiped.

点に向かって収縮した場合は、全体を縮小したのと等価であるため、いずれの物体も不自然とはいえない結果であったが、円柱を細くするように収縮させたり平面を押しつぶすように収縮させたりすることを期待した場合には適切とはいえない。これに対し、提案手法は比較的物体の形状に関する特徴を保ったまま収縮していることが分かる。また、膨張から収縮まで変化させたときには、スーツのモデルが太めの大柄な体型から細めの小柄な体型へと変化するように、単純な拡大縮小とは異なる結果となっていることが分かる。

球状、円筒状、平面的な直方体について、図 5 のモデルと比べ、より多くのポリゴンをもつモデルと、それらに対する本手法による結果を図 12 に示す。ポリゴンの頂点の数・位置が変わるとスケルトンも多少変わることがあるが、提案手法の結果には視認できるほどの影響を与えなかったことが確認できる。

3.2 複雑な対象へのシュリンクラップ処理

(1) 実験方法及び試料

我々が開発した三次元データ処理環境 [20], [21] のもとで、男性モデル用のスーツを収縮させ、女性モデルをターゲットとしてシュリンクラップ処理を行った。

この三次元データ処理環境は、広く入手できる三次元アニメーションモデルや、モデルを動かすモーションデータを利用することができる MMDX という三次元アニメーションライブラリ [22] をもとに、プログラミングの実習など短時間でゲームの開発が行えるようにするために、C 言語とほぼ同じでかつ極めて短いコードでソフトウェアが完成するような工夫をこらしたオープンソースライブラリ [23] である。

何らかの制限をかけない限りスーツは女性モデルに張り付くまで収縮してしまい、女性モデルにスーツのテクスチャを張り付けるのと同様であるので、特徴的な結果が得られた時点で収縮を停止させた。

比較に用いる従来手法として、重心に向かって収縮する方法、ターゲットモデルの頂点のうち最も近い頂点に向かって収縮する方法、ソースモデルの法線方向に向かって収縮する方法を用いた。

提案手法では、ソースモデルとターゲットモデルとの間にずれがある場合についても評価し、提案手法を適用する場合の注意点についても検討した。

実験に用いた男性モデルと女性モデルはポリゴン数が比較的少ない、いわゆる「ローポリ」と呼ばれるモデルで、シュリンクラップ処理の結果が予想外に悪いことが多いが、一般的なパソコンでもリアルタイムアニメーションが可能なものである。女性モデルは男性モデルと比べ、身長が小さく、手足が少し細く短い。また、肩幅が狭く、腹囲も短い、胸囲はそれほど差がない。

ここでもソースモデル・ターゲットモデルは一つのみであるが、あらかじめシュリンクに適用することを目的として作成したソースモデル [18] でなく、ターゲットモデルである人体と大きく形状が異なりかつターゲットモデルに密着しない部分を含み、球や円筒など簡単なモデルで置き換えられないものであり、従来のシュリンクの枠組みでは必ずしも想定していないモデルである。したがってこれに基づくシュリンクの結果を評価することで、従来手法との特性の評価をすることがある程度可能になる。

(2) 実験結果

図 13 に収縮させる前の状態を、図 14 に中心点に向かって収縮させた結果を、図 15 に法線ベクトルに沿って収縮させた結果を、図 16 及び図 17 にターゲットモデルの最も近い頂点に向かって収縮させた結果及びその結果からターゲットモデルを削除したものを、図 18 に提案手法で収縮させた結果を示す（フィットした状



図 13 処理前

Fig. 13 Before shrink wrapping process.



図 15 従来手法の結果 (法線ベクトル)

Fig. 15 After shrink wrapping process by the conventional method (with normal vector).



図 14 従来手法の結果 (重心へ)

Fig. 14 After shrink wrapping process by the conventional method (for the center of gravity).

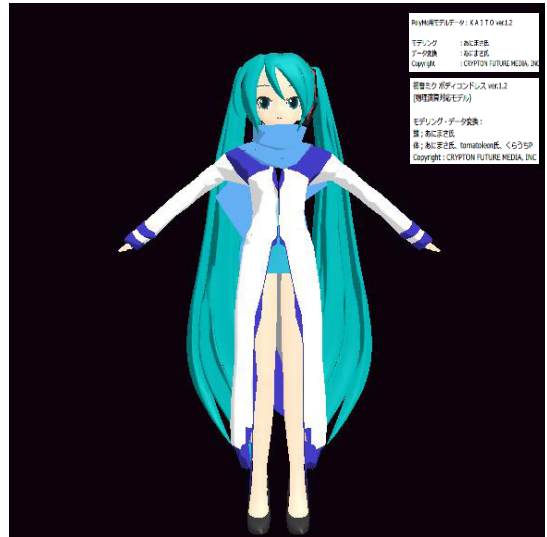


図 16 従来手法の結果 (最近接頂点へ)

Fig. 16 After shrink wrapping process by the conventional method (for vertexes of nearest neighbor).

態では計算上女性モデルとスーツが重なって見えてしまうことがあるため、女性モデルのボディや腕は表示を抑制してある)。

図 14 に示したように、中心点に向かって収縮させる方式では、スーツの袖の周辺が特に不正な収縮になっていることが分かる。また、裾の収縮が中心点に向かうため、めくれ上がったようになってしまっているこ

とが分かる。

図 15 に示したように、法線ベクトルに沿って収縮する方式では、収縮が迷走した箇所が多数発生している。服の裏地や裏地と表地との合わせ目や縫い目など、法線の方向がターゲットモデルに向かない頂点が属する面は、全て失敗していることが分かる。

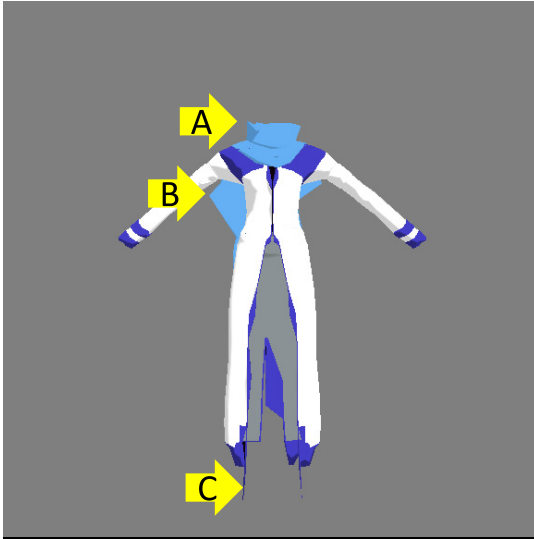


図 17 シュリンク失敗部分 (最近接頂点へ)
Fig. 17 Error of shrink wrapping process (for vertexes of nearest neighbor).

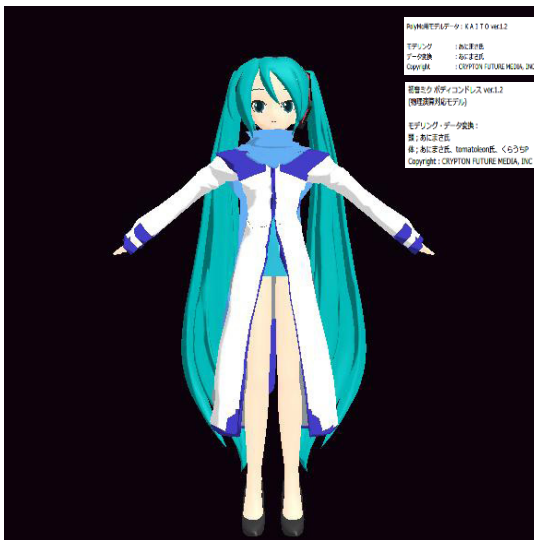


図 18 提案手法の結果
Fig. 18 After shrink wrapping process by the proposed method.

図 16 に示したように、最近傍頂点へ向けて収縮する方式では服の裾が体軸に垂直方向に向かって収縮してしまっている (原理上当然ではあるが、裾の長さが短くならず直近の足首付近に向かって収縮している) ことが目を引く。図 16 では一見それ以外に問題はないように見える。

実験で用いたソースモデルをそれぞれの腕の部分と体部分に分割し、両腕軸と体軸に基づきそれぞれ軸に向けて収縮する方式を施せば裾の長さは長いまま足に向かって収縮する。最近傍頂点へ向けて収縮する方式の結果はそれとよく似た結果を示している。また、他の方法と比べ、(例えば裾などが) ソースモデルのものの形状的な特徴を維持せず、ターゲットモデルへの密着度が高くなる傾向がある。

図 17 の矢印で示した部分は、この手法固有 (詳細後述) の収縮失敗箇所を示したものである。矢印 A で示す首周辺、矢印 B で示す背中端 (及びその対称位置)、矢印 C で示す裾 (及びその対称位置) で不正な収縮になっていることが分かる。

図 18 に示したように、提案手法は、収縮前の結果と比べると、下方の裾部分が短くなっていること、腕近くの袖の部分が細く、肩幅が狭く、腹囲が短くなっているのに対し胸囲は比較的早くターゲットモデルと衝突したため大きな変化がないことが分かる。

また、裾の収縮方向は左右の足への方向で、かつ、やや短くはなる傾向があり、従来手法と比べ自然な収縮となっていることが分かる。

また、提案手法は、最近傍頂点へ向けて収縮する方式と比べ、ソースモデルのスケルトンへの収縮であるため同じ収縮率であってもソースモデルのものの形状的な特徴をある程度維持していること (例えば図 16 と比較して裾が広がったまま縮退していること) が分かる。図 11 にも示されているとおり、大きな収縮率を与えても終着点はスケルトン上であるため、形状的な特徴を大きく破壊するような極端な変形が生じないためである (ただし終着点を越えた過剰な収縮を行った場合ターゲットモデルには密着する。その際最近傍頂点へ向けて収縮する方式と異なり、裾が短くなる収縮を伴う)。

4. 考 察

4.1 基本性質の確認実験への考察

3.1 の基本的な性質の確認実験の結果は、特に基本的な物体の場合当然ともいえる結果であるが、本手法では球体に類するものは点に、円柱のものはサイズが最も長い軸に、平面的なものはその法線方向に向かって収縮が行われている。スーツをモデル化したものは、提案手法では特に肩幅の収縮が小さいように見える。これはモデルのボディが円筒状でなく、やや扁平で平面的な性質も備えているためであると考えられる。こ

のような収縮が不十分である場合、従来手法と同じく、ターゲットモデルをいくつかの部品に分割し、適切な収縮を部品ごとに行った後再結合するなどきめ細かい対応が必要になる可能性があるといえる。

また、膨張から収縮まで変化させたときには、スーツのモデルが太めの大柄な体型から細めの小柄な体型へと変化するように収縮が行われた。一つのモデルのみの結果であり必ずしも言い切れるものではないが、この特徴を単純な拡大縮小と合わせて利用すれば衣類のオーダーメイドなどへの応用範囲が広がる可能性があることが示唆される。

なお、ここで行わなかった方法として、法線方向への収縮を行った場合、原理的に球・円柱・直方体は提案手法とそれほど変わらない（ただし円柱や直方体は角がやや丸みを帯びた）収縮になる（スーツのモデルに関しては後述）。また、ターゲットモデルの最も近い頂点に収縮する手法は、ここではターゲットモデルが存在しないため収縮を定義できない。

ポリゴンの頂点の数・位置が変わるとスケルトンも変わるが、スケルトン関数が大きい値を示す部分はほとんど変化がない。図 12 のように、本手法の結果がそれほど変わらなかった理由は、本手法では、2.5 の評価関数によりスケルトン関数が大きい値を示す部分が対応点になる性質があるためポリゴンの頂点の数・位置の影響を受けにくかったものと考えられる。

4.2 複雑な対象へのシュリンクラップ処理に関する考察

3.2 の実験、すなわち男性モデル用のスーツを収縮させ、女性モデルをターゲットとしてシュリンクラップ処理を行った実験に関し、提案手法の結果は、特徴が分かりやすいようにやや誇張しているため必ずしもデザインとしての適切さは十分とは言い切れない。しかし、ソースモデルの形状的特徴を維持しつつターゲットモデルのボディにフィットしているという点で、最小限の修正を行うだけでより自然に女性的なデザインにすることができるということはいえるだろう。

前述のように、図 14 すなわち中心点に向かって収縮させた結果は、スーツの袖の周辺が特に不正な収縮になっている。これは腕に向かって収縮するのではなく、モデル全体の中心点に向かって収縮したための当然の結果である。基礎実験の結果のとおり、中心点に向かって収縮させることは単純に縮小するのと同じなので、自然な収縮を実現できそうであるが、複雑なモデルの収縮に適用するには不向きであり、その自由度

は高くないことが示されたといえる。

図 15 すなわち法線ベクトルに沿った収縮方式は、極めて不自然な収縮となっている。この方式を活用できるのは、ごく単純なソースモデルまたは、シュリンクのソースモデルとなることをあらかじめ想定して法線ベクトルの方向が不自然にならないよう注意深く作成したソースモデルのみである。この制限は、グラフィックス表示上の緻密さを犠牲にして初めて成り立つことも多いことは容易に予想できる。例えば襟や袖口に厚みをもたせたり、自然なしわがある衣類などのソースモデルに適用することはできないのである。

図 16 すなわちターゲットモデルの最も近い頂点へ収縮する方式は、ソースモデルとターゲットモデルの形状が比較的似ている場合には有効であることが考えられる。逆にいえば形状が異なる場合には問題が多い。図 17 では矢印 A の部分では首方向でなくあごに向かって、矢印 B の部分では背中方向でなく二の腕に向かって、矢印 C の部分ではすね方向でなくつま先に向かって頂点が移動してしまっている。それはこの方式がソースモデルとターゲットモデルの頂点の相対位置に依存するためである。例えば裾の先端の頂点は、すねよりつま先に近かったため矢印 C のような不正な収縮が生じたのである。言い換えれば、それ以外の部分がおおむね不自然とはいえない収縮であったのは、服のモデルと人物モデルの皮膚との距離がたまたま十分近かったためにすぎない。そうでないターゲットモデルを用いた場合には、多数の不正収縮点が発生する可能性も否定できないのである。

提案手法は図 11 のように収縮するため、ターゲットモデル依存の図 17 のような不正収縮は発生しない。他の従来手法も提案手法と同様であり、図 17 のような不正収縮はターゲットモデルのうち最も近い頂点に向かって収縮する方式に固有の問題であるといえる。

このターゲットモデルの場合は、いくつかの不正な収縮点を修正するだけで有用な結果を得ることができるが、修正困難なほど多数の不正収縮点が発生した場合、これを回避するためには、ソースモデルとターゲットモデルをそれぞれいくつかの部品に分割して、部品ごとに収縮させ、その後結合して、更に結合部分の修正を行う必要がある。このように、この方式は他の手法と比べターゲットモデル及びターゲットモデルとソースモデルの位置関係への依存が強いため、適用にあたってはこれらの問題がないか、発生した場合に修正する手段がある場合に限って適した手法といえる。



図 19 提案手法の結果 (位置ずれあり)

Fig. 19 After shrink wrapping process by the proposed method (shifted position from the target model).

提案手法をはじめ、他の手法はターゲットモデルの形状には大きく依存しないことが多いことを考え合わせると、この手法にも厳しい制約があるということが出来る。

提案手法ではソースモデルの頂点が移動する先はソースモデルのスケルトンであるため、提案手法は前述の方式と比べターゲットモデルへの依存が少ない。しかし、図 19 では、袖口付近は腕の下側では収縮が上側と比べ早く停止したため、袖口の向きが収縮前のスーツのモデルと異なる結果になっている。このことから分かるように、ターゲットモデルとの相対位置関係には注意が、すなわち女性モデルの腕が袖の中心になるようにあらかじめ調整するなどの作業が必要である。この問題は、他の全ての方式でも同じであり、本手法固有の欠点ではないが、適用にあたっては注意する必要がある。

シュリンクの成否を決めるのは二つ、収縮の方向と収縮限界までの距離である。提案手法は、少なくともこの例においては収縮の方向に関する問題点は生じず、従来手法のもつ欠点を本手法がもたないことは示されたものの、同時に収縮限界までの距離に関する問題は残り、完全に自動化するには限界もあることが確認された。

シュリンクの有用性は本来デザインと切り離せない

ものである。ここまでの論議では明らかな収縮失敗の評価にとどめたが、他の方式も部分的にはデザイン上好ましいと判断されることも多いと考えられる。そのような視点では、他の手法と異なる収縮形状を得られれば、新しい選択肢の一つを提供することができたと考えられる。本実験では一つのモデルに適用したにすぎないが、原理的に他の手法と異なる収縮形状を得られることは明らかである。したがって本方式により、新しいシュリンク手段の選択肢の一つを提供することができたといえる。

なお、ここで実験を行わなかった軸及び面への収縮は、収束軸及び収束面をどこに設定するかで結果は変わるが、いずれにしる適切な収縮が行われないことは容易に予想できる。

点・軸・面への収縮を用いる場合、ソースモデルやターゲットモデルをいくつかの部品に分割し、それぞれに対して収束点、収束軸、収束平面をパラメータとして与える必要がある。例えば収束軸では位置と方向が必要なパラメータである。腕・頭・足などの部品ごとに一つひとつこれらのパラメータを与える必要があるのである。

本手法もこのような操作の一つとして従来の手法と併せて利用することは当然可能である。その場合従来手法と異なり、部品ごとのパラメータ設定は必須ではなく、多くの場合(ほころびなどの性質が、部品ごとでなくソースモデルごとに決まる場合)はソースモデルごとに共通のパラメータが利用できる。

5. む す び

スケルトンを利用することにより複雑な形状の物体に適したシュリンクラップ手法とそのシュリンクラップに適したマセマティカルモフォロジーのスケルトン生成アルゴリズムを提案し、従来手法との比較を通して手法の有用性や利用する場合の限界や注意点を考察した。

衣類のオーダーメイドに適用したり、個人の体型に合わせたパワーアシストスーツを設計に利用するなど、現実の世界で用いられるデータに関する検討が今後の課題である。

謝辞 本研究を行うにあたり、モフォロジーをはじめ画像処理に関して東京農工大学前学長・東京農工大学大学院工学研究院小畑秀文特別招聘教授、九州大学芸術工学研究院吉永幸靖助教、東京大学医学部附属病院放射線科根本充貴特任研究員から有益な御助言・多

大なる御支援を賜った。また、ポリゴン操作ライブラリの開発に関し岩手大学工学部ものづくりエンジニアリングファクトリーの援助を受けた。更にシステム開発にあたり、東北経済産業局補助金事業マスターズレーブ方式リハビリテーションシステム研究会での論議より有益な知見を得た。関係各位に対しここに厚く御礼申し上げる。

「初音ミク」はクリプトン・フューチャー・メディア株式会社のカラクターです。www.crypton.net

文 献

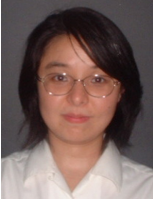
- [1] 西川尚宏, 塚本真也, 大橋一仁, 三宅隆介, 井山俊郎, 水野雅裕, “エンドミル切削における電気防錆加工法の開発—切削加工における水のみを使用した環境調和型加工法,” 環境技術学会誌, vol.37, no.4, pp.274–281, 2008.
- [2] L. Kobbelt, J. Vorsatz, U. Labsik, and H. Seidel, “A shrink wrapping approach to remeshing polygonal surfaces,” Proc. Eurographics '99, vol.18, no.3, pp.119–129, Sept. 1999.
- [3] B.K. Koo, Y.K. Choi, C.W. Chu, J.C. Kim, and B.T. Choi, “Shrink-wrapped boundary face algorithm for mesh reconstruction from unorganized points,” ETRI J., vol.27, no.2, pp.235–238, April 2005.
- [4] 小畑秀文, モルフォロジー, pp.115–135, コロナ社, 東京, 1996.
- [5] 浅野 晃, “マセマティカルモルフォロジーの思想,” IEICE Fundamentals Review, vol.4, no.2, pp.113–122, 2010.
- [6] 鳥脇純一郎, “生体形状情報の数値化及びデータベース構築研究 3D 画像処理に基づく人体組織の形状解析—研究の糸口へのノート,” 理研シンポジウム生体形状情報の数値化及びデータベース構築研究予稿集, pp.1–15, 2006.
- [7] 小畑秀文, “3次元画像とモルフォロジー,” Medical Imaging Technology, vol.19, no.3, pp.168–173, 2001.
- [8] R.L. Stevenson and G.R. Arce, “Morphological filters; Statistics and further syntactic properties,” IEEE Trans. Circuits Syst., vol.34, no.11, pp.1292–1305, 1987.
- [9] 小畑秀文, “不定形微小凸領域抽出のための領域拡張を伴うモフォロジカルフィルタとその医用画像処理への応用,” 信学論 (D-II), vol.J83-D-II, no.1, pp.109–117, Jan. 2000.
- [10] 奥村俊昭, 三輪倫子, 加古純一, 奥本文博, 増藤信明, 山本真司, 松本満臣, 館野之男, 飯沼 武, 松本 徹, “肺がん検診用 CT (LSCT) の診断支援システム,” コンピュータ支援画像診断学会論文誌, vol.2, pp.15–22, 1998.
- [11] 渡辺恵人, 長谷川純一, 目加田慶人, 森 健策, 縄野 繁, “3次元トッパット変換を用いた腹部 X 線 CT 像からの胃壁ひだ抽出,” 信学論 (D-II), vol.J85-D-II, no.7, pp.1250–1258, July 2002.
- [12] 井関文一, T. Baigamma, 小畑秀文, 大松広伸, 柿沼龍太郎, “再帰的領域探索法による胸部 CT 画像からの血管の 3 次元構造の抽出,” 信学論 (D-II), vol.J82-D-II, no.9, pp.1533–1535, Sept. 1999.
- [13] 手島裕詞, 西尾孝治, 小堀研一, “モルフォロジー演算を用いた 3 次元形状の類似度検索の一手法,” 映情学誌, vol.57, no.10, pp.1284–1291, 2003.
- [14] 浅野 晃, “モルフォロジーと形状記述—フィルタリングとテクスチャ解析への応用,” システム/制御/情報, vol.47, no.1, pp.18–25, 2003.
- [15] 中山正人, 富田稔啓, 山本真司, 松本満臣, 館野之男, 飯沼武, 松本 徹, “3 次元モルフォロジカルフィルタによる肺癌病巣自動認識の検討—肺癌検診用 X 線 CT (LSCT) の診断支援 (第 3 報),” Medical Imaging Technology, vol.13, no.2, pp.155–164, 1995.
- [16] 手島裕詞, 小堀研一, “モルフォロジー演算を用いた 3 次元モーフィングの一手法,” 映情学誌, vol.56, no.10, pp.1601–1606, Oct. 2002.
- [17] 丸岡 豊, 岩成英一, 岡田至弘, “モルフォロジカルスケルトンによる 3 次元形状表現,” 2005 信学総大, D-11-100, March 2005.
- [18] L. Liu, E.W. Chambers, D. Letscher, and T. Ju, “A simple and robust thinning algorithm on cell complexes,” Computer Graphics Forum (Proc. Pacific Graphics 2010), vol.29, no.7, pp.2253–2260, Sept. 2010.
- [19] Jaguarandi, “Shrinkwrap modifier,” wiki.blender.org, <http://wiki.blender.org/index.php/User:Jaguarandi/SummerOfCode2008/ShrinkwrapModifier>. 参照 June 2012.
- [20] 萩原義裕, 萩原由香里, アデルジャン イミティ, 三好扶, 西川尚宏, “教育用に適した 3 次元ゲームライブラリとそれによる創生教育,” 工業教育, vol.60, no.6, pp.59–65, 2012.
- [21] 萩原義裕, 萩原由香里, アデルジャン イミティ, 三好扶, 西川尚宏, “教育用に適した 3 次元ゲームライブラリの評価・検証,” 工業教育, vol.60, no.6, pp.66–71, 2012.
- [22] wilfrem “MMDX (MikuMikuDance for XNA/SlimDX),” SourceForge.JP, <http://sourceforge.jp/projects/mmdx/> 参照 Feb. 2012.
- [23] 萩原義裕 (編), “Morioka Rainbow Town White Paper,” 岩手大学工学部機械システム工学科, <http://catfight.mech.iwate-u.ac.jp/whitepaper1.html>, Feb. 2012.

(平成 24 年 3 月 19 日受付, 7 月 25 日再受付)



萩原 義裕 (正員)

1990 東京農工大学大学院修士了。1996 同大学院博士後期了。博士 (工学)。1993～1997 (株) 日立製作所システム開発研究所。1997～2002 東京農工大助手。2002～岩手大学工学部講師・助教授をへて准教授。



萩原由香里 (正員)

1993 東京農工大・工卒. 1995 電気通信大学大学院情報通信学研究科博士前期課程了. 同年東京農工大工学部電子情報工学科(現在電気電子工学科) 技官. 2002~岩手大学技官. 神経回路網, パターン認識, ロボティクスの研究に従事.



アデルジャン イミテイ

2004 中国新疆大学情報科学・エンジニアリング学院卒. ~2007 同大科学技術学院指導員. 2010 岩手大学大学院機械工学専攻博士前期課程了. 現在, 同大院機械・社会環境システム工学専攻博士後期課程在学中. 画像処理, パターン認識の研究に従事.



三好 扶

2002 芝浦工業大学大学院工学研究科単位取得の上退学. 博士(学術), 2002 国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所流動研究員, 長寿科学振興財団リサーチレジデント, 芝浦工業大学大学院ポスドク研究員を経て, 2008~岩手大学工学部准教授. リハビリテーション工学等の研究に従事.



西川 尚宏

2001 岡山大・工卒. 2003 同大学院修士了. 2006 同大学院博士後期了. 博士(工学, 岡山大学) 2006 岩手大学工学部機械工学科助手. 2007 同助教(2008~機械システム工学科). 機械加工(切削・研削及び工作機械, 環境調和型加工)の研究に従事.