

仮想空間における対話的衣設計に関する基礎的検討

北脇 淳[†] 亀田 能成[†] 角所 考^{††} 美濃 導彦^{††} 池田 克夫[†]

[†]京都大学大学院 工学研究科 ^{††}京都大学 総合情報メディアセンター

仮想空間での対話的な物体操作に関する研究は、ほとんどが剛体を対象としたものである。柔軟な物体は、剛体に比べてそのシミュレーションの計算に時間がかかるため、実時間での実現が難しく、これを対象とした仮想空間での対話的操作に関する研究はほとんど行われていない。本研究では仮想空間において、人体上で衣服を3次元的に設計することを目標とする。このため、布の縫合、裁断、およびフォースフィードバックを用いた変形など、基本的な操作を実現すると共に計算時間のかかる布のシミュレーションを衣服設計上必要な場面のみ限定して実行することにより対話性処理の向上を図る。

Primitive Operations for Interactive Design of Clothes in Virtual Space

Jun KITAWAKI[†] Yoshinari KAMEDA[†]
Koh KAKUSHO^{††} Michihiko MINOH^{††} Katsuo IKEDA[†]

[†]Graduate School of Engineering, ^{††}Center for Information and Multimedia Studies,
Kyoto University Kyoto University

Most works on object manipulation in virtual space assume to manipulate rigid objects. When we consider to manipulate nonrigid objects, it is difficult to simulate their deformation sufficiently fast for interactive manipulation. For this reason, there are quite a few works on interactive manipulation of nonrigid objects in virtual space. In this paper, aiming at 3D interactive design of clothes in virtual space, we propose to realize an interactive process to seam, cut, move clothes in the virtual space by simulating its deformation only when the simulation results are necessary for the interaction.

1 はじめに

本稿では仮想空間を利用した対話的衣服設計の実現について検討する。現在生産される衣服の大部分は、いわゆる既製服であり、人間の平均体型を基に設計されたものである。これらは着用者一人一人の体型の個人差に対応していないため、実際に着用する際には裾上げや、腰回りの調節などの寸法調節が必要となる。これに対し、着用者一人一人の体型に合わせて衣服を縫製する方法としてオーダーメイドがあるが、着用者の体型(寸法)を知るための採寸や、縫製に入る前に着用者に布をあてて衣服の寸法を確認する仮縫いといった過程が必要な場合が多く、このため着用者への負担が大きく、生産コストも高い。これらのことからより簡便で生産コストの低い、着用者一人一人の寸法に合った衣服設計の方法が望まれる。

また、衣服の設計は型紙に基づいて行われるが、この型紙は平面上で作図されるものであり、その設計過程で3次元形状の確認をしているわけではない。型紙に基づいて裁断した布を用いて寸法確認や布の縫合などを行った結果、修正が必要な場合にはもう一度型紙生成の段階まで戻って作業をやり直す必要があり、試行錯誤の繰り返しとなる。

本研究では、このような型紙の設計から布を縫合するまでの過程を仮想空間で実現することを目標とする。仮想空間を利用すれば、あらかじめ計測したデータを基に人体形状を仮想空間上に再現することにより、この人体上で3次元形状の衣服設計をすることが可能になる。また、現実空間での試行錯誤に伴う無駄な布の消費が不要になり、生産コストの低いオーダーメイドが可能になると考えられる。

このような仮想空間での衣服設計のためには、仮想空間中に表示された布の裁断、縫合、移動等の操作を対話的に実行できる必要があり、そのための高速な布の形状シミュレーションが必要となる。これまでにも、布の形状シミュレーションの研究は行なわれているが、その多くは処理の実時間性よりも現実の布特性をコンピュータグラフィックスとして忠実に再現することを主目的としており [1][2][3][4]、上述のような対話操作への直接的な適用は困難である。そこで本研究では、仮想空間を用いた対話的な衣服設計を実現するための基本操作の実現を図ると共に、計算時間のかかる布の形状シミュレーションを衣服設計上必要な場面のみ限定して実行するこ

とにより、処理の対話性の向上を図る。

2 仮想空間における衣服設計

図1に示すような3次元の人体形状モデルを利用して、衣服設計をするための処理の実現を考える。

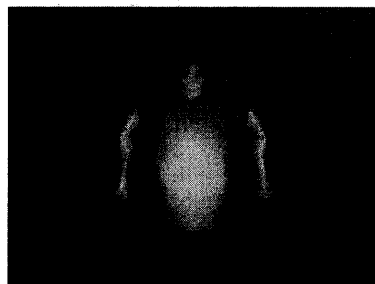


図1: 人体(上半身)

現実世界で人間が衣服設計作業を行っているビデオを観察すると、衣服設計に必要な操作は型紙の描画、布の縫合、裁断、変形、移動、型紙の書き直しの6種類に分類することができる。ただし、衣服設計では描画した型紙に従って一度裁断した布を、さらに2枚に切り分けることはしないので、ここで言う裁断とは切り込みを入れる場合のみを指す。

上の操作の中で、型紙の書き直しは、仮想空間では型紙の変形という表現に言い換えることができる。よって、仮想空間における対話的衣服設計に必要な基本操作として、型紙の描画、布の縫合、裁断、布の3次元形状の変形、移動、型紙の変形の実現すればよい。これらの基本操作は、対象を一般化して考えると、物体形状の作図、結合、移動、変形といった操作であるといえる。

ところで、2次元の物体形状を対象とした場合、布の3次元形状の変形を除く操作は作図、グループ化、変形、移動などの呼び名で、マウスというポインティング・デバイスとメニュー・バーを使ったクリック&ドラッグに基づくユーザインタフェースによって実現されている。本研究ではこの仮想空間における衣服設計に要求される基本操作と、2次元ドローイングツールの提供する基本操作の共通性に着目し、同様のポインティングデバイスとメニューバーとクリック&ドラッグに基づくユーザインタフェースの実現を考える。

実際の布を扱う場合と同一の形状変形の過程をシ

シミュレーションする必要がある場面は、人間が対話的に布を操作しながらこれを変形させていくような場合においてのみであり、その他の裁断や縫合などの処理では、裁断や縫合を施すべき部分に対話的に指定した後に、それらの処理を施した形状をシミュレーションするのみで十分である。そこで、衣服設計の目的上、布のシミュレーションが不要な処理に対して、操作においては布のシミュレーションは行わず、布を剛体として取り扱い、処理の終了後に、はじめて布本来の柔軟な形状変化をシミュレーションするという方法を導入する。この方法の導入により、シミュレーション時間の節約による処理の対話性向上が図れるだけでなく、布のように現実世界では両手を使った複雑な操作が必要となるような物体の取り扱いが、仮想空間ではポインティングデバイスという1点のみの単純な入力デバイスによっても実行可能となるという利点も生じる。

人体上で布を操作するという3次元形状を対象とした操作を実現するため、出力デバイスとしては両眼視差画像を用いた立体表示装置を使用する。入力デバイスとしては、クリックのためのスイッチを備えた3次元ポインティングデバイスを使用する。デバイスにはフォースフィードバックの機能を持つものを使用する。これにより、布に触れた時に、はっきりとしたフォースフィードバックをユーザに返し、布のシミュレーション時には布の伸縮状況を、また剛体化時には布の3次元形状を、それぞれ視覚情報に加えて、触覚的にもユーザに示すことができる。布のように形状が不規則かつ多安定で、視覚情報のみからではその状況が把握しにくい物体の操作においては、このような機能の実現は有効であると考えられる。

布の縫合、裁断などの各操作は、3次元ポインティングデバイスを使用して仮想空間内にあるメニューバーの中から適切な操作のモードを選択することによって指定し、さらにポインティングデバイスのクリック&ドラッグによって目的の物体や操作の内容を指示することによって実現する。

メニューバーによって選択される基本操作のモードとしては、以下に示すようなものを設定する。

1. **3次元型紙描画** 人体上に、直接型紙の輪郭線を書き込んでいく。人体に触れている状態で、クリック&ドラッグするとその部分に線が書き込まれる。書き込まれた線に従って、人体

上に布が自動生成される。

2. **移動** クリックした時に触れている布を、ドラッグによって剛体のまま平行移動し、ドラッグをやめた時点で処理を終了する。
3. **縫合** 縫合することになる二つの布の輪郭線を移動によって一致させた後、その上の縫合すべき箇所をポインティングデバイスでドラッグすることにより指定し、その部分を縫合する。
4. **裁断** 剛体化されている布表面をポインティングデバイスでドラッグすることによって裁断線を指定し、ドラッグをやめた時点で、線が布の輪郭部に達していれば、その線に沿って布を裁断する。
5. **布の3次元形状の変形** 布に触れている状態でクリックすると、ドラッグの間その部分をポインティングデバイスの動きに合わせて移動させる。布が伸びると、伸びに応じた反力がフォースフィードバックとしてユーザに返される。ドラッグをやめると、布を離れたことになり、操作が終了する。この操作のみ、操作中も布形状のシミュレーション計算が行われる。
6. **型紙変形** 布に触れてその部分を移動させるまでは変形と同じであるが、布が伸びてもフォースフィードバックはかからず、ドラッグをやめた時点で型紙の輪郭形状を再計測する。輪郭形状が更新された後、布形状のシミュレーション計算が行われる。

3 布のシミュレーション

布のシミュレーションには、布シミュレータ simcloth[5] を利用する。simcloth は、仮想空間におけるユーザの布操作に伴う変形過程を実時間でシミュレーション可能にするために、布の特性による微妙な違いを表現するよりも最低限の布の特性(大きく伸びない、しわができるなど)を出しつつ、ユーザの操作に対する遅延を小さくすることを優先したシミュレータである。シミュレーションでは、布を正方格子状のメッシュを用いて表現し、縦横斜めの伸びを計算する(図2)。

拘束条件として、正方格子の周辺と、一つおきの上下左右の格子点との距離が設定された距離(自然

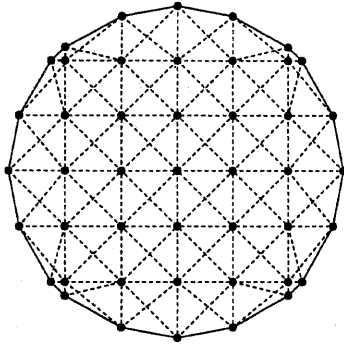


図 2: simcloth の格子点配置

長) よりも大きくなった場合に、ばねのように元に戻ろうとする力を与えることで、大きく伸びすぎない、伸びに異方性がある、しわができるといった布特性を表現している (図 3)。 $P_i = (x_i, y_i, z_i)$ を i 番目の頂点の座標、 P_k を P_i と隣接する八つの頂点、 P_l を P_i と一つおきの位置にある四つの頂点、そして L_k, L_l を頂点間距離の初期値とするとき、 P_i の x 成分についての張力 (元に戻ろうとする力) T_x は、 $T_x =$

$$K \left\{ \sum_k^8 \frac{(x-x_k)(l_{ik}-L_k)}{l_{ik}} + \sum_l^4 \frac{(x-x_l)(l_{il}-2L_l)}{l_{il}} \right\} \quad (1)$$

となる。ここで、 K は定数、 l_{ik} は P_i と P_k 間の距離、 l_{il} は P_i と P_l 間の距離である。 y, z 成分についての張力 T_y, T_z も同様に得られる。

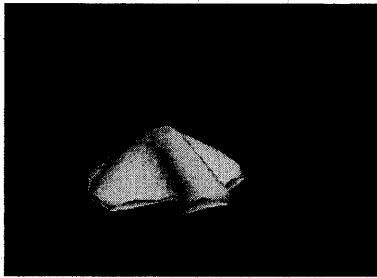


図 3: simcloth

布の形状シミュレーションにおいては、布の自己衝突や、布と外部の物体との衝突判定を単純に行うと、その計算量が格子点数の 2 乗に比例するので、格子点数の増加と共に布の操作に対する変形結果の表示の遅延が大きくなるという問題が生じる。そこで simcloth では、衝突判定を、2 点の隣接する格

子点からなる線分と、3 点以上の格子点からなる多角形との交切判定と考え、各時間において、ほとんど向きの変わらない隣接する複数の多角形を一つの多角形とすることで、この交切判定のための計算回数を抑えるようにしている。

4 基本操作の実現

仮想空間での衣服設計に必要な基本操作である型紙の描画、布の移動、縫合、裁断、3 次元形状の変形、型紙の変形は simcloth を用いて以下のように実現する。

1. 3 次元型紙描画 型紙の描画では、人体が剛体となっている。ポインティングデバイスが人体に触れている場合、剛体に触れているようなフォースフィードバック \vec{F} を与える。触れている面の法線ベクトルを \vec{N} 、ユーザがかける力のベクトルを \vec{P} とすると、 $\vec{F} = -(\vec{N} \cdot \vec{P})\vec{N}$ となる。描画された型紙に従って布を生成し、シミュレーション計算を行う。
2. 移動 布を移動させる場合は、物体を持っているという感覚をユーザに与えるため、フォースフィードバック \vec{F} として移動させる布の重量に応じた重力をポインティングデバイスに与える。布の質量を m とすると、 $\vec{F} = m\vec{g}$ (\vec{g} は重力ベクトル) となる。移動が終了した後、シミュレーション計算を行う。
3. 縫合 縫い線の長さが等しい 2 枚の布をそのまま縫い合わせる場合には、その部分の格子点を一対一に対応付け、両者の 3 次元位置が常に一致することで縫合を実現する。長さの微妙に違う縫い線同士を縫合する場合は、縫い線が長い布を少しずつ折り込むことによって短い縫い線と長さを等しくして縫合する必要があるため、格子点で布を表現する本研究では、二対一に対応付けとなる部分が出てくる。この対応する格子点の位置を一致させる処理は、縫合することになる点の座標をこの 2 点からなる線分の中点に移動させる (図 4)。二対一対応の点の場合は、折り込む方の 2 点からなる線分の中点と残りの 1 点を結ぶ線分の中点に移動させる。さらに、返し縫い処理の施された布の輪郭や縫合部分は、他の部分 (輪郭でない布の内部)

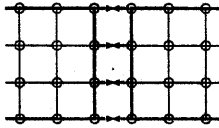


図 4: 縫合モデル図

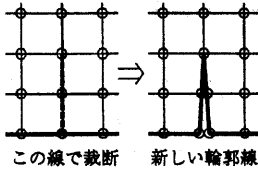


図 5: 裁断モデル図

よりも縫合した線に沿って伸びにくいという伸縮特性を表現するため、縫合した線に沿う方向に対して、隣接する格子点間の距離が変化しないという拘束条件を与える。

4. 裁断 simcloth による布シミュレーションでは、まず布の輪郭形状を与え、これを基に仮想的な布を生成している。布を裁断すると、切り込み線上の各格子点がそれぞれ2点に分離され(図5)、その結果に対応する輪郭形状を持つ新たな布がシミュレーションされることになる。この処理の前後における布の形状の連続性を保つため、分離前の各格子点の3次元位置を、分離後の格子点の初期位置として継承させる。
5. 布の3次元形状の変形 布の3次元形状の変形では、布が自然長以上伸びた時点で、ポイントングデバイスが操作している布の部分にかかる張力に相当するフォースフィードバックをかけて布の伸び具合を知らせる。布の張力は(1)式のように計算できる。
6. 型紙の変形 型紙の変形は布の輪郭形状の変形であるので、輪郭形状を再計測し、正方格子を配置し直した後、シミュレーション計算を行う。

5 実験結果

フォースフィードバック機能を持つ3次元ポイントングデバイスとして、本研究では Phantom を使用し、操作実験として、次のような実験を行った。

- 仮想空間中に人体を置き、人体には既に描画、縫合が終わり、安定状態に達した(剛体化した)シャツが着せられているものとする。
- シャツは襟や袖がついていない、前後の身頃(みごろ)からなるものとする(図6)。
- 前後の身頃に袖を縫い付けて(図7)から、この袖の1点をつまんで形状を変形させた後、切り込みを入れる(図8、9)。

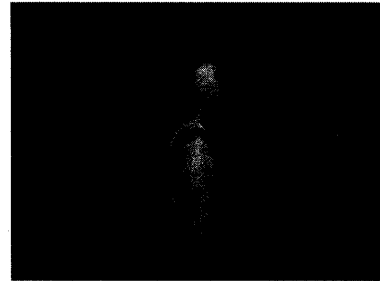


図 6: 人体とシャツの前、後身頃

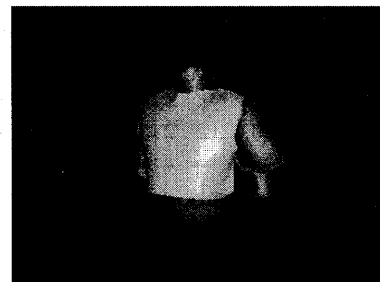


図 7: 人体とシャツの前、後身頃、左腕の袖

実験で実現した例は、体に密着するような衣服でないため、布らしさの一つである細かなしわは出なかったが、袖の端を少し動かすと、慣性でしばらく揺れているような、布のような表現ができていると思われる。また、実際に布シミュレーションの計算を行っていたのは袖の部分だけなので、シミュレーション計算による遅延は気にならない程度であり、十分な対話性が得られている。また、人体や剛体化した時の布からのフォースフィードバックにより、それらの3次元形状を把握しやすいという利点も確認できた。ただし、布を伸ばした時のフォース

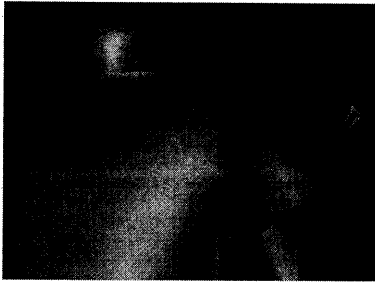


図 8: 袖の 1 点をつまんで変形

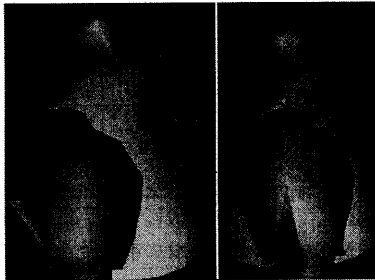


図 9: 袖に切り込みを入れる

フィードバックは、布からの力とはやや考えにくいものであった。この原因には、現在は布の伸びに比例したフォースフィードバックを与えているが、現実の布は伸びと反力が正確な比例関係ではないためと考えられ、今後、フォースフィードバックの計算を改良することで、この違和感は小さくできると考えている。

6 まとめ

仮想空間における 3 次元的な衣服設計の実現を目指して、そのための基本的な操作の中の、布の縫合、裁断、変形を実現した。

その特色は、衣服設計上必ずしも必要でない過渡的な変形のシミュレーションを行わないことにより、処理の対話性の向上を図ったことである。このことによりシミュレーションを行わない状態では、布は物理世界ではあり得ないような剛体として扱われる。布のような多安定物体は、現実世界においては両手を用いてもその形状を適切に扱うことが難しいが、これを 1 点操作で扱うことが可能となり、仮想空間での布の操作性向上の効果も期待できる。

しかし、本研究で目指す仮想空間での衣服設計に利用可能な布のシミュレーションの実現のためには、シミュレーション計算をさらに改良し、高速化する必要がある。また、フォースフィードバックの実現においては、デバイス自体を動かすための力が、実際の布を操作するために必要な力に比べて大きいいため、布を操作している感覚のリアリティが低いことが問題として感じられた。この点も今後の検討課題である。

仮想空間での具体的な衣服設計作業の内容として、本研究では 2 章で述べたようなものを考えているが、型紙の変形など、まだ導入が図れていない操作も存在する。今後はこれを実際にシステムとして完成させていくために、ヒューマンインタフェース部分のより詳細な具体化、個々の処理の実現方法等について検討していく予定である。

参考文献

- [1] Hidehiko Okabe, Haruki Imaoka, Takako Tomiha and Haruo Niwaya, "Three Dimensional Apparel CAD System", SIGGRAPH '92. 19th Annual ACM Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (1992), pp.105-110.
- [2] 坂口 嘉之, 美濃 導彦, 池田 克夫: 仮想服飾環境 PARTY—衣服形状計算における、衣服と人体との衝突計算方法—, 信学会論文誌 (D-II), Vol.J78-D-II, No.3, pp.483-491(1995).
- [3] David E. Breen, Donald H. House Michael J. and Wozny: Predicting the Drape of Woven Cloth Using Interacting Particle, SIGGRAPH '94 Proceedings, ACM, Addison-Wesley, pp.365-372(1994).
- [4] Pascal Volino, Martin Courchesne and Nadia Magnenat Thalmann: Versatile and Efficient Techniques for Simulating Cloth and Other Deformable Objects, SIGGRAPH '95 Proceedings, ACM, Addison-Wesley, pp.137-144(1995).
- [5] 荻野 友隆: 動的変形に基づく布形状の高速シミュレーション, 京都大学大学院工学研究科情報工学専攻修士論文 (1997)