

直感的操作による服飾デザインシステム A Cloth Design System by Intuitive Operations

宮原克典¹ 岡田義広² 新島耕一²
Katsunori Miyahara Yoshihiro Okada Niijima Koichi

1. はじめに

近年、計算機ハードウェア技術の発達により、高精細な3次元CG画像や3次元CGアニメーションを作成することが可能となってきている。一方仮想現実感に関する研究においては、より現実世界に近い操作感を与えるためのデータグローブやモーションキャプチャ装置などの様々なタイプの周辺機器が提案、開発されてきている。これらの技術や周辺機器を利用することにより、より高い没入感を得ながらオブジェクトを操作することが可能である。また、現在まで多くの衣服シミュレーションに関する研究が行われてきた[1]。以前は幾何学情報を用いる方法[2]によりシミュレーションを行っていたが、近年ではより現実的な布を再現するために、物理法則を用いる方法[3, 4, 5]が主流となっている。さらに、実時間での操作を可能とするために、B-splineを用いた布の単純化モデル[6]なども提案されている。このように、現在までに多くの衣服シミュレーションアルゴリズムやシステムが提案されてきたが、3次元グラフィックス表現された仮想空間内で3次元人体モデルに直接生地をあてながら、直感的に生地を裁断・裁縫または着色することにより服飾デザインを行うシステムは著者らの知る限りない。本研究では、そのような直感的で使い易い服飾デザインシステムの開発を目指している[7]。本論文では、直感的な操作が行える3次元入力デバイスを用いて、3次元仮想空間内で「切る」、「縫う」などの操作により服飾デザインを行うことが可能であり、またネットワークを介した協調作業により、離れた場所にいる複数ユーザでデザインが出来る新しい服飾デザインシステムを提案する。本研究では3次元オブジェクトに対する触感を実時間に伝えるフォースフィードバック機能を備えた3次元入力デバイスを用いることにより、現実世界に近い直感的な操作を可能としている。

2. 3次元入力デバイス : Phantom

本研究ではフォースフィードバックデバイスとしてSensAble社のPhantomを用いる。外見は小さなクレーン状のアームの先にペンが取り付けられた形をしている。ペンの握り部分にはボタンが2つ付いており、マウスの左右ボタンと同様の役割を果たす。PhantomはIEEE1394経由で計算機と接続され、このペン先の3次元位置情報を入力データとして計算機へ送る。このデータにより、3次元仮想空間内を自由に動くポインタが実現される。本論文では、このポインタをPhantomポインタとよぶ。

3. 生地モデリング

生地はポリゴンメッシュで表現され、Phantomを用いた操作によって、実時間で形状変形を行わなければならない。形状変形する生地のモデルとして論文[8]を参考にした。この論文ではMass-Spring-Damperモデルを用いて実時間で形状変形を行う布をモデリングしている。このモデルは質量のある頂点が隣り合うすべての頂点と

SpringとDamperによってつながっているモデルとして表現される。このとき頂点*i*にかかる動力学方程式は、

$$m_i \ddot{x}_i = -\gamma_i \dot{x}_i + \sum_{j \in J} g_{ij} + f_i \quad (1)$$

である。ここで*m*は頂点*i*の質量、*x_i*は頂点*i*の位置の変位、 $\sum_{j \in J} g_{ij}$ は頂点*i*と隣接する頂点群*J*のSpring forceの和、*f_i*は外力(重力、引く力、押す力など)である。

本研究における生地モデリングでは、上記の式からDamping forceを除いたMass-Springモデルを使用して単純化している。このモデルにおける頂点*i*にかかる動力学方程式は、

$$1 \times \ddot{x}_i = \sum_{j \in J} g_{ij} + f_{Phantom} \quad (2)$$

である。すべての頂点にかかる質量を一定の1にし、外力としてPhantomを用いた生地の操作によって与えられる力のみを考える。 $\sum_{j \in J} g_{ij}$ は(1)式と同様に頂点*i*と隣接する頂点群*J*のSpring forceの和である。ベクトル*g_{ij}*は、以下で計算する。

$$g_{ij} = k * (1 - l_{ij} / l'_{ij}) * d_{ij} \quad (3)$$

ここで*k*はばね係数、*l_{ij}*は頂点*i*と隣接する頂点*j*との稜線の長さ、*l'_{ij}*は頂点*i*と隣接する頂点*j*との変位後の稜線の長さ、*d_{ij}*は頂点*i*から隣接する頂点*j*へ向かう単位ベクトルである。(2)式を計算することにより頂点の位置情報を更新し、生地の形状変形を実現する。

4. 生地の操作

3章でモデリングされた生地に対し、「つまむ」、「破く」、「切る」、「縫う」、「描く」の5つの操作が3次元仮想空間内でPhantomを用いることにより可能である。これらの操作により、ユーザは直感的に衣服のデザインを行うことができる。各操作の詳細は以下のとおりである。

4.1. 「つまむ」

図1に示すように、Phantomデバイスのボタンを押すとPhantomポインタに一番近い頂点とポインタとをSpringで連結し、ポインタを移動させて生ずるSpring forceによって生地をつまむ操作を実現した。このとき各頂点に生じるSpring forceの大きさはPhantomポインタに近づくにつれ大きくなる。また生地をPhantomでつまむと同時に、Phantomポインタと一番近い頂点とのSpring forceをフォースフィードバックとしてユーザに与える。この操作により、ユーザはどの頂点もつまみ、引っ張ることができる。しかし、実時間ですべての頂点に生じるSpring forceを計算することは非常に計算コストが高い。

¹九州大学大学院システム情報科学府

²九州大学大学院システム情報科学研究院

そこで図2に示すように、Phantom ポインタから一定距離内の頂点のみを計算対象とすることにより計算コストの削減を行っている。他の操作も同様に実装を行った。これにより生地の局所的な領域だけを引っ張ることが出来るが、もしユーザーが生地全体を動かしたい場合はこの操作だけでは不十分である。そこで図3に示すように、Phantom ポインタと同時に同じ方向へ生地全体を動かすことができる操作も合わせて実装した。

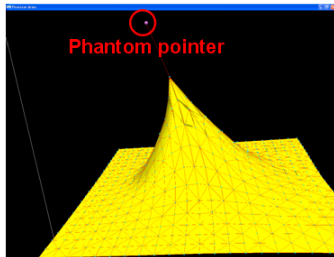


図1. 「つまむ」操作のシミュレーション画面.

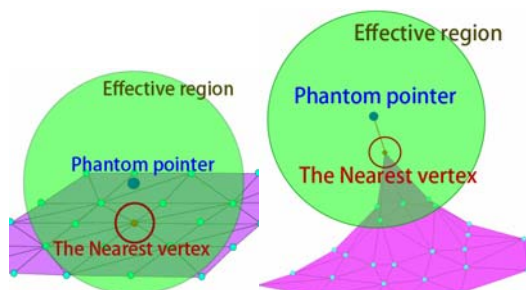


図2. Phantom ポインタと計算対象領域.

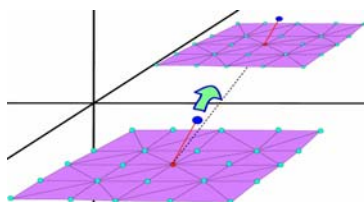


図3. 生地全体の移動.

4.2. 「破く」

図4, 5に示すように、生地を破くため、それぞれの稜線の長さに閾値を設け、「つまむ」操作で稜線が伸びて閾値以上になると、その稜線と隣接する2つのポリゴンを削除することにより生地を破く操作を実現した。もしゴムのように伸びる性質の生地であれば閾値を高く設定し、逆に破け易い生地であれば閾値を低く設定すればよい。この閾値により生地の性質を決定することができる。

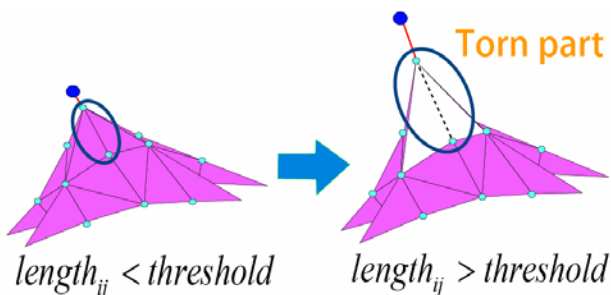


図4. 稜線の長さの閾値.

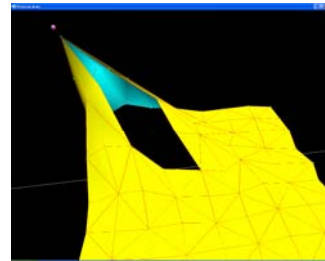


図5. 「破く」操作のシミュレーション画面.

4.3. 「切る」と「縫う」

図6に「切る」と「縫う」操作の例を示す。「切る」操作では、Phantom ポインタで頂点を指定(図6左側の黒丸)し、その指定された頂点を2つに分離分割(図6右側の黒丸)し、その頂点に属するポリゴンと稜線を再配置することにより生地の「切る」操作を実現している。

「縫う」操作では、まずある頂点を縫い合わせたい頂点の近くまで「つまむ」操作で近づける(図6右側の黒丸)。このとき、2つの頂点間が一定距離以下まで近づくと2つの頂点は結合され1つにまとめられる(図6左側の黒丸)。また「縫う」操作の際、Phantom ポインタとつながっている頂点に隣接する頂点と、縫い合わせたい頂点に隣接する頂点と同じであるとき(図6右側の白丸)、この頂点に属する2本の稜線も1本にまとめられる。図7に実際の「切る」と「縫う」操作のシミュレーション画面を示す。

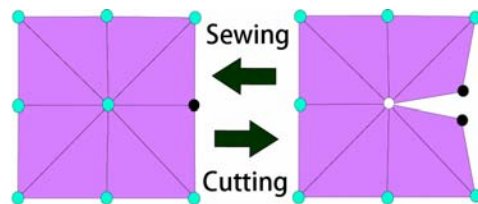


図6. 「切る」と「縫う」操作.

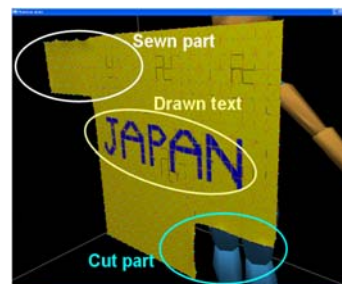


図7. 「切る」と「縫う」操作のシミュレーション画面.

4.4. 「描く」

「描く」操作では、Phantom は仮想ペン、または仮想ブラシとして利用される。生地にテクスチャマッピングし、Phantom ポインタの生地上の位置と対応する位置のテクスチャ画素の色を変更することにより、自由に生地の表面に文字や絵を描くことができる。また Phantom ポインタで生地に触れた際、ユーザーに生地の法線ベクトルと同じ方向のフォースフィードバックを与えることにより、実際に生地に触れて文字や絵を描いている感覚を再現している。図7では、「描く」操作により JAPAN の5文字を描いた。

5. 実験

4章で述べた操作によって、3次元キャラクターの衣服を作成する実験を行った結果を示す。実験の手順はそれぞれ以下の1)から4)、図8の1)から4)のとおりである。

- 1) 重力を利用して3次元キャラクターに生地をかぶせる。
- 2) キャラクターにかぶせた生地余分な部分を切り取る。
- 3) それぞれの生地を縫い合わせる。
- 4) 生地表面に文字や絵を描きデザインを行う。

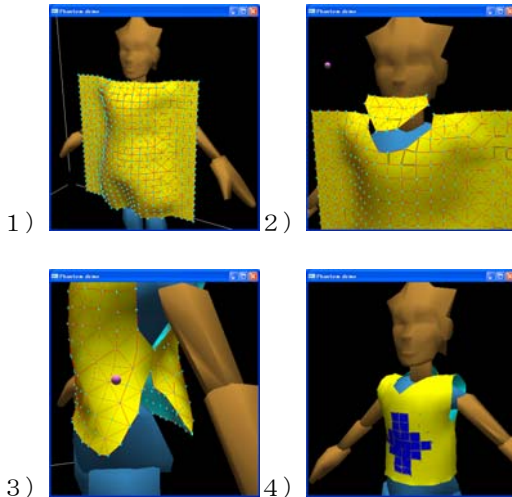


図8. 衣服デザイン手順のシミュレーション画面。

以上の手順により、最終的に図9に示す衣服を作成することができた。また、手順中の3次元キャラクターに生地をかぶせる際には、生地と3次元キャラクター間の衝突検出を行う。衝突検出には高速化のための様々な手法[9]があるが、本研究ではポリゴンモデルをOBB-Tree表現することにより高速に衝突検出を行う方法[10]を用いた。

また、それぞれの操作時の平均描画速度を測定した結果を表1に示す。本実験では、Windows XP、クロック周波数 2.54GHz の Pentium4 プロセッサ、メモリ 1.5GB、Geforce6800GT グラフィックチップ搭載グラフィックボードを備えたデスクトップマシンを使用した。快適な実時間での操作を可能にするためには少なくとも 10fps が必要となる。平均描画速度測定の際、描画には稜線と頂点の描画を行う場合、行わない場合の二通りに分けて測定した。頂点、稜線は生地トポロジーを得るために必要な情報となる。表1からも分かるように、頂点数が 289 から 400 の場合はどちらも快適に動作する。しかし頂点数が 521 を超えると、稜線、頂点の描画がある場合は「つまむ」、「破く」の操作時に 10fps を下回り、実時間での操作が困難である。そこで本システムでは図10に示すように、4.1節で説明した Spring force の局所領域での計算と同様に、稜線、頂点の描画も局所的に行うことで計算コストの削減を行った。表2に局所領域描画での平均速度を示す。これにより頂点数が 521 を超えた場合でも平均描画速度は 10fps 以上を保っているため、実時間での操作が可能である。また、描画を局所領域に限定することにより、Phantom ポインタの仮想空間内での位置が分かり易くなり、生地操作も行い易くなるという利点も生まれた。



図9. 衣服完成図。

表1. 各操作での平均描画速度 (fps : frames per second) . V は頂点数, P はポリゴン数.

稜線, 頂点の描画なし			
	$V=289$ $P=512$	$V=400$ $P=722$	$V=521$ $P=968$
つまむ	32	18	10
破く	32	18	10
切る	65	65	65
縫う	64	46	32
描く	25	22	22
稜線, 頂点の描画あり			
	$V=289$ $P=512$	$V=400$ $P=722$	$V=521$ $P=968$
つまむ	22	13	7
破く	22	13	7
切る	53	33	33
縫う	33	27	18
描く	22	18	17

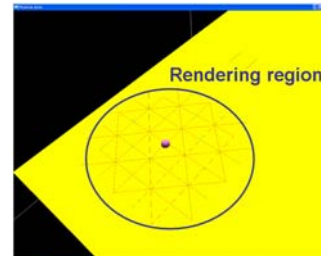


図10. 稜線, 頂点の局所域描画。

表2. 稜線, 頂点の局所域描画における平均描画速度.

	$V=289$ $P=512$	$V=400$ $P=722$	$V=521$ $P=968$
つまむ	31	18	10
破く	31	18	10
切る	65	65	64
縫う	63	33	32
描く	25	22	21

6. 複数の Phantom を用いた協調作業による服飾デザイン

5章では一人のユーザで Phantom を用いて生地を操作し、3次元キャラクターの衣服を作成する実験を行った。しかし複雑な衣服を一人で作成しようとした場合、一人で行うには困難な生地操作がある、作業量が膨大となり多くの時間を消費するなどの問題がある。そこで本研究では、ネットワークを介して複数ユーザでの協調作業を可能とすることにより、複雑な生地操作や作業時間

の削減を可能にするシステムの開発も目指している。このシステムは、様々なユーザから意見を聞き、修正、改善点を出し合うことを可能とするため、より完成度の高い衣服作成を可能とする。

本研究では、クライアント/サーバ型に比べプログラミングが容易であることから、2台の Phantom での Peer-to-peer 通信による協調作業環境の実装を行っている。クライアント/サーバ型ではサーバがシステムの状態を唯一保持するが、Peer-to-peer では各マシンが状態をそれぞれ持ち、状態更新イベントを共有することにより状態の首尾一貫性を保持する。図 1 1 に示すように各マシンで頂点の位置、視点の位置などの情報を持つ。図 1 2 に協調作業時のシミュレーション画面を示す。ここでそれぞれのユーザをユーザ 1、2 とする。図 1 2 ではユーザ 1 は生地を「つまむ」、ユーザ 2 は生地を「切る」操作を行っている。このように各ユーザは好きなように生地を操作することができる。

次に協調作業時の描画速度の測定を行った結果を述べる。服飾デザインでは、裁断や裁縫が主な作業であり、本システムにおいては、「切る」と「縫う」が主要な操作である。したがって、「切る」操作をユーザ 1 が行っている間に、ユーザ 2 が同時に各操作を行ったときの平均描画速度を測定した。表 3 はその結果である。この表から分かるように、ユーザが一人で操作する場合に比べ非常に計算コストが高くなっている。しかし、「切る」や「縫う」操作では、ユーザが二人で頂点数が 521 以上でも 10fps 以上の描画速度があり、十分に実時間処理可能であることが分かる。

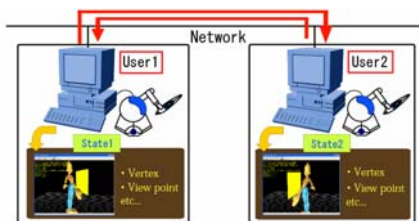


図 1 1. Peer-to-peer によるネットワーク形態。

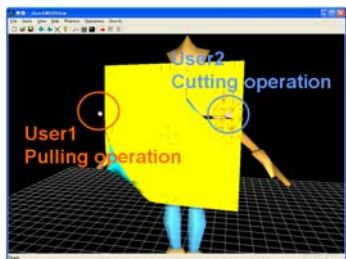


図 1 2. 二人のユーザによる生地操作。

表 3. ユーザ 1 が「切る」操作時のユーザ 2 の各操作における平均描画速度。

	$V=289$ $P=512$	$V=400$ $P=722$	$V=521$ $P=968$
つまむ	28	16	10
破く	28	16	10
切る	64	64	63
縫う	56	32	28
描く	22	21	18

7. まとめと今後の課題

本論文では、3次元グラフィックス表現された仮想空間内で3次元人体モデルに直接生地をあてながら、直感的に生地を裁断・裁縫または着色することにより服飾デザインが行えるシステムを提案した。特に、Mass-Springモデルにより生地の形状変形をモデリングした点、その際、局所領域のみを計算対象とすることによる高速化を実現した点、Phantom を用いた生地の操作として5つの操作を実装した点と衣服を作成する実験を行った点、さらに、2台の Phantom を用いてネットワークを介して協調作業が行える点を説明した。

今後の課題として以下がある。生地の操作は実時間で行える必要があり、生地のポリゴンメッシュを細かくして計算量を増やすことはできない。計算量削減のための工夫やモデルの単純化を検討する必要がある。またネットワークを介することで遅延が起き、生地の操作を行う上で状態の矛盾が生じる可能性がある。協調作業時の各ユーザの操作の排他制御機構を導入するなどの工夫が必要である。さらに生地の操作をより行い易くするためのインタフェースの開発を行う。

参考文献

- [1] P. Volino and N. Magnenat-Thalmann, "Virtual Clothing Theory and Practice", Springer-Verlag, 2000.
- [2] J. Well, "The Synthesis of Cloth Objects", Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH), Vol 20, No. 4, pp.49-53, 1986.
- [3] D. Braff and A. Witkin, "Large steps in cloth simulation", SIGGRAPH 98 Conference Proceedings, pp.43-4, 1998.
- [4] D. E. Breen, D. H. House and M. J. Wozny, "Predicting the drape of woven cloth using interacting particles", SIGGRAPH 94, Conference Proceeding, pp.365-72, 1994.
- [5] M. Carignan, Y. Yang, N. Magnenat-Thalmann and D. Thalmann, "Dressing animated synthetic actors with complex deformable clothes", SIGGRAPH 92, Conference Proceeding, pp.99-104, 1992.
- [6] F. Dacheux, J. El-Sana, H. Qin and A. Kaufman, "Haptic Sculpting of Dynamic Surface", Proc. of Interactive 3D Graphics 1999, pp.103-110, 1999.
- [7] K. Miyahara, Y. Okada and K. Nijima, "A Cloth Design System by Intuitive Operations", to appear in International Conference on Computer Graphics, Imaging and Vision (CGIV06), Sydney, Australia, July, 2006.
- [8] T. Vassilev, B. Spanlang and Y. Chrysanthou, "Fast cloth animation on walking avatars", Proc. of Eurographics 01, pp.260-267, 2001.
- [9] M. Oshita and A. Makinouchi, "Real-time Cloth Simulation with Sparse Particles and Curved Faces", Proc. of Computer Animation 2001, pp. 220-227, 2001.
- [10] S. Gottschalk, et al., "OBTree: A Hierarchical Structure for Rapid Interference Detection", Proc. of ACM Siggraph'96, pp. 171-180, 1997.