

衣服を 3 次元キャラクタに着せるためのインタフェース

五十嵐 健夫¹

John F. Hughes²

¹ 東京大学

² ブラウン大学

概要

本稿では、3 次元 CG キャラクタに衣服を着せるためのインタフェースを提案する。第一の手法は 2 次元の衣服パターンを 3 次元キャラクタの上に着せるもので、キャラクタの表面と衣服の上を手書きの線を描くと、システムの方で対応する線同士が重なるように衣服をキャラクタの上に配置する。第二の手法は、着せた後の服の位置を調整するもので、服をつまんでキャラクタの表面上を移動することができる。通常の頂点のドラッグ操作とは異なり、マウスによる移動分をキャラクタの表面に沿って衣服全体に明示的に伝播することで、より大きな動きを実現することができる。

はじめに

3 次元 CG キャラクタに衣服を着せるためには、通常 3 次元空間中に布片をうまく配置するといった作業が必要であり、思い通りに着せ付けるには手間と時間がかかる。また、着せ付けた後に服を動かすことも可能であるが、基本的には頂点を 3 次元空間中で一方向に動かすだけであり、服を脱がせたり、腕まくりしたりといったダイナミックな動きは実現が難しい。

本稿では、初心者でも簡単に 3 次元キャラクタに服を着せる手法について紹介する。まず関連研究について簡単に触れた後、具体的にインタフェースについて説明し、その後でアルゴリズムについて説明する。

関連研究

市販の CG ソフトで使われる主な手法は、板状の衣服パターンを要素ごとに 3 次元空間中でキャラクタの周りに配置し、その後、シミュレーションを起動することによって要素同士が引き合わされていくといったものである[20,22]。あるいは、3 次元キャラクタを腕を広げたような基準ポーズに設定してから服を重ね合わせ、その後シミュレーションを走らせながらポーズを変更するといった操作も使われている[3]。シミュレーションを走らせながら、衣服をつまんで動かすといったことも可能になっている。

3 次元衣服シミュレーションは研究および市販パッケージソフト等でさかんに使われている[14,23]。初期のもの幾何学的計算に基づいていたが[24]、最近は物理シミュレーションを用いたものが一般的である[2,5,6]。またリアルタイムでの操作も可能になってきている [7,8]。

ファッションデザインの分野では、衣服のパターンデザイン専用の CAD が使われている[10,17]。従来のものは 2 次元のデザイン専用であったが最近は 3 次元表現を可能にしたものもある[1,9]。

本研究では、手書きスケッチによる 3 次元モデリング[12,25]で示されているような、初心者でも簡単に使える 3 次元 CG 環境の実現を目指している。

提案するインタラクションテクニック

システム全体は図 1 のような 2 画面構成となっており、右側のウィンドウに 2 次元の衣服のパターンエディタが表示され、左側のウィンドウに 3 次元のキャラクタが表示される。パターンエディタでは、通常のドローイングエディタと同様な方法で、2 次元の衣服パターンを描くことができる。それぞれの布片には表面と裏面が定義されており、任意に裏返すことができる。

Clothing Manipulation

Takeo Igarashi (The University of Tokyo)

John F. Hughes (Brown University)

<http://www.mtl.t.u-tokyo.ac.jp/~takeo>

また、布片の辺と辺を縫い合わせるといった操作も可能である。3次元ウィンドウでは、キャラクターを自由に回転させることができる[15]。

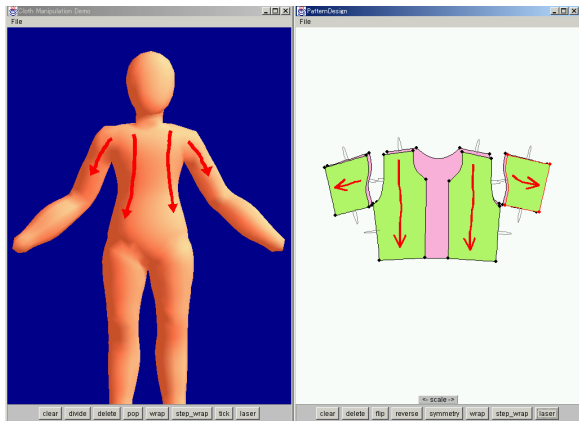


図 1:画面構成

(1) 対応する線を描くことにより服を着せる手法

衣服パターンができあがったあと、衣服パターンの上と3次元キャラクターの表面上に、対となる手書きの線を描くことにより、衣服をキャラクターの上はどう着せるかを指定する。描画に際しては、体の前後面に同時に線を引くレーザーモード[11]なども利用できる。描かれた線は2次元パターン上と3次元キャラクター上でそれぞれ順番がつけられており、同じ番号の線同士が対応付けられる。その後「wrap」ボタンを押すことによって衣服がキャラクターの上に配置される(図2)。本稿での例の場合、計算は約2,3秒で終了する。着せた後は、服が重力に引かれながらキャラクター表面上に広がるといった簡単な緩和計算が実行される。

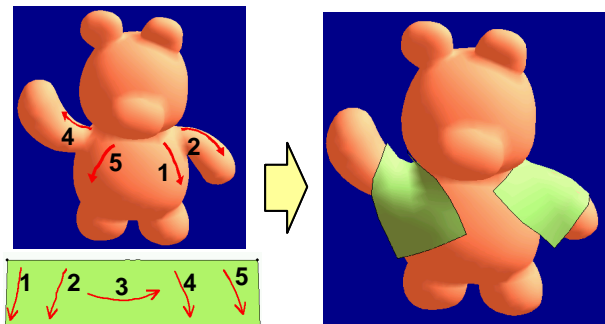


図 2:線を描くことによる着衣操作

なお、2次元ウィンドウ中の衣服だけでなく、着せた後の3次元空間中の衣服に対しても、同

様の操作を行うことができる(図3)。この操作は、以下に述べるドラッグ操作では実現の難しい移動を行うのに適している。

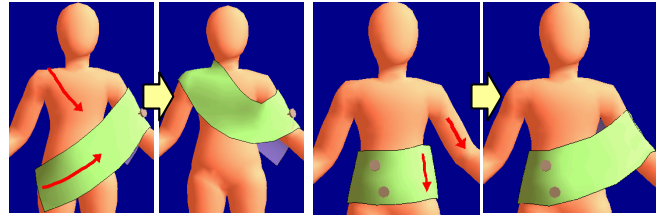


図 3:着た後の服の移動

図4に、本手法による着衣例を示す。なお、アルゴリズムは後で詳しく述べるようにベストエフォート型であり、常に矛盾のない結果を保証するものではないので、ユーザが不適切な線を描いた場合には破綻した結果が現れる。

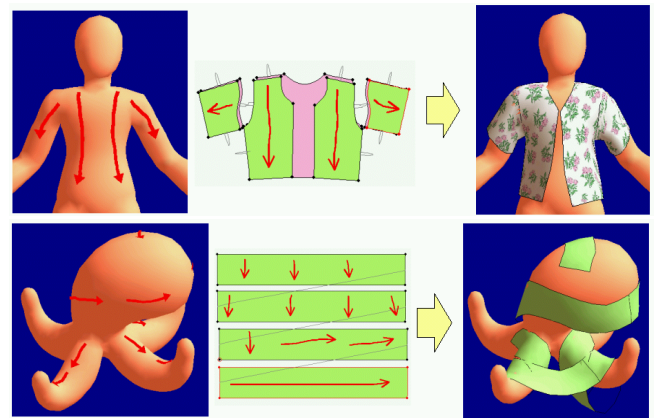


図 4:本手法による着衣例

(2) 着せた衣服の位置を調整する手法

キャラクターに着せた後、服の位置をドラッグ操作によって位置を変更することができる。このような操作は、通常の場合、ひとつの頂点あるいは複数の頂点を一方向に動かすだけなので、キャラクターを覆っている衣服全体を大きく動かすことが難しい(図5)。本システムでは、ユーザのドラッグ操作を明示的にキャラクターの表面に沿って伝播することで、衣服全体を上下させたり回したりするといった、より大きな動きを可能にしている(図6)。

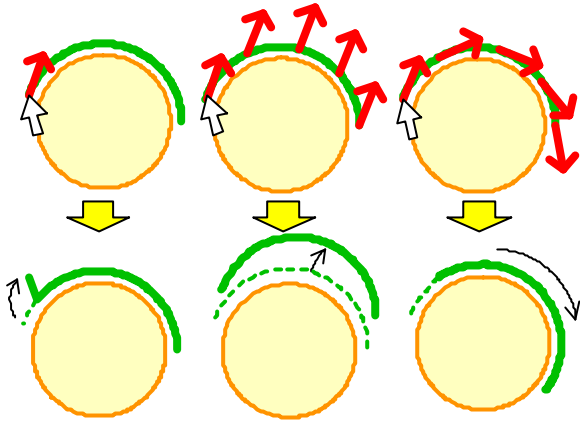


図 5:ドラッグ操作の比較。左:頂点のドラッグ、中央:剛体としてのドラッグ、右:キャラクタ表面に沿ったドラッグ

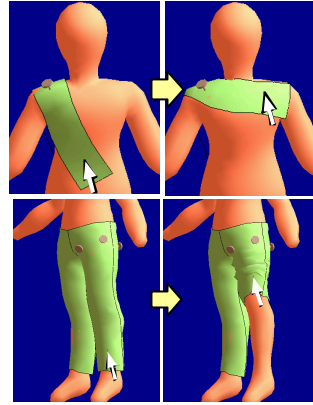


図 7:ピン止めの例

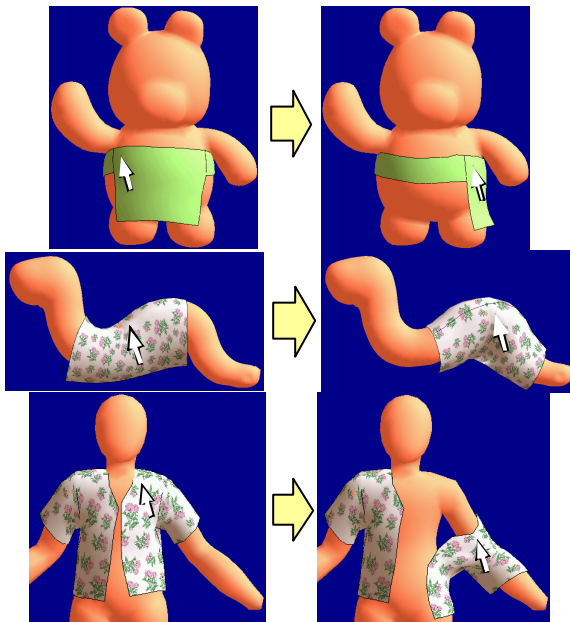


図 6:ドラッグ操作の例

ドラッグ操作においては、衣服の上にピンを打つことによって、その点を固定することができる。これにより、図7のように服を体表面上で回転させるような操作や捲り上げるような操作が可能となる。また、ドラッグ操作の伝播はピンのある場所でブロックされる形になるので、ピンを利用することにより操作する範囲を制御することが可能となる。図6の最後の例の場合には、ドラッグ操作の影響が右腕の方に及ばないように、背中に縦にいくつかピンが打ってある。

アルゴリズム

まず、個々の操作について、システムの動作を説明した後、それらの動作をサポートする基礎的な部分（服が体に沈み込まないようにしたり伸びすぎたりしないようにする処理）について説明する。

(1) 対応する線を描くことにより服を着せる手法

線を描いて服を着せる手法では、システムはまず、2次元の衣服パターンを3角形メッシュに分割し[21]、線が描かれている部分に相当する3角形ポリゴンをキャラクタ表面上に移す。その後、移されたポリゴンの周囲にポリゴンを順次、継ぎ足していくことによって衣服全体を再構成する。衣服を継ぎ足す際には、図8に示すような2通りの方法が考えられる。それぞれ長所短所があるが、本システムでは、図9に示すような回り込みを防ぐために左側の方法を採用している。すなわち、体表面上に沿うのではなく、すでにできあがっている衣服面を基準に服を継ぎ足している。

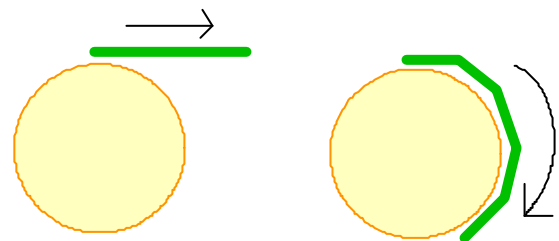


図 8:服を継ぎ足す際の2手法。左は、衣服自身を基準に延ばす。右は、体表面に沿って延ばす。

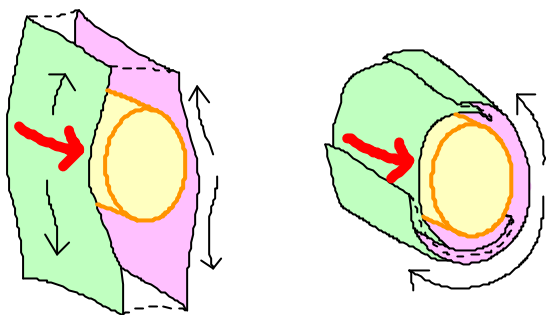


図 9:上記 2 手法の比較。右のように、体表面に沿った方法では、別々に伸びてきた布同士が折り重なることが多い。折り重なりは緩和計算でも解消が難しいので好ましくない。

衣服を成長させる際には、衣服の形状を維持するような緩和計算を入れることによって、メッシュが伸びすぎたり折りたたまれたりするのを防いでいる（緩和計算部分については後述）。

(2) 着せた衣服の位置を調整する手法

キャラクタ表面上でのドラッグ操作においては、まずマウスボタンが押し下げられた時点で、その点から衣服上の各点へと伝播するような依存グラフを計算する。その後、ドラッグ操作によって示された移動ベクトルを、その依存グラフに沿って伝播させることで衣服全体を移動する。伝播の過程でベクトルの方向をキャラクタ表面に沿って変化させることで、表面上での移動が実現される。ドラッグ操作においても、間に緩和計算を入れることで衣服の異常変形を防いでいる。伝播にあたっては、図 10 のように 2 通りの方法が考えられる。右側の方法では、衣服自身のもつ皺などに影響されやすく安定しないので、本システムでは、左側の方法を採用している。

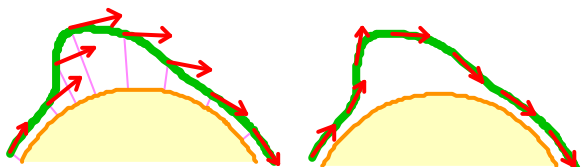


図 10:ドラッグ操作を伝播させる際の 2 手法。左側は体の表面方向に沿って、右側では布の表面に沿って伝播が起こる。

ピンを打ってドラッグを行う場合、単純にピン

止めされた点のみを動かさない、というやり方では図 11 上のように不自然な歪みが起こる。本システムでは、図 11 下のような効果を得るために、ドラッグ操作でつままれた点と、ピンとの間の距離を比較して、ドラッグ操作に対する移動量を適宜減衰させている。

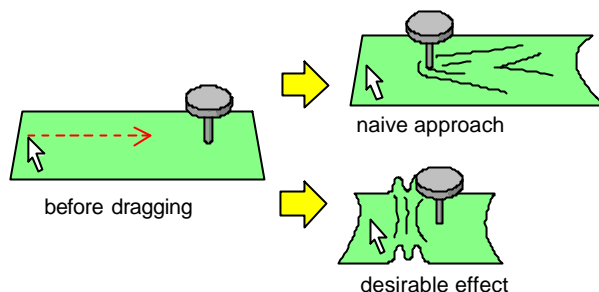


図 11:ピン止めの効果

(3) 衣服の形状を保つための処理

一連の操作において、衣服とキャラクタ表面との衝突計算を行うために、Skin[19]を拡張したような手法を用いている。すなわち、各フレームにおいて、総当たりの衝突判定をするのではなく、衣服の各頂点が、最寄りのキャラクタ表面をトラッキングすることにより、衣服の体表面への沈み込みを効率的に防いでいる(図 12)。

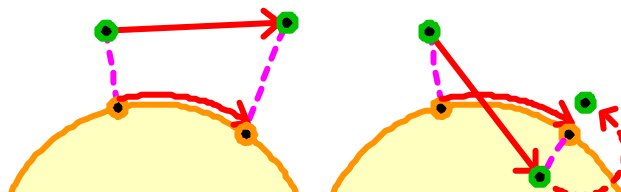


図 12:Skin を利用した衝突検出

緩和計算では、衣服が伸びすぎたり折りたたまれるのを防ぐために、通常衣服の物理シミュレーションを単純化したような処理を行っている（速度を計算せずに毎ステップ頂点を直接動かしている）。ただし、本システムでの緩和計算はあくまでも服を着せる際の補助となるような処理を行っているため、物理的に正確な動きを再現しようとするものではない。例えば、本システムでは、着衣操作を助けるように自動的に裏返った部分を元に戻すような処理を行っているがこれは物理的に自然な動作ではない。具体的には、衣服の個々の 3 角形メッシュにつ

いて元の形状に近づくように頂点を移動させて伸びや縮みを防ぐ処理[18]、それぞれのエッジについて隣り合う3角形メッシュの成す角度を180度に近づけるように変更して折りたたみを防ぐ処理、体表面に接している頂点の動きを減衰させて摩擦を表現したり地面方向に頂点を移動させて重力を表現する処理などを行っている。

衣服のメッシュが体の表面形状に対して十分細かい場合には、上で説明したような頂点レベルでの衝突判定で十分実用的に動作する。しかし、首や腕のように体表面が突き出している部分や、細くなっている部分ではうまくいかないで、簡単なボーンを入れる処理とメッシュの再分割といった処理を入れている。

ボーンは、図13のように腕や首をエッジが突き抜けてしまうのを防ぐものであり、例えば図1にあるような人間の上半身の場合で、6本のボーンを利用している、



図13:本システムの利用例

メッシュの細分割は、曲率の大きい体表面上にエッジがもぐりこむのを防ぐためのものである。エッジ同士の衝突判定を実際に行うのは重い処理になってしまうので、頂点毎に以下のような近似的な判定処理を行う。すなわち、図14の左のような状況で、 $(d+L)\sin q < L$ と $(d+L)\cos q < L$ の両方が成立したときに(LはエッジABの長さ)、エッジABと体表面との間に衝突があったとする(頂点B側でも同様の処理を行う)。これは、頂点Aにもっとも近い体表面の点Pの曲率を $1/L$ と仮定した場合の衝突判定を近似している。このような計算を行っているのは、もし曲率が十分小さければそもそも沈み込むことを心配しなくてもよいので、チェックが必要と思われる曲率の最低基準として仮に $1/L$ を利用しているためである。メッシュの再分割

に当たっては、 $\sqrt{3}$ subdivision [16] を利用している。

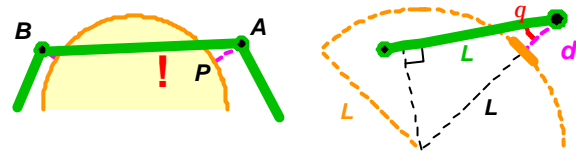


図14:再分割のためのエッジと体表面との衝突計算

実装と結果

プロトタイプシステムはJava™プログラムとして実装されている。3次元描画にはDirect3DをJNIを利用して呼び出している。図15に、本システムでデザインした衣服形状の例を示す。衣服の着付けは、線を引くだけなので数秒で完了する。左下の例は、ピン止めとドラッグ操作の組み合わせで実現されている。この場合には、ドラッグ中に積み重なった歪みを減らすために適宜ドラッグを中断して緩和計算を実行する必要があり、多少時間がかかっている(約1,2分)。右下の例は、本システムを始めて触ったユーザが1時間ほど操作した中で作成したものである。

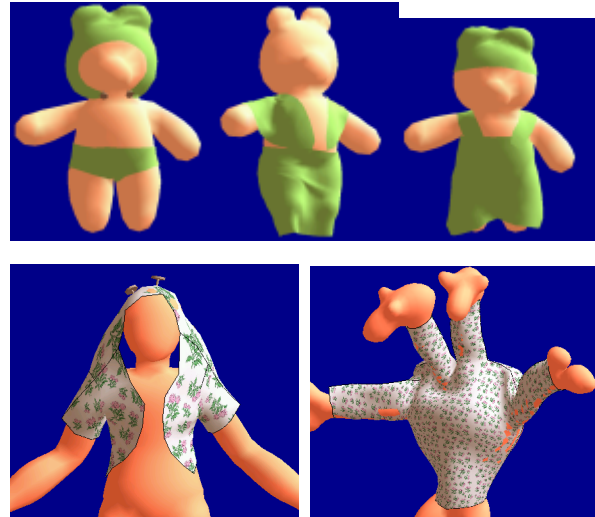


図15:本システムの利用例

まとめと今後の課題

本稿では、3次元キャラクタに簡単に服を着せる手法として、衣服パターン上と体表面上に対応する線を描いて着せる手法と、ドラッグ操作を明示的に伝播させる手法について紹介した。以下、今後の課題について述べる。まず、現在

の手法は服を体表面上に着せ付けるためのもので、空中で自由に操作するものではない。また、布同士の衝突計算も行っていないので、折り畳んだり結んだりといった操作ができない。今後はこれを拡張し、より多様な操作が行えるようにしていく予定である。線を描くことによって皺を自動的に生成するといった操作も実現したい[13]。

参考文献

1. Asahi AGMS, <http://www.agms.co.jp/>
2. D. Baraff and A. Witkin. Large steps in cloth simulation. *SIGGRAPH 98 Conference Proceedings*, pages 43-4, 1998.
3. D. Baraff, PIXAR. Personal communication, 2001.
4. T. Beier and S. Neely. Feature-based image metamorphosis. *SIGGRAPH 92 Conference Proceedings*, pages 35-42, 1992.
5. D.E. Breen, D.H. House, and M.J. Wozny. Predicting the drape of woven cloth using interacting particles. *SIGGRAPH 94 Conference Proceedings*, pages 365-72, 1994.
6. M. Carignan, Y. Yang, N. Magnenat-Thalmann, and D. Thalmann. Dressing animated synthetic actors with complex deformable clothes. *SIGGRAPH 92 Conference Proceedings*, pages 99-104, 1992.
7. F. Dachille IX, J. El-Sana, H. Qin and Arie E. Kaufman. Haptic sculpting of dynamic surfaces. *Proc. of Interactive 3D Graphics 1999*, pages 103-110, 1999.
8. M. Desbrun, P. Schroder, and A. Barr. Interactive animation of structured deformable objects. *Proc. of Graphics Interface '99*, pages 1-8, 1999.
9. DressingSim, <http://www.dressingsim.com/>
10. GERBER Technologies, <http://www.gerbertechnology.com>
11. T. Igarashi and D. Cosgrove. Adaptive unwrapping for interactive texture painting. *Proc. of Interactive 3D Graphics 2001*, pages 209-216, 2001.
12. T. Igarashi, S. Matsuoka, and H. Tanaka. Teddy: A sketching interface for 3D freeform design. *SIGGRAPH 99 Conference Proceedings*, pages 409-416, 1999.
13. S. Hadap, E. Bangerter, P. Volino, N. Magnenat-Thalmann. Animating wrinkles on clothes. *Proc. of the Conference of Visualization '99*, pages 175-182, 1999.
14. D. House and D. Breen. *Cloth Modeling and Animation*. AK Peters, 2000.
15. J. Hultquist. A virtual trackball. *Graphics Gems* (ed. A. Glassner). Academic Press, pages 462-463, 1990.
16. L. Kobbelt, $\sqrt{3}$ subdivision, *SIGGRAPH 2000 Conference Proceedings*, pages 103-112, 2000.
17. Lectra, <http://www.lectra.com>
18. H. Malan, Righthemisphere Inc. Personal communication, 2001.
19. L. Markosian, J.M. Cohen, T. Crulli and J.F. Hughes. Skin: a constructive approach to modeling free-form shapes. *SIGGRAPH 99 Conference Proceedings*, pages 393-400, 1999.
20. Maya Cloth, <http://www.aliaswavefront.com>
21. J.R. Shewchuk. Triangle: engineering a 2D quality mesh generator and Delaunay triangulator. *First Workshop on Applied Comp. Geometry Proc.*, pages 124-133, 1996.
22. 3ds MAX, www.ktx.com
23. P. Volino, N. Magnenat-Thalmann, *Virtual Clothing Theory and Practice*, Springer-Verlag, 2000.
24. J. Weil. The synthesis of cloth objects. *Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH)*, Vol. 20, No. 4, pages 49-53, 1986.
25. R.C. Zeleznik, K.P. Herndon, and J.F. Hughes. SKETCH: an interface for sketching 3d scenes. *SIGGRAPH 96 Conference Proceedings*, pages 163-170, 1996.