

双3次Bezierパッチの適応的分割を用いた衣服形状生成

花里 高宏[†] 筒口 拳[‡] 古川 貴雄[†] 曾根原 登[†] 清水 義雄[†]

[†]信州大学 繊維学部 感性工学科 [‡]NTT ヒューマンインタフェース研究所

本稿では、仮想空間内の人体モデルに衣服モデルを着装する方法について述べる。現実の衣服は人体の運動に伴って変形するので、骨格運動に基づく衣服モデルの変形(方法)を提案する。幾何的な拘束条件により決定される双3次Bezierパッチにより衣服モデルを構築し、衣服モデルの変形は大局的な変形と局所的な変形からなると仮定した。大局的な変形は人体モデルの骨格運動から、局所的な変形は衣服モデルと人体モデルの交差判定から決定している。結果として、歩行する人体モデルに伴った衣服の変形ができた。

Clothes Shape Construction Using Adaptive Subdivision of Bi-cubic Bezier Patches

Takahiro Hanazato[†] Ken Tsutsuguchi[‡] Takao Furukawa[†]
Noboru Sonehara[‡] Yoshio Shimizu[†]

[†] Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu Univ.
[‡] NTT Human Interface Laboratories

We present a method for wearing clothes models on a human body model. Since actual clothes are deformed by motion of the human body, we propose a deformation of the clothes model based on skeletal motion. Bi-cubic Bezier patches determined by geometrical constraint constructs the clothes model. We assume that global and local deformation determines the shape of the clothes. The global deformation is determined by skeletal motion of the human body model. On the other hand, the local deformation is determined by the collision detection between the clothes model and the human body model. Consequently, the clothes model can be deformed with the walking human body model.

1 はじめに

高性能なパーソナル・コンピュータやネットワーク環境の普及によって仮想的な空間でのコミュニケーションの場が広がりつつある。この空間では表情や動作に個性が表現され、CGにおいては表情・動作生成が重要な課題とされている。我々はそのような仮想環境上で着装シミュレーションを行なう。

従来の研究では力学モデルを用いる手法が提案されてきた [2][3][8]。これらのモデルは布の物理特性を反映させながら、着装時の衣服形状を予測している。これらのモデルはリアルな形状の再現性に優れていたが、数値計算の安定性や計算量などの点で問題があり、実時間での計算は困難である。

一方、幾何モデルを用いた手法が提案されている [5][7]。このモデルは形状が一意的に決まるために計算速度が速いという特徴がある。物理モデルと幾何モデルを組み合わせることでリアリティを追求しつつ計算の効率化を実現した。しかし、計算量が大きいという問題があった。

本研究では実時間における着装システムの構築の実現のため、(1) 衣服形状のデータ量の軽減、(2) 実時間で実行できるプログラム、(3) 計算の安定性の実現を目標とした。我々は幾何モデルとして、双 3 次 Bezier パッチによって衣服形状の生成、着装を検討した [7]。この手法では双 3 次 Bezier パッチの制御点を、着装させる人物像の骨格運動に合わせて操作することで動的な衣服形状の変形を実現している。しかし、この手法では大局的な形状変形しかできないため、例えば人物像と衣服の交差を回避するための局所的な変形ができないという問題があった。本手法は双 3 次 Bezier パッチの制御点操作による衣服形状の生成および、着装を局所的な変形にも対応できるよう発展させたものである。

2 人体・骨格モデルの構成

仮想環境における着装シミュレーションは人体モデルと衣服モデルから構成する。着装シミュレーションは、人体の姿勢変形を行なうための骨格モ

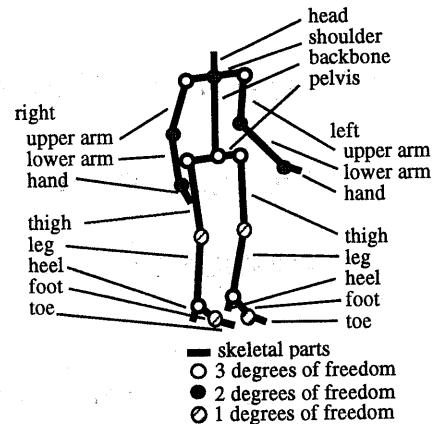


図 1: 人体の骨格モデル

デルと人体の表面を覆う皮膚モデルからなる人体モデルに対し、衣服モデルの形状を定義する制御点の位置の情報を与えることで行なう。

ここでは姿勢変形可能な骨格モデルを生成する。骨格モデルは人間の基本的な動作である歩行動作を表現するために図 1 に示す構成にした。

人体の皮膚モデル及び衣服モデルは双 3 次 Bezier パッチで生成した [9]。双 3 次 Bezier パッチ $Q(u, w)$ は以下の式で与えられる。

$$Q(u, w) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \binom{3}{i} u^i (1-u)^{3-i} \cdot \binom{3}{j} w^j (1-w)^{3-j} B_{ij}, \quad (0 \leq u \leq 1, 0 \leq w \leq 1) \quad (1)$$

このとき B_{ij} ($i, j = 0, 1, 2, 3$) は 16 個の双 3 次 Bezier パッチの制御点である。人体の表面である皮膚の形状を、楕円形横断面の重なりからなる一般化円錐 [4] であると仮定し、骨格を主軸に対応させた。また、衣服形状の作成については人物モデルの胴体の横断面を偏平率の異なる 2 つの半楕円の重なりと仮定し、それに合わせた衣服形状を生成した。一般的に人体の前部は偏平率が大きく、後部は偏平率が小さい半楕円になる。

3 衣服の着装と形状変形

人体モデルへ衣服モデルを着装させる手法を述べる。ここでは衣服形状の変形が問題になる。変形操作は大局的な変形と局所的な変形に分ける。衣服形状の変形は次のような手順で行なわれる。

1. 大局的な変形では骨格モデルの姿勢に応じた衣服形状の概形を生成する
2. 衣服と人体の間で交差判定を行なう
3. 交差を生じた部分に対応する双3次Bezierパッチを細かく分割する
4. 交差を生じた位置には局所的な変形を行なう

双3次Bezierパッチは大局的な変形しかできない。交差を生じた位置は局所的な変形を行なう必要がある。この部分に対応する双3次Bezierパッチを細分割し、小さなパッチ数を増やすことで局所的な変形を表現する。

3.1 衣服の大局的変形

骨格モデルの運動に合わせた衣服の変形は、双3次Bezierパッチの制御点を骨格モデルの運動系に対応付けることで実現する[7]。骨格モデルが3次元空間を運動したとき、制御点是对応付けられた骨格モデルの部品に伴って移動する。その結果、運動中の姿勢に合わせた衣服形状が、制御点の位置から決定できる。この操作によって衣服の概形を形成できる。

3.2 衣服と人体の交差判定

交差判定は衣服モデルを三角平面、皮膚モデルをワイヤフレームに近似して行なう。

今、図2に示すように、衣服の平面近似モデルを構成する三角平面が頂点 V_0, V_1, V_2 からなるとき、この三角平面と、ユークリッド空間上のある点 V_a が三角平面 V_0, V_1, V_2 の作る2つ半空間のどちらに存在するかをスカラー三重積

$$S_{a012} = [\overrightarrow{V_0V_a}, \overrightarrow{V_0V_1}, \overrightarrow{V_0V_2}] \quad (2)$$

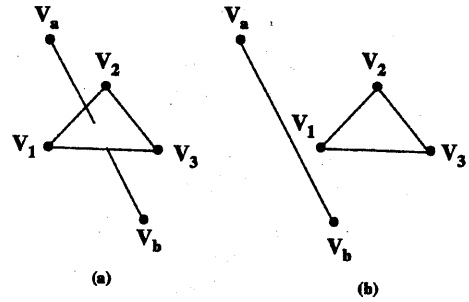


図2: 交差判定

- (a) 交差している線分と三角平面
(b) 交差していない線分と三角平面

を求めることで知ることができる。このとき、次の条件式を満たす場合に衣服と人体が交差している[11]。

$$S_{a012} \geq 0, \quad S_{b012} \leq 0 \text{ のとき}$$

$$\begin{cases} S_{a012} S_{b012} \leq 0, \\ S_{ab01}, S_{ab12}, S_{ab20} \geq 0. \end{cases} \quad (3)$$

$$S_{a012} \leq 0, \quad S_{b012} \geq 0 \text{ のとき}$$

$$\begin{cases} S_{a012} S_{b012} \leq 0, \\ S_{ab01}, S_{ab12}, S_{ab20} \leq 0. \end{cases} \quad (4)$$

3.3 双3次Bezierパッチの分割

図3(a)に示すようなDe Casteljauのアルゴリズムによって双3次Bezierパッチの細分割を行なう。De Casteljauのアルゴリズムは以下のように表される。

$$p_k^0(t) = P_k \quad (k = 0, 1, 2, 3) \quad (5)$$

$$p_k^r(t) = (1-t)p_{k-1}^{r-1}(t) + tp_k^{r-1}(t) \quad (r = 1, 2, 3, k = r \dots 3) \quad (6)$$

このDe Casteljauのアルゴリズムは、図3(b)のようにして双3次Bezierパッチに適用できる。図3(b-1)において、 i 方向に並ぶ4個の制御点にDe Casteljauのアルゴリズムを適用させると図3(b-2)

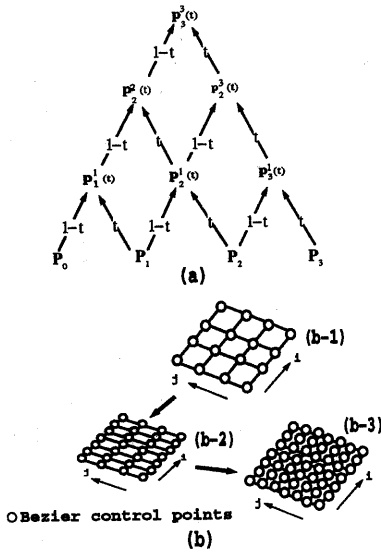


図 3: De Casteljau のアルゴリズム
 (a) De Casteljau のアルゴリズム
 (b) 双 3 次 Bezier パッチの細分割

になる。図 3(b-2) の 28 個の制御点の j 方向に並ぶ 4 個の制御点に De Casteljau のアルゴリズムを用いる。これらの操作により初期の双 3 次 Bezier パッチの形状を保存しつつ、4 枚の双 3 次 Bezier パッチに細分割可能な制御点を導くことができる。

3.4 衣服形状の局所的変形

衣服の初期形状と人体モデルで交差判定を行ない、図 4(a-1) のように交差判定が生じたときに、交差を生じた双 3 次 Bezier パッチを図 4(a-2) のように 4 枚に細分割する。新たに生成した 4 枚の双 3 次 Bezier パッチ、それぞれを人体モデルと交差判定を行ない、さらに交差を生じた双 3 次 Bezier パッチだけを細分割し、再び交差判定を行なうという操作を階層的に行なう。

双 3 次 Bezier パッチの細分割、交差判定を行なった際、4 枚に細分割された双 3 次 Bezier パッチのうち、図 4(a-3) のように隣合う 2 枚以上が人体

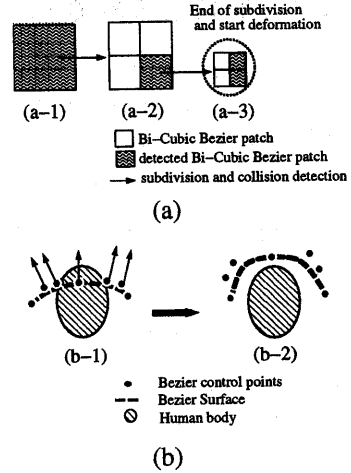


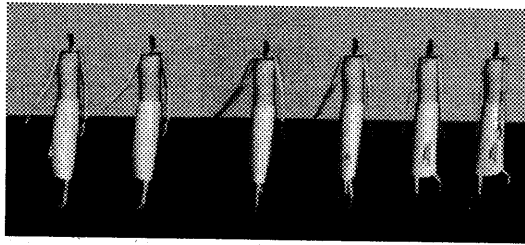
図 4: 階層の深さ
 (a) 階層の深さ (b) 衣服形状の変形

と交差していれば分割を終了する。変形は図 4(b) のように制御点の操作によって衣服と人体の交差を回避するように変形させる。制御点は図 4(b-1) のように骨格運動の運動の方向へ移動させる。この操作を行なった後、再びこの双 3 次 Bezier パッチと人体の間で交差判定を行なう。この操作を図 4(b-2) のように交差が生じなくなるまで反復させ、局所の変形を終了する。この操作により、衣服と衝突した人体モデルによって押し出される衣服形状が再現できる。

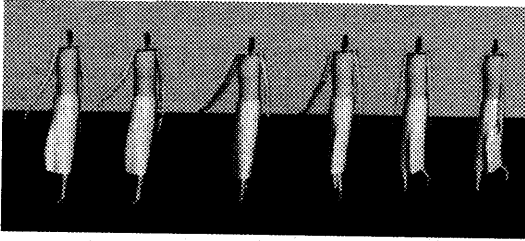
4 実験結果

計算実験は SGI 社の Indigo²™ (R4400:250M Hz) で行なった。計算実験では歩行アータを文献 [1] の歩行動作生成アニメーションシステムによって生成された平地直線歩行動作を用いた。この歩行動作は一步あたり 36 フレームからなる。

図 5 は衣服を着装させた際の、歩行動作に伴う衣服形状の変形を示す。図 5(a) は大局的な変形を行なったもの。図 5(b) はさらに局所的な変形を行なったものである。図 5(a) において、膝が大きく曲がる場合、人体の一部が衣服と交差しているの



(a)

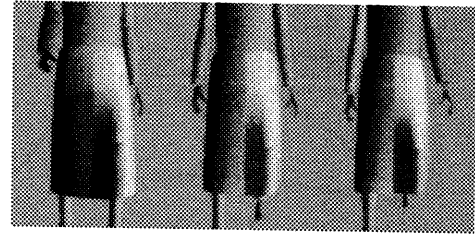


(b)

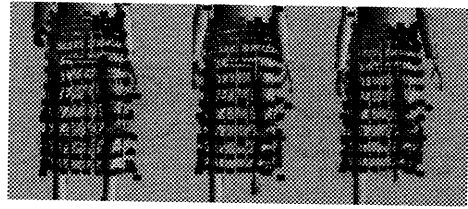
図 5: 衣服を着装した歩行モデル
(b) 大局的変形 (a) + 局所的変形

が分かる。それに対して図 5(b) は、人体と衣服が交差した衣服部分を局所的に変形させることで交差を回避し、衣服と接触した人体部分が、衣服を進行方向に押し出す効果を実現している。

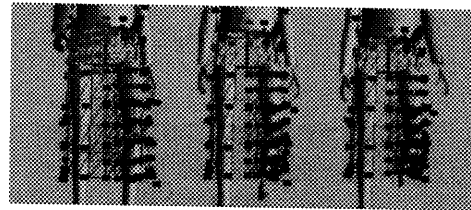
図 6では、適応的な双 3 次 Bezier パッチの分割を示している。図 6(b) と図 6(c) の人体のまわりの点は、双 3 次 Bezier パッチの制御点である。どちらのスカートも初期形状を同じ 2 枚の双 3 次 Bezier パッチで生成している。図 6(a) は歩行の際、衣服と衝突した左膝がスカートを押し出す様子を示している。図 6(b) は交差の生じた双 3 次 Bezier パッチを 32 枚の双 3 次 Bezier パッチに均等に分割した場合の制御点を示している。図 6(c) では双 3 次 Bezier パッチの分割を適応的に行い、交差の生じた部分だけ分割を行なっている様子を示しており、左膝付近だけ制御点の数が増えているのが分かる。このとき双 3 次 Bezier パッチの数は最大で 10 枚になっている。このように本手法では適応的に双 3 次 Bezier パッチを分割して、必要な部分にだけ双 3 次 Bezier パッチを増やすことで計算効率を改善している。



(a)



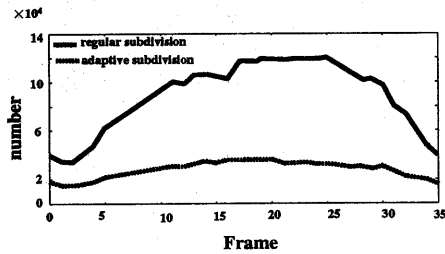
(b)



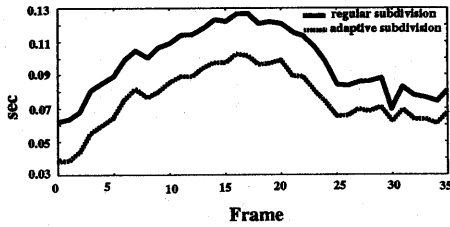
(c)

図 6: 歩行動作に伴う双 3 次 Bezier パッチの分割
(a) 発生する衣服形状 (b) 均等な分割
(c) 適応的な分割

図 7(a) のグラフは、着装モデルの歩行動作の際、双 3 次 Bezier パッチを均一に分割した場合と、本提案手法による適応的な分割の場合のスカートと人体の交差判定の回数を比較したものであり、図 7(b) はそのときに要した時間を比較したものである。グラフではフレーム数を横軸に取り、図 7(a) では縦軸に交差判定回数、図 7(b) では縦軸に交差判定に要した時間を取った。それぞれのグラフは実線が均一な分割、破線が適応的な分割を示す。不必要に双 3 次 Bezier パッチを増やさない本提案手法に従った適応的な分割では、交差判定の回数が均等な双 3 次 Bezier パッチの分割の場合と比べて減少している。また計算時間は、交差判定の回数が増えるのに従って増えているのが分かる。



(a)



(b)

図 7: 交差判定回数と計算時間の比較

(a) 交差判定回数の比較

(b) 計算時間の比較

5 結論

本手法によって、双3次Bezierパッチを用いることにより衣服形状の生成を実現した。また、交差判定を含んだ衣服形状の変形を高速化した。その理由としては、(1)初期の衣服形状を少ない双3次Bezierパッチで生成し、適応的に双3次Bezierパッチの数を増やしたこと、(2)不要な分割を行わないことで交差判定回数を低減したことが上げられる。

本手法における着装シミュレーションは、少ない衣服形状のデータ、優れた計算効率により、ネットワーク上での実用化が期待できる。今後は、ネットワーク上で着装シミュレーションを行なえるシステムを構築し、本手法の有効性を立証していきたい。そのためにはさらなる計算の高速化、数値計算の安定化が必要である。

謝辞

本研究に対し御指導頂いた徳永幸生NTTヒューマンインタフェース研究所映像処理研究部長、並びに御討論頂いた映像処理研究部の皆様に感謝致します。

参考文献

- [1] 筒口 準, 境野 英朋, 渡部 保日児: “地形適応型歩行動作生成手法を用いた人物の歩行アニメーション”, 信学論(D-II), Vo.J-77-D-II, No.8, pp.1663-1670, 1994.
- [2] H.Okabe, H.Imaoka, T.Tomiha and H.Niwaya.: “Three Dimensional Apparel CAD System”, ACM Computerm Graphics (Proc.SIGGRAPH '92), Vol.26, pp.105-109, 1992.
- [3] 松田 亮治, 今岡 春樹: “CGによる姿勢変化可能な人体モデルへの衣服の着付法”, 繊維学会誌, No.51, pp.229-233, 1995.
- [4] デビッド・マー 著, 乾 敏郎, 安藤 広志 訳: “ビジョン-視覚の計算理論と脳内表現-”, 産業図書, 1988.
- [5] 坂口 嘉之, 美濃 導彦, 池田 克夫: “仮想服飾環境PARTY-人体が動く場合の衣服形状計算法”, 信学論(D-II), Vo.J-79-D-II, No.10, pp.1712-1718, 1996.
- [6] T.Ogino, Y.Kameda, Y.Sakaguchi, M.Minoh, K.Ikeda: “A Collision Detection Method for Interacting with Virtual Weaven Cloth”, Proceeding of International Conference on VSSM '96 in Gifu, pp.129-134, September, 1996.
- [7] T.Saeki, T.Frukawa and Y.Shimizu.: “A Dynamic Clothing Simulation Based on Skeletal Motion of Human Body”, Proceeding of International Conference on VSSM '96 in Gifu, pp.117-122, September, 1996.
- [8] M.Carignan, Y.Yang, N.M.Thalman, and D.Thalman.: “Dressing animated synthetic actors with complex deformable clothes”, Computer Graphics, Vol26, No.2, 1992.
- [9] Koji Komatsu.: “Human skin model capable of natural shape variation”, Visual Computer, 265-271, 1988, 3
- [10] 杉原厚吉: “グラフィックスの数理”, 共立出版, 1995.
- [11] 山口富士夫: “形状処理工学”, 日刊工業新聞社, 1982.