

## 直観的・対話的な自由曲面モデリングに関する一考察

前野 輝<sup>†</sup>, 岡田 稔<sup>††</sup>, 鳥脇 純一郎<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 名古屋大学大学院工学研究科情報工学専攻

<sup>††</sup> 中部大学工学部情報工学科

**あらまし:** 三面図は点や直線を仮想空間に数値的に正確に配置するための最もポピュラーかつ重要な道具である。しかし、その操作性は著しく直観性に欠け、ユーザに特殊な技術と知識を必要とする。私達は形状創成過程におけるデザイナーの初期発想支援として、人間が粘土を触るようなわかりやすい直観的な操作によってラフな形状を創成可能なシステムを提案している。従来研究として直観的変形操作を可能とするような双三次ベジエ曲面を用いた変形手法について述べた。本研究では、この変形手法を用い、ユーザと計算機との間の対話操作を付加させることにより、直観性のあるユーザインタフェースの実現を目指している。本システムでは形状変形に際し、ユーザの手の動きを入力するために、サイバークロブと三次元位置センサを用いる。しかし、サイバークロブには力覚フィードバックが存在せず、そのうえユーザと計算機との対話が不十分であるために、ユーザの意図しない指の動きに対しても形状変形がおこるなどの問題が存在した。そこで、本論文ではユーザの意志が反映されるような計算機との対話操作に関する一考察を行う。

## A Fundamental Study for Intuitive Shape Modeling Manipulation of Freeform Object

Kagayaki MAENO<sup>†</sup>, Minoru OKADA<sup>††</sup> and Jun-ichiro TORIWAKI<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Department of Information Engineering, School of Engineering, Nagoya University

<sup>††</sup>Department of Information Engineering, College of Engineering, Chubu University

**Abstract:** Orthographic views is a most popular and important tool for shape modeling, and it can set points and lines with numerical accuracy in a virtual space. However its operation are not intuitively, and users are required special technique and knowledge. Therefore we have proposed a supporting system for initial shape design. In it, users can model virtual objects by touching clayish object. In the past study, we have proposed a deformation method for bi-cubic bezier surface. In this study, we aim to realise intuitive user interface by using deformation methods and adding dialogue operation sysytem. Our system use cyberglove and 3D positioning sensor to input finger movement. However cyberglove does not have force feed-back system, and system can not communicate well. System deform surface by user's movement of finger without intension. In this paper, we propose a dialogue operation between user and computer.

## 1 はじめに

CG制作における形状モデリングは仮想世界を構築する上で最も基礎的かつ重要な部分であり、今後ますます必要となる作業である。しかし、CG制作現場における形状モデリングツールは、多くの場合形状に対して数値的正確性が要求されるため、三面図を用いられる。しかし、これらのツールはユーザに特殊な知識や慣れを必要とするため、使いこなすためには多大な労力と慣れを必要とする。これに対し、現実世界で形状を創成する場合私達は木を切削したり粘土を押ししたりして形状を創成することが多く、これらの作業はわかりやすく直観的であり、このような作業でCG制作を行うことが可能であれば、容易にデザイナーの発想を具現化することも可能になる。また、ユーザは直観的な操作性を通して仮想世界の形状を触りながらその制作過程を楽しむことも可能であり、従来、特定のユーザにしか受け入れられなかった形状モデリングが多くの人間に受け入れられると考えられる。

三面図のような数値的正確性を追求するのではなく、直観的操作性を重視するような形状モデラに関する研究として、マウスをドラッグすることによりプリミティブを切削し形状を創成する水野ら [1][2] の仮想彫刻や会話テキストを入力することにより形状創成可能な河合ら [3][4] の Do が挙げられるが、生成される形状は強い拘束を受け、CSG を用いているため自由曲面の表現及びモデリングが困難である。また、2次元で描かれた形状を3次元化することにより直観的に形状創成を行うことが可能な Igarashi ら [5] による Teddy が存在する。これは2次元で描かれた形状を3次元化することにより直観的に形状創成が行うことが可能であるが、トポロジ的な強い拘束を受ける。

本研究ではデザイナーの初期発想支援システムとして、ユーザが指で押ししたり引っ張ったりという単純かつ直観的な動作でパラメトリック曲面で囲まれた仮想物体のラフ形状を創成できるようなシステムを目指している。そのための基礎検討として従来双三次ベジエ曲面の直観的変形手法 [6][7] について提案してきた。本システ

ムでは、ユーザの手の動きを仮想空間に反映したいので手の動きを入力するデバイスとしてサイバークロップと三次元位置センサを用いる。そしてユーザはディスプレイに表示された仮想手を見ながら操作を行う。サイバークロップを用いた対話操作では舟橋ら [8] の仮想手による物体の対話操作システムがある。このシステムでは仮想空間に現実空間と同じような物理現象を実装し、仮想物体操作可能なシステムである。一般的に現実世界は直観的でわかりやすいが、重力等の様々な不都合な自然現象も存在する。そこで本論文では形状モデリング操作に関して現実世界の直観性と仮想空間の都合良さを組み合わせた対話操作に関する検討を行う。

## 2 変形概要

本システムでは数理的に単純な双三次ベジエパッチ [9] を組み合わせることにより一曲面を生成する。一曲面はその領域内で連続であるとし、これらの曲面を組み合わせることにより仮想物体を表現する。一般に双三次ベジエパッチは制御点の移動によりパッチ変形が可能であるが、あらかじめ決められた形状にあわせて各制御点の移動量を決めるというアプローチをとった場合、高次式を解くことになり解析的に求めることは困難である。本システムではユーザの指の動きにインタラクティブでかつリアルタイムな変形が要求されるので、計算量の少ない高速な変形手法が必要である。そこで、本研究ではパッチ毎にパラメータ空間で等間隔にサンプリングされ、制御点 ( $P$ ) とバーンスタイン写像 ( $B$ ) によって算出される曲面上の点 (以下、サンプル点 ( $S$ ) という) を導入した。

$$S = BP \quad (1)$$

また、変形過程において、ユーザからのパラメータ入力によって変形後の理想形状を決定する関数 (以下、形状関数という) を導入した。そして、図1より、形状関数のパラメータが決定されると、サンプル点を形状関数で定められた移動ベクトル ( $F$ ) に沿って理想形状へ移動し、バーンスタイン逆写像によってパッチ毎に

制御点を決定する。

$$P = B^{-1}(S + F) \quad (2)$$

しかし、この手法はパッチ毎に独立しているため、パッチ間の連続性が保証されないため文献 [7] の手法を用いて、縮退点と非縮退点の2通りに分けて制御点を調整を行い変形が完了する。

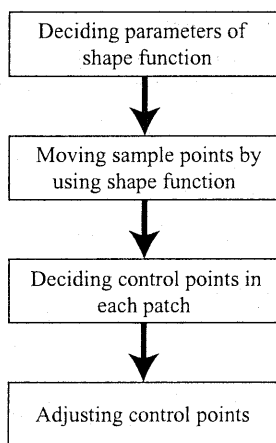


図 1: 変形過程

### 3 対話システム

#### 3.1 問題点

ユーザは手にサイバークロブと三次元位置センサを装着し、手の姿勢及び位置を 30[msec] 毎に計算機に取り込み、仮想空間内に仮想手を表示することが可能である。ユーザはディスプレイに表示された手を見ながら、手を動かし、仮想手が仮想物体に触れた場合、システムでは 2 の変形原理を用い“押す”という形状変形がおこるような構造になっている。しかし、ユーザとシステム間の対話が不充分であるため、ユーザは指が曲面に触ったかどうかを曲面形状が変形したことのみしか判定できないし、ユーザの意図しない指の動きに対しても形状変形が起こるなどの問題があった。

#### 3.2 必要とされる対話内容

現実世界で粘土のような物体を触り変形するという過程を想定した場合、ユーザと物体との

間にはまず手が物体に触れたかどうか、変形位置はどこか、どのような変形を行うかという 3 段階の対話が存在する。現実世界ではこれらの対話は一方向にしか進まず、変形後に変形前の形状に戻すことは困難である。しかし、仮想空間内でこれらの対話内容を実装する場合、進行中の対話操作に対してやり直しが可能である。そこで、以下の 4 つの対話内容に関して実装することにした。

- 仮想手と仮想物体との衝突判定
- ユーザへの変形位置の意志確認
- 指の動きによる変形パラメータの決定
- 変形決定かどうかの意志確認

#### 3.3 実現環境

3.2 のような対話内容を実現するための理想的な環境としてはユーザの手に曲面の触感が得られ、ユーザの意志確認が可能であるような、5 指の力覚フィードバックが存在し、マウスボタンのような入力デバイスを持ったサイバークロブが必要であると考えられる。仮想空間内の物体に対して、現実世界の手に触感を伝えるデバイスとしてハプティック・ディスプレイが挙げられるが、5 指に触感を伝えることは困難である。また、変形に関する意思確認を手で装着されたサイバークロブだけで行うことも困難である。そこで、ユーザが曲面から得ることのできない触感の代わりに、ユーザが曲面に触った場合に曲面の色が変わるような視覚に訴える構造にして、ユーザの意志確認のためにキャラクター入力デバイスを用いることにした。

#### 3.4 対話システム概要

具体的な対話操作の流れは図 2 のようになる。ユーザは右手にサイバークロブと 3 次元位置センサを装着し、左手でキーボードを押しながら操作を行う。まず、ユーザは仮想空間に表示された仮想手を動かし、曲面との衝突判定を行う。衝突判定に関する具体的手法は 4 で述べるが、仮想指が曲面に衝突した場合、その曲面の色が赤に変わる。ここで、ユーザがキー

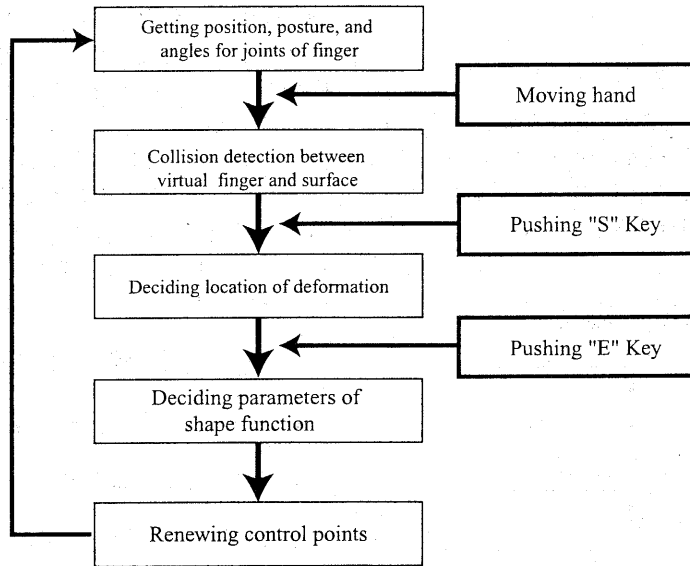


図 2: 対話システム

ボードの“S”を押した場合、変形位置が決定する。次に、ユーザが曲面と衝突した指を動かすと、5で述べる形状関数を用いて逐次に変形形状が表示され、ユーザは視覚で確認することができる。ユーザが形状を決定したときにキーボードの“E”を押すことにより形状が決定される。しかし、途中で“C”を押すことにより実行中の対話操作を中断可能である。

#### 4 衝突判定

本研究での仮想手は図3のように間接座標値をもっており、間接の間の骨は直線で表される。したがって仮想手と曲面との衝突は、骨を表す直線と曲面に交差判定で行う。双三次ベジエパッチの場合、パッチ上の座標値は2つの変数パラメータ $u, v$ の三次関数で表現されるため交差点を一意に決定することは困難であるし、数値解析によって算出することは可能であるが計算量も多くなる。そこで、これらの計算を簡略化するためにパラメトリック曲面で表現された物体をポリゴン表現にしてポリゴンとの交差判定を行うことにした。文献[10][11]より、一般に凸ポリゴンであれば直線との交差判定が可

能であることから、双三次ベジエパッチを三角形ポリゴンで表現した。双三次ベジエパッチからポリゴンデータへの変換方法にはサンプル点を用いる。各パッチは16点のサンプル点を持っていることからこれらを頂点として図4のように結び、三角形ポリゴンを生成する。ポリゴンと直線との交差判定は以下の手順でおこなう。

- ポリゴンを含む平面と指を含む直線の交差判定
- 交差点が指領域かどうかの判定
- 交差点がポリゴン領域かどうかの判定

#### 5 形状関数“押す”

この形状関数は、文献[6]を基にしている。ユーザが“S”キーを押して変形位置を指定し、“E”キーを押して仮想指の移動ベクトルを指定すると図5のような断面が二次関数で表されるような形状を生成する。この関数は指を動かす方向によって曲面をへこませたり膨らませたりすることが可能である。以下は本形状関数のパラメータである。

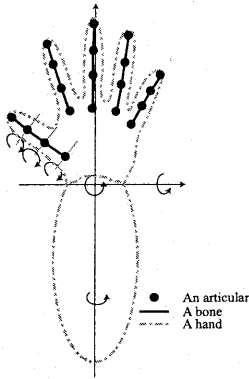


図 3: 仮想手

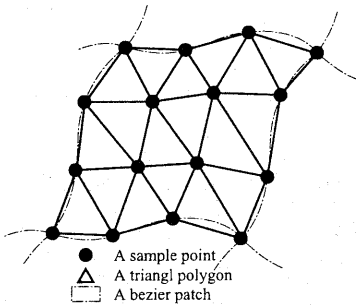


図 4: 双三次ベジエパッチのポリゴン変換

- $M$ : 仮想指の移動ベクトル
- $r_f$ : 指の太さ
- $d$ : サンプル点の移動量
- $r$ : サンプル点  $P$  から仮想指までの距離

移動量  $d$  および変形領域は式 (3) で表される.

$$d = a \cdot r^2 - b \quad (0 \leq r \leq \sqrt{\frac{b}{a}}) \quad (3)$$

$$a = \frac{|M|}{r_f^2} \quad b = |M|$$

## 6 実験

3.4 で述べた対話システムを実装し、実際に双三次ベジエパッチで構成された形状の変形を試みた。本実験では変形前の形状として 100 枚

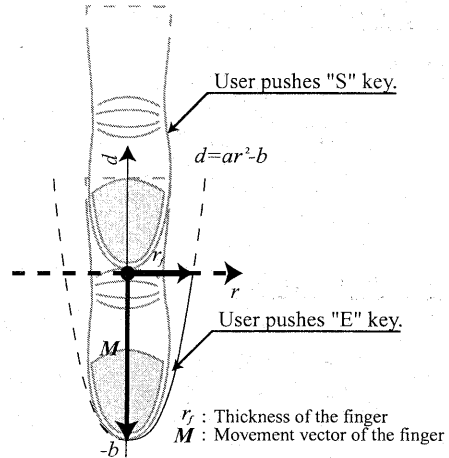


図 5: 形状関数“押し”

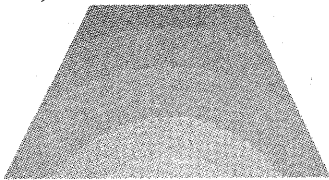
のパッチを格子状に並べた平面と Utah Teapot を用いた。図 6 では仮想指を単純な線で表しており、これで行った。(A-2) では、仮想手が平面に触れて平面の色が変化し、手の動きにあわせて形状変化する様子をしめしている。そして、E キーを押すことにより形状決定され、物体の色も (A-3) のように元に戻ることがわかる。本システムでは、変形に際しパッチ間は必ず  $C^1$  連続になるため、表面形状が連続でない複雑な物体の変形の場合では、(B) のようにいくつかの曲面単位で変形を行っている。Utah teapot の場合、5 つの曲面で構成されており、仮想指で Teapot を触れると (B-1) のようにひとかたまりの曲面の色が変わる。次に“S”キーを押して変形位置を決めると、選択された曲面内部のみで変形操作が行われることがわかる。

## 7 まとめ

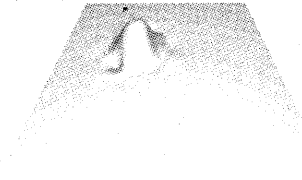
本研究では従来研究の双三次ベジエパッチの直観的変形手法にユーザの意志が反映されるような対話操作の一検討としてサイバークロップ、三次元位置センサを、ユーザの意志決定デバイスとしてキーボードを用いたユーザインタフェースについて述べた。現段階ではサイバークロップが力覚フィードバックシステムを持っていないので、ユーザが仮想物体に触った

A plate(10 by 10 patches)

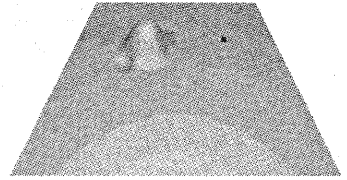
(A-1)



(A-2)

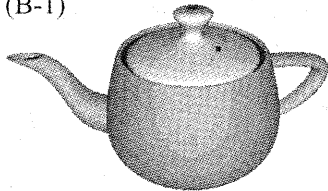


(A-3)

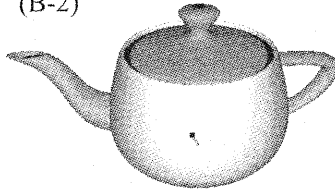


A teapot(212 Patches)

(B-1)



(B-2)



(B-3)

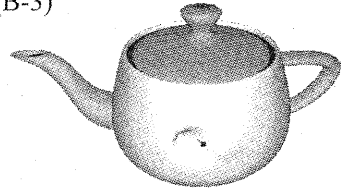


図 6: 実験 : 変形過程

場合に仮想物体の色を変えることによりユーザの視覚で仮想物体に触れたかどうかを検知可能にした。また、その変形システムではユーザは自由曲面を直接触れることはできないものの、その形状に近いポリゴンに触れることにより衝突判定を行い、4種類の対話内容をおくことによりユーザが反映されるような変形システムについて述べた。この手法を用いることによりユーザの意志を反映させた対話操作が可能であることを確認した。今回はユーザの意志を確認するためにキャラクター入力デバイスを用いたが、今後はこのようなデバイスの代わりに左手でジェスチャー等を行い意思表示可能なシステムの検討を行う予定である。

参考文献

- [1] 水野慎士, 岡田稔, 鳥脇純一郎: 仮想彫刻 - 仮想空間における対話型形状生成の一手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 38, No. 12, pp. 2509-2516, 1997.
- [2] S. Mizuno, M. Okada, and J. Toriwaki: An Interactive Designing System with Virtual Sculpting and Virtual Woodcut Printing, *Computer Graphics Forum: J. of the Eurographics Assoc.*, Vol. 18, No. 3, pp. 184-193, 409, 1999.
- [3] Y. Kawai, Y. Higashiyama, K. Koyama, and M. Okada: A Fundamental Study on

a Natural-Language-Based 3D CG Modeling, *Proc of IEEE-SMC '99*, Vol. V, pp. 714-719, 1999.

- [4] 河合善之, 岡田稔: 自然言語による幾何形状モデリングと画像合成の一手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. 5, pp. 1161-1169, 2001.
- [5] T. Igarashi, S. Matsuoka, and H. Tanaka: Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design, *proc. of ACM SIGGRAPH'99*, pp. 409-416, 1999.
- [6] 前野輝, 岡田稔, 鳥脇純一郎: 形状関数を用いた双三次ベジエ曲面の直観的変形手法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 5, No. 1, pp. 811-818 2000.
- [7] 前野輝, 岡田稔, 鳥脇純一郎: 直観的自由曲面モデリングシステムにおける対話操作の検討, 情報処理学会全国大会, 2001.
- [8] 舟橋健司, 安田孝美, 横井茂樹, 鳥脇純一郎: 3次元仮想空間における仮想手による物体操作モデルと一実現法, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J81-D-II, No.5, pp.822-831, 1998.
- [9] 鳥谷浩志, 千代倉弘明, “3次元CADの基礎と応用”, 共立出版, 1991
- [10] 杉原厚吉, “グラフィックスの数理”, 共立出版, 1995
- [11] 千葉則茂, 土井章夫 “3次元CGの基礎と応用”, サイエンス社, 1997.