

VR 環境下での FFD を用いた 物体の硬さ判定に関する研究

吉田 剛宗, 井門 俊

愛媛大学大学院理工学研究科情報工学専攻,
愛媛大学工学部情報工学科

<あらまし>VR 環境下においては, より, リアルな仮想環境を実現するために, 触った物体の硬さによって物体の変形具合が異なる必要がある. そこで, 本論文では, FFD という手法を用いて, 物体に硬さを持たせる手法を提案する. FFD という手法は, 本来, 3 次元形状を自由に变形させるための手法である. この自由度を操作することで, 物体の硬さを自由に变化させる事ができる手法を提案する. そして, 硬さの異なる同物体に, 一定の同じ強さの力を与えた場合の変形具合を比較して確認した.

Hardness decision of the object using FFD under the VR environment

Taketoshi Yoshida, Shun Ido

Graduate Course of Computer Science, Ehime University,
Department of Computer Science, Faculty of Engineering, Ehime University

<Summary>The deformation condition of the object must have the concept of hardness of the object under the VR environment. Therefore, we propose the technique which make the object have hardness by improving FFD(Free-Form Deformation). Though FFD is the technique primarily to make free deformation of three-dimensional shape. We propose the technique which makes it possible change the hardness by controlling the degree of freedom. Finally we confirm the shapes, after and before deformation, when the constant power was given to the same objects which have different hardness.

1 まえがき

近年, コンピュータグラフィックス (CG) は, 映画, テレビ, ゲーム, 設計, バーチャルリアリティ (VR) など, 様々な場面で利用されるようになって来た. 特に, VR 環境下においての CG 作成の手法については盛んに研究が行われている [1].

映画やテレビなどでの CG 作成手法は, あらかじめ時間をかけて, 高品質な CG 画像をひとコマづつ生成し, それをつなげてアニメーションを作成するというものである. このような手法は, 表現力は高いものの, 観る側は, あらかじめ決められたシーンを繰り返し見ることしかできない. 一方, VR 環境下ではインタラクティブに映像を生成する手法により作成される. すなわち, 視点の変更などのユーザ

のインタラクションに対応してリアルタイムで映像を生成する手法である.

グラフィックスハードウェアの急速な発展に伴って, このようなリアルタイム 3 次元グラフィックスにおける 3 次元形状の自由な変形の必要性が強くなってきた. これを実現する手法の一つに自由形状変形 (Free-Form Deformation, FFD) がある.

FFD は, 曲げる, 伸ばす, ねじるといった, 3 次元形状の大域的な変形を表現するための手法である [2][3]. しかし, このような形状モデリングで描かれた物体には, 硬さという概念がない. 確かに, 映画, テレビなどでの CG 作成の手法であれば問題はないが, VR 環境下においては, 触った物体が柔らかいか硬いかで物体の変形は違って来なければならないという問題がある.

そこで本研究では、本来、自由に形状を変形させるための FFD アルゴリズムにおいて、制御点の自由度を操作することで、FFD に物体の硬さと言う概念を加え、物体の硬さを自由に変化させる事のできる手法を提案する。物体の硬さは、一定の力を加える事による物体のへこみ具合により判定することとした。また、物体の描写には滑らかな変形を可能にするために B-スプライン曲面を用いた。

2 硬さ判定の方法

人が初めて見た物体の硬さを判断する方法として、次のような方法があると考えられる。

- 1 色や形などを見て、経験的に判断する方法
- 2 物体の変形具合を見て間接的に判断する方法
- 3 直接触って判断する方法

1 つ目の方法は、あいまいで正確さに欠ける。それに比べ、変形具合を見たり、直接触ったりする方法はより正確であると言える。しかし、実現の容易さについて考えてみると、3 つ目の方法は、大がかりな VR 装置などの作成が必要となり、実現は困難である。それに比べ、2 つ目の方法は大がかりな装置を必要とせず、比較的低コストで実現可能と言える。

そこで、本論文では 2 つ目の方法で、硬さを判定する。

3 FFD における硬さパラメータの導入

3.1 Free-Form Deformation(FFD)

FFD とは、図 1 のように制御立体で変形対象形状を囲み、制御点の移動により、曲げる、伸ばす、ねじるといった自由な変形を可能にする手法である。制御点を移動させた後の変形の例を図 2 に示す。FFD による変形は局所変形を可能にするために、B-spline 関数で記述した。

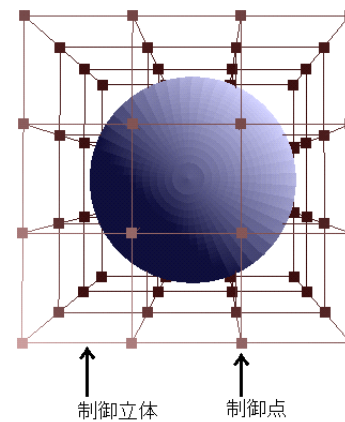


図 1: 移動前の制御立体と変形対象形状の関係

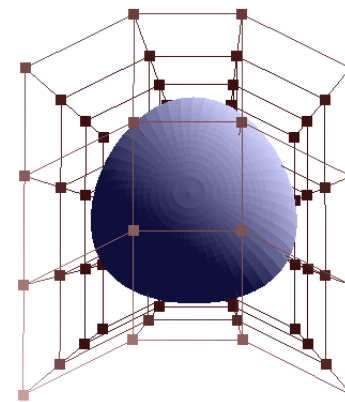


図 2: 移動後の制御立体と変形対象形状の関係

3.2 物体に硬さを持たせる手法

本手法では硬さを判定する手法として、一定の力を与えた時の物体の変化を見て判定する方法を用いる事とした。この一定の力は制御立体を構成する制御点に与えるものとする。この時、制御点の重さ、密度、大きさなどは考慮せずに、与えられた力 (外力) を F 、移動距離を x とした時の定義式を式 1 で表す。

$$F = kx \quad (k > 0) \quad (1)$$

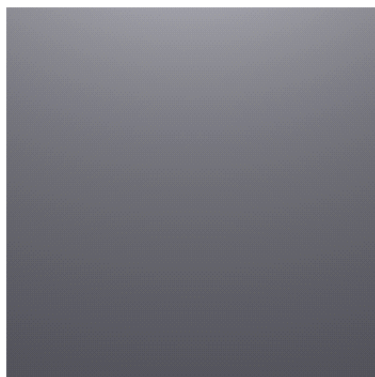
ここで、 k は制御点が単位長さ動くために必要な力であり、硬さを表す値となっている。つまり、上の式で、 F の値は一定であるので、 k の値が大きく

なれば，移動距離は小さくなり， k の値が小さくなれば移動距離は大きくなる．すなわち， k の値が大きくなる程，物体が硬いことになる．

4 実験

以上の事を踏まえて実験を行う．外力 F を 10 に固定し， k の値を 10 と 100 と変えて，実際にどのように変形対象形状が変わるのかを視覚的に見てみる．力 F はマウスクリックによって与えられるものとする．すなわち，一回のクリックによって与えられる力が 10 とした．また，光源の位置は斜め上から与えられる事とした．

変形させる物体を図 3 に示す．そして，力を与えた点を図 4 に示す．中心だけは 2 回力を与えたので，計 14 点に力を与えた．



(a): 正面から見た図

(b): 横から見た図

図 3: 変形対象形状

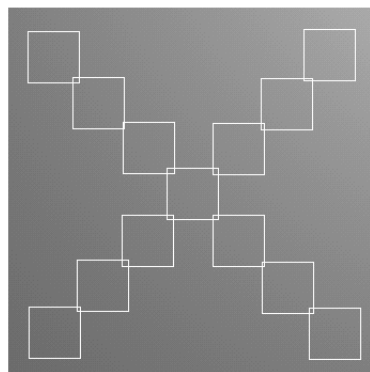
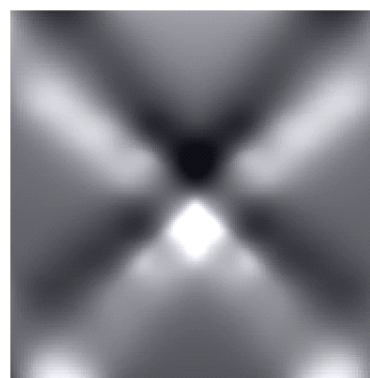


図 4: 力を与えた位置

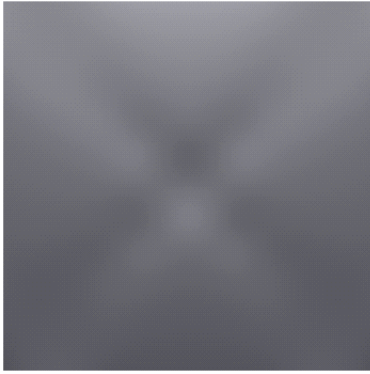


(a): 正面から見た図



(b): 横から見た図

図 5: 柔らかい物体の変形 ($k=10$)



(a): 正面から見た図



(b): 横から見た図

図 6 : 硬い物体の変形 ($k=100$)

$k=10$ の時の結果を図 5, $k=100$ の時の結果を図 6 に示す。

これより, $k = 10$ の時と $k = 100$ の時の変化の違いははっきりと区別することができる。この二つを比べると, 同じ力を与えているという事から, 視覚的に明確に硬さを確認することが可能である。

提案手法では, 硬さを表す指標として, 変形対象形状を制御している制御点の単位長さ移動するために要する力を硬さを示す係数とした。この係数は, 与えられた力に反比例し, 移動した距離に比例するものとする。そして, この係数の変化によって硬さが変わる事とした。この硬さの定義を用い実験を行った。その結果, 係数の値によって, 一定の力を与えた場合の物体の変化の違いを視覚的に確認できた。実験では行わなかったが, 係数を一定, つまり硬さを一定にして与える力を変えることにおいても, 物体が異なった変化をする事は容易に理解する事ができる

5 むすび

本論文では, FFD という手法を用いて, VR 環境下で物体に硬さを持たせる手法を提案した。提案手

法では, 硬さの異なる物体に, 一定の同じ強さの力を与えた時の変化を視覚的に比較する事により, 力を加える対象物体の硬さを判定するというものである。

実験によって, 異なる硬さを持つ同じ物体を変形させた時, その変形具合の違いを視覚的に確認できた。

以上の結果により, 本手法を用いることで, VR 環境下において, 物体に硬さという概念を持たせる事が可能となった。

本論文では, 物体の変形において, 物体の弾力性については, 考慮していない。また, 今回は, 視覚的な面のみを考慮してきたが, 実際に触れて変形させた時の感触の面からも考慮する必要がある。この事は, 今後の課題である。

参考文献

- [1] 日本図学会, "CG ハンドブック", 森北出版株式会社
- [2] 安中 英邦, 福嶋 茂信, 美濃 導彦: "曲面に対する単純な変形にもとづく FFD の制御点決定法", 画像電子学会誌, VOL.28, No.5, pp.612-619(1999).
- [3] 早野 勝之: "リアルタイムグラフィックスのための自由形状変形に関する研究"
<http://pegasus.sfc.keio.ac.jp/~hayano/html/master/Main.html>
- [4] 菅野敬裕, 吉村和美, 高山文雄 著: "C によるスプライン関数", 東京電機大学出版局, 1993.3.
- [5] 中嶋 孝行, 大野 敏則著: "NURBS 早わかり", 工業調査会, 1994.4.
- [6] 三浦 憲二郎著: "OpenGL 3D グラフィックス入門 [第 2 版]", 朝倉書店, 1995.10.