

3T-1

多面体稜線のハイライト表示

齋藤 隆文 新谷 幹夫 高橋 時市郎

NTT ヒューマンインタフェース研究所

1. はじめに

コンピュータ・グラフィックスにおいて、立体感や質感を出すために、シェーディング(陰影づけ)処理が広く行われている。通常この処理は、物体の面に対してのみ行われる。ところが、実在する物体では、稜線の部分にしばしばハイライトが見られる。これは、工業デザイン上、あるいは、人間の3次元形状理解を促進する上で、重要な情報の一つと考えられる[1, 2]。

稜線のハイライトは、面取りによってできた曲面での光の反射が原因であるから、稜線部分を曲面として表現しておけば、原理的にはハイライトの生成は可能である。ところが現実には、曲率が非常に大きいため、鏡面反射光の強さが曲面内で急変し、極めて小さい面積に大きな輝度をもったハイライトが生じている。この場合、サンプリング点だけで輝度計算を行う通常の方法では、ハイライトはほとんど無視されてしまう。

曲率の大きい部分にも対処できるシェーディング手法としては、曲率に応じてサンプリングを細かくする方法[3]、リフレクションマップを用いる方法[4]、などが提案されている。しかし、効率上あるいは精度上、必ずしも満足できる手法とはいえない。

本報告では、面取りされた多面体の稜線に、点光源から光が照射された場合に生じるハイライトの表示に関して、処理の一手法を提案する。

2. 稜線を含めたシェーディング処理の概要

稜線部分のハイライトについて考察すると、以下のことがわかる。

- (a) 単位面積あたりの拡散反射成分は、通常の面の部分と大差ない。隣接する面の輝度で代用しても問題は少ないし、面積が小さければ無視できる。
- (b) 鏡面反射成分に関しては、幅の無視できる線状の領域から、無視できない強さの光が反射される。そこで、次の考え方によって処理を行う。

- (1) 通常のシェーディングモデルに従って、各面のピクセルごとの単位面積あたりの輝度値を計算する。この処理では、稜線部分は面積をもたないと考えて無視する。
- (2) 稜線部分について、鏡面反射で生ずる単位長さあたりの光束を求める。これを、輝度をもったワイ

ヤーフレームと考える。

- (3) 上の(1)と(2)とを合成することにより、稜線部分のハイライトを表現する。

3. 稜線の輝度計算

面取りした稜線は、半径の小さな円柱面と考えることができる。本章では、この細円柱により反射しスクリーン上の1ピクセルに入射する光束を求める。

以下、Blinnのシェーディングモデル[5]をもとに考える。いま、図1のように、 N を面の単位法線ベクトル、 L 、 V をそれぞれ光源、視点方向の単位ベクトル、 H を L と V との角度の2等分線方向の単位ベクトル、 N と H 、 L と H とのなす角をそれぞれ α 、 θ とする。入射光の強度を I とすると、通常面の輝度(見かけの1ピクセルあたりの反射光の強度)は、

$$s_s = I \cdot \frac{DGF}{(N \cdot V)} \tag{1}$$

で表される[5]。ここで D は微小面の分布関数であり、

$$D = \cos^k \alpha \tag{2}$$

$$D = \exp(-\alpha c)^2 \tag{3}$$

など、いくつかの分布が考えられる。 G は微小面での遮蔽から生じる幾何学的減衰因子である。 F は面の反射率で、 θ の関数である。(1)式の分母は視点方向に射影されたことによる因子であるから、物体面上での真の単位面積あたりの反射光の強度は、

$$\tilde{s}_s = I D G F \tag{4}$$

となる。

(4)式を、半径の十分小さい細円柱(図2)に適用すると、単位長さあたりの反射光強度は、

$$\tilde{s}_e = \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} \tilde{s}_s r d\phi, \tag{5}$$

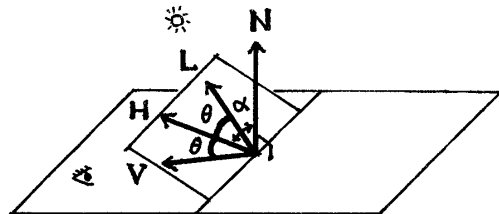


図1. Blinnのシェーディングモデル

したがって、求める1ピクセル長あたり光束は、

$$s_e = \frac{1}{\cos \beta} \tilde{s}_e = \frac{I F r}{\cos \beta} \int_{\psi_0}^{\psi_1} D G d\phi \quad (6)$$

となる。ここで、 r は、細円柱の見かけの半径（ピクセル比）、 β は、 V を含む直径面上での円柱面の法線 N_V と、 V とのなす角である。また積分区間は、稜線に対応する角度のうち、視点、光源の双方から見える範囲である。

以下、積分計算を簡単にするために、分布関数として(2)式を用いる。また、 $G=1$ とする。いま、 H を含む直径面上での法線を N_H とし、 N_H に対する円柱の回転角を ϕ_H 、 H と N_H とのなす角を α_θ とすると、

$$\cos \alpha = \cos \alpha_\theta \cdot \cos(\phi - \phi_H) \quad (7)$$

が成り立つ。したがって(6)式は、

$$s_e = \frac{I F r \cos^k \alpha_\theta}{\cos \beta} \int_{\psi_0 - \psi_H}^{\psi_1 - \psi_H} \cos^k \phi d\phi \quad (8)$$

となる。 k は通常10以上の値をとるため、(8)式の積分計算を厳密に行うことは現実的ではない。実用上は、 ϕ の5次程度の多項式で近似すれば十分である。

4. 適用例

本手法で立方体を表示した例を、図3に示す。いずれも4個の点光源で照明されたものである。特に輝度のはぼ等しい隣接面の境界の稜線にハイライトが生じた場合に、改良効果大きい。

5. 考察

本手法では、サーフェスモデルの隠面消去とワイヤーフレームの隠線消去とを共に行う必要がある。双方の処理を全く独立に行うことも可能であるが、効率や拡張性の観点からは、処理を統一して行ったほうがよい。この場合、稜線と面の周囲の部分とは同じ奥行きをもつため、サンプリングや計算誤差によって稜線が面の後ろ側に隠れないように、注意する必要がある。

奥行きソート法、スキャンライン法では、面と稜線との接続関係を保存しながら処理できるので、適用は可能である。zバッファ法では、一般には接続情報は失われるため、何らかの工夫が必要である。最も単純で現実的な方法は、ワイヤーフレームの奥行きを、ある微小量だけ差し引いて（手前になるように）処理することであるが、形状によっては不正確になる。光

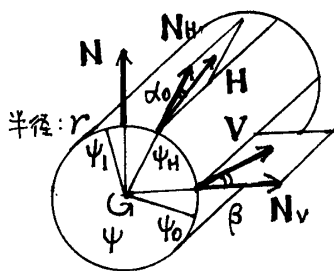


図2. 稜線のシェーディングモデル

線追跡法への適用は、さらに困難と予想される。

このほかに、今後の課題としては、次の3点があげられる。

- (1) 曲面の稜線および一般の曲面への拡張
- (2) 広がりをもった光源の処理
- (3) 処理の簡略化（近似計算、補間計算）

6. おわりに

多面体稜線部分のハイライトを、輝度をもったワイヤーフレームとして処理し、表示する方法を提案した。本手法によって、写実性の向上のみならず、3次元形状をよりわかりやすく表示できるものと期待される。

謝辞：

日頃御指導を賜る、安田 浩 画像メディア研究部長、
滝川 啓 主幹研究員、討論いただいたグループ諸兄に感謝する。

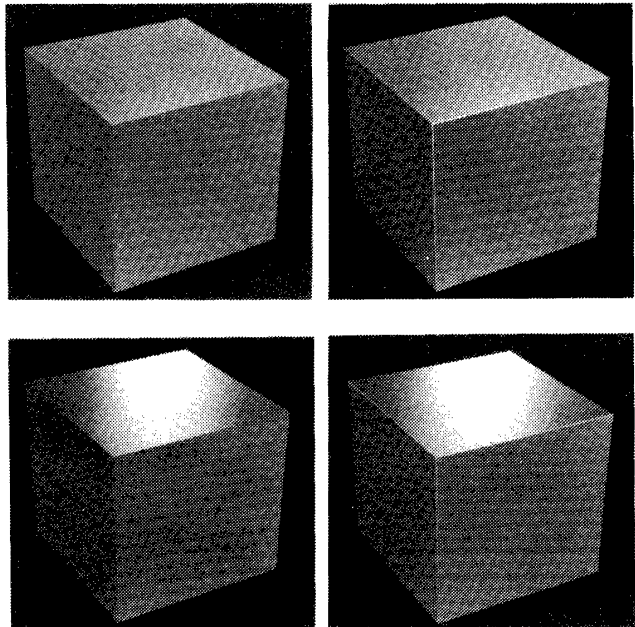


図3. 稜線のハイライト表示例
(左：従来の表示法； 右：提案する手法)

参考文献

- [1] 中前栄八郎, 西田友是: 「光と影 - リアリズムの探究」, 情報処理学会 グラフィックスとCADシンポジウム論文集, pp.139-148, (1987).
- [2] 近藤邦雄, 木村文彦, 田嶋太郎: 「インタラクティブレンダリングシステムによる3次元形状の表現」, 情報処理, Vol.26, No.11, pp.1401-1408 (1985).
- [3] F.C. Crow: "Computational Issues in Rendering Anti-Aliased Detail", Proc. COMPCON Spring 82, pp.238-244.
- [4] L. Williams: "Pyramidal Parametrics", Computer Graphics, Vol.17, No.3, (Proc. SIGGRAPH 83), pp.1-11.
- [5] J.F. Blinn: "Models of Light Reflection for Computer Synthesized Pictures", Computer Graphics, Vol.11, No.2, (Proc. SIGGRAPH 77), pp.192-198.