

ポリゴン法 CGH における散乱性位相の細分化を用いた鏡面性表面のスムーズシェーディング

Smooth shading of specular surfaces using subdivision of diffuser phase in polygon-based CGH

○西寛仁¹⁾, 松島恭治¹⁾, 中原住雄²⁾

○Hirohito Nishi¹⁾, Kyoji Matsushima¹⁾, and Sumio Nakahara²⁾

関西大学電気電子情報工学科¹⁾

関西大学機械工学科²⁾

Department of Electrical and Electronic Eng., Kansai Univ.¹⁾

Department of Mechanical Eng., kansai Univ.²⁾

E-mail: nishi@laser.ee.kansai-u.ac.jp

A novel technique for rendering of smooth surfaces is presented in polygon-based computer holography. In this technique, the spectral envelope of the diffuser phase pattern is controlled and divided into some segments. A high-definition CGH “The Metal Venus II” having smooth specular surfaces is created by using this technique. In addition, we propose a new technique that also makes it possible to render surfaces illuminated by multiple virtual directional light sources and point sources.

1. はじめに

計算機合成ホログラム(CGH)はすべての生理的立体感を満たす完全な立体像を再生できるため、次世代のディスプレイへの応用が期待されている。しかし、CGH ではレンダリング技術が確立していないため、金属の様な光沢のある物体を再生することが出来なかった。

そこで、我々は前回の発表で散乱性位相のスペクトルを制御することで鏡面をレンダリングする手法を報告し、実際に “The Metal Venus I”¹⁾ を作製した。しかし、The Metal Venus I はポリゴン単位でしか光波の方向を制御していないため、滑らかな鏡面をレンダリングするにはポリゴンを細かく分割する必要があり計算が長時間化する問題があった。この問題を解決するために、我々は表面関数を分割することで滑らかな鏡面をレンダリングする手法を提案し、“The Metal Venus II” を作製した²⁾。しかし、我々がこれまで作製してきた CGH^{1,2)} はいずれも単一の仮想平行光光源で照明された単純な 3D シーンだった。そこで今回は、複数の光源で照明された鏡面性表面や点光源で照明された表面のレンダリング手法を提案する。

2. 散乱性位相のスペクトル帯域の制限

ポリゴン法では、ポリゴン面に沿った表面関数 $h(x, y) = a(x, y) \exp[i\phi(x, y)]$ でそのポリゴンを表現する。一般に振幅 $a(x, y)$ によりポリゴン形状の表現とシェーディングを行い、位相 $\phi(x, y)$ により光を散乱させる。

ポリゴンが発する光波の発散度合いは散乱性位相のスペクトル帯域に依存している。そのため鏡面をレンダリングするには散乱性位相のスペクトルを狭帯域にする必要がある。本研究では、鏡面性表面用の散乱性位相のスペクトル形状を Phong の鏡面反射モデルに基づいて決定している^{1,2)}。

Phong の鏡面反射モデルでは、視線ベクトル \mathbf{V} の方向から観察した表面輝度は

$$I(\mathbf{V}) = (\mathbf{R} \cdot \mathbf{V})^\alpha \quad (1)$$

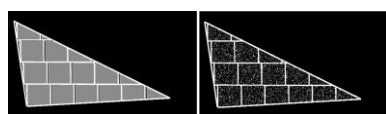
で表される。ここで、 α は光沢度、 $\mathbf{R} = (R_x, R_y, R_z)$ は反射ベクトルである。視線ベクトル \mathbf{V} を平面波の単位波動ベクトルに対応させ、(1)式を空間周波数 (u, v) で表すと、

$$I(\mathbf{V}) = I(u, v) = \left[\lambda(R_x u + R_y v + R_z (\lambda^{-2} - u^2 - v^2)^{1/2}) \right]^\alpha \quad (2)$$

となり、光沢度 α によりスペクトルの帯域を制御することが出来る^{1,2)}。

3. 鏡面性曲面のレンダリング法

以前の手法¹⁾で鏡面性曲面をレンダリングするには、テッセレーションを行なってポリゴンを細分割する必要があり、ポリゴン数の増加により計算時間が増加してしまう問題が生じた。そこで、表面関数そのものを Fig. 1 の様に分割することで鏡面性曲面のレンダリングを行う手法を提案している²⁾。この手法



(a) Amplitude (b) Phase
Fig. 1 Segmentation of surface function

はまず、(2)式で $\mathbf{R} = (0, 0, 1)$ としてポリゴンの法線方向に光波が伝搬する散乱性位相 $\phi_0(x, y)$ を有する表面関数を生成し、その表面関数を $h(x, y) = \sum_{i=0}^n h_i(x, y)$ の様に n 個のセグメントに分割する。ここで、

$h_i(x, y)$ は i 番目のセグメント表面関数であり、セグメントごとの反射ベクトル $\mathbf{R}_i = (R_{x,i}, R_{y,i}, R_{z,i})$ より

$$h_i(x, y) = a_i(x, y) \exp[i\{\phi_0(x, y) + k(R_{x,i}x + R_{y,i}y)\}] \quad (3)$$

として、セグメント毎に反射方向を制御する。

4. 複数平行光源と点光源によるレンダリング

ポリゴンを単一の平行光源で照らした場合の表面関数は、

$$h(x, y) = k_d h_d(x, y) + k_s h_s(x, y) \quad (4)$$

であり、拡散性表面関数 $h_d(x, y)$ と鏡面性表面関数 $h_s(x, y)$ の和で表される。 k_d と k_s は重み係数である。もし m 個の平行光源でポリゴンを照らした場合、光の線形性により表面関数は、

$$h(x, y) = \sum_{j=0}^m h_j(x, y) \quad (5)$$

$$h_j(x, y) = k_d h_{jd}(x, y) + k_s h_{js}(x, y)$$

となりそれぞれの光源による表面関数 $h_j(x, y)$ を足し合わせることでレンダリングできる。

次に、照明光源が点光源の場合、物体表面上の位置 (x, y) での照度は点光源とその点までの距離 $r(x, y)$ の2乗に反比例する。照度が光強度に、また表面関数が振幅に対応することを考慮すると、表面関数は、

$$h(x, y) = \frac{1}{r(x, y)} k_d h_d(x, y) + k_s \sum_{i=0}^n \frac{1}{r_i} h_i(x, y) \quad (6)$$

となる。ここで、鏡面性表面関数の各セグメント $h_i(x, y)$ の反射ベクトル \mathbf{R}_i は点光源からの入射光ベクトルに基づいてセグメント毎に求めるものとする。 r_i はそのセグメントと点光源の距離である。

4. 超高解像度 CGH “Teapot I” と “Teapot II” の計算

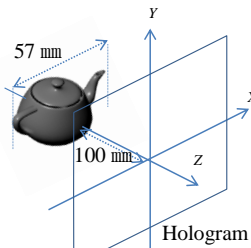


Fig. 2 3D scene of Teapot.

3節の手法を用いて2つの平行光源を設置した“Teapot I”と、点光源を設置した“Teapot II”を計算した。この2つのCGHは、光源以外はFig. 2に示す同じ3Dシーンを有している。主なパラメータをTable 1に示す。Xeon X5680(3.33GHz)を2つ搭載し、メモリ144GBの計算機を使用した場合、全計算時間はTeapot Iで約3.9時間、Teapot IIで約3.5時間であった。表面関数の生成よりも伝搬計算の計算量が大きいため、光源数の増加による計算時間への影響は小さかった。

Fig. 3はTeapot IとTeapot IIの波動光学的シミュレーション再生像である³⁾。どちらも光源の違いにより異なったスペキュラーが発生している。

5. まとめ

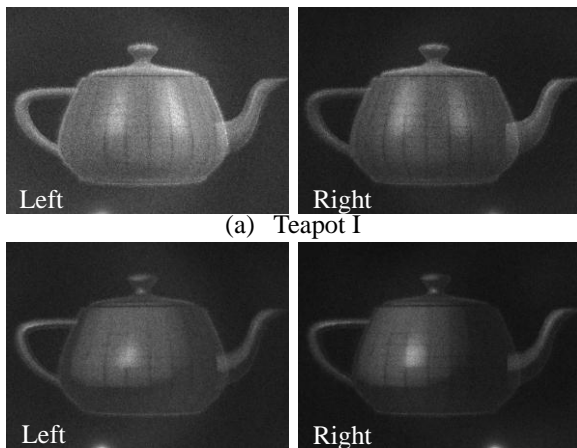
本研究では以前提案した鏡面性曲面のレンダリング手法を拡張し、複数光源や点光源で照明された物体のレンダリング手法を提案した。また、提案法を利用してCGH “Teapot I” と “Teapot II” を作成した。

本研究は日本学術振興会の科研費(21500114)の助成を受けたものである。

文献

- 1) 西, 松島, Optics & Photonics Japan 2010 講演予稿集, 9aC3 (2010).
- 2) 西, 松島, 中原, 3次元画像コンファレンス 2011 講演文集, 70-73 (2011).
- 3) 村上, 圓山, 松島, 3次元画像コンファレンス 2009 講演論文集, 105-108 (2009).

Table 1 Parameters used for creation of Teapots.



(b) Teapot II
Fig. 3 Simulated reconstructions.

Hologram	
Pixel sizes	65,536 x 65,536 pixel
Samplings pitch	1.0 μm \times 1.0 μm
Wavelength	632.8 nm
Number of polygons (front-face only)	
	2266
Specular surfaces	
Shininess constant	64
Weight of diffuse light	1.0
Weight of specular light	0.4
Teapot I	
Direction of light 1	(-1, -1, -1)
Direction of light 2	(1, -1, -1)
Teapot II	
Position of point source	(-50mm, 50mm, -50mm)