

ポリゴン法 CGH における鏡面性曲面のレンダリング法

A Novel Rendering Technique for Reconstructing Specular

Curved Surface in Polygon-Based CGH

西 寛仁¹

松島恭治¹

中原住雄²

Hirohito Nishi¹

Kyoji Matsushima¹

Sumio Nakahara²

¹関西大学 システム理工学部 電気電子情報工学科

¹Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University

²関西大学 システム理工学部 機械工学科

²Department of Mechanical Engineering, Kansai University

ABSTRACT

A novel technique is proposed for rendering specular and curved surfaces in polygon-based CGHs that feature reconstruction of very fine 3D images accompanied with strong sensation of depth. The proposed technique is an improvement of the technique for creating specular flat surfaces, based on Phong reflection model and control of the spectrum of the surface function. In this method, a surface function is divided into rectangular segments and the spectral envelopes are modified so that each segment reflects illumination light in a different direction depending on the curve of the surface.

Keywords: 計算機合成ホログラム, スムーズシェーディング, 質感表現

1. はじめに

近年、ディスプレイ技術の急速な発展により、映画館や自宅さらにはゲーム機で気軽に 3D 映像を楽しめるようになった。しかし、これらに使用されている 3D 方式は両眼視差のみを利用した 3D 映像であり、長時間視聴すると 3D 酔いなどの副作用を引き起こす。そのため、次世代の 3D ディスプレイ方式として完全な 3D 立体像を再生できる計算機合成ホログラム(Computer-generated hologram: CGH)が注目されている。

CGH はアナログホログラムと違い計算機上で光波の数値合成を行うため、仮想物体のホログラムを作製できる。また、ホログラムのデータをデジタルデータとして扱えるので、データを自由に送受信することもできる。こ

の様に様々な利点がある CGH だが、いくつかの未解決の問題を抱えている。

1 つ目は、仮想物体からの光波を数値合成するのに必要な莫大な計算時間である。CGH は回折現象により 3D 立体像を再生している。そのため、広い視域をもつ CGH を数値合成するには、そのピクセルピッチを細かく設定する必要がある。しかし、ピクセルピッチを細かくすると、それに比例して計算時間が増加し大規模な CGH を作成するのが困難となる。この問題を解決するために、我々は光波の数値合成にポリゴン法[1]を使用している。この手法は伝搬計算に FFT を使用でき、比較的短時間で大規模な CGH を作成することができる。

2 つ目にコンピュータグラフィックス(CG)の様に十分なレンダリング技術が確立していない問題がある。CGH では光を波動と考えて物体からの光を計算しているため、光を光線と考えている CG のレンダリング手法をそのまま使用することができない。そのため、鏡面性表面のレンダリング法として FDTD を利用した手法[2]が提案され

西 寛仁

nishi@laser.ee.kansai-u.ac.jp

関西大学システム理工学部電気電子情報工学科

〒565-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35

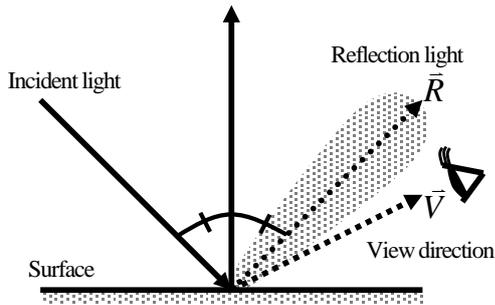


Fig. 1 The Phong model for specular reflection.

ているが、莫大な計算量が必要であり大規模な CGH を作成するのは困難である。そこで我々は、CG における簡易物理モデルである Phong モデルに基づく散乱性位相のスペクトルを制御する手法を提案し、実際にこの手法を用いて“The Metal Venus I”を作成した[3]。この手法は、従来の手法より短時間で鏡面性平面をレンダリングできるが、あくまで平面のレンダリング法であり、曲面をレンダリングするにはテッセレーションでポリゴンを細かく分割する必要があった。しかし、それには一般に計算時間の増大を招く問題があった。そこで本研究では、ポリゴン法で用いられる表面関数をセグメントに分割し、セグメント毎に光波の方向を制御することで鏡面性曲面をレンダリングする手法を提案する。また、提案法を用いて実際に大規模 CGH として“The Metal Venus II”を作製した。

2. CG の Phong モデルに基づく散乱性位相のスペクトルの整形

ポリゴン法では仮想物体上にポリゴン形状の面光源を貼り付けて、面光源からの光波をホログラム上で重畳している。面光源の形や特性は、

$$h(x, y) = a(x, y) \exp[i\phi(x, y)] \quad (1)$$

の形の表面関数と呼ばれる複素関数で表される。 $a(x, y)$ と $\phi(x, y)$ はそれぞれ振幅分布と位相分布であり、振幅分布 $a(x, y)$ はポリゴンの形状やテクスチャを表し、位相分布 $\phi(x, y)$ は光波の散乱性を表している。鏡面性表面を再生するには、散乱性位相のスペクトルを狭帯域にする必要がある。そこで本研究では、CG の Phong モデルに基づいて散乱性位相のスペクトルを整形する。図 1 に Phong の鏡面反射モデルを示す。

視線ベクトル \vec{V} の方向の表面輝度は

$$I(\vec{V}) = k_s (\vec{R} \cdot \vec{V})^\alpha \quad (2)$$

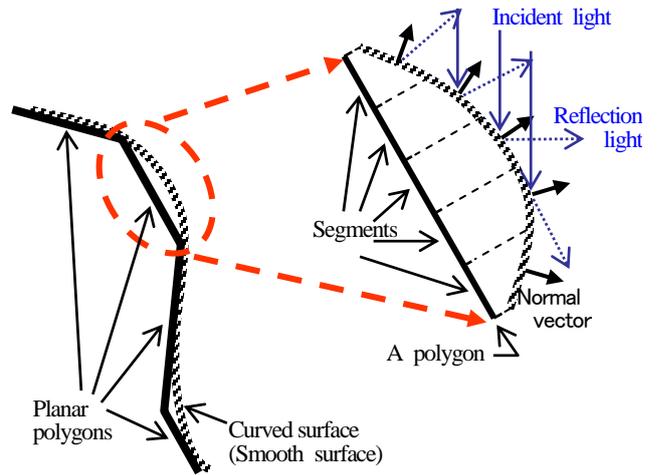
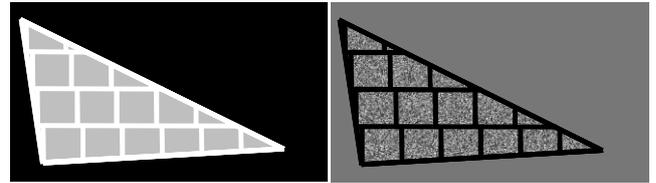


Fig. 2 Imitation of curved surface by planar polygon.



(a) Amplitude

(b) Phase

Fig. 3 Segmentation of surface function.

で表される。ここで、 k_s は鏡面反射率、 α は光沢度、 $\vec{R} = (R_x, R_y, R_z)$ は入射方向で決まる単位反射ベクトルである。 \vec{V} を単位波動ベクトルで置き換え、(2)式を表面方向の空間周波数 (u, v) で表すと、

$$A_s(u, v, \vec{R}) = I(\vec{R} \cdot \vec{V})^{1/2} \\ = k_s \left[\lambda \left(R_x u + R_y v + R_z (\lambda^{-2} - u^2 - v^2)^{1/2} \right) \right]^{\alpha/2} \quad (3)$$

となる。 $A_s(u, v, \vec{R})$ は Phong の鏡面反射モデルのスペクトル形状を表していると考えられる[3]。そこで、散乱性位相のスペクトルを $A_s(u, v, \vec{R})$ と一致するように整形した[4]。

3. 鏡面性曲面のレンダリング法

3.1. 鏡面性表面関数の生成

ポリゴン法では、図 2 の様に曲面をポリゴンで近似的に表現する。そのため、前節の手法で鏡面性曲面のレンダリングを行うには、テッセレーションによりポリゴンを細く分割する必要があるが、ポリゴン数の増加により計算時間が増加する問題が生じる。そこで本研究ではテッセレーションを行うのではなく、表面関数そのものを図 3 の様にセグメントに分割することで、鏡面性曲面をレンダリングする。

まず 2 節の手法でポリゴンに垂直な $\vec{R} = (0, 0, 1)$ 方向へ

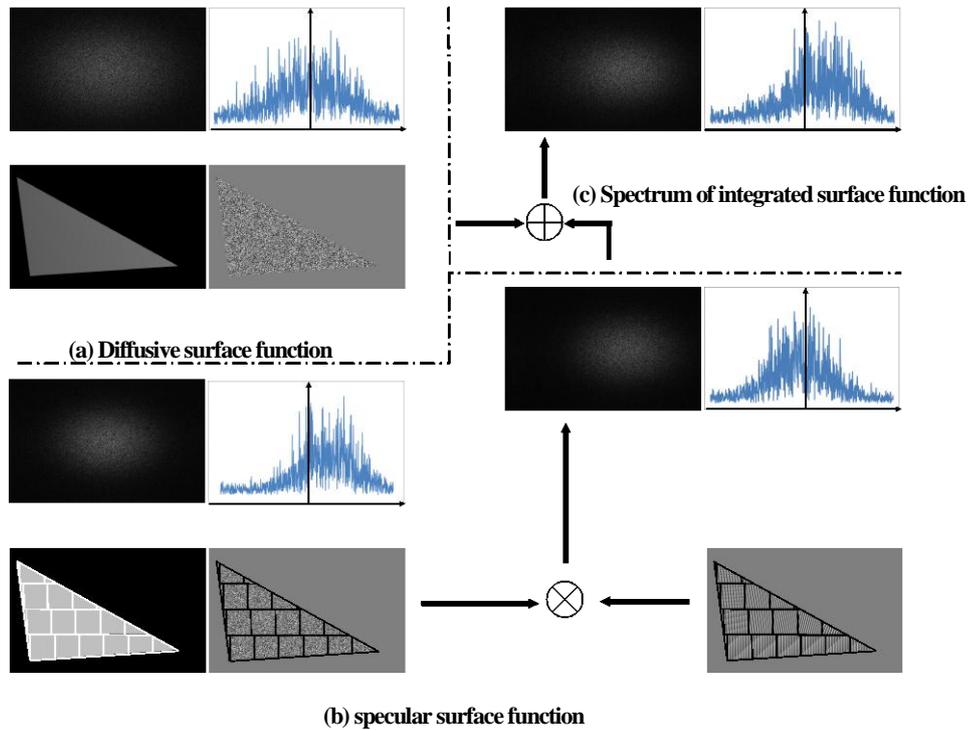


Fig. 4 Procedure for generating the surface function for specular smooth surfaces.

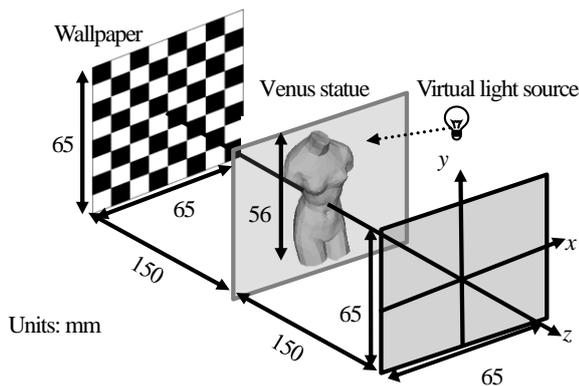


Fig.5 The 3-D Scene of "The Metal Venus II".

反射特性をもつ散乱性位相を有する表面関数を生成する。そして、その表面関数を

$$h(x, y) = \sum_{i=0}^n h_i(x, y) \quad (4)$$

$$h_i(x, y) = a_i(x, y) \exp[i\phi_i(x, y)]$$

の様にセグメント分割する。ここで n はセグメントの総数であり、 $h_i(x, y)$ は i 番目のセグメントの表面関数である。次に各セグメントに対して、

$$h'(x, y) = \sum_{i=0}^n h'_i(x, y) \quad (5)$$

$$h'_i(x, y) = a_i(x, y) \exp[i\{\phi_i(x, y) + k\bar{R}_i \cdot \bar{r}\}]$$

の様に \bar{R}_i 方向に進む平面波の位相を乗算する。ここで、 k と \bar{r} は波数と位置ベクトルである。ベクトル \bar{R}_i はセグメント毎の反射方向であり、Phong シェーディングと同様に

ポリゴンの頂点ベクトルを線形補間して曲面を近似することで求まる。

3.2. レンダリングの流れ

図 4 に示す通り、実際に鏡面性曲面のレンダリングでは、表面関数を

$$h(x, y) = k_d h_d(x, y) + k_s h_s(x, y) \quad (6)$$

として拡散性表面関数 $h_d(x, y)$ と鏡面性表面関数 $h_s(x, y)$ の和で表す。 k_d と k_s はそれぞれの重み係数である。これは、鏡面性だけでは視域が狭くなり、再生像が見えにくくなるためである。CG のレンダリングではこれらの係数でポリゴンの明るさを調整する。しかし、CGH のポリゴンの明るさはその表面関数の散乱性にも依存する。つまり、散乱性の低い位相を有する鏡面性表面は、拡散性表面よりも極端に明るくなってしまふ。そのため、散乱性位相の組み合わせも考慮して係数を設定する必要がある。

4. 大規模 CGH の作製

本手法を用いて“The Metal Venus II”と名付けた大規模 CGH を作製した。この CGH の 3D シーンを図 5 に示す。また、主なパラメータを表 1 に示す。The Metal Venus II の数値合成には、Intel Xeon E7540(2.0GHz)を 4 つ搭載し、メモリ 256GB の計算機を使用した。全計算時間は約 5.7

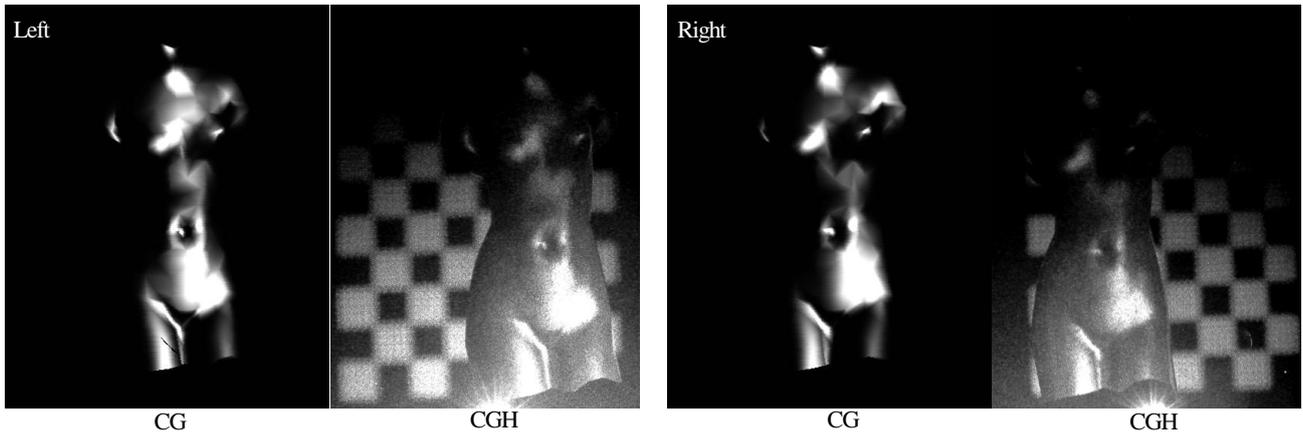


Fig.6 Optical reconstruction of The Metal Venus II and CG images rendered with the same object model.

時間となり、その内 3.3 時間がビーナス像の物体光波の計算時間となった。この物体光波の計算時間は拡散性表面のみの計算時間より約 3 倍長かった。これは、鏡面性表面をレンダリングする場合、2 種類の表面関数を用意する必要があるためだと考えられる。

図 6 は The Metal Venus II の光学再生像と CG によるレンダリング結果を比較したものである。CGH の再生像が、CG とほぼ同様の滑らかな曲面として再生されることが確認できる。

5. 議論

本手法で表面関数をセグメント分割する際、セグメントサイズが小さすぎるとセグメント毎に反射方向が変化せずに再生像が劣化し、逆に大きすぎると曲面が滑らかに再生されない。また、ポリゴンの境界近傍にあるセグメントは図 3 のように内部のセグメントよりも小さくなってしまふ。以上を考慮してセグメントの大きさを設定する必要があるが、現時点では解析的に最適な値を求めるのは困難である。そのため本研究では、様々な大きさのセグメントでシミュレーションを行ない、最適なセグメントの大きさを求めた。セグメントサイズの自動設定は今後の課題である。

6. まとめ

本研究では、表面関数をセグメント分割することで、テッセレーションを行わずに鏡面性曲面をレンダリングする手法を提案した。そして、実際に提案法を利用して大規模 CGH として The Metal Venus II を作製し、提案法により鏡面性曲面を再生できることを確認した。

謝辞

本研究は日本学術支援振興会の科研費(215001114)の助成を受けたものである。

The mesh data of The Venus of object is provided courtesy of INRIA by the AIM@SHAPE Shape Repository.

参考文献

- [1] K. Matsushima, S. Nakahara: "Extremely high-definition full-parallax computer-generated hologram created by the polygon-based method," *Appl. Opt.* **48**, H54-H63(2009).
- [2] 市川, 坂本: "CGH における表面粗さを考慮した FDTD 法を用いた反射特性付与法", 3 次元画像コンファレンス 2010 講演論文集, 21-24(2010).
- [3] H. Nishi, K. Higashi, Y. Arima, K. Matsushima, and S. Nakahara, "New techniques for wave-field rendering of polygon-based high-definition CGHs," *SPIE Proc. #7957*, 79571A(2011).
- [4] R. Bräuer, F. Wyrowski, and O. Bryngdahl, "Diffusers in digital holography," *J. Opt. Soc. Am.* **A8**, 572-578(1991).

表 1 "The Metal Venus II" のパラメータ

ホログラム	
ピクセル数*	64K×64K pixel
サンプリングピッチ	1.0 μm × 1.0 μm
波長	632.8 nm
ビーナス像	
ポリゴン数(前面)	718
大きさ(W×H×D)	25.6 × 56.0 × 21.0
鏡面性表面	
光沢度: α	10
拡散反射: k_d	1.8
鏡面反射: k_s	0.75
鏡面性表面関数の セグメントの大きさ	32×32

※ 1K=1024