

全方向視差高解像度 CGH における 鏡面性表面へのバンプマッピング

岡田一隼 西寛仁 松島恭治

関西大学 システム理工学部 電気電子情報工学科

〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35

Bump mapping for specular surface in full-parallax high-definition CGH

Ichiharu Okada Hirohito Nishi Kyoji Matsushima

Department of Electrical, Electronic and Information Engineering, Kansai University

Yamate-cho 3-3-35, Suita, Osaka 564-8680, Japan

E-mail: k632833@kansai-u.ac.jp (I. Okada)

Abstract A new rendering method is proposed for bump mapping like CG to specular surfaces reconstructed in full-parallax high-definition CGHs. This method is based on the rendering technique of specular smooth surfaces in the polygon-based method, and modifies the divided surface functions to direct the reflection light depending on the height map.

1. はじめに

コンピュータホログラフィの技術発展は著しく[1], 解像度が 3000 億ピクセルを超える大型の全方向視差高解像度計算機合成ホログラム (Full-parallax high-definition computer-generated hologram : FPHD-CGH) が作製可能となった[2]. FPHD-CGH は深い奥行きを有する高精細な 3D 映像を再生でき, 拡散面だけでなく鏡面[3], 鏡面性曲面[4], 透明物[5]などの様々な質感表現レンダリングの手法が提案されている. また, 低解像度の電子ホログラフィ用では CG のバンプマッピングを鏡面性表面へ適用する手法も提案されているが[6], FPHD-CGH に適用できないことが確認されている. そこで本研究では, ポリゴン法物体光波計算における鏡面性曲面のレンダリング法を応用し[4], FPHD-CGH で鏡面性表面へバンプマッピングする手法を提案する. 本稿では提案法を用いて計算した FPHD-CGH の光学再生像を示し, CG 画像との比較を報告する.

2. 鏡面性表面のレンダリング

ポリゴン法は 3D モデルのポリゴン形状面光源からの光波を計算する. 各面光源は表面関数

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

で表される. ここで, 振幅分布 $a(x, y)$ はポリゴンの形状やテクスチャを与え. 一方, 位相分布 $\phi(x, y)$ は光波に拡散性を与える. 鏡面性表面の表面関数は, 光波の

拡散性を Phong の反射モデルに基づいてポリゴンの法線方向に反射するよう帯域制限した位相分布 $\phi_s(x, y)$ を生成し, 反射光ベクトル \mathbf{R} の方向に光が伝搬するように平面波位相を乗算する[3,4].

$$h_s(x, y; \mathbf{R}) = a_s(x, y) \exp[i\phi_s(x, y) + ik\mathbf{R} \cdot \mathbf{r}] \quad (2)$$

ここで, k と \mathbf{r} は波数と位置ベクトルを示す.

3. 鏡面性表面へのバンプマッピング

拡散性表面の反射光は全方向に均一に広がる. そのため, Fig.1(a)の高さマップに従い拡散性表面でバンプマッピングすると, (b)の様にポリゴン内の輝度が凹凸によって変化するだけであり, 高さマップに従った振幅分布を生成するだけで簡単にレンダリングが行える. 一方, (c)の様な鏡面性表面の場合は, 凹凸に合わせて反射方向も変化する必要があり, この様な特殊な反射特性を持つ位相分布による表面関数を生成する必要がある.

そこで, 反射光ベクトルがポリゴンの法線方向である鏡面性表面関数 $a_s(x, y) \exp[i\phi_s(x, y)]$ を用い, Fig.2 の様に表面関数をセグメント分割し, 高さマップから各セグメントの法線を得て反射光ベクトル \mathbf{R}_m を求め,

$$h'_s(x, y) = a_s(x, y) \exp[i\phi_s(x, y)] \sum_m g_m(x, y; \mathbf{R}_m) \quad (3)$$

とする. ここで,

$$g_m(x, y; \mathbf{R}_m) = \text{Rect}_m(x, y) \exp[ik\mathbf{R}_m \cdot \mathbf{r}] W_m \quad (4)$$

は平面波位相, $\text{Rect}_m(x, y)$ はセグメント m の形状を表

す矩形関数で,

$$\text{Rect}_m(x, y) = \begin{cases} 1 & \dots \text{セグメント } m \text{ の内側} \\ 0 & \dots \text{その他} \end{cases} \quad (5)$$

$$W_m = \begin{cases} 0 & \dots \mathbf{R}_m \cdot \mathbf{H} < 0 \\ 1 & \dots \text{その他} \end{cases} \quad (6)$$

と表される. ここで, \mathbf{H} はホログラム面と直交する単位ベクトルであり, $\mathbf{R}_m \cdot \mathbf{H} < 0$ の場合, そのセグメントからはホログラム面に光波がほぼ届かないため計算せず, エイリアシングの発生を抑制する.

4. 光学再生像

提案法を用いて計算した物体光波から約 340 億画素の FPHD-CGH を作製し光学再生を行った. サイコロの 3D モデルと高さマップを Fig.3 に示す. 深さ 4mm の賽の目をバンプマッピングしている. CGH のパラメータを Table 1 に示す. Fig.4 に光学再生像と比較用の CG 画像を示す. モデルは鏡面性の立方体だが表面に窪みがあるかのような陰影が現れており, 視点を移動すると陰影も変化するバンプが確認できた. また, 正面視点では CG 画像とも概ね一致した.

5. まとめ

本研究では, ポリゴン法の鏡面性曲面のレンダリング法を応用することで FPHD-CGH に適用可能な鏡面性表面のバンプマッピングのレンダリング法を提案した. 提案法を用いた CGH の光学再生像と CG 画像が概ね一致しており, 提案法の有効性が確認できた.

文 献

- [1] K. Matsushima, *Introduction to Computer Holography*, (Springer, 2020)
- [2] K. Matsushima, H. Nishi, R. Katsura, et al., "Computation techniques in terapixel-scale full-parallax computer holography for 3D display," 12th Laser Display and Lighting Conference (LDC 2023), paper LDC10-02 (2023).
- [3] H. Nishi, K. Matsushima, S. Nakahara, "Rendering of specular surfaces in polygon-based computer-generated holograms," *Appl. Opt.* **50**, H245-H252 (2011).
- [4] H. Nishi and K. Matsushima, "Rendering of specular curved objects in polygon-based computer holography," *Appl. Opt.* **56**, F37-F44 (2017).
- [5] H. Nishi and K. Matsushima, "Rendering of transparent objects in large-scale full-parallax polygon-based computer holography," *Opt. Express* **33**, 704-716 (2025).
- [6] F. Wang, D. Blinder, Y. Udjaja, et al., "Viewpoint-dependent lighting on polygonal holograms using bump mapping," *Opt. Lett.* **49**, 5180-5183(2024).

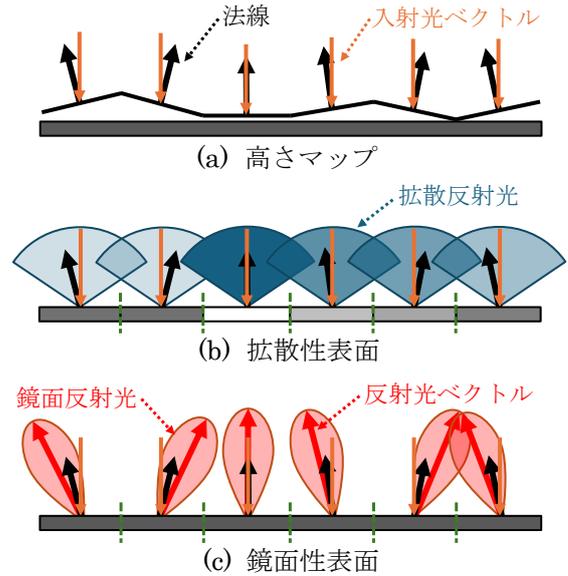
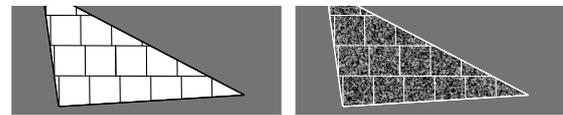
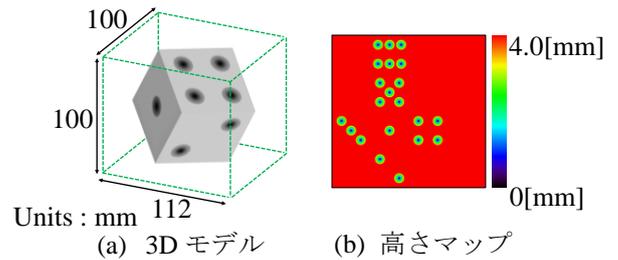


Fig.1 CGH におけるバンプマッピング



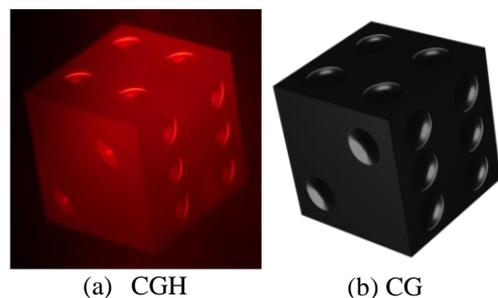
(a) 振幅分布 (b) 位相分布
Fig.2 セグメント分割した表面関数



(a) 3D モデル (b) 高さマップ
Fig.3 CGH の 3D モデルと高さマップ

Table 1 CGH のパラメータ

ホログラム	
ピクセル数	131,072 × 262,144
ピクセルピッチ [μm]	0.8 × 0.4
設計波長 [nm]	630
表面関数	
拡散光係数	1.0
鏡面光係数	0.1
光沢度	10
拡散性表面関数	0.8 × 0.8
サンプリング間隔[μm]	
鏡面性表面関数	0.315 × 0.315
サンプリング間隔[μm]	



(a) CGH (b) CG
Fig.4 CGH の光学再生像と CG レンダリング結果