

表面モデル3次元物体の計算機合成ホログラム

A Computer-Generated Hologram synthesized for Surface-Model Three-Dimensional Objects

松島恭治 近藤暁靖

Kyoji Matsushima and Akinobu Kondoh

関西大学工学部電気工学科

Department of Electrical Engineering, Kansai University

E-mail : matsu@kansai-u.ac.jp

ABSTRACT

Brightness of optically reconstructed surfaces of a computer-generated display hologram, digitally synthesized for a three-dimensional object in surface model, is investigated. Photometrical analysis on brightness of a tilted surface plane, represented by a surface property function, shows the brightness changes dependently on the viewing angle.

1 はじめに

ディスプレイ用のコンピュータ合成ホログラム (以下 CGH) において物体光波を合成するための物体モデルとして, 点光源モデル [1] や, 最近提案されている体積モデル [2], 断層モデルなどがある. 現在主流の点光源モデルは単純で表現力に富む反面, 全方向視差 CGH では膨大な演算時間を必要とする問題点があり, 漸化式を用いた数値計算法 [3] を用いても, 数平方センチ程度のホログラムで半日程度の演算時間が必要である [4].

著者らは, このような点光源モデルとは異なり, 物体を CG と同様に平面で構成し, それらの平面からの回折光波を波動光学的に計算することにより物体光波を数値合成する表面モデル光波回折法を提案している [5, 6]. 本稿では表面モデル光波回折法で合成した CGH の再生像で観察される輝度について報告する.

2 物体モデルと表面特性関数

Fig. 1 は座標系と物体のモデルを示している. 物体を構成している q 番目の平面を, $(x_q, y_q, 0)$ 平面内に含むローカル座標系 (x_q, y_q, z_q) を定義し, この平面内で表面特性関数 $s_q(x_q, y_q)$ を定義する. この関数は, 平面の形状, 明るさ, 散乱性, 質感, テクスチャなどの情報を含む複素関数である. この平面からの回折光波を波面展開してフーリエ領域で座標回転し [5], ホログラム面上で重畳することにより物体光波を合成する.

本研究では, 表面特性関数を次式で構成している.

$$s_q(x_q, y_q) = a_q(x_q, y_q)p_q(x_q, y_q)\Psi(x_q, y_q) \quad (1)$$

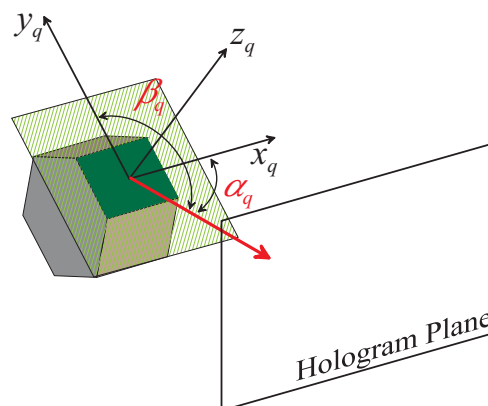


Fig. 1 Coordinate system and geometry for synthesis of object waves.

ここで, $a_q(x_q, y_q)$ は平面 q の振幅分布を表す実関数であり, 平面形状の情報とテクスチャを含んでいる. 一方,

$$p_q(x_q, y_q) = \exp[ik(\cos \alpha_q x_q + \sin \beta_q y_q)] \quad (2)$$

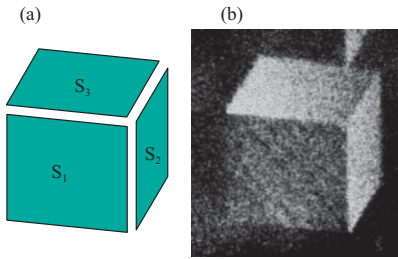
は, ホログラム面に垂直に入射する平面波であり, $\cos \alpha_q$ と $\sin \beta_q$ はホログラムに垂直な単位ベクトルの x_q, y_q 方向に対する方向余弦である. さらに, 平面から放出される光に拡散性を与えるため, スペックルフリーでスペクトルが帯域制限された Bräuer の拡散性位相 [7], $\phi_d(x_q, y_q)$ を

$$\Psi(x_q, y_q) = \exp[ik\phi_d(x_q, y_q)] \quad (3)$$

として重畳している.

Table I Parameters used for synthesizing an object wave and fabricating a hologram.

| | |
|------------------------------|--------------------------------------|
| Dimension of object | $6 \times 6 \times 6 \text{ mm}^3$ |
| z -Position of object | 100 mm |
| Number of sampling per plane | 8192×4096 |
| Sampling pitches | $2 \mu\text{m} \times 4 \mu\text{m}$ |
| Pixels of hologram | 8192×4096 |
| Pixel sizes of hologram | $2 \mu\text{m} \times 4 \mu\text{m}$ |
| Reconstruction wavelength | 632.8 nm |

**Fig. 2** A cube composed of plane surfaces (a) and a photograph of an optically reconstructed image of its hologram (b).

3 3次元物体の光学再生像

Fig. 2(a) に示した 3 枚の平面 S_{1-3} からなる立方体のホログラムを本手法を用いて作成し、それを光学再生した結果を (b) に示す。また、この時に用いたパラメータを Table I に示す。

Fig. 2(b) から、再生像には陰影が付いて見えることがわかる。しかしながら、物体光波の合成時には各面の表面特性関数の振幅を同一としており、特にシェーディングを施していない。この原因を調べるため輝度の解析を行った。

4 再生像の輝度解析

点光源モデル光線追跡法でも、点光源を充填して形成した平面の輝度が観測方向によって変化することが知られており [8]、これも同様の現象ではないかと推測した。そこで、Fig. 3 に示したモデルにより表面特性関数 (1) で表現した傾いた平面の輝度を解析した。

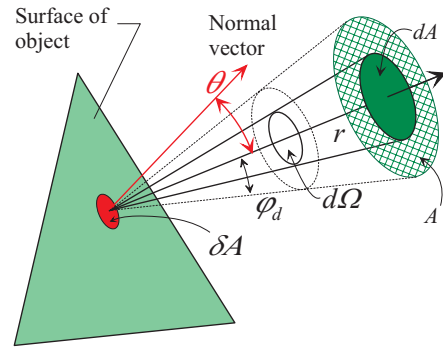
今、表面特性関数の振幅が $a(x, y) \equiv a_0$ で一定とし、 $|s(x, y)|^2 = a_0^2$ が光強度に一致するような次元を a_0 に与えるものとする。このとき、物体表面の微小領域 δA からの光束 Φ は、

$$\Phi = \iint_{\delta A} |s(x, y)|^2 dx dy \quad (4)$$

$$= \delta A \sigma a_0^2 \quad (5)$$

で与えられる。式 (5) では表面特性関数が離散化していることを考慮しており、 σ は標本化密度である。

微小領域 δA からの光束が散乱性位相により発散

**Fig. 3** A photometric model for analyzing brightness of a plane surface represented by a surface property function.

角 φ_d で拡散し、表面から距離 r 伝播した位置で面積 $A = \pi(r \tan \varphi_d)^2$ に光束が均一に広がっていると仮定して、距離 r の位置にある微小面 dA での光束密度を $d\Phi/dA \simeq \Phi/A$ と近似する。この時、立体角 $d\Omega = dA/r^2$ に対して放射強度は、

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} = \frac{\Phi}{\pi \tan^2 \varphi_d} \quad (6)$$

となり、角度 θ の方向で観測される輝度は

$$L = \frac{I}{\cos \theta \delta A} = \frac{\sigma a_0^2}{\pi \tan^2 \varphi_d \cos \theta} \quad (7)$$

となる。この結果から、再生像の輝度は面を見る方向に依存して変化することがわかる。

5 まとめ

物体を構成する面からの光波回折を計算することにより 3 次元物体の物体光波を合成しディスプレイホログラムを作成することができる。しかしながら、その再生像の面の輝度は観測する方向に依存して変化することがわかった。

参考文献

- [1] A. D. Stein, Z. Wang and Jr. J. S. Leigh: Computers in Physics **6**, 389-392(1992).
- [2] 坂本, 金澤, 青木: 3次元画像コンファレンス 2002, 209-212(2002).
- [3] K. Matsushima and M. Takai: Appl. Opt. **39**, 6587-6594(2000).
- [4] 近藤, 松島: 3次元画像コンファレンス 2002, 113-116(2002).
- [5] K. Matsushima, H. Schimmel and F. Wyrowski: SPIE Proc. Practical Holography XVI and Holographic Materials VIII #4659, 53-60(2002).
- [6] 松島, 近藤: 3次元画像コンファレンス 2002, 213-216(2002).
- [7] R. Bräuer, F. Wyrowski and O. Bryngdahl: J. Opt. Soc. Am. **A8**, 572(1991).
- [8] 松島, 本荘: 映像情報メディア学会誌 **56**, 986-992(2002).