

ディスプレイ CGH における厳密な波動光学的隠面消去 A Rigorous Method for Hidden-Surface Removal in Display CGHs

松島恭治

Kyoji Matsushima

関西大学工学部 先端情報電気工学科

Department of Electrical Engineering and Computer Science, Kansai University

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

ABSTRACT

An rigorous method to calculate fields obstructed by a tilted plane is presented. In this method the problem of leakage lights, yielded by the silhouette approximation, is not occurred. Optical reconstruction of a CGH synthesized by using the proposed technique is demonstrated.

1 はじめに

3次元立体ディスプレイを目的としたCGHにおいて、観察者からは見えない部分の再生像を隠す隠面消去は重要な技術である。そのため、点光源法による物体光波合成では、球面波の光線を追跡する際に前面にある他の物体との交差を幾何学的に判定する手法がいくつか提案されている [1]。しかしながら、これらはいずれも計算に長時間を要するため、縦方向視差を放棄したCGHにしか適用することができない。

そこで我々は、全方向視差ホログラムに適用可能な波動光学的隠面消去法としてシルエット近似法を提案している [2]。これは、表面モデルの物体で、表面を構成する各平面をホログラムと平行な平面に投影したシルエットをマスクとして、光波の一部を遮蔽する手法である。この手法は、CGHの標本間隔が波長よりも十分粗く、近軸近似が成立するような場合には十分有効である。しかし、高い解像度のCGHではシルエットマスク間に生じる間隙を通り抜ける光線が生じ、隠面消去が完全でなくなるという問題点があった。

そこで本研究では、このような遮蔽漏れが生じない厳密な波動光学的隠面消去の手法を検討した。

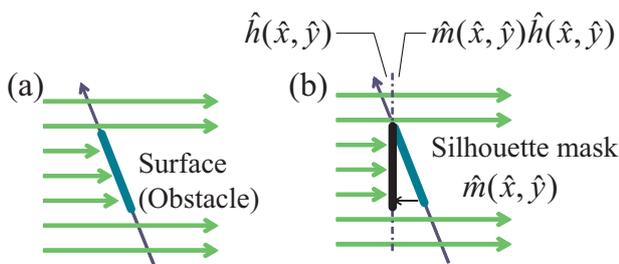


Fig. 1 The silhouette approximation [2].

2 シルエット近似とその問題点

いま、座標系 $(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$ を考え、ホログラムが $(\hat{x}, \hat{y}, 0)$ 面上にあるとする。また、光軸は \hat{z} に沿って、ホログラムと垂直に物体空間から観察空間に向かっているものとする。この様な座標系で、物体空間に、Fig. 1(a) に示したように、ホログラムに対して傾いた表面 (平面) があり、この平面が背後から入射する光波 $\hat{h}(\hat{x}, \hat{y})$ を隠蔽しているとする。シルエット近似法では、Fig. 1(b) の様に、この表面形状をホログラムに平行な平面への投影して得られる 2 値のマスク関数 $\hat{m}(\hat{x}, \hat{y})$ で入射光波を遮蔽する。すなわち、この表面で遮蔽された光波を

$$\hat{h}'(\hat{x}, \hat{y}) = \hat{h}(\hat{x}, \hat{y})\hat{m}(\hat{x}, \hat{y}) \quad (1)$$

とする。これを、物体空間の奥からホログラムに向かって繰り返すことにより、隠面消去された物体光波を合成している。しかしながら、シルエット近似の問題点は、Fig. 2 に示す様に光軸に対して大きな角度を有する光線がある場合、本来間隙がなく密着した表面の間を通過する漏れ光が生じることである。

3 厳密な波動光学的隠面消去

傾いた表面に対して厳密に隠面消去を行うためには、光軸に沿って伝搬する光波の傾いた表面に沿った断面を求めなければならない。このためには、筆者ら

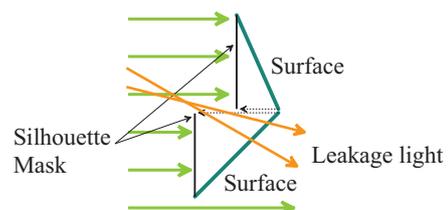


Fig. 2 Leakage lights in silhouette approximation.

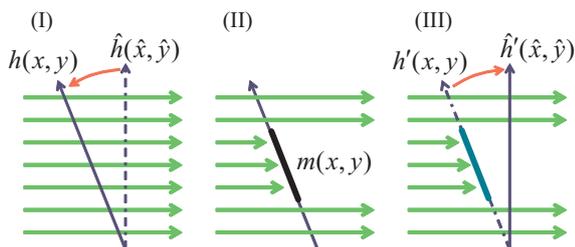


Fig. 3 A procedure for rigorous calculation of obstruction by tilted plane.

が提案した傾いた平面で回折光波を計算する回転変換の手法 [3] を用いることができる．この回転変換を用いると、表面 n の位置において光波が $\hat{h}_n(\hat{x}_n, \hat{y}_n)$ であるとき、傾いた平面上におけるその断面は、

$$h_n(x_n, y_n) = \mathcal{F}^{-1} \mathcal{R}_{\psi_n}^{-1} \mathcal{F} \{ \hat{h}_n(\hat{x}_n, \hat{y}_n) \} \quad (2)$$

と表わされる．ここで、 \mathcal{F} はフーリエ変換、 \mathcal{R}_{ψ_n} はフーリエ空間における座標回転演算を表わす．これにより、Fig. 3 のステップ (I) で示したように、傾いた平面に沿った複素振幅分布が求まる．次に、(II) に示すように傾いた平面上で表面の形状に応じたマスク関数 $m_n(x_n, y_n)$ を乗算して遮蔽された光波

$$h'_n(x_n, y_n) = h_n(x_n, y_n) m_n(x_n, y_n) \quad (3)$$

を求め、(III) の様に $h'_n(x_n, y_n)$ を逆回転することにより、表面 n によって遮蔽された光波 $\hat{h}'_n(\hat{x}_n, \hat{y}_n)$ が求まる．

しかし、これだけでは表面 n 自体から放出された光波が含まれていない．光波そのものの合成に表面回折法 [4] を用いるとすると、表面 n 自体の発光も含め、次の面 $n+1$ に到達する光波は、

$$\hat{h}_{n+1}(\hat{x}, \hat{y}) = \mathcal{F}^{-1} \{ \mathcal{R}_{\psi_n} \mathcal{F} \{ h'_n(x_n, y_n) + s_n(x_n, y_n) \} \times \mathcal{P}(d_n - d_{n+1}) \}. \quad (4)$$

となる．ここで $s_n(x_n, y_n)$ は表面回折法において面 n の形状等を定義する表面特性関数である．また $\mathcal{P}(d)$ はフーリエ空間で距離 d の並進伝搬に相当する位相項である．

式 (2) および (3) を式 (4) に代入することにより、隠面消去された光波を合成するための漸化式が得られる．しかしながら、このままでは一つの面を処理するのに 4 回の FFT が必要となる．そこで、式 (4) の両辺をフーリエ変換し、 $\hat{H}_n(\hat{u}, \hat{v}) = \mathcal{F} \{ \hat{h}_n(\hat{x}, \hat{y}) \}$ の伝搬として書き改めると、

$$\hat{H}_{n+1}(\hat{u}, \hat{v}) = \mathcal{R}_{\psi_n} \mathcal{F} \{ \mathcal{F}^{-1} \mathcal{R}_{\psi_n}^{-1} \{ \hat{H}_n(\hat{u}, \hat{v}) \} m_n(x_n, y_n) + s_n(x_n, y_n) \} \mathcal{P}(d_n - d_{n+1}), \quad (5)$$

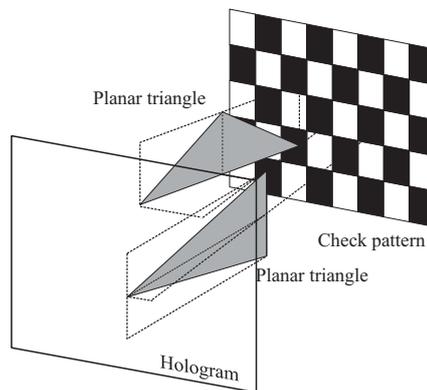


Fig. 4 An object model.

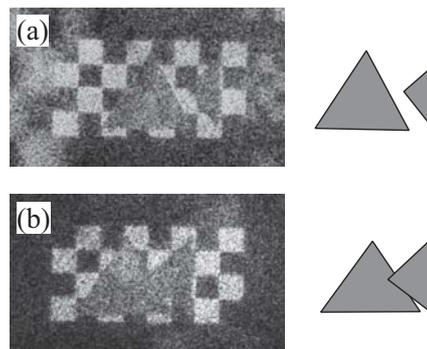


Fig. 5 Optical reconstruction of the fabricated CGH.

が得られ、1 面あたり 2 回の FFT で計算ができることになる． N 枚の平面で構成される物体では最終的にホログラム面上での光波は、

$$h_{\text{Hologram}}(\hat{x}, \hat{y}) = \mathcal{F}^{-1} \{ \hat{H}_{N+1}(\hat{u}, \hat{v}) \}. \quad (6)$$

として求まる．

4 実験結果とまとめ

Fig. 4 の物体の配置で、フリッジプリンタ [5] を用いてピクセル間隔 $1.5 \times 2 \mu\text{m}^2$ 、ピクセル数 16384×4096 の CGH を作成し、再生した結果を Fig. 5 に示す．(a) と (b) は異なったアングルから撮影した写真であり、正確に隠面消去がなされていることがわかる．

参考文献

[1] 高瀬, 坂本, 青木: 映情学誌 57, 483-489(2003).
 [2] 近藤, 松島: 電子情報通信学会論文誌 D-II J87-D-II, 1487-1494(2004).
 [3] K. Matsushima, H. Schimmel and F. Wyrowski: J. Opt. Soc. Am. A20, 1755-1762(2003).
 [4] K. Matsushima and A. Kondoh: SPIE Proc. Practical Holography XVII and Holographic Materials IX #5005, 190-197(2003).
 [5] 宮内, 山中, 栗林, 松島: 3次元画像コンファレンス 2004, 89(2004).