

高解像度コンピュータホログラフィにおける 光波の回転変換を用いた厳密な光波遮蔽法 Rigorous Light-Shielding Using Rotational Transform of Wave-fields in High-Definition Computer Holography

○増田幸勇¹⁾, 松島恭治¹⁾, 中原住雄²⁾

○Sachio Masuda¹⁾, Kyoji Matsushima¹⁾ and Sumio Nakahara²⁾

関西大学システム理工学部電気電子情報工学科¹⁾

関西大学システム理工学部機械工学科²⁾

Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University¹⁾

Department of Mechanical Engineering, Kansai University²⁾

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

High-definition computer holography based on the polygon-based method commonly uses the silhouette method to shield light behind the objects. However, the silhouette-based light-shielding is not perfect and causes leakage light passing through many gaps between silhouette-shaped masks. More rigorous light-shielding technique using polygon-shaped masks has also been proposed but very time-consuming. We propose techniques to reduce the computation time and apply the rigorous technique to high-definition computer holography. A CGH created by the proposed method is demonstrated.

1. はじめに

近年, 次世代におけるデジタル 3D 映像としてコンピュータホログラフィが注目されている. 我々はレーザーリソグラフィ技術とポリゴン法を用いて古典的なホログラムに匹敵するほどの美しい空間像が再生可能な計算機合成ホログラム(Computer-Generated Hologram)を報告している[1]. 現状の高解像度コンピュータホログラフィでは, 後方からの光波が前方の物体に透けないための光波遮蔽処理としてシルエット法が用いられている. シルエット法とは, 物体をホログラムと平行な平面に投影したシルエットマスクを用いて遮蔽処理を行う近似的な手法である. しかし高解像度 CGH では光波の最大回折角が大きく, シルエットマスク間を通り抜ける軸はずれ光波が顕著に生じる問題があった. 一方, このような軸外れ光波も除去できる厳密な光波遮蔽法も提案されている[2]. この手法では, 回転変換を用いてポリゴンと同一平面上の光波分布を計算し, ポリゴン形状のマスクで遮蔽する. そのため原理的に光波の漏れは発生しない. しかし高解像度 CGH においては光波全体の回転変換の計算コストが非常に高いため, 高解像度 CGH に対してこの手法が用いられたことはなかった. そこで本研究では, 厳密な光波遮蔽を高解像度 CGH に適用するための手法を提案する. また, 実際に提案手法を用いて作成した CGH の光学再生像を示す.

2. 厳密な光波遮蔽法

Fig.1 に厳密な光波遮蔽法による背景光波の遮蔽処理の手順を示す. 厳密な光波遮蔽では, ポリゴンが存在する平面上でポリゴン形状マスク関数を乗算する. 一般にこの平面はホログラムとは非平行であるため, 後方から入射する背景光波 $\hat{h}(\hat{x}, \hat{y})$ を, (a)に示すように回転変換し, 傾いた平面上での背景光波を計算する. すなわち, 遮蔽処理は,

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

と表される. ここで Rot は回転変換, $m(x, y)$ はマスク関数を表している. 本手法では, マスク関数はポリゴン形状そのものであり, 2 値関数として

$$m(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{inside polygon} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

と定義する. (c)に示すように, 遮蔽後の背景光波は逆回転変換によって求められる.

$$\begin{aligned} \hat{h}'(\hat{x}, \hat{y}) &= \text{Rot}^{-1}\{h'(x, y)\} \\ &= \text{Rot}^{-1}\{\text{Rot}\{\hat{h}(\hat{x}, \hat{y})\} \times m(x, y)\} \end{aligned} \quad (3)$$

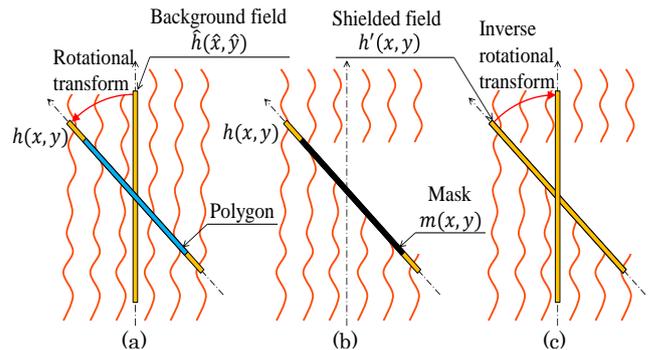


Figure 1. The procedure for rigorous light-shielding.

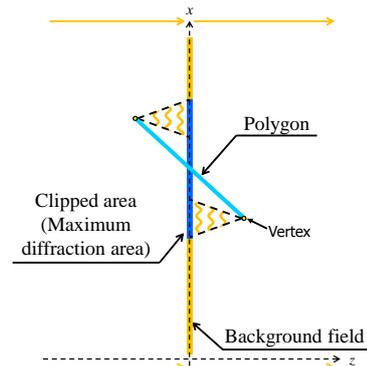


Figure 2. Clipping area of the background field.

2. 高解像度 CGH への適用

以上で示したように、厳密な光波遮蔽はポリゴンごとに2回の回転変換を必要とするため、数億ものサンプリング点を持つ高解像度 CGH では計算コストが非常に大きくなる。本研究では、計算コストの削減のために主として次の方法を用いた[3]。

2.1. 背景光波のクリッピング

一般にポリゴンは物体光波全体を伝搬する背景光波よりもはるかに小さいため、ポリゴンによって遮蔽される部分は背景光波のほんの一部である。従って、背景光波全体ではなく、必要な範囲のみクリッピングして回転変換を行うことで、計算コストの削減が可能となる。ここで、背景光波の必要な範囲とは、ポリゴンに入射し光波遮蔽によって影響を受ける部分である。本研究では Fig.2 に示すように、この範囲をポリゴンからの光波の最大回折範囲としている。

2.2. Babinet の原理によるサンプリング範囲の削減

傾いた平面でのサンプリング範囲はクリッピングした部分の背景光波が回折する範囲を全て含んでいる必要がある。これはクリッピングした光波の情報喪失を防ぐためであるが、ポリゴンが平行な平面に対して大きな傾きを持つ場合このサンプリング範囲は非常に大きくなる。そのため本研究では、Babinet の原理に基づいて遮蔽処理を行っている。Fig.3 に示すように、光波遮蔽を(a)に示すマスクではなく、(b)に示す開口を用いて行うことで、傾いた平面で必要な光波を開口に入射する部分のみに限定でき、回折光波全体を計算する必要がなくなる。

3. 高解像度計算機合成ホログラムの作成

提案法の実証のために、Fig.4 に示す 3D シーンについて、本手法と従来用いられていたシルエット法、それぞれの手法で高解像度 CGH を作成した。ここで CGH のピクセル数とピクセルピッチはそれぞれ水平垂直 65,536 [pix]と 1.0 [μm] である。その光学再生像を Fig.5 に示す。従来法では漏れ光が確認されるが、提案法では漏れ光が軽減されていることが確認できる。

4. まとめ

高解像度コンピュータホログラフィにおいて厳密な光波遮蔽法を適用する手法を提案した。この手法を用いた場合、漏れ光波やオクルージョンエラーを低減できることが確認できた。

本研究は、日本学術支援振興会の科研費(24500133)、および文部科学省私立大学戦略基盤研究形成支援事業(平成 25 年～平成 29 年)の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] K. Matsushima, and S. Nakahara: SPIE Newsroom, (6 Nov. 2012). DOI:10.1117/2.1201210.004526
- [2] K. Matsushima: SPIE Proc. **5742**, 25-32(2005).
- [3] 増田, 松島, 中原: 3次元画像コンファレンス 2013 論文講演集, pp61-64, (2013).

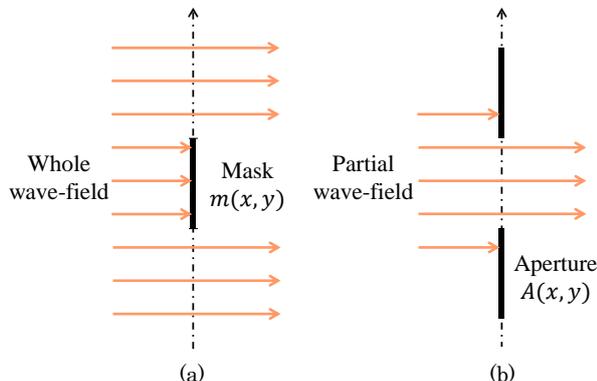


Figure 3. Light-shielding by the mask (a) and aperture (b). These are equivalent to each other according to Babinet's principle.

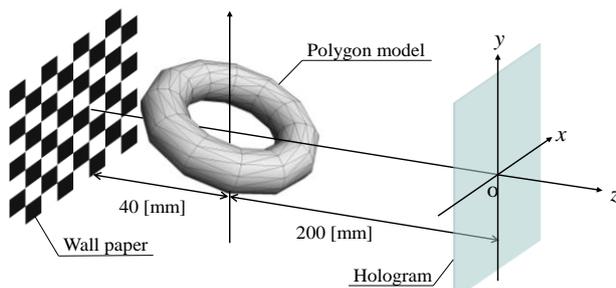
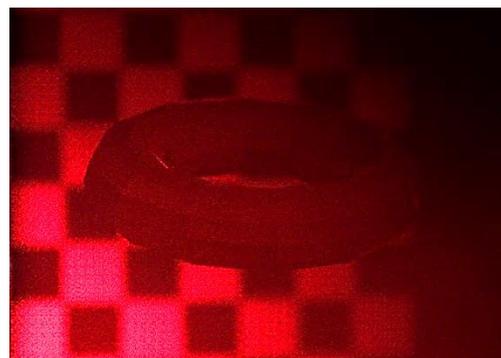


Figure 4. The 3D scene used for the examination of light-shielding.



(a) Conventional silhouette method



(b) This work

Figure 5. Comparison of two light-shielding techniques.