

準エッジリット型 CGH 照明システム用 ホログラフィック光学素子の開発

Development of Holographic Optical Element Used for Quasi-Edge-Lit CGH Lighting System

根田真吾

松島恭治

Shingo Konda

Kyoji Matsushima

関西大学 システム理工学部 電気電子情報工学科

Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University

ABSTRACT

A quasi-edge-lit CGH illumination system using HOE is proposed to reduce the overall thickness of a computer-generated hologram (CGH) including the illumination light source in practical exhibition. When a broadband light source such as an LED is used for this system, the reconstructed image blurs because of chromatic aberration. Therefore, a technique, where the second HOE used for narrowing the spectral linewidth, is proposed to obtain a clear image even with LEDs. In this paper, we demonstrate optical reconstruction of a high-definition CGH, using the proposed lighting system with an LED.

Keywords: HOE, 計算機合成ホログラム, エッジリット型ホログラム

1. はじめに

近年, コンピュータホログラフィ (Computer Holography, 以下 CH)の進歩によって, 数 10 億を越えるピクセル数を持った高解像度計算機合成ホログラム(以下 CGH)が多く作製されるようになった[1]. 作製した CGH を再生するためには, あらかじめ計算した位置からの照明光源が必要になる. CGH は展示の際の利便性から反射再生されることが多いが, 従来の照明方法では, CGH の前側に配置された照明光源が視線と重なって邪魔になり, また光源も含めた CGH 画像全体の厚さを薄くすることが困難であった. これを解決するためには再生照明光の入射角を大きくとればよいが, 入射角を大きくするためには CGH の画素ピッチを小さくする必要があり, 描画装置の限界からそれほど大きな入射角にはできな

い問題がある.

光学ホログラフィでは, アナログホログラムの基板端面から照明光を入射するエッジリット型ホログラムが知られている[2]. そこで, ホログラフィック光学素子(Holographic Optical Element, 以下 HOE)を用いて照明光の波面を変換することが考えられる. この様な HOE としては既に「Ega-rim」がエガリム社から提案されており, 基板厚さ約 1.0 mm でアナログホログラムの照明が報告されている[3]. しかし, 「Ega-rim」はレーザー光源を前提としていること, また高解像度 CGH と組み合わせた場合, CGH 全面を照明可能な再生照明光の生成が難しいことなどが問題となる.

そこで,本研究では役割の異なる 2 種類の HOE を組み合わせることで, 従来の照明方法に比べて十分に厚さが薄く, かつ LED 光源で再生が可能な照明システムの開発を行った. この手法では「Ega-rim」のようにガラス基板端面からの入光はできないが, 従来に比べかなり大きな角度で再生照明光を入射できることから, 本研究では準エッジリット型 CGH 照

根田真吾

<konda@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

〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35

TEL 06-6368-1121(内線 5722)

明システムと呼んでいる。

2. 高解像度 CGH 照明用 HOE

照明システムの構成を Fig.1 に示す。体積ホログラムである HOE に照明光源からの光を入射すると CGH の再生に適した球面波が反射光として HOE から出力される。このような HOE は、Fig.2 に示すように、二つの球面波を記録材料に入射し、三次元的に干渉縞を記録することによって作製する。そのため、波長選択性等のような体積ホログラム特有の性質が現れる。しかし、HOE 作製時の光の入射角度によっては形成される干渉縞の構造が異なってくるため、HOE の性質は大きく異なってくる。形成される干渉縞の方向によっては HOE の性質は薄いホログラムに近づき、波長選択性が低下する。この場合、通常の回折格子と同様に回折角が波長に依存するため、LED のような広帯域光源を HOE の入力光とした場合、色収差が生じて出力光の波面が理想的なものではなくなる。

例えば、Fig.1 に示す角度 α が大きな方が照明システムを薄くできるが、 α が大きくなるにつれて HOE の体積ホログラムとしての特性は失われていき、薄いホログラムに近づいていく。そのため、広帯域な再生照明光では、HOE の出力光は波長ごとに異なった中心からの球面波となり、理想的な球面波出力光とはならない問題が生じる。

2 光束干渉法によって測定した、入射ビーム間の角度に対する HOE の波長選択性と回折効率の変化を Fig.3 と Fig.4 に示す。 α を大きくすると HOE 作製時の入射ビーム角度が 90 度に近づくため、波長選択性が低下することがわかる。そのため、HOE の出力光は理想的な球面波ではなくなる。

そのため、本研究では二つの HOE を使い、一方を狭帯域化用、もう一方を CGH 照明球面波形成用とした。

3. 準エッジリット型 CGH 照明システム

本研究で提案する準エッジリット型 CGH 照明システムを Fig.5 に示す。ここで、HOE1 は CGH 照明光の球面波を形成している。光源には、LED 光源を用いることを想定している。省スペース化のためには α の値を大きくする必要があるが、その場合、前

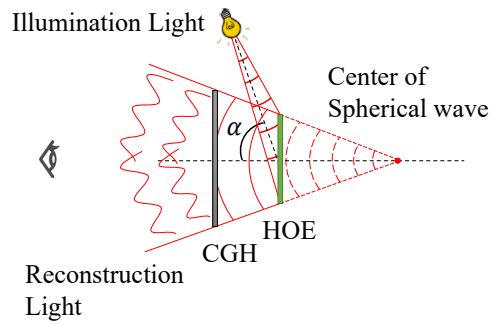


Fig.1 The basic idea of the CGH lighting system using a HOE.

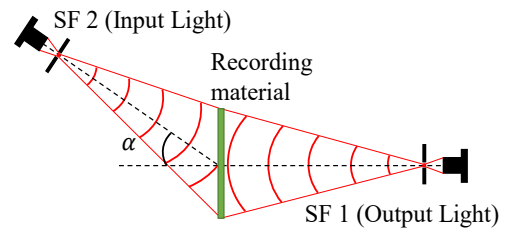


Fig.2 Production of the HOE

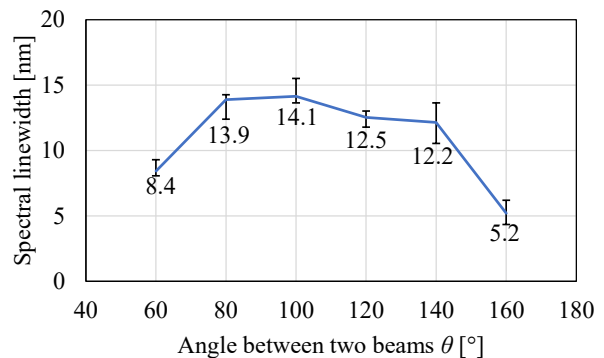


Fig.3 Wavelength selectivity for the angle between two beams.

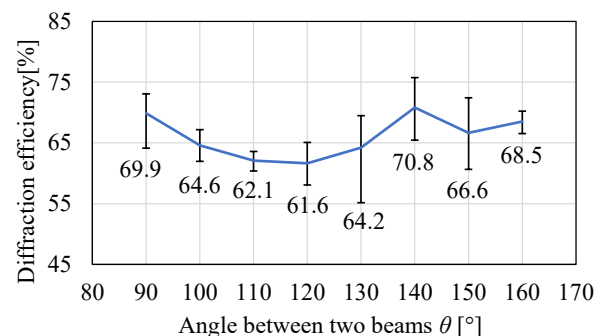


Fig.4 Diffraction efficiency for the angle between two beams.

述のとおり HOE1 は波長選択性を失い、出力球面波に収差が生じ、CGH の再生像にボケが生じる。この

問題は HOE1 の入射光を狭帯域化することで改善できる。そこで、高い波長選択性を持たせた小型の HOE2 を用いて LED 光を狭帯域化して HOE1 に入射することで収差を改善することを考えた。この時、両方の HOE に高い回折効率が、また HOE2 には高い波長選択性が必要である。前節の角度依存性から決定した、Fig.5 に示したパラメータを Table 1 に示す。また、HOE1 と HOE2 作製のための光学系をそれぞれ Fig.6 と Fig.7 に示し、記録時のパラメータを Table 2 に示す。HOE の記録材料には COVESTRO 社のフォトポリマー Bayfol®HX200 を用いた。

このシステムで再生する高解像度 CGH のサンプルとして、振幅変調に比べ明るい像が得られる位相変調の透過型 CGH を用いた[4]。本研究で用いた CGH のパラメータを Table 3 に、その 3D シーンを Fig.8 に示す。ここで、Table 1 で決定したパラメータに合わせるために、CGH 照明光の入射角が上方7度となるよう CGH の計算を行った。

4. 製作した照明システムと再生像

3D プリンタで製作した照明システム(額縁)の 3D モデルと寸法を Fig.9 に示す。額縁の厚さは約 3.3 cm であり、従来の照明方法と比べて十分に薄い照明システムとなっている。

この照明システムを用いた再生像を Fig.10 に示す。Fig.10 (a)は光源として赤色のピグテイル LED を、(b)は光源として通常の砲弾型 LED を用いた場合である。なお、砲弾型 LED の出力は空間コヒーレンスが低いため直径約 0.8 mm の開口を通して HOE2 に入射している。これらの結果から、明るい室内での展示に十分耐える鮮明な再生像が得られることを確認できた。提案した照明システムでは光源が額縁に内蔵され、その厚みが十分に薄く CGH 前方に光源を設置する必要がないことから、Fig.11 に示すように、壁に掛けて快適に再生像を鑑賞することも可能である。なお、この例では光源にはピグテイル LED を用いている。

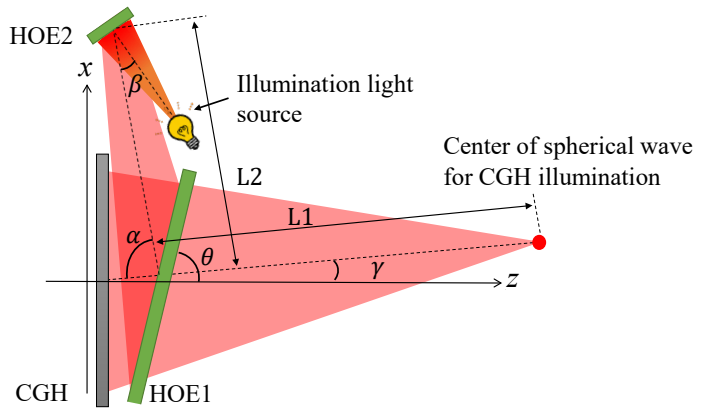


Fig.5 Design of the proposed lighting system.

Table1 Determined parameters.

Sizes of HOE1 [mm ²]	64 × 64
Sizes of HOE2 [mm ²]	1.5×4.0
Angle (α , β , γ , θ) [°]	90, 20, 7, 77
Length (L1, L2)	135, 70

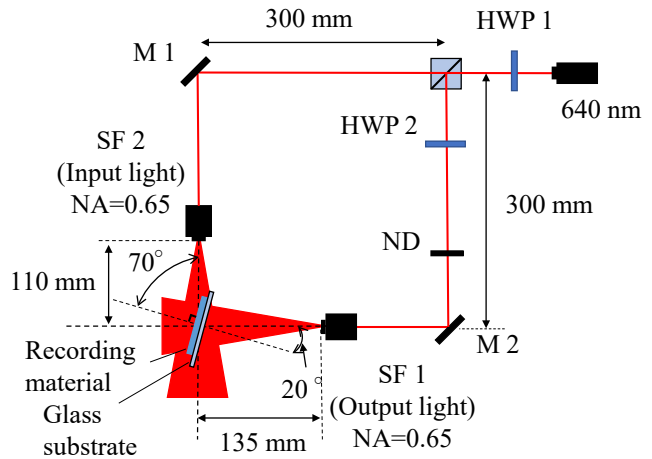


Fig.6 Setup used for fabricating HOE1. M, Mirror; SF, Spatial filter; HWP, Half wavelength plate.

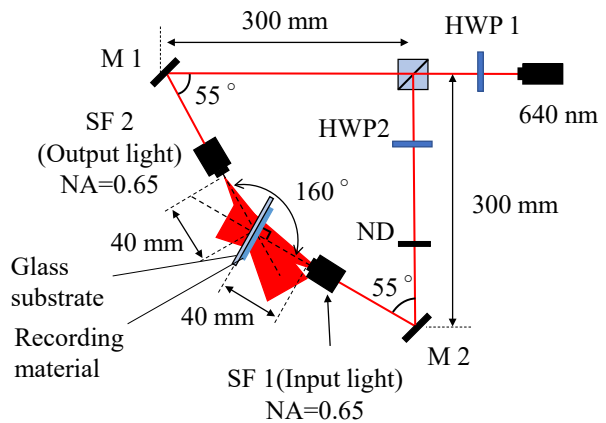


Fig.7 Setup used for fabricating HOE2. M, Mirror; SF, Spatial filter; HWP, Half wavelength plate.

Table2 Parameters for fabricating HOEs.

	HOE1	HOE2
Ratio of two beams	1:1	1:1
Exposure time [s]	7	2
Total exposure [mJ/cm ²]	15	15

Table3 Parameters of the sample CGH.

Number of pixels	65,536 × 65,536
Pixel pitches [μm]	0.8 × 0.8
Design wavelength [nm]	640

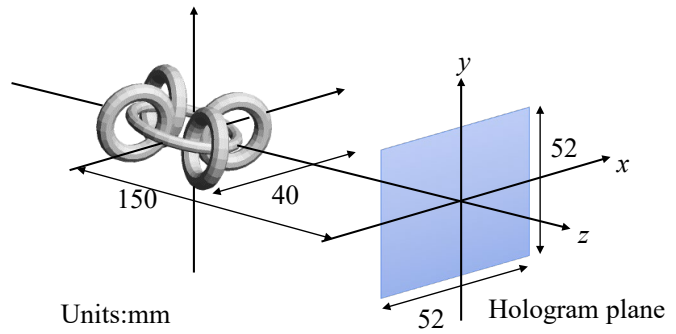


Fig.8 The 3D scene of the sample CGH.

5. まとめ

役割の異なる 2 種類の HOE を組み合わせることにより、省スペースでかつ LED 光源で照明可能な CGH 照明システムを開発した。その結果、従来の照明方法と比べ、CGH 画像全体の厚みを大幅に薄くすることができた。

また、ピグテイル LED だけでなく砲弾型 LED でも、開口を用いて空間コヒーレンスを改善することで鮮明な再生像が得られることが確認できた。

今後の展望として、安価な砲弾型 LED を用いる場合の開口径の検討とともに、砲弾型 LED 全体をシステムに組み込んだ照明システムの開発などが挙げられる。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科研費 18H03349 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] K. Matsushima: *Introduction to Computer Holography*, chap. 1, (Springer, 2020).
- [2] 辻内順平: ホログラフィー, pp.167-168(裳華房, 1997).
- [3] T. Kasezawa, H. Horimai, H. Tabuchi, T. Nara, T. Shimura: Imm-thick See-through Holographic Lighting Unit "Ega-rim", IWH2016, 180-181 (2016).
- [4] 栖原敏明: 光波工学, pp.181-182(コロナ社, 2011).

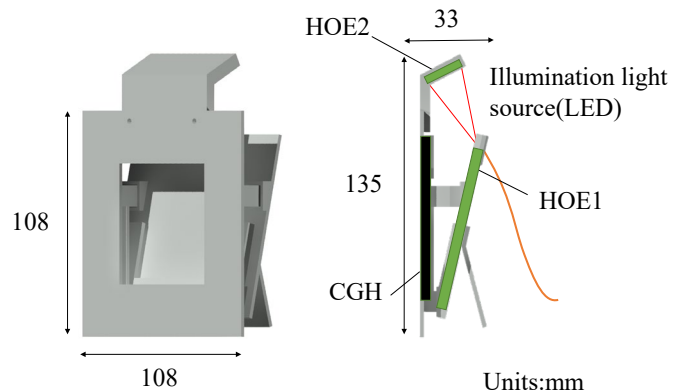
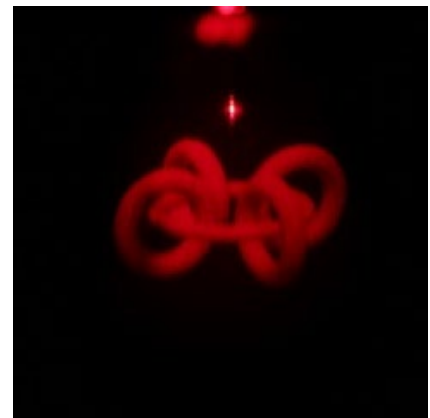


Fig.9 The 3D model of the fabricated frame.



(a) Pigtail LED



(b) Shell-type LED with pinhole

Fig.10 Optical reconstruction using the proposed lighting system.

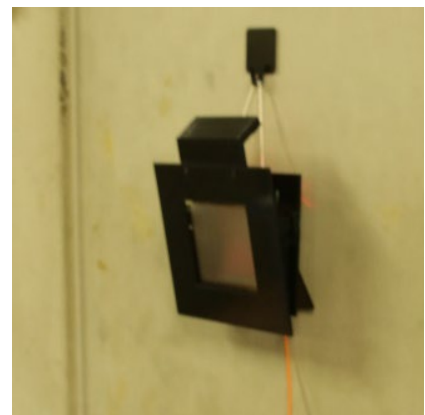
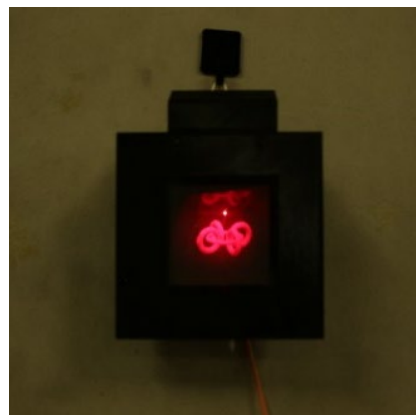


Fig.11 Wall-mounted high-definition CGHs.