

スペクトル狭帯域化 HOE による RGB カラーフィルタ方式 CGH の再生像品質向上

Improvement of image quality of RGB color filters CGH using HOE for narrowing illumination spectrum

山崎光誠 橋本侑樹 松島恭治
Kosei Yamasaki Yuki Hashimoto 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, Electronic and Information Engineering, Kansai University

ABSTRACT

The reconstructed full-color image of CGHs using RGB color filters blurs unless a laser light source is used. This is because chromatic aberration occurs due to broad transmission spectrum of the RGB color filters. However, laser light sources are not only expensive but also problematic from aspects of visual damage and speckle noises. In this study, three holographic optical element (HOE) for spectrum narrowing are fabricated at three wavelength corresponding to red, green, and blue colors. These HOEs are stacked and used to improve the reconstructed image of CGHs with RGB color filters, illuminated by a broadband high-brightness white LED with phosphor.

Keywords: CGH, HOE, 照明光源

1. はじめに

全方向視差の高解像度計算機合成ホログラム(以下 CGH)は、水平方向視差 CGH や他の 3D 技術とは違い、3D 感覚が無矛盾で奥行き深い映像が再生できる究極の 3D 映像技術である[1]。しかし、一般に CGH は薄いホログラムであるため、体積型のアナログホログラムと違って、フルカラー再生が困難である。CGH をフルカラー再生する手法の 1 つに積層ホログラムに転写する積層体積方式があるが[2]、現在のところ大型化が困難である。一方、大型化が容易な手法としては RGB カラーフィルタ方式がある[3]。この方式では一般にカラーフィルタの透過スペクトル帯域が広いこと、照明光源として狭帯域なマルチチップ白色 LED[3]やレーザー光源[4]を用いることで、色収差によるボケを軽減している。しかし、マ

ルチチップ白色 LED では十分にボケの軽減ができず、またレーザー光源は高価で大型だけでなく、視覚への危険性やスペckルノイズの問題がある。一方、我々は体積型ホログラフィック光学素子(以下 HOE)を用いて赤色と緑色の単色再生 CGH の照明光を狭帯域化する手法を提案している[5]。

そこで、本研究では青色のスペクトル狭帯域化 HOE を追加作製し、それを赤色、緑色の HOE と積層して 3 波長で狭帯域化し、蛍光体方式の高輝度白色 LED 光源で照明した RGB カラーフィルタ方式 CGH の再生像品質の向上を試みた。本論文では、スペクトル狭帯域化積層 HOE の作製とそれを用いた照明ユニット、また、それを用いた 10cm 角の大型フルカラー CGH の再生像を報告する。

2. スペクトル狭帯域化照明光源

2.1. 構造

Fig.1 に示すように、個別に製作した 3 波長の HOE を重ね合わせ、白色 LED 光源の出力をこの積層 HOE に入射してスペクトルを狭帯域化し、RGB カラーフィルタ方式 CGH を照明する。各波長の HOE には高

山崎光誠

<yamasaki@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)

い回折効率と波長選択性が求められるだけでなく、積層することによる位置ずれの補償も必要である。また、再生像のホワイトバランスの点から、積層する順番は非常に重要である。本研究で HOE 作製に用いたレーザーと白色 LED 光源の組み合わせで最も良いホワイトバランスを得るために、積層する順番を LED 光源側から青→赤→緑とした。

2.2. HOE の特性

HOE は体積ホログラムの一種であり、参照光と物体光波を記録材料に対して反対側から入射することにより作製する。その波長選択性と回折効率は、入射角度等に依存して変化する。そこで、Fig.2 に示す二光束干渉法を用いてサイズ約 30mm の HOE を作製し、記録材料である COVESTRO 社製 Bayfol®HX200 フォトポリマーの回折効率と波長選択性を測定した。用いたパラメータを Table 1 に示す。

いま L1 側のビームを HOE の入力光、L2 を出力光として、入力光と出力光の角度を 150° に固定し、入射角 θ を変化した時の回折効率の測定結果を Fig.3 に示す。ここで、エラーバーは最大最小を示し、回折効率は入射光と HOE 反射光の比として定義している。この結果より、赤色では $\theta=45^\circ$ のとき回折効率が最大となっているが、その変動は測定範囲内で 7%以下であり、測定範囲では明確な入射角依存性は検出されなかった。一方、緑色と青色は θ が小さいほど回折効率が高くなっていることがわかる。作製した HOE に白色 LED 光を入射した時の反射光スペクトルの半値全幅を Fig.4 に示す。この結果より、いずれの波長でも入射角 θ が 40° 以上の場合には反射スペクトル線幅が 5~6 nm となることがわかる。

これらの結果から、最適な入射角を決定した。カラーバランスの整った擬白色照明光を得るためには各色の HOE の回折効率が近いほうが望ましい。そこで、最も回折効率の低い青色を基準に考えると、Fig.3 より、入射角 θ は 40° 以下が望ましい。一方、Fig.4 より 40° 以上ではいずれの HOE でも高い波長選択性が得られるため、本研究では、入射角 θ を 40° と決定した。

2.3. HOE の製作とその出力スペクトル

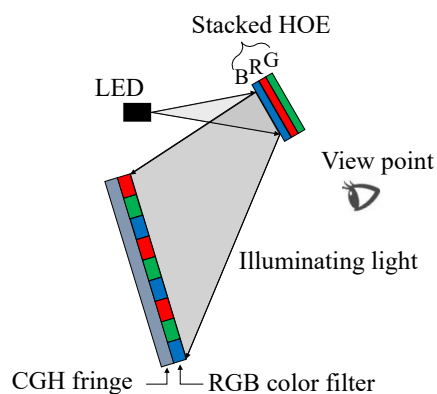


Fig. 1 Narrowing spectrum of an LED light source using the stacked HOE.

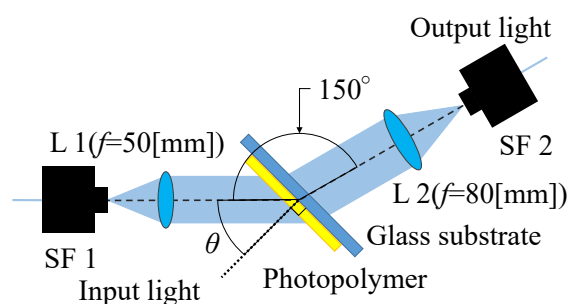


Fig. 2 Setup for two-beam interference to fabricate volume HOEs and measure the properties. L, lens; SF, spatial filter.

Table 1 Parameters used for HOE fabrication.

Color	Red	Green	Blue
Wavelength [nm]	640	532	488
Exposure [mJ/cm ²]	15	20	25
Ratio of input to output intensity	1:1		
Exposure time [s]	2	4	
Number of trials	3		

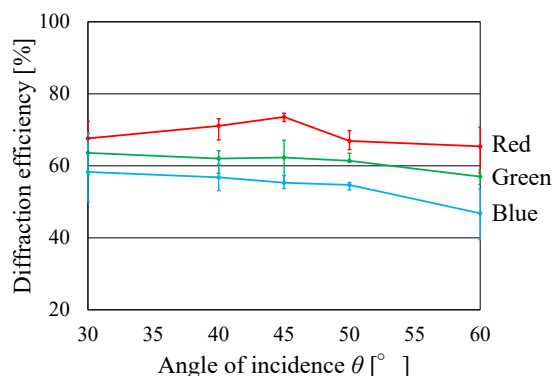


Fig. 3 Diffraction efficiency for the incident angle in Bayfol® HX 200 photopolymer.

本研究で用いる白色 LED 光源はピグテイル型であり、ファイバ端面からの光の発散角は約 45° である。HOE のサイズを 30mm として HOE の設計をした結果が Fig.5 である。この HOE を Fig.6 の光学系を用いて製作した。ここで、各 HOE はガラス基板上に形成しており、積層すると基板の厚さだけ位置がずれるため、積層する順序を考慮して各 HOE の位置を微調整した。なお、HOE の製作に用いたパラメータは Table 1 と同じである。

本研究で光源に用いる蛍光体方式白色 LED の出力を作製した各色の HOE に入射した時の反射スペクトルを Fig. 7(c)に示し、LED 光源自体の発光スペクトルを(b)に示す。また、比較のため、マルチチップ白色 LED のスペクトルを(a)に示す。本研究で製作した積層 HOE を用いると、蛍光体方式 LED でもマルチチップ LED 以上に狭帯域化した照明光が得られることがわかる。

3. 照明光源ユニットの作製と CGH の光学再生

作製した HOE を最も効果的に使用するため、照明ユニットの作製を行った。その構造を Fig.8 に示す。このユニットはピグテイル LED 光源のファイバ・パッチケーブルのフェルールを挿入することで、狭帯域光を放出する。製作した照明ユニットの写真を図.9 に示す。製作した照明ユニットを用いて、実際に CGH の光学再生を行った。

光学再生実験で用いた約 10cm 角サイズの RGB カラーフィルタ方式 CGH の 3D シーンを Fig.10 に示す。また、そのパラメータを Table 2 に示す。積層 HOE を用いずに白色 LED 光源で直接再生したときの再生像と、スペクトル狭帯域化積層 HOE を用いた場合の再生像の比較を図.11 に示す。本研究で作製した積層 HOE を使用することによって、再生像がシャープになり、像品質が大幅に向上していることを確認できる。

4. まとめ

3 波長の狭帯域化 HOE を作製し、積層することで白色光源を狭帯域化する HOE を作製した。その積層 HOE を用いることで、蛍光体方式高輝度白色 LED を用いた光学再生で生じる RGB カラーフィルタ方式 CGH のボケを大きく軽減できることを確認した。

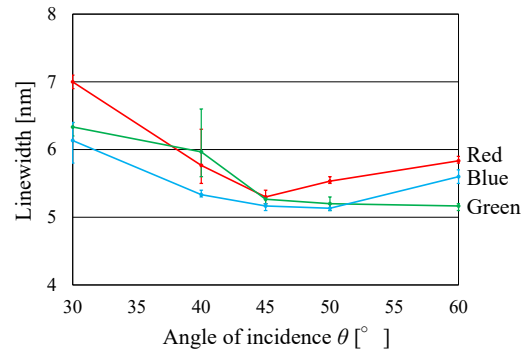


Fig. 4 Wavelength selectivity for the incident angle in Bayfol® HX200 photopolymer.

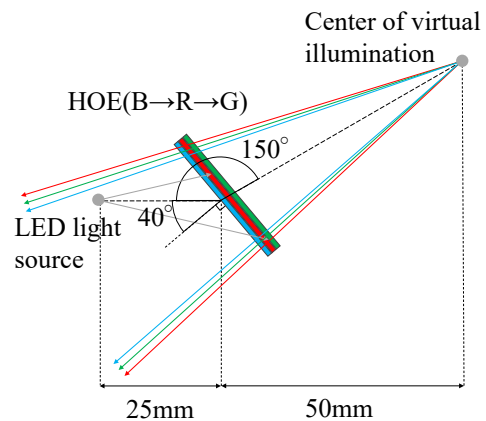


Fig. 5 Design of the stacked HOE.

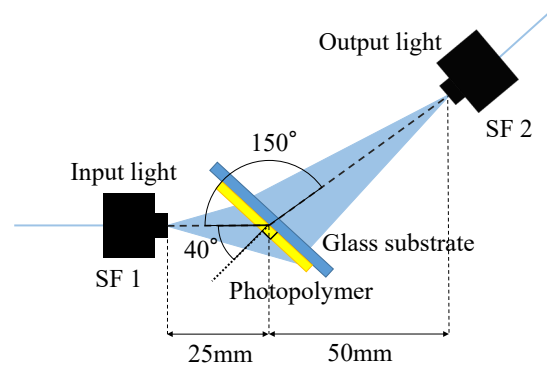


Fig. 6 Setup for fabricating HOEs. L, lens; SF, spatial filter.

謝辞

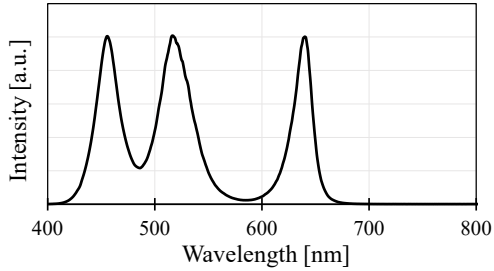
本研究は、日本学術振興会科研費 18H03349 の助成を受けたものである。

参考文献

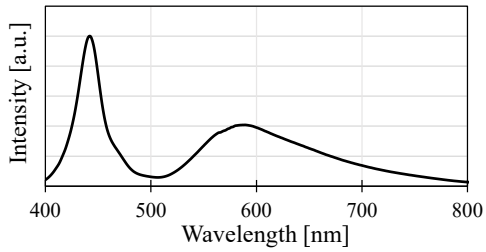
- [1] K. Matsushima, *Introduction to computer holography*, Chap.1, (Springer, 2019).
- [2] O. Kunieda and K. Matsushima, "High-quality full-parallax full-color three-dimensional image reconstructed by stacking large-scale computer-generated volume holograms," *Appl. Opt.* **58**, G104-

G111(2019).

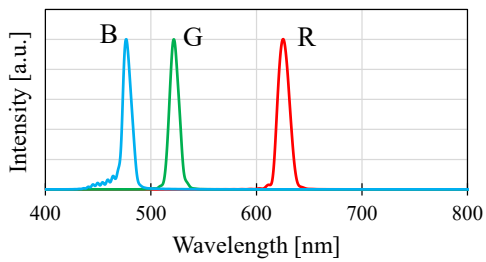
- [3] Y. Tsuchiyama, K. Matsushima, "Full-color large-scaled computer-generated holograms using RGB color filters," *Opt. Express* **25**, 2016-2030 (2017).
- [4] K. Matsushima, *Introduction to Computer Holography*, Sec. 15.6.4, (Springer, 2020).
- [5] 山崎光誠, 五十嵐勇祐, 松島恭治, 高解像度 CGH 照明用スペクトル狭帯域化ホログラフィック光学素子の作製, 3次元画コンファレンス 2020, 6-3 (2020).



(a) Multi-chip white LED.



(b) White LED with phosphor.



(c) Refraction spectrum of the stacked CGH.

Fig.7 Comparison of illumination spectra.

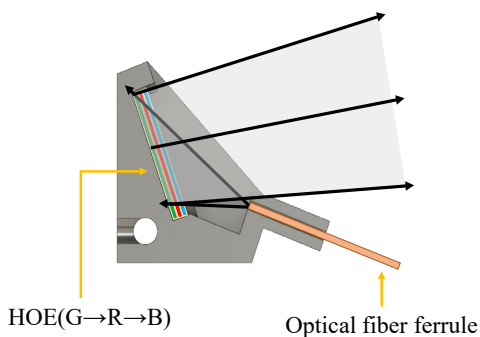


Fig. 8 The structure of the fabricated illumination unit.

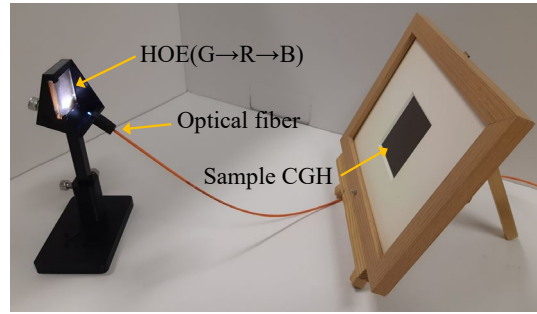


Fig. 9 Exhibition of a CGH using the fabricated illumination unit.

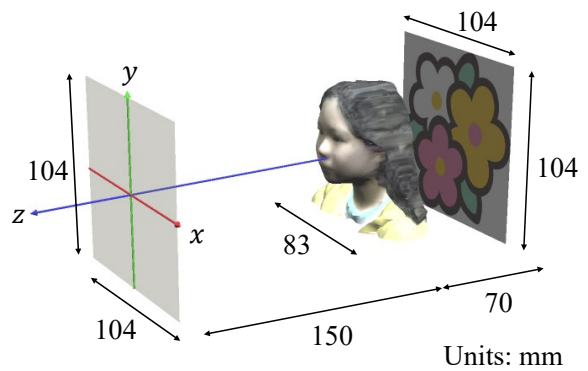
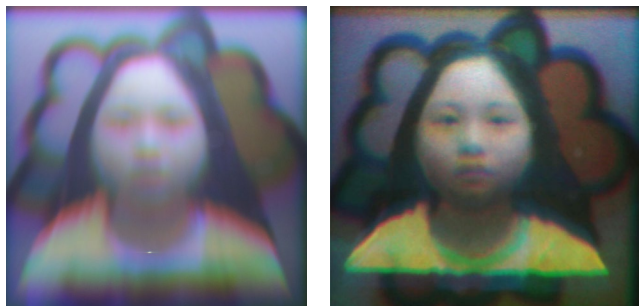


Fig. 10 The 3D scene of the sample full-color CGH with RGB filters.

Table 2 Parameters of the sample CGHs.

Color	Red	Green	Blue
Number of pixels	131,072 × 262,144		
Pixel pitch [μm]	0.8 × 0.4		
Size [mm ²]	104 × 104		
Wavelength [nm]	635	517	443
Viewing angle [°]	23	19	16



(a) Without HOE (b) With HOE

Fig. 11 Optical reconstruction of the sample CGH (a) without and (b) with the stacked HOE.