

光源スイッチング方式 ホログラフィックディスプレイにおける カラーフィルタを用いたカラー再生の検討

A Study of Color Reconstruction Using Color Filters in Light-Source Switching Holographic Display

西川 凌 土岡智旭 松島恭治
Ryo Nishikawa Tomoaki Tsuchioka Kyoji Matsushima

関西大学 理工学研究科 システム理工学専攻

Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University

ABSTRACT

A light-source switching holographic display, which was proposed for increasing space-band product using time division multiplexing, has reconstructed only monochrome images so far. In this paper, use of RGB color filters is discussed for color reconstruction of the holographic display. Basic idea and design technique of a Fourier mask, which is used for removing conjugate and higher-order images, is confirmed by simulation.

Keywords: 空間光変調器, 計算機合成ホログラム, 時分割再生, フルカラー再生

1. はじめに

全方向視差ホログラフィックディスプレイは、輻輳調節矛盾が生じないため、究極の三次元立体映像技術として期待されている。ホログラフィックディスプレイは空間光変調器(Spatial Light Modulator, 以下 SLM)によって実現されるが、一般に SLM の解像度は光学ホログラムに比べて著しく低いため、スクリーンサイズと視域角の積に相当する空間バンド積が光学ホログラムに比べて極端に低くなる問題がある。そのため、単一の SLM を用いて広視域で大きな再生像を得ることは不可能である。この問題を解決するには多重化を行う必要がある。

多重化の手法として、我々は時分割多重化の一種である光源スイッチング方式時分割多重化の手法を

提案している[1]。この手法では、複数の光源を高速で順次点滅させ、再生像を時分割で多重化する。この方式はガルバノミラー等の可動部を必要としないため安定性が高く、また走査速度が上げやすいため、高フレームレート SLM に対応可能なスケラブルな手法となっている。一方、この方式には、高次回折像の影響により再生像が劣化してしまう問題があった。しかし、偏光光源と偏光マスクを用いて劣化を低減する方法を考案し[2,3]、本稿執筆時点では 4×2 倍の多重化に成功している[4]。しかし、現在までのところ単色再生のみで、カラー再生は試みられていない。

電子ホログラフィのカラー化では、多くの場合 RGB の 3 波長を時分割で表示する。しかしながら、この方式を光源スイッチング方式に適用すると多重化数の 3 倍の光源が必要になり、スケラビリティが低下する可能性がある。そこで本研究ではカラーフィルタとピグテイル白色 LED 光源を用いた空間分割方式によるカラー化手法を提案する。

西川 凌

<nishikawa@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)

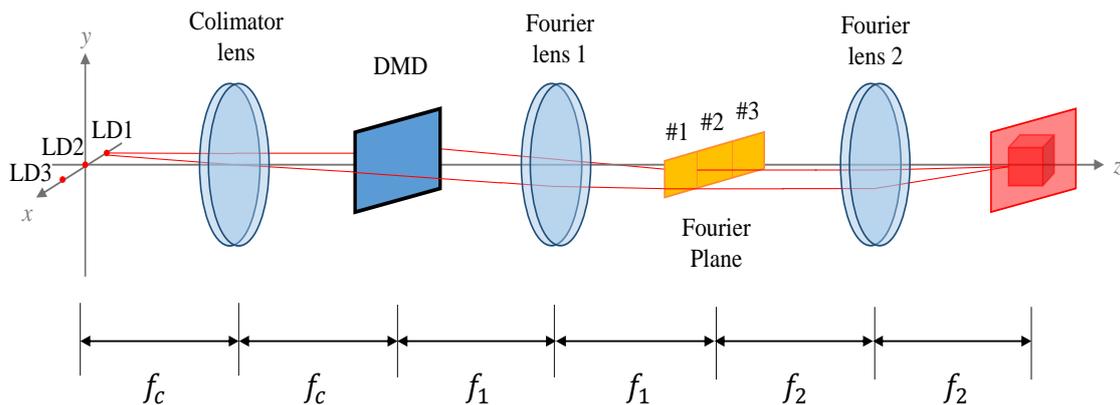


Fig.1 Principle of the light-source switching time-division multiplexing holographic display ($M \times N = 3 \times 1$).

2. 光源スイッチング方式ホログラフィックディスプレイ

2.1. 原理

Fig.1は、多重化数を3として計算機合成ホログラム(Computer-Generated Hologram, 以下CGH)の再生を行う場合の本システムの光学系の模式図である。光源としてピグテイル型レーザーダイオード(以下LD)を用い、光ファイバ端面から出射される球面波を焦点距離 f_c のコリメータレンズで平行光にしてSLMを照明する。この時、点灯するLDの位置によって異なった空間周波数の平行光がSLMに入射する。この入射波はSLMによって変調され、フーリエレンズ f_1 により光学的にフーリエ変換される。この時、フーリエ変換のシフト則に従い、SLMに入射した光波の空間周波数に応じてフーリエ面上のフーリエ変換像の位置が変化する。

このフーリエ変換像群が隙間なく並ぶようにLDの配置を設計し、点灯する光源と対応した干渉縞画像を同期してSLMに表示する。これにより、 $M \times N$ 個の光源アレイを用いてSLMの解像度を実質的に $M \times N$ 倍に多重化することが可能である。このフーリエ変換像群をフーリエレンズ2で再び光学的にフーリエ変換して再生像を得た場合は、像面で本来のサンプリング間隔を $1/M \times 1/N$ 倍に縮小したことに等価になり、最大回折角を $M \times N$ 倍に拡大することができる。

2.2. 偏光マスクによる高次回折像の除去

Fig.2は、本方式でフーリエ面に生じるフーリエ変換像を示している。“+1”と示しているのが1次回折

光であり本来再生したい像である。例えば、左端の#1の位置では、LD1が点灯するときには1次回折光が生じ、LD2が点灯するときには-1次、LD3が点灯する時には、-2次の高次回折光が現れる。LDをスイッチングさせて点灯させたとき、#1の位置でこれらすべてが重なって再生されるため再生像は劣化する。これを軽減する手法をFig.3に示す。まず、直線偏光の光源を用い、隣り合った光源の偏光面がお互いに直交するように光源を配置する。あるLDが点灯したとき、そのLDで再生されるすべての次数の回折光が同じ偏光となるので、各LDの1次回折光が透過するように交互に偏光方向を変えた偏光マスクをフーリエ面に設置する。これにより、どのLDが点灯した場合でも、1次回折光は透過するが、それと隣り合った次数の回折光は遮蔽される。各LDに対してフーリエ面に現れる像はFig.4のようになる。この図では、光源とマスクの偏光面が直交して再生されない像を灰色で示している。この図からわかるとおり、3次や-2次の回折像が透過してしまっているが、これらは1次回折光に比べて強度が低い

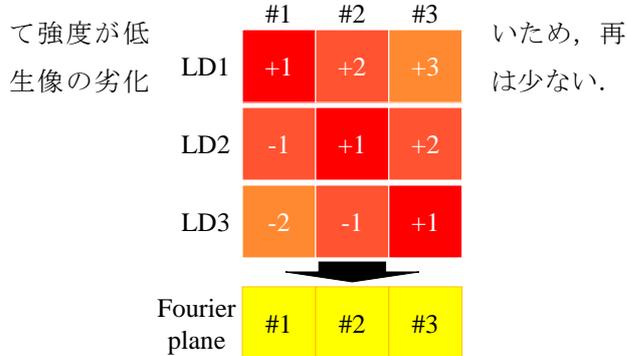


Fig.2 Diffraction images in the Fourier plane.

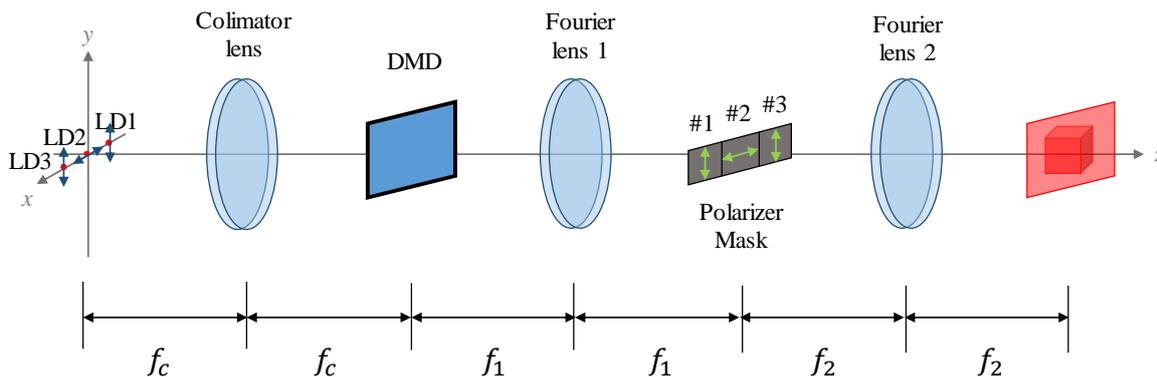


Fig.3 Principle of reduction of degradation by higher-order images ($M \times N = 3 \times 1$).

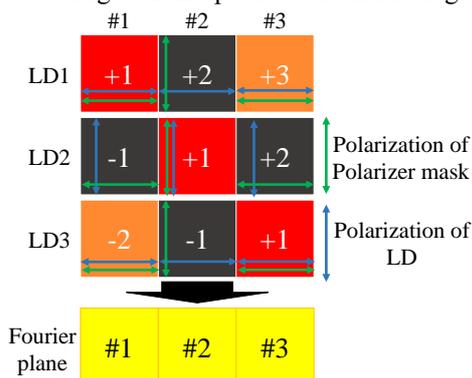


Fig.4 Masked diffraction images in the Fourier plane.

3. カラーフィルタ方式の原理

カラーフィルタ方式は、一つの干渉縞を空間的にRGBセグメントに分割して各色の干渉縞を表示し、セグメントに対応した色のカラーフィルタを通して白色光を照射することでカラー再生を行う方式である[5]。本研究では水平方向のストライプ状に干渉縞を分割している。

光源スイッチング方式にこの手法を用いる場合、カラーフィルタを設置する位置としては、SLM面、フーリエ面、像面の三種類が考えられる。SLM面に設置する場合、光学系のずれによる誤差は発生しな

い利点はあるが、SLMが静電気等で破損するリスクがある。フーリエ面に設置する場合は波長ごとにフーリエ変換像のサイズが異なるため、干渉縞のコーディングがやや困難となる。そこで、本研究では像面にカラーフィルタを設置する方式とした。

Fig.5に本研究で想定した光学系を示す。本研究では、原理確認のため、光源のスイッチングは行わず、白色光源一つのみを用い、像面にカラーフィルタを設置している。またそのため、フーリエ面のフィルタとして、偏光マスクではなく、高次回折像と共役像除去用の開口フィルタのみを設置している。

4. マスクの大きさ

一つのフーリエ変換像の大きさ $w_x \times w_y$ は、

$$w_x \times w_y = \frac{\lambda f_1}{p_x} \times \frac{\lambda f_2}{p_y}$$

で与えられる[1]。ここで、 λ は波長、 p_x と p_y はそれぞれ水平と垂直方向のSLMのピクセル間隔である。偏光マスクと開口フィルタのサイズは、このサイズと一致する必要がある。しかし、この式からわかるようにフーリエ変換像のサイズは波長に依存している。本研究のように、光源に白色光を使用する

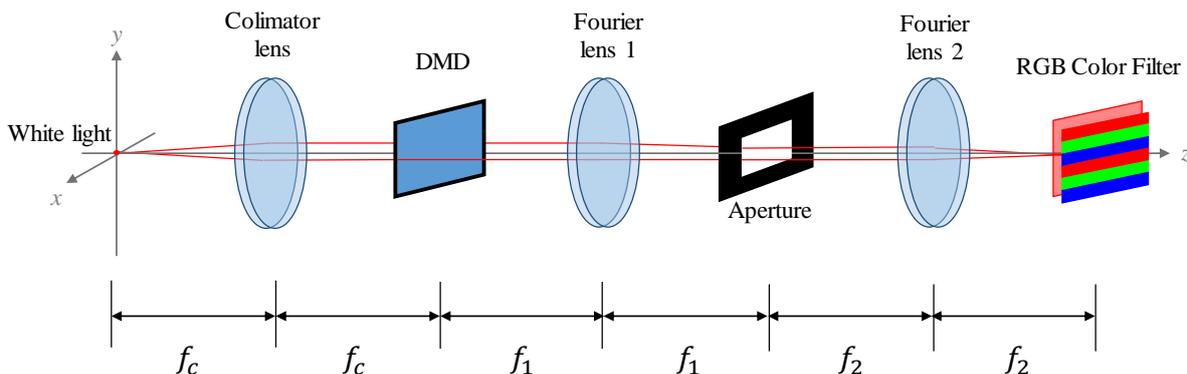


Fig.5 The principle of full-color reconstruction using RGB color filters in the image plane.

場合には、どの波長を基準にマスクサイズを設計するかによって、再生像が変化する。Fig.6 に示すように、赤の波長を基準にして設計した場合、緑や青の+2 次回折像や-1 次回折像が一部除去できなくなってしまう。逆に、青の波長を基準にする場合、フーリエ面で赤や緑の1 次回折光が一部遮蔽され、本来広いはずの赤や緑の視域が青と同じになる。しかし、フルカラー再生を考える場合、色によって視域に差がある必要はないので、青を基準とする方が良いと考えられる。本研究では、赤を基準とした場合と青を基準とした場合の両方のシミュレーションを行い、

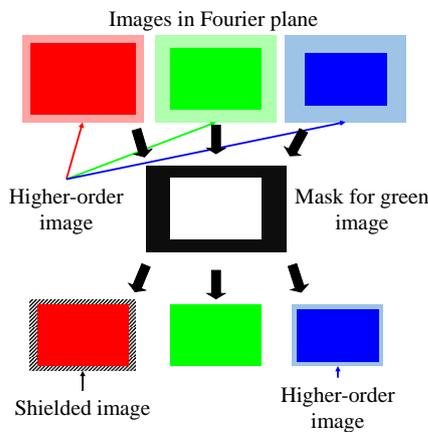


Fig.6 Influence of the mask size on the transmission light in the Fourier plane.

この予想を確認した。

5. シミュレーション再生像

数値結像を用いたフルカラー再生シミュレーションを行った[5]。モデルとパラメータをそれぞれ Fig.7(a)と Table.1 に示す。光源として白色 LED を想定したシミュレーション再生像を Fig.7(b)と(c)に示す。青を基準としたマスクを用いた(c)の再生像は、赤を基準とした(b)の再生像よりも赤や緑の再生像

はやや暗くなるが、物体周辺のノイズが低減されることが確認できた。

6. まとめ

光源スイッチング方式時分割電子ホログラフィにカラーフィルタ方式を導入することで、カラー再生が可能であることをシミュレーションで示した。また、フーリエ面で不要光を遮光するためのマスクの設計指針を得た。

謝辞

本研究は、日本学術振興会の科研費(15K00512)、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] 松田篤史, 松島恭治: 信学論 D, **J96-D**, 381388 (2013).
- [2] 東野好伸, 土岡智旭, 松島恭治: 3次元画像コンファレンス 2016, 6-1 (2016).
- [3] Y. Higashino, T. Tsuchioka, K. Matsushima: OSA DH2016, Heidelberg, DM4E.1 (2016).
- [4] 土岡智旭, 西川凌, 松島恭治: 3次元画像コンファレンス 2017, (2017).
- [5] Y. Tsuchiyama, K. Matsushima: Opt. Express **25**, Table 1 Parameters used for simulation.

No. of pixels of DMD	1920 × 1080
Pixel pitches of DMD	10.8 μm × 10.8 μm
Design wavelength (R, G, B)	630 ,520,460 nm
Focal distance (f_c)	250 mm
Focal distance (f_1, f_2)	200 mm
RGB stripe width [5]	108 μm
Guard-gap width [5]	54 μm
No. of simulation wavelength	20

2016-2030 (2017).

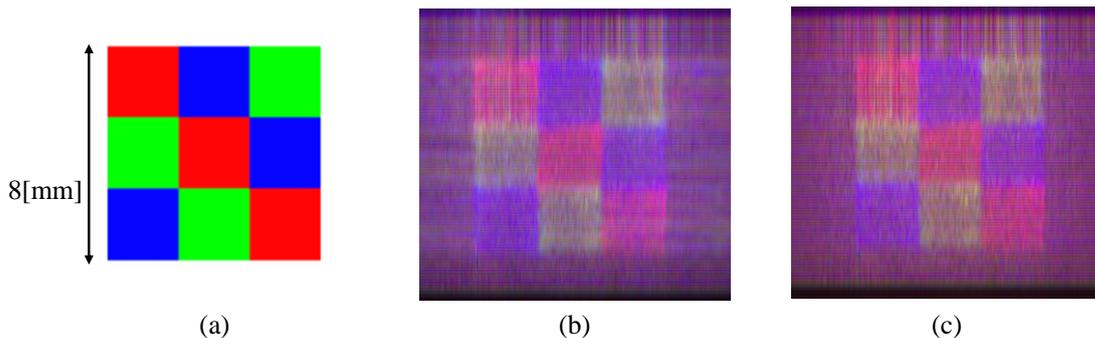


Fig.7 (a) The original color image used for simulation. Simulated reconstruction using a mask designed for (b) the red and (c) blue color.