

光源スイッチング方式ホログラフィックディスプレイ における偏光マスクの改良と拡張

Improvement and Extension of Polarizer Mask in Light-Source Switching Holographic Display

土岡智旭 西川 凌 松島恭治
Tomoaki Tsuchioka Ryo Nishikawa 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 novel time-division multiplexing holographic display based on light-source switching has been proposed to erase the problem of the space-band product of currently available spatial light modulators. However, this technique has suffered from degradation of the reconstructed images because of higher diffraction images. To overcome the problem, we have proposed the technique using a polarizer mask. However, the technique did not work well because of low quality of the polarizer mask made of a resin. This paper reports the improvement of the polarizer mask and extension of the number of multiplexing by using the improved polarizer mask. Optical reconstruction is presented for verifying the technique.

Keywords: 空間光変調器, 計算機合成ホログラム, 時分割再生

1. はじめに

3次元立体動画を再生することができる電子ホログラフィは、輻輳調節矛盾が生じないことから究極の3次元ディスプレイ技術として注目されている。しかし空間光変調器(Spatial Light Modulator, 以下SLM)の解像度の低さがボトルネックとなり、十分な空間バンド積を得られない問題がある。空間バンド積とは、ホログラムにおいてスクリーンサイズと視域角の積に相当する量であり、ディスプレイのピクセル数に比例する。したがって、同じ解像度であればスクリーンサイズは視域角とトレードオフになる。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困難である。この問題を解決するためには多重化が必要となる。

複数のSLMを並べることにより多重化を行うのが空間分割多重化である。しかし、この手法ではSLMの変調領域を隙間なく並べるために非変調領域を処理する複雑な光学系が必要となる[1]。また多重化数と同じ個数のSLM

が必要となるためコストが高くなりがちである。

一方、時分割多重化は単一のSLMを用いて再生像を空間的に走査して多重化する手法である。この手法は単一のSLMのみを使用し、額縁の処理が不必要なため相対的にコストが低い。この手法では、例えばMEMS型SLMとガルバノミラーを用いたホログラフィックディスプレイが提案されている[2]。一方、我々はガルバノミラーのような機械的な機構を用いずに時分割多重化する手法として光源を高速でスイッチングする方式(Light-source switching, 以下LSS)を提案している[3]。この方式では、可動部がないこと以外に、光源としてレーザーダイオードを用いることにより高速にスイッチングが可能という利点があり、拡張性に優れていると考えられる。

しかし、この方式には高次回折像により再生像が劣化してしまうという重大な問題点があった。高次回折像とは本来の再生像である1次回折像の周囲に出現する不要な像である。そこで我々は過去に高速液晶シャッターを用いてこの高次回折像による再生像の劣化を軽減する手法を試みた[1, 4]。しかし、高速液晶シャッターにもSLMと同様にシャッター部の周囲に額縁があり、それによって再生像が一部遮られてしまう問題があった。また多重化数と同じ数の高価な高速シャッターが必要となるため、高コストとなってしまう。

土岡 智旭

<tsuchioka@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)

そこで、高次回折像の影響を軽減する新たな手法として、光源の偏光特性を利用し、偏光マスクにより高次回折像を大きく軽減する手法を提案している[5,6]. しかし、従来の樹脂製の偏光マスクは製作精度が低く、大きな光軸の倒れが発生していたため、高次回折像除去が不完全であった。

そこで本研究では、高精度なガラス偏光マスクを開発することでこの問題を改善し、さらに従来の多重化数が3×2であったのに対して、4×2までの多重化数拡大を試みた。

2. 光源スイッチング方式時分割電子ホログラフィ

2.1. 原理[3]

多重化数 $M \times N = 4 \times 1$ とした場合を例として、Fig.1に本方式の原理を示す。本研究ではスイッチング可能な点光源としてピグテール型レーザーダイオード(以下LD)を用いている。LDにカップリングされた光ファイバの出力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に照射する。SLM照明光のキャリア周波数は点灯するLDの位置によって変化するため、SLMで変調された光を光学的フーリエ変換したときに、フーリエ面上ではフーリエ変換像は異なる位置に現れる。これらの像が隙間なく並ぶように光源間隔を設計しているため、LDをスイッチングして順次点灯し、SLMの表示を同期して切り替えると、フーリエ面でタイリングされ全体として一つのフーリエ変換像となる。

このように隙間なくフーリエ変換像を並べるために必要な点光源の間隔は、コリメータレンズの焦点距離に依存し、

$$\Delta x = \frac{\lambda f_c}{p_x}, \quad \Delta y = \frac{\lambda f_c}{p_y} \quad (1)$$

で与えられる[3]. ここで、 p_x と p_y はSLMの x 方向と y 方向のピクセル間隔、 λ は光源の波長である。多重化数を $M \times N$ とすると、タイリングされたフーリエ変換像全体の大きさは

$$Mw_x \times Nw_y \quad (2)$$

と表せる。ここで、 $w_x \times w_y$ はLDを一つだけ点灯させたときの1タイル分のフーリエ変換像の大きさであり、

$$w_x \times w_y = \frac{\lambda f_1}{p_x} \times \frac{\lambda f_1}{p_y} \quad (3)$$

で与えられる。 f_1 はフーリエレンズの焦点距離である。これにより画面サイズを $M \times N$ 倍に拡大した再生像を得ることができる。本研究では、画面サイズより視域角拡大を優先したため、焦点距離 f_2 の二つ目のフーリエレンズを用いて $M \times N$ 倍に視域角を拡大している。

2.2. 高次回折像による再生像の劣化

本方式でフーリエ面に生じるフーリエ変換像の例をFig.2に示す。ここでは本来再生したい再生像である1次回折像を'+1'と表している。例えばLD1が点灯したとすると、フーリエ面の#1の位置に1次回折像が生じる。しかし、実際には1次回折像の他にも'-1'や'+1'で示した不要な高次回折像が同時に現れ、LD2を点灯した際には#1の位置に-1次回折像が現れる。LDをスイッチングして順次点灯させたときは、残像効果によりこれらがすべて重畳されたものが再生像として現れるため、再生像が劣化してしまう。これが本方式の抱えている重大な問題点であった。

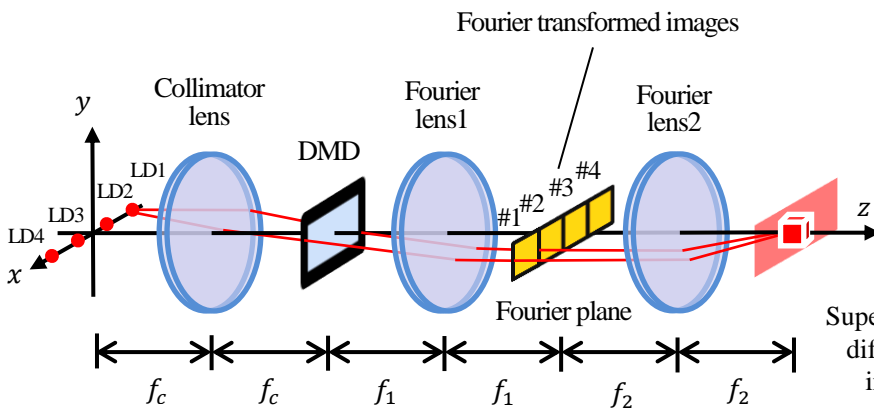


Fig.1 Principle of the LSS time-division multiplexing holographic display ($M \times N = 4 \times 1$).

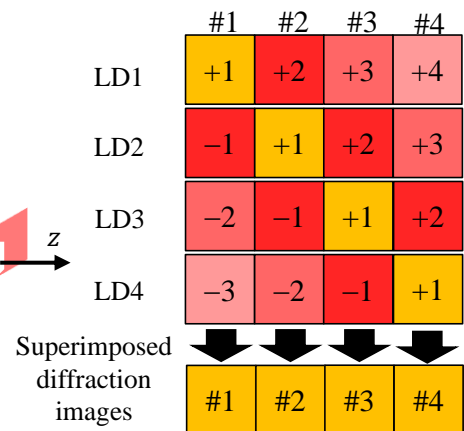


Fig.2 Diffraction images in the Fourier plane.

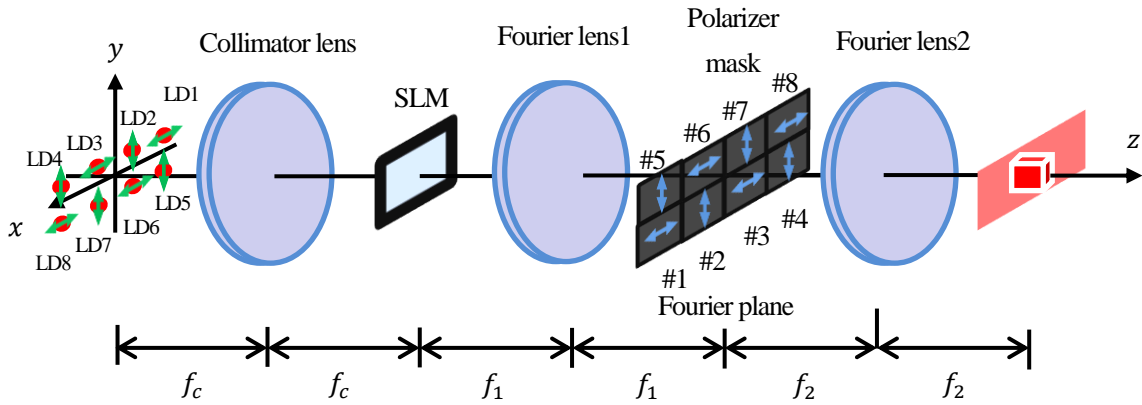


Fig.3 Masked diffraction images in the Fourier plane.

3. 偏光マスクを用いた高次回折像の軽減

高次回折像の影響を軽減する手法の原理をFig.3に示す。ここでは多重化数を 4×2 としている。直線偏光光源を用い、隣り合った光源の偏光面が互いに直交するように光源を設置する。偏波保持ファイバを用いるかファイバ出力端に偏光板を取り付けることによりこれは容易に実現できる。あるLDで再生されるすべての回折像はLDと同じ偏光面を有する。そこで図中のフーリエ面に各LDの1次回折像を透過するように偏光板を貼り付けて作成した偏光マスクを設置する。例えば偏光方向が垂直のLD1が点灯した場合、フーリエ面の#1の位置にも偏光方向が垂直の1次回折像が現れる。偏光板の偏光方向も垂直であるた

め、光は透過する。一方、その周囲に現れる2次回折像や共役像、0次回折光の偏光方向と偏光板の偏光方向は直交するため透過しない。

どのLDが点灯した場合も、この偏光マスクは1次回折像を透過するが、それと隣り合った高次回折像等を遮蔽する。従って各LDに対してフーリエ面に表れる像はFig.4のようになり、これらが重畳して再生される。この図では、回折像と偏光マスクの偏光方向が直交する場合は黒く塗りつぶしてある。

この手法では3次や-2次など、さらに高次の回折像は透過されてしまうが、次数が増えるしたがって光強度は下がるため、これらの再生像による劣化は1次近傍の像による劣化に比べて小さくなる。このような偏光マスクには、液晶シャッターの額縁のような問題が無く、その製作も簡単であるため、拡張性に優れていると考えられる。

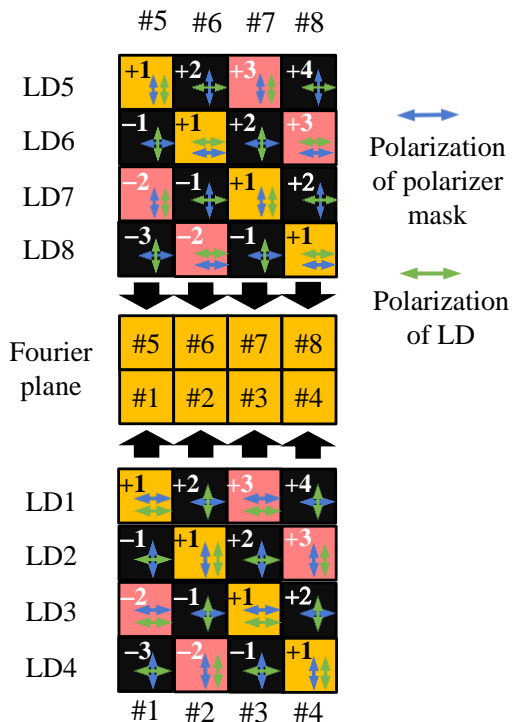


Fig.4 Masked diffraction images in the Fourier plane.

4. 偏光マスクにおける光軸の倒れ

従来、樹脂偏光板をガラス板に接着したものを偏光マスクとして使用していた。しかしこの偏光マスクでは高次回折像の除去が不完全となる問題があった。これは、偏光マスクの製作精度が低かったためと考えられる。実際、この偏光マスクを通して物体を見ると、視点を振った際に物体が2重に見える部分があった。これは、Fig.5に示すように、樹脂偏光板自体の面平行度が低く、またガラスに樹脂偏光板を接着する際の浮きにより光軸が倒れているためであることが分かった。そこで樹脂偏光板に

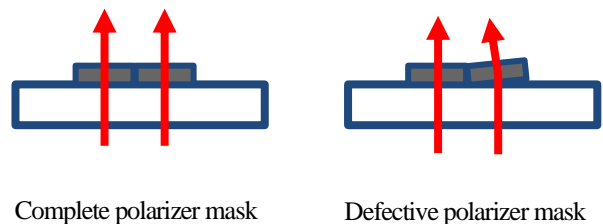


Fig.5 A problem in production of the polarizer mask.

代えてガラス偏光板を用い、接着時に接着面に対して平行な圧力を加えることで偏光板の浮きを防ぎ、光軸の倒れを抑えた新たな偏光マスクを作成した。

5. 高次回折像軽減効果の確認

光学再生実験に用いた3DシーンとパラメータをそれぞれFig.6とTable 1に示す。光源には波長 637 [nm] の偏波保持ファイバカップリング半導体レーザーを用いている。光源間隔 $\Delta x = \Delta y = 11.3$ [mm] で配置した 4×2 個のファイバ光源の出力を焦点距離 $f_c = 250$ [mm] のコリメータレンズで平行光としてSLMに入射した。本研究では、SLMとしてピクセルピッチ 10.3 [μm] で解像度 1920×1080 、最大表示フレームレート 10752 Hz の Texas Instruments社製DLP® DiscoveryTM 4100を用いた。

フーリエレンズの焦点距離を $f_1 = f_2 = 200$ [mm] とした時の再生像をFig.7に示す。従来の樹脂偏光マスクを用いた(a)の再生像に比べて、今回改良したガラス偏光マスクを用いて高次回折像の軽減を行った再生像(b)では像が改善され、再生像をはっきり観察することができる。

6. まとめ

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新開発の高精度ガラス偏光マスクを導入し、高次回折除去効果を確認し、あわせて従来よりも多重化数を向上した。

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] T. Senoh, K. Wakunami, Y. Ichihashi, H. Sasaki, R. Oi, K. Yamamoto: "Viewing-zone-angle expansion of tiled color electronic holography reconstruction system," SPIE Proc. **9006**, 90060Z (2014).
- [2] 藤井啓介, 高木康博: "MEMS空間光変調器を用いた視域走査型ホログラフィックディスプレイ," 3Dコ

ンファレンス2014講演論文集, 2-3 (2014).

- [3] 松田篤史, 松島恭治: "LD光源スイッチング方式時分割ホログラフィックディスプレイ", 電子情報通信学会論文誌D, **J96-D**, 381-388 (2013).
- [4] 東野好伸, 上月拓弥, 松島恭治: "高フレームレートSLMを用いた光源スイッチング方式時分割電子ホログラフィ", 3Dコンファレンス2015講演論文集, 3-2 (2015).
- [5] 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).
- [6] Y. Higashino, T. Tsuchioka, K. Matsushima: OSA DH2016, Heidelberg, DM4E.1 (2016).

Table 1 Parameters used for optical reconstruction.

Display system	
No. of pixels of DMD	1920 × 1080
Pixel pitches of DMD	10.8 μm × 10.8 μm
Wavelength	637 nm
Focal distance (f_c)	250 mm
Focal distance (f_1, f_2)	200 mm
Reconstructed field	
No. of pixels in image plane	7680 × 1080
Sampling interval in image plane	2.7 μm × 5.4 μm
Size of image plane	20.7 × 11.7 mm ²

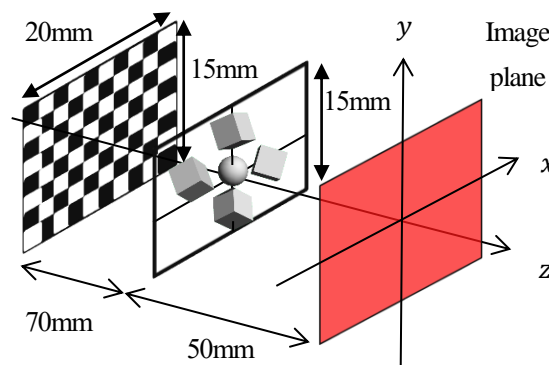
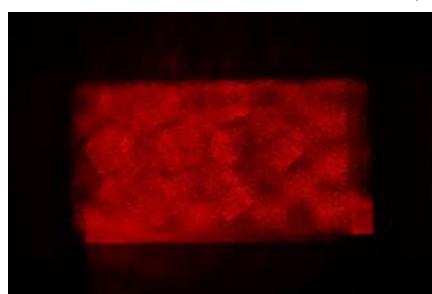
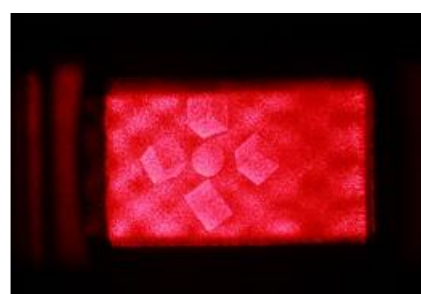


Fig.6 The 3D scene used for optical reconstruction.



(a) Resin-made polarizer mask



(b) Glass-made polarizer mask
(This work)

Fig.7 Reconstructed images using the polarizer mask made of resin (a) and glass (b).