

光源スイッチング方式時分割電子ホログラフィ における偏光特性を用いた高次回折像軽減 Reduction of Higher Order Images by Using Polarization in Light-Source Switching Time-Division Multiplexing Holographic Display

東野好伸 土岡智旭 松島恭治
Yoshinobu Higashino Tomoaki Tsuchioka 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

The space-band product of currently available spatial light modulators is quite insufficient to realize a holographic display that achieves a given wide viewing-zone and large image size simultaneously. A novel time-division multiplexing holographic display based on light-source switching has been presented to overcome the problem. However, this technique has suffered from degradation of the reconstructed images, caused by higher diffraction images. In this paper, a novel technique using a polarizer mask is presented to reduce the degradation. In this technique, all light sources have linear polarization and the plane of polarization is orthogonal in neighboring one. The polarizer mask composed of multiple polarizers, whose plane is also orthogonal in neighboring one, is arranged in the multiplexing plane. As a result, higher order diffraction images adjacent to the required first order image is shielded by the polarizer mask. Optically reconstructed images are 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

電子ホログラフィは3次元動画を再生できるため究極の3Dディスプレイ技術として注目されている。しかしながら空間光変調器(Spatial Light Modulator, 以下SLM)の解像度が低いため、十分な空間バンド積が得られない問題がある。電子ホログラフィでは空間バンド積は概ねスクリーンサイズと視域角の積に相当し、SLMのピクセル数にはほぼ比例する。つまり、視域角とスクリーンサイズはトレードオフの関係にあり、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SLMの多重化が必要となる。

多重化には主に時分割と空間分割の2種類の手法がある。空間分割多重化は複数のSLMを並べる手法である。

この手法ではSLMの変調領域を隙間なく並べるために額縁の処理が必要である[1]。そのため光学系が複雑となり、また多重化数と同じ個数のSLMが必要となる。

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。この手法の一つとして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、我々は複数のレーザーダイオード光源を高速で順次点滅させ、再生像を多重化する手法を提案している[3]。この手法は光源のスイッチングのみで多重化できるため、可動部がないという利点があり、拡張性に優れていると考えられる。

しかしながら、光源スイッチング方式では高次回折像の影響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。ここで、高次回折像とは本来必要な1次回折像の周囲に出現する不要な像である。そこで高速液晶シャッターを用いて高次回折像の影響を軽減する手法が試みられている[1, 4]。しかし、高速液晶シャッターにはSLMと同様の額縁(非変調領域)があり、それによって再生像が遮られてしまう問題がある。また多重化数と同じ

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)

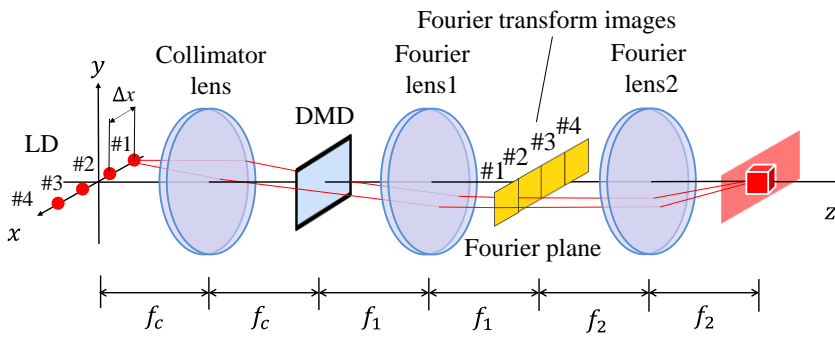


Fig.1 Principle of the light-source switching time-division multiplexing holographic display ($M \times N = 4 \times 1$).

The diagram shows a 4x4 grid of diffraction images in the Fourier plane. Each row represents a different LD, and each column represents a different diffraction order. The values in the grid are as follows:

| | #1 | #2 | #3 | #4 |
|-------|----|----|----|----|
| LD #1 | +1 | +2 | +3 | +4 |
| LD #2 | -1 | +1 | +2 | +3 |
| LD #3 | -2 | -1 | +1 | +2 |
| LD #4 | -3 | -2 | -1 | +1 |

Below the grid, arrows labeled "Superimposed diffraction images" point to a row of four yellow boxes labeled #1, #2, #3, and #4, representing the combined effect of all LDs.

Fig.2 Diffraction images in the Fourier plane.

数の高速シャッターが必要となるため、コスト高となり、時分割多重化を行う意味が薄れる問題があった。

そこで本研究では、偏光を用いて高次回折像による劣化を軽減する手法を提案する。

2. 光源スイッチング方式時分割ディスプレイ

2.1. 原理[3]

本方式の原理をFig.1に示す。これは多重化数が4の例である。この方式では、光源としてピグテール型レーザーダイオード(以下LD)を用いる。LDの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。点灯するLDの位置によってSLM照明光のキャリア周波数が変化するため、SLMで変調された光を $2f$ 光学系によって再生すると、フーリエ面上では光源毎に異なった位置にフーリエ変換像(タイル)が現れる。LDをスイッチングして順次点灯し、同期してSLMの表示を切り替えると、フーリエ面ではタイルが移動していくので、タイリングによって全体として一つの像になるようにSLMの表示を切り替える。

フーリエ面において隙間なくフーリエ変換像をタイリングするために必要な点光源の水平/垂直方向間隔は、コリメータレンズの焦点距離に依存し、

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

で与えられる。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LDから出射される光の波長である。多重化数を $M \times N$ とすると、フーリエ面においてタイリングされたフーリエ変換像全体の大きさは

$$Mw_x \times Nw_y$$

となる。ここで $w_x \times w_y$ は一つのLDを点灯させたとき

の1タイル分のフーリエ変換像の大きさであり、

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

で与えられる。このタイリングされたフーリエ変換像でホログラムの干涉縞画像を表示してもよいが、本研究では、視域角を拡大するために、これをフーリエレンズ2に

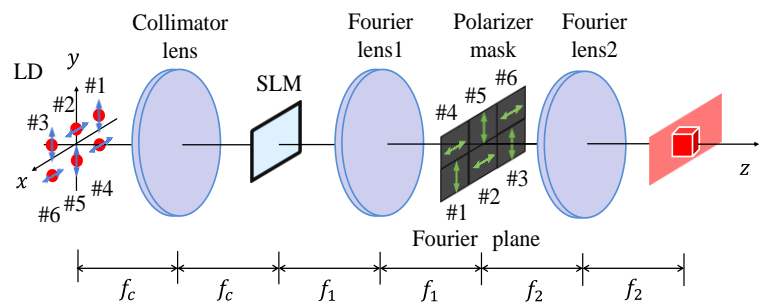


Fig.3 Principle of reduction of degradation by higher order diffraction ($M \times N = 3 \times 2$).

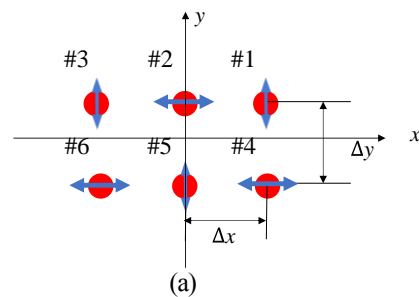


Fig.4 Polarization of (a) LD light sources and (b) the polarizer mask.

通し, 非多重化時の $M \times N$ 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

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次回折像であり本来再生したい像である. 例えばLD#1が点灯するときには, 左端の位置に1次回折像が生じる. しかし, 1次回折像以外に'-1', '+2'と示しているような-1次回折像, 2次回折像などの高次回折像が同時に現れる。

LDを順次スイッチングさせて点灯させたとき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, 再生像は劣化する. これが本方式の重大な問題点である。

3. 偏光マスクを用いた高次回折像の軽減

偏光を用いて高次回折像の影響を軽減する原理をFig.3に示す. ここでは多重化数を 3×2 としている. まず, 偏波保持ファイバを用いるか, ファイバ出力端面に偏光板を設置して, Fig.4(a)に示すように隣り合った光源の偏光面が互いに直交した直線偏光となるように光源を設置する. あるLDが点灯した時, 再生されるすべての次数の回折像は同じ偏光面を有する. 更に, (b)に示すように, 各LDの1次回折像を透過するように交互に偏光方向を変えた偏光マスクを作成し, フーリエ面に設置する. 今, 例えば垂直偏光のLD#1が点灯した場合, フーリエ面の#1の位置には垂直に偏光した1次回折像が現れるが, 偏光板の偏光方向も垂直であるため, 光は透過する. 一方, 1次回折像の隣に現れる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

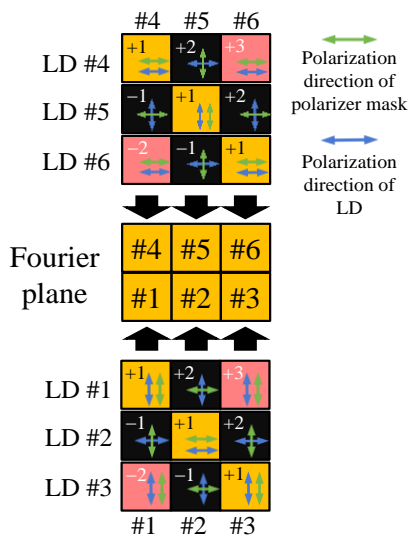


Fig.5 Masked diffraction images in the Fourier plane.

する. 従って各LDに対してフーリエ面に表れる像はFig.5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, 次数が増すにつれてその強度が下がるため, 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。

4. 光学再生における軽減効果の確認

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, また, 再生光学系をFig.7に示す. LD光源には波長637nm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 $\Delta x = \Delta y = 11.3\text{mm}$ で配置した 3×2 個のファイバ光源の出力を焦点距離 $f_c = 250\text{mm}$ 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 $10.8\mu\text{m}$ で解像度 1920×1080 , 最大表示フレームレート 10752Hz のTexas Instruments社製DLP® Discovery™ 4100を用いた。

Table 1 Parameters used for optical reconstruction.

| Display system | |
|------------------------------------|-----------------------------|
| No. of pixels of SLM (DMD) | 1920 × 1080 |
| Pixel pitches of SLM (DMD) | 10.8 μm × 10.8 μm |
| Wavelength | 637 nm |
| Focal distance of collimator lens | 250 mm |
| Focal distance of Fourier lens1, 2 | 200 mm |
| Reconstructed field | |
| No. of samplings in calculation | 6144 × 4096 |
| Sampling interval in image plane | 2.7 μm × 5.4 μm |
| Size of image plane | 16.6 × 22.1 mm ² |

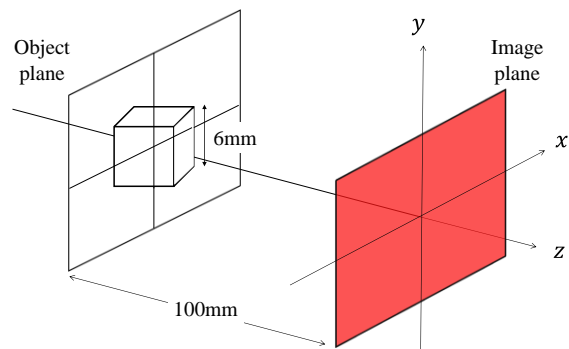


Fig.6 The 3D scene used for optical reconstruction.

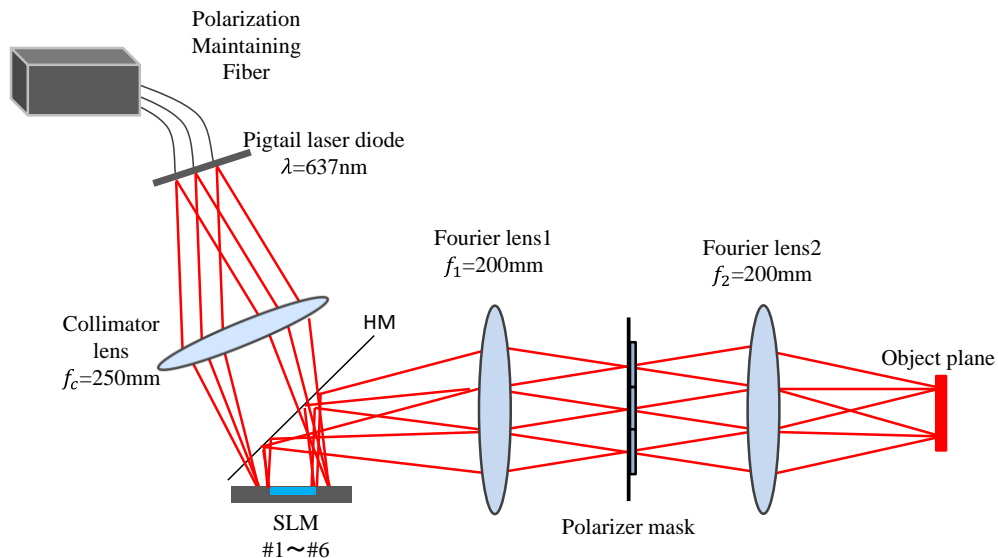


Fig.7 Experimental set up for time-division holographic display using light-source switching.

フーリエレンズの焦点距離を $f=200\text{mm}$ とした時の再生像をFig.8に示す。偏光マスクを用いない(a)の再生像に比べて、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)では像の劣化が著しく軽減されていることが分かる。

5. まとめ

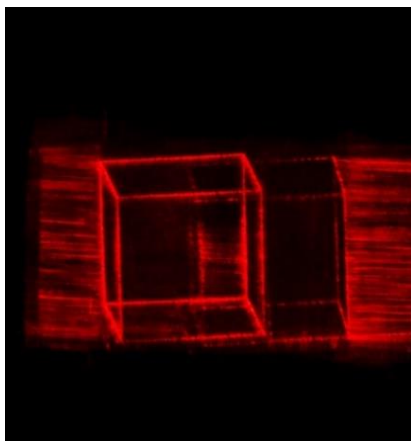
高次回折像による再生像の劣化が問題点であった光源スイッチング方式時分割ホログラフィックディスプレイに偏光マスクを導入することで、再生像の劣化を軽減することに成功した。偏光板を用いた提案手法は単純で製作が簡単であるため、今後はさらに多重化数を増やし、像サイズや視域角の拡大を試みる。

謝辞

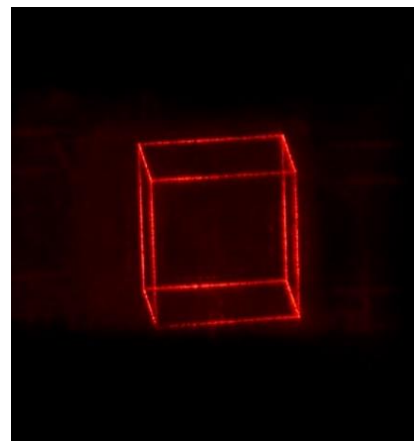
本研究は、日本学術振興会の科研費(15K00512), および文部科学省私立大学戦略基盤研究形成支援事業(平成25年~平成29年)の助成を受けたものである。

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).



(a)



(b)

Fig.8 Reconstructed image without (a) and with (b) the polarizer mask.