

# 位相型 SLM の複素振幅変調効果を用いた波面プリンタのノイズ軽減

## Noise reduction of wavefront printer by using effect of complex amplitude modulation of phase-only SLM

○西井渉, 松島恭治

○Wataru Nishii and 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

E-mail: nishii@laser.ee.kansai-u.ac.jp

The wavefront printer is equipment for producing computer-generated holograms (CGH) as volume holograms. This printer records synthetic wavefront generated by a spatial light modulator (SLM). In this printer, phase-only SLM is preferable to amplitude SLM because of its wide space-band product, however the phase-only SLM commonly has the problem of degradation of generated wavefronts because of coding noise due to phase-only modulation. We propose a novel technique to partially modulate effective amplitude of recording light in phase-only SLM and ease the coding noise.

### 1. はじめに

波面プリンタは、空間光変調器(SLM)によって発生させた描画波面を参照光と干渉することで、体積ホログラムとして計算機合成ホログラム(CGH)を作製する描画装置である<sup>1,2)</sup>。我々は広い空間バンド積を得るために、描画波面の発生に位相型 SLM を使用している。本研究では、位相型 SLM の位相変調によるコーディングノイズを緩和するために、位相型 SLM で生じる僅かな偏光角度変調を併用することにより複素振幅変調した光波を記録する手法を提案し、SLM に表示するピクセル値に対する変調光の複素振幅変調値を求める方法を報告する<sup>3)</sup>。また、求めた複素振幅変調値を用い、発生したい描画波面に最適な SLM 表示パターンを計算する方法を述べ、提案手法を用いて作製した CGH の光学再生像を示す。

### 2. 複素振幅変調の原理

位相型 SLM による複素振幅変調の原理を Fig.1 に示す。位相型 SLM では、SLM に表示するピクセル値に応じて変調光波の位相が変化する。この時、液晶分子の配向ずれ等により偏光角度の方も僅かに変化する場合がある。ピクセル値  $g$  における変調光波の偏光角度と参照光波の偏光角度の差を  $\theta(g)$  とすると、干渉で記録される振幅成分は

$$A(g) = A_0 \cos \theta(g) \quad (1)$$

となり、Fig.1 に示すように偏光角度によって変化することになる。ここで  $A_0$  は本来の描画波面の振幅である。従って描画波面がピクセル値  $g$  に応じて複素振幅変調されていると考えることができる。この様に、位相型 SLM の位相変調だけでなく偏光角度変調も併用することで複素振幅変調された光波を記録することができる。

### 3. SLM 表示パターンのコーディング方法

求めた複素振幅変調値から SLM 表示パターンをコーディングする手順を Fig.2 に示す。ここで、 $u$  は描画したい波面の複素振幅値、 $f(g)$  は SLM の表示ピクセル値  $g$  に対する複素振幅値である。コーディングでは、描画波面との位相差

$$\Delta \theta_n = \left| \arg(u) - \arg(f(g_n)) \right| \quad (2)$$

が最も小さいピクセル値から順に  $N$  個の候補  $g_0, \dots, g_{N-1}$  を取り出し、次に、これらの候補ピクセル値と描画波面の振幅差

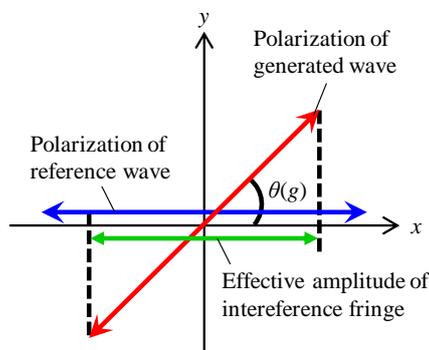


Fig. 1 The principle of complex amplitude modulation by phase-only SLM.

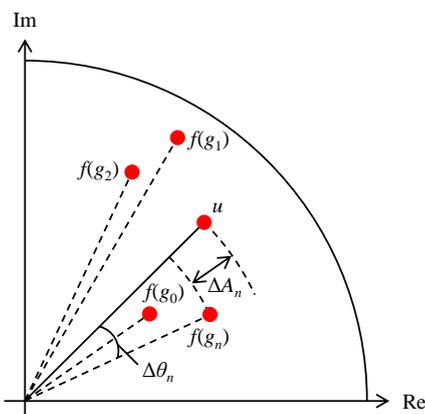


Fig. 2 Search of pixel values appropriate for the complex amplitude of the recording field.

$$\Delta A_n = \left| |u| - |f(g_n)| \right| \quad (3)$$

を最小にするピクセル値を選択する. この様に位相差を優先して探索を行う理由は, 位相型 SLM を使用しているため位相の方が高精度に変調できること, および波面の情報は主に位相に含まれているためである. 本報告の再生像では, 具体的にはピクセル値の候補数を  $N=2$  としてコーディングを行っている.

#### 4. 超高解像度体積型 CGH の作製

本研究で体積型 CGH を作製するために使用した光学系を Fig.3 に, また使用した SLM の仕様を Table 1 にそれぞれ示す. 光源には 488[nm] のレーザーを使用しており, 参照光の偏光面角度は, 振幅変調測定時に設定した偏光板の角度になるように半波長板を用いて回転している. 本波面プリンタで描画するために使用した 3D シーンを Fig.4, 作製する CGH のパラメータを Table2 にそれぞれ示す. 今回描画した物体は, 点光源法によって合成したワイヤフレームモデルである.

本研究の波面プリンタで作製した CGH の光学再生像を Fig.5 に示す. 我々が提案した手法で作製した CGH の光学再生像の方が, 位相変調のみで作製した CGH の光学再生像に比べて背景ノイズが少なく, 物体が高コントラストで再生されていることが分かる.

#### 5. おわりに

本研究では, 体積型 CGH 描画用波面プリンタにおいて位相型 SLM を用いて複素振幅変調した光波を記録する手法を提案した. 作製した CGH の光学再生像は, 実際にノイズが軽減されることが分かった.

本研究は, 日本学術支援振興会の科研費(24500133), 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) 春口, 高辻, 松島: “体積型ホログラムパターンを描画可能な波面プリンタの開発”, 第 5 回新画像システム・情報フォトニクス研究討論会講演予稿集, 18-19 (2011).
- 2) T. Yamaguchi, O. Miyamoto and H. Yoshikawa: “Volume hologram printer to record the wavefront of three-dimensional objects”, *Opt. Eng.*, **51**, 075802 (2012).
- 3) 西井, 岩田, 松島: “体積型 CGH 描画用波面プリンタのための空間光変調器を用いた複素振幅書き込みの基礎研究”, *OPJ2012*, 25pPD2 (2012).

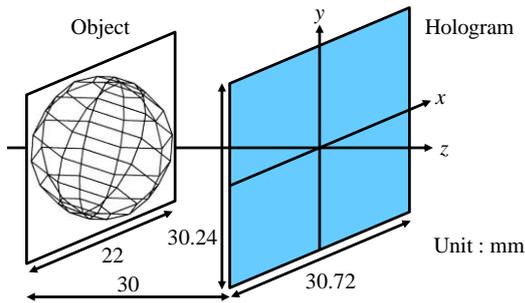


Fig. 4 The 3D scene of produced CGH.

Table 2 Parameters used for printing volume CGH.

Number of total pixels	30,720×30,240pixel
Effective pitches	1.0×1.0μm
Number of pixels of a tile	1,920×1,080pixel
Number of tiles	16×28
Wavelength	488nm

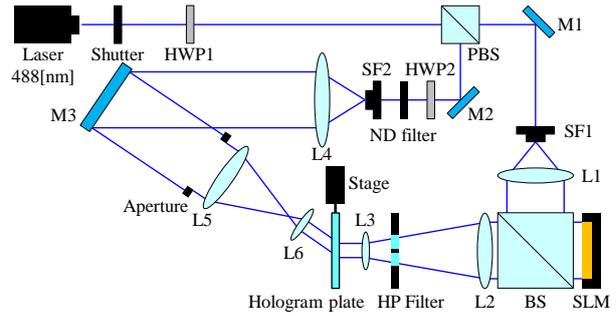
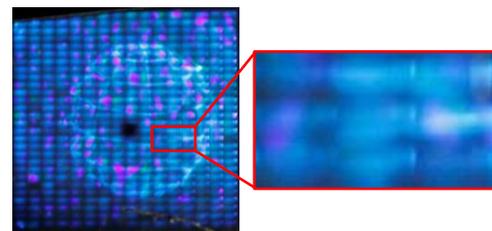


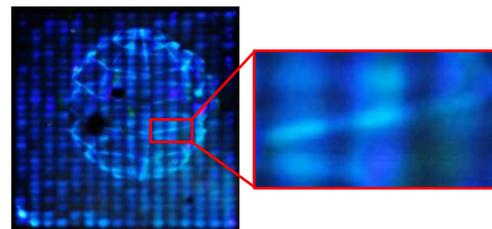
Fig. 3 The experimental setup for producing volume CGHs.

Table 1 Parameters of the SLM used for the wavefront printer.

Manufacturer	HOLOEYE
Model number	PLUTO
Number of pixels	1,920×1,080
Pixel pitches	8×8μm
Modulation level	256(8bit)



(a) Phase-only modulation



(b) Complex amplitude modulation

Fig. 5 Optical reconstruction of the produced CGHs by white light illumination.