

体積型 CGH 描画用波面プリンタにおける 疑似複素振幅変調の効果

Pseudo-complex amplitude modulation effect in a wavefront printer for producing volume CGH

西井涉

Wataru Nishii

岩田直大

Naohiro Iwata

松島恭治

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 wavefront printer is equipment used to produce computer-generated holograms (CGH) as volume holograms that are capable of reconstructing 3D images with white light illumination. Phase-type spatial light modulators (SLM), used for generating wavefront, have the advantage of no producing conjugate images but the problem of degrading by coding noises due to phase only modulation. This paper describes a method to produce pseudo-complex amplitude modulation by phase-type SLM, and ease the coding noise.

Keyword: volume hologram, CGH, wavefront printer, phase-type SLM, complex amplitude modulation

1 はじめに

近年のコンピュータの技術向上に伴い、CG モデル等の仮想物体を用いて、コンピュータ上でホログラムの干渉縞パターンを数値合成するコンピュータホログラフィが注目されており、これによって合成されたホログラムは計算機合成ホログラム (Computer-Generated Hologram, 以下 CGH) と呼ばれる。従来の CGH は 2 次元の干渉縞画像として専用の高精細プリンタ等で描画されてきた[1~3]。しかしこの方法では、イメージ型以外では再生時に単色照明光が必須であり白色光での再生は難しかった。そこで、空間光変調器(Spatial Light Modulation: 以下 SLM)によって描画波面を発生させ、参照光と干渉して体積型 CGH を描画する方式が提案され、研究が

進められている[4,5]。我々はこれを波面プリンタと呼んでいる。同じ体積型ホログラムを描画するホログラフィックプリンタ[6]がホログラフィックステレオグラムを作成するのに対し、波面プリンタでは仮想物体光波を再生する CGH を作成することができる。

波面プリンタでは描画波面の発生に振幅型または位相型 SLM が用いられる。前者では共役像の除去に視域が減少するシングルサイドバンド法等が必要であるのに対して、後者ではそもそも共役像が生じないため視域が減少しない利点がある。しかし、位相型では位相変調によるコーディングノイズにより波面が劣化する問題がある。これに対して、我々は位相型 SLM による位相変調だけでなく偏光角度変調を併用することにより疑似的に位相と振幅の両方を変調した光波を書き込み、位相変調によるコーディングノイズを緩和する手法を提案しており、SLM に表示するピクセル値に対する変調光の疑似複素振幅値を求める方法を報告している[7]。

西井涉

nishii@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)

本研究では、求めた疑似複素振幅変調値を用いて、発生したい描画波面に最適な SLM 表示パターンを求めた。本報告では、この SLM 表示パターンの計算方法および提案手法を用いて作成した CGH の再生像を示す。

2 波面プリンタの構造と原理

2.1 波面プリンタ

本研究の波面プリンタの原理を Fig.1 に示す。本波面プリンタでは、SLM によって仮想物体光波の描画波面を発生し、素材を挟んで反対側から入射する参照光と干渉露光することで体積型ホログラムとして CGH の干渉縞を記録する。この時、SLM で発生できる描画波面の範囲が小さいため、複数の波面をタイリングし、一つの波面を描画する。また、SLM の空間分解能が低いことからレンズ 2 枚を用いたアフォーカル系を用いて縮小投影することにより分解能を高めている。さらに、SLM の非変調光を除去するためレンズの焦点面にハイパスフィルタを設置している。

2.2 疑似複素振幅変調

位相型 SLM による疑似振幅変調の原理を Fig.2 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、偏光角度の方も完全に一定ではなく、僅かに変化する。ピクセル値 g に対する偏光角度を $\theta(g)$ とすると、一定の偏光角度を保っている参照光波との干渉で記録される成分は

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

となり、Fig.2 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。この $A(g)$ は描画波面がピクセル値 g に応じて疑似的に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 の位相変調と偏光角度変調を併用することで複素振幅を直接描画することができる。

本研究では、位相型 SLM の出力光パワーをある一定の偏光角度に設定した偏光板を通して測定し、パワー変化が最大となる角度に偏光板を設定した際のピクセル値 g に対する SLM の疑似振幅変調値を算出した[7]。本研究で求めた表示ピクセル値 g 対

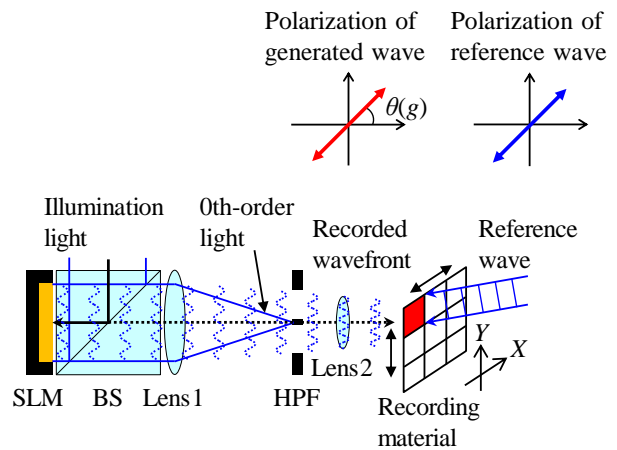


Fig. 1 The principle of the wavefront printer.

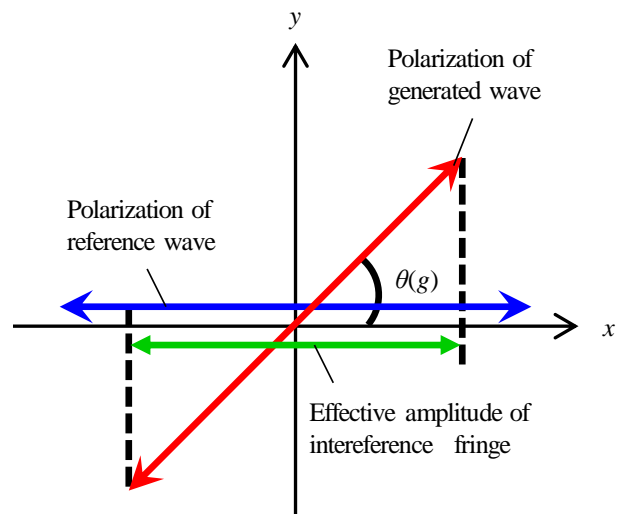


Fig. 2 The principle of pseudo amplitude modulation by the phase-type SLM.

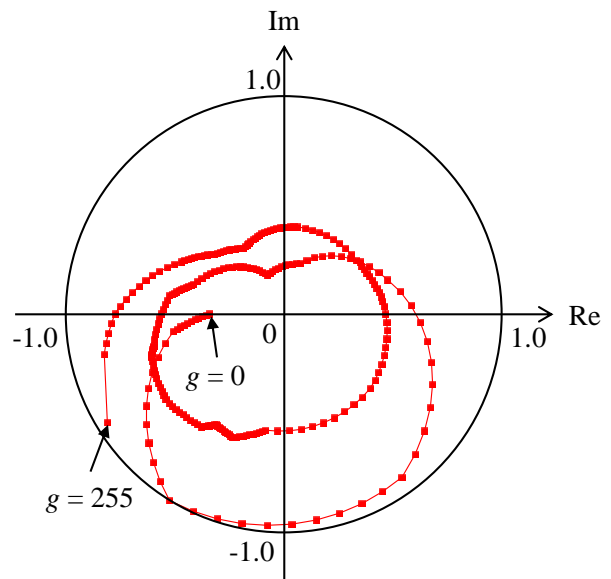


Fig. 3 Effective complex amplitude vs. pixel values of SLM.

する疑似複素振幅変調値の関係を Fig.3 に示す.

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.4 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

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

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との振幅差

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

を最小にするピクセル値を選んでいく. 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と, 波面の情報は主として位相に含まれるためである. 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 CGH の描画

本研究の波面プリンタの光学系を Fig.5 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]の青色レーザーを使用しており, 参照光の偏光面角度は, 振幅変調が最大となるように半波長板を用いて回転している. さらに, 参照光の露光面積を描画波面と同じにするため, SLM と同じ大きさの開口を設置し, 描画波面と同様のアフォーカル系を用いて感光材料に照射している. 本プリンタ描画する物体を Fig.6 に, 描画波面のパラメータを Table 2 にそれぞれ示す. 今回描画した物体は, いずれも点光源法で合成したワイヤーフレームモデルである.

本研究の波面プリンタで作成した CGH の光学再生像を Fig.7,8 に示す. いずれの物体においても, 提案法の方が従来法と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わかる.

5 まとめ

位相型 SLM の位相変調と偏光角度変調を利用して疑似的に複素振幅分布を描画する手法により, 従来法と比べて鮮明な再生像を得ることができた.

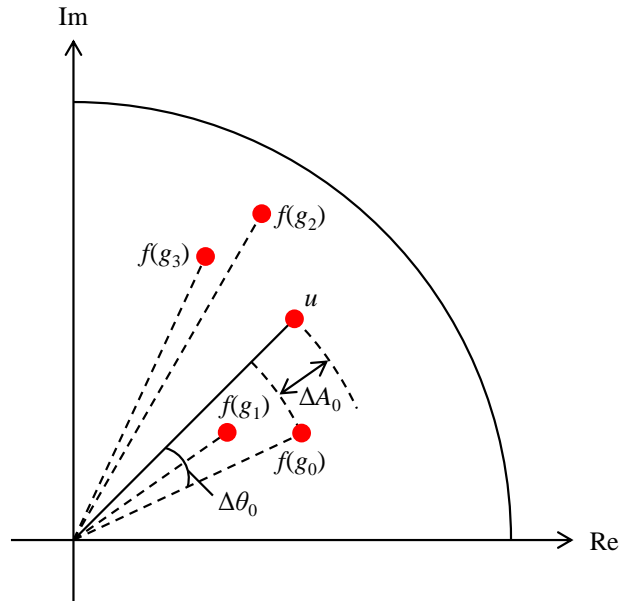


Fig. 4 Search of the pixel value appropriate for the complex amplitude of the writing field.

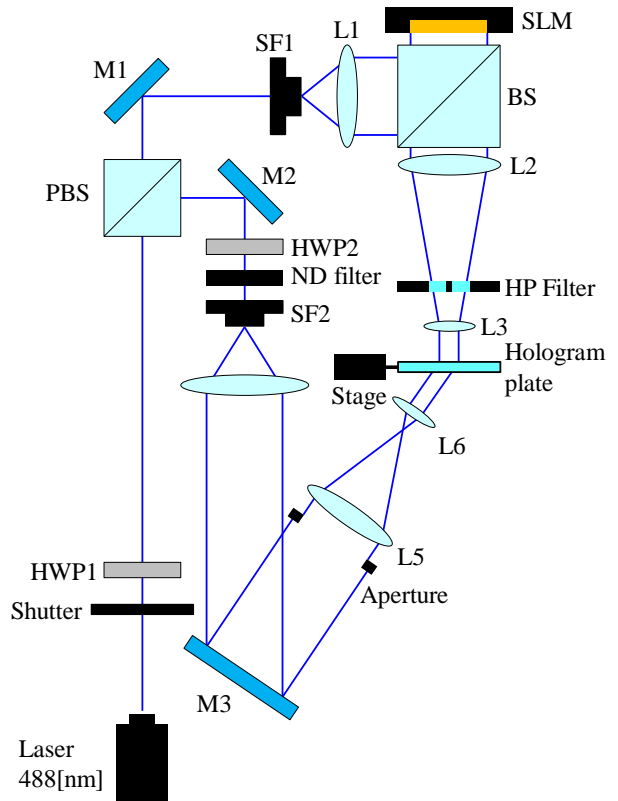


Fig. 5 The experimental setup for printing volume CGH.

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

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

謝辞

本研究は日本学術振興会の科研費(24500133)および平成24年度関西大学学術研究助成金(共同研究)の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 山中, 松島: “デジタル合成ホログラム用高解像度プリンタの高精度化”, 映像情報メディア学会誌 **58**, 1665-1668(2004).
- [2] K.Matsushima and S.Nakahara: “Extremely High-Definition Full-Parallax Computer-Generated Hologram Created by the Polygon-Based Method”, Appl. Opt. **48**, H54-H63 (2009).
- [3] H.Yoshikawa, and M.Tachinami: “Development of direct fringe printer for computer-generated holograms”, SPIE Proc. **5742**, 5742-33(2005)
- [4] 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”, 新画像システム・情報フォトンクス研究討論会講演予稿集, 18-19 (2011).
- [5] 山口, 宮本, 吉川: “体積型ホログラムプリンタの開発 —ホログラム面付近にある物体の記録の問題点とその改善—”, 3次元画像コンファレンス 2012 講義論文集, 98-101 (2012).
- [6] M. Yamaguchi, N.Ohyama, and T. Honda: “Holographic three-dimensional printer: new method”, Appl. Opt. **31**, 217-222 (1992).
- [7] 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).

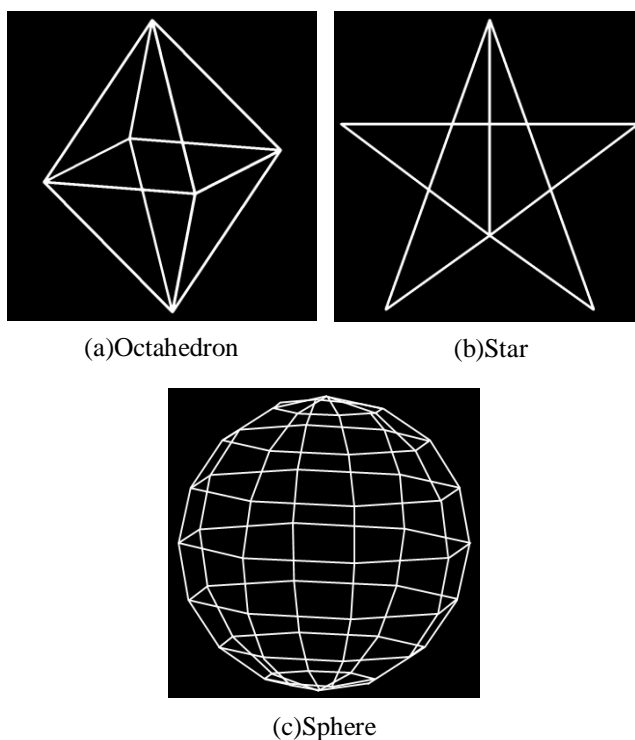


Fig. 6 Object model

Table 2 Parameters used for printing volume CGH.

Number of pixels	15,360 × 8,640
Number of segment pixels	1,920 × 1,080
Number of tiling	8 × 8
Wavelength	488nm
Effective pixel pitches	2 × 2 μm
Position of the center of object	(0, 0, -10)mm

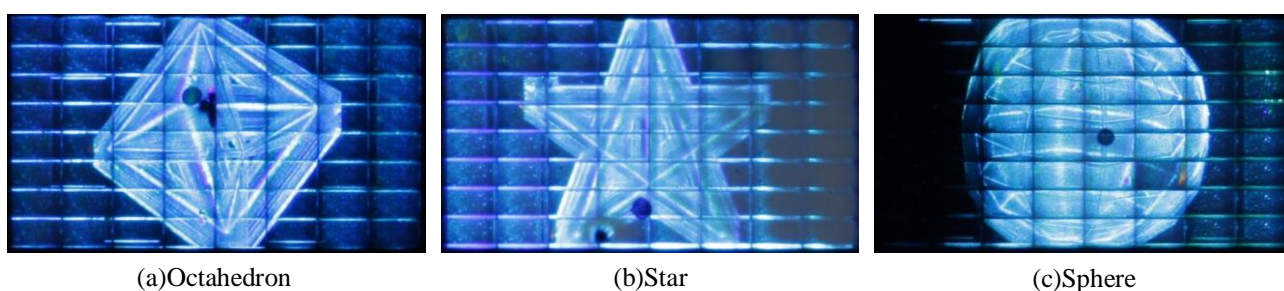


Fig.7 Optical reconstruction of the CGHs created by conventional method.

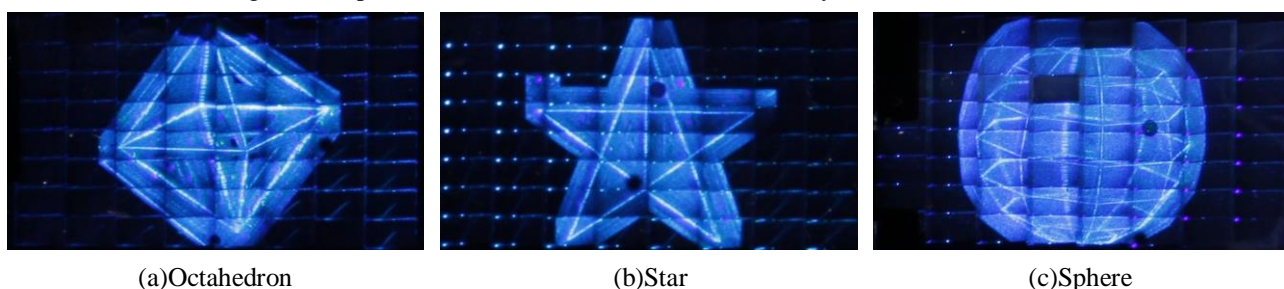


Fig. 8 Optical reconstruction of the CGHs created by proposed method.