

3次元表示に向けた空間クロスモジュレーション法 Spatial cross modulation method toward three-dimensional display

北大院情報科学¹, 岐阜大教育², [○]菅 悠太¹, 岡本 淳¹, 渋谷 敦史¹, 富田 章久¹, 舟越 久敏²,
Hokkaido Univ.¹, Gifu Univ.²,

[○]Yuta Kan¹, Atsushi Okamoto¹, Atsushi Shibukawa¹, Akihisa Tomita¹, Hisatoshi Funakoshi²,

E-mail: kan@optnet.ist.hokudai.ac.jp

1. まえがき

任意の光複素振幅場を制御する技術は 3D ディスプレイや 3D 形状計測, 生体イメージング等の様々なフィールドで応用されている. 広く使用されている技術として, 軸外計算機合成ホログラムを空間光変調器(SLM)に表示する技術[1]が挙げられる. この手法は単一 SLM で複素振幅生成可能だが, 解像度と光利用効率が低い. また, これらの問題が起らないキノフォーム[2]という手法もあるが, この手法では再生像にスペックルノイズが生じてしまう. そこで, 我々は上記の問題を解決した複素振幅生成技術として空間クロスモジュレーション法(SCMM)[3]を提案している. SCMM はディフューザーと位相 SLM を組み合わせた手法で, 単一の回折次成分を持ち入射光パワーをほぼ全て利用でき, ランダム位相を持つディフューザーを透過するためスペックルノイズが生じない複素振幅場の生成が可能である. 本稿では SCMM により任意の複素振幅場を生成できることを実験により示し, その応用として SCMM が 3次元物体の表示にも有用であることを示す.

2. 空間クロスモジュレーション法

図 1 に SCMM の概念図を示す. SCMM の基本動作は, コンピュータ上で任意の複素振幅場を散乱位相画像にエンコードする過程とエンコードされた複素振幅場を光学的にデコードする過程の 2 つに分類できる. デジタルエンコード過程では, まず, 入力像から照射される光波をフーリエ変換し, その空間スペクトルを空間位相分布を有する仮想ディフューザーを用いて変調する. そして, 掛け合わされた空間スペクトルを逆フーリエ変換することで入力物体の散乱画像が得られる. この時, 仮想ディフューザーによる空間位相変調と回折効果により入力像の波面は一樣に散乱する. また, この散乱した波面の位相成分は元の入力像の強度と位相を含む殆ど全ての重要な情報を保持している. そのため, デコード過程では散乱波面の位相成分のみを用いることができる. 光学的デコード過程では, まず, 符号反転した散乱位相画像を表示した位相 SLM に光波(平面波)を照射する. 変調光波はレンズによりフーリエ変換され, 光学ディフューザーを透過する. エンコードに用いた仮想ディフューザーとデコードに用いる光学ディフューザーの空間位相分布が等しい時, 変調光波の位相分布は相殺されるため, 入力像複素振幅が任意の空間上に生成される.

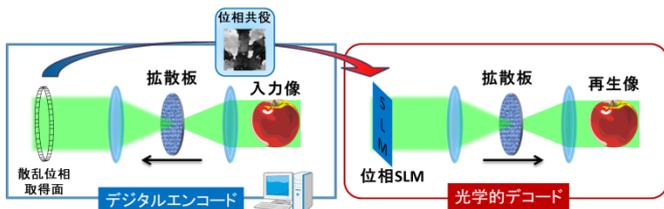


図 1: SCMM 概念図

3. SCMM を用いた 3次元表示実験

図 2 に SCMM の光学実験系を示す. 光学系は主に複素振幅生成部と複素振幅計測部から構成される. 複素振幅生成部ではデジタルエンコード過程[図 1 左部]で計算した散乱位相画像を位相 SLM 1 に表示する. 位相 SLM 2 にはディフューザーの空間位相分布を表示し, これを光学ディフューザーとして代用する. SLM 1 にはレーザー光を照射し,

変調された光波は SLM2 に集光される. SLM2 からの反射光は L3 と L4 による縮小光学系を通った後, CCD1 と CCD2 に入射する. 複素振幅計測には波長板と 2 台の CCD で構成される HDI[4]を用いる. 生成する複素振幅画像は, 振幅 2 値, 位相 2 値に変調した 2 次元データページを使用する. また, 3 次元物体の表示への応用に向け光軸方向に等間隔に配置した 4 枚の 2 次元画像を伝搬計算により 1 枚の画像に合成したものも使用する. 画像はエンコード過程にて 2 mm 間隔で配置し, それぞれの画像には“A”, “B”, “C”, “D” が 1 文字ずつ表示されているものとする. そして CCD1 を光軸方向に移動させた際の振幅分布の変化を確認する.

図 3(a)に複素振幅生成の結果を, 図 3(b)に 3次元表示の入力像の配置, 図 3(c)にその結果を示す. 図 3(a)より, 入力とほぼ同等な出力が生成されているため, SCMM を用いて実空間上での光複素振幅生成が可能であることを示した. また, 図 3(c)より, CCD1 の位置を光軸方向に 2 mm ずつずらした際に 1 文字だけ焦点が合っていることから, 3次元物体の表示に応用できることを示した. 実験により SCMM は複素振幅場をスペックルノイズ無く生成し, 単一の回折光成分を持つため光利用効率が高いことを確認した.

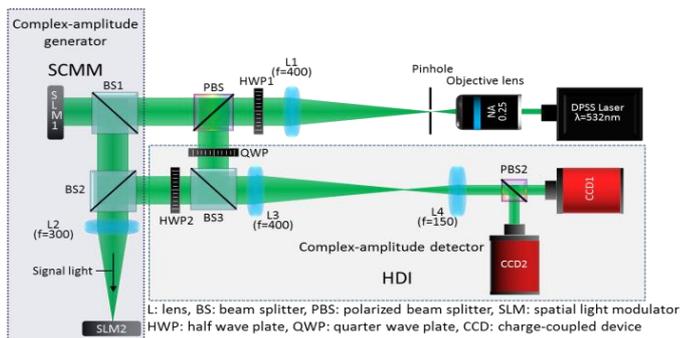


図 2: 実験系

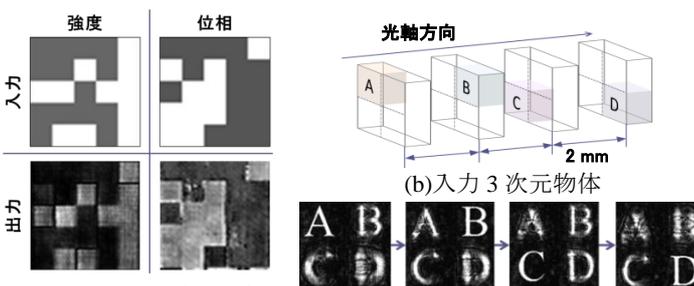


図 3: 実験結果

4. まとめ

本稿では SCMM を用いた複素振幅計測実験により実空間上での複素振幅生成を実証した. また, SCMM による 3次元物体の表示を想定した実験も行い, その動作を確認した. 本手法は 3D ディスプレイ等への応用が期待される.

参考文献

- [1] L. W. Lohmann *et al.*, *Appl. Opt.* **7**, 1739 (1967).
- [2] L. B. Lesem *et al.*, *IBM J. RES. DEVELOP.* **13**, 150 (1969).
- [3] A. Shibukawa *et al.*, *Opt. Express* **22**, 3968 (2014).
- [4] A. Okamoto *et al.*, *Opt. Express* **19**, 13436 (2011).