

共通光路位相シフトデジタルホログラフィによる 複数の位相揺らぎ層背後の3次元顕微イメージング

3D microscopic imaging through multi-layered thick inhomogeneous medium
based on common-path phase-shift digital holography

電気通信大学¹, 宇都宮大学², [○](M2)大田愛美¹, (M1)飯田公平¹, 宮本洋子¹, 武田光夫², 渡邊恵理子¹

The Univ. of Electro-Communications¹, Utsunomiya Univ.²

[○]Manami Ohta¹, Kohei Iida¹, Yoko Miyamoto¹, Mitsuo Takeda², Eriko Watanabe¹

E-mail: phase@fourier.ghrdp.uec.ac.jp

1. はじめに

拡散板や生体組織などの散乱媒体背後にある物体をイメージングする手法については多くの研究がなされてきた^[1,2]。その中でもデジタルホログラフィ^[3]は強度情報と位相情報を同時に取得可能な技術である。我々はこの技術をインライン型へ拡張させ^[4]、散乱層をスクリーンとして扱うことで厚さ1 mm 近い生体組織を介した場合においても背後に隠された物体を再構成可能であることを実証した^[5]。

本研究では、厚みを持つ弱散乱層から生じる位相揺らぎを抑制するためのイメージング手法を提案し、シミュレーションと実験によって実証する。

2. 共通光路デジタルホログラフィによる位相揺らぎ抑制手法

生体は厚みのある比較的弱い散乱層である皮下組織と薄く強い散乱層である皮膚組織と仮定することができる^[6]。生体内にある細胞や血管をイメージングする場合、物体光は厚い弱散乱層に含まれた様々な位相物体を通過するため伝搬面が歪み、良質な再生像を得ることはできない。ここで、物体光と参照光が共通に近い光路を通るように隣接した点光源とし、各光路が極めて近傍で伝搬するとき、位相揺らぎ $\exp(i\Delta\phi)$ はほぼ同一と扱えるため相殺される。

Fig. 1 に共通光路デジタルホログラフィによる位相揺らぎ抑制の原理確認のための実験光学系を示す。波長 632.8 nm のレーザーから出た光は、物体光と参照光に分波し、1 度の傾きを持つオフアクシス配置によって干渉する。位相シフト法を用い、光波伝搬計算を行うことによって、物体像を取得する。

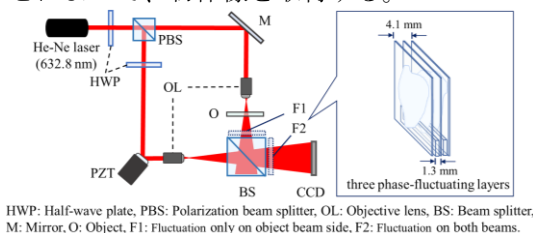


Fig.1 Schematic of the experimental optical system

3. 実験結果

実験光学系に透明塗料を塗布した 1~3 層の位相揺らぎ (Fig. 1)を加えた再構成像を Fig. 2 に示す。シミュレーションと同様、物体光のみに位相揺らぎを加えた場合は、Fig. 2(b)のように像に歪みが生じ、数字や 5 本線が不明瞭になった。一方で共通光路の場合は、Fig. 2(c)のように数字や線が明瞭に再構成された。

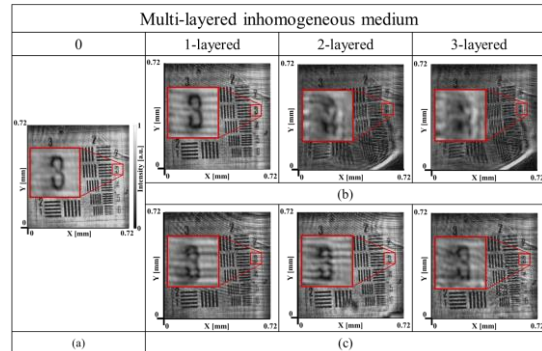


Fig.2 Experimental results for reconstructed image (a) without inhomogeneous medium, and with three-layered thick inhomogeneous medium; (b) conventional method and (c) proposed method.

4. まとめ

共通光路位相シフトデジタルホログラフィによる、複数層の位相揺らぎを抑制する手法を提案し、シミュレーションと実験により、本提案手法の有用性を示した。今後は、生体組織背後イメージング^[4]と融合させることで強く薄い散乱層と弱く厚い揺らぎ層を持つ生体内部の3次元イメージングを目指す。

謝辞：本研究の一部は学術変革領域研究(A) 20H05888 の成果である。本研究を進めるにあたりご議論をいただきました Universität Stuttgart の Osten 教授に感謝を申し上げます。

参考文献

- [1] J. W. Goodman, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **8**, 311(1966).
- [2] A. K. Singh, *et al.*, Light: Sci. Appl. **6**, e16219 (2017).
- [3] J. W. Goodman, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **11**, 77 (1967).
- [4] S. Kodama, *et al.*, Appl. Opt. **58**, G345-G350 (2019).
- [5] M. Ohta, *et al.*, Proc. SPIE **11521**, Biomedical Imaging and Sensing Conference 2020, 115210U (2020).
- [6] Y. Shimojo, *et al.*, Biophotonics Congress: Optics in the Life Sciences Congress, DSA.7 (2019).