

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 18 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05083

研究課題名(和文) 光の干渉を用いて散乱体の向こう側の物体を可視化する技術

研究課題名(英文) Visualization of objects images hidden behind the scattering medium using light interference

研究代表者

渡邊 歴 (Watanabe, Wataru)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：90314377

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：生体組織、霧、不透明なガラスのような散乱または拡散媒体を通して画像化する技術が注目を集めている。散乱媒体、拡散媒体は、透過画像の品質を著しく低下させるため、光を用いて散乱媒質や拡散体の奥の物体の可視化は難しく技術が限られている。本研究では、光の干渉ならびに機械学習により拡散体の奥に置かれた物体を広視野で可視化することを目的とした。光の干渉を利用して拡散板による影響を除去し、物体の再構成を行い、再構成画像への影響を画像のコントラストを用いて定量的に示した。また、ディープラーニングにより、拡散媒体または散乱媒体を通過した物体像を推定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、光の干渉ならびに機械学習により拡散体の奥に置かれた物体を広視野で可視化することを示した。拡散体の事前情報が必要となるが、本研究成果により、今後は曲がり角の奥や障害物の背後にある物体の画像化が可能になる。この技術を応用することにより、生体内部の可視化の観点からは医療分野に、防犯や自動運転における事故防止に活かせることができる。

研究成果の概要(英文)：Imaging techniques through scattering or diffusing media such as living tissue, fog, and opaque glass have been attracting attention. Since the scattering medium and the diffusing medium significantly reduce the quality of the transmitted image, it is difficult to capture clear object images hidden behind the scattering medium and the diffuser is difficult. The purpose of this study is to visualize an object placed behind a diffuser in a wide field of view by light interference and machine learning. The influence of the diffuser was removed by using the hologram and the object behind the diffusing medium was reconstructed. In addition, we developed a method to reconstruct images by deep learning.

研究分野：応用光学

キーワード：干渉 デジタルホログラフィ 散乱 拡散 スペックル 機械学習 ディープラーニング 位相共役

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

光の多重散乱は、大気、生体などにみられる現象である。散乱媒質の内部あるいは不透明な材料の向こう側を可視化する手法が限られている。ミリ波やテラヘルツ波を用いたイメージングは光源や撮像素子の価格、検出できる空間分解能に問題がある。光を用いたイメージングでは、多重散乱の結果、対象内部の物体情報を得ることが難しい。

散乱媒質内部の可視化は挑戦的な課題であるにもかかわらず、広視野かつ高い空間分解能を実現する、散乱媒質内部あるいは不透明な物体の向こう側を可視化する取り組みはほとんどなされていない。光の干渉を用いて散乱体内部の構造を、高分解能、広視野、高速に、3次元形状、位相、分光情報を推定する本研究を提案するに至った。

2. 研究の目的

本研究では、光の干渉により、散乱体内部の構造を、高分解能、広視野、高速に3次元形状、位相を推定するとともに分光情報も抽出することを目指す。レンズレス デジタルホログラフィック光学系を構築し、散乱体からの光と参照光を重ね合わせ、撮像素子により干渉縞を測定する。干渉縞を計算機により解析し、物体の振幅と位相を算出する。さらに、光の伝搬を戻していく光逆伝搬計算により、散乱体内部の物体の振幅と位相を求める。レンズが不要なレンズレス光学系を採用しているため、視野は散乱角と撮像素子のセンサーサイズにより決定され、広視野のイメージングが可能である。

3. 研究の方法

(1) レンズレス デジタルホログラフィック光学系による拡散板の向こう側の物体の推定
デジタルホログラフィーは物体の複素振幅分布を記録し、物体光の波面をコンピュータ上で再生することが可能である。レンズレス デジタルホログラフィック光学系を構築し、すりガラスの向こう側の強度と位相を再構築できるアルゴリズムにより、拡散板の奥に置かれた物体の振幅と位相の算出を試みた。

光源から出た光を物体光と参照光に分け干渉させて干渉縞をつくり振幅と位相情報を撮像素子に記録する。次にこの記録した干渉縞からカメラ面での拡散板の強度分布と位相分布を求め、カメラ面でのすりガラスの複素振幅を求める。その後、拡散板の向こう側に物体を設置して、カメラ面でのすりガラスと物体の複素振幅を求める。カメラ面から拡散板面までの光逆伝搬を計算し、拡散板面での拡散板と物体の複素振幅を求める。先ほど求めたカメラ面での拡散板と物体の複素振幅と拡散板の複素振幅から拡散板面での物体の複素振幅を求める。拡散板での物体の複素振幅を拡散板から物体までの光逆伝搬を計算することで物体面での物体の複素振幅分布を求められる。拡散板と撮像素子の距離、拡散板と物体の距離を変化させ、拡散板の奥の物体の振幅と位相を算出した。

(2) 機械学習による拡散板の向こう側の物体の推定

ディープラーニングは近年コンピュータビジョンの分野で注目されており、大量のデータから統計的に有効な特徴量を学習し、高い柔軟性、一般化性能を持つことが報告されている。この特徴を利用して、画像認識やセマンティックセグメンテーションなどの技術にも応用され、高い精度を示している。近年では、より柔軟性と一般化に優れた手法として、ディープラーニングを用いてスペックル画像と元画像の統計特性を捉え、元画像を再構成する手法が報告されている。本研究では、ディープラーニングを用いて拡散板の奥の画像を再構成する手法を用いて、拡散板とレンズ間の距離と虹彩の直径を変化させ、空間フィルタリングによる散乱光の除去を行い、ディープラーニングによる学習と再構成の精度に与える影響を調査した。

4. 研究成果

(1) レンズレス デジタルホログラフィック光学系による拡散板の向こう側の物体の推定

実験で使用したレンズレスデジタルホログラフィック光学系を図1に示す。光源は波長が632.8 nmのHe-Neレーザーを用いた。本研究では、一般的なマハツェンダー干渉計の参照光側のミラーにピエゾ素子を取り付け、物体光側の被測定試料(テストチャート)とCMOSカメラの間に拡散板を差し込んだ光学系を使用した。光源から射出された光をビームエキスパンダーで拡大し、ビームスプリッターで参照光と物体光に分光し、物体光と参照光の軸は一致させ、CMOSカメラを用いて干渉画像を記録する。ピエゾ素子を用いた4段階位相シフト法により物体光の位相情報を取得した。

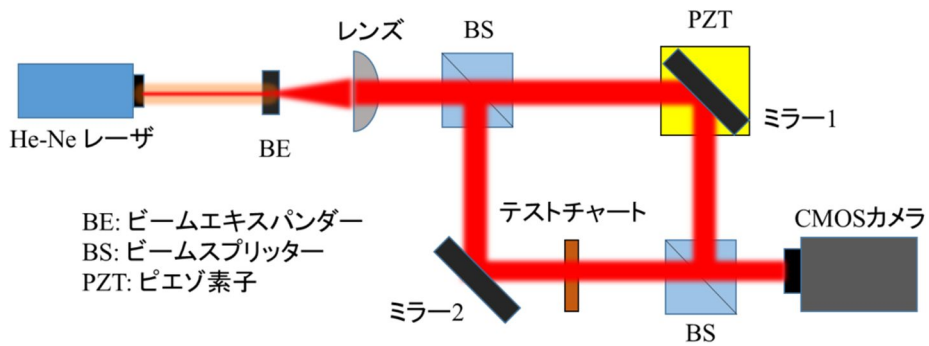
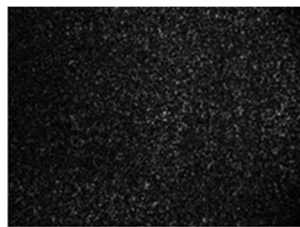
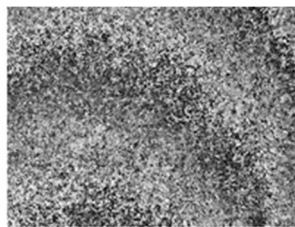


図 1 拡散板の奥の物体を可視化するレンズレスデジタルホログラフィック光学系。

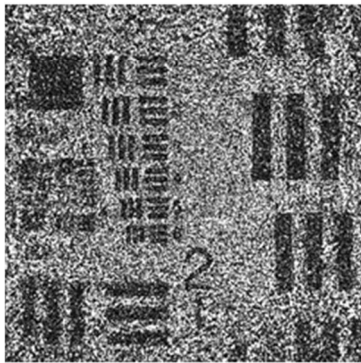
拡散板として厚さ 0.78 mm, 拡散角 1 度のホログラフィックディフューザーを物体光側に挿入した。CMOS カメラからホログラフィックディフューザーまでの距離を 8.0 cm, ホログラフィックディフューザーからテストチャートまでの距離を 3.1 cm に設定した。図 2 (a)にカメラ面における物体光の強度分布画像, 図 2 (b) にカメラ面における物体光と参照光の干渉画像から取得した位相画像, 図 2 (c) に再構成した強度分布画像, 図 2 (d) に位相分布画像を示す。



(a)



(b)



(c)



(d)

図 2(a) カメラ面における物体光の強度分布画像, (b) カメラ面における物体光と参照光の干渉画像から取得した位相画像, (c) 再構成した強度分布画像, (d)再構成した位相分布。

再構成された画像の品質は拡散板から撮像素子までの距離および拡散板から物体までの距離に依存する．撮像素子から物体までの距離関係を変化させた場合の再構成画像への影響を画像のコントラストを用いて定量的に示した．

すりガラスとしてホログラフィックディフューザーを用い，拡散角と再構成した像の画質を検討した．ホログラフィックディフューザーの拡散角を1度，10度，20度と変化させ，すりガラスの奥に置かれた物体の振幅と位相を算出した．

(2) 機械学習による拡散板の向こう側の物体の推定

拡散媒体または散乱媒体を通過した物体像を機械学習により推定した．散乱光を除外するために空間フィルタリングにおける絞りの径の条件が再構成の精度に与える影響を調査した．入力画像には空間光変調素子に MNIST データセットを表示した．各条件でスペckル画像を1000枚ずつ取得し，入力画像として，800組をディープラーニングの学習用とし，200組をテスト用とした．ディープラーニングモデルを構築し，ディープラーニングによる学習，再構成を評価した．損失関数としてスパース予測を促進させる負ピアソン相関係数を用いた．拡散板の拡散角 5° ，拡散板とレンズの距離32 mm，虹彩の開口径5 mmとし，表示画像，拡散板透過後のスペckル画像，ディープラーニングにより再構成した画像の例を図3に示す．絞りの開口径を10 mm，5 mm，2.5 mm で実験を行い，絞りの開口径を小さくすることで散乱光が空間フィルタリングされ，高精度な再構成が行われることを示した．

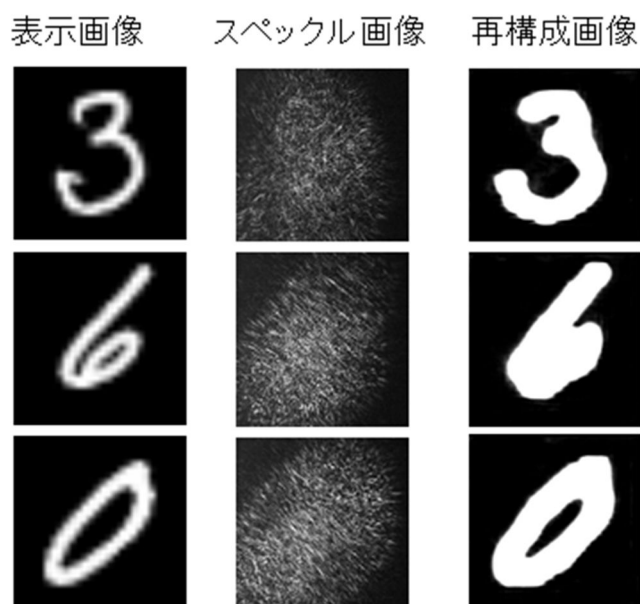


図3 空間光変調素子に表示した元画像，撮像素子により取得した拡散板透過後のスペckル画像，ディープラーニングにより再構成した画像．

今後の課題として，位相物体の推定と3次元物体の再構成，波長が異なる光源による分光画像の取得，より拡散角の高い拡散板を用いた際における再生結果の精度の向上があげられる．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Fumito Araki, Hidenobu Arimoto, and Wataru Watanabe
2. 発表標題 Lensless digital holographic imaging through diffusive glass with different diffusion angles
3. 学会等名 SPIE Technologies and Applications of Structured Light, Biomedical Imaging and Sensing Conference, BISC 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wataru Watanabe, Soichiro Tabata, Fumito Araki, Hidenobu Arimoto
2. 発表標題 Looking through diffusive glass by digital amplitude/phase correction
3. 学会等名 JSAP-OSA Joint Symposia (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荒木郁斗、田畑蒼一郎、有本英伸、渡邊 歴
2. 発表標題 レンズレスデジタルホログラフィーによる拡散板を通した物体の強度分布再生
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2019 Osaka
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akinori Igarashi, Hidenobu Arimoto, and Wataru Watanabe
2. 発表標題 Reconstruction of complex amplitude by lensless phase-shift digital holography through an opaque glass plate
3. 学会等名 SPIE Technologies and Applications of Structured Light, Biomedical Imaging and Sensing Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊 歴, 荒木郁人
2. 発表標題 位相シフトデジタルホログラフィーによるすりガラスの奥の物体の可視化
3. 学会等名 平成30年第4回 ホログラフィック・ディスプレイ研究会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	有本 英伸 (Arimoto Hidenobu)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・センシングシステム 研究センタ・主任研究員 (82626)	