

マイケルソン干渉ゴーストイメージングを用いた散乱媒質内の物体検出

Target Imaging in Scattering Media Using Michelson Interferometer Ghost Imaging

三菱電機¹, 千葉大², °シャフケティ アリフ^{1,2}, 呼延 徳才², 椎名達雄²
Mitsubishi Electric Corp.¹, Chiba Univ.², °Alifu Xiafukaiti^{1,2}, Decai Huyan², Tatsuo Shiina²

E-mail: Xiafukaiti.Alifu@ct.MitsubishiElectric.co.jp

まえがき

散乱媒体中での物体検出を高速かつ3Dイメージングで行うことは、光計測の分野において重要な役割を果たす。マイケルソン干渉計(MI)にゴーストイメージング(GI)を応用した新しいMIGIセンシング手法は、GIの高いノイズ耐性と光干渉による断層計測機能を統合し、走査なしでの3Dイメージングの実現が期待できる。しかし、GIでは被測定物の高品質なイメージを再構築するために、多数の異なる光パターンの照射が必要であり、計測時間の延長が避けられない。本研究では、Migiにおける短時間測定を実現するために、深層学習手法であるDeep Image Prior(DIP)を導入し²⁾、従来手法に比べて計測時間の短縮に顕著な改善が見られた。本報告では、Migiの構成とアルゴリズム、および深層学習の適用過程について述べ、シミュレーションおよび実験により取得した結果を基に、本手法の有効性を評価する。

方法・結果・考察

Migi実験システムはFig.1に示す。SLD光源からの出力光は、コリメーターとビームエキスパンダを通過して拡大された平行ビームに変換され、Digital Micro-Mirror Device(DMD)に照射される。GIに必要なランダムな光パターンを形成するために、DMDを用いて平行ビームの断面光強度をランダムに変調する。シミュレーションと実験では、アルファベット文字「E」を被測定物として使用した。ランダムな光パターンはビームスプリッターを介してサンプル(物体を設置した散乱媒質)と参照ミラーに照射され、サンプルからの後方散乱光と参照ミラーの反射光が干渉を起こし、単一検出器で断面ごとの干渉信号が取得される。

GIの信号処理では、光パターンの照射を用いた計測後に、各光パターンとそれに対応する干渉信号との相関を計算し、サンプルのイメージを再構築する³⁾。一般に、鮮明なサンプルイメージを構築するためには、少なくとも画素数の2乗回の光パターンを照射する必要がある。しかし、この量の照射には多くの時間がかかるため、信号処理の段階で教師データを必要としない深層学習手法であるDIPを導入した。具体的には、任意のノイズ画像を入力とし、実測の再構築イメージを出力とする設定において、DIPは入力から出力への変換を行うネットワークパラメータを勾配降下法で最適化する。その結果、学習の途中でノイズが除去され、品質の高い画像が得られる。

DIPの有無におけるシミュレーションおよび実験結果はFig.2に示す。シミュレーションでは、

従来比12.5%のサンプリングレートで鮮明なイメージを再構成でき、64×64のピクセル解像度に必要な計測時間を87.5%削減した。DIPにて200回の反復処理後、SSIMを用いて再構成イメージの品質を評価した結果、0.9以上の高いSSIM値が得られた。実験では、DIPの最適な学習率0.01で複数のサンプリングレートを用いてイメージを再構成し、従来手法との比較を行った。その結果、12.5%のサンプリングレートで300%の改善率に達し、高いサンプリングレートでは30%~45%の改善率が得られた。また、シミュレーションとは異なり、散乱媒質による多重散乱の影響で0.5程度のSSIM値を得られた。本研究での発想は、大気リモートセンシングにおいて、大気浮遊粒子、風やガスのリアルタイムイメージング、およびイメージングライダーの進化につながる事が期待できる。

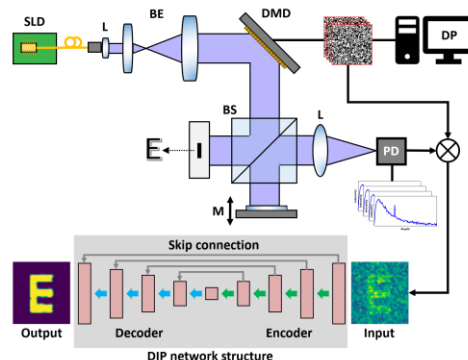


Fig.1 Experiment configuration for target imaging within scattering media using Migi system.

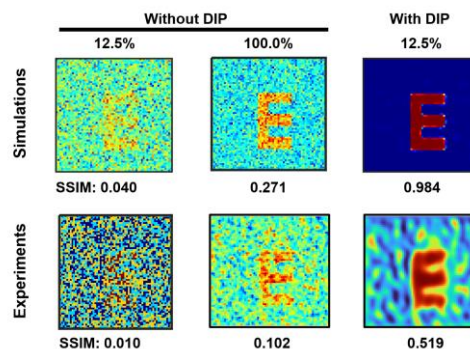


Fig.2 Simulation and experiment results with and without the application of the DIP method.

参考文献

- 1) D. Huyan, et al., Photonics 10, 146, 2023.
- 2) V. Lempitsky, et al., 2018 IEEE/CVF Conf. on Comput. Vis. Pattern Recognit., 9446-9454, 2018.
- 3) F. Ferri et al., Phys. Rev. Lett. 104, 253603, 2010.