

仮想位相共役を用いた超解像複素振幅計測手法

Super-Resolution Complex Amplitude Measurement Using Virtual Phase Conjugation

北大情報科学, °川島 聡, 岡本 淳

Hokkaido Univ., °Satoshi Kawashima, Atsushi Okamoto

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

1. はじめに

近年, 位相シフトデジタルホログラフィ[1]に代表される光を用いた複素振幅計測技術は波長オーダーという計測精度の高さと非侵襲性, 非接触性から, 生物学, 製造業, 光通信などの様々な分野で注目を集めている. しかし, 一般的に複素振幅計測器の物理的分解能は限られているため, より高精度な複素振幅計測を実現するためには, 超解像測定技術が必要となる. 本研究では, デジタルホログラフィなどの複素振幅検出器とランダム拡散板を組み合わせた光学系に対して, VPC (Virtual Phase Conjugation) [2]を用いた超解像複素振幅計測手法を提案する.

2. 方法

本手法では, 測定対象からの信号光を測定する前に, ランダム拡散板によって位相変調を与える. この操作により, 検出器の分解能を越える微細構造の情報が像面全体に拡散し, 局所的にはサンプリング定理で定義される分解能を超えた測定を実現することができる. しかし, 検出器の1画素で得られる信号は物体の複数の点からの信号の畳み込みであるため, 測定画像を再生するためには逆畳み込みのための多数の計算が必要となる.

図1に示す光学系において, 4-f結像系のフーリエ面上に設置されたランダム拡散板の拡散作用により, 像面には元画像の各位置の情報が全領域に拡散し重畳されている. この重畳された画像の中心部分だけを複素振幅計測器で計測する. 次に, コンピュータ内に実計測系と等価な仮想光学系を設置し, 計測された光信号の位相共役光を逆伝搬する VPC 処理を施すことで検出器の物理解像度を上回る解像度の信号を再生できる[3].

3. 数値解析

本手法の基本動作を確認するために数値解析を行った. この数値解析では, 対象物が 512×512 画素, 複素振幅検出器が 256×256 画素の場合の測定結果を検証する. 図2は測定対象の物体像を示す. 像面全体ではサンプリング定理による取得情報量の制限があるため, 図2の拡大図に示すように, 物体の情報は, 像面の中心と左下隅の非常に限られた領域に分布し, これらの領域の強度と位相は, 検出器の解像度を越える細かい構造を持っている.

図3は本数値解析の結果を示した図である. 強度分布は0から1に規格化した. 512×512 画素によって構成されている微細構造は, 256×256 画素の複素振幅計測器によって計測されているにもかかわらず忠実に再生されている.

信号領域の外側の位相雑音は, 物体像が強度を持たず, この領域では位相が定義されていないため, 物理的な意味はなく提案手法は正常に動作していることが確認できる.

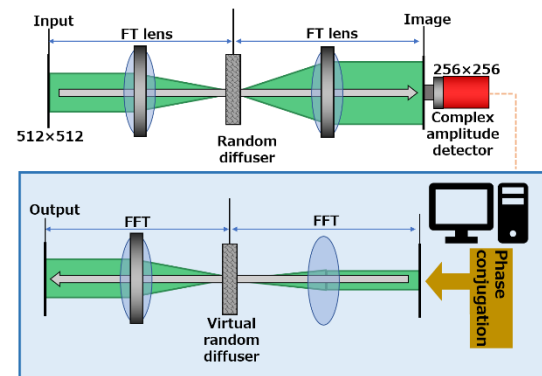


Fig. 1. Schematic of super-resolution complex amplitude measurement using VPC.

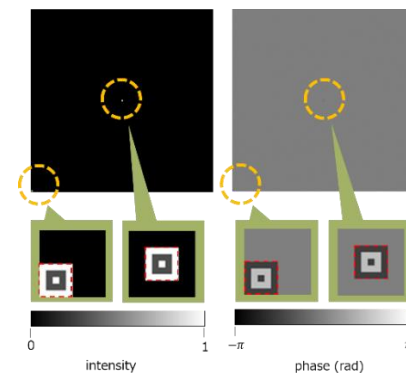


Fig. 2. Object image of 512×512 pixels.

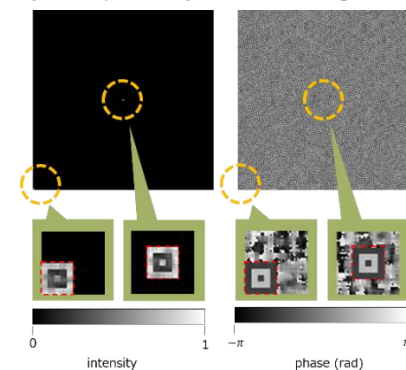


Fig.3. Measurement results with a detector of 256×256 pixels.

参考文献

- [1] I. Yamaguchi *et al.*, Opt. Lett., **22**(16), 1268–1270 (1997).
- [2] Y. Goto *et al.*, Opt. Express, **26**(4), 3779–3790 (2018).
- [3] S. Kawashima *et al.*, ISOM2019(投稿中)