

時間ドメイン圧縮センシングによる ヘテロダインビートのゴーストイメージング

Ghost Imaging of Heterodyne Beats Leveraged by Time-Domain Compressed Sensing

○大岡佳生、藤澤 俊祐、深津 晋 (東大院総合)

○Y. O-oka, S. Fujisawa, and S. Fukatsu (UTokyo)

E-mail: o-okayoshiki@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

ゴーストイメージング (Ghost Imaging, GI) とは、マスク透過光の空間分解測定を行わなくても光源の持つ相関を用いるだけでマスクの二次元情報 (画像) が遠隔再生できる技術体系である [1]。GI の概念は空間ドメインにとどまらず、時間ドメインにも拡張可能なことが特徴である。例えば、マルチモード光ファイバの分散を利用した歪のない時間情報の再生実験 [2] 等が報告されている。さらに”イメージング”の特性を活用すれば、対極概念である”回折現象”の遠隔再生も可能となる。

本質的に相関測定である GI は集合平均に基づいている。そのせいで再生像の取得には多数回の測定が必要となる。ところが空間マスクの透過率がスパース (多くの位置で 0) な場合、圧縮センシング (Compressive Sensing, CS) を通じて測定回数を劇的に減らせるとの報告がある [3]。時間ドメインでも同様な効果が期待できる。実際、単一の周波数離調 $\Delta\omega$ にともなうヘテロダインビート (時間ドメイン干渉縞) はフーリエ空間で 1-スパースであり、CS により測定ビン総数を下回る情報のみから回折パターンの再生が原理的に可能だからである。本研究では、圧縮センシングをゴーストイメージング (CSGI) に適用することで少数測定によるヘテロダインビート再生を試みる。

CSGI においては、マスク情報を既知として CS に必要なパラメータを設定することが出来ない。そこで物理的に意味のある最小化問題を設定すべく、次元の統一化の観点から情報再生アルゴリズムの実装を行い、パラメータとすべき物理量を選択した。まず、シミュレーションにより圧倒的に少ない情報から時系列データを再生することを検討した (図 1)。CSGI の忠実度 F (直接測定値との相関) は $F = 0.99$ と、GI の $F = 0.23$ を大きく上回っており、時間ビン数 512 の情報が積算回数 64 ($\ll 512$) 足らずで明瞭に再生できていることがわかる。次に実験データを用いてヘテロダインビートの再生を試みた (図 2)。ノイズの影響が完全には払拭できていないものの、GI に比べて CSGI の方がよりマスクに近いパターン ($F = 0.89 > 0.77$) が得られた。これにより時間ドメインの回折パターンに CSGI を適用すれば少数回測定でも高 F 値の情報再生が可能なが検証された。

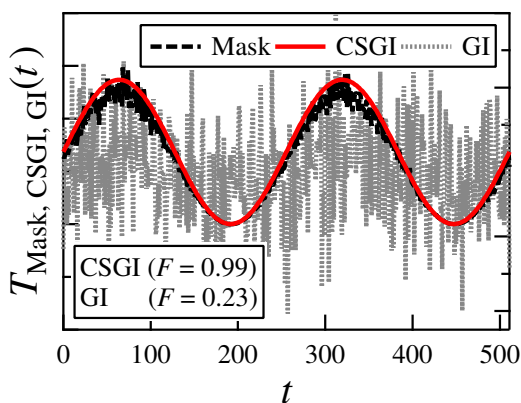


図 1: 再生ヘテロダインビート (計算).

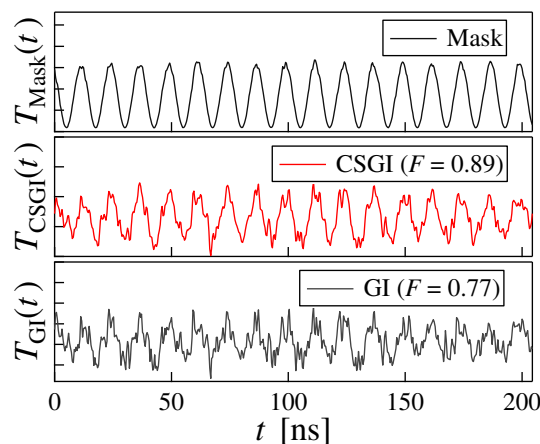


図 2: 再生ヘテロダインビート (実験) .

[1] D. V. Strekalov, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **74**, 3600 (1995).

[2] R. Ryzkowski, *et al.*, Nature Photonics **10**, 167-170 (2016).

[3] O. Katz, Y. Bromberg, and Y. Silberberg, Appl. Phys. Lett. **95**, 13110 (2009).