全強度測定によらない時系列データのゴーストイメージング

Bucket-Detection-Free Ghost Imaging in Time Domain ○ 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(GI)は、2次元マスク透過光の全強度(空間積分強度)を測定するだけ で空間分解されたマスク画像を非局所再生する光技術である。光子の初期相関を利用した GI [1] は当初より暗号通信や擾乱補償光学系への応用が期待されていたが、最近では時間ドメインに GI 技術を発展させた高速光通信や情報伝送が検討されるまでに至っている (Temporal GI: TGI)[2,3]。

TGI の本質は、時間マスク透過光の全強度測定からマスク変調信号を遠隔再生することにある。 この際、**遅い検出器**が登場するが、系の線形応答はインパルス応答 $\mu(t)$ と検出器の応答I(t)との 畳み込み $B(T) = \int_{-\infty}^{0} \mu(T-t)I(t)dt$ であるから $\mu(t)$ の単調減少特性を通じて時刻 $\tau(\tau > T, T; マス$ ク長)における**点検出**データで全強度が置換できる。検出器出力の時間積算が一点測定データから 逆算できれば、全強度測定によらないTGI によって**計算・記憶容量上の優位性**が生じる。

本研究では、原理検証の試みとして遅い検出器上の一点測定による時間ドメイン・ゴーストイ メージングをファイバ光学系で物理実装し、因果律にしたがう歪補正を試みた。通信帯連続光レー ザー出力 (1550 nm) を強度変調して NRZ パルス列 (2.0 ns) を生成し、帯域幅 5 MHz のフォトダイ オード PD1 の時間応答関数 $\mu(t)$ を予め取得 (図 1)。次に 500 Mbps で擬似ランダム (PRBS: 2^{31} – 1) 変調した光パルス列を 3 dB カプラで 2 経路に分割した後、光検出を行った。ただし、PD1 の直前 には時間マスク (強度変調器) を設置し、50 Mbps の NRZ パルス変調 $M_{ctrl}(t)$ パターンを送信終了 直後の t = T に PD2 出力 (B) を一点 (瞬時) 検出した。なお、 $I_{ref}(t)$ は 0.4 s 毎に帯域幅 5 GHz の PD2 で検出し、 $N = 10^3$ 回の繰り返しから両検出器出力の共分散 $M_{GI}(t) = \langle \Delta I_{ref}(t) \Delta B \rangle$ を算出した。 図 2 に時系列データを示す。従来の GI プロトコルではマスク (a) の再生像に $\mu(T - t)$ に伴う時間反 転した歪が生じるが (b)、応答関数による除算補正 $M_{cor}(t) = M_{GI}(t)/\mu(T - t)$ の結果、均一な HIGH レベルが得られる一方で信号雑音比が $\mu^{-1/2}$ にしたがって非一様に分布することがわかる (c)。



FIG. 1 Responsivities of photodiodes (PD1: 5 MHz (blue), PD2: 5 GHz (red)) for input of a 2.0-ns NRZ pulse (1550 nm). *T* is the length of the time mask. The PD1 trace represents $\mu(t)$. Note that PD2 was used to register $I_{ref}(t)$. Inset shows a blowup of traces near t = 0.

[1] Yanhua Shih, Technologies 4, 39 (2016).

Y. O-oka and S. Fukatsu, Appl Phys. Lett. 111, 061106 (2017).



FIG. 2: Line profiles of a) time mask, $M_{\text{ctrl}}(t)$, b) image retrieved by GI, $M_{\text{GI}}(t)$, and c) division-corrected image, $M_{\text{cor}}(t)$.

[2] R. Ryczkowski et al., Nature Photonics 10, 167 (2016). [3]