偏光子アレイ付きカメラを用いた空間直交振幅変調信号光の非干渉シングルショット検出の検討

Numerical Investigation on Non-interferometric Single-shot Detection of SQAM Signal Beam using Camera with Micropolarizer Array

福岡大院工[1]，福岡大工[2] ○(M2)角田 総一朗[1]，文仙 正俊[2]
Graduate School of Engineering, Fukuoka University[1], Department of Electronics Engineering and Computer Science, Fukuoka University[2]
°Soichiro Sumida[1], Masatoshi Bunsen[2]
E-mail: td182004@cis.fukuoka-u.ac.jp

1. 研究背景

近年，新たな光記録媒体として HDS が期待されており，更なる大容量記録を実現する空間直交振幅変調（SQAM ：Spatial Quadrature Amplitude Modulation）法が広く研究されている[1,2]．我々は，干渉計測によらずに光波の回折強度像のみから，強度輸送方程式（TIE ： Transport of Intensity Equation）法によって SQAM 信号光の複素振幅を検出しようと試みている．本稿では，偏光子アレイ付きカメラを用いて位相検出に必要な複数の回折強度像をシングルショット撮像し，これを TIE による SQAM 信号検出に用いる手法を提案する．数値シミュレーションによりその検出性能を検証する．

2. シングルショット TIE 法

従来のTIE法の概念図をFig.1に示す．TIE法ではSQAM信号光の複素振幅は，z方向に異なる距離を伝搬した2枚の信号光回折強度像を用いて検出できる．TIEは以下の式で表される．

$$k\,\partial I(x,y;0)/\partial z = -\nabla\cdot I(x,y:0)\nabla\varphi(x,y;0) \quad (1)$$

ここで，kは波長，∇は勾配演算子，$I(x,y:0)$と$\varphi(x,y;0)$は$z=0$での光強度と光位相の分布である．式(1)にフーリエ変換を適用することで位相分布が求まる．

$$\phi(x,y,0) = \sum_{p=x,y}\mathcal{F}^{-1}q_p q_\perp^{-2}\mathcal{F}I^{-1}\mathcal{F}^{-1}q_p q_\perp^{-2}\mathcal{F}[k\,\partial I/\partial z] \quad (2)$$

ここで，$q_\perp^2 = q_x^2 + q_y^2$であり，$q_x$，$q_y$は$x$および$y$方向の空間角周波数を表す．また$\mathcal{F}$はフーリエ変換を表す．次に，複数の回折強度像を一度の撮像により取得するシングルショットTIE法について説明する．信号光の直交する偏光成分が異なる光路長を伝搬するような構成とする．この光路差は例えば複屈折結晶の配置などで生成できる．この信号光を偏光子アレイ付きカメラで撮像すると，Fig.2に示すように1枚の撮像画像に偏光方位に応じた2枚の回折強度像が含まれることになる．この画像を用いて偏光成分ごとに抽出と補間をすることで，2枚の回折強度像を得ることができる．これら2枚の回折強度像をTIEに用いることで，1枚の撮像画像から信号光の複素振幅の検出ができる．

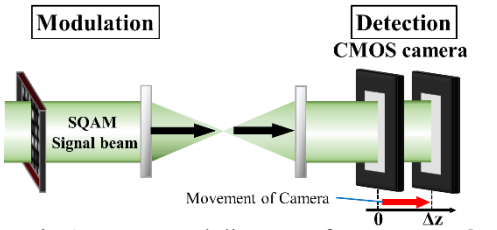

Fig.1 Conceptual diagram of conventional TIE.

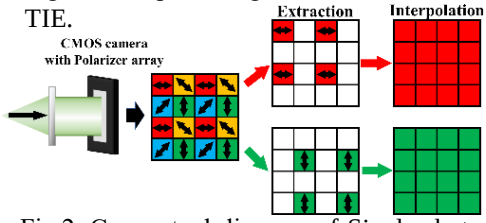

Fig.2 Conceptual diagram of Single-shot TIE by the camera with micropolarizer array.

3. 数値シミュレーション方法と結果

Fig.3(a)に SQAM 信号光ページデータに用いる信号光位相分布を示す．変調位相形状は Fig.3(b)に示すように各シンボル内でピラミッド形状を有しており，シンボル境界の位相値は 0° ，各シンボルの中心部における最大位相値は 90° ， 180° ， 270° 或いは 360° の 4 値変調とする．強度はステップ型に 2 値変調されている． Fig.4(a)にシングルショット TIE よって復調された復調位相分布を示す． Fig.4(a)から変調位相と同様の位相分布が復調できていることがわかる．また，Fig.4(b)のコンスタレーションダイアグラムにおける各シンボル群は分離して識別でき、シングルショット TIE 法により SQAM 信号位相を復調できることが分かる．

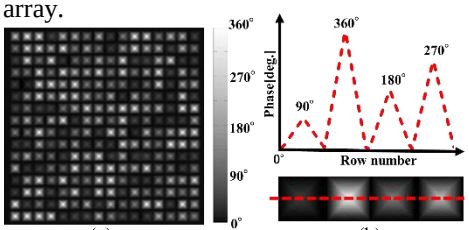

Fig.3 Phase distribution used for numerical simulation. (a) Modulation phase. (b) Conceptual diagram of continuous phase modulation.

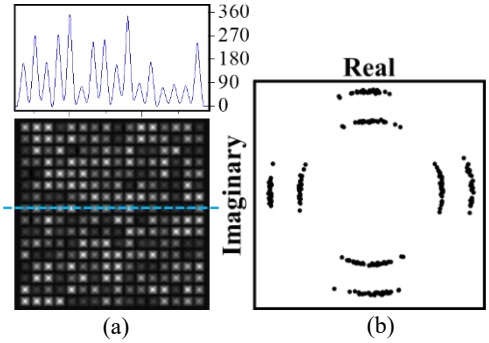

Fig.4 Numerical simulation results. (a) Detection phase. (b) Constellation diagram by single-shot TIE.

4. 結論

本研究では，偏光成分ごとに異なる光路長を伝搬した信号光の複数の回折強度像を偏光子アレイ付きカメラを用いてシングルショット撮像し，これを TIE 法による SQAM 信号検出に用いる手法を提案した．数値シミュレーションにより，本手法を用いて SQAM 信号光位相が復調可能であることを示した．

5. 参考文献

[1] A. Okamoto, et al., Opt. Express 19, pp.13436-13444 (2011).
[2] M. Bunsen, et al., Jpn. J. Appl. Phys. 52, pp. 09LD04-1-09LD04-5 (2013).
謝辞 本研究はJSPS科研費 17K06406の助成を受けたものです．

© 2019年 応用物理学会