

LCOS Wave Shaper における光伝送信号の高精度な補償に向けた 波長領域の位相変調の高分解能化

¹北海道大学 大学院情報科学院 ²国立研究開発法人情報通信研究機構
王 江漣¹, 岡本 淳¹, 山岸 信博¹, 後藤 優太², 富田 章久¹

1. はじめに

Liquid crystal on silicon based wave shaper (LCOS wave shaper)は、回折格子による分光と LCOS 型空間光変調器 (SLM) による波長ごとの位相変調によって光パルスを任意に整形することが可能であり、光通信分野において光信号の波形補償や波長分散補償へ応用される[1]. より高精度な波形補償や波長分散補償には、波長領域の位相変調における高解像度化が求められる。そこで、本研究では、中心波長より短いまたは長い波長領域を、それぞれ SLM の上部または下部において位相変調することで位相変調の解像度を 2 倍にする手法を提案する。本稿では、提案手法における光学系の設計例を示した後、位相変調の分解能が 1/2 に向上し、位相変調の離散化誤差が 1/2 に減少する事を示す。

2. 本手法の原理と分解能の評価

LCOS wave shaper では図 1 に表すように、ファイバーアレイから出射した光が回折格子によって回折することで、波長ごとに SLM の水平方向に光波が分離される。SLM は、各ピクセルにおいて任意の位相変調を与えることで、波長領域での位相変調が可能となる。その後、回折格子を介して再びファイバーアレイに入射する。

図 2 に提案手法を示す。まず、入射光をハーフミラーで二光路に分岐する。2 つのビームは水平方向に $\delta\theta$ だけ角度差を持って回折格子に入射することで、SLM 上で SLM の有効幅 w だけ位置がずれて光波が照射される。ここで、 L_1, L_2 は、それぞれ従来手法と提案手法における回折格子と SLM との距離とする。短波長および長波長領域をそれぞれ SLM の上部および下部で位相変調することで、位相変調の解像度を 2 倍とする。

次に、光学系の設計例を示し、群遅延補償の応用の場合の位相変調の精度評価を行う。最小波長を λ_{\min} 、最大波長を λ_{\max} 、群遅延量を α 、回折格子のスリットの間隔を d 、SLM のピクセル数を N 、SLM のピクセルピッチを δx_{SLM} 、従来手法と提案手法において SLM の有効幅に照射される波長範囲をそれぞれ $\lambda_{\text{SLM}(1)}$ 、 $\lambda_{\text{SLM}(2)}$ 、SLM 上の水平方向の単一波長のピーク位置を x 、SLM のピクセルピッチに対応する波長幅、すなわち、位相変調の分解能を $\delta\lambda_{\text{SLM}}$ とする。なお、回折格子の回折光は、1 次回折光のみを使用する。群遅延補償の位相変調は、図 3 のように、波長に比例した線形な位相変調となり、SLM の離散化によって、離散化位相誤差 $\delta\phi$ が生じる。また、図 3 に示すように、中心波長における位相変調量 2π に対応する波長幅を $\delta\lambda_{2\pi}$ とする。表 1 に各パラメータの数値を示す。次の関係式が成り立つ。

$$x = \lambda L / d \quad (1)$$

$$\lambda_{\text{SLM}(1)} = \lambda_{\max} - \lambda_{\min}, \quad \lambda_{\text{SLM}(2)} = (\lambda_{\max} - \lambda_{\min}) / 2 \quad (2)$$

$$w = \lambda_{\text{SLM}(1)} L_1 / d, \quad w = \lambda_{\text{SLM}(2)} L_2 / d \quad (3)$$

$$\delta\theta = \sin^{-1}(w_2 / L_2) \quad (4)$$

$$\delta\phi = \pi(\delta\lambda_{\text{SLM}} / \delta\lambda_{2\pi}), \quad \delta\lambda_{\text{SLM}} = \lambda_{\text{SLM}} / N \quad (5)$$

表 2 の結果より、提案手法における位相変調の分解能 $\delta\lambda_{\text{SLM}}$ は従来手法の 1/2 に向上することが分かった。また、離散化位相誤差 $\delta\phi$ は従来手法の 1/2 に減少することが分かった。

3. 結論

本稿では、LCOS wave shaper の波長領域の位相変調において、中心波長より短いまたは長い波長領域をそれぞれ、SLM の上部または下部で位相変調を行うことで、位相変調の解像度を 2 倍とする手法を提案した。波長分散補償の応用を想定した線形位相変調において、提案手法は位相変調の分解能が 1/2 に向上することで、位相変調の離散化誤差が 1/2 となることを示した。今後は、光波伝搬解析及び実験によって本手法の有効性を実証する。

本研究は JSPS 科研費 JP22K04099 の助成を受けたものです。

参考文献

[1] M.A.F.Roelens *et al.*, J.Light.Technol.,26,73-78.

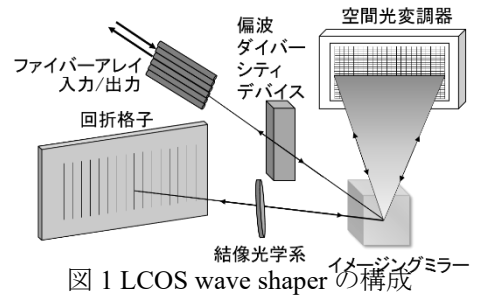


図 1 LCOS wave shaper の構成

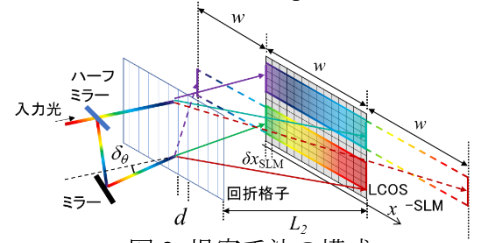


図 2 提案手法の構成

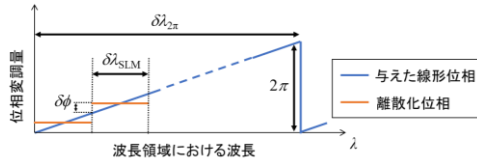


図 3 与えた線形位相

表 1 各パラメータの数値

パラメータ	数値
λ_{\min}	1461 nm
λ_{\max}	1621 nm
δx_{SLM}	8.0 μm
N	1920 pixel
d	0.83 μm
α	40 ps/nm
L_1	7.97 cm
L_2	15.94 cm
$\delta\theta$	5.51°
$\delta\lambda_{2\pi}$	0.445 nm

表 2 従来手法と提案手法の結果

	従来手法	提案手法
$\delta\lambda_{\text{SLM}}$	0.0833 nm/pixel	0.0417 nm/pixel
$\delta\phi$	0.588 rad	0.294 rad