

偏波光相関領域反射計の提案

Proposal of polarization optical correlation-domain reflectometry

○野田 康平^{1,2}、李 ひよん³、中村 健太郎¹、水野 洋輔²

¹東京工業大学 未来研、²横浜国立大学 工学研究院、³芝浦工業大学 工学部

○Kohei Noda^{1,2}, Heeyoung Lee³, Kentaro Nakamura¹, and Yosuke Mizuno²

¹Tokyo Institute of Technology, ²Yokohama National University, ³Shibaura Institute of Technology

E-mail: knoda@sonic.pi.titech.ac.jp

1. はじめに

光ファイバ中の光学現象を用いて温度や歪など種々の物理量を計測する光ファイバセンシング技術が世界中で精力的に研究されている。特に、ファイバ中の光の偏光状態を利用したセンサは多岐にわたり、偏波モード分散や偏波ビート長の分布測定[1]、ファラデー効果を利用した磁気・電流センサ[2]および振動センサ[3]などが挙げられる。

測定ファイバとして通常の単一モードファイバ (SMF) を用いることができる偏光状態の分布測定法としては、時間領域法[4]および周波数領域法[5]のみが提案されていた。

そこで本研究では、高空間分解能やランダムアクセス性、低廉性などの利点を有する光相関領域法 (OCDR) を用いた偏光状態の分布測定法を提案する。参照光と信号光の干渉パワーが両光の偏光状態の内積に依存する性質を利用して、信号の完全な偏光状態を分布測定できることを実証する。

2. 原理

まず OCDR を用いた偏光状態の推定原理を述べる。偏光状態はポアンカレ球上の一点を指す単位ベクトルとみなすことのできるため、信号光の偏光状態 (未知) と i 番目の参照光の偏光状態 (既知) を、正規直交基底 $\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}$ を用いて、それぞれ $\mathbf{s} = s_x\mathbf{x} + s_y\mathbf{y} + s_z\mathbf{z}$, $\mathbf{r}_i = r_{xi}\mathbf{x} + r_{yi}\mathbf{y} + r_{zi}\mathbf{z}$, ($|\mathbf{s}| = |\mathbf{r}_i| = 1$, $\mathbf{s} \cdot \mathbf{r}_i = \cos \eta_i$) とおける。これらの干渉光信号のパワーは $P_i = P_0 + k \cos \eta_i = P_0 + ks_x r_{xi} + ks_y r_{yi} + ks_z r_{zi}$ となる。ただし P_0, k は定数である。様々な (s_{xi}, s_{yi}, s_{zi}) に対して P_i を計測することで、最小二乗法により (s_x, s_y, s_z) を推定することができる。

次に、偏光状態の位置分解は、通常の OCDR 同様、レーザに周波数変調を印加することで、測定ファイバ内の特定の位置の散乱光のみを選択的に観測することで実現する。なお、得られた偏光状態の分布から複屈折分布を復元するには、測定ファイバ中を光が往復した影響を考慮する必要がある[6]。

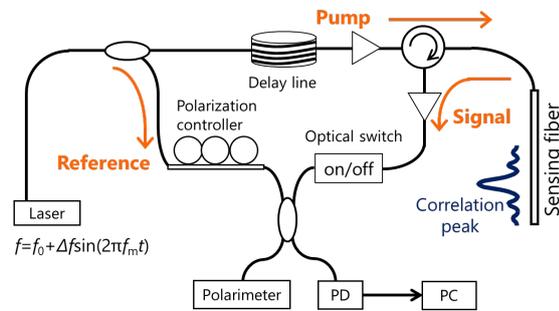


Fig. 1 偏波 OCDR の実験系

3. 実験と結果

偏波 OCDR の基礎的な動作の検証を行った。実験系を Fig. 1 に示す。3 パドル型手動ファイバ偏光コントローラで参照光の偏光状態を制御した。測定に用いた参照光の偏光状態は、ポアンカレ球上を網羅するような 26 点の測定点セットを採用した。光ス

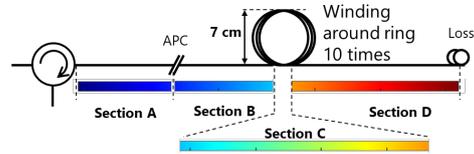


Fig. 2 測定ファイバの構造

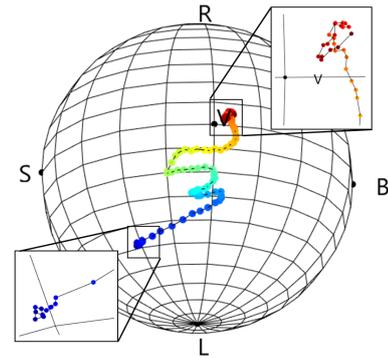


Fig. 3 測定された偏光状態分布

イッチと 2×2 カプラを用いて、以下 2 つの計測モード(1)と(2)を切り替えながら測定した。すなわち、(1) 参照光を偏光計に入力して偏光状態を計測するモードと、(2) 参照光と信号光をフォトディテクタに入力して干渉パワーを測定するモード、である。また、レイリー散乱光の観測は $1/f$ ノイズと重畳するため、本実験では Brillouin 散乱光 (~ 11 GHz) のパワーを測定した。OCDR の理論空間分解能を 0.13 m とし、全長 6.1 m の測定ファイバ (サーキュレータの第 2 ポートと非偏波保持シリカ SMF をコネクタ接続) を用いた。直線状に伸ばした箇所と直径 70 mm のリングに 10 回巻き付けた箇所を作り、区間 A から区間 D を定義した (Fig. 2)。図中のカラーマップは (Fig. 3) と対応している。

実験結果を解析して得られた偏光状態分布を Fig. 3 に示した。区間 A と区間 D では偏光状態は変化せずポアンカレ球の同じ位置にとどまっていた。区間 B ではポアンカレ球上を直線的に移動し、区間 C では周期約 1.6 m で振動するように遷移していた。これらの結果の詳しい解釈はまだ考察中であるが、測定ファイバの構造と矛盾しない妥当な結果である。

4. 結論

偏波 OCDR を提案し、その基礎的な動作を検証した。参照光の偏光状態を制御し信号光と参照光の干渉光のパワーを計測することで、信号光の偏光状態を分布的に計測することに成功した。

参考文献

- [1] Y. Mizuno, et al., *Appl. Phys. Express* **2**, 046502 (2009)
- [2] L. Sun, et al., *Opt. Express* **18**, 5407 (2010).
- [3] Z. Zhang, et al., *Opt. Express* **16**, 10240 (2008).
- [4] A. J. Rogers, *Appl. Opt.* **20**, 1060 (1981).
- [5] B. Hutter, et al., *IEEE Photon. Technol. Lett.* **10**, 1458 (1998).
- [6] D. H. O. Bebbington, et al., *J. Opt. Soc. Am. A* **17**, 2260 (2000).