

全 BGS 分布取得型高速 BOCDR の歪精度の評価

Evaluation of strain accuracy in full-BGS-acquiring high-speed BOCDR

野田 康平^{1,2}、李 ひよん³、中村 健太郎²、水野 洋輔¹

¹横浜国立大学 工学研究院, ²東京工業大学 未来産業技術研究所, ³芝浦工業大学 工学部
Okohi Noda^{1,2}, Heeyoung Lee³, Kentaro Nakamura², and Yosuke Mizuno¹

¹Yokohama National University, ²Tokyo Institute of Technology, ³Shibaura Institute of Technology
E-mails: knoda@sonic.pi.titech.ac.jp, mizuno-yosuke-rg@ynu.ac.jp

1. はじめに

光ファイバによる分布型歪センサは従来の歪ゲージ等のポイントセンサと比較して長距離の測定が可能であることや、配線の取り回しがよいといった利点から、インフラ管理用のセンサとして注目されている。なかでもブリルアン光相関領域反射計 (BOCDR) は高空間分解能を有し、測定ファイバの片端への光入射で動作する[1]。

BOCDR による歪測定の精度 (ばらつきの大きさ) の評価は実用上極めて重要であるが、これまで報告はなかった。これは、従来の BOCDR では電気スペクトラムアナライザによるブリルアン利得スペクトル (BGS) の測定が律速となり、完全な BGS 分布を取得しつつ高速動作可能な BOCDR が存在しなかったことに起因する。すなわち、同一の測定条件における大量のデータの取得が必要となる歪測定精度の評価は困難であった [2,3]。

そこで本研究では、電圧制御発振器 (VCO) をローカルオシレータとして用いることで高速に BGS 分布を取得できる新たな高速 BOCDR[4]を用いることで、歪精度の定量評価を試みた。

2. 実験方法

用いた実験系を Fig. 1 に示す。ESA のローカルオシレータとスウィープジェネレータをそれぞれ外部 VCO とフアンクションジェネレータ (FG2) で代用した。IF フィルタ、包絡線検波器、ビデオフィルタは ESA にビルトインされているものを (ゼロスパン機能を介して) 流用した。出力波形は AD コンバータを用いて PC に取り込んだ。

同一の測定条件で約 3000 回 BGS を取得し、それぞれに対してブリルアン周波数シフト (BFS) を計算することで、BFS の標準偏差を計測した。実験 1 では、スペクトル平均回数 N_a と移動平均フィルタ (幅 N_s) による平滑化に対する BFS の標準偏差を計測した。実験 2 では、周波数掃引幅 f_w に対する BFS の標準偏差を計測した。(FG2 の LOW および HIGH 電圧により BGS を観測する際の周波数掃引幅 f_w を制御可能である)。実験 1,2 に共通な条件として、空間分解能は 20 cm、測定レンジは 100 m、測定ファイバ長は 5 m、スペアナの VBW は 1 kHz とし、周波数方向と測定ファイバ上のサンプリング点数はそれぞれ 100 点、50 点で固定した。以上の条件で、BGS 分布 (5000 点データ) を 13 Hz の速さで取得した。

3. 実験結果と考察

実験 1 に関して (Fig. 2(a))、BFS の標準偏差 N_a の 0.27 乗に反比例して減少し、 N_s の増加につれ減少した。BFS 標準偏差は平均 100 回、平滑化無しの時 1.1 MHz、幅 41 の平滑化を行った時に 0.22 MHz となった (それぞれ $22 \mu\epsilon$, $4.84 \mu\epsilon$ に相当)。

実験 2 に関して (Fig. 2(b))、 f_w が 200 MHz 程度以下の範囲では f_w を小さくすると BFS の標準偏差も減少した。 f_w を小さくすることで、周波数分解能を向上させる「詳細測定」が可能であることを示唆している。一方、 f_w が 200 MHz 程度以上の領域では、むしろ f_w の増加に伴い BFS の標準偏差が減少した。これは周波数方向のサンプリングが荒くなることにより BGS に重畳していた高周波の (「ギザギザ」の) ノイズが低周波側に折り返したために、観測される BFS のばらつきが小さくなったためと考えられる。

参考文献

[1] Y. Mizuno, et al., Opt. Express **16**(16), 12148 (2008).

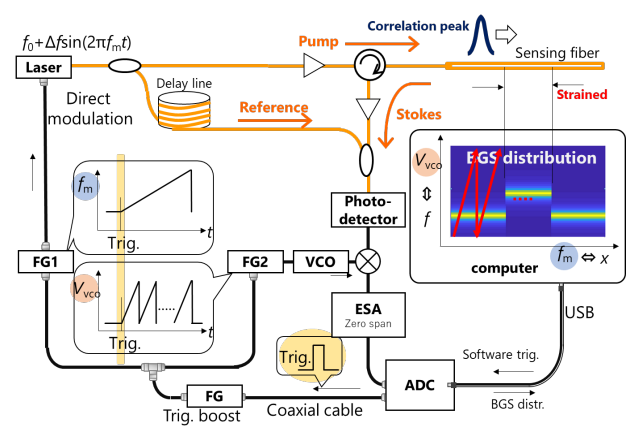


Fig. 1. Schematic setup of full-BGS-acquiring high-speed BOCDR.

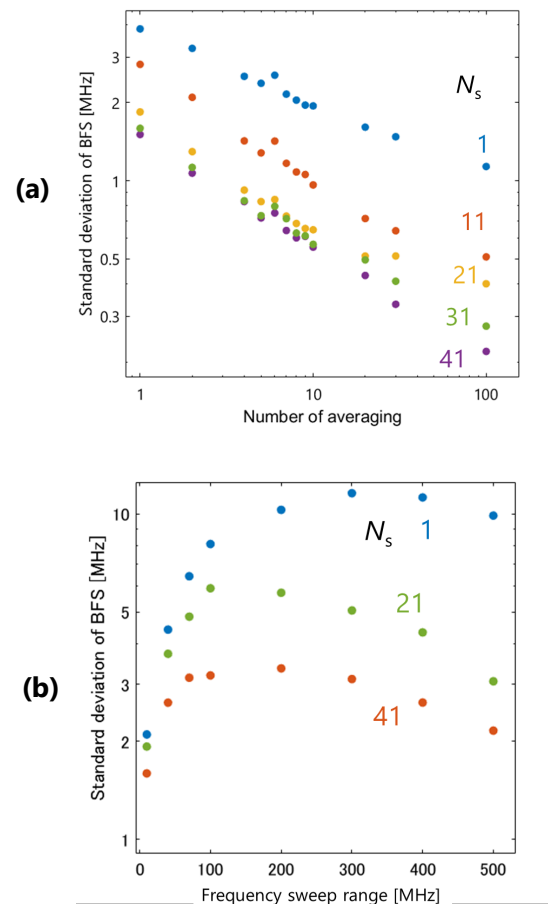


Fig. 2. Standard deviations of the measured BFS plotted as functions of (a) the number of spectral averaging and (b) the frequency sweep range.

[2] H. Lee, et al., Opt. Express **24**(25), 29190 (2016).

[3] Y. Mizuno, et al., Light Sci. Appl. **5**(12), e16184 (2016).

[4] G. Zhu, et al., IEEE Sens. J., **22**(7), 6644 (2022).