

BOCDR の歪測定精度の評価に向けたスペクトルピーク位置分布の解析

Analysis on distribution of spectral peak position for evaluating strain measurement accuracy in 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

社会インフラの健全性モニタリングのために、長距離にわたって分布的に歪を計測できる分布型光ファイバセンサが注目されている。中でも、光ファイバ中で発生するブリルアン散乱光のスペクトル(ブリルアン利得スペクトル: BGS)、その中心周波数(ブリルアン周波数シフト: BFS)の大きさがファイバに印加されている歪の大きさに対して直線的に変化する性質があり、歪センシングに用いられている (Fig. 1)。BFS を分布的に計測する手法として、我々のグループでは、片端入射で高速動作可能なブリルアン光相関領域反射計 (BOCDR) [1] を研究している。

BOCDR による歪測定の精度 (ばらつき) の評価は実用上極めて重要であり、これまでに高速化した BOCDR [2] を用いて同一条件で大量にデータを取得することで BFS の分散を評価した [3]。実験データの解釈のためにスペクトルのピーク位置がどのようにばらつくかの理論的解析が必要であるが、そのような先行研究は現時点では報告されていない。

そこで本研究では、一般にある関数 $f(x)$ に対して正規分布の誤差 $n_\sigma(x)$ が加算されたとき、その最大値を与える x_m がどのような確率分布に従うかの導出を試みた。

2. 方針

元の (離散化された) スペクトルの形状を $f(x_i) (i=1, \dots, m, \dots, n)$ とし、平均 0 標準偏差 σ の正規分布に従う誤差が加算されると、観測されるスペクトルは $N[f(x_i), \sigma^2]$ に従う。 m 番目の値 $f(x_m)$ が最大値をとる確率は、「 $f(x_i)$ の $i=m$ 以外の $n-1$ 個の値の最大値」 - 「 $f(x_m)$ の値」 < 0 となる場合である。第 2 項の確率分布は $N[f(x_i), \sigma^2]$ であり、第 1 項の確率分布は、順序統計量の理論から知られている。これらの差が従う確率分布は、一方の符号を反転させて和の従う確率分布と考えると確率分布の畳み込みで計算できる。そのようにして計算した確率分布のうち 0 未満である領域の面積が求める確率である。これを m ごとに繰り返せば、最大値の従う分布が求まる。また、 n が十分大きい場合には、「 $f(x_i)$ の $i=m$ 以外の $n-1$ 個の値の最大値」を「 $f(x_i)$ の値の最大値」で近似することが可能であり、これは f が与えられれば m にかかわらず一定であるため計算量が減る。

3. 数値計算結果

関数 $f(x)$ に様々な大きさの正規分布ノイズを加算してピーク位置を求めることでピーク位置のヒストグラムを生成し、理論式で計算された確率密度関数と比較した (Fig. 2)。シミュレーションで実験的に生成されたヒストグラムと理論式が一致しているといえる。また、ノイズの大きさ (標準偏差) を変え理論線をプロットすると (ヒストグラムは省略)、ノイズが大きくなるにつれ一様分布に漸近する様子が確認できた。

4. 今後の予定

求めた理論式を BOCDR に適用し、BOCDR の歪測定精度を導出する。

参考文献

- [1] Y. Mizuno, et al., Opt. Express **16**(16), 12148 (2008).
- [2] G. Zhu, et al., IEEE Sens. J., **22**(7), 6644 (2022).
- [3] K. Noda, et al., OECC/PSC 2022, paper TuC3-4, (2022).

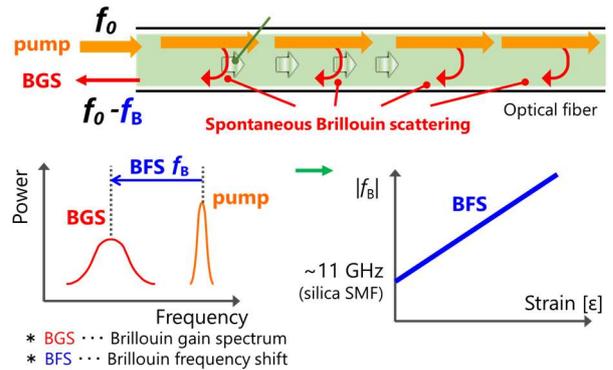


Fig. 1. Illustration of spontaneous Brillouin scattering in optical fiber.

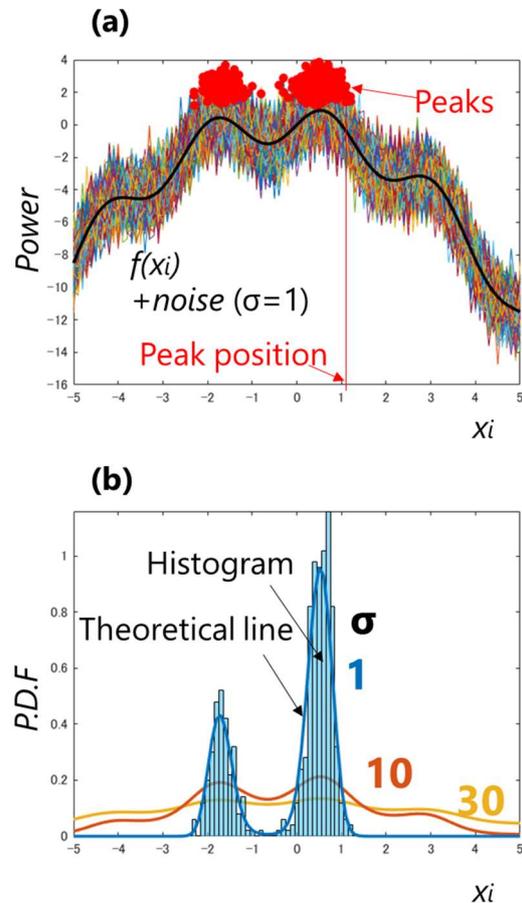


Fig. 2. (a) Spectra $f(x)$ with white noise with $\sigma=1$ and their peak positions. (b) Histogram of peak positions and theoretical line of the probability density function for each σ .