

任意波形周波数変調に基づく BOCDR の空間分解能に対する考察 Spatial resolution of BOCDR based on arbitrary-shaped frequency modulation

○野田 康平¹、李 ひよん²、水野 洋輔¹、中村 健太郎¹

¹東京工業大学 科学技術創成研究院 ²芝浦工業大学 工学部

OKohei Noda¹, Heeyoung Lee², Yosuke Mizuno¹, and Kentaro Nakamura¹

¹Tokyo Institute of Technology, ²Shibaura Institute of Technology

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

1. はじめに

光ファイバ中のブリルアン散乱を用いた温度や歪の分布センシング技術は、近年活発な研究が推進されている。種々ある方式の中でも我々は、片端光入射での動作や高空間分解能、ランダムアクセス性、低廉性などの利点を有する「ブリルアン光相関領域反射計 (BOCDR)」の性能向上を推進している[1,2]。これまでに、BOCDRの要となる技術である光源の周波数変調について、従来の直接変調方式に代わる新たな外部変調方式を開発し、次の3つの利点を達成した。すなわち、(1) 印加可能な変調周波数の上限の大幅向上、(2) 変調振幅と変調周波数の独立制御、(3) 周波数変調に伴う強度変調の抑制、である[3,4]。

上記の利点により、外部変調方式を用いることで、正弦波に限らない任意波形による周波数変調が可能となる。以上を踏まえ、変調波形を最適化することでBOCDRの性能を向上させる「任意波形変調 BOCDR」を提案する。これまでのBOCDRの理論は正弦波変調を前提としたものであり、任意波形変調における性能指標は提案されていない。

そこで、本研究では正弦波変調に限らない任意波形変調に対する空間分解能の新たな指標を提示する。「観測されるブリルアン利得スペクトル (BGS) 分布」が「真の BGS 分布」と変調波形により特徴づけられる「ビートパワースペクトル」の二次元畳み込みで与えられるという性質に着目して、変調波形と空間分解能の関連を評価する (Fig. 1)。

2. シミュレーション条件

まず、任意波形として、様々な測定条件 (35 通りの変調波形の各々に対し測定ファイバ (FUT) の長さ L_{FUT} を3通り)を設定した。変調波形は、チャープ波形を特徴づけるいくつかのパラメータを振ることで設定した。次に、それぞれの測定条件に対してビートパワースペクトルを計算した (Fig. 2)。さらに、ビートパワースペクトルの実効的な範囲のうち、ノイズの生成に寄与すると考えられる範囲を位置方向に積分することで「ノイズスペクトル」を得た。そして、ノイズスペクトルを二次関数でフィッティングし、二次の係数の符号を反転した値を「裾野の凸性」と定義した。一方、それぞれの測定条件に対して、空間分解能を「歪を検出できる最小の歪印加区間」という定義に則り、二分探索法を用いて求めた。

3. 結果

空間分解能の裾野の凸性に対する依存性を Fig. 3 に示す。空間分解能は裾野の凸性に対して直線的な依存性を示した。すなわち、裾野が平坦であるほど、空間分解能が向上するといえる。この結果は、従来の正弦波変調の結果を含むものである。

ここで、ブリルアン利得スペクトルの比例係数を P_S 、線幅を $\Delta\nu_B$ 、ブリルアン周波数シフトの変化量を歪 ε の関数として $\Delta F_S(\varepsilon)$ としたとき、裾野の凸性 a と検出できる歪印加区間長 L_{st} は、

$$L_{st} \geq (\Delta F_S^2(\varepsilon) + \Delta\nu_B^2/4)P_S^{-1}a \quad (1)$$

と近似できる。式(1)は L_{st} の最小値、すなわち、空間分解能が a に比例することを示しており、シミュレーション結果と整合する。以上より、任意波形変調 BOCDR において、空間分解能は、実効的なビートパワースペクトルの裾野の凸性に比例することが示された。

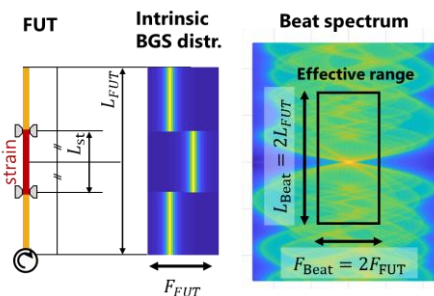


Fig. 1. BOCDRにおける FUT と真の BGS 分布、および、ビートパワースペクトル。

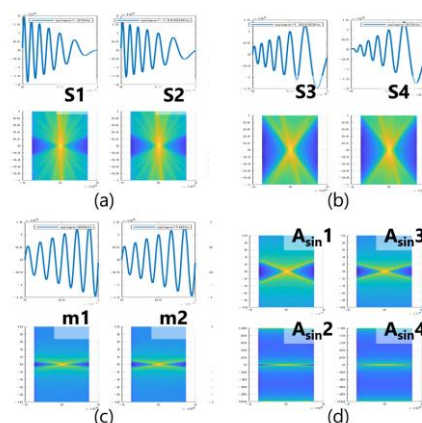


Fig. 2 変調波形の例。それぞれ、(a) パラメータ S (>0)、(b) S (<0)、(c) m 、(d) A_{sin} を変化させた場合。

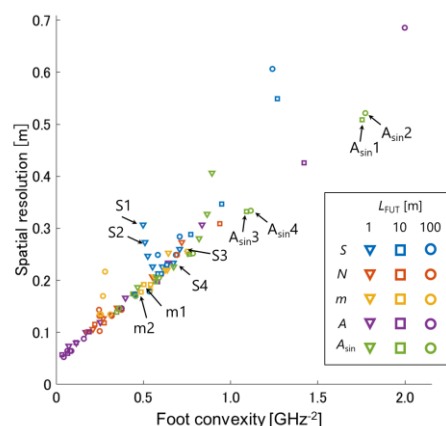


Fig. 3 任意波形変調下でのビートパワースペクトルの裾野の凸性に対する空間分解能の依存性。各記号(S1, S2 など) は Fig. 2 と対応する。

参考文献

- [1] Y. Mizuno, et al., *Opt. Express* **16**, 12148 (2008).
- [2] Y. Mizuno, et al., *J. Lightw. Technol.* **28**, 3300 (2010).
- [3] K. Noda, et al., *J. Appl. Phys.* **58**, 068004 (2019).
- [4] K. Noda, et al., *Appl. Phys. Exp.* **12**, 022005 (2019).