

極めて簡素な光ファイバ型反射率分布計測法の提案

Super-simplified fiber-optic distributed reflectivity measurement

○清住 空樹¹, 宮前 知弥¹, 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

○Takaki Kiyozumi¹, Tomoya Miyamae¹, Kohei Noda^{1,2}, Heeyoung Lee³, Kentaro Nakamura², & Yosuke Mizuno¹

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

Emails: kiyozumi-takaki-px@ynu.jp, mizuno-yosuke-rg@ynu.ac.jp

1. はじめに

近年、光ファイバ通信の急速な普及に伴い、光ファイバ通信ネットワークの健全性を診断する技術研究が盛んになされている。そのうち「光反射計」は、被測定光ファイバ (FUT) に沿った反射点の分布を計測する技術であり、ファイバ同士の接続不良箇所や断点などを検出するのに用いられる。

一般に広く用いられている光反射計の方式として、「光時間領域反射計 (OTDR)」[1]と「光周波数領域反射計 (OFDR)」[2]が挙げられる。それぞれ、長い測定レンジ、高空間分解能などの利点を有するが、状況によっては高速動作が困難となる。そこで、この欠点を払拭するため、光波コヒーレンス関数合成法 (SOCF) [3]に基づく「光相関領域反射計 (OCDR)」が提案された。OCDRは、高空間分解能を有し、FUT上の任意の点あるいは区間のみを選択的に高速に測定することができる (ランダムアクセス性)。一方で、自動運転のためのライダーに向けた応用展開も進行している[4]。

標準的な OCDR の光学系においては、(1) FUT への入射光パワーを調整する光増幅器 (EDFA)、(2) 測定位置を制御するための参照光路 (km オーダのディレイラインを含む)、(3) 低周波ノイズの影響を低減するための光ヘテロダイン検波用の音響光学変調器 (AOM)、の3つのデバイス等が用いられていた。システムの小型化・低コスト化のため、これまでに一部のデバイス等を撤廃した報告はあるものの[5]、これらのデバイス等を同時に撤廃したという報告はなかった。

そこで本研究では、(1)(2)(3)の全てのデバイス等を撤廃し、実質的に光源と光検出器のみから構成された超簡素化 OCDR を提案し、基本的な動作を実証する。

2. 実験系と動作原理

提案する超簡素化 OCDR の実験系を Fig. 1 に示す。信号処理部を除き、実質的に、レーザダイオード (LD) とフォトダイオード (PD) のみから構成されている。信号処理部では、電気スペクトラムアナライザ (ESA) のゼロスパン機能を活用したノイズ処理を行い、オシロスコープを用いて反射光パワーの時間変化を記録した (ESA を用いない構成も検討中である[6])。FUT は全長 15 m とし、開放端 (PC) から 10 m、および 15 m の位置に接続不良箇所 (意図的な PC と APC の接続点) を設けた (Fig. 2)。

OCDR では、レーザの駆動電流の直接変調を介して、出力光に周波数 f_m の正弦波による周波数変調を印加する。これにより、FUT 上に測定点となる「相関ピーク」 (=測定位置) が形成され[3]、特定位置からの反射光のみを選択的に検出することが可能となる。一般に、相関ピークは複数存在し、参照光と信号光の光路長が等しくなる点 (等光路点) を 0 次ピークとして、 $c/2nf_m$ [m] (c : 光速, n : コアの屈折率) の間隔で ± 1 次ピーク, ± 2 次ピーク...となる。超簡素化 OCDR では FUT の開放端からのフレネル反射光を参照光として用いるため、0 次相関ピーク位置は FUT 端となる。変調周波数 f_m を制御して 1 次の相関ピークを FUT に沿って掃引することで、反射率分布測定が実現される。ただし、1 次ピークが FUT の中央にくると、2 次ピークも FUT 内に入ること (Fig. 3) を考慮すると、超簡素化 OCDR の測定レンジは FUT の前方 (サーキュレータ側) 半分となる。

3. 実験

まず、入射パワーを変化させながら反射率の分布測定を行い、各パワーにおける信号対雑音比 (SNR) を調査した。変調周波数 f_m は 5 MHz から 12 MHz で繰り返し周波数 100 Hz (従来手法での最高速度[5,6]) で掃引した。変調振幅は 0.6 GHz とした。また、ESA では、2.5 MHz を中心周波数としてゼロスパン機能を使用した。ビデオ信号帯域は 300 kHz、分解能信号帯域は 30 kHz とした。

入射光パワーを -9, 0, 10 dBm と変化させた場合の分布測定の結果を Fig. 4 のグレースケールの線で示す。縦軸は測定された最大パワーを 0 dB として規格化し、横軸は 0 次相関ピーク (FUT 端) の位置を原点とした。また、12 m から 14 m までの区間のパワーの平均値をノイズフロアとして、各入射パワーにおける SNR を算出したところ、Fig. 5 の黒点となった。入射パワーの増加に対し、SNR がおよそ線形に増加した。これより、入射光パワーが -10

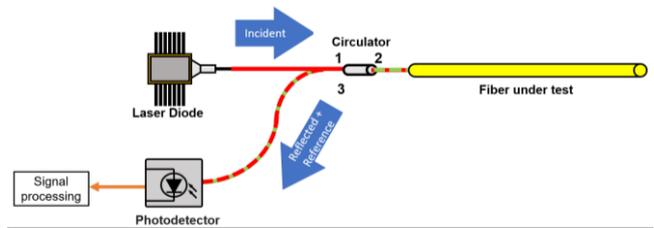


Fig. 1. Experimental setup of super-simplified OCDR.

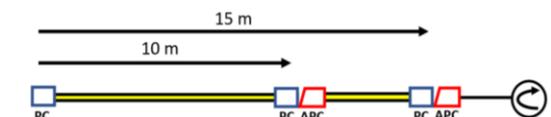


Fig. 2. Structure of fiber under test (FUT).

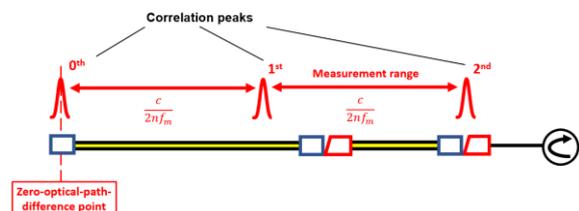


Fig. 3. Schematic for explaining the limited measurement range.

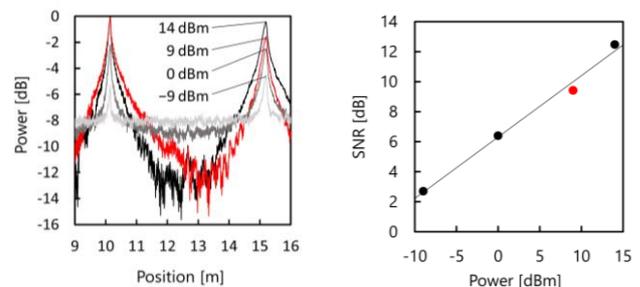


Fig. 4. Normalized reflected power distributions measured at different incident powers.

Fig. 5. SNR plotted as a function of the incident power.

dBm 程度以上であれば、約 2 dB 以上の SNR で分布測定を行うことができることが明らかになった。これは、一般的な通信用 LD の出力パワーよりも十分に小さい値である。

次に、出力 9 dBm の一般的な通信用 LD を用いて同様の分布測定を行った。結果を Fig. 4 の赤線に示す。また、そのときの SNR を Fig. 5 の赤点に示す。これらは、反射点の位置を正確に、高い SNR で測定できたことを示す。

以上より、実質的に LD と PD のみで構成された超簡素化 OCDR による反射率分布測定が実証された。

参考文献

- [1] M. K. Barnoski, et al., Appl. Opt. **15**, 2112 (1976).
- [2] W. Eickhoff, et al., Appl. Phys. Lett. **39**, 693 (1981).
- [3] K. Hotate, et al., Meas. Sci. Technol. **15**, 148 (2003).
- [4] T. Kiyozumi, et al., 2021 春応物, 16p-Z08-16.
- [5] M. Shizuka, et al., Appl. Phys. Express **9**, 032702 (2016).
- [6] T. Miyamae, et al., 2021 春応物, 19p-Z05-7.