

位相検出 OTDR の直接検波による振動分布測定

1190169 山西 俊輝 (光制御・ネットワーク研究室)

(指導教員 岩下 克 教授)

1. はじめに

光ファイバ中のレイリー散乱を利用した高精度な歪・温度分布測定は、橋やトンネルなどの建築物のヘルスマニタリングシステムとして利用されている。本稿では、上記技術を利用した位相検出 OTDR [1] による振動分布検知実験を行ったので報告する。

2. 原理

図 1 に位相検出 OTDR の測定原理を示す。光ファイバの各地点で発生するレイリー散乱光は、光ファイバの状態によって屈折率が変化するため位相が変化する。光ファイバの屈折率が変化する要因としては温度や張力の変化が挙げられる。光ファイバにパルス光を入射し、パルス光が反射する区間で温度や張力の変化がない場合(A1~C1)、反射してくる位相が同一のレイリー散乱光が干渉するため反射光強度は一定となる。パルス光が反射する区間で温度や張力の変化がある場合(A2~C2)、位相変化のない区間(A2)のレイリー散乱光と位相変化のある区間(C2)のレイリー散乱光が干渉するため反射光強度が変化する。その変化の周波数と光が戻ってくる時間を測定することで振動点の距離と周波数を特定することができる。この際、戻ってくるレイリー散乱光が干渉するために、コヒーレンス長が長い(線幅が狭い)光源を使用する必要がある。

最大探知距離と距離分解能の求め方を示す。まず最大探知距離の求め方を示す。反射点の距離は、パルスを発射して物体に当たり反射してくるパルスを受信することで求めるため、パルスが返ってきた後に次のパルスを発射する必要がある。パルスの繰り返し周期を T とすると最大探知距離 R_{max} は以下の式(2.1)で導ける。

$$R_{max} = \frac{c \cdot T}{2n} \quad (2.1)$$

次にパルスの距離分解能の求め方を示す。物体 A、B からの反射波の時間差を t 、パルス幅を τ 、物体 A と B の距離を d とすると、 d が狭くなり $t \leq \tau$ になると 2 つの物体を区別できなくなる。よって $t = \tau$ のときの d が距離分解能となるため、以下の式(2.2)で導ける。

$$R = \frac{c \cdot \tau}{2n} \quad (2.2)$$

3. 実験構成

まず生成するパルスを決める。100m の被測定ファイバを使用するため、最大探知距離が 100m 以上であり、距離分解能が 2m 以下となるパルスを生成する。式(2.1)より、パルスの繰り返し周期を $2\mu s$ とすると、光速 $3 \times 10^8 m/s$ 、ファイバの屈折率 1.46 より、最大探知距離は 205.5m である。式(2.2)より、パルス幅を 15ns とすると、距離分解能は 1.54m である。これより、繰り返し周期 $2\mu s$ 、パルス幅 15ns のパルスを生成する。

位相検出 OTDR の実験構成を図 2 に示す。線幅の狭い半導体レーザーから出射される波長 1550nm の光を変調器で繰り返し周期 $2\mu s$ 、パルス幅 15ns のパルス光を生成した。このパルス光を光アンプ 1 で増幅し、サーキュレータを介して被測定ファイバに入射した。被測定ファイバから戻る後方レイリー散乱光は、サーキュレータを通過して、光アンプ 2 で増幅した後フォトダイオード(PD)で受光した。また、パルス発生器と測定用の LabVIEW のタイミングを同期させ、被測定ファイバの先まで到達した光が反射して戻ってこないようにターミネータを接続した。振動は 100m の被測定ファイバの区間：A(0~90m)、B(90~90.1m) に分けて、区間 B に振動器を用いて加えた。また、振動の周波数は加速度センサを用いて測定し

た。そして振動の周波数を加速度センサの測定結果と位相検出 OTDR での測定結果を比較する。

4. 実験結果

図 3 の(a)にパルス幅 15ns で振動を加えたときのスペクトル、(b)にパルス幅を変化させたときの距離分解能のグラフを示す。加速度センサで測定した振動器の周波数は 110Hz であった。図 3 の(a)より、90m 地点の 100Hz 付近にピークが見られることから、振動を検知し、振動点と振動周波数を特定できていることが分かる。また、(b)よりパルス幅を広くすると距離分解能が大きく(悪く)なり、距離分解能の測定値が理論値よりも小さく(良く)なっていることが分かる。

5. まとめ

本研究では位相検出 OTDR を用いた振動分布検知を行い、振動の位置及び周波数を特定することができた。また、パルス幅を広くすると距離分解能が悪くなることが確認できた。

参考文献

[1] Meiqi Ren, "Distributed Optical Fiber Vibration Sensor Based on Phase-Sensitive Optical Time Domain Reflectometry", 2016 年

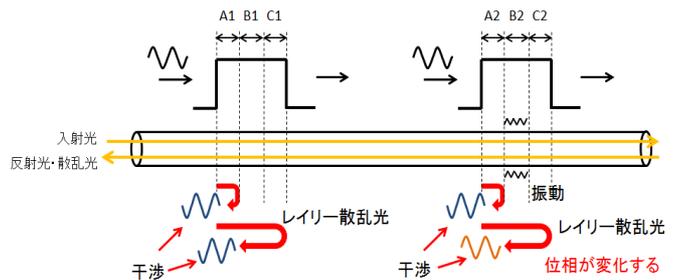


図 1 位相検出 OTDR の測定原理

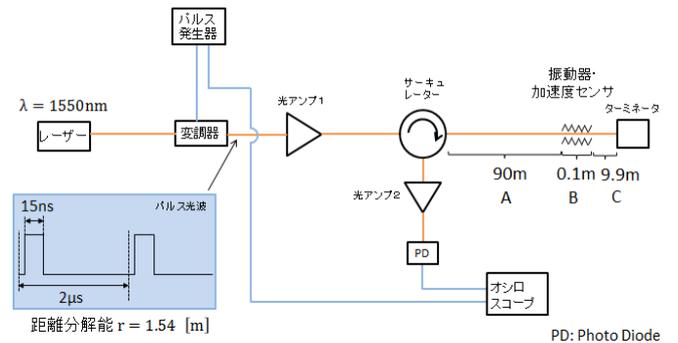


図 2 実験構成

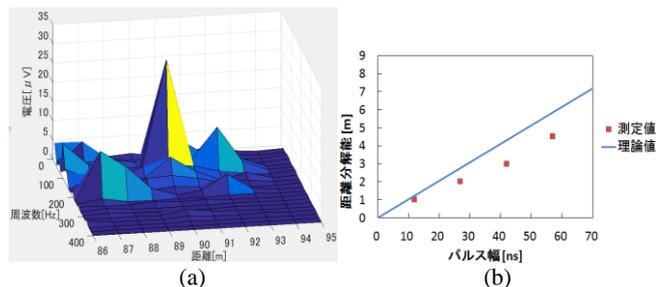


図 3 パルス幅 15ns で振動を加えたときの測定結果