

OCDR 技術を用いた新たな LiDAR の提案

Proposal of OCDR-based LiDAR

○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 大学院工学研究院 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

LiDAR とは、光を空間に照射し、その反射光（散乱光）を分析することにより、対象物までの距離や対象物の速度、対象物の性質を測定する技術である。横方向の空間分解能が高い計測ができるため、2000 年代初頭から電波レーダの代替として自動運転における有用性が大きく注目されるようになった[1]。

現在の LiDAR の手法は、Time-of-flight (ToF) 法が主流である。これはパルス光を照射し、反射光が返ってくるまでの時間から対象物までの距離を測る技術であり、光ファイバを用いた光時間領域反射計 (OTDR) と同等である。一方、周波数チャープ光を照射する周波数変調連続波 (FMCW) 法も実装され、物体の距離だけでなく、速度をより容易に測定することができるようになった。これは、光ファイバを用いた光周波数領域反射計 (OFDR) と同等の技術である。しかし、測定対象物のダイナミックな状態（振動数など）を検出しつつ、高速な距離測定を行うことは困難である[2]。レーザドップラ振動計を用いれば対象物の振動を測定可能であるが、奥行き方向の測定位置の掃引は想定されていない。

そこで我々は、OTDR や OFDR と並び、光ファイバに沿った反射率分布を測定する手法である光相関領域反射計 (OCDR) [3]の技術を空間系に拡張して LiDAR を構築することを着想した。OCDR は、ランダムアクセス性（任意の点における反射率のみを高速でサンプリングできる性質）を有するため、測定物の振動特性を高周波まで検出することができると期待される。本稿では、OCDR 技術に基づく LiDAR の基本動作を実証したので報告する。

2. 原理と実験系

OCDR 技術に基づく LiDAR の実験系を Fig. 1 に示す。光学系は従来の簡素化 OCDR [3]の被測定ファイバ部を空間系に拡張した構成であり、コリメータによって測定物に平行光を照射する。一般に、OCDR では、レーザ出力に正弦波による周波数変調を施すことで、被測定部に「相関ピーク」（＝測定位置）を形成し、特定位置からの反射光のみを選択的に検出する。ここで、変調周波数を制御し相関ピークを被測定部に沿って掃引することで、反射率の分布測定が実現される[3]。

今回の実験では、網膜に対し比較的安全とされる 1550 nm 帯の半導体レーザを光源として使用した。入射光路と反射光路には出力 10 dBm の光増幅器 (EDFA) を挿入した。参照光路には、相関ピークの次数を制御するため、300 m の遅延線ファイバを挿入した。また、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、1 MHz の成分のみの時間変動をオシロスコープで観測した。なお、偏波状態の調整は行わなかった。

基本動作を検討するため、2 つの実験を行った。最初の実験で用いた被測定部の構成を Fig. 2 に示す。コリメータのレンズ表面からの同一直線状の 120 mm, 260 mm, 410 mm の地点に、ビームスプリッタ (BS) およびミラーを設置した。コリメータからの距離が 0-480 mm の区間で反射率の分布測定を行った。変調周波数は 776.5-778.5 kHz の範囲を繰り返し周波数 100 Hz (平均 128 回) で掃引した。また、変調振幅は 11.5 GHz とした（理論空間分解能は約 6.3 mm）。

2 つ目の実験では、本実験系での計測可能距離が数 m は超えることを実証するため、コリメータレンズ表面から 3.8 m 点に金属柱を設置して反射率の分布測定を行った。その際、光パワーの減衰への対策として、2 台の EDFA の出力を 12 dBm (最大定格) とした。変調周波数は 774.0-795.2 kHz の範囲で掃引し、0-4.45 m の範囲を測定した。

3. 実験結果

最初の実験、すなわち、2 つの BS およびミラー (Fig. 2) による反射率の分布測定結果を Fig. 3 に示す。縦軸の値は、最大のピークの反射パワーで正規化した。反射率のピークが 0 mm, 125 mm, 263 mm, 414 mm の位置に現れたが、これらはコリメータ、BS およびミラーの設置位置とよい一致を示している。誤差は、BS やミラーを人間の手により設置したためと考えられる。各ピークパワーの値は、BS やミラーの入射光に対する角度により大きく上下した。なお、観測されたピークの半値全幅を単純に算出するとどれも 40 mm 程度となったが、これは ESA のフィルタの影響を受けているためであり、ESA の設定を変更、もしくは、ESA を撤廃することで狭線幅化が可能である[4]。

次に、3.8 m 先に金属柱を設置したときの反射率の分布測定結果を Fig. 4 に示す。明瞭なピークが 3.82 m の位置に現れ、正しい距

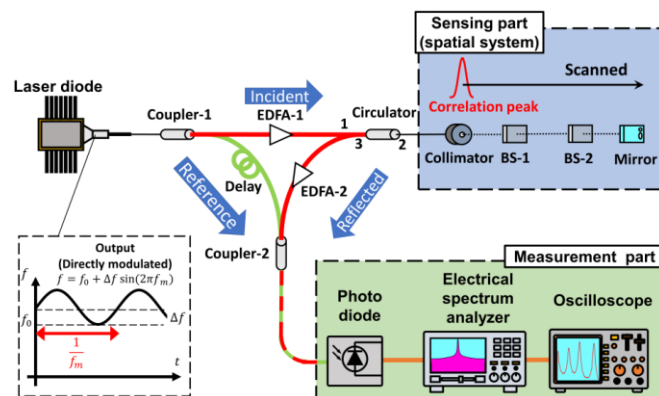


Fig. 1. Experimental setup of OCDR-based LiDAR. BS: beam splitter, EDFA: erbium-doped fiber amplifier.

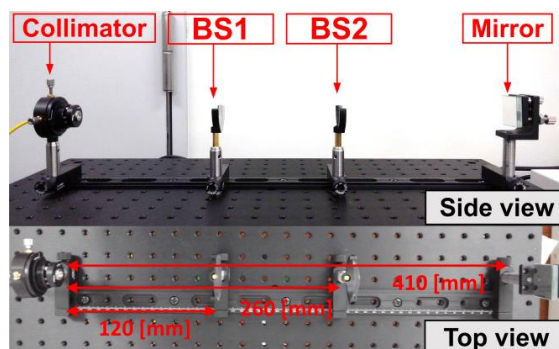


Fig. 2. Side and top views of sensing part.

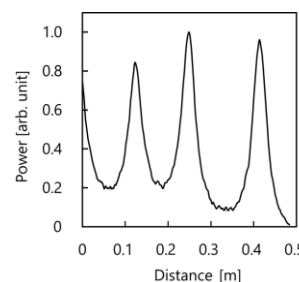


Fig. 3. Reflected power distribution measured when two BSs and a mirror were used.

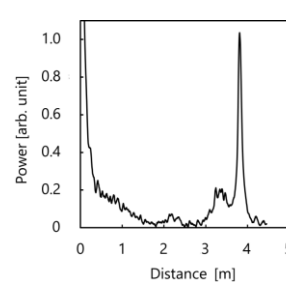


Fig. 4. Reflected power distribution measured when a metal pole was placed at 3.8 m.

離測定が行われたといえる。

以上より、OCDR 技術に基づく LiDAR により、空間の反射率分布を測定可能であること、および、測定可能距離が数 m 以上あることが実証された。今後は、空間分解能や動作速度の向上、および、対象の振動数の検知などを推進する予定である。

参考文献

- [1] 伊藤, LiDAR 技術の原理と活用法-自動運転の技術-, 科学情報出版, 2020.
- [2] P. Feneyrou et al., Appl. Opt. **2**, 308 (2017).
- [3] M. Shizuka, et al., Appl. Phys. Express **9**, 032702 (2016).
- [4] 宮前 他, 春応物 2021, 発表予定.