

単一フォトディテクターによる直列式周波数変調コム LiDAR Frequency-modulated comb LiDAR without wavelength division de-multiplexer

徳島大院¹, 電通大情報理工², 徳島大ポスト LED フォトニクス研究所³, JST さきがけ⁴

○西本健司¹, 美濃島薫^{2,3}, 安井武史^{1,3}, 久世直也^{3,4}
Grad. Sch. Tokushima Univ.¹, Univ. Electro-Commun.², Inst. Post-LED Photon., Tokushima Univ.³,
JST PRESTO⁴, ○K. Nishimoto¹, K. Minoshima^{2,3}, T. Yasui¹, and N. Kuse^{3,4}
e-mail address: nishimoto.kenji@femto.me.tokushima-u.ac.jp

光波による測距手法である Light detection and ranging (LiDAR) はマイクロ波によるレーダー技術に比べて距離・空間分解能が高いため、より正確な形状認識が必要となる自動運転車用センサーや 3D マッピング、工業製品の品質検査などへの応用が期待されている。LiDAR の代表的な手法の一つである Frequency-modulated continuous wave (FMCW) LiDAR は、周波数掃引された CW 光源を対象光と参照光の 2 光路に分割してそれらの瞬時周波数差から距離を測定する手法である。最近、FMCW LiDAR のさらなる高速化や距離分解能の向上のために周波数変調された光周波数コムを使う周波数変調コム (FMcomb) LiDAR が提案された[1,2]。距離分解能向上のために提案された直列式 FMcomb LiDAR [2]は、周波数掃引された各コムモードにより得られる FMCW 信号群をコヒーレントに結合し、実効周波数掃引量を大きく向上させる手法である。しかし、利用するコムモードの本数分だけ WDM や検出器、AD 変換器が必要であった。

本研究では、コムモードの個別分割に必要なコンポーネントを必要としない直列式 FMcomb LiDAR を提案する。Fig. 1a に本提案手法の概念図を示す。従来法での光周波数コム全体の周波数掃引 (δ_{CEO}) に加えて、コムモード間隔 f_{rep} を同時に掃引することでコムモード毎の周波数掃引レートを変化させる。これにより、コムモード別にビート信号の周波数が変化するため FMCW 信号を判別可能となる。Fig. 1b にセットアップを示す。本実験のセットアップは、各コムモードの周波数掃引量算出と掃引の非線形性校正に利用する 2 波長マッハツェンダー干渉計 (2λ MZI) 光路、周波数掃引時の実際の f_{rep} 算出に利用する f_{rep} トラッキング光路、測定対象を想定したターゲット干渉計光路の 3 区間に大別される。 2λ MZI には、任意に選択した n, m 次の 2 つのコムモードを入射させる。 2λ MZI を通過したこれらのコムモードの周波数掃引量より、任意の k 次のコムモード周波数掃引量を求めることが可能となる。 f_{rep} トラッキング光路では、掃引される光周波数コムの 2 つのコムモードと固定周波数の CW レーザーが別時刻に干渉する。この時、干渉が発生する時間情報に加えてポンプ CW レーザーの周波数掃引量 (δ_{CEO}) と f_{rep} の周波数掃引量 (δ_{rep}) の情報を利用することで、周波数掃引開始時の f_{rep} を算出することが可能である。ターゲット MZI から得られる全コムモードの FMCW 信号を含む一つの信号から、分離された各 FMCW 信号を得ることが出来る。これらの各 FMCW 信号を f_{rep} 掃引時点で結合することで実効周波数掃引量が増加し高分解能化された FMCW 信号を得ることができた。本実験では、3 本のコムモードから得られた FMCW 信号を結合することにより通常の FMCW 信号の 3 倍の分解能を得ることが出来た (Fig. 1c)。モード分離や 2λ MZI、 f_{rep} トラッキングについてのさらなる詳細な情報については講演にて述べる。

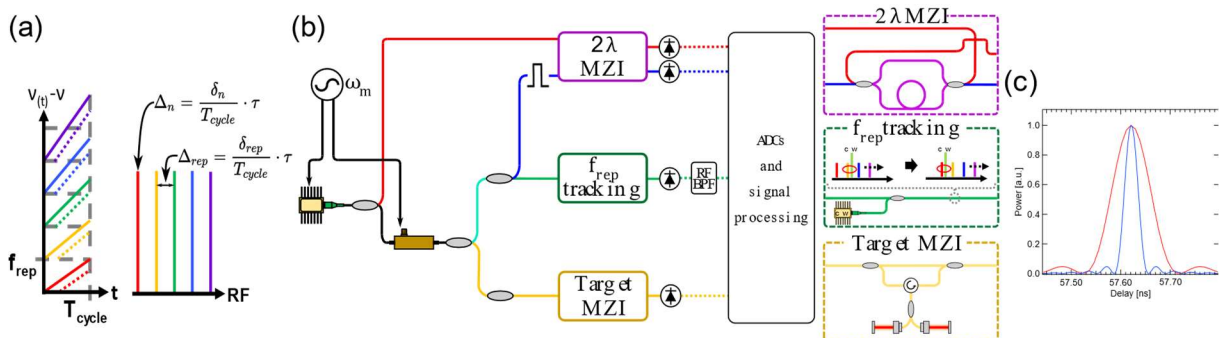


Figure 1. (a) Working principle of the modified FMcomb LiDAR. When both f_{CEO} and f_{rep} are scanned, the comb modes have different scan rates, depending on the comb mode number, generating beat tones with different frequencies in the RF domain at a photo detector. (b) The simplified experimental setup. (c) Estimated delay from the conventional FMCW (red) and the modified FMcomb LiDAR (blue).

Reference : [1] J. Riemensberger, et al., Nature **581**, 164-170 (2020). [2] N. Kuse, et al., APL Photonics **4**, 106105 (2019).