

# パルスゼロダイン変調法を用いた風計測ライダの試作検証

藤江 彰裕, 原口 英介, 尾野 仁深, 安藤 俊行

三菱電機 株式会社 情報技術総合研究所 (〒247-8501 神奈川県 鎌倉市大船 5-1-1)

## Pulsed serrodyning technique as applied to coherent laser transmitter for wind sensing LIDAR

Akihiro FUJIE, Eisuke HARAGUCHI, Hitomi ONO, and Toshiyuki ANDO

Mitsubishi Electric Corporation, Information Technology R&D Center, 5-1-1 Ōfuna, Kamakura, 247-8501

**Abstract:** We have developed a new pulsed-coherent light source for wind sensing, combining a semiconductor optical amplifier (SOA) with a phase modulator operated at serrodyning mode. The SOA-based light source has potential advantages of its small footprint, monolithic integration and gain properties, however, inevitably occurs frequency chirp, leading to the measurement error of wind velocities. We have demonstrated the correction of such frequency chirp by using phase modulation with sawtooth waveform, so called ‘Optical serrodyning technique’.

**Key Words:** LIDAR, Coherent Laser Transmitter, Serrodyne Modulation, Semiconductor Optical Amplifier

### 1. はじめに

近年, 航空安全や環境計測の観点から, 風速や風向の変化を遠隔計測するニーズが高まっている. 全光ファイバ型コヒーレントドップラライダ(CDL: Coherent Doppler LIDAR)は単一周波数発振させたレーザ光を空間照射し, 観測空間内を移動するエアロゾルをトレーサとし, その散乱光周波数のドップラシフトから風速を計測する装置である. 波長 1.5  $\mu\text{m}$  の光源と光ファイバ部品により構成した全光ファイバ型 CDL はアイセーフ, 小型, 高信頼のシステムを実現できる利点がある<sup>1)</sup>. 現在, さらなる小型化に向け, 半導体光増幅器(SOA: Semiconductor Optical Amplifier)を用いた構成について検討を行っている. SOA は光損失を補填可能な多機能デバイスであり, 小型, 集積化, ゲイン補填可能といった利点がある<sup>2),3)</sup>. しかしながら, SOA には励起電流を直接変調した場合, 屈折率の変動に伴い周波数チャープが生じる<sup>3)</sup>といった課題があり, この周波数チャープは風計測において無視できない影響を与える<sup>4)</sup>. 本報告では, SOA を用いた小型 CDL の実現に向け, パルス ON 期間に鋸波状の位相変調を加えるパルスゼロダイン変調法を提案する. また提案手法による, CDL 送信先の周波数チャープ補償結果について述べる.

### 2. パルスゼロダイン変調法

パルスゼロダイン変調法では, 光位相変調器にパルス化された鋸波の変調信号を印加する. 位相変化量( $d\phi$ )と周波数( $\Delta f$ )は  $\Delta f = d\phi/dt$  の関係が成り立つため, 鋸波変調信号の変調幅を  $2\pi$ , 周期を  $T_m(t) (= 1/f_m(t))$  とすると, 変調後の光

電場( $E_S(t)$ )は次式で表される.

$$\begin{aligned} E_S(t) &= A \exp[i2\pi(f_0 + 1/T_m(t))t] \\ &= A \exp[i2\pi(f_0 + f_m(t))t] \end{aligned}$$

ここで,  $A$  は光電場振幅,  $f_0$  はレーザ光周波数である. さらに, SOA の周波数チャープによる周波数変動( $f_{chirp}(t)$ )を加味すると, 光電場( $E_S(t)$ )は次式のように表される.

$$E_S(t) = A \exp[i2\pi(f_0 + f_m(t) + f_{chirp}(t))t] \quad (1)$$

この時, 鋸波に印加する変調周期  $T_m(t)$  を, SOA によるパルス内周波数チャープの逆特性の鋸波周期 ( $1/T_m(t) = f_m(t) = f_{m0} - f_{chirp}(t)$ ) とすることで, 周波数チャープ  $f_{chirp}(t)$  を補償し, 周波数シフト  $f_{m0}$  を実現する.

Fig.1 に周波数チャープ補償の原理図を示す. 上段が印加する変調信号波形, 中段が出力光パルス波形, 下段が受信信号の周波数変化イメージを示す. 参考文献<sup>3)</sup>より SOA による周波数チャープはパルス立ち上がり, 立下り領域にて顕著に表れる. 事前にその周波数チャープ量を評価し, パルス立ち上がり・立下り時に周波数チャープ量の逆特性の鋸波変調信号を印加する事で, 受信信号の周波数チャープの影響を除去する.

本方式では, 従来方式で使用していた音響光学変調器(AOM: Acoust Optic Modulator)による周波数変調方式と比較し, 周波数変調帯域がより広帯域な光位相変調器を用いるため, パルス内の変調周波数の可変が可能である. さらに, 式(1)より, 補正する周波数, 変調時間幅を任意に設定可能であるため, 出力パルス波形の設定を変更する際の周波数チャープ特性の変化に対し, 補正値を個別に設計する事で周波数チャープの補償を実現可能である.

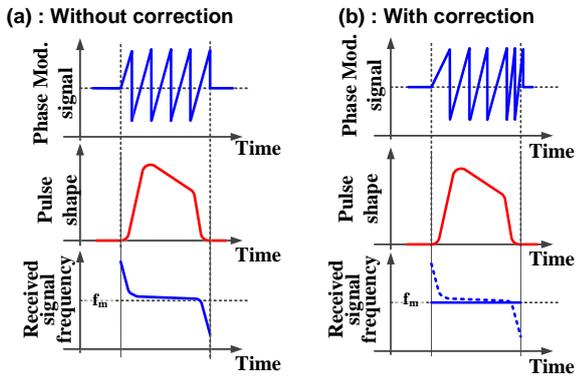


Fig. 1 Temporal variations of frequency within a single pulse duration with / without correction.

### 3. 原理検証実験

実証実験系を Fig. 2 に示す. 基準光源出力光を信号光路, 局発光路に 2 分岐する. 信号光路では位相変調器(PM), SOA, 光ファイバ増幅器(EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier), 光サーキュレータを介して送信光として出力し, 光アッテネータで減衰後, 遅延ファイバの端面反射光を CDL の受信光として模擬する. 上記の受光模擬光を光サーキュレータにて送信光路と分離し, 局発光と合波後ヘテロダイン検波する. ここで, 位相変調器には鋸波の変調信号を印加し, SOA にはパルス信号を変調信号として印加する. ヘテロダイン検波信号をオシロスコープ(DSO)にて取得し, パルス内の周波数チャープ量を評価した.

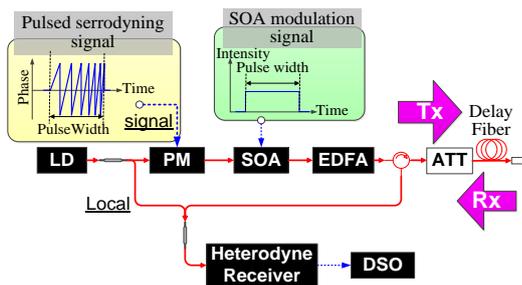


Fig.2 Schematic diagram of experimental setup

測定結果を Fig.3 に示す. 図より補償前±20[MHz]の周波数チャープが補償され, 一定値となっていることがわかる. 補償時の残存周波数変動は±0.4[MHz]以下(平均: 0.03 [MHz])であった. この残存周波数変動は風計測の測定誤差: 0.02 [m/s]に相当する<sup>3)</sup>.

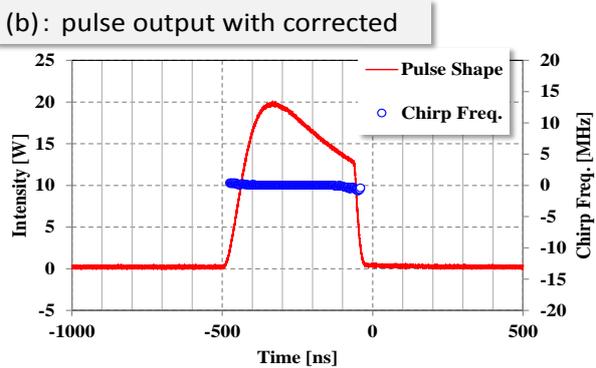
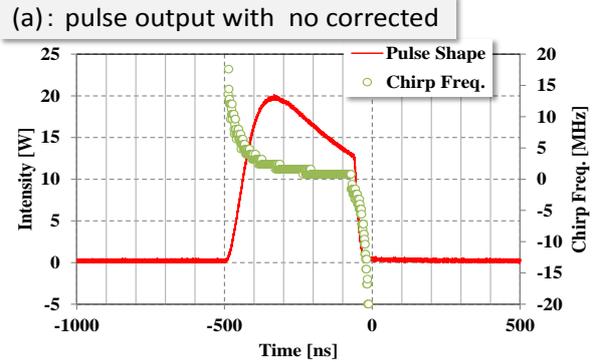


Fig.3 The heterodyne signals between local and back - reflected light [(a) without correction, (b) with correction]

### 4. まとめ

CDL 送信光源への SOA の適用に向け, SOA のパルス駆動に起因する周波数チャープの補償を目的として, パルスセロダイン変調法を提案した. 提案手法によりパルス内に生じた周波数チャープ±20 [MHz]を 0.4 [MHz](平均: 0.03 [MHz])まで補償し, その効果を実験的に確認した. 本残存周波数チャープが風計測に与える影響は 0.02[m/s]程である. 以上より, パルスセロダイン変調方式と SOA を用いた新規構成が CDL 光送信部へ適用可能な見通しを得た.

### 5. 参考文献

- 1) S. Kameyama et al, Applied Optics, vol. 46, 1953 (2007).
- 2) L. Gillner, IEE Proceedings-J, vol. 139, No. 5, 331, (1992)
- 3) F. Koyama et al, Journal of Lightwave Technology, vol. 6, No. 1, 87 (1988).
- 4) T. Ando et al, Proc. 13th Coherent Laser Radar Conference, p.66 (2005)