

光周波数領域相関復調法を用いた
擬似ランダム変調コヒーレントCWライダ
**A Pseudo-Random Frequency Modulation CW
Coherent Lidar**

Using an Optical Field Correlation Detection

浅香 公雄、平野 嘉仁、辰巳 賢二

Kimio Asaka, Yoshihito Hirano and Kenji Tatsumi

三菱電機株式会社

Mitsubishi Electric Corporation

We propose a new detection method for a pseudo-random frequency modulation CW coherent Lidar. The feature of this method is to modulate a local beam with a time delayed pseudo-random sequence. Heterodyne detection and correlation detection between the received beam and the local beam are simultaneously carried out in optical field.

1. はじめに

コヒーレントドップラライダは目標の速度や風速の測定、またはウインドシア検出などのリモートセンシングにおいて非常に魅力的なセンサである^{1,2)}。近年の目覚ましい発展により、LD励起固体レーザーが小型、長寿命、高品質な光源として注目されている。コヒーレントドップラライダでは通常パルスレーザーが用いられており、 $1\ \mu\text{m}$ 帯で発振する Nd^{3+} レーザーおよび $2\ \mu\text{m}$ 帯で発振する Tm^{3+} または Ho^{3+} レーザーを光源としたものが開発されている^{3,4)}。しかし、 $1\ \mu\text{m}$ 帯は目に対する安全性に問題があり、 $2\ \mu\text{m}$ 帯では水蒸気、炭酸ガスの吸収線が多数存在し、それらを避けるよう発振周波数を調整する必要がある。レーザーの発振波長としては、最もアイセーフティの高い波長帯であり、大気構成分子の吸収線がなく、光検出器や光学部品を容易に入手することができる $1.5\ \mu\text{m}$ 帯が望まれる。しかし、 $1.5\ \mu\text{m}$ 帯で発振する安定なパルスレーザーを得るのは困難である。

他方、距離測定を行うため変調を行う擬似ランダム変調CWコヒーレントライダの研究が行われている⁵⁾。このコヒーレントライダはRM-CWコヒーレントライダと呼ばれている。このライダは変復調を行うため装置が複雑になる欠点があるが、パルスコヒーレントライダに比べ、以下に示す利点を持つ。

- ・光検出器出力信号のSN比は受信エネルギーに比例するので、相関時間を長くとれば、より低パワーのレーザーでの測定が可能。
- ・安定でかつ単一周波数で発振する $1.5\ \mu\text{m}$ 帯のCWレーザーを用いることができる。

現在、我々は $1.5\ \mu\text{m}$ 帯の光源を用いたRM-CWコヒーレントライダの開発を行っている。

変調方式としては強度、位相および周波数変調が考えられる。RM-CWコヒーレント

ライダでは、従来、強度変調または位相変調が用いられてきた。しかし、強度変調はデューティ比が50%であるためS/N比が1/2となる、また、位相変調は大気揺らぎの影響から長距離の測定が困難となる欠点がある。そのため、周波数変調による擬似ランダム変調を考えている。

ここでは、RM-CWコヒーレントライダの新しい変調方式である光周波数領域相関復調法を提案する。

2. 光周波数領域相関復調法の原理

光周波数領域相関復調法の特長は、送信ビームを擬似ランダム変調するだけでなく、ローカル光にも時間遅延を与えた同じ擬似ランダム系列で変調を与えることである。その結果、ヘテロダイン検波と同時に、光領域において受信光とローカル光の相関処理を行うことができる。したがって、この方式においては遅延回路のみで相関処理が行え、相関処理を行う回路が不要なので受信器を簡素化できる。

光周波数領域相関復調法を用いたCWコヒーレントライダのブロック図をFig.1に示す。レーザ発振器とローカル発振器は単一波長で発振するCWレーザである。レーザ発振器は擬似ランダム系列の(0, 1)の値に応じて、発振周波数 f_0 , f_1 で周波数変調される。同様に、ローカル発振器も遅延を与えた擬似ランダム系列により、 $f_{IF} + f_0$ および $f_{IF} + f_1$ の周波数変調を受ける。

送信ビームは大気中を伝搬し、目標で散乱される。散乱光の一部がテレスコープにより受信される。受信光の周波数は目標の速度に比例したドップラ周波数(f_d)分だけシフトする。また、受信光の伝搬遅延時間はラウンドトリップ時間(t_r)である。

送信ビーム、受信光、ローカル光および光検出器からのビート信号の周波数の時間変化をFig.2に示す。変調された受信光とローカル光のヘテロダイン検波と相関処理が光検出器上で同時に行われる。Fig.2(a)に示すように、遅延時間 t_D がラウンドトリップ時間 t_r に等しいとき、ビート信号は単一周波数($f_{IF} - f_d$)の信号となる。このとき、遅延時間 t_D から目標までの距離が計測でき、ビート信号の周波数からドップラ周波数 f_d を求めることにより目標の速度が計測できる。一方、Fig.2(b)に示すように、遅延時間 t_D とラウンドトリップ時間 t_r が異なるとき、ビート信号は3つの周波数を持つ周波数変調された信号となる。

3. シミュレーション結果

光周波数領域相関復調法のビート信号のシミュレーションを行った。シミュレーション条件をTable.1に示す。Fig.3に遅延時間差 $\Delta t (= t_r - t_D)$ を0, τ , 2τ としたビート信号のスペクトルの計算結果を示す。ここで、 τ は擬似ランダム系列のクロック時間である。スペクトルの計算には擬似ランダム系列の一周期分のビート信号を用いた。 $\Delta t = 0$ であるとき、ビート信号のスペクトル波形は中心周波数 $f_{IF} - f_d$ のsinc関数となる。また、 $\Delta t \neq 0$ であるとき、ビート信号のスペクトル波形は中心周波数がそれぞれ $f_{IF} - f_d$, $f_{IF} - f_d \pm (f_1 - f_0)$ である3つのブロードなピークを持つ。 $\Delta t = 0$ のスペクトルと $\Delta t \neq 0$ のスペクトルは明らかに異なる。この特長を抽出することにより遅延時間 t_D とラウンドトリップ時間 t_r を一致させることができる。

4. むすび

擬似ランダム周波数変調CWコヒーレントライダの新しい変復調方式である光周波数領域相関復調法を提案した。この方式の特長はローカル光にも時間遅延を与えた擬似ランダム系列で変調を行うことである。それ故、簡素な受信器により、受信光とローカル光のヘテロダイン検波と相関処理を光の領域で同時に行うことができる。

参考文献

1. 杉本, 陳, D.K.Killinger ,「近赤外固体ヘテロダインライダの開発に関する最近の研究」, レーザ研究 **19**,No.2,15-21(1991)
2. R. Frehlich and M. Kavaya, "Coherent laser radar performance for general atmospheric refractive turbulence, " *Appl. Opt.* **30**, 5325-5353 (1991)
3. J. Hawley, R. Targ, S. Henderson and C. Hale, "Performance of a 1- μ m, 1-joule coherent launch site atmospheric wind sounder, " *Laser Radar VII, SPIE Vol.1633*, 63-73 (1992)
4. S. Henderson, P. Suni, C. Hale, S. Hannon, J. Magee, D. Bruns and E. Yuen, "Coherent Laser Radar at 2 μ m Using Solid-State lasers, " *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing* **31**, 4-15 (1993)
5. J. F. Holmes and B. J. Rask, "Path Resolved Doppler Wind Measurement System Using a Coherent, CW, Pseudo-Random Code Modulated CO₂ Lidar , " *Coherent Laser Radar , 1995 Technical Digest Series Volume 19* (Optical Society of America , Washington DC.) 10-13 (1995)

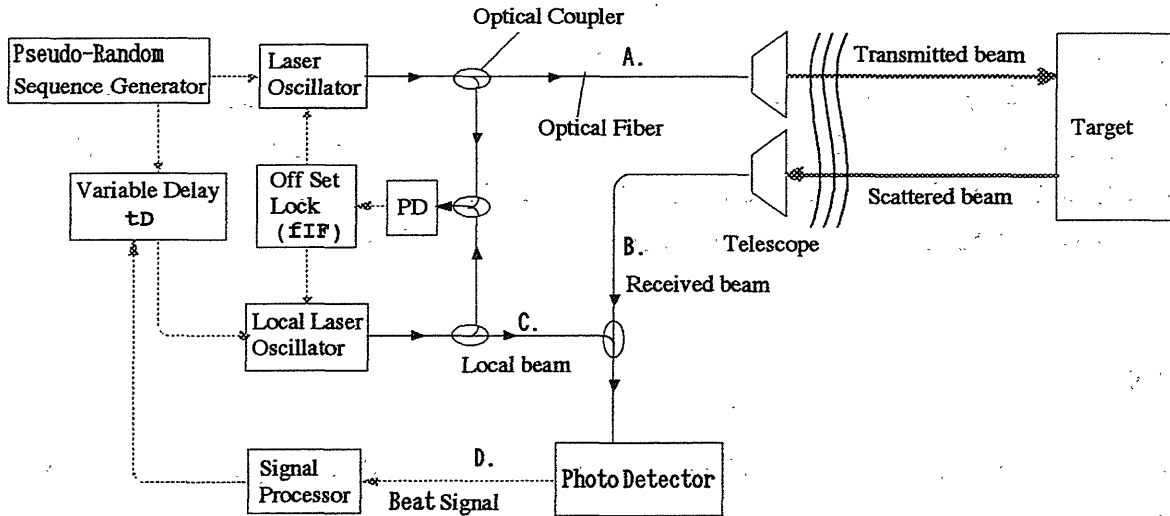


Fig. 1 The block diagram of a pseudo-random CW coherent Lidar using an optical field correlation detection .

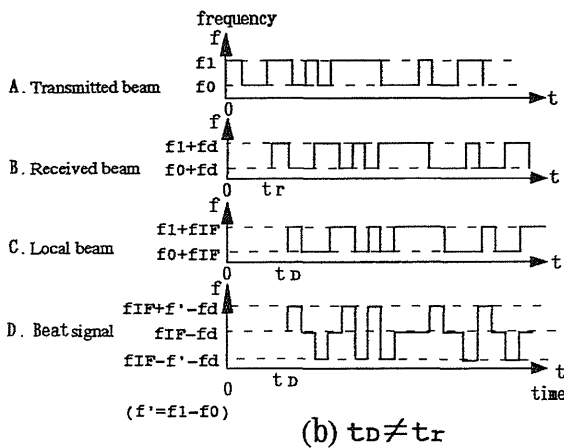
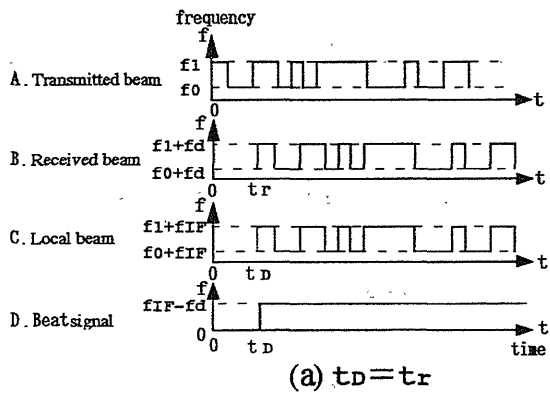


Fig. 2 Time vs. frequency of transmitted, received, local beam and beat signal.

Table 1. Simulation conditions.

Pseudo-random sequence : 7bit M-sequence
(0,0,0,1,1,0,1)
The clock time of
pseudo-random sequence : $\tau=20\text{ns}$
Intermediate frequency : $f_{IF}=120\text{MHz}$
$f'=f_1-f_0=100\text{MHz}$
Doppler frequency : $f_d=30\text{MHz}$

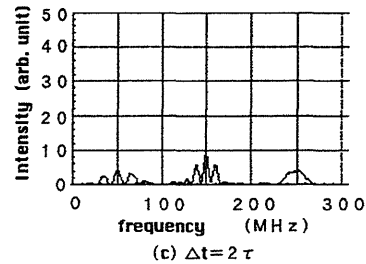
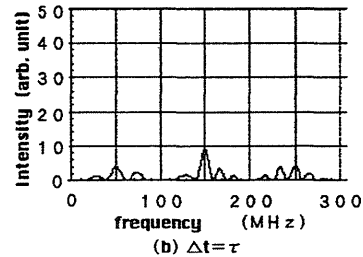
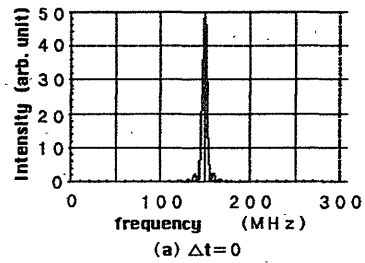


Fig. 3 Calculated power spectrums of the beat signal.