

# A 4

周期可変信号処理装置を用いたRM-CWライダ

RM-CW Lidar using a variable sequence signal sampling system

花岡淳裕、松本洋典、奥村 浩、竹内延夫

A. Hanaoka, H. Matsumoto, H. Okumura, N. Takeuchi

千葉大学映像隔測研究センター

Remote Sensing and Image Research Center, Chiba University

## Abstract:

Lidar measurement with a RM-CW lidar was improved by an introduction of a new component ; a modification of a signal processing unit for a high repetition frequency. In this paper, we describe the detail of a new system and an expected theoretical estimation.

## 1. はじめに

ライダエコーデータの収集には、トランジェントレコーダを用いられてきたが、高速繰り返し動作の信号には追従できなかった。筆者らは、高速繰り返し信号に対して高精度の測定を行なうため、高速データサンプリングを目的とするシステムの開発を行なった。<sup>1)2)</sup> これにより、現在では、高速繰り返し周波数のレーザーを光源としたライダ計測における、高速データ処理が可能になった。今回、筆者らはこのシステムにさらに改良を加え、RM-CW方式<sup>3)4)</sup>に対応したデータ処理システムの実現化を進めている。ここで、本システムの詳細及び、期待される理論値の概算を記述する。

## 2. RM-CW方式

一般に、パルスレーザーを光源としたライダ計測システムの受信信号は、出力パルス光に同期して、一定時間の応答をサンプリングすることにより得られる。S/N比を向上させるため、同期のとれた数千回のサンプリングデータを積算するのが普通である。信号処理装置の機能としては、これらのデータをより高速で積算できることが望ましい。

これに対して、RM-CW方式ライダの計測においては、常に変調光が送出されているので、同時にその応答を連続的に受信し、データとして連続的に取り込む必要がある。この機能を実現するためには、トランジェントレコーダ等の市販品では、満足できる性能を有しているとは言い難く、我々は、これらの計測を能率的に行うためのシステムとして、高速信号処理ユニットCHX-01を開発、改良してきた。

## 3. 高速信号処理ユニットCHX-01の機能拡張

今回の計測では、高速信号処理ユニットCHX-01をRM-CW方式に対応できるシステムとして改良しているが、改良を加えない状態においても、高速積算器としての役割を十分に果たしている。すなわち、一般的な、パルスレーザー光を光源とした計測法では、各送信パルスレーザー光に対する各応答をCHX-01により高速積算することによりS/N比が大幅に向上する。

この場合におけるCHX-01の動作は以下の様になる。

受光望遠鏡により受信された応答信号は、光電子増倍管で光電変換されたあと、増幅器で増幅され、CHX-01に入力される。さらに可変抵抗器によりゲイン、オフセット調整された信号は、バンドパスフィルターを経て8ビット高速AD変換器によってデジタル化される。AD変換された8ビットのデジタルデータは、加算器によってレジスタ(32ビット×2048ワード)に格納されている積算データと加算されてから、再びレジスタに格納される。積算に使用するレジスタ

のワード数や、積算回数は、パーソナルコンピュータからのコマンドにより設定可能である。積算されたデータは、積算器からパーソナルコンピュータに転送される。

これに対し、RM-CW方式のシステムでは、ユニット内部に、レーザー発振のタイミング制御および変調信号の発生を行なうことができるような、信号処理制御用のサブ基板を実装した。サブ

基板の具体的な機能は次の通りである。(Fig.1)

パーソナルコンピュータとインターフェイスボードを用いて接続する。サブ基板には、記憶容量 8 ビット×2048ワードのRAMがあり、パーソナルコンピュータからのコマンド(具体的にはC言語によるデータ書き込みプログラム)によってデータを書き込める。変調用擬似ランダム信号にはM系列を用い、8ビットのうち最上位1ビットと最下位1ビットだけをデータとして用いた。最上位ビットはトリガ信号の識別に用い、M系列の1周期を識別できるように、1周期のデータの中で、1つだけ異なるデータを書き込む。また、8ビットの内の最下位ビットには、M系列を2値(1、0)を用いて書き込む。全ワードにデータを書き込み終わると、サブ基板は、10MHzの速度で、クロック信号、トリガ信号(M系列の1周期ごとに1回)、M系列信号(クロックと同期)を出力する。

クロック信号、トリガ信号はサブ基板から、同じCHX-01ユニット内の積算機能部分に、入力される。M系列信号は、TTLレベルで、データが1のときは“H”、データが0のときは“L”の信号を、LDの駆動装置に入力する。LDは、入力信号が“H”のときには、パルスを出し、“L”のときには出さないという動作をする。CHX-01本体の積算部分としては、通常のパルス動作の場合と全く同じように、受光望遠鏡からの受信信号を積算する。この場合、M系列1周期分ごとの受信信号を積算している。こうして得られるデータをパーソナルコンピュータに送信し、変調信号と、このデータの相互相関をとると、応答関数が求まる。

#### 4. S/N比の理論値の試算

ここでは、理論上で期待されるS/N比を、通常のパルス動作の場合とRM-CW方式の場合について計算したものを示す。横軸に観測対象までの距離を、縦軸にS/N比をとる。通常のパルス動作で計測を行う場合、従来のシステムでは、レーザー発振の周波数は10~100[Hz]程度であったが、CHX-01を用いるとこれを20[kHz]にまで高められる。RM-CW方式と比較するために、パルス動作において、従来のシステムにおけるS/N比と、CHX-01を用いて実現した高速積算された場合のS/N比を試算し、RM-CW方式もふくめ、3つのグラフを示す。(Fig.2)

通常のパルス動作ではレーザー発振の周波数を20[Hz]とし、CHX-01を用いた場合のレーザー発振の周波数を20[kHz]とする。RM-CW方式で用いるM系列の周期をN、パルス幅をΔtとすると、通常のパルス動作(20[Hz])の場合には、時間NΔt×1000ごとにパルスレーザー光を送出し、CHX-01を使用した場合(20[kHz])には時間NΔtごとにパルスレーザー光を送出するものとした。

通常のパルス動作の場合のS/N比は、M回積分することとした場合、

$$(S/N)_P = \frac{\sqrt{M} \sqrt{\xi} P_{og}(t) \Delta t}{\sqrt{\mu} \sqrt{P_{og}(t) \Delta t + b}}$$

となる。RM-CW方式については、

$$(S/N)_R = \frac{\sqrt{M} \sqrt{\xi} \frac{N+1}{2} P_{og}(t) \Delta t}{\sqrt{N} \sqrt{\mu} \sqrt{\frac{N+1}{2} P_{og} \Delta t + b}}$$

となる。R = c Δ t / 2 である。

以下に、S/N比の試算に用いた値を示す。

レーザー光出力	P 0 = 0.05	[W]
積算回数	M = 20 または 2 × 10 <sup>4</sup>	[回]
パルス幅	Δ t = 50	[ns]
背景光パワー	b = S Δ λ A r Ω = 7.4 × 10 <sup>-10</sup>	[W]

ここでは、S(背景光輝度) = 0.8 × 10<sup>-2</sup> [W/nm/sr/m<sup>2</sup>] Δλ(干渉フィルターのバンド幅) = 1[nm] 望遠鏡の視野 = 3 × 10<sup>-6</sup> [sr] Ar = 3.1 × 10<sup>-2</sup> [m<sup>2</sup>] とした。

M 系列の長さ	$N = 2^{10} - 1 = 1023$	[ ]
PMT の雑音指数	$\mu = 3$	[ ]
変換係数	$\xi = 0.51 \times 10^{11}$	[ / W ]

$\xi$  は光信号強度を光電子数へ変換する係数であり、 $\xi = \eta \Delta t / h \nu$  である。

ここでは、 $\eta$  (光検出器の量子効率) = 0.2  $h$  (プランク定数) =  $6.6 \times 10^{-34}$  [ J s ]  
 $\nu$  (レーザーの発振周波数) =  $3.0 \times 10^{14}$  [ H z ] とした。

応答関数  $g(t)$  は、次式で表わされる。

$$g(t) = K(c/2) A_r \beta(R) T(R)^2 Y(R) / R^2$$

光学系の効率	$K = 0.2$	[ ]
--------	-----------	-----

$c$  は光速度

望遠鏡の有効面積 (直径 20cm)	$A_r = (0.1)^2 \times \pi = 3.1 \times 10^{-2}$	[ m <sup>2</sup> ]
--------------------	---	--------------------

距離 $R$ までの大気の透過率	$T(R) = \exp(-\alpha \times R)$	[ ]
------------------	---------------------------------	-----

ここでは、 $\alpha = 1 \text{ n } 50 / V$  (視程 = 5 km) =  $7.8 \times 10^{-4} = (\text{一定})$  として計算した。

体積後方散乱係数	$\beta(R) = 1.6 \times 10^{-5}$	[ / m ]
----------	---------------------------------	---------

ここでは、 $\beta = \alpha / 50$  の関係があるとした。

幾何光学的効率  $Y(R)$ : 0 ~ 20 m まで 0、20 ~ 100 m まで直線的に上昇し、100 m 以遠は 1 とした。

$\bar{g}$  は  $g(t)$  の平均値を表わす。 $\bar{g} = (1 / N \Delta t) \int_0^T g(t) dt$   
 である。

[ ] は無次元を表わす。

グラフで表わされるように、RM-CW方式は従来の 20 [ H z ] 程度のパルス動作の場合に比べると、S/N比の点で、明らかに優れていることがわかる。これに対して CHX-01を用いた場合には、通常のパルス動作の場合においても S/N比が大幅に向上するので、条件によっては、RM-CW方式を上回る S/N比を示す場合もある。しかし、20 [ k H z ] という非常に高い繰り返し周波数は CHX-01を用いて初めて可能になるのであるし、また、レーザー出力が小さくなる等の制限があるので、実際には、これほど高い繰り返し周波数での計測を必要としない場合もでてくる。比較的低い周波数 (数十 H z 程度) の場合や、背景光パワーが他の項を無視出来るほど大きいとき、RM-CW方式はその特長を最大限に発揮し、S/N比は平均応答方式のときの、 $\sqrt{N}/2$  倍となることが、理論上期待される。

#### 参考文献

- 1) 奥村, 杉田, 松本, 竹内, 桑島: LD 励起 YAG ライダーにおける信号処理システム, 第 15 回レーザーセンシングシンポジウム予稿集 (1992)
- 2) 竹内, 奥村, 杉田, 松本, 山口: LD 励起 YAG レーザを光源とする携帯型ライダー, 第 15 回レーザーセンシングシンポジウム予稿集 (1992)
- 3) 竹内延夫編著. "擬似ランダム変調 CW ライダーの開発とフィールド観測への応用". 国立公害研究所研究報告 第 122 号. 1989, P 3-36.
- 4) 竹内延夫ほか. "半導体レーザーを光源とする擬似ランダム変調ライダーの動作特性". レーザー研究, 13 (4), 353-364.

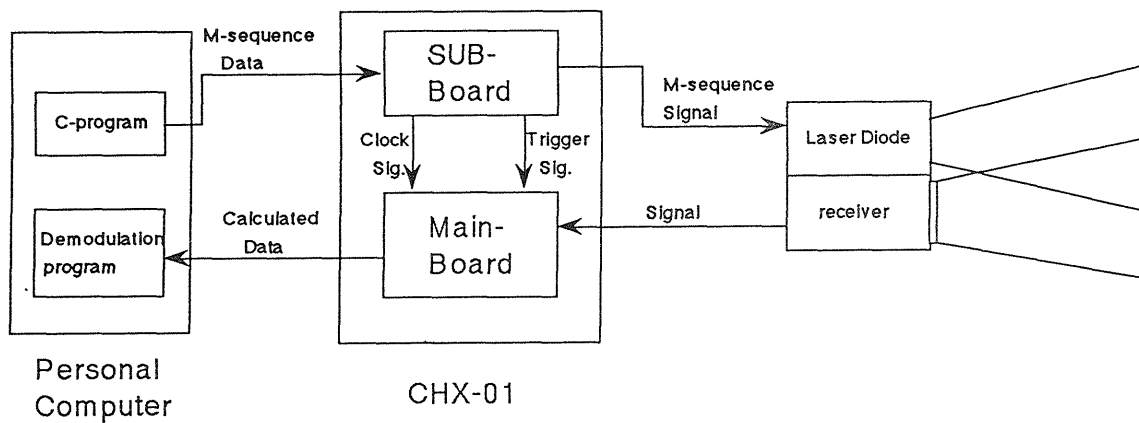


Fig.1 Schematic diagram of the system.

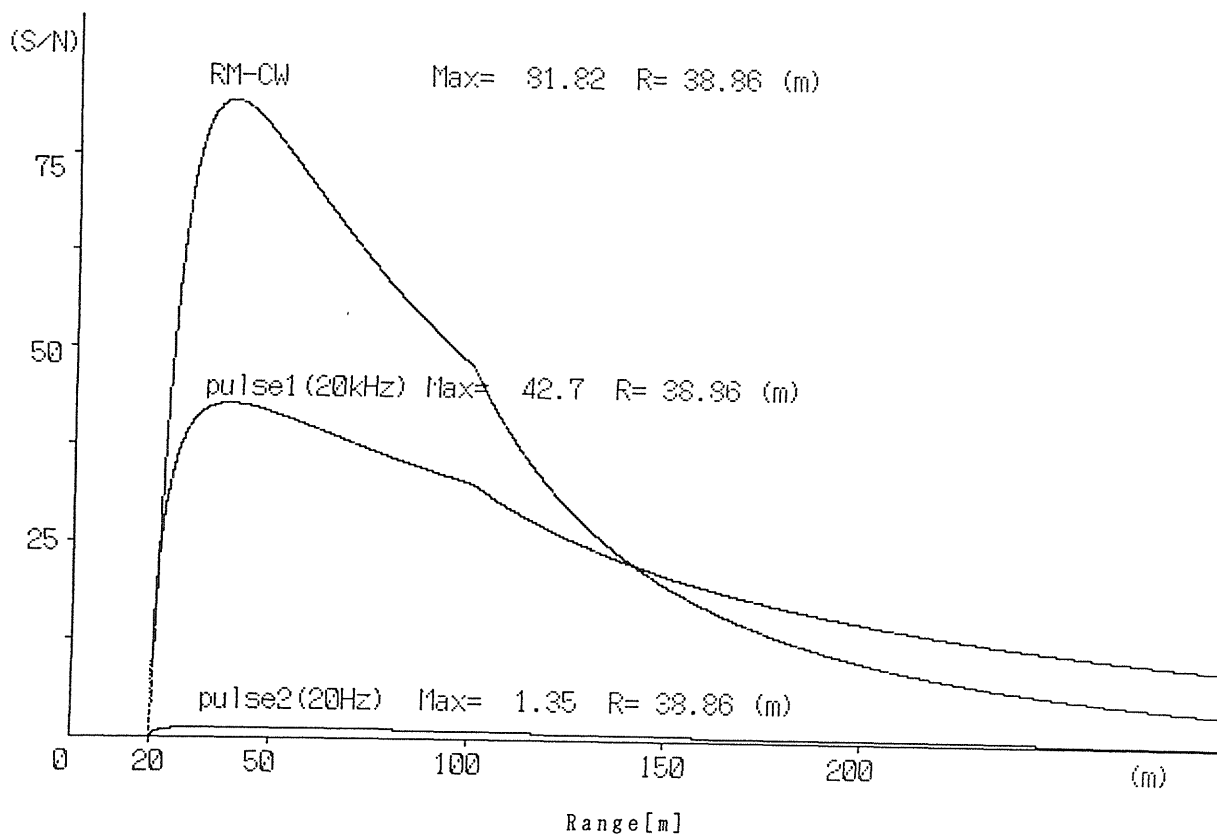


Fig.2 SN estimation of the system.