

# 擬似ランダムライダーにおける M 系列と A1, A2 系列の比較□

A Comparison between the M Sequence and the A1/A2 Sequence  
for a Pseudo Random Modulation LIDAR

内海 通弘 吉武 真弥 戸上 貴裕

Michihiro Uchiumi, Shinya Yoshitake and Takahiro Togami

有明工業高等専門学校 電子情報工学科

Ariake National College of Technology

**Abstract** A random modulated continuous wave, RM-CW, LIDAR was optimized as for the range resolution, the power and the length of M sequence. There are many modulation codes. For example, the M sequence is commonly used as a pseudo random code for LIDAR. The A1 and A2 sequence are easily created by the M sequence. The M sequence, A1 sequence and A2 sequence were compared as modulation codes for a RM-CW target LIDAR. It is clarified that the A1 sequence is the most effective sequence among these codes. Finally, it is demonstrated that the RM-CW LIDAR is useful to measure distance to buildings, hill, mountain, streets, and so on.

## 1. はじめに□

擬似ランダムライダー(RM-CW ライダー)は、竹内らによって提案・試作され、初期データが得られている<sup>(1)</sup>。その後、彼らは原理的な検討<sup>(2)</sup>、M 系列応答特性<sup>(3)</sup>についての研究を進めている。都立大の阿保らはM系列に代わって A1,A2 系列を提案し、ノイズの処理に効果を上げている<sup>(4)</sup>。しかし、同じ平均パワーで比較すると、擬似ランダムライダーはパルスライダーに比べ信号対雑音比が数倍劣ることが指摘され<sup>(5)</sup>、A1,A2 系列の手法にも適用限界があることが指摘されている<sup>(6)</sup>。結果的に、このような改良をすることによりランダム性が低下することが指摘された<sup>(7)</sup>。本研究は擬似ランダムライダーのこれらの特徴の検証を試みた。□

□

## 2. 理論□

CW レーザでは距離分解能を持たせるため、CW レーザに変調を加えるが、その際の変調法として M 系列を利用する。M 系列は n 段のシフトレジスタと XOR 論理ゲートを用いて簡単に生成することができ、M 系列の周期は  $N=2^n-1$  となる。M 系列の相互相関を  $S_k$  として期待値  $E[S_k]$  を式(1)に示す。

$$E[S_k] = \frac{N+1}{2} P_0 G_k + b_j \quad (1)$$

ここで  $G_k$  は応答関数、 $b_j$  は背景光成分、 $P_0$  はレーザ出力パワーである。M 系列でレーザを変調した場合、エコーには背景光による直流成分が含まれることになる。そこで M 系列に代わる系列として A1, A2 系列が提案された<sup>1)</sup>。これらは M 系列を

元に構成され、M 系列の要素である 1 または 0 をとる系列  $a_i$  に対して 1 または -1 をとる系列を  $a_i'$  とすると、A1 系列  $a_i^{*}$  は M 系列  $a_i'$  を用いて、

$$a_i^{*} = (-1)^i a_i' \quad i = 0, 1, \dots, 2N-1, \quad (2)$$

と表される。 $S_k^*$  の期待値  $E[S_k^*]$  は次式で与えられる。

$$E[S_k^*] \approx NP_0 G_k \quad (3)$$

同様に A1 系列  $a_i^{**}$  は M 系列  $a_i'$  を用いて、

$$a_i^{**} = \begin{cases} a_i' (i = 4m, 4m+1) & m = 0, 1, \dots, N-1, \\ -a_i' (i = 4m+2, 4m+3) \end{cases} \quad (4)$$

と表される。 $S_k^{**}$  の期待値  $E[S_k^{**}]$  は次式で与えられる。

$$E[S_k^{**}] \approx 2NP_0 G_k \quad (5)$$

よって、A1, A2 系列によるエコーには背景光成分が含まれない。

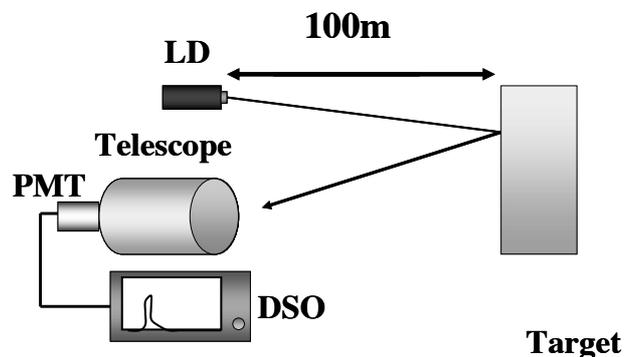


Fig. 1 Experimental setup of a target LIDAR.

□

## 3. 実験□

今回の実験では M,A1,A2 系列について性能評価を行うために、各系列で変調した CW レーザ光

を用いてエコー観測を行った。また、3種類の擬似ランダム系列の比較を行うために比較的そのエコー観測結果が得やすいターゲットライダーとして実験を行なった。M, A1, A2 系列によりレーザー光を変調し、ライダー光源から約 100m 先の建物の壁に向けてレーザー光を照射する。そして反射光を望遠鏡で集光し、解析を行う。

M, A1, A2 系列のエコー観測結果を Fig.2, Fig.3, Fig.4 に示す。さらに、それを拡大し、まとめたものを Fig.5 に示す。Fig.5 より、各系列のピークは多少誤差はあるものの、約 100m の地点に出現しているの、ターゲットライダーとしての実験は成功している。

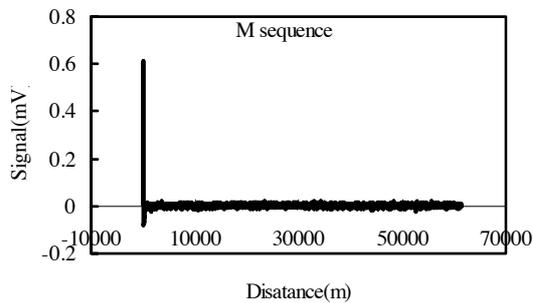


Fig. 2 LIDAR Echoes of the M sequence.

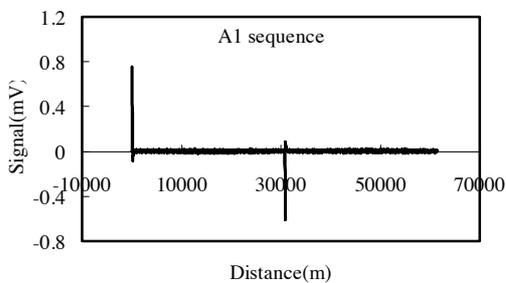


Fig. 3 LIDAR echoes of the A1 sequence.

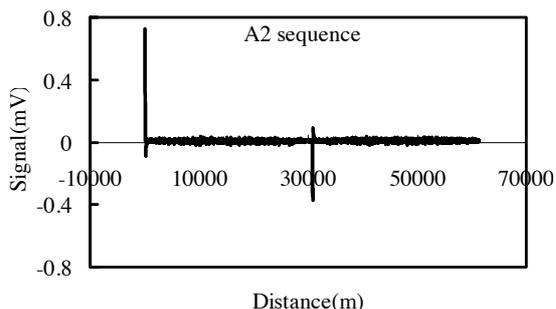


Fig.4 LIDAR echoes of the A2 sequence.

#### 4. 考察とまとめ

M, A1, A2 系列のピークはライダー装置からの距離約 100m の地点に集中して出現しており、ターゲットである建物の壁のエコーが得られた。エコー強度が系列のよって異なるため、鋭さ  $S$  を用いて比較を行った。  $H$  をピークの信号強度、  $W$  をパルス幅とすると、  $S=H/W$  は M, A1, A2 系列で 0.01142, 0.01563, 0.01385 となった。よって A1 系列が最も鋭いという結果になった。

論文<sup>(4)</sup>で指摘されている M 系列の直流成分が観測されなかった。M 系列のエコーは背景光による直流成分が含まれるはずであるが、そのような直流成分は観測されなかった。原因として、実験を行った際の天候が雨天であり、背景光が少なかったためと思われる。また、A1, A2 系列は遠距離に負の信号強度を持つピークが現れた。反射体の検出は A1 系列が最も優れていた。

□

#### 参考文献: □ □

- (1) 竹内延夫, 杉本信夫, 他: レーザ研究 11, 1983, pp.763-771.
- (2) 竹内延夫, 馬場浩司, 桜井捷海, 他: レーザ研究 13, 1985, pp.353-364.
- (3) 上野敏行, 竹内延夫, 他: レーザ研究 16, 1988, pp101-118.
- (4) 阿保真, 長澤親生, 内野修: レーザ研究 18, 1990, pp.341-347.
- (5) J. L. Machol: Applied Optics, 36, 24, 1997, pp.6021-6023.
- (6) Emery and Flesia: Applied Optics, 1998.
- (7) Rybaltowski and Taflove, Optics Express, 2001.

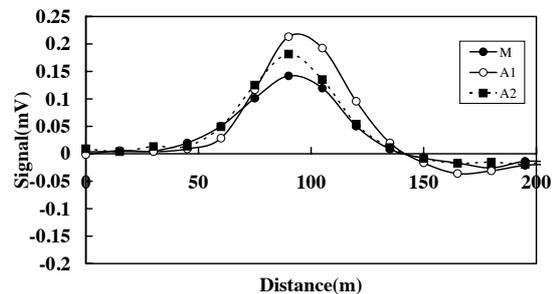


Fig. 5 A comparison among M, A1 and A2 sequences.