

On-Off-Keying によるチャープ・レーザレーダの提案

Proposal of On-Off-Keying chirp laser radar

鹿谷 元一

Motokazu Shikatani

郵政省 通信総合研究所

Communications Research Laboratory

Ministry of Posts and Telecommunications

Abstract

In this paper, we propose on-off-keying chirp laser radar. This radar transmits a train of on-off-keying laser pulses, whose pulse width increases or decreases linearly. And the received signal is compressed by a dispersive delay filter. As the envelop of the signal of this radar has resemblance to the demodulated signal of ordinary radio wave linear frequency modulation radar, this new method offers almost same pulse compression ratio and high range resolution as linear frequency modulation pulse compression. The range resolution is $c/(2\Delta f)$, where c is speed of light and Δf is the frequency deviation of the transmitted pulse train.

はじめに

パルス圧縮レーダではコーディング（線型周波数変調、符号変調等）して周波数帯域を広げた波を送信し、反射波をパルス圧縮フィルターにかけて高S/Nの短パルス出力を得ている。これにより低出力でも遠距離の標的を高精度に測定することが可能になった。この技術は電波レーダでは広く普及しているが、レーザレーダでは殆ど使われていない。コーディングには周波数変調法を用いるのが一般的であるが、現在のレーザ技術では十分に広い周波数偏移を安定して得ることが容易ではないからである。

筆者らは先に、レーザ光をon-off-keying（矩形波による振幅変調）して、符号変調した波を送信し、受信時に整合フィルター(matched filter)を通すことによりパルス圧縮するレーザレーダを提案した。[1]これにより、低出力レーザレーダでも高出力レーザレーダに匹敵する性能を得る可能性が示されたが、ここで用いる整合フィルターは発射した信号と同じ符号で変調した信号と相関をとるものであるため、デジタル処理を伴い、高速のA/D変換が必要である。

今回提案する方式はパルス圧縮にデジタルフィルターではなくアナログフィルター（分散遅延フィルター: dispersive delay filter）を用いるもので、チャープレーダのパルス圧縮法に似ているところがある。

以下では、まずチャープレーダの原理を概説する。次に、筆者の提案するレーザレーダの原理を説明し、簡単な考察を加える。

チャープレーダ方式の原理

この方式は線型周波数変調方式ともよばれている。Fig.1にこの方式によるレーダのブロック図を示す。Fig.2はチャープ圧縮の概念図である。送信パルス幅Tの中で周波数を直線的に変調（周波数偏移 Δf ）し(Fig.2(a))、散乱波の受信後、周波数と時間の関係が送信側と逆の直線状の周波数対遅延時間特性(Fig.2(c))を持ったフィルター(dispersive delay line)を通すことにより鋭いパルス幅で大きな出力をもつ包絡線波形が得られる(Fig.2(d))。このパルス圧縮作用により振幅は

$(T \cdot \Delta f)^{1/2}$ 倍、パルス幅は $1 / \Delta f$ になる。

On-Off-Keyingチャープ・レーザレーダの原理

Fig.3 は On-Off-Keying チャープ・レーザレーダの原理を示す。Fig.4 は本レーダで発生する波形を示す。Fig.3 の矢印線上の記号 ((a)~(f))は Fig.4 に示す波形に対応している。線型周波数変調方式ではキャリアの周波数を連続的かつ直線的に変化させる。本方式ではキャリアの振幅を断続的かつ等比級数的な幅を持つパルスで変調する。Table 1 にそれぞれの方式による送信信号の式を示す。受信光の検出器は二乗振幅特性を有するので、その出力信号はチャープレーダの変調信号と類似性のある波形となり分散遅延フィルターを通せば圧縮したパルス波形が得られる。

以下、Fig.3 と Fig.4 により詳細に説明する。信号(c)は送信される波形を示す。これは個々のパルス幅が漸次広がるか、狭くなるパルス列である。(図では次第にパルス幅は狭くなっている。)キャリア周波数はレーザ光の周波数である。この信号を発生させるには例えば次の様にする。まず、チャープ信号(a)を発生させる。この信号はチャープレーダの変調信号と同じものである。次に信号(a)を cliper回路に入れると信号(b)が得られる。Table 1 の関数 $m(t)$ は cliper回路の式である。パルス信号(b)でレーザ信号を変調する(レーザをon-off-keyingする)とレーダの送信信号(c)が得られる。受信波(d)は発射信号(c)に伝搬遅延と減衰および雑音が加わったものである。受信信号(d)を光検出器で検出すると光検出器は二乗特性を有するので受信信号(d)の包絡線信号(e)が出力される。これはチャープレーダ信号の変調信号と波形が類似性を有するので分散遅延フィルターを通すとパルス圧縮された信号(f)を得る。

考察

包絡線信号(e)が線型分散フィルターによりパルス圧縮され信号(f)になることは計算機シミュレーションにより確認した。また、線型分散遅延フィルターは信号(e)の様な波形に対して整合フィルター (matched filter) ではなく非整合フィルター (mismatched filter) になるので最大の S/N を得ることはできないが、相当の S/N の改善になることも計算機シミュレーションにより確認した。

分散遅延フィルターとして典型的なものに SAWフィルター (surface acoustic wave delay line)がある。中心周波数 1.3GHz、帯域 500MHz、の SAWフィルターを用いて 3ns の圧縮パルスを得たことが報告されている。[2] これ以上の高圧縮パルスを得るには別のフィルター技術が必要である。

まとめ

On-Off-Keying によるチャープ・レーザレーダの提案をし、その原理を説明した。また、その有効性を計算機シミュレーションにより確認した。今後はさらにその詳細な性能、応用について検討したい。

最後になりましたが、本研究に有益な助言を頂いた当所の岡本謙一、中村健治、浜本直和、増子治信、坂齊誠の各氏に深く感謝致します。

[参考文献]

1. 鹿谷,国森;月一地球間レーザレーダ測距の予備実験1、波形ディジタイザによる記録と相関処理,1993年電子情報通信学会春季大会 講演番号 B-155
2. Lipka, M.:Pulse Compression Filter and Wideband Receiver Evaluation. IEEE 1975 International Radar Conference, pp. 283-287, Apr. 21-23,1975 IEEE Publication 75 CHO 938-1 AES

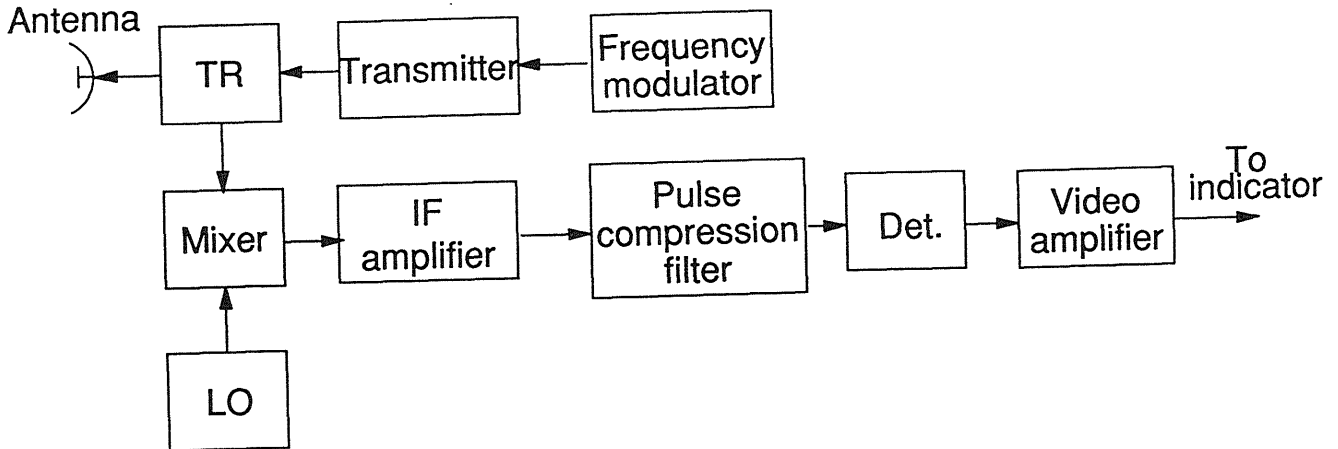


Figure 1 Block diagram of an FM pulse compression radar.

Table 1 Waveform equations of linear FM radar and On-Off-Keying laser radar.

Linear FM radar

$$S_{LFM}(t) = \begin{cases} \cos(\omega_c t + \frac{1}{2} \mu t^2) & |t| \leq T/2 \\ 0 & |t| > T/2 \end{cases}$$

where

ω_c = angular frequency of linear FM

$$\mu = \frac{2\pi \Delta f}{T}$$

On-Off-Keying chirp laser radar

$$S_{OFK}(t) = m(t) \cos(\omega_1 t)$$

where

ω_1 = angular frequency of laser

$$m(t) = \begin{cases} 1 & S_{LFM}(t) \geq \alpha \\ 0 & S_{LFM}(t) < \alpha \end{cases}$$

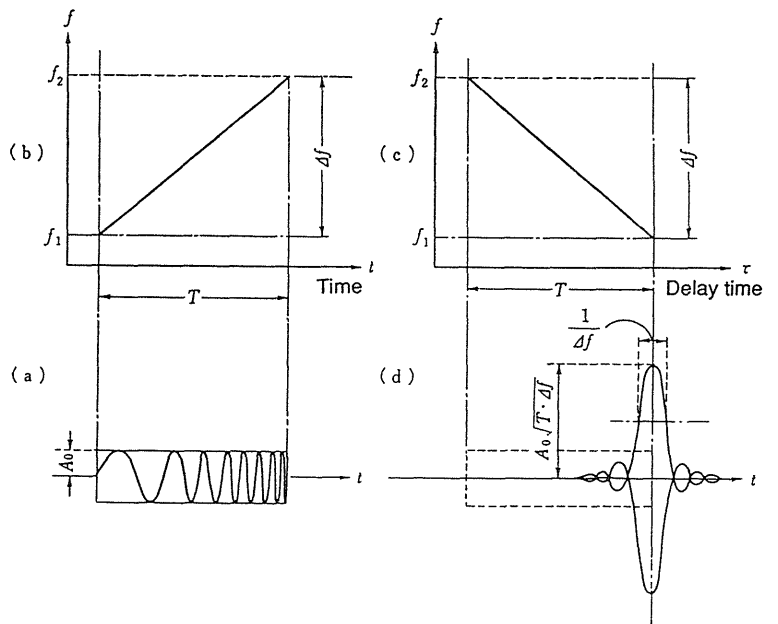


Figure 2 Linear FM pulse compression.
 (a) Transmitted waveform
 (b) frequency of the transmitted waveform
 (c) frequency characteristics of pulse compression filter
 (d) output of the pulse compression filter

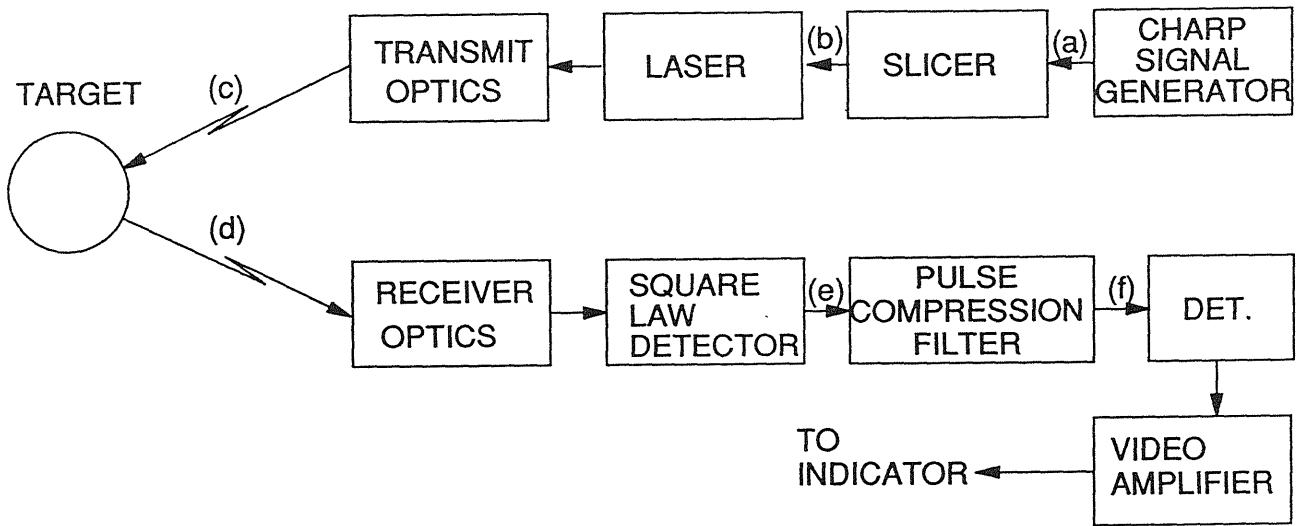


Figure 3 Block diagram of an On-Off-Keying chirp laser radar

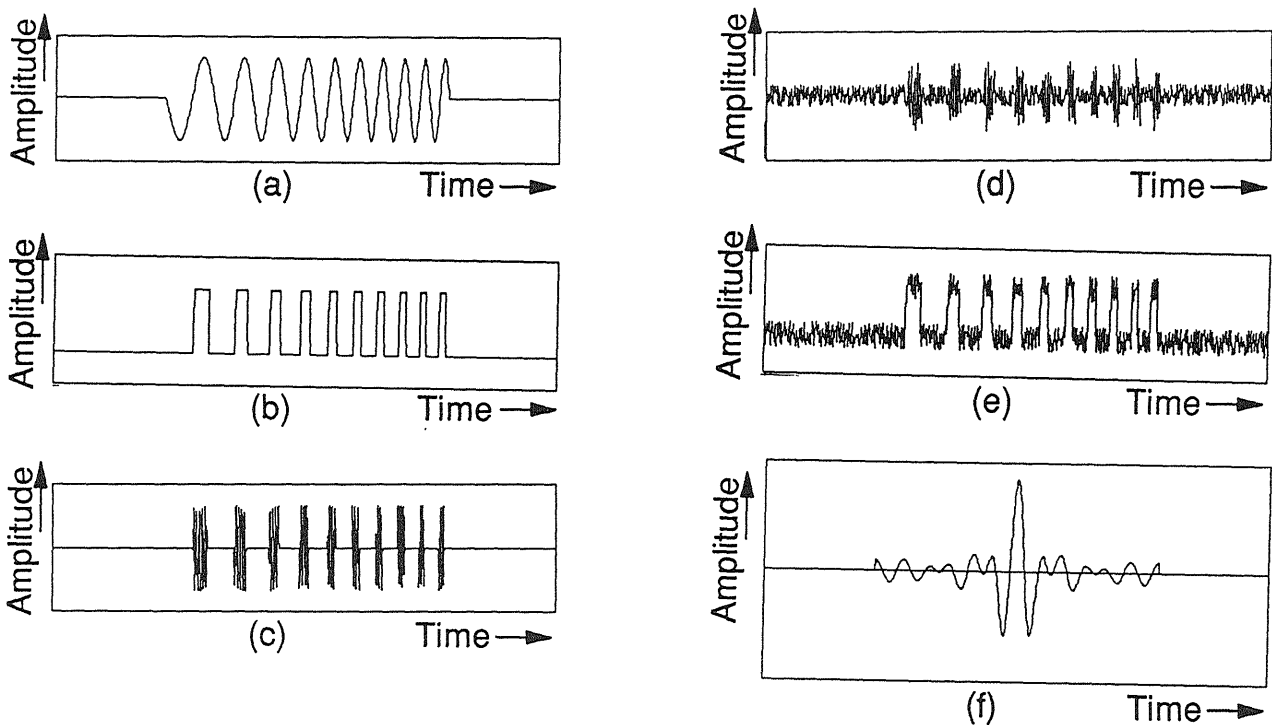


Figure 4 Waveforms of an On-Off-keying chirp laser radar. (a) Linear FM wave; (b) output of the slicer; (c) transmitted wave; (d) received wave; (e) output of the square law detector; (f) output of the pulse compression filter