

Stretched FM-PD 方式の提案と実験的検証

B-2 Experimental Investigation of Stretched Frequency Modulated - Pulse Doppler Radar

瀬楽 瑞樹 渡邊 俊人 秋田 学 稲葉 敬之
Mizuki Seraku Toshihito Watanabe Manabu Akita Takayuki Inaba

電気通信大学 知能機械工学工学科

Department of Mechanical Engineering and Intelligent Systems, The University of Electro-Communications

1. まえがき

従来のレーダ変調方式として FMCW 方式, LFM 方式, Stretch 方式 [1] が知られている。FMCW 方式には低サンプリングレートであるが複数目標下においてペアリング誤検知という課題, LFM 方式にはペアリングは不要であるが高サンプリングレートという課題, Stretch 方式では, 低サンプリングレートであるが目標速度の測定が行えないという課題がある。そこで本稿ではペアリング不要かつ低サンプリングレートで速度と距離の測定が可能なレーダ変調方式として Stretched FM-PD 方式を提案し, 実験によりその有効性を検証する。

2. Stretched FM-PD 方式

Stretched FM-PD 方式は, FMCW 方式, LFM 方式, Stretch 方式を組み合わせた方式。FMCW 方式と同様に受信信号がビート信号であり, LFM 方式と同様に観測時間内で複数回信号を送信する。Stretch 方式は送信信号とローカル信号の時間差によりビート周波数を低下させて必要なサンプリングレートの低下を図る。提案法では Stretch 方式におけるビート周波数低下の概念を利用し, 送信信号 Tx とローカル信号 Lo に周波数差を与えることによりビート周波数を低下させ, 必要なサンプリングレートの低下を図る。

送信シーケンスを図 1 に示す。ローカル信号は, 観測時間 T_{cp} 内でパルス繰り返し間隔 T_{pr} のチャープ波を M 回繰り返したものであり, 送信信号は, ローカル信号に対して観測時間内で一定の周波数を加えたものである。以降, 加えた周波数を周波数シフト f_{shift} と呼ぶ。ローカル信号と目標からの反射信号 Rx がミキシングされ, 受信信号はパルス繰り返し間隔内で見るとビート信号 f_{beat} であり, パルスヒット方向ではドップラ信号 f_d となる。

信号処理ブロック図を図 2 に示す。ローデータに対し, ドップラ周波数推定のために繰り返し間隔内の全サンプルにパルスヒット方向のフーリエ変換を行う。パルスヒット方向フーリエ変換結果の全周波数に時間方向のフーリエ変換を行い, 両方向フーリエ変換の結果に対してピークサーチを行う。周波数シフトにより観測したビート周波数は低下しており, 観測したドップラ周波数は上昇している。式(1), (2)の線形的な関係から速度 v と距離 R を算出する。ただし λ は波長であり, c は光速である。

$$f_d = -\frac{2}{\lambda} v + f_{shift} \quad (1)$$

$$f_{beat} = -\frac{2Bw}{c \cdot T_{pri}} R - \frac{2}{\lambda} v + f_{shift} \quad (2)$$

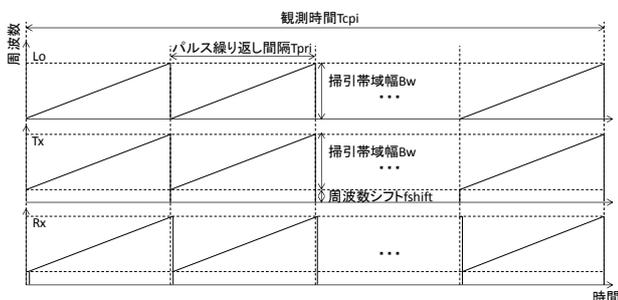


図1 Stretched FM-PD 方式の送信シーケンス

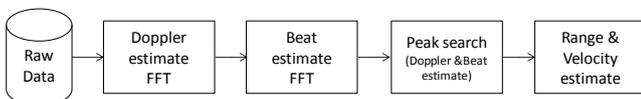


図2 Stretched FM-PD 方式の信号処理ブロック図

3. 実験的検証

Stretched FM-PD 方式を用いて移動2目標の検知実験を実施した。使用したレーダ装置は 24GHz 特定小電力無線局規格に準拠している。移動目標にはコーナーリフレクタを取り付け等速で往復運動させたアクチュエータを用いた。目標条件を表 1, レーダパラメータを表 2, 期待性能を表 3 に示す。

図 3 に目標検出結果を示す。計測開始の CPI で観測した目標 1, 目標 2 のビート周波数とドップラ周波数の観測値, 目標 1 が 65.8m から 4km/h で遠ざかっているとした場合のビート周波数の計算値とドップラ周波数の計算値, 目標 2 が 56.9m から 2km/h で遠ざかっているとした場合のビート周波数の計算値とドップラ周波数の計算値を表 4 に示す。

図 3 から目標の速度と距離を測定できていることが確認できる。なお, 低速移動目標は検知しないようにしている。表 4 から目標 1, 目標 2 ともにビート周波数が低下しているため, 周波数シフトによるサンプリングレートの低下が行えることが確認できる。

表 1 目標条件

	目標速度(km/h)	目標距離(m)	RCS(dBsm)
目標1	±4	65.8~67.4	10
目標2	±2	56.9~58.9	10

表 2 レーダパラメータ

送信周波数(GHz)	24.15
パルス繰り返し間隔 T_{pr} (μ s)	44.6
シーケンス数 M	648
観測時間 T_{cp} (ms)	28.9
掃引帯域幅 Bw (MHz)	70
周波数シフト f_{shift} (kHz)	523.2
A/D サンプリング (MHz)	10

表 3 期待性能

速度分解能(km/h)	0.8
速度視野(km/h)	250.7
距離分解能(m)	2.1
距離視野(m)	524

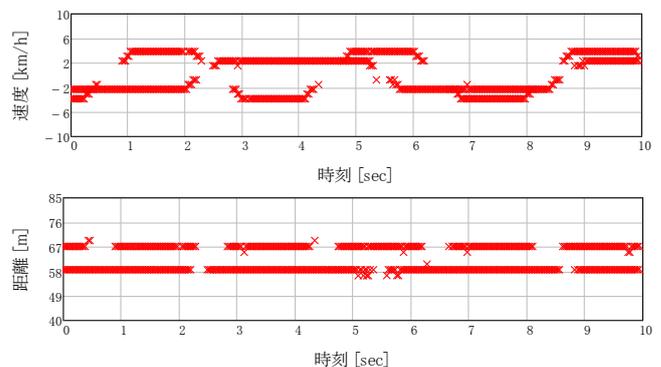


図3 目標検出結果

表 4 周波数の観測値と計算値

	ビート周波数の観測値 (kHz)	ドップラ周波数の観測値 (kHz)	ビート周波数の計算値 (kHz)	ドップラ周波数の計算値 (Hz)
目標 1	-179.4	7.3	-688.7	-178.9
目標 2	-89.7	7.4	-599.5	-89.4

4. まとめ

本研究ではペアリングが不要かつ低サンプリングレートで速度と距離の測定が可能なレーダ変調方式として Stretched FM-PD 方式を提案し, 実験によりその有効性を検証した。

参考文献

[1] George W. Stimson, (1998), "INTRODUCTION TO AIRBORNE RADAR", 2nd ed, SciTech Publishing, Inc, pp.165~167