

OFPR (Orthogonal Frequency Pulse Radar) 方式の提案とその実験的検証

Orthogonal Frequency Pulse Radar for Super-resolution Range Estimation

塚田 渉 稲葉 敬之
Wataru Tsukada Takayuki Inaba

電気通信大学大学院情報理工学研究所
Graduate school of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

1. まえがき

時間方向にパルス内符号変調された直交周波数を送信波パルスとし、相関処理に基づく受信信号処理を行うパルス圧縮レーダ (Pulse Compression :PC) 方式が報告されている[1]. 送信波をパルス化したパルス圧縮レーダ方式においても、送信パルスが直接波として受信されパルス圧縮波形のサイドローブに埋もれてしまい近距離目標検知が困難となる送受アイソレーション問題が課題となっている.

本稿では、この課題の解決の手段として直交周波数パルスをを用いた **OFPR (Orthogonal Frequency Pulse Radar) 方式** を提案する. 提案方式は、送受アイソレーション問題が生じる近距離、あるいは高分解能が所要な距離ビンに対しては直交周波数を復調した後の位相勾配情報を用いて測距を行う新しい**直交周波数超分解能法**を適用する. 一方、上記問題が生じない距離ビン、または一般的にあまり高分解能性が不要な遠距離ビンにおいてはより簡素な通常のパルス圧縮方式によって測距を行う. 本稿では、提案法に対し近距離および遠距離目標を測距する必要がある車載レーダ用途を想定したパラメータにて実験を行った.

2. OFPR 方式の提案

提案する OFPR 方式の信号処理を以下説明する. 各直交周波数を f_n ($n=0, \dots, N-1$), 直交周波数間の初期位相を ϕ_n , パルス幅 tb とするとベースバンド信号は、下式 (1) で表される.

$$s(t) = \begin{cases} \sum_{n=0}^{N-1} \exp(j2\pi f_n t + \phi_n) & (0 \leq t < tb) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

ベースバンド信号は、周波数が f_0 である Local 信号とミキシングされ送信される. 目標からの受信信号は、PRI 以内で受信され、Local 信号とミキシングし、Low Pass Filter を通した後 A/D 変換される. A/D 変換された受信信号は、パルス間 FFT であるパルスドップラ (Pulse Doppler :PD) 処理を行うことにより、速度ごとに信号が分離される. 図 1 に示すように、送受アイソレーションの発生しない遠距離レンジビンにおいては、計算の簡素な送信信号と受信信号の相関処理であるパルス圧縮にて、目標からの距離に応じた遅延時間を得ることで測距を行う.

近距離レンジビンにおいては、各直交周波数を復調し直交周波数間の初期位相の違いによる位相を補正することにより、目標距離 R および目標速度に依存したドップラ周波数 fd を含む式 (2) が得られる.

$$rsb_n = \frac{1}{j2\pi fd} \exp\left\{j\left(2\pi f_n tb - \frac{4\pi}{c}(f_0 + f_n)R\right)\right\} \quad (2)$$

式 (2) の周波数方向 (n 方向) に距離に依存した位相勾配を求めることで超分解能法を使用し測距を行う.

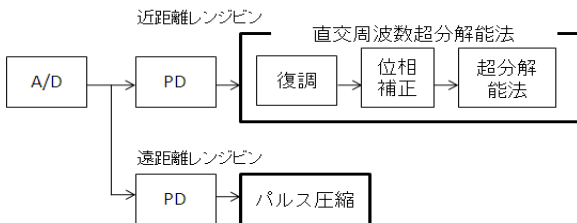


図 1 信号処理ブロック図

3. 電波暗室での実験的検証

提案する OFPR 方式に対し暗室にて原理検証実験を行った. また、実験に際しては、表 1 に示すような 24GHz 特定小電力無線局規格準拠のパラメータを使用した. 今回、直交周波数間の初期位相として P3 符号を用いた. また、超分解能法には相関関数の固有展開に基づく方法の一つである MUSIC (Multiple Signal Classification) 法を採用した.

表 1 実験パラメータ

送信信号パラメータ	-
送信周波数	24.15GHz
直交周波数数:N	8
直交周波数差 (位相差による距離視野)	6.7MHz(22.5[m])
直交周波数数:N	8
送信占有帯域幅(距離分解能)	60MHz (2.5 m)
全観測時間(速度分解能)	20ms(1.12 km/h)
パルス繰り返し時間 (速度視野, パルス圧縮方式による距離視野)	9.75μs (1147[km/h],1462[m])
実験項目:目標	-
静止 1 目標試験:距離	1.1[m]
静止 1 目標試験:距離	3.1[m]

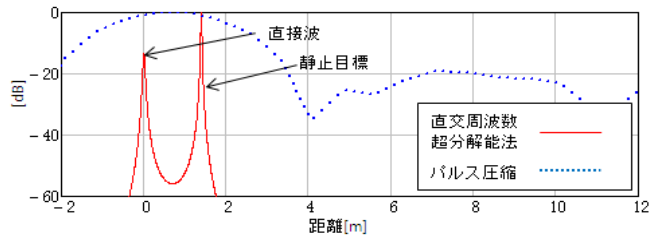


図 2 距離推定結果 (距離 1.1[m])

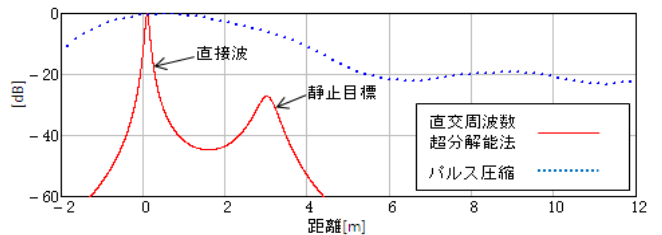


図 3 距離推定結果 (距離 3.1[m])

図 2 および図 3 は、パルス圧縮による距離分解能以上および以下に設置した近距離静止 1 目標に対し直交周波数超分解能法およびパルス圧縮を使用した実験結果である. 実験結果より、パルス圧縮では分離できなかった、送受アイソレーション問題の発生する近距離 1.1[m]および 3.1[m]の静止目標に対し提案法では、それぞれ 1.3[m], 2.9[m]と検知できる結果が得られることを確認できた.

4. むすび

直交周波数パルスをを用いた OFPR (Orthogonal Frequency Pulse Radar) 方式を提案した. 電波暗室実験により、直交周波数超分解能法にて、周波数帯域幅以上の距離分解能で目標を分離可能であることを示した. 本研究の一部は科研費 (課題番号: 21246062) によりなされた.

参考文献

[1] Levanon, N. "Multifrequency complementary phase-coded radar signal." IEEE Proceedings-Rader, Sonar Navigation, Vol. 147. No. 6. December 2000, 276-284