

多周波ステップ CPC 方式とパルス圧縮方式の S/N 評価試験

Signal to Noise Ratio Evaluation Test of Stepped Multiple Frequency CPC and Pulse Compression

太田裕也
Yuya Ota

秋田 学
Manabu Akita

渡辺 優人
Masato Watanabe

稲葉 敬之
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

筆者らは次世代車載レーダや交差点監視レーダ等への応用を想定した多周波ステップ CPC(Complementary Phase Code)方式[1]というレーダ変復調方式を開発している。多周波ステップ CPC 方式は、CPC 符号を用いたパルス圧縮と合成帯域を融合[2]させた新しいレーダ変復調方式である。同方式は、多目標環境や不要波環境での目標検出特性に優れるという特徴を備えている。合成帯域法を用いて従来手法(ここではパルス圧縮方式とする)より狭受信機帯域幅(すなわち S/N に優れ、探知距離性能に優れる)にて送信帯域幅と同等の分解能を得る方法である。これまでに、送信帯域幅に比べ、狭受信機帯域幅で送信帯域幅に相当する距離分解能が得られることを実証している[1]。

本稿では多周波ステップ CPC 方式とパルス圧縮方式の探知距離性能について、シミュレーションによる比較結果と実験的に比較検証した結果を報告する。比較する両方式において、送信帯域幅、観測時間(CPI)、送信ピーク電力、位相切り替えチップ数(符号長)、総パルス数を同等とした条件にて実験を実施する。

2. 原理

パルス圧縮方式は、LFM または位相変調を与えた比較的に長いパルスを送信する。受信信号に対する相関処理により、帯域幅に相当する距離分解能と S/N 改善が期待される。

パルス圧縮およびパルスドップラフィルタ処理はコヒーレントな信号処理であるので信号処理利得 SI (dB)は、式(1)となる。

$$SI = 10 \log_{10}(PM) \quad (1)$$

多周波ステップ CPC 方式は、CPC パルス圧縮と合成帯域法を複合した新しいレーダ変復調方式である。時分割で 2 つの相補符号の送信と複数個の送信周波数切り替えを行う。時分割送信によるドップラシフトに対する位相補正処理を行い、相補の CPC 受信信号の加算により距離サイドローブを抑圧、さらに、複数ステップの周波数方向に合成帯域することにより、送信帯域幅と比較して狭受信機帯域幅で高距離分解能を得る。図 1 に送信シーケンスを示す。

多周波ステップ CPC 方式はパルス圧縮から合成帯域処理まですべてコヒーレントな信号処理となっており、全処理による信号処理利得 SI (dB)は、式(2)となる。

ここで P は符号長、N はステップ数、M はパルス数である。

$$SI = 10 \log_{10}(2PNM) \quad (2)$$

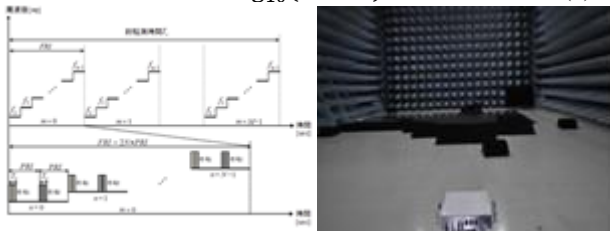


図 1. 多周波ステップ CPC 方式送信シーケンス



図 2. 電波暗室における実験風景

3. 実験的検証

多周波ステップ CPC 方式の周波数ステップ数については、パルス圧縮方式と比較して受信機帯域を 1/10 にできる周波数ステップ数として 16 を採用する、また、比較に際し、送信帯域幅、観測時間(CPI)、送信ピーク電力、位相切り替えチップ数(符号長)、総パルス数を同等とする。シミュレーションについては紙面の都合上割愛する。

表 1 にパルス圧縮方式および多周波ステップ CPC 方式のレーダパラメータを示す。目標条件は下記の通りであり、目標の移動はアクチュエータを用いる。実験はすべて図 2 に示す電波暗室内(24m×15m×10m)にて実施した。

- 目標: コーナリフレクタ 1 つ (10dBsm)
- 距離: 15.44-17.04 (m)
- 速度: 4 (km/h) (レーダ視線方向)

表 1. レーダパラメータおよび期待性能

パラメータ名	多周波ステップ CPC 方式パラメータ	パルス圧縮方式パラメータ
送信周波数 f_0	24.1275GHz	24.15GHz
パルス帯域幅 b	5MHz	50MHz
位相切り替え間隔 T_{chip}	200ns	20ns
符号チップ数 P	16	16
パルス繰返し間隔 (PRI)	5.6μs	5.6μs
パルス数 (シーケンス数) M	512	16384
周波数ステップ幅 Δf	3MHz	-
周波数ステップ数 N	16	-
送信帯域幅 B	50MHz	50MHz
観測時間 T_{cpi}	91.75ms	91.75ms
A/D サンプリング周波数 f_s	180MHz	180MHz
A/D 前 LPF 通過帯域	0-10MHz	0-100MHz
距離分解能	3m	3m
速度分解能	0.241km/h	0.241km/h

表 2 に、両方式の実験をそれぞれ 50 回実施した結果をまとめる。多周波ステップ CPC 方式が S/N で 9.45 (dB) 優れていることが確認される。これは、従来法に比べて提案法が探知距離に換算して、1.72 倍優れていることに相当する。

表 2. 両方式による S/N の比較まとめ (50 データ)

	1m 補正後の S/N の平均 [dB]	標準偏差	BPF 換算後の S/N の平均[dB]
パルス圧縮方式	108.62	0.55	108.16
多周波ステップ CPC 方式	114.60	0.38	117.61

4. むすび

本稿では、多周波ステップ CPC 方式の探知距離性能について従来法(パルス圧縮方式)とシミュレーション、実験両者において比較検証した。多周波ステップ CPC 方式は従来法に比べ、送信帯域幅、観測時間(CPI)、送信ピーク電力、位相切り替えチップ数(符号長)、総パルス数を統一した条件において、S/N で 9.45 (dB) 優れており、探知距離性能が約 1.72 倍となる結果が得られた。

謝辞 本稿の研究内容は、総務省の委託研究「電波資源拡大のための研究開発(狭帯域・遠近両用高分解能小型レーダ技術の研究開発)」により実施されたものである。

参考文献

- [1] 渡辺, 秋田, 稲葉, “多周波ステップ CPC レーダの提案と原理検証実験”電気学会論文誌 C, Vol.135, No.3, pp.285-291, 2015.