

スパース多周波ランダムステップ CPC 方式の複数点目標に対する距離アンビギュイティ抑圧効果の統計的評価

B-2 Numerical Evaluation on Range-Ambiguity Mitigation to Multiple Point Targets for Multiple Sparse-Frequency Complementary Phase Code Modulation Radar

山田亮佑 木村徳典 秋田学 稲葉敬之

Ryosuke Yamada Tokunori Kimura Manabu Akita Takayuki Inaba

電気通信大学 知能機械工学科

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

1. まえがき

近年、車載レーダ向けミリ波帯の超広帯域化の法整備が推進されている。レーダの広帯域化は一般的に受信機雑音の増加に直結する問題を抱えている。この問題解決のアプローチとして筆者らが提案している多周波ステップ CPC 方式[1]は、時分割で送信周波数を切り替え、のちに周波数方向のサブバンド信号をコヒーレントに合成することにより狭受信帯域幅にて高距離分解能が得られる方式である。

以上の背景より、筆者らは受信帯域幅をさらに狭帯域化しつつ、送信帯域幅 4GHz を実現する一構成案として「スパース多周波ランダムステップ CPC 方式」を提案している[2]。本方式では、狭帯域化による周波数ステップ数の増加に対して、周波数ステップの周波数間隔をスパースとすることで観測時間を一定のもとパルス繰り返し数を確保する。また、圧縮センシング(Compressed Sensing, CS)を高分解能化ではなくスパースな周波数ステップにおける距離アンビギュイティ対策として適用することの特徴としている。

本稿では、CS による距離アンビギュイティ対策の有効性を計算機シミュレーションにより評価する。

2. スパース多周波ランダムステップ CPC 方式

図 1 にスパース多周波ランダムステップ CPC 方式の信号処理ブロック図を示す。なお、速度視野拡張のために、周波数ステップの送信順序をランダムにする方法[3]を採用する。送信シーケンスを図 2 に示す。

スパースな周波数ステップにおける距離方向のアンビギュイティ対策としての CS には Lasso-ADMM を用い、以下の評価式を解く。ただし、 $\| \cdot \|_p$ は p ノルムをあらわす。

$$\text{minimize } (1/2) \| Ax - y \|_2^2 + \lambda \| x \|_1 \quad (1)$$

ここで、 y : 観測信号ベクトル、 x : 推定距離ベクトル、 A : 辞書行列、 λ : ラグランジュ係数である。

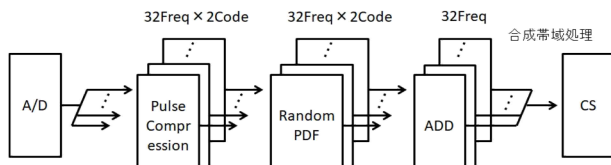


図 1 提案方式の信号処理ブロック図

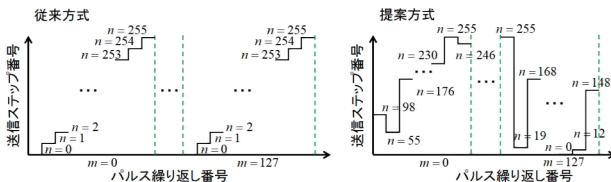


図 2 送信シーケンス(左:従来方式 右:提案方式)

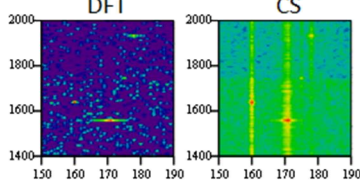


図 3 車両ジオメトリの RVM

縦軸: Rbin 横軸: Vbin
(左: DFT 右: CS)

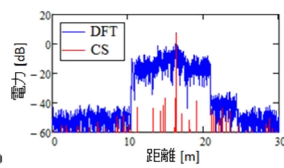


図 4 図 3 の RVM のピーク点における距離プロフィール
(青: DFT 赤: CS)

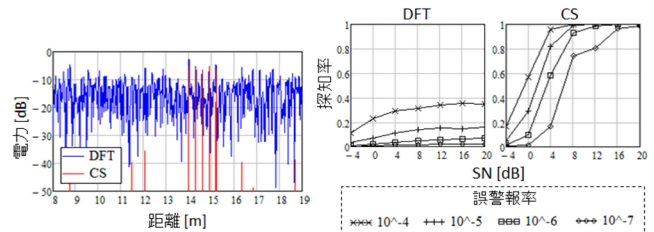


図 5 目標数 5 のときの距離プロフィール
(青: DFT, 赤: CS)

図 6 複数点目標において誤警報率を一定とした条件における探知率の SN 依存性(左: DFT, 右: CS)

3. 計算機シミュレーションによる評価

車両ジオメトリに対する評価及び複数点目標に対する統計評価を行った。目標の条件を表 1、多周波ステップ CPC のレーダパラメータを表 2 に示す。

図 3, 4 に車両ジオメトリに対する提案法の適用結果を示す。図 3, 4 の CS 結果より、距離方向のアンビギュイティが緩和され、大きさをもった目標においても本方式が有効であることが確認される。図 5 に複数点目標に対する提案法の適用結果、図 6 に複数点目標において誤警報率を一定とした条件における探知率の SN 依存性のグラフを示す。統計評価について、合成帯域処理時の SN を -4dB から 20dB まで 4dB 刻みで変化させ、スパースな周波数ステップ 4000 通りについて評価した。SN を 20dB、誤警報率を 10^{-6} とすると、DFT による探知率 0.072 に対し、CS による探知率は 0.996 という高い探知性能が得られた。

表 1 シミュレーションにおける目標条件

| 車両ジオメトリ | | 複数点目標 | |
|-------------|------------|-------|-----------|
| 縦幅/横幅 | 4m/1.7m | 目標数 | 5 |
| 目標座標(レーダ原点) | (-5m, 11m) | 目標距離差 | 0.3m |
| 目標速度 | 45 km/h | 目標速度 | 約 60 km/h |

表 2 多周波ステップ CPC レーダパラメータ

| | | | |
|-----------|-------------|--------|------------|
| 送信周波数 | 79GHz | 送信帯域幅 | 4GHz |
| 周波数ステップ幅 | 13.4MHz | 受信帯域幅 | 21.5MHz |
| 周波数ステップ数 | 32 | シーケンス数 | 128 |
| パルス繰り返し間隔 | 3.5 μ s | 全観測時間 | 約 28.9msec |

4. むすび

本稿では、スパース多周波ランダムステップ CPC 方式における CS による距離アンビギュイティ対策の有効性を示した。車両ジオメトリに対する評価により大きさをもった目標に対しても本方式が有効なことを示され、複数点目標に対する統計評価により CS の有効性が定量的に示された。今後は、同方式の有効性に関して一層信頼性を向上させるため、データ数を増して検討を行う予定である。

謝辞

本研究は総務省 SCOPE(受付番号 175003002)の委託を受けたものです。

参考文献

- [1] 渡辺優人, 秋田学, 稲葉敬之, 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
- [2] 稲葉敬之, 秋田学, 渡辺一宏, “狭受信機帯域による超広帯域コヒーレントレーダ技術”, 2017 年電子情報通信学会ソサイエティ大会
- [3] 太田裕也, 秋田学, 渡辺優人, 稲葉敬之 “広帯域多周波ステップ CPC レーダの実験的検証と速度視野改善”, 信学技報, vol. 117, no. 107, SANE2017-14, pp. 7-11, 2017 年 6 月