

圧縮センシングによるスパース多周波ランダムステップ CPC の距離アンビギュイティ抑圧効果の統計的評価

Numerical Evaluation on Range-Ambiguity Mitigation Using Compressive Sensing 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

自動運転システムの実現など政策的課題解決のために、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深刻な問題を抱えている。この重要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送信帯域幅と比較して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]。本方式は、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し、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を特徴としている。

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統計的に評価する。

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。本方式は、さらなる狭帯域化による周波数ステップ数の増加（すなわちパルス繰り返し数の低下）に対して、周波数ステップの間隔をスパースとすることでパルス繰り返し数の低下を緩和する。なお、速度視野拡張のために、周波数ステップの送信する順番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。

一方、周波数ステップの間隔をスパース化による距離方向のアンビギュイティ対策が課題となる。そこで、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、CS を適用する。ここでは CS に Lasso-ADMM を用い、以下の評価式の最小化問題を解くものとする。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。

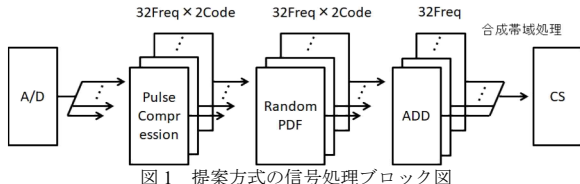


図 1 提案方式の信号処理ブロック図

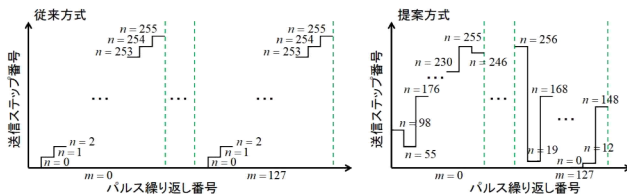


図 2 送信シーケンス (左: 従来方式 右: 提案方式)

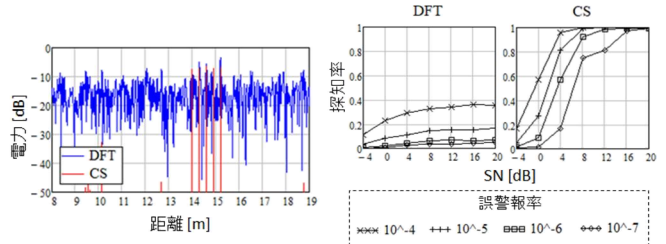


図 3 目標数 5, SN20dB のときの距離プロファイル (青: DFT, 赤: CS)

図 4 誤警報率を一定とした条件における検知率の SN 依存性 (左: DFT, 右: CS)

3. 計算機シミュレーションによる統計的評価

図 3 に本方式による距離プロファイルを示す。図 3 の CS 結果より、距離方向のアンビギュイティが緩和されていることが確認される。

誤警報率を一定とした条件における検知率について、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 3000 通りについて評価した結果を図 4 に示し、同シミュレーションで用いたレーダパラメータを表 1 に示す。合成帯域処理時の SN が 20dB のとき、誤警報率を 10^{-6} とすると、DFT による検知率が 0.072 であるのに対し、提案法による検知率は 0.996 となる。

表 1 多周波ステップ CPC レーダパラメータ

送信周波数	79GHz	周波数ステップ数	32
サンプリング周波数	43MHz	シーケンス数	128
受信帯域幅	21.5MHz	周波数ステップ幅	13.4MHz
送信帯域幅	4GHz	目標数	5
パルス繰り返し間隔	3.5 μ s	目標距離差	0.3m
全観測時間	28.67msec	目標速度	約 60km/h

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、周波数ステップ方向の DFT・CS の統計評価結果を示した。誤警報率を一定とした条件における検知率を DFT と比較することで CS の有効性がシミュレーションにより示された。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