

多周波ステップ CPC レーダにおける ELD-STAP の特性評価

A study on ELD-STAP for Stepped Multiple Frequency CPC Radar

横川 貴洋 稲葉 敬之
Takahiro Yokokawa 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

車載レーダでは複雑な電波環境において目標をより高信頼性にて検知するためにクラッタ (clutter) や干渉波 (jamming) などの不要波抑圧性能の向上が求められている。不要波抑圧技術の一つとして、アレーアンテナにて受信した空間方向と時間方向の二次元適応フィルタである STAP (Space-Time Adaptive Processing) が報告されている。筆者らは車載レーダを想定した前方監視 STAP 処理として、データベクトルの次元を削減することで STAP の課題である計算負荷軽減を可能とした ELD-STAP (Element Localized Doppler STAP) を提案している [1]。更に、筆者らは高距離分解能と遠距離性を両立する多周波ステップ CPC レーダを開発しており、実験的にも高い目標分離性能が得られることを確認している [2]。

本稿では多周波ステップ CPC レーダに対するクラッタ抑圧性能を従来のレーダ信号処理である PDF+MBF (Pulse Doppler Filter + Multi Beam Forming) と比較し、ELD-STAP の有効性を計算機シミュレーションにて検証する。

2. ELD-STAP

STAP では出力の SINR (信号対干渉波雑音) を評価関数とし、この評価関数を最大にすることで不要波の抑圧を行う。STAP の最適ウェイトベクトルは以下式で与えられる。

$$\mathbf{W}_k = \mathbf{R}_k^{-1} \mathbf{S}(f_{sp}, \tilde{f}_d) \quad (1)$$

\mathbf{R}_k は k 番目の距離セルにおける不要波の相関行列であり、 $\mathbf{R}_k = E[\mathbf{X}_k \mathbf{X}_k^H]$ ($E[\cdot]$ アンサンブル平均) は参照セルから求まる。 $\mathbf{S}(f_{sp}, \tilde{f}_d)$ は目標の時空間ステアリングベクトルを示し、 f_{sp} は空間周波数、 \tilde{f}_d は規格化ドップラ周波数である。STAP 出力 \mathbf{y}_k はデータベクトルにこのウェイトを乗算することで STAP 出力 \mathbf{y}_k が得られる。

ELD-STAP では STAP 適用の前処理として、パルス方向にフーリエ変換 (PDF) を行い、自速から推定されるクラッタのドップラ周波数拡がりに対応するドップラビンを選択し STAP 処理を適用することで計算負荷が軽減される。

3. 多周波ステップ CPC 方式

多周波ステップ CPC (Complementary Phase Code) 方式は、合成帯域方式と CPC 方式を複合した方式である。二つの相補符号のパルス圧縮結果の加算 (ADD) により距離サイドローブを抑圧し、パルス圧縮による距離ゲート化と合成帯域により、距離アンビギュイティなく狭受信機帯域にて高距離分解能が得られる変調方式である。図 1 に送信シーケンス、図 2 に信号処理ブロック図を示す。本稿では ADD 後と合成帯域後の出力に対して ELD-STAP を適用する。

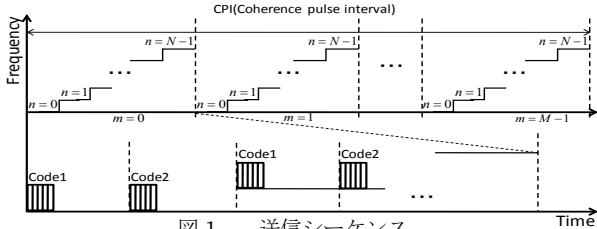


図 1. 送信シーケンス

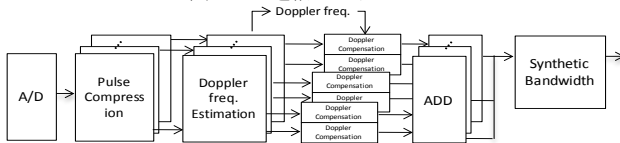


図 2. 信号処理ブロック

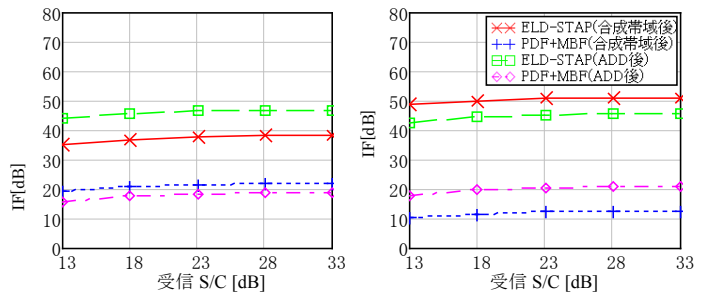
4. 計算機シミュレーション

計算機シミュレーションにて多周波ステップ CPC レーダに対する ELD-STAP の有効性を検証する。本シミュレーションにおける、レーダパラメータを表 1 に示す。また、目標条件に関して、自車速度 30km/h、目標相対速度 29km/h、目標角度 0deg、受信 S/N=-18dB、受信 C/N=0~20dB とした。クラッタ反射点は 0~200m の前方領域 ±20deg に 1 レンジビンあたり 41 個、振幅をレイリー分布とした。

表 1 多周波ステップ CPC レーダパラメータ

送信周波数	60.5GHz	周波数ステップ幅	60MHz
アンテナ数	4	周波数ステップ数:N	8
素子間隔	0.8λ (4mm)	送信帯域幅	500MHz
パルス帯域幅	80MHz	全観測時間	29msec
パルス幅	0.2μsec(30m)	最大距離視野	210.79m
符号長	16	距離分解能	0.117m
PRI	3.5μsec	最大速度視野	79.64km/h
パルス数:M	512	速度分解能	0.311km/h

評価指標として入出力 SC 比である IF (Improvement Factor) を用いる。図 3 に合成帯域後と ADD 後の出力に ELD-STAP と PDF+MBF を適用した際の各受信 S/C に対する IF を示す。図 3(a) より合成帯域後の ELD-STAP は PDF+MBF より約 16dB 高い IF となった。しかし、ELD-STAP の ADD 後の IF に対して合成帯域後の IF は約 9dB 劣化が見られた。この劣化の原因検証のため、周波数ステップに基づくドップラ周波数の変化を無くした際の IF を図 3(b) に示す。図 3(b) より ELD-STAP における合成帯域後の IF が 13dB 改善され、ADD 後と比較して 6dB 向上する結果が得られた。



(a) 周波数ステップあり

(b) 周波数ステップなし

図 3. ドップラ周波数項の周波数ステップの有無による IF 比較

5. むすび

多周波ステップ CPC レーダにおける ELD-STAP の有効性の検証を目的とし、計算機シミュレーションにて PDF+MBF とのクラッタ抑圧性能の比較を実施した。シミュレーションにて PDF+MBF よりも優れた抑圧性能を有することを示した。また、ELD-STAP 適用時の合成帯域後の IF が ADD 後に対して劣化が見られ、劣化の原因が周波数ステップに基づく、ドップラ周波数の変化であることを確認した。今後の課題として、この影響を緩和する信号処理アルゴリズムの検討が挙げられる。

参考文献

- [1] 稲葉敬之, 前方監視レーダのための Element-Localized Doppler STAP 法, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol J87-B, No.10, pp.1771-1783, 2004-10
- [2] Masato Watanabe, Takayuki Inaba, Hikaru Tsybota, Takahiro Yano, "Development of Millimeter wave Radar using Stepped Multiple Frequency Complementary Phase Code modulation", ICSANE2011-81, Oct.2011.