

# 多周波ステップ CPC レーダへの ELD-STAP の適用

## B-2 A study on Interference suppression using ELD-STAP for Multiple stepped CPC Radar

新田 大輔 稲葉 敬之  
Daisuke Nitta Takayuki Inaba

電気通信大学 電子工学科  
Department of Electronic Engineering The University of Electro-Communications

### 1. まえがき

車載レーダ等が普及するに従い干渉波対策が重要となる。筆者らは距離分解能性と遠距離性を両立する多周波ステップ CPC レーダを開発中であり、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[1]。本論文では次なる課題として他レーダによる直接波が干渉となる状況下において、上記レーダ出力信号へ時空間信号処理 ELD-STAP(Element Localized Doppler Space Time Adaptive Processing)[2])を適用し、電波暗室内での不要波抑圧実験を行ったので報告する。なおここでは、目標はコーナリフレクタとし、干渉源レーダとしては、現在車載ミリ波レーダとしてもっとも一般的である FMCW 波とした。

### 2. ELD-STAP

時空間信号処理(STAP)とは、空間方向と時間方向の二次元計測データを用いて、クラッタ(clutter)や干渉波(jamming)など不要波を抑圧する適応信号処理のことである。STAP では出力の SINR(信号対干渉雑音比)を評価関数とし、この評価関数の最大化を行うことで、不要波の抑圧を行う。STAP の最適ウエイトベクトルは以下式で与えられる。

$$W_k = R_k^{-1} S(f_{sp}, \tilde{f}_d) \quad (1)$$

$R_k$  は不要波の相関行列であり、参照セルから  $R_k = E[X_k X_k^H]$  ( $E[\cdot]$  アンサンブル平均)で求まる。 $S(f_{sp}, \tilde{f}_d)$  は目標の時空間ステアリングベクトルのことで、 $f_{sp}$  は空間周波数、 $\tilde{f}_d$  は規格化ドップラ周波数である。このウエイトを掛け合わせることで STAP 出力  $y_k$  が得られる。

$$y_k = W_k^H X_k \quad (2)$$

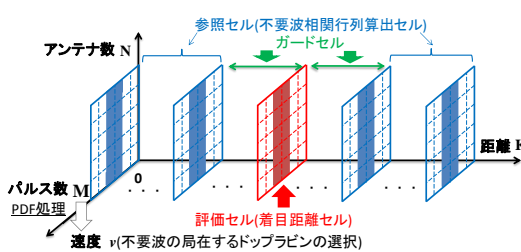


図1 ELD-STAP 概念図

図1に示すように、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、不要波の局在するドップラ周波数帯域に対応するドップラビンを選択し STAP 処理を適用する。

### 3. 実験的検証

車載レーダを想定し、対向車レーダ(FMCW)が干渉となる条件下での前方目標の検出を電波暗室にて行った。実験に用いた多周波ステップ CPC レーダパラメータ及びその期待性能を表1に示す。また、実験のセットアップ図を図2に示す。ELD-STAP を適用した、多周波ステップ CPC 信号処理出力の doppler-range 分布における信号対干渉波比(S/I)は約 44dB であった。なお、ELD-STAP 適用時の選択ドップラビン数は 8、参照セル範囲には目標からパルス幅分を除いた全レンジビンを用いた。

表1 多周波ステップ CPC レーダパラメータ・期待性能

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	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	29ms
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	512	速度分解能	0.311km/h

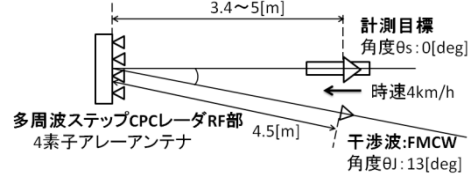


図2 実験セットアップ図

図3は ELD-STAP と従来法である PDF+MBF(Multi Beam Forming)の最大の電力に相当する最大レンジプロファイルである。なお電力は最大値で規格化した。距離 15~35m において、ELD-STAP は PDF+MBF より約 21dB の抑圧性能が得られた。また、図4は目標レンジビンにおける ELD-STAP は PDF+MBF 適用後の doppler-angle 分布、図5は目標速度ビンのビームパターンである。なお電力は最大値で規格化した。ELD-STAP は PDF+MBF より干渉波のヌルが目標よりも約 11dB 深く形成された。

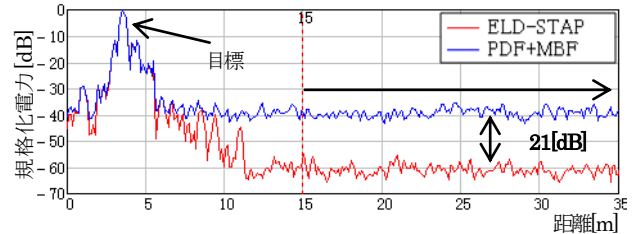


図3 最大レンジプロファイル

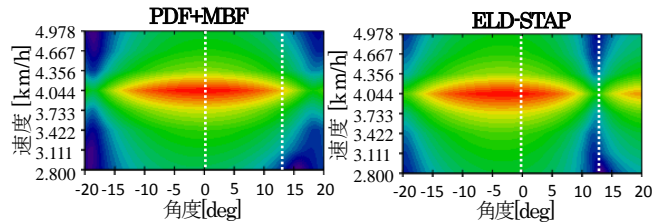


図4 目標レンジビンにおける doppler-angle 分布

(破線: 目標 0[deg], 干渉波 13[deg])

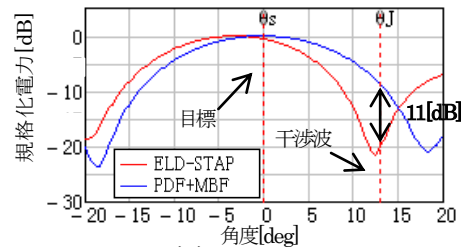


図5 目標速度ビンのビームパターン

### 4. むすび

多周波ステップ CPC レーダを用いた不要波抑圧実験を実施した。干渉波の存在する角度において ELD-STAP はヌルを形成し、従来法である PDF+MBF に対し約 11dB の差を確認した。また、距離方向には約 21dB の改善効果が得られた。本研究の一部は、鉄道・運輸機構 基礎研究制度(No.2009.02)により行われた。

#### 参考文献

- [1] 渡辺 優人, 稲葉 孝之, 坪田 光, 矢野 公広, Development of Millimeter wave Radar using Stepped Multiple Frequency Complementary Phase Code Modulation., 信学技報, SANE2011-81, 2011-10
- [2] 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