

不均質クラッタ環境下における ELD-STAP の性能評価

Evaluation of ELD-STAP Performance in Heterogeneous Clutter

深町 弘毅 稲葉 敬之
 Kouki Fukamachi 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

STAP(Space-Time Adaptive Processing)とはアレーアンテナで受信した空間方向と時間方向のレーダ受信信号に対し、不要波であるクラッタ(clutter)や干渉波(jamming)などの抑圧を行う二次元時空間適応フィルタである。特に、不要波(クラッタ)と目標の速度差が小さい場合の目標検出に有効である。一方、STAPにおける課題は、計算負荷の低減、および不均質クラッタ環境下での性能劣化である。筆者等は車載レーダを想定した前方監視STAP処理として、次元を削減し計算負荷を軽減するELD-STAP(Element Localized Doppler STAP)を提案している[1]。

一方、通常STAPの性能評価において、不要波相関行列を推定する際に距離ビン間でIID(Independent and Identically Distributed)条件を満たすと仮定する。しかし多くの現実のレーダ運用環境においてはIID条件を満たしていないと考えられる。そこで本稿ではIID条件を満たさない環境(すなわち不均質クラッタ環境(Heterogeneous))下におけるELD-STAP, JDL-STAP[2], および通常のレーダ信号処理であるPDF+MBF(Pulse Doppler Filter + Multi Beam Forming)の特性評価を実施し、ELD-STAPは他方式に比べ良いクラッタ抑圧性能を示し、また素子間のばらつきに対しても有効であることを示す。

2. ELD-STAP

STAP処理では不要波を抑圧する評価関数として信号対干渉雑音比(Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio: SINR)を考える。出力SINRを最大にするウェイトベクトルは以下ようになる。

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

R_k はデータベクトルの相関行列であり $R_k = E[X_k X_k^H]$ を満たし $E[\cdot]$ は期待値演算である。 $S_{s-t}(f_{sp}, \tilde{f}_d)$ は目標信号の時空間ステアリングベクトルと呼ばれ \tilde{f}_d はPRIで規格化ドップラ周波数 f_{sp} は空間周波数である。(1)式を用いてデータベクトルに乘算してアレー出力である $y_k = W_k^H X_k$ が得られる。

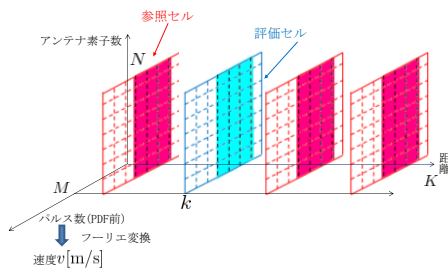


図1. ELD-STAPの測定データ

図1に示すようにELD-STAPは前処理として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広がりに対応するPDF出力のみを選択し、STAP処理を適用することでデータベクトルの削減となる。ELD-STAPの比較対象としてJDL-STAP(Joint Domain Localized STAP)を用いる。JDL-STAPは前処理としてパルス方向と素子方向にそれぞれFFT(PDF+MBF)を施し、Angle・Doppler空間に変換した後、その空間で複数の局所領域にSTAP処理を適用する。

3. 計算機シミュレーション

レーダパラメータとしては[1]と同様に、送信周波数76.5GHz、アンテナ素子数9、アンテナ素子間隔0.9λ、パルス繰り返し時間20μs、パルス数64、自速50km/h、目標速度45km/h、PDFによる速度分解能5km/h、前方覆域30deg、目標角度0deg、SN=20dBとした。また、簡単のために干渉波は省略した。Heterogeneous環境下は図2に示すようにある参照セル

ル内に路面反射点(レイリー分布)の他に強反射点を隣り合うように3点配置した(強レンジビン)。図3は1レンジビンのクラッタ反射点数を61,強レンジビン数を4,12としたときの各反射点(レイリー分布)の振幅の標準偏差に対する入出力S/CすなわちIF(Improvement Factor)である。

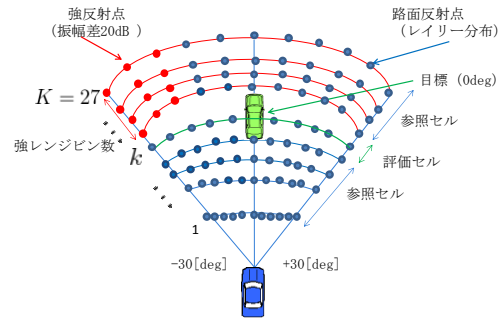


図2. Heterogeneous環境

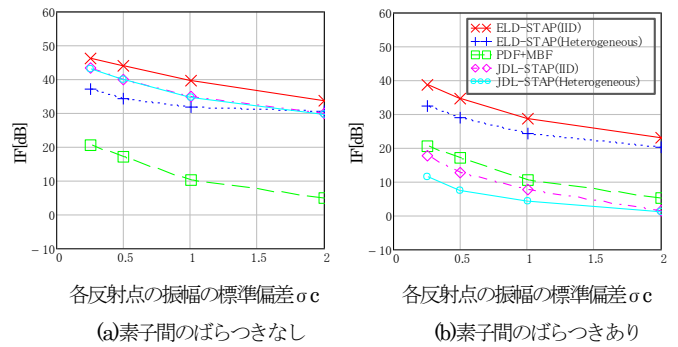


図3. 強レンジビン4におけるIF比較

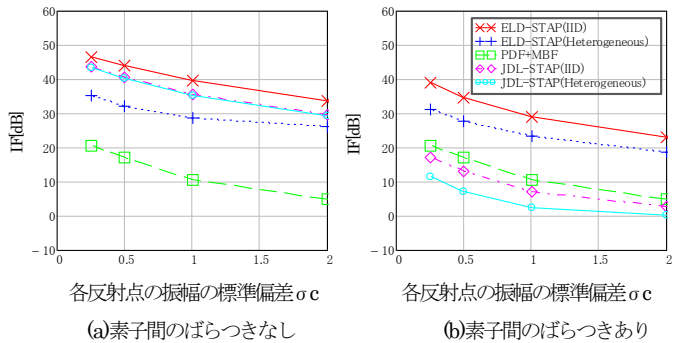


図4. 強レンジビン12におけるIF比較

ELD-STAPはHeterogeneous環境下においてIID条件に比べてIFが5dB~10dB程度下がるが、PDF+MBFより15~25dBほど大きい。また、素子間のばらつきに対してもJDL-STAPに比べてELD-STAPでは劣化が小さい。

4. むすび

ELD-STAPがHeterogeneous環境下でもPDF+MBFより良いクラッタ抑圧性能が得られることを示した。また、JDL-STAPと比較し素子間のばらつきに対しても有効であることを示した。

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, Oct. 2004.
- [2]R. S. Adve and M. C. Wicks, "Joint Domain Localized Processing using measured spatial steering vectors," IEEE National Radar Conference, pp. 165-170, Dallas TX, May 1998.