

多重散乱環境での単一素子を用いた 特異値分解による高分解能画像化技術

High-resolution imaging with a singular value decomposition for a single antenna in multi-path environments

阪本 卓也
Takuya Sakamoto

佐藤 亨
Toru Sato

京都大学大学院情報学研究科通信情報システム専攻
Dept. of Communications and Computer Eng., Kyoto University

1 はじめに

時間逆転法 (TR; Time Reversal) による電磁波散乱画像化技術は多くの応用を有する重要な技術である。TR 画像化では一般に複数素子の使用を想定している。我々は低コストの装置を実現するために単一素子のみによる TR 画像化法を提案してきた [1]。近年注目されている DORT は特異値分解を利用して TR の高分解能化を実現する技術である。DORT は複数素子を想定し、空間-空間行列 [2] や空間-周波数行列 [3] を特異値分解して画像化を行う。しかし単一素子システムでは空間方向の自由度がなく、従来の DORT 技術が使用できない。本稿では従来の DORT を拡張した TR 画像化法を提案する。

2 システムモデル

本システムでは送信信号としてモノサイクルパルスを仮定し、距離を中心波長で正規化する。二次元問題を想定し、点状目標 $P(2.0, 2.5)$ および無限平板完全導体 $W(y = 0)$ および送受信素子 $T_x/R_x(0.0, 3.0)$ を仮定する。グリーン関数にはハンケル関数を用い、散乱波を計算する。目標 P の無い場合の測定を行い、平板 W からの散乱波形を受信信号から差し引き、受信信号 $s(t)$ を得る。多重散乱数 $P = 3$ および目標数 $K = 1$ を仮定する。

3 提案する拡張 DORT 法および適用例

周波数領域の信号 $S(\omega)$ の $\omega_1, \dots, \omega_N$ における値を S_1, \dots, S_N とする。細周波数-粗周波数行列 K_{FF} を次式で定義する。

$$K_{FF} = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 & \cdots & S_L \\ S_{L+1} & S_{L+2} & \cdots & S_{2L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{N-L+1} & S_{N-L+2} & \cdots & S_N \end{bmatrix} \quad (1)$$

K_{FF} は行および列方向にそれぞれ細かい、粗い周波数変化を示す。 $N = L^2 = 100$ とする。 K_{FF} 生成には信号の中心周波数の 0.58 から 2.25 までの成分を用いる。まず、 K_{FF} を特異値分解により $K_{FF} = U\Sigma V^H$ と分解する。 Σ は対角成分に特異値を有する。従来の DORT と同様に、特異値のうち小さい $L - PK = 7$ 個を選び、これに対応する左および右特異ベクトル $u_{PK+1} \cdots u_N$ および $v_{PK+1} \cdots v_N$ を選択する。まず左特異ベクトルに

より、画像 I_L を得る。

$$I_L(x) = \left(\sum_{i=PK+1}^L \sum_{p=1}^P |u_i^H g_p(x)|^2 / |g_p(x)|^2 \right)^{-1} \quad (2)$$

ここで g_p は L 次元ベクトルであり、各要素は p 番目の伝搬経路のグリーン関数の $\omega_1, \omega_{L+1}, \dots, \omega_{N-L+1}$ における値である。同様に右特異ベクトルから画像 $I_R(x)$ を得た上でこれらの画像の積 $I_{DORT}(x) = I_L(x)I_R(x)$ を最終的な推定画像とする。

従来の TR 法 [1] による推定画像を図 1 に、提案する拡張 DORT による推定画像を図 2 に示す。提案法により点目標の像が高い分解能で得られることがわかる。

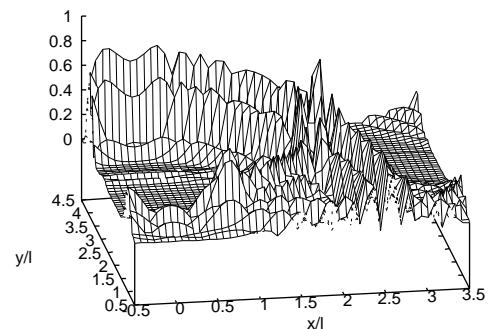


図 1 従来の TR 画像

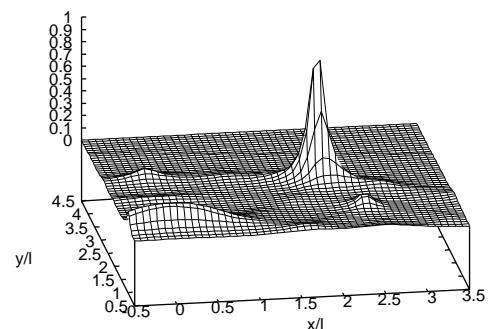


図 2 提案する拡張 DORT 法による TR 画像

参考文献

- [1] 北村 堯之, 他, 信学会総大, C-1-9, Mar. 2008.
- [2] A. J. Devaney, IEEE Trans. Ant. & Propagat., vol. 53, no. 5, May 2005.
- [3] M. E. Yavuz and F. L. Teixeira, IEEE Trans. Geo. & Remote Sens., vol. 46, no. 4, Apr. 2008.