

時間領域ノッチフィルタを併用した改良型 Root-MUSIC アルゴリズム

A Modified Root-MUSIC Algorithm with A Time-domain Notch Filter

山田 寛喜

山口 芳雄

仙石 正和

Hiroyoshi YAMADA

Yoshio YAMAGUCHI

Masakazu SENGOKU

新潟大学 工学部

Faculty of Engineering, Niigata University

1. まえがき 高周波散乱測定, マルチパス伝搬測定の一手法として, 近年スーパーレゾリューション法の適用例が数多く報告されている. 周波数データに対する適用では, 主に遅延時間(散乱中心)の高分解能検出を目的としたものが多いが, 複雑な伝搬環境の推定時には, 遅延時間以外の情報も利用した伝搬路の特定が不可欠となるものと考えられる. 本稿では遅延時間のみならず各散乱波の周波数特性の推定をも可能とするアルゴリズムである改良型 Root-MUSIC アルゴリズム⁽¹⁾に着目し, その周波数特性推定精度の向上のための一手法として, 時間領域ノッチフィルタリングに基づく入射信号数の制限が有効であることを明らかにしている.

2. ノッチフィルタリング Root-MUSIC 法 d 個の入射信号が存在する次のような周波数領域での測定データ:

$$r(f_i) = \sum_{j=1}^d s_j W^{(j)}(f_i) e^{-j2\pi f_i t_j} + n(f_i) \quad (1)$$

を考える. ここで, $W^{(j)}(f)$ は j 番目の信号の周波数特性を表す係数, $n(f)$ は雑音である. 改良型 Root-MUSIC は式(1)に対して $r(f_i)/W_i(\alpha)$ という変換を施し, $W_i(\alpha)$ を変化させ計算を繰り返す手法である. この手法においても信号相関抑圧処理として空間スムージング法(SSP)が用いられるが, 指数関数的な周波数特性をもたない信号が含まれる場合には, 大きな推定誤差が現れることがある. そこで改良型 Root-MUSIC 法において, SSPされた後の $N \times N$ データ相関行列 R_{SSP} に対して特定の入射波(ここでは1波とする)のみを取り出し他の信号を抑圧するフィルタリング操作を施す. このようなフィルタリング行列 G は, I を単位行列, C を抑圧する信号のモードベクトルを列とする行列として次式で求められる.

$$G = I - C(C^H C)^{-1} C^H \quad (2)$$

ここで H は複素共役転置である. 通常, 遅延時間情報は Root-MUSIC などで得られた値を近似値として用いる. さて, G のランクは $N - d + 1$ であるため, 実際には非零の固有値を有する固有ベクトルを列とする行列 B を作り, それを用いて以下のような計算を行えばよい.

$$\tilde{R}_{SSP} = B^H R_{SSP} B$$

これよりターゲットとする信号成分以外が抑圧された相関行列が得られる. \tilde{R}_{SSP} に対して一般化固有値解析を行い, さらに, B による変換を考慮した評価多項式の根⁽²⁾を求めることにより, ターゲット信号の周波数特性が推定される.

3. 実験結果 実験はネットワークアナライザにより構成された quasi-Monostatic RCS 測定システムを用い, 電波無響室内で行われた. ターゲットは $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ の導体矩形板とし, 図1に示す水平偏波を入射平面波とした. ここで入射角度 ϕ は 60° である. この場合3つの主要な局所散乱波が存在し, 各々の波の遅延時間の理論値はそれぞれ, -0.5ns , 0.5ns , 1.0ns , また, 周波数特性は $W_i(\alpha) = (1/f_i)^\alpha$ で近似

され, α はそれぞれ, 0.0 , 0.0 , 0.5 と表される. 従来の改良型 Root-MUSIC 法, および本稿で提案しているフィルタを併用した改良型 Root-MUSIC 法による推定結果を図2に示した. 図の横軸の α は前出の改良型 Root-MUSIC における重み関数 $W_i(\alpha)$ での α の値であり, 縦軸は信号共役根の距離である(零時が z 平面の単位円上に相当). 極小時の α による $W_i(\alpha)$ が, その信号の周波数特性推定結果となる. 使用した周波数帯域は共に $5.0 \sim 6.65\text{GHz}$ ($\Delta f = 50\text{MHz}$), 推定時のパラメータ⁽¹⁾は $N=20$, $M=15$, $d=4$ である. 改良型 Root-MUSIC 法(点線)では #2, #3 の散乱波の周波数特性が推定区間内では検出されていない. 遅延時間推定値はそれぞれ, -0.525ns , 0.474ns , 1.121ns である. これらの遅延時間推定値を用いたフィルタリングの併用結果(同図点線)では全ての信号の α の推定値がほぼ良好に検出可能であった.

4. むすび 時間領域ノッチフィルタリングを併用することにより改良型 Root-MUSIC 法の周波数特性推定精度の改善が可能であることを実験により明らかにした.

文献 (1) A. Moghaddar, et al., *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol.42, no.10, pp.1412-1418, Oct.1994.

(2) M.D.Zoltowski, et al., *IEEE Trans. Signal Processing.*, vol.41, no.1, pp.344-364, Jan.1993.

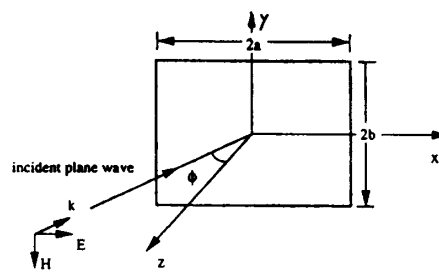


図1. 導体矩形板と入射平面波.

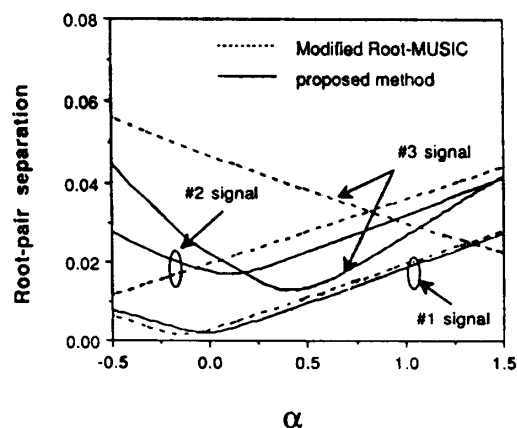


図2. 改良型 Root-MUSIC 法および時間領域ノッチフィルタリングを併用した改良型 Root-MUSIC 法による周波数特性推定結果.