

B-1-11

改良型 MODE 法による高分解能信号パラメータ推定

High-resolution signal parameter estimation using a modified MODE method

山田 寛喜

山口 芳雄

Hiroyoshi YAMADA

Yoshio YAMAGUCHI

新潟大学 工学部

Faculty of Engineering, Niigata University

1. まえがき 近年, MUSIC 法, ESPRIT 法などのスーパーレゾリューション法が狭帯域掃引周波数データでの伝搬遅延時間推定など数多くの分野に応用され, 改良型 Root-MUSIC 法^[1]による各入射波の周波数特性の推定など, 他の信号パラメータの推定も可能とする拡張が試みられている. 一般に, これらの手法ではコヒーレント波を取り扱うことが不可能なため, 空間スムージング法 (SSP) などの相関抑圧前処理が併用される. 任意の周波数特性を持つ入射波の場合, SSP 適用の際に誤差が生ずるため, 周波数に対する変化の大きな信号への適用が困難であり, 高精度な推定を実現するためにはフィルタの適用などが必要となる^[2]. そこで, 本稿では SSP を用いることなくコヒーレント波の分離検出を可能とする MODE (Method of Direction Estimation) 法^[3]に対して改良型 Root-MUSIC 法で用いられた重み関数の概念を導入し, 遅延時間, 周波数特性推定を可能とした改良型 MODE 法を提案し, 数値計算により, その有効性に関して検討する.

2. 改良型 MODE 法 MODE 法は, 信号パラメータに関する尤度関数から導かれる以下の式に基づく推定法である^[3].

$$F(\mathbf{b}) = \arg \min_{\mathbf{b}} \text{Tr}[(\mathbf{E}_s^H \mathbf{B})(\mathbf{B}^H \mathbf{B})^{-1}(\mathbf{B}^H \mathbf{E}_s) \mathbf{R}] \quad (1)$$

ここで, \mathbf{b} は $e^{-j2\pi\Delta f t_i}$ (t_i は各入射波の遅延時間) に根を有する多項式の係数を要素とするベクトル. \mathbf{R} , \mathbf{E}_s はデータ相関行列および信号固有ベクトルを列とする行列, また, \mathbf{B} は \mathbf{b} から構成された信号部分空間の補空間 (雑音部分空間) 行列である. この手法は入射信号数が既知であれば, コヒーレントな入射波に対しても正しく動作するという特徴を有する. この種の最尤推定型のスーパーレゾリューション法では解を収束させるための反復計算を必要とするものが多いが, MODE 法では本質的に反復計算の必要が無く, その計算量も Root-MUSIC 法とほぼ同程度となる.

文献 [3] では, 入射波は周波数特性を持たないという拘束 (\mathbf{b} に関する拘束) のもとで方程式を導出しているが, ここでは周波数特性の検出も可能となるよう, 緩やかな拘束条件 ($b_1 = 1$) から方程式を構築した. 更に, 改良型 Root-MUSIC 法において用いられている重み関数の概念を信号部分空間に対して適用し, 重み関数の変化による根の軌跡の変化から個々の入射波の周波数特性と一致した関数を推定する改良型 MODE 法を開発した.

3. 数値計算結果 改良型 MODE 法の動作特性を確認するため, ここでは2つの数値計算結果 (雑音なし) を示す. 各場合とも入射信号数は既知とし解析を行っている. またデータはネットワークアナライザ等の測定を想定し全て各信号はコヒーレントである. 各推定結果は改良型 Root-MUSIC 法における表示法と同様に, 検出された信号根と, その共役ペア根との距離として表示している. 図1は第1波に $f^{-1/2}$, 第2波に f^{-1} の振幅周波数特性を持たせたデータにおける適用結果である. 各入射波の遅延時間は 1ns, 2ns である. 図

の横軸は重み関数を $f^{-\alpha}$ とした場合のパラメータ α である. 各入射波とも信号の周波数特性に一致した α で根の距離が最小となり, 正確な推定が実現されていることが分る. 位相に周波数 (分散) 特性を有する波の推定として, 円形導波管を伝搬する波に相当する信号を含めた推定例を図2に示す. ここでは, 第1波は周波数特性を持たない入射波とし, 第2波は終端を短絡した半径 8mm, 長さ 20cm の円形導波管の入力端において観測される TE_{11} 波とした. 各入射波の遅延時間は 1ns, 約 2.5ns である. 図は半径を既知とした導波管内の伝搬関数を重み関数とし, 長さを未知パラメータ α として表している. 同図では SSP 等を併用した手法とは異なり, 直線状の変化を示すグラフが得られている. これは従来法では実現が困難であった理想的な変化である. しかしながら, 本手法においても推定値には若干の誤差がみられる. これは根の導出時の近似によるものであり, この点には更なる改良が必要である.

4. むすび 周波数に関する重み付けを導入した改良型 MODE 法を提案し, 数値計算により, 振幅, 位相に関して周波数特性の推定が可能となることを確認した.

文献 [1] A. Moghaddar, et al., IEEE Trans. Antennas & Propagat., vol.42, no.10, pp.1412-1418, Oct.1994.

[2] H. Yamada, et al., IEICE Trans. Commun., vol.E79-B, no.4, pp.595-601, Apr.1996. [3] P. Stoica, et al., IEE Proc. vol.137, Pt.F, no.1, pp.19-26. .

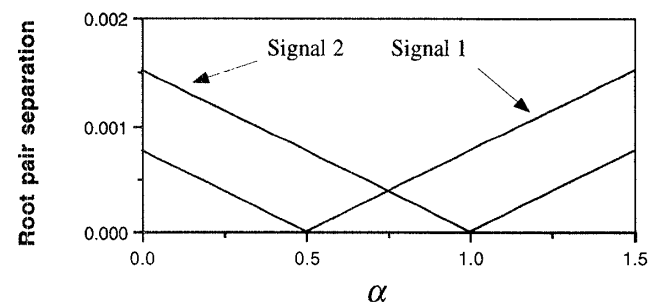


図1. 改良型 MODE 法による振幅周波数特性推定結果. 使用周波数帯域 13~13.09GHz, サンプル周波数点数 10 点.

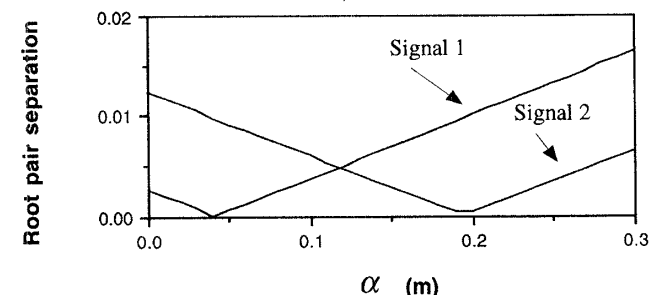


図2. 改良型 MODE 法による振幅周波数特性推定結果. 使用周波数帯域 13~13.09GHz, サンプル周波数点数 10 点.