B-1-17

MODE法による高分解能伝搬遅延時間推定

High-resolution time-delay estimation using a MODE method

板羽 直人　山田 寛喜　山口 芳雄
Naoto ITABA　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ている．しかし，これらの手法ではコヒーレント波を直接取り扱うことができないため，空間スムーズィング法 (SSP) 等の相関抑圧前処理が不可欠となる．SSPを適用すると，サブアレー数が推定可能な信号数となるため，サブアレー数を適切に選ぶ必要がある．この問題点を回避するため，本稿ではSSPを適用せずにコヒーレント波の解析が可能なMODE (Metohd Of Direction Estimation) 法[1]を用いて入射波の伝搬遅延時間推定を試みる．ここでは，データをサブアレー化することなく推定が行え，更に，Root-MUSIC法[2]よりも若干推定精度が良いことを明らかにしている．また，文献[1]ではz平面の単位円周上に根が存在するという拘束条件を与えているが，この条件を用いないで実際の入射信号数よりも推定信号数を多く仮定した場合において，信号根とスプリアス根との識別が容易となることを示す．

2.MODE法 MODE法は，以下に示す尤度関数$F(\boldsymbol{b})$を最小にするベクトル$\boldsymbol{b}$を求め，その$\boldsymbol{b}$の各要素を係数とする多項式の根の偏角より，入射波の遅延時間を推定する．

$$F(\boldsymbol{b}) = Tr[(\boldsymbol{E_S}^H\boldsymbol{B})(\boldsymbol{B}^H\boldsymbol{B})^{-1}(\boldsymbol{B}^H\boldsymbol{E}_S)[\Lambda_S - \sigma^2\boldsymbol{I}]] \quad (1)$$

ここで，$\boldsymbol{E}_S$，$\boldsymbol{\Lambda}_S$は，信号固有ベクトルを列とする行列，及び，それに対応する固有値からなる対角行列，また，$\boldsymbol{B}$，σ^2は，$\boldsymbol{b}$から構成された雑音部分空間行列，及び，雑音固有値である．文献[1]では，ベクトル$\boldsymbol{b}$の各要素に根が単位円周上に現れるという拘束条件を与えている．本稿では，信号数の推定値に誤差がある場合の影響を考慮し，この拘束条件を用いずに信号根を導くことにする．

3. 数値計算結果 MODE法がSSPを用いずにコヒーレント波の解析が可能であることを数値計算により確認するため，伝搬遅延時間が0ns，2ns，SNR=40dBの2波から構成されるデータの遅延時間推定を行う．また，拘束条件を用いないことの利点も明らかにするため，拘束条件を用いた手法と用いなかった手法との比較も示す．解析パラメータは両手法とも，使用周波数帯域15GHz～15.3GHz，サンプルポイント数11点，推定信号数5とした．これは，実際の入射信号数よりも推定信号数を多く仮定した場合である．更に，Root-MUSIC法での解析も行い，前述の手法との推定精度の比較も行っている．なお，解析パラメータは，使用周波数帯域15GHz～15.3GHz，サンプルポイント数10点，サブアレー数2，推定信号数5としている．表1に各手法で推定された遅延時間，図1に横軸を遅延時間，縦軸を次式から求められる値としたグラフを示す．

$$Magnitude(i) = -10\log_{10}|z_i - 1/z^*{}_i| \quad (2)$$

ここで，z_iはz平面上に現れる根であり，$1/z^*{}_i$は単位円の外側に存在するペア根である．つまり，式(2)は，根が単位円周上に近いほど大きな値となり，根が単位円周上に存在するときは発散する．表1より全ての手法とも，ほぼ0ns,2nsの遅延時間を持つ信号(表1○印)が推定されている．この2波の推定精度はMODE法の方が若干Root-MUSIC法よりも良いことが分かる．図1より拘束条件付きのMODE法では，全ての根が単位円周上に存在するため信号根とスプリアス根(表1×印)との識別が不可能となっているが，拘束条件を用いなかったMODE法とRoot-MUSIC法では，信号根は単位円の近傍に存在するためスプリアス根との識別が容易に行えることが分かる．これらの結果より，拘束条件を用いないMODE法は，SSPの必要がない点に加え，信号根とスプリアス根との識別が容易であるという利点も有していることが明らかとなった．サブアレー化する手法での最大分離可能信号数は，サブアレーデータ点数−1となるが，MODE法では，全データ点数−1である点も利点として挙げられる．

4. むすび MODE法を用いることでSSPを適用せずに，コヒーレント波の解析が可能であることを示した．更に，拘束条件を用いないことで，信号数が未知の場合にも対応できることを明らかにした．

参考文献 [1] P.Stoica, et al., IEE Proc. vol.137, Pt.F, no.1,pp.19-26, Feb. 1990. [2] B.D.Rao, et al., IEEE Trans. Antennas and Propagat., vol.37, no.12, pp.1939-1949, Dec. 1989.

表1 各手法における伝搬遅延時間の推定結果 (ns)

	unconstrained MODE	constrained MODE	Root-MUSIC
○#1	0.022	-0.004	0.060
○#2	1.997	1.989	1.936
×#3	-7.869	-8.403	14.838
×#4	15.638	15.747	10.158
×#5	9.639	9.477	6.067

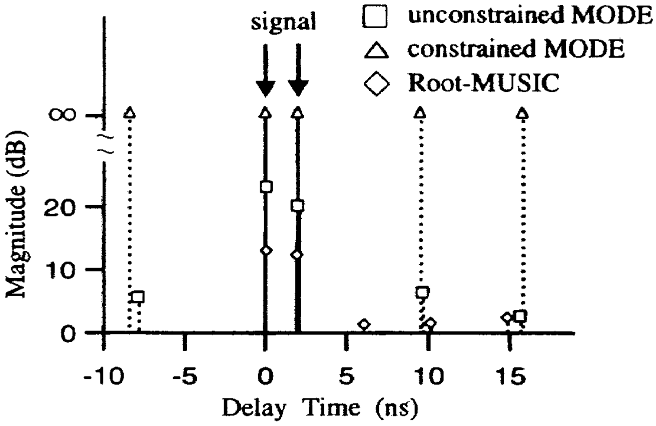

図1 推定された根の大きさと伝搬遅延時間