

# MODE 法と RBF ニューラルネットワークを用いた DOA/TOA 推定 Consideration on Signal Processing of the Radar Using MODE and RBF Neural Network

橋本康史  
Hashimoto Yasushi

桑原義彦  
Kuwahara Yoshihiko

静岡大学大学院理工学研究科  
Graduate School of Science and Technologies, Shizuoka University

## 1. はじめに

MODE 法[1]と RBF ニューラルネットワーク[2]を広帯域信号に適用し、高精度・高分解能で TOA(Time of Arrival)と DOA(Time of Arrival)が推定できる方法を提案する。本手法は素子間結合の影響を受けることなく波数や到来方向が推定できる。

## 2. 到来方向・遅延時間推定アルゴリズム

広帯域信号を送信アンテナから送信し、N 個の受信アンテナで目標の反射波  $u_1(t), \dots, u_N(t)$  を受信し、素子ごとに M 個の離散スペクトル  $X_1(f_m), \dots, X_N(f_m), m=1, \dots, M$  に変換する。入射波数を L とし、その到来方向を  $\theta_i, \phi_i$  で表すと、離散スペクトル  $X_n=[x_n(f_1) \dots x_n(f_M)]^T$  は、 $A=[a(\tau_1), \dots, a(\tau_L)]^T$  を遅延時間行列 (ただし  $a(\tau_i)=[\exp(-j\omega_1\tau_i) \dots \exp(-j\omega_M\tau_i)]^T$ )、 $\Phi_n=\text{diag}\{\psi(\theta_1, \phi_1), \dots, \psi(\theta_L, \phi_L)\}$  を到来方向行列 ( $\psi(\theta_i, \phi_i)$  はアレー素子の応答)、 $F=[F_1, \dots, F_L]^T$  を複素振幅ベクトル、 $W_n=[w_n(f_1) \dots w_n(f_M)]^T$  を雑音ベクトルと表記すれば次の(1)式で表される。

$$X_n = A\Phi_n F + W_n \quad (1)$$

素子ごとの自己相関行列はつぎの(2)式で表される。

$$S_n = E[X_n X_n^H] = A\Phi_n P\Phi_n^H A^H + \sigma^2 S_0 \quad (2)$$

$\sigma^2$  は内部雑音電力、 $S_0$  は雑音相関行列である。素子ごとの自己相関行列を平均  $S = (S_1 + \dots + S_N)$  した後固有値分解し、AIC または MDL 基準[3]で到来波数を推定する。スペクトル間ではアレーアンテナで問題となる電磁結合問題が発生しないので AIC や MDL 基準で正確に到来波数が推定できる。推定した相関行列に MODE 法を適用し遅延時間を推定する。図 1 は帯域幅 300MHz の BPSK 信号について 20MHz おきの離散スペクトルを用いて 10ns 離れた 2 波の TOA を推定したスペクトルである。MODE は MUSIC 法に比較し分解能が高いことが判る。遅延時間が推定できれば次の式から信号相関行列 P が求まる。

$$P = (A^H S_0^{-1} A)^{-1} A^H S_0^{-1} (S - \lambda_{\min} S_0) S_0^{-1} A (A^H S_0^{-1} A)^{-1} \quad (3)$$

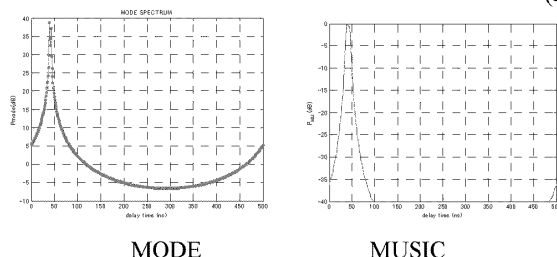


図 1 TOA 推定結果

文献[4]では各アンテナでの離散スペクトル間の相互相関

$$Y_{ij} = E[X_i X_j^H] = A\Phi_i P\Phi_j^H A^H \quad (4)$$

を求め、先に推定した遅延時間から遅延時間行列 A を決定した後、次の逆行列演算

$$(A^H A)^{-1} A^H Y_{ij} A (A^H A)^{-1} = \Phi_i P\Phi_j^H \quad (5)$$

を  ${}_N C_2$  の組み合わせについて計算し、連立方程式を作成し解析的に  $\theta_i, \phi_i$  を求めている。しかし、この方法では素子間電磁結合の影響が考慮されておらず、到来方向の推定精度や分解能は劣化する。

RBF ニューラルネットワークは入力ベクトルを高次元空間に投影して非線形補間問題を解く。RBF ニューラルネットワークを用いると素子間電磁結合や受信機伝送特性のばらつきにロバストな到来方向推定が可能で超分解能も有する。しかし、推定するパラメータの数が定まらなるとネットワーク構造が定まらないので入射波数が既知でなければならない。広帯域信号を用いれば固有値分解法に AIC, MDL を組み合わせることで到来波数が定まる。そこで、あらかじめ数種類のネットワーク構造を準備し、到来波数の予測結果に従って使用するネットワーク構造を決定する。ネットワークには(5)式の対角項を縦に並べた列ベクトルを入力する。ネットワークは予め想定される検知範囲のパラメータを用いて学習を行う。

## 3. シミュレーション

半径 0.2887λ のダイポールを用いた 3 素子円形アレーを用い  $\theta=90^\circ$ ,  $\phi=0\sim 350^\circ$  の  $10^\circ$  間隔で到来する入射波の受信信号から(5)式を計算してネットワークを学習させ、 $\phi=5\sim 355^\circ$  の  $10^\circ$  間隔で到来する。帯域幅 300MHz の BPSK 信号を発生させ SNR=30dB で TOA と DOA を推定させた。TOA 推定誤差は 1ns 以下、DOA 推定の平均 2 乗誤差は  $2^\circ$  であった。なお文献[4]の方法では素子間電磁結合があるので DOA 推定の平均 2 乗誤差は  $6^\circ$  以上となる。

## 4. まとめ

素子間結合の影響を受けにくい TOA/DOA 同時推定法を提案した。

### 文献

- [1] P.Stoica et al, "Novel eigenanalysis method for direction estimation," IEE Proc. Vol.137(F), No.1, pp.19-26,1990.
- [2] S.Haykin, "Advances in Spectrum Analysis and Array Processing," Prentice Hall, 1995.
- [3] M.Wax et. Al, "Detection of Signals by Information Theoretic Criteria," IEEE Trans. Vol. ASSP33, No.2, pp.387-392, 1985.
- [4] 中原他, "FFT-MUSIC 法と正三角形アレーを用いた準ミリ波屋内多重派の伝播遅延時間および到来方向の同時推定," 信学技報 AP95-120, 1995.