

## エスパアンテナを用いた CUBA-MUSIC 法によるコヒーレント波の到来方向推定

DOA Estimation of Coherent Signals with CUBA-MUSIC Using ESPAR Antenna

B-1-271 小川 佳彦<sup>1</sup> 平田 明史<sup>1</sup> 山田 寛喜<sup>1,2</sup> 大平 孝<sup>1</sup>

Yoshihiko Ogawa Akifumi HIRATA Hiroyoshi YAMADA Takashi OHIRA

<sup>1</sup>ATR 適応コミュニケーション研究所 ATR Adaptive Communications Research Laboratories<sup>2</sup>新潟大学工学部 Faculty of Engineering, Niigata University

## 1. まえがき

近年, 7 素子円形配列エスパアンテナによるコヒーレント波到来方向推定法を報告した[1]。しかし, この方法は 7 素子に限定されコヒーレント 3 波までの推定にとどまる。一方, CUBA (Circular Uniform Beam Arrays)-MUSIC 法[2][3]は素子数を増やすにつれて推定可能波数も増加する。またエスパアンテナは素子数にかかわらず RF 出力が 1 系統のみであるため, 素子数を増やしても従来と同じ回路規模で CUBA 法を適用することができる。そこで本報告では 13 素子エスパアンテナを用いた CUBA-MUSIC 法によりコヒーレント 4 波の到来方向推定が可能であることを示す。

## 2. CUBA-MUSIC 法

素子数  $N$  の円アレーにおける CUBA 法では, 主ビームの方向を  $\theta_0 (= 2\pi/N)$  ずつ変えて信号を受信する。ここで, ビームパターンを  $b(\theta)$  とすると, 複素振幅  $s_i$ , 方向  $\theta_i$  から到来している信号を各ビームで受信したとき得られる値は,

$$b_i(n\theta_0) = s_i b(n\theta_0 - \theta_i) \quad (n=0, 1, \dots, N-1) \quad (1)$$

と表すことができる。  $b(\theta)$  は  $2\pi$  を周期とする周期関数であるため, その離散フーリエ変換を  $B(l s_0)$  とすると, 式 (1) の離散フーリエ変換は,

$$B_i(l s_0) = s_i B(l s_0) \exp(-j l \theta_i) \quad (s_0 = \frac{1}{2\pi}) \quad (2)$$

となる。式 (2) の両辺を  $B(l s_0)$  で規格化し,  $l=0 \sim L-1$  の  $L$  個の要素をベクトル化したものは信号が D 波到来しているものとする,

$$\mathbf{x} = \sum_{i=1}^D s_i \mathbf{v}(\theta_i) + \mathbf{n} \quad (3)$$

$$\mathbf{v}(\theta) = [1, \exp(-j\theta), \dots, \exp(-j(L-1)\theta)]^T \quad (4)$$

となる。但し,  $\mathbf{n}$  は雑音ベクトルに関する項, 添字 T は転置を表す。式 (3) に MUSIC を適用するものが CUBA-MUSIC である。モードベクトル  $\mathbf{v}(\theta)$  の各要素間では  $\theta$  だけ位相が変化している。従って,  $\mathbf{x}$  はサブアレー化が可能であり, SSP を用いてコヒーレントな信号の分離ができる。

## 3. エスパアンテナによる指向性ビームパターン形成

エスパアンテナの指向性ビームは  $b(\theta) = \mathbf{w}^T \mathbf{a}(\theta)$  で与えられる。  $\mathbf{w}$  は等価ウエイトベクトル,  $\mathbf{a}(\theta)$  はモードベクトルであり, 等価ウエイトベクトルはバラクタダイオードのリアクタンス  $x$  の関数として導出されている[4]。

$$\mathbf{w} = 2z_s (\mathbf{Z} + \text{diag}[z_s, jx_1, jx_2, \dots, jx_N])^{-1} \mathbf{u}_0 \quad (7)$$

ここで,  $\mathbf{Z}$  は素子間結合を考慮したインピーダンス行列,  $z_s$  はエスパアンテナの内部インピーダンス,  $\mathbf{u}_0$  は  $[1, 0, 0, \dots, 0, 0]^T$  で表される単位ベクトルである。図 1 に

0 度方向に指向性をもつ 13 素子エスパアンテナのビームパターンを示す。

## 4. シミュレーション諸元及び結果

表 1 にシミュレーション諸元を示す。ここで受信アンテナは半径 1/4 波長の同心円上に無給電素子 12 本を等間隔に配置した素子数 13 ( $N=12$ ) のエスパアンテナとし, 簡単のため到来波数は既知とする。図 2 に CUBA-MUSIC 法による到来方向推定のシミュレーション結果を示す。13 素子エスパアンテナの CUBA-MUSIC 法によって 4 波のコヒーレント波到来方向推定が可能であることがわかる。

表 1. シミュレーション諸元

素子数, データ数	13 ( $N=12$ ), $L=6$
サブアレー数	2 (Forward-Backward SSP)
スナップショット	1000
SNR	30 (dB)
信号の到来方向	50, 150, 180, 280 度 (コヒーレント波)

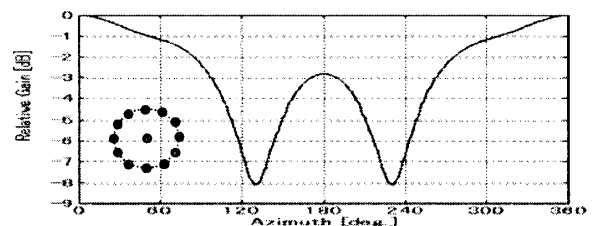


図 1. エスパアンテナ素子配置と 0 度方向ビームパターン

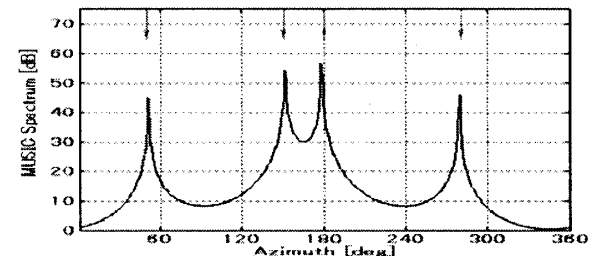


図 2 到来方向推定の結果

## 5. むすび

エスパアンテナを用いた CUBA-MUSIC 法によってコヒーレント波の到来方向推定が可能であることをシミュレーションにより初めて示した。

謝辞 有意義なご示唆を頂いた北海道大学 小川恭孝教授に謝意を表す。なお, 本研究は通信・放送機構の研究委託「自律分散型無線ネットワークの研究開発」により実施したものである。

## 参考文献

- [1] 平田他, 信学技法, AP2003-24, pp.59-64 (2003-05)
- [2] A.Richter and R.S.Thomä, "CUBA-ESPRIT for Angle Estimation with Circular Uniform Beam Arrays", Millennium Conference on Antennas and Propagation .
- [3] 高梨, 田辺, 西村, 小川, 大鐘, "CUBA-MUSIC を用いたコヒーレント波の到来方向推定", 信学総大, B-1-17, pp.33 . March 2002.
- [4] 大平, 飯草, "電子走査導波器アレーアンテナ", 信学論(C), vol.J87-C, no.1, pp.12-31, Jan.2004 .