

ここで \hat{r}_{ik} は $\hat{\mathbf{R}}$ の (i, k) 成分, ε はゼロ割防止のための微小値である. $\zeta(i)$ は $\hat{\mathbf{R}}$ の i 行成分の 0 以外の列成分の絶対値を足し合わせたものである. MENSE 法の基準式 $\xi(i)$ は次のように定義され, ξ が最大とする i の値が到来波数の推定値となる.

$$\xi \triangleq \frac{\zeta(i)}{\zeta(i+1)} \quad (13)$$

$$(i = 1, 2, \dots, K-1)$$

4. MENSE 法の改善法

MENSE 法を用いた場合, 到来する相関波の位相差によっては, 著しく性能が劣化する場合は見られた [5]. そこでこの問題に対処するため MENSE 法で使われる空間平均法を改善する.

MENSE 法では 1 素子目及び M 素子目と各サブアレーから 4 種類の相関ベクトルを作成した. I-MENSE 法においては 1 素子目と M 素子目以外の素子にも注目し, 4 種類の相関ベクトルを作成する. その際内部雑音の影響を受けないように同じ素子同士では相関をとらないようにする. 以下に式 (6)~式 (9) を改良した相関ベクトルを示す.

$$\varphi_{fmn} \triangleq E[\mathbf{x}_{fn}(t)x_{M-m+1}^*(t)] \quad (14)$$

$$(m = 1, \dots, M-K; n = 1, \dots, N-m)$$

$$\bar{\varphi}_{fmn'} \triangleq E[\mathbf{x}_{fn'}(t)x_m^*(t)] \quad (15)$$

$$(m = 1, \dots, M-K; n' = m+1, \dots, N)$$

$$\varphi_{bmn} \triangleq E[x_m(t)\mathbf{x}_{bn}(t)] \quad (16)$$

$$(m = 1, \dots, M-K; n = 1, \dots, N-m)$$

$$\bar{\varphi}_{bmn'} \triangleq E[x_{M-m+1}(t)\mathbf{x}_{bn'}(t)] \quad (17)$$

$$(m = 1, \dots, M-K; n' = m+1, \dots, N)$$

上記の 4 種類の全ての相関ベクトルを水平結合して行列 Φ を構成し, MENSE 法と同様の処理を施す [2].

5. 計算機シミュレーションによる性能評価

計算機シミュレーションにより, I-MENSE 法の性能評価を行う. 到来波は 2 波とし, 基本的なシミュレーション諸元を表 1 に示す. また, 表 2~表 4 にシミュレーションに用いた電波環境を示す. なお, 本シミュレーションでは全て 2 波が完全相関で到来したとし, 2 波の位相差がランダムとしてシミュレーションを行った. ここでランダムとは試行ごとにランダムに位相差を固定することを意味する. 評価は検出確率を用いて行った. 検出確率とは全試行の中で到来波が正しく推定できた割合を表す. 図 1 に SNR に対する検

表 1 シミュレーション諸元
Table 1 Simulation conditions.

アレー形状	10 素子等間隔リニアアレー
素子間隔	$\lambda/2$
サブアレーの素子数	5
サブアレーの数	6
試行回数	100

表 2 電波環境 (1)
Table 2 Radio environment (1).

入力 SNR	-10~15 dB
スナップショット数	64
到来波数	2
2 波の位相差	試行ごとにランダム
到来角	(0°, 12°)
入力電力	(0 dB, 0 dB)

表 3 電波環境 (2)
Table 3 Radio environment (2).

入力 SNR	-3 dB
スナップショット数	64
到来波数	2
1 波目の位相	0°
2 波目の位相	0°~360°
到来角	(0°, 12°)
入力電力	(0 dB, 0 dB)

表 4 電波環境 (3)
Table 4 Radio environment (3).

入力 SNR	0 dB
スナップショット数	1~100
到来波数	2
2 波の位相差	試行ごとにランダム
到来角	(0°, 12°) or (0°, 7°)
入力電力	(0 dB, 0 dB)

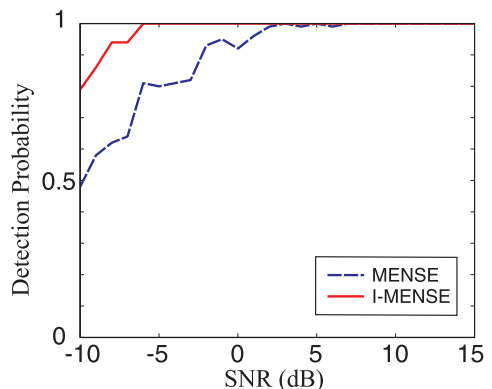


図 1 検出確率と SNR の関係 (表 2)
Fig. 1 Detection probability vs. SNR (Table 2).

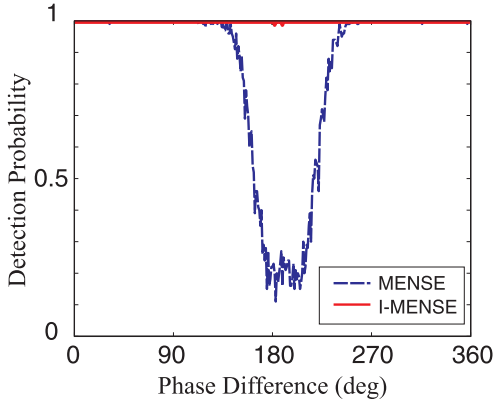


図2 検出確率と位相差の関係 (表3)
Fig. 2 Detection probability vs. Phase difference (Table 3).

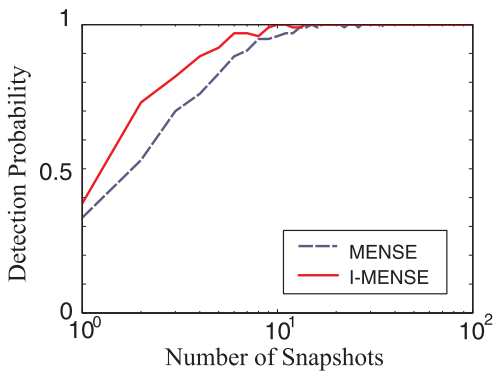


図3 検出確率とスナップショット数の関係 (表4, 到来角: 0° , 12°)
Fig. 3 Detection probability vs. Number of snapshots (Table 4, DOAs: 0° , 12°).

出確率を示す。図2は1波目の位相を基準に2波目の位相を $0^\circ \sim 360^\circ$ と変化させたときの検出確率である。また、図3、図4はスナップショット数に対する検出確率である。

図1から、2波の位相差が試行ごとにランダムである場合、低SNRにおいてMENSE法に比べI-MENSE法が有効であることが分かる。次に図2よりI-MENSE法では2波の位相差による影響を低減できていることが確認できる。最後に図3、図4から、低スナップショット数においてもI-MENSE法が良好に動作していることが分かる。特に2波の角度差が小さいときに

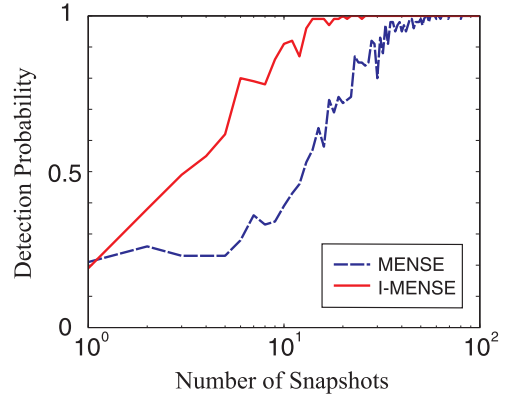


図4 検出確率とスナップショット数の関係 (表4, 到来角: 0° , 7°)
Fig. 4 Detection probability vs. Number of snapshots (Table 4, DOAs: 0° , 7°).

両方法の差異が顕著となる。以上より、提案法であるI-MENSE法の有効性を確認することができた。

6. むすび

本論文では、到来波数推定法であるI-MENSE法を提案し、その性能評価を行った。2波の完全相関波がどのような位相差であっても、I-MENSE法が良好に動作することが示された。今後の課題として、3波以上の多数波に対する推定性能の検討、実験による検証、及び到来方向推定を含めた総合的評価が挙げられる。

文 献

- [1] 菊間信良, アレーアンテナによる適応信号処理, 科学技術出版, 1998.
- [2] J. Xin, N. Zheng, and A. Sano, "Simple and efficient nonparametric method for estimating the number of signals without eigendecomposition," IEEE Trans. Signal Process., vol.55, no.4, pp.1405–1420, April 2007.
- [3] M. Wax and T. Kailath, "Detection of signal by information theoretic estimation," IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process., vol.ASSP-33, no.2, pp.387–392, April 1985.
- [4] 辻 真志, 梅林健太, 神谷幸宏, 鈴木康夫, "微弱な相関波に対する高精度な波数推定法の一検討," 信学技報, A-P2008-160, Jan. 2009.
- [5] 新村剛士, 菊間信良, 榎原久二男, 平山 裕, "QR分解を用いたMENSE法に基づく到来波数推定法の改善に関する検討," 2011 信学総大, B-1-194, March 2011.

(平成24年1月6日受付)