

ショートノート

アダプティブアレー用適応型空間平均法に

必要な自由度

正員 菊間 信良[†] 正員 鷹尾 和昭^{††}

Degrees of Freedom Required for Adaptive Spatial Averaging in Adaptive Arrays

Nobuyoshi KIKUMA[†] and Kazuaki TAKAO^{††}, Members[†] 名古屋工業大学工学部電気情報工学科, 名古屋市

Faculty of Engineering, Nagoya Institute of Technology, Nagoya-shi, 466 Japan

^{††} 京都大学工学部電気工学第二学科, 京都市

Faculty of Engineering, Kyoto University, Kyoto-shi, 606 Japan

あらまし 多重波伝搬に起因する干渉性の妨害波を除去するために, 先にアダプティブアレー用適応型空間平均法を提案したが, 本報告では, この方法を適用する場合に必要なサブアレーの要素数および個数に関する条件について論じ, 数値計算例を示した。

1. まえがき

多重波伝搬などに起因する干渉性の妨害波(以後, 干渉波と呼ぶ)が出力最小化方式アダプティブアレーに入射すると, 所望波と干渉波の間に相関があるために, システムはこの干渉波を使って所望波を相殺し, 良好な受信状態を保つことができなくなる⁽¹⁾。これは, この方式の汎用化を困難にする最も大きな問題の一つである。この対策として, 受信位置が異なれば所望波と干渉波の位相関係が異なることを利用して, 大きめのアレーを所定の要素数よりなる複数のサブアレーに分割し, サブアレーの入力相関行列に対して重み付け平均を行い, 所望波と干渉波の相関を抑圧する方法, いわゆる, 相関行列の空間平均法が提案された^{(2),(3)}。この場合, 空間平均の重み付けの仕方によって相関の抑圧度が異なり, その抑圧度が高いほど干渉波の除去特性がよくなる。筆者らの提案した適応型重み付け空間平均法⁽³⁾は, 従来の均一重み付け空間平均法のような固定重み付けを用いるのではなく, 電波環境に最適な重み付けを用いて効率よく空間平均を行う。既に, 数値解析および計算機シミュレーションによって, 適応型空間平均法の不要波除去能力がすぐれていることを示し, これに必要な自由度すなわちアンテナ要素の数についても考察した^{(3),(7),(8)}。本報告では, 更にこの条件の妥当性を数値例によって示した。

2. 適応型空間平均法

図1に示すような M エLEMENTの等間隔リニアアレーにおいて, エLEMENT数 M の大アレーの中から

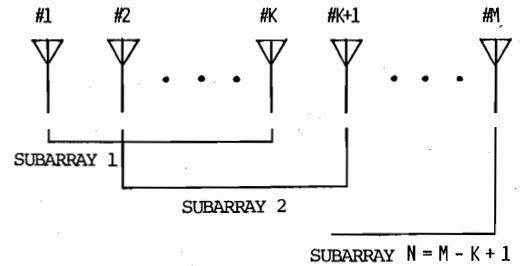


図1 M エLEMENT大アレーと K エLEMENTサブアレー
Fig.1 M -element full array consisting of overlapping K -element sub-arrays.

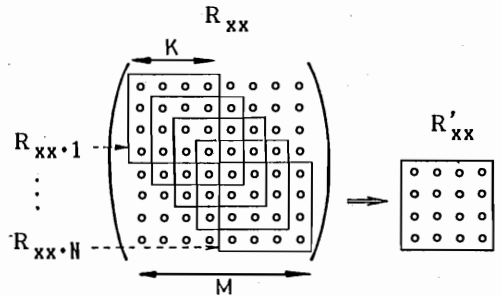


図2 大アレーの入力相関行列とサブアレーの入力相関行列の関係
Fig.2 The relation between input correlation matrices of the full array and each sub-array.

連続した K 個 ($K < M$) のELEMENTを, 1 ELEMENTずつずらしながら取り出してサブアレーを構成していく。サブアレーの総数 N は $N = M - K + 1$ で与えられる。位相の基準は, すべてのサブアレーに共通して大アレーの中心にとる。このとき, サブアレー n に関する入力相関行列 $R_{xx,n}$ と大アレーの入力相関行列 R_{xx} の対応関係は図2で示される。 $R_{xx,n}$ に対して重み付け平均をすることにより R'_{xx} を得るのである。この空間平均後の相関行列はサブアレーの相関行列と同様に $[K \times K]$ の行列であり, これを用いて K ELEMENT・サブアレーの各アンテナELEMENTに対する最適ウェイトを求める。

さて, 同じ特性のアンテナELEMENTを使った等間隔リニアアレーにおいて, 信号間の相関がなければ, その相関行列はどの対角線をとっても, その対角線上に並んだ相関値はすべて同じ値をとる。すなわち, Toeplitz 行列となる。そこで, 適応型空間平均法では, 空間平均後の相関行列が Toeplitz 行列となるように, 重みを決める⁽³⁾。

必要なサブアレーのELEMENT数 K およびサブアレーの数 N に関する条件は, 所望波と J 個の干渉波が到来すると仮定すると, 次式で与えられる^{(3),(7),(8)}。

$K \geq J+2$ (1)

$N \geq J(J+1)+1$ (2)

3. 数値計算例

この適応型空間平均法を方向拘束付出力電力最小化法 (DCMP 法) に適用し、半波長等間隔リニアアレーを用いた数値計算例を示す。最初に最も簡単な干渉波が 1 波到来する場合 ($J=1$) を考える。エレメント数は、大アレーを 5 エレメント ($M=5$) とし、サブアレーを (a) 2 エレメント、(b) 3 エレメント、(c) 4 エレメントと 3 とおりに変えて適応型空間平均法を適用させた。従って、(a) $K=2, N=4$, (b) $K=3, N=3$, および (c) $K=4, N=2$ となり、(a) は式 (1) は満足せず、式 (2) のみ満足する場合、(b) は式 (1), (2) 共満足する場合、(c) は式 (1) のみ満足し、式 (2) は満足しない場合に相当する。計算で用いた入力データは表 1 に示す。図 3 は DCMP 法によるサブアレーの指向性パターンであり、図中に (a), (b), および (c)

それぞれの場合を示す。干渉波方向 (60°) のレスポンスは (a) -14 dB , (b) -54 dB , (c) -14 dB であり、式 (1), (2) で与えられる条件を両方共満足していない場合には干渉波の抑圧が不完全になることがわかる。

次に干渉波が 2 波到来する場合 ($J=2$) の例を示す。エレメント数は、大アレーを 10 エレメント ($M=10$) とし、サブアレーの構成は、(a) $K=3, N=8$, (b) $K=4, N=7$, および (c) $K=5, N=6$ の場合を考える。表 2 に計算で用いた入力データを、図 4 にサブアレーの指向性パターンを示す。この場合も式 (1), (2) で与えられる条件を両方共満足している (b) の場合のみが二つの干渉波方向 ($-40^\circ, 70^\circ$) に深い指向性のヌル (それぞれ、 -57 dB , -62 dB) を向けている。

更に、他の数値パラメータを用いて計算を行ったところ、同様の結果を得た。特に干渉波が複数到来する場合には、図 4 のように、適応型空間平均法は、干渉

表 1 数値計算に用いた入力データ
(干渉波 1 波)

所望波 (S)	到来角: $\theta_s = 0^\circ$ 電力: $P_s = 1$
干渉波 (C)	到来角: $\theta_c = 60^\circ$ 電力: $P_c = 1$
熱雑音	電力: $P_n = 0.01$

(所望波と干渉波は位相中心で同相)

表 2 数値計算に用いた入力データ
(干渉波 2 波)

所望波 (S)	到来角: $\theta_s = 0^\circ$ 電力: $P_s = 1$
干渉波 1 (C_1)	到来角: $\theta_{c1} = -40^\circ$ 電力: $P_{c1} = 1$
干渉波 2 (C_2)	到来角: $\theta_{c2} = 70^\circ$ 電力: $P_{c2} = 1$
熱雑音	電力: $P_n = 0.01$

(所望波と干渉波は位相中心で同相)

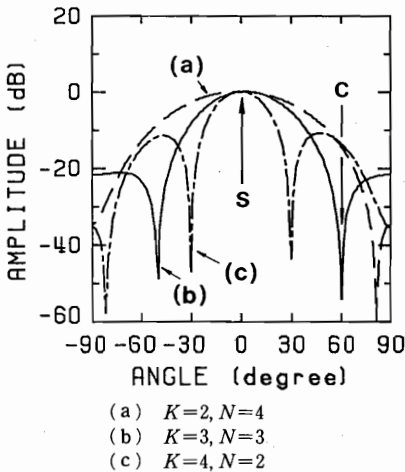


図 3 空間平均を行った後のサブアレーの最適指向性パターン ($M=5$, 干渉波 1 波)
Fig. 3 Adapted directional patterns of sub-arrays after spatial averaging ($M=5$, one coherent interference).

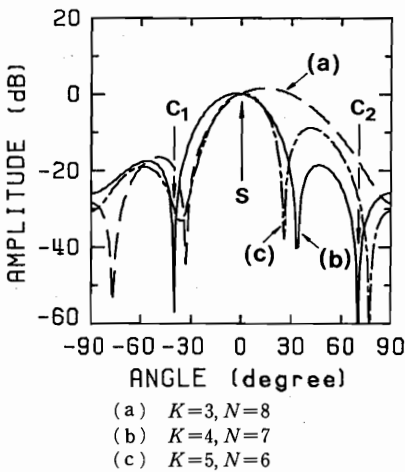


図 4 空間平均を行った後のサブアレーの最適指向性パターン ($M=10$, 干渉波 2 波)
Fig. 4 Adapted directional patterns of sub-arrays after spatial averaging ($M=10$, two coherent interferences).

波を互いに相殺させて除去するのではなく、個々の波に対して指向性パターンのヌルを向けることによって除去する。これも注目すべき特長の一つである。

4. む す び

本報告では、筆者らが提案したアダプティブアレー用適応型空間平均法において、式(1)、(2)で与えられるサブアレーのエレメント数およびサブアレーの個数に関する条件を、方向拘束付出力電力最小化法を指導原理とするアダプティブアレーを用いた数値例によって確認した。

謝辞 本研究に寄与された矢野達朗君(当時大学院生)に謝意を表する。日ごろ御討論頂く木村磐根教授はじめ研究室の諸氏に感謝する。

文 献

- (1) K. Takao and N. Kikuma: "Tamed adaptive antenna array", IEEE Trans. Antennas & Propag., AP-34, 3, pp. 388-394 (March 1986).
- (2) T. J. Shan and T. Kailath: "Adaptive beamforming for coherent signals and interference", IEEE Trans. Acoust. Speech & Signal Process., ASSP-33, 3, pp. 527-536 (June 1985).
- (3) K. Takao and N. Kikuma: "An adaptive array utilizing an adaptive spatial averaging technique for multipath environments", IEEE Trans. Antennas & Propag., AP-35, 12, pp. 1389-1396 (Dec. 1987).
- (4) O. L. Frost: "Adaptive interference and multipath rejection in linear direction-finding arrays", Proc. IEEE ICASSP 86, pp. 2499-2502 (April 1986).
- (5) T. J. Shan, M. Wax and T. Kailath: "On spatial smoothing for direction-of-arrival estimation of coherent signals", IEEE Trans. Acoust. Speech & Signal Process., ASSP-33, 4, pp. 806-811 (Aug. 1985).
- (6) K. Takao, M. Fujita and T. Nishi: "An adaptive antenna array under directional constraint", IEEE Trans. Antennas & Propag., AP-24, 5, pp. 662-669 (Sept. 1976).
- (7) 菊間, 鷹尾: "アダプティブアレー用適応型空間平均法に必要な自由度に関する考察", 信学技報, A-P86-121 (1987).
- (8) N. Kikuma and K. Takao: "On degrees of freedom required by adaptive spatial averaging for adaptive arrays", IEEE AP-S Int. Symp. pp. 62-65 (June 1987).

(昭和63年3月18日受付, 7月5日再受付)