

РОБАСТНАЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В КОРРЕЛИРОВАННОМ ШУМЕ

Сытник¹ О. В., Карташов² В. М., Супрун² А. А.

¹Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины
г. Харьков, 61085, Украина

тел.: +38-057-7203592, e-mail: ssvp11@ire.kharkov.ua

²Харьковский национальный университет радиоэлектроники

г. Харьков, 61166, Украина

тел.: +38-057-7021587, e-mail: res@kture.kharkov.ua

Аннотация — Рассматривается подход к решению задач пространственно-временной обработки сигналов в адаптивных антенных решетках, работающих в условиях интенсивных коррелированных помех. В основу метода синтеза устойчивых алгоритмов положен теоретико-игровой принцип отыскания минимума величины среднеквадратичной ошибки, которая характеризует качество получаемых оценок пространственно-временных спектров. Алгоритмы обработки сигналов, построенные по этому принципу, относятся к классу минимаксных алгоритмов инвариантных по отношению априорной неопределенности относительно распределений помех.

I. Введение

Зависимые от зондирующего сигнала помехи возникают во многих прикладных радио и акустолокационных задачах. Применяющиеся в радиолокационных системах адаптивные антенные решетки [1] с алгоритмами обработки пространственно-временных сигналов [1, 2], которые оптимизируют параметры радиолокационной системы при условии гауссовских моделей распределений шумов, при наличии коррелированных помех, оказываются неспособными сформировать приемлемую диаграмму направленности.

Поэтому представляется перспективным синтез адаптивных алгоритмов пространственно-временной обработки на основе робастных стохастических процедур [3, 4-6], которые обладают высокой, хотя и уступающей оптимальным алгоритмам, эффективностью.

II. Постановка задачи

Рассмотрим модель отклика одного из идентичных каналов M - элементной антенной решетки

$$y(t) = S(t) + N(t), \quad (1)$$

где $S(t), N(t)$ - случайные в общем случае процессы, представляющие соответственно сигнал и помеху.

Обозначим спектральные плотности мощности сигнала и помехи как F_S, F_N . Синтез робастного алгоритма сводится к решению задачи минимизации по H величины падения эффективности фильтра в наихудшем случае, а именно отысканию минимума критерия

$$\min_H \left\{ \sup_{(F_S, F_N) \in \mathfrak{S} \times \mathfrak{R}} \{ \varepsilon(F_S, F_N, H_0) \} \right\}. \quad (2)$$

Алгоритм, удовлетворяющий критерию (2), будем считать робастным по отношению к классам неопределенности $\mathfrak{S}, \mathfrak{R}$.

II. Общий подход к решению задачи синтеза робастного алгоритма

Если положить, что сигнал и помеха в (1) являются совместно стационарными (в широком смысле) случайными процессами, то их корреляционная структура полностью определяется матрицей D спектральных плотностей

$$D(\omega) = \begin{bmatrix} F_S(\omega) & F_{SN}(\omega) \\ F_{NS}(\omega) & F_N(\omega) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где символом $*$ обозначена операция комплексного сопряжения, а нижние индексы SN, NS - означают взаимные спектры процессов $S(t), N(t)$.

Характеристика оптимального фильтра, минимизирующего среднеквадратичную ошибку определяется выражением

$$H_0 = \frac{F_S + F_N}{F_S(\omega) + 2\operatorname{Re}\{F_{SN}(\omega)\} + F_N(\omega)}, \quad (4)$$

III. Реализация алгоритма в линейной адаптивной антенной решетке

Реализацию алгоритма рассмотрим на примере линейной узкополосной решетки, содержащей M идентичных элементов. Расстояние между соседними элементами, для простоты, будем считать равным $d = \lambda/2$, где λ - длина волны колебания, соответствующая центральной частоте спектра зондирующего сигнала. Источник сигнала и источники помех находятся в дальней зоне антенны.

Известно [2, 7, 8], что выборочная ковариационная матрица сигналов от m интерферирующих помеховых источников, расположенных на направлениях $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m$ в присутствии белого шума с дисперсией σ^2 определяется как

$$R_{i,k} = \sigma^2 \delta_{i,k} + \sum_{i=1}^m R_i e^{j(2\pi d / \lambda) \sin \theta_i}, \quad (5)$$

где R_i - мощность i -го источника, $\delta_{i,k}$ - символ Кронекера.

Весовой вектор пространственно-временного фильтра, который максимизирует отношение сигнал/шум, записывается как

$$\vec{W}(\theta) = \mu \bar{R}^{-1} \vec{S}_0^*(\theta), \quad (6)$$

где μ - нормировочная константа.

Можно показать, что вектор весовых коэффициентов робастного пространственного согласованного фильтра выражается простым соотношением

$$\bar{W}_r(\theta) = \mu(\bar{R} + \alpha_0 \bar{I})^{-1} \bar{S}_0^*(\theta), \quad (7)$$

где \bar{I} - единичная матрица, α_0 - константа, зависящая от ν ,

$$\sum_{i=1}^M |S_i(\theta) - S_{i0}(\theta)|^2 \leq \nu.$$

Причем, соотношение сигнал/помеха на выходе адаптивной антенны с весовым вектором \bar{W}_r оказывается зависимым от величины ν .

IV. Заключение

Таким образом, применение робастных методов синтеза алгоритмов обработки в адаптивных антенных решетках приводит к возможности получения квазиоптимальных алгоритмов, которые оказываются устойчивыми к статистическим характеристикам помеховых сигналов в заданном классе. Неизбежные потери полезного сигнала в робастных алгоритмах, по отношению к классическим оптимальным алгоритмам, незначительны по сравнению с выигрышем в соотношении сигнал/помеха для случая коррелированных помех, а также их (потери) можно расценивать как своеобразную «плату» за повышение надежности работы алгоритма в условиях априорной неопределенности. Поэтому в жизненно важных многофункциональных системах, использующих адаптивные антенные решетки целесообразно применение робастного подхода к синтезу алгоритмов обработки пространственно-временных сигналов.

Адаптивные алгоритмы обработки сигналов в антенных решетках, как правило, строятся на основе некоторой заранее заданной статистической модели квантуемых данных [9,10]. Поскольку в реальных условиях задать такую адекватную модель не удастся, приходится при построении робастных алгоритмов пространственно-временной обработки сигналов в адаптивных антенных решетках применять адаптивные или так называемые асимптотически робастные квантователи [10].

V. Список литературы

[1] *Monzingo R. A., Miller T. W.* Introduction to Adaptive Arrays.- New York, Chichester, Brisbane, Toronto. 1980.

- [2] *Marpl, Jr. S. L.* Digital Spectral Analysis with Applications.- Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 1987.
- [3] *Huber P. J.* Robust Statistics.- New York, Chichester, Brisbane, Toronto. 1981.
- [4] *Hollander M., Wolfe D. A.* Nonparametric Statistical Methods.- New York, London, Sydney, Toronto. 1973.
- [5] *Kassam S. A., Poor H. V.* Robust Signal Processing for Communication systems // IEEE Commun., Mag., 1983. Vol. 21, No 1 p. 20-28.
- [6] *Poor H. V.* The Rate-distortion Function Classes of Sources determined by Spectral Capacities // IEEE Trans. Inform. Theory 1982. Vol. IT-26, p.19-26.
- [7] *Wirth W. D.* Fast and Efficient Target Search with Phased Array Radars. // Proc. IEEE Int. Radar Conf., 1975, p.198-203.
- [8] *Wirth W. D.* Signal Processing for Target Detection in Experimental Phased-array Radar ELRA. // IEE Proc. F., Comun., Radar & Signal Proc., 1981, 128 (5),p. 311-316.
- [9] *Bucklew J. A., Wise G. L.* Multidimensional Asymptotic Quantization Theory with Power Distortion Measures // IEEE Trans. Inform. Theory. 1982. Vol. IT-28, p.239-247.
- [10] *Aazhang B., Poor H. V.* On Optimum and Nearly Optimum Data Quantization for Signal Detection // IEEE Trans. Commun. 1984. Vol. COM-32. p.745-751.

THE ROBUST ADAPTIVE SIGNAL PROCESSING IN CORRELATED NOISE

Sytnik¹ O. V., Kartashov² V. M., Suprun² A. A.
¹A. Usikov's Institute of Radiophysics and Electronics of National Academy of Sciences of Ukraine
 12, Ac. Proscura Str., Kharkov, 61085, Ukraine
 Ph.: +38-057-7203592, e-mail: ssvp11@ire.kharkov.ua
²Kharkov National of University of Radioelectronics
 Kharkov, 61166, Ukraine
 Ph.: +38-057-7021587, e-mail: res@kture.kharkov.ua

Abstract — A new approach is considered for solving the problem of spatiotemporal signal processing in adaptive antenna arrays in conditions intensive correlated noise processes. The method of synthesis of robust algorithms is based on the game-theoretical principle of searching a minimum of the root-mean-square error that characterizes quality of received estimations of the existential spectra. The signal processing algorithms, constructed on this principle, relate to the class of minimax algorithms being invariant with respect to the prior uncertainty concerning noise distributions.