

Рязанская государственная радиотехническая академия,
391000, г.Рязань, ГСП, ул. Гагарина, 59/1
кафедра радиотехнических устройств,
Тел. (0912)-36-76-13 E-mail:rtu@rgta.ryazan.ru

*Закрытое акционерное общество «ФЛАНТ», г. Рязань,
Тел./факс (0912)-27-84-48

Ставится задача синтеза робастной пространственной структуры радиосистемы, обеспечивающей максимум помехоустойчивости и слабочувствительной к отклонениям от предположений о параметрах сигналов и помех. Для устранения неоднозначности решения экстремальной задачи, относящейся к классу некорректных, методом регуляризации получен алгоритм оптимизации пространственной структуры как элемента метрического пространства.

Потенциальная эффективность оптимальных алгоритмов обработки во многих практических случаях не может быть достигнута из-за сильной чувствительности к отклонениям от предположений. Для устранения этого недостатка широко используются робастные алгоритмы, получаемые в результате наложения дополнительных ограничений при синтезе, например, на норму вектора весовых коэффициентов адаптивных антенных решеток (АР) [1], использовании интервальных оценок параметров сигнала [2]. При этом основной целью является повышение помехоустойчивости пространственной обработки сигнала. Наличие дифракционных максимумов диаграммы направленности АР приводит к многоэкстремальности целевой функции при синтезе алгоритмов пространственно-временной обработки, что позволяет отнести задачу синтеза оптимальных алгоритмов обработки сигналов АР к классу некорректно поставленных. К этому же классу следует отнести и задачу оптимизации пространственной структуры системы обработки сигналов [3-5], при решении которой получены оптимальные координаты $R=\{r_i, i=1, \dots, n\}$ элементов АР. Однако, значения координат сильно зависят от неточностей в исходных данных, что не позволяет применить интерполяционные методы для определения координат и, следовательно, требует больших вычислительных затрат для определения пространственных структур. В данной работе для устранения этого недостатка при синтезе пространственной структуры используется метод регуляризации [6], а ограничением является размер получаемой пространственной структуры, определяемой в соответствии с метрикой [9].

При формулировке задачи оптимизации пространственной структуры в качестве целевой функции принимается усредненное отношение правдоподобия: $\Phi(R) = M\{\varphi(R)\}$. Если $\varphi(R)$ в некоторой окрестности - выпуклая непрерывная функция, имеющая непустое множество точек минимума $R^* \in D_n$, а $\Phi(R)$ - сильно выпуклая непрерывная функция, имеющая смысл стабилизатора, то регуляризованный алгоритм оптимизации пространственной структуры имеет вид [8]:

$$\tilde{R} = \arg \min_{R \in D_n} \Phi_\alpha(R), \Phi_\alpha(R) = \Phi(R) + \alpha \Gamma(R), \quad \alpha > 0. \quad (1)$$

Тогда, согласно [8], $\tilde{R} \rightarrow R^*$ при $\alpha \rightarrow 0$, где R^* - одна из точек минимума функции $\varphi(R)$, для которой $\varphi(R)$ минимальна, то есть $R^* = \arg \min_{R \in R^*} \Gamma(R)$. В частности, если стабилизатор имеет вид $\Gamma(R) = \|R\|^2$, то R^* - точка минимума $\varphi(R)$ с наименьшей нормой. В типичных для антенной техники ситуациях функция $\varphi(R)$ является многоэкстремальной, поэтому в области определения S могут существовать несколько точек ${}_k \tilde{R}$, $1 \leq k \leq K$, каждая из которых имеет свою окрестность $U({}_k \tilde{R})$ такую, что $\Phi({}_k \tilde{R}) \leq \Phi(R), R \in S \cap U({}_k \tilde{R})$, где ${}_k \tilde{R}$ являются координатами локальных минимумов, одна из которых \tilde{R} - координатой глобального минимума:

$$\tilde{R} = \arg \min_{k=1, \dots, K} \Phi_\alpha({}_k \tilde{R}). \quad (2)$$

Для решения многомерной задачи (2) в работе используется подход, характерный для вычислительной математики [7]: задача сводится к одномерной многошаговой задаче с применением методов поиска локального экстремума:

$$r_i(j+1) = r_i(j) + \varepsilon \text{grad}_i \Phi_\alpha(R), \quad (3)$$

где $\text{grad}_i \varphi(R) = \{\partial \varphi(R) / \partial x_i, \partial \varphi(R) / \partial y_i, \partial \varphi(R) / \partial z_i\}$, $i=1, \dots, n$, $j=1, 2, \dots$ - номер шага, $\varepsilon > 0$ - коэффициент сходимости градиентного алгоритма. Известно [7], что для любой начальной точки ${}_k R_0 \in S_k$, $1 \leq k \leq K$, лежащей в центре соответствующей подобласти $S_k \subset S$, методами локального поиска можно вычислить соответствующую точку локального экстремума ${}_k \tilde{R} \in S_k$, для которой подобласть S_k является областью притяжения. Таким

образом, решение многоэкстремальной задачи сводится к последовательному решению для всех n элементов K задач на локальный экстремум (1). Итерационный процесс (3) повторяется до достижения значения ошибки $\|r_i(j+1) - r_i(j)\|^2$ не выше заданного. После этого производится уменьшение в два раза подобласти S_k , и вычисления повторяются.

Анализ алгоритма (1)-(3) вычисления оптимальной пространственной структуры по регуляризованной функции качества $\Phi_\alpha(R)$ проводился методом вычислительного эксперимента. Исследовалась модельная линейная система из трех антенных датчиков при воздействии $m=14$ помех при различных центральных углах α сектора в угломестной плоскости шириной $0,325$ рад. Направление на сигнал совпадает с нормалью к апертуре. Для количественной оценки устойчивости получаемой пространственной структуры использована метрика $L=L(R,0)$ [9], характеризующая степень отличия от некоторой начальной структуры, расположенной в середине отрезка размером 20λ , где λ - длина волны. Для исследования влияния начальных значений kR_0 , $1 \leq k \leq K$ на результат оптимизации пространственной структуры вычисления повторялись при различных начальных значениях координат элементов, которые выбирались случайным образом с равномерной плотностью распределения вероятности на S_k . Из результатов расчета частоты выпадений p расстояния L для полученных оптимальных структур следует, что при отсутствии регуляризации вследствие многоэкстремальности функции $\Phi(R)$ для одной и той же сигнально-помеховой ситуации существуют несколько соизмеримых пространственных структур \tilde{R} . Введение регуляризации обеспечивает однозначность решения процедуры оптимизации, делает его слабочувствительным к заданию начальных условий, параметров помех.

Высокую чувствительность пространственной структуры, полученной без регуляризации ($\alpha=0$, подтверждает зависимость размера оптимальной апертуры АР от углового положения помехи (рис.1). При увеличении коэффициента регуляризации до некоторого критического значения $\alpha=\alpha_{кр}$ неустойчивость решений исчезает, а оптимальные структуры незначительно отличаются при малых изменениях параметров помехи (рис.2). Непрерывная зависимость оптимальных координат элементов АР, полученных при синтезе робастных пространственных структур, от параметров сигнально-помеховой ситуации позволяет использовать интерполяционные методы для вычисления промежуточных значений параметров при сравнительно небольшом числе узлов интерполяции. Оптимальные пространственные структуры в узлах интерполяции определяются заранее и запоминаются в базе данных. Интерполяция производится в пространстве, координатами которого являются мощности и угловые координаты заданного числа источников помех. Так как интерполяционные процедуры обладают высокой вычислительной эффективностью, то становится возможным определение робастных пространственных структур в реальном времени.

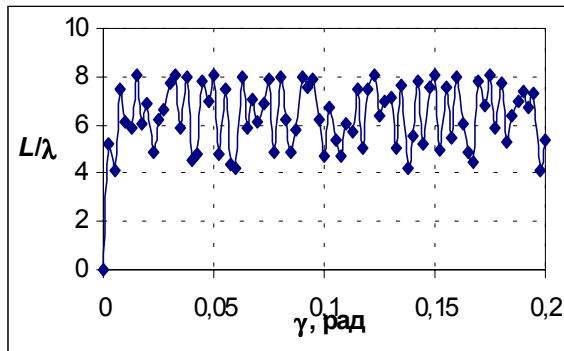


Рис. 1

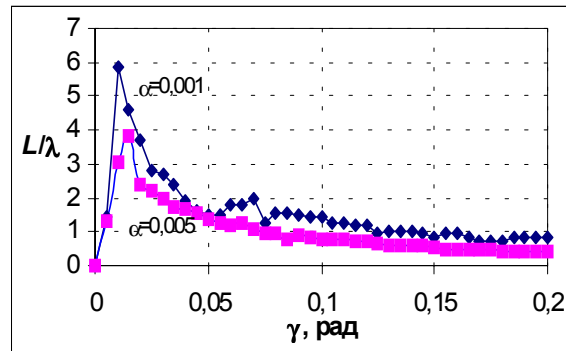


Рис.2

Литература

1. Cox H., Zeskind M., Owen M. Robust adaptive beamforming // IEEE Trans. Acoust., Speech and Signal Proc. - 1987. - V.ASSP-35, №10. - P.1365-1375.
2. Марчук Л.А. Метод синтеза робастных алгоритмов управления адаптивными антенными решетками // Известия вузов. Радиоэлектроника. – 1996. - №9. - С.61-66.
3. Паршин Ю.Н., Гусев С.И. Влияние сигнально-помеховой ситуации на оптимальную пространственную структуру антенной системы // Вестник Рязанской государственной радиотехнической академии. Вып. 4. - Рязань: РГРТА, 1998. - С.117-120.
4. Паршин Ю.Н., Гусев С.И. Оптимальный прием дискретных сообщений системой обработки с оптимальной пространственной структурой // Радиотехника и электроника. - 2000. - Т. 45, №3. - С. 305-312.
5. Паршин Ю.Н., Гусев С.И. Оптимизация пространственной структуры радиосистемы с нелинейной компенсацией помех // Радиотехника, телевидение и связь. Межвузовский сб. научн. трудов, посвященный 110-летию В.К. Зворыкина. - Муром: Муромский институт (филиал) ВлГУ, 1999. - С.112-116.
6. А.Н. Тихонов, Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. - М.: Наука, 1986.
7. Стронгин Р.Г. Численные методы в многоэкстремальных задачах. - М.: Наука, 1978.
8. Васильев Ф.П. Методы решения экстремальных задач. – М.: Наука, 1981.
9. Паршин Ю.Н., Лавров А.М., Гусев С.И. Синтез робастных пространственных структур радиосистем с использованием регуляризации // Вестник Рязанской государственной радиотехнической академии. Вып. 6. - Рязань: РГРТА, 2000. - С.11-14.



REGULARIZATION ALGORITHM OF RADIOSYSTEMS ROBUST SPATIAL STRUCTURES SYNTHESIS

Parshin Y.N., Gusev S.I.*

Head of Radio Devices Department
Ryazan State Radioengineering Academy
59/1, Gagarin St., Ryazan, 391000, Russia
Tel.: 7-(0912)-36-76-13 , Fax:7-(0912)-72-22-15, E-mail: rtu @rgta.ryazan.ru

*“FLANT” Joint-Stock Company
Tel./fax: 7-(0912)-27-84-48

It is known, that in a case, when parameters of received signals and noises are unknown a priori or inaccurately defined, the efficiency of processing systems functioning is essentially reduced. Therefore important problem is the development of robust signal-processing algorithms with optimization of spatial structure and low-sensitive to inexactness of prior signals and noises parameters data, close on efficiency to optimum and insignificantly lowering efficiency at a diversion of distribution observations from initial models in some limits. In articles [1, 2] is shown, that for each signal-noise situation there is an optimum structure, sensing to change of signals and noises parameters, while rough (robust) spatial structures, which maintain high efficiency at change of a signal-noise situation, have a technical feasibility. Instability of optimal spatial structures gives the necessity of additional restrictions for deriving stable, robust solutions. In the given context robustness is understood as a small diversion of spatial structures at small diversions of prior information about signals and noises.

The high sensitivity of spatial structure optimization results to small diversions in the suppositions to noises allows to refer a problem of optimization of spatial structure by maximum likelihood criterion to a class of the incorrect problems. To the solved problem of spatial structure optimization the method of a regularization of the nonlinear incorrect problem is applied here.

The analysis of algorithm on auxiliary function of quality is carried out by a method of computing experiment. The model linear system of three antenna data units was explored at action of $m=14$ noises at various central angles γ of sector in elevation plane with breadth $\Delta\gamma=0,325$ rad. The direction on a signal coincides with a normal line to the aperture.

The offered solution of a problem of robust spatial structures of radiosystems synthesis by a regularization method with use of the metric allows to overcome problems, bound with multiextremeness of criterion function - likelihood ratio - and with instability of the solutions of an incorrect problem. As a result of synthesis the spatial structures, inconvertible both to the starting conditions, and to signal-noise circumstances by acceptable wane in improving the signal -to- noise ratio are obtained.

References

1. *Паршин Ю.Н., Гусев С.И.* Оптимальный прием дискретных сообщений системой обработки с оптимальной пространственной структурой // Радиотехника и электроника. - 2000. - Т. 45, №3. - С.305-312.
2. *Parshin Yu.N. Gusev S.I.* Synthesis of spatial structure of estimation-correlation-compensation signal-processing system // 1-st International Conference "Digital Signal-processing and Its Applications", Moscow, 1998. V. III-E, pp.21-25.