

Литература

1. Lane R. G., Bates R.H.T. Automatic multidimensional deconvolution // Journal Opt. Soc. Am. A4, 1987. – P. 180-188.
2. Bates R.H.T., Quek B.K. Some implications of zero sheets for blind deconvolution and phase retrieval // Journal Opt. Soc. Am. A 7, 1990. – P. 387-395.
3. Bones P.J., Parker C.R. Deconvolution and phase retrieval with use of zero sheets // Journal Opt. Soc. Am. A9, 1995. – P. 231-241.
4. Горячкин О.В. Методы слепой обработки сигналов и их приложения в системах радиотехники и связи. М.: Радио и связь, 2003 – 230 с.

ALGORITHM OF ZERO SHEET IN THE PROBLEM OF SUPPRESSION INTERFERENCE NOISE ON AN IMAGE

Butskikh V.A.

To date, a number of measurement exist of devices, based on the work which are certain methods of image processing. Examples of such devices, random-tain triangulation scanners. The main problem faced by the image processing of the obtained with these devices is to compensate for interference-discriminatory distortions. This type of distortion leads to a sharp increase in uncertainty. To combat this negative phenomenon is proposed to use methods of blind treatment, in particular algorithm zero sheet.

Keywords: interference noise, companion matrix, Taylor series, Fourier transform, factorization of the polynomial.

Буцких Виктор Александрович, аспирант Кафедры «Системы связи» Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Тел. (8-846) 339-11-26. E-mail: brainvictor@rambler.ru

ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 621.396.677

ТЕХНОЛОГИИ РЕАЛИЗАЦИИ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА КОМПЕНСАЦИИ ПОМЕХ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ С АНТЕННЫМИ РЕШЕТКАМИ

Мищенко С.Е., Колесников В.Н., Стрекалов Ю.А., Шацкий В.В., Шацкий Н.В.

Рассмотрена возможность совмещения антенн основного и компенсационного каналов в телекоммуникационных системах связи с антенными решетками. Приведены результаты численного моделирования, на основе которых сформулированы рекомендации по выбору конфигурации и числа элементов антенной решетки компенсационного канала, совмещенной с антенной решеткой основного канала, при заданной геометрии основной антенной решетки.

Ключевые слова: антенная решетка, диаграмма направленности, компенсационный канал, метод компенсации, основной канал.

Введение

Анализ возможных направлений повышения помехоустойчивости телекоммуникационных систем связи, функционирующих в условиях преднамеренных помех, показывает, что многие

из них связаны с применяемыми в их составе антеннами, обеспечивающими решение задач пространственной, частотной и поляризационной селекции. В связи с этим повышение помехоустойчивости этих систем напрямую зависит от путей реализации методов решения этих задач. Одним из таких методов является метод компенсации помех, при использовании которого не требуется информация о пространственной ориентации помех и их временной структуре [1].

Важным элементом метода является корреляционная обработка, позволяющая определить наилучший вес компенсирующего сигнала. Это делает метод компенсации помех близким к методу адаптации, но в отличие от адаптивных антенных решеток (АР) в антеннах с компенсацией помех выделяют только два канала: основной и компенсационный, что значительно упрощает обработку. В идеальном случае для борьбы с по-

мехами диаграмма направленности (ДН) компенсационной антенны в области боковых лепестков должна быть близка к ДН основной антенны, но в направлении на сигнал иметь «нуль». Однако в реальных системах достичь идентичности двух ДН в области боковых лепестков довольно сложно. Поэтому возможна полная компенсация помехи, приходящей только с одного направления, что является ограничением существующего метода компенсации помех [1-2].

Целью статьи является описание математической модели, результатов проведенных расчетов и выдача рекомендаций по построению совмещенной АР телекоммуникационной системы связи с компенсацией помех и выбору конфигурации АР компенсационного канала и числа ее элементов.

Постановка задачи

Обеспечение требуемых характеристик направленности основной и компенсационной антенн в области боковых лепестков при воздействии нескольких произвольно ориентированных помех возможно при решении задачи синтеза антенной системы с компенсацией помех, в результате которой могут быть получены ДН обеих антенн с похожей структурой боковых лепестков [2-5].

При использовании методов компенсации помех необходимо иметь две приемные антенны с ДН $F_{\text{ПРМ1}}(\theta, \varphi)$ и $F_{\text{ПРМ2}}(\theta, \varphi)$ соответственно. При этом величина отношения «сигнал/(помеха+шум)» – ОСПШ после компенсации помех определяется выражением вида [1]:

$$\begin{aligned} Q = & P_{\text{ПРД}} G_{\text{ПРД}} G_{\text{ПРМ1}} \left| \frac{F_{\text{ПРМ1}}(\theta_0, \varphi_0) - CF_{\text{ПРМ2}}(\theta_0, \varphi_0)}{CF_{\text{ПРМ2}}(\theta_0, \varphi_0)} \right|^2 \times \\ & \times \xi_{\text{П}} L_{\Sigma} \{ P_{\text{ПРД,п}} G_{\text{ПРД,п}} G_{\text{ПРМ}} \times \\ & \times \sum_{i=1}^{J_n} \left| \frac{F_{\text{ПРМ1}}(\theta_i, \varphi_i) - CF_{\text{ПРМ2}}(\theta_i, \varphi_i)}{CF_{\text{ПРМ2}}(\theta_i, \varphi_i)} \right|^2 \times \\ & \times \xi_{\text{П}} L_{\Sigma, \text{п}} + k_0 \Delta f \times \\ & \times \left[(1 - \eta_{\text{кпл.А}} \eta_{\text{кпл.обр}}) T_0 + \eta_{\text{кпл.А}} T_{\text{Ш}} \right]^{-1}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $P_{\text{ПРД}}$ и $P_{\text{ПРД,п}}$ – мощность передатчика источника полезного и помехового сигналов соответственно; $G_{\text{ПРД}}$ и $G_{\text{ПРМ}}$ – коэффициенты усиления (КУ) передающей и приемной антенн соответственно; $G_{\text{ПРД,п}}$ – КУ передающей антенны источника помехи; $F_{\text{ПРД}}(\theta, \varphi)$ и $F_{\text{ПРМ}}(\theta, \varphi)$ – векторные ДН передающей и приемной антенн соответственно; (θ_0, φ_0) и $(\theta_{\text{п}}, \varphi_{\text{п}})$ – направление (излучения/прихода полезного и помехового сигналов) в системе координат относительно приемной антенны;

L_{Σ} и $L_{\Sigma, \text{п}}$ – коэффициенты ослабления, учитывающие потери при распространении полезного сигнала и сигнала помехи; k_0 – постоянная Больцмана; T_0 – собственная температура флуктуационных шумов приемной антенны и элементов фидера; $T_{\text{Ш}}$ – эффективная температура апертурных шумов; $\eta_{\text{кпл.А}}$ и $\eta_{\text{кпл.обр}}$ – КПД антенны и устройства обработки соответственно; $\xi_{\text{П}}$ и $\xi_{\text{П,п}}$ – коэффициент передачи по поляризации между источниками полезного сигнала и приемной антенной и между источником помехи и приемной антенной соответственно; $J_{\text{п}}$ – число одновременно воздействующих помех; C – комплексный коэффициент, при котором обеспечивается наилучшая компенсация помех.

В существующих системах величина C определяется с помощью корреляционной обработки [1-2]. Коэффициент C заранее неизвестен, и максимальное значение ОСПШ достигается для произвольного C при условии, что $F_{\text{ПРМ2}}(\theta_0, \varphi_0) = 0$. Из выражения (1) следует, что идеальная компенсация помех возможна только в случае воздействия одной помехи. Одновременное подавление нескольких помех возможно при условии, что

$$F_{\text{ПРМ1}}(\theta_i, \varphi_i) = CF_{\text{ПРМ2}}(\theta_i, \varphi_i), \quad (2)$$

$(\theta_i, \varphi_i) \in \Omega_{\text{бок}}$, где $\Omega_{\text{бок}}$ – область углов, соответствующая боковым лепесткам.

В условиях априорной неопределенности пространственного распределения источников помех максимизация ОСПШ, определяемого выражением (1), требует решения следующей аппроксимационной задачи:

$$\min_{(\theta_i, \varphi_i) \in \Omega_{\text{бок}}} \| F_{\text{ПРМ1}}(\theta_i, \varphi_i) - CF_{\text{ПРМ2}}(\theta_i, \varphi_i) \|, \quad (3)$$

при ограничениях вида:

$$F_{\text{ПРМ1}}(\theta_i, \varphi_i) = 1, \quad F_{\text{ПРМ2}}(\theta_i, \varphi_i) = 0, \quad (4)$$

где $\| F_{\text{ПРМ1}}(\theta_i, \varphi_i) - CF_{\text{ПРМ2}}(\theta_i, \varphi_i) \|$ – оператор, задающий норму пространства ДН, реализуемых первой и второй антеннами телекоммуникационной системы связи. Данная задача может быть сформулирована в нескольких постановках, которые в конечном итоге предусматривают решение задач синтеза ДН основной и компенсационной АР.

Рассмотрим две достаточно близкие постановки задачи компенсации помех для случая, когда АР является совмещенной для основного и компенсационного каналов. Первая постановка: имеется основная АР, из состава излучателей которой выделяется часть излучателей в компенсационную АР и формируется наилучшим образом ДН компенсационной АР с учетом ДН основной АР. Известны: ДН основ-

ной АР F_0 , ДН излучателей компенсационной АР f_m при $m = \overline{1, M}$. Требуется найти весовые коэффициенты w_m , обеспечивающие минимальные отклонения ДН компенсационной АР от ДН основной АР в виде:

$$\min_{\Omega_{\text{бок}}} \left\| F_0 - \sum_{m=1}^M w_m f_m \right\|, \quad (5)$$

если ДН компенсационной АР может быть задана следующим образом:

$$F_k = \begin{cases} |F_k| < \delta, & (\theta, \varphi) \notin \Omega_{\text{бок}}; \\ 0, & \theta = \theta_0, \varphi = \varphi_0; \\ F_0, & (\theta, \varphi) \in \Omega_{\text{бок}}, \end{cases} \quad (6)$$

где F_k – ДН компенсационной антенны, $\delta \geq 0$ – заданное неотрицательное число.

Вторая постановка: имеется основная АР, из состава которой выделяется часть излучателей в компенсационную АР и формируется наилучшим образом ДН основной антенны с учетом ДН компенсационной антенны. ДН основной АР задана как

$$F_0 = \begin{cases} F_{\text{гл}}, & (\theta_i, \varphi_i) \notin \Omega_{\text{бок}}; \\ F_k, & (\theta_i, \varphi_i) \in \Omega_{\text{бок}}, \end{cases} \quad (7)$$

требуется найти комплексные амплитуды возбуждения излучателей АР w_n , обеспечивающие минимальную величину среднеквадратического отклонения (СКО) синтезированной ДН от заданной

$$\min_{\Omega_{\text{бок}}} \left\| F_0 - \sum_{n=1}^N w_n f_n \right\|. \quad (8)$$

В (7)-(8) обозначено $F_{\text{гл}}$ – область главного луча, f_n для $(n = \overline{1, 2, \dots, N})$ – известная ДН излучателя основной АР; N – число элементов АР. Для формирования результирующей ДН без учета априорной информации о помеховой обстановке и с ее учетом коэффициент пропорциональности C , обеспечивающий максимизацию ОСПШ, может быть вычислен при решении этой задачи на основе минимизации функционала вида:

$$\left| \sum_{j=1}^{J_n} \left(F^{(O)}(p_j) - C F^{(K)}(p_j) \right) \right| \quad (9)$$

или с учетом неравенства Коши-Буняковского в виде функционала

$$D = \left[\sum_{j=1}^{J_n} \left| F^{(O)}(p_j) - C F^{(K)}(p_j) \right|^2 \right]^{0.5}. \quad (10)$$

Экстремум функционала (10) совпадает с функцией вида:

$$D = \sum_{j=1}^{J_n} \left| F^{(O)}(p_j) - C F^{(K)}(p_j) \right|^2. \quad (11)$$

После дифференцирования (11) по параметру получим, что критической точке этой функции соответствует значение, определяемое выражением

$$C = \frac{\sum_{j=1}^{J_n} F^{(O)}(p_j) F^{*(K)}(p_j)}{\sum_{j=1}^{J_n} \left| F^{(K)}(p_j) \right|^2}. \quad (12)$$

Результаты численных исследований

Численные исследования выполнены для АР с квадратным раскрытием при различном числе антенных элементов. При моделировании исследовано влияние конфигурации и числа элементов компенсационной АР на качество решения задачи компенсации помех.

Ниже приведены результаты моделирования для АР с числом элементов 16×16 , размещенных в узлах прямоугольной сетки с шагом $0,5\lambda$. Рассмотрены компенсационные АР, состоящие из четырех, восьми и двадцати восьми излучателей. На рис. 1 представлена конфигурация основной АР и компенсационной АР, состоящей из четырех излучателей. Здесь и далее принято, что компенсационная АР разделена на две подрешетки. Первая подрешетка образована излучателями, x -координата которых удовлетворяет условию $x > 0$, а вторая – $x < 0$. Выбор данной конфигурации компенсационной АР обусловлен следующими факторами:

- при размещении излучателей компенсационной антенны на диагоналях квадрата, образуемого прямоугольной сеткой излучателей, при вычитании ДН первой и второй подрешеток формируется область нулей, проходящая через направление нормали к плоскости раскрытия и совпадающая с главными сечениями ДН $\varphi = 0; 90^\circ; 180^\circ; 270^\circ$, уровень боковых лепестков основной АР здесь самый высокий, и формирование «нулей» ДН компенсационной антенны в этих сечениях нежелательно,

- расположение излучателей компенсационной антенны на краю раскрытия основной АР в меньшей степени влияет на характеристики основной АР.

При проведении численных исследований полагалось, что источники помех воздействовали на телекоммуникационную систему связи с произвольно выбранных направлений $p_1(\theta = 35^\circ, \varphi = -156^\circ)$;

$p_2(\theta = 30^\circ, \varphi = -76^\circ)$; $p_3(\theta = 25^\circ, \varphi = 44^\circ)$ и $p_4(\theta = 40^\circ, \varphi = 20^\circ)$, то есть $J_{\Pi} = 4$. Принято, что спектральная мощность помехи превышала сигнал в 100 раз для каждого направления, а спектральная мощность собственных шумов антенны составляет 0,01 от мощности сигнала.

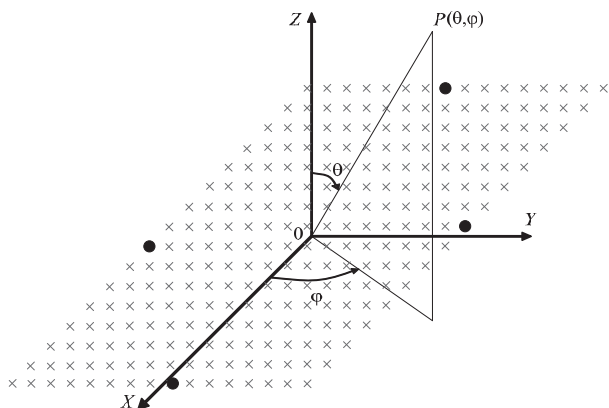


Рис. 1. Конфигурация основной АР (16×16 элементов) и компенсационной АР (4 элемента).

В соответствии с (12) оптимальным значением параметра C для заданной помеховой обстановки является $C = 4,739 \cdot 10^{-3}$. Во всех направлениях наблюдается хорошее приближение ДН основной и компенсационной антенн, характеризуемое значением СКО равным 0,035. При воздействии рассматриваемых помех на АР без компенсации помех величина ОСПШ приблизительно равна 0,25. Добавление компенсационного канала позволяет повысить величину ОСПШ до значения 1,82, т.е. более чем в 7 раз.

Уменьшение числа помех приводит к изменению коэффициента C и возрастанию выигрыша. Так, для первых трех помех $C = 4,326 \cdot 10^{-3}$, $Q = 2,045$, выигрыш составил более 8-ми раз. При двух помехах получим $C = 8,013 \cdot 10^{-3}$ и $Q = 34,705$. Одна помеха будет подавлена полностью, то есть в соответствии с заданными условиями величина $Q = 100$ и ограничена только мощностью шумов ($C = 5,385 \cdot 10^{-3}$).

Использование в составе АР четырех излучателей для решения задачи компенсации помех не приводит к заметному снижению КНД основной АР (КНД уменьшился с 28,49 дБ до 28,48 дБ).

Итак, в условиях рассматриваемой помеховой обстановки выбранная конфигурация компенсационной антенны позволяет осуществлять ослабление помех, приходящих с нескольких направлений. Однако полное подавление помехи возможно лишь в одном направлении. Изменение параметра C для каждого случая помеховой обстановки свидетельствует о том, что отклонение ДН основной и компенсационной антенн является заметным.

Рассмотрим другую геометрию компенсационной АР, образованную одновременным сдвигом излучателей компенсационной АР к центру на один шаг. Наилучшие результаты были получены при размещении излучателей на втором ряду от края раскрыва АР. При решении задачи синтеза ДН основной АР с учетом характеристик компенсационной АР это позволило уменьшить по сравнению с предыдущей конфигурацией величину СКО до 0,031. Однако величина ОСПШ для рассматриваемой помеховой обстановки при использовании основной АР без компенсации помех уменьшилась примерно в 2 раза до $Q = 0,122$. Введение компенсационного канала позволило повысить величину ОСПШ в 7,1 раза для четырех помех; в 7,4 раза – для трех и в 151,4 раза – для двух помех. Величина КНД уменьшилась до 28,45 дБ. Параметр для различного числа помех при этом оставался неизменным и был равен 0,011. Это говорит о довольно хорошей реализуемости требований к форме ДН основной АР в области боковых лепестков. Следовательно, рассмотренная конфигурация АР позволяет системе уверенно «бороться» как минимум с двумя мощными источниками помех.

Рассмотрим компенсационную АР из восьми антенных элементов. С учетом предыдущих результатов в качестве излучателей компенсационной АР использованы излучатели второго и четвертого рядов, считая от края прямоугольного раскрыва АР. На рис. 2 приведены заданная и синтезированная ДН основной АР в сечении $\varphi = 150^\circ$ (кривая 1 и 2 соответственно). СКО синтезированной ДН от заданной ДН составляет 0,053.

Представленная конфигурация компенсационной АР позволяет при выборе параметра C получить выигрыш в ОСПШ для различной помеховой обстановки. Так, для четырех помех при $C = 7,134 \cdot 10^{-3}$ величина выигрыша в ОСПШ составила 17,3 раза; для трех помех при $C = 8,182 \cdot 10^{-3}$, – $Q = 20,2$ раза; для двух помех выигрыш в ОСПШ составил $Q = 49,6$ раза, при этом значение C было равно $8,515 \cdot 10^{-3}$. Начальная величина ОСПШ на выходе основной АР без компенсации помех была равна 0,161. КНД в раскрыве АР составил при этом 27,9 дБ.

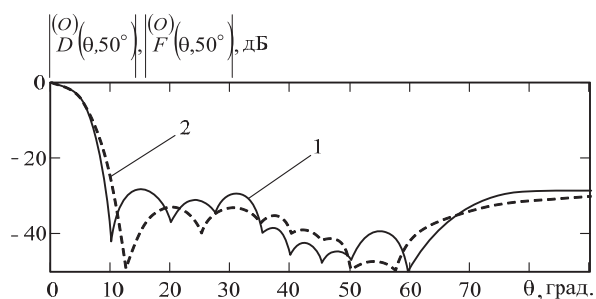


Рис. 2. Заданная и синтезированная ДН АР при введении 8 элементов в компенсационную АР

На рис. 3 приведена конфигурация компенсационной АР, состоящей из двадцати восьми излучателей. Геометрия подрешеток компенсационной АР выбрана, как и ранее, асимметричной относительно координатных осей. Разделение компенсационной АР на две подрешетки производится в соответствии с правилом, изложенным выше.

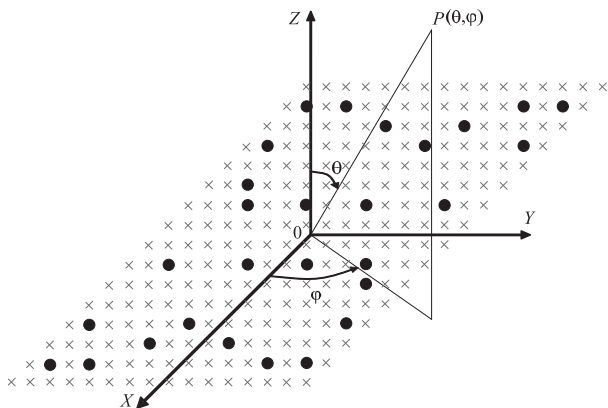


Рис. 3. Конфигурация основной АР и компенсационной АР из 28 излучателей

Выбранная конфигурация компенсационной АР позволила уменьшить диапазон изменения оптимального коэффициента пропорциональности C для различных помеховых обстановок. Так, в случае четырех помех при отсутствии компенсации помех имеем $Q = 0,053$. Реализация метода компенсации помех обеспечивает величину $Q = 7,52$ (выигрыш равен 142 раза). В условиях воздействия трех помех $Q = 13,824$ (выигрыш – 258 раз). Для двух одновременно действующих помех получим $Q = 98,653$ (выигрыш – 1845 раз), то есть две помехи практически неразличимы на фоне собственных шумов антенны.

Высокая степень устойчивости системы к одновременному воздействию нескольких помех достигнута за счет увеличения числа излучателей компенсационного канала, распределенных вдоль раскрыва основной АР. Естественно, уменьшение числа элементов основной АР влечет за собой снижение точности аппроксимации заданной ДН (СКО равен 0,083) и снижение КНД с 28,5 дБ до 25,9 дБ.

Достоинство последней конфигурации состоит в неизменности значения параметра C для различных помеховых ситуаций. На рис. 4 представлен выигрыш в ОСПШ с учетом снижения КНД основной АР при использовании в составе компенсационной АР двадцати восьми элементов для различных направлений прихода помехи, превышающей сигнал на 20 дБ. Кривая 1 соответствует сечению $\varphi = 20^\circ$, кривая 2 – сечению $\varphi = -156^\circ$, кривая 3 – $\varphi = 44^\circ$ и кривая 4 – $\varphi = -76^\circ$.

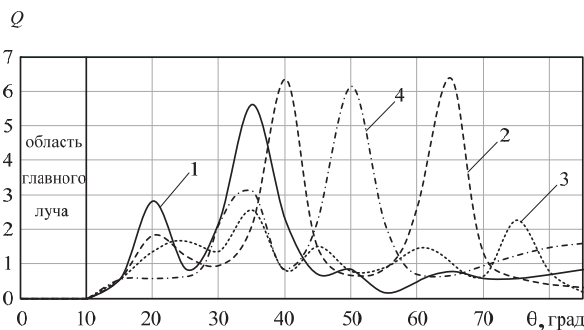


Рис. 4. Выигрыш в ОСПШ с учетом снижения КНД основной АР при использовании в составе компенсационной АР 28 элементов для различных направлений прихода помехи

Анализ приведенных результатов позволяет сделать вывод о том, что при постоянном значении параметра C удастся обеспечить ослабление помехи для большинства направлений. Направления, в которых наблюдается проигрыш (величина выигрыша меньше единицы), соответствуют направлениям «нулей» ДН основной АР. В данных направлениях компенсация помех является излишней, но и не приводит к заметному снижению ОСПШ на выходе основной АР.

Выводы

Исследования АР с совмещенным раскрывом показали, что оптимальное соответствие ДН основной и компенсационной антенн в области боковых лепестков, достигаемое за счет использования методов синтеза АР, обеспечивает наиболее эффективную компенсацию нескольких помех, приходящих с произвольных направлений. Для наилучшей реализации методов решения задач синтеза совмещенной АР с компенсацией помех необходимо, чтобы конфигурация компенсационной АР была асимметричной относительно координатных осей, соответствующей ориентации главных сечений прямоугольного раскрыва основной АР. Излучатели должны быть расположены ближе к координатным осям, но не на краях раскрыва основной АР. Размеры компенсационной антенны могут быть несколько меньше размеров основной АР. Число излучателей компенсационной антенны при совмещении с раскрывом основной АР адаптивно изменяется в зависимости от условий помеховой обстановки.

Литература

1. Защита от радиопомех. Под ред. М.И. Максимова. М.: Сов. радио, 1976. – 496 с.
2. Колесников В.Н., Мищенко Е.Н., Мищенко С.Е., Шацкий В.В. Метод компенсации помех в антенных решетках // Доклады VIII МС «Элек-

- ромагнитная совместимость и экология». Санкт-Петербург: Изд. ЛЭТИ, 2009. – С.221-224.
3. Колесников В.Н., Мищенко С.Е., Шацкий В.В. Аппроксимационный синтез автокомпенсатора помех // Известия вузов. Радиоэлектроника. №4, 2009. – С.76-80.
 4. Колесников В.Н., Мищенко С.Е., Мищенко Е.Н., Шацкий В.В. Исследование характеристик антенных решеток радиосистем широкополосной связи, реализующих метод компенсации помех // Труды МНТК «Излучение и рассеяние ЭМВ-ИРЭМВ-2009». Таганрог, Изд. ТТИ ЮФУ, 2009. – С. 121-124.
 5. Колесников В.Н., Мищенко С.Е., Шацкий В.В. Алгоритм подавления помех при приеме падающей электромагнитной волны многоканальной антенной системой // Автоматика и вычислительная техника. Т.42, 2008. – С.73–80.

TECHNOLOGIES OF REALIZATION OF THE MODIFIED METHOD OF COMPENSATION FOR INTERFERENCE IN TELECOMMUNICATION SYSTEMS WITH ANTENNA ARRAYS

Kolesnikov V.N., Mithenko S.E., Strekalov Y.A., Shatcky V.V., Shatcky N.V.

The possibilities of combining of antennas of main and compensative channels in telecommunication systems with antenna arrays were considered. The results of numerical modeling for antenna array with the main and compensatory channel are represented. The recommendations for choice configurations and numbers of elements of an antenna array of the compensatory channel combined with an antenna array of the main channel are formulated.

Keywords: antenna array, radiation pattern, compensation channel, method of compensation, basic channel.

Колесников Виталий Николаевич, к.т.н., начальник НИЛ Военной академии РВСН им. Петра Великого. Тел. 8-929-911-09-96. E-mail: kvitonX@yandex.ru

Мищенко Сергей Евгеньевич, д.т.н., профессор Ростовского технологического института сервиса и туризма. Тел. (8-863) 297-01-58. E-mail: mihome@yandex.ru

Стрекалов Юрий Анатольевич, к.т.н., доцент Ставропольского филиала Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Тел. (8-865) 255-45-01. E-mail: sfr-gati@yandex.ru

Шацкий Виталий Валентинович, к.т.н., старший научный сотрудник ФГУП Ростовский НИИ радиосвязи. Тел. (8-863) 241-81-43, 250-00-15. E-mail: vshatsv@yandex.ru

Шацкий Николай Витальевич, к.т.н., доцент, старший научный сотрудник Секции по оборонным проблемам МО РФ при Президиуме РАН. Тел. (8-863) 297-50-41; 200-95-25. E-mail: SPP-SKO-RAN@yandex.ru

УДК 621.396.4

АЛГОРИТМ ТУРБО-ДЕКОДИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ С ТРКМ В КАНАЛАХ С МСИ

Хабаров Е.О., Максимов Е.В.

Рассматривается процедура мягкого декодирования сигнальных последовательностей с турбо-решетчатой кодовой модуляцией (ТРКМ) в каналах с межсимвольной интерференцией. Особенностью декодера является применение решетчатой обратной связи по решению при вычислении метрик ребер, оценивание амплитуд сигнальной последовательности, а также обмен априорной информацией о сигнальных амплитудах между МАВ-декодерами.

Ключевые слова: турбо-решетчатая кодовая модуляция (ТРКМ), межсимвольная интерференция (МСИ), итеративное декодирование, декодирование по максимуму апостериорной вероятности (МАВ-декодирование).

Введение

Изобретение в 1993 г. турбо-кодов и методов их итеративного декодирования [1] открыло новую страницу в истории телекоммуникационных технологий. Применение турбо-кодов позволило существенно улучшить помехоустойчивость при передаче дискретных сообщений по каналам различного типа и вплотную приблизиться к границе Шеннона. При этом следует отметить, что применение подобных методов требует существенной задержки в принятии решения и, как правило, подобные сигнально-кодовые конструкции применимы в системах пакетной связи.