

на правах рукописи

РАДИОНОВ ВЛАДИМИР ВИКТОРОВИЧ

УДК 621.396:621.391

ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ СУДОВЫХ МНОГОКАНАЛЬНЫХ
РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

05.12.02 - Системы и устройства передачи
информации по каналам связи

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса 1994

Работа выполнена в Одесской государственной морской академии.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор, академик Кошевой В.М.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор Кисель В.А. (УГАС)
- кандидат технических наук, доцент Кононов А.А. (ОдПУ)

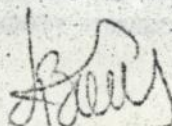
Ведущее предприятие - СКБ "Молния", г. Одесса.

Защита диссертации состоится 28 октября 1994 г. на заседании Специализированного совета К 113.05.01 в Украинской государственной академии связи им. А.С.Попова по адресу: 270021, г.Одесса, ул. Чельскинцев, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке академии.

Автореферат разослан 26 сентября 1994 г.

Ученый секретарь
Специализированного совета,
кандидат технических наук,
профессор



П.П.Воробиенко

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00777700 (S)

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Важнейшей задачей при разработке судовых многоканальных радиотехнических систем различного назначения является обеспечение их высокой помехозащищенности при воздействии комплекса помех. В условиях априорной неопределенности относительно статистических свойств помех существенного повышения помехозащищенности следует ожидать от использования адаптивной обработки сигналов (АОС), позволяющей преодолеть указанную неопределенность. Основным препятствием для использования алгоритмов АОС является пространственная и временная нестационарность помех, в результате чего объем обучающей выборки, в пределах которого помеху приближенно можно считать стационарной, оказывается недостаточным для ее эффективной режекции. Значительным резервом повышения эффективности адаптивной обработки в условиях малого объема обучающей выборки является учет структурных свойств межканальных и межпериодных корреляционных матриц (КМ) помех, связанных с регулярной геометрией идентичных приемных каналов и постоянством периода зондирования. Однако в реальных приемных системах в силу различного рода причин условия регулярности и идентичности каналов выдержать не удается. Это может привести к существенным потерям в эффективности даже по сравнению с традиционными методами адаптивной помехозащиты.

Таким образом, актуальность темы обусловлена необходимостью повышения помехозащищенности судовых многоканальных радиотехнических систем в условиях априорной неопределенности на основе использования АОС, учитывающей структурные свойства КМ помех и неидентичность приемных каналов.

Цель работы. Повышение помехозащищенности многоканальных когерентных и некогерентных судовых радиотехнических систем в условиях нестационарной помеховой обстановки.

Задачи исследования:

1. Анализ эффективности алгоритмов АОС, учитывающих структурные свойства КМ помех, в условиях неидентичности приемных каналов.
2. Синтез алгоритмов оценивания КМ теплоценовой структуры и анализ их эффективности.
3. Синтез алгоритмов адаптивной оптимизации линейной последовательной обработки с учетом структурных свойств межпериодной КМ и анализ их эффективности.

4. Разработка структурных схем цифровых процессоров, реализующих синтезированные алгоритмы.

Методы исследований. При решении поставленных задач использованы аппарат линейной алгебры, теории вероятности и случайных процессов, многомерного статистического анализа, численные методы оптимизации функций нескольких переменных и решения нелинейных уравнений; вычислительные методы линейной алгебры и моделирование на ЭВМ.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. Аналитически исследована скорость сходимости алгоритма АОС с персимметрической КМ, выявлена ее зависимость от сигнально-помеховой обстановки и получены точные выражения для нижней и верхней границ нормированного выходного отношения сигнал/помеха + шум (ОСШ); показано, что предельная скорость сходимости достигается при любой помеховой обстановке только для сигналов со свойством сопряженной симметрии, причем с увеличением порядка фильтра нижняя граница асимптотически стремится к верхней.
2. Получены точные выражения для функции правдоподобия комплексных коэффициентов отражения (КО), однозначно определяющих КМ теплоцевой структуры, и рекуррентные выражения для вычисления целевой функции и вектора градиента, допускающие эффективную вычислительную реализацию на базе параллельных решетчатых структур; на их основе синтезированы новые алгоритмы рекуррентного и совместного оценивания комплексных КО по критерию максимума правдоподобия (МП), гарантирующие неотрицательную определенность соответствующей теплоцевой оценки КМ и превосходящие известные по эффективности в условиях малого объема обучающей выборки.
3. В рамках многоканальной последетекторной межпериодной обработки синтезирован квазиоптимальный алгоритм, превосходящий по эффективности традиционные схемы череспериодной компенсации (ЧК) и, в отличие от оптимального, требующий информации только о КМ помех на выходе детектора. Разработана процедура последетекторной АОС и показано, что учет теплоцевой структуры межпериодной КМ позволяет достичь практически потенциальных показателей выделения сигналов движущихся целей при настройке по одному элементу дальности в пределах 20 периодов зондирования.

Практическая ценность. Показана принципиальная возможность и предложены методы использования эффективных в условиях малого

объема обучающей выборки процедур адаптации на основе учета структурных свойств КМ помех в реальных многоканальных радиотехнических системах с неидентичными приемами каналами. Реализация разработанного алгоритма многоканальной адаптивной межпериодной последетекторной обработки в существующих некогерентных РЛС не требует их модификации и позволяет обеспечить обнаружение малогабаритных скоростных морских целей, маскируемых мощными мешающими отражениями от морской поверхности, путем доукомплектования РЛС персональной ЗЕМ и соответствующим блоком сопряжения.

Реализация результатов исследований. Результаты теоретических и практических исследований, изложенные в диссертационной работе, являются частью НИР, проводимой в рамках Программы фундаментальных и поисковых исследований в интересах обороны Украины, утвержденной 7 августа 1992г. Внедрение результатов работы проводилось в рамках НИР в интересах ВНИИРТ (г.Москва) в 1991-1992 г.г.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всесоюзном координационном научно-техническом семинаре по вопросам адаптивной обработки сигналов, Одесса, 1987 г.; Украинском республиканском семинаре "Вероятностные модели и обработка случайных сигналов и полей", Черкассы, 1991г.; 46-й научной конференции профессорско-преподавательского состава и курсантов СІМА, 1993 г.; Международной научно-технической конференции "Спутниковые системы связи и вещания: перспективы развития в Украине" (UkrSatCom-93), Одесса, 1993 г.

Публикации. По теме диссертации опубликованы работы [1-15].

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, пяти приложений и списка литературы, включающего в себя 157 наименований. Содержит 160 страниц, включая 98 страниц основного текста, 21 страницу рисунков, 3 страницы таблиц, 17 страниц списка литературы и 21 страницу приложений.

Основные положения, вносимые на защиту :

1. Результаты анализа эффективности АСС в каналах с центральной симметрией.
2. Алгоритмы АСС, основанные на МП-критерии оценивания теплицевых КМ и допускающие эффективную вычислительную реализацию.
3. Квасиоптимальный алгоритм межпериодной последетекторной обра-

ботки, превосходящий по эффективности известные и использующий информацию о КМ помех на выходе детектора.

4. Результаты анализа эффективности адаптивной оптимизации линейной последетекторной обработки, использующей структурные свойства межпериодной КМ помех на выходе детектора.

5. Структуры цифровых процессоров межканальной АОС.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследований, сформулированы цель и основные положения диссертации.

В первом разделе проведен аналитический обзор литературных источников, из которого следует, что в известных публикациях отсутствует достаточно полный строгий анализ эффективности алгоритмов АОС, учитывающих структурные свойства КМ помех. Кроме того, для задачи МП оценивания тепловых КМ помех не разработаны соответствующие алгоритмы, допускающие эффективную вычислительную реализацию и в то же время гарантирующие неотрицательную определенность получаемой оценки. Наконец, неясно, каким образом реализовать межпериодную последетекторную обработку в условиях априорной неопределенности, поскольку необходимо оценивать межпериодную КМ помех на входе детектора, тогда как наблюдения доступны данные на его выходе. На основании проведенного анализа сформулирована цель и основные задачи исследований.

Во втором разделе проведен анализ эффективности адаптивной обработки в неидентичных приемных каналах с центральной симметрией при использовании как структурных свойств межпериодной КМ помех, так и априорной информации о неидентичности.

Изучено влияние сигнально-помеховой обстановки на скорость настройки адаптивных фильтров с весовым вектором

$$\mathbf{a} = \hat{\mathbf{D}}^{-1} \mathbf{a}_0,$$

где \mathbf{a} - вектор ожидаемого сигнала, $\hat{\mathbf{D}}$ - МП-оценка КМ \mathbf{D} персимметрической структуры. Показано, что зависимость нормированного ОСПН ϵ от сигнально-помеховой ситуации определяется единственным параметром λ :

$$\lambda = \frac{1}{2} \left[1 + \sqrt{1 - (2\|\mathbf{g}_1\| \|\mathbf{g}_2\| \sin \varphi_{\mathbf{g}_1, \mathbf{g}_2})^2} \right]$$

где $\|\cdot\|$ - евклидова норма, $\mathbf{g}_1 + j\mathbf{g}_2 = (\mathbf{I} - j\mathbf{J})\hat{\mathbf{D}}^{-1/2} \mathbf{v} / (2\mathbf{v}^H \hat{\mathbf{D}}^{-1} \mathbf{v})^{1/2}$, \mathbf{J} - антисимметричная матрица, $0,5 < \lambda < 1$. Случай $\lambda=1$ соответствует коллинеарным векторам \mathbf{g}_1 и \mathbf{g}_2 , что, независимо от помеховой ситуа-

ши, имеет место при сопряженной симметрии в: $s_n = c_{K-n+1}^*$. При этом реализуется предельная скорость сходимости, а зависимость средней величины нормированного ОСШ ϵ от числа каналов N и объема обучающей выборки L определяется выражением

$$E(\epsilon) = (2K-N+2)/(2K+1). \quad (1)$$

При несимметричных сигналах скорость сходимости снижается по сравнению с предельной и зависит от конкретной сигнально-помеховой обстановки. Минимальное значение $\lambda=0,5$ достигается при ортогональности векторов s_1 и s_2 . Показано, что случай $\lambda=0,5$ соответствует наилучшей сигнально-помеховой ситуации, когда наблюдается предельное замедление сходимости адаптивного фильтра. Для определения нижней границы скорости сходимости N -канального фильтра получено выражение для средней величины нормированного ОСШ в виде ряда (для четных N):

$$E(\epsilon) = 2 \frac{\left(x - \frac{K}{2} + 2\right)_{N/2-1} \left(x - \frac{K}{2} + 3\right)_{N/2-1} \frac{N-1}{2} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{p=0}^n \frac{\left(\frac{1}{2}\right)_p (K+1)_p}{(2K-K+5)_{p/2-1} (1)_{N/2-1} \frac{N-N+3}{2}} \times$$

$$\times \frac{(1)_{n-p}}{\left(x - \frac{K}{2} + 2\right)_{n-p}} \sum_{m=0}^{n-p} (-1)^m \frac{(1)_{2(n-p-m)+n}}{(1)_m \left(x - \frac{K}{2} + 4\right)_{2(n-p-m)}} \sum_{q=0}^{p+\frac{N}{2}-2} \frac{[-(p+\frac{N}{2}-2)]_q}{(2(n-p-m)+K-\frac{N}{2}+4)_q} \times$$

$$\times \frac{\left(x - \frac{K}{2} + 3\right)_q (2K-N+5)_q}{(p+2K-\frac{N}{2}+4)_q} (1)_q \left[\begin{matrix} 2(n-p-m)+1, 2(n-p-m)+1; 1 \\ q+2(n-p-m)+K-N/2+4; 2 \end{matrix} \right]. \quad (2)$$

Произведен расчет максимального относительного ухудшения эффективности по сравнению с предельным случаем (1) для различных значений N и K . Показано, что с увеличением N при объеме обучающей выборки $L=N/2$ наблюдается тенденция к сближению верхней и нижней границ средней эффективности, причем даже при малых N максимальные потери не превышают десятых долей дБ, что говорит о возможности использования на практике предельной оценки (1).

Для исследования эффективности АОС в неидентичных каналах в качестве модели неидентичности принято линейное невырожденное преобразование A . При этом КМ D удовлетворяет соотношению

$$D = A J [A^{-1} D (A^{-1})^H]^{-1} J A^H. \quad (3)$$

Согласно результатам моделирования, применение алгоритма АОС в параметрических оценках КМ в случае неидентичности параметров каналов может приводить к существенным потерям в эффективности

(десятики дБ) по сравнению с алгоритмами, не учитывающими структурных свойств КМ. В связи с этим рассмотрен более общий класс оценок вида

$$\hat{D} = \frac{1}{2K} \sum_{k=1}^K \left[x(k)x^H(k) + E x^H(k)x^T(k)B^H \right] \quad (4)$$

где $x(k)$ - K -й вектор обучающей выборки. Для случая МП-оценки КМ структуры (3), когда $B = A(A^{-1})^*$, получена предельная оценка средней величины нормированного ОСПН, совпадающая с (1). Таким образом, использование оценки (4) требует в 2 раза меньшего объема обучающей выборки по сравнению с МП-оценкой КМ общей структуры.

Исследована чувствительность алгоритма АС с оценкой (4) к точности определения неидентичности каналов. С этой целью элемент матрицы A представлен в виде $a_{ij} = \bar{a}_{ij} + \xi_{ij}$, где ξ_{ij} - нормальная центрированная комплексная случайная величина, \bar{a}_{ij} - истинное значение a_{ij} , введена величина относительной среднеквадратической погрешности

$$\sigma_{\text{отн}} = \frac{1}{|A|} \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N E |\xi_{ij}|^2}$$

где $|A|$ - норма матрицы A , и методом статистического моделирования получены зависимости ОСПН в установившемся режиме от величины $\sigma_{\text{отн}}$. Результаты моделирования показали применимость использования оценки (4) на практике, так как допустимые при этом погрешности составляют величину порядка $10^{-2} \dots 10^{-3}$, что соответствует возможностям измерительной техники.

В третьем разделе рассмотрены вопросы повышения эффективности АС в условиях малого объема обучающей выборки путем учета теплицевой структуры КМ помех. При оценивании КМ использован МП-критерий, в качестве оптимизируемых параметров выбраны КО, что позволило естественным образом ввести ограничение на положительную определенность соответствующей теплицевой оценки КМ.

Получено точное выражение для функции правдоподобия (МП) комплексных КО β_n , на его основе синтезированы два алгоритма оценивания. Первый алгоритм реализует рекуррентную максимизацию МП относительно β_n при фиксированных первых $n-1$ КО в предположении, что последующие $N-n-1$ КО нулевые. На каждом шаге процедуры уравнение правдоподобия сводится к кубическому уравнению относ-

тельно модуля КО ρ_n :

$$(N-n)\nu_n \rho_n^3 + (N-2n)|\eta_n| \rho_n^2 - (N\nu_n + n\xi_n)\rho_n - N|\eta_n| = 0, \quad (5)$$

где искомым КО ρ_n связан с корнем уравнения (5) соотношением

$$\hat{\rho}_n = \hat{\rho}_n \eta_n / |\eta_n|,$$

а коэффициенты ξ_n , ν_n и η_n выражаются через ошибки предсказания вперед и назад. Строго доказано существование по крайней мере одного вещественного корня $\hat{\rho}_n$ уравнения (5), по абсолютной величине не превосходящего 1, что является необходимым и достаточным условием неотрицательной определенности КМ.

Второй алгоритм реализует совместную оптимизацию всех $N-1$ КО и, в отличие от рекуррентного МП-алгоритма (РМП), требует принятия специальных мер для обеспечения положительной определенности соответствующей КМ. Чтобы гарантировать выполнение условия $|\rho_n| < 1$, использовано представление комплексного КО в виде $\rho_n = U \sin^2 \theta_n \exp(i\varphi_n)$, где U — константа вида $U=0,99999\dots$, определяемая разрядностью вычислений и предполагаемой обусловленностью задачи. Получены выражения для соответствующей целевой функции

$$l = N \ln \xi_n - \sum_{i=1}^{N-1} \{ \ln(1 - U^2 \sin^2 \theta_i) \}$$

и ее производных по θ_n и φ_n , которые определяются ошибками предсказания $(N-1)$ -го порядка и их соответствующими производными. Вычисляя целевую функцию и вектор градиента на основании полученных выражений, можно построить различные процедуры МП-оценивания КО, в частности, алгоритм наискорейшего спуска или квази-ньютонский алгоритм с аппроксимацией гессиана по методу секущих. При этом основной объем операций, приходящийся на вычисление ошибок предсказания и их производных, может быть реализован аппаратно на основе параллельных релейных структур.

Исследованы зависимости выходного ССРП от объема обучающей выборки K для известных и синтезированных алгоритмов. Показано, что учет топической структуры КМ позволяет существенно повысить начальную скорость сходимости алгоритма АОС, а переход от энергетического критерия оценивания КО (алгоритм Барда) к безразностному обеспечивает дополнительный выигрыш в несколько дБ при минимальных объемах обучающей выборки. Совместная оптимизация КО приводит к предельному повышению скорости сходимости и позволяет

уже при $K=2$ достичь практически потенциального показателя.

Четвертый раздел посвящен вопросам повышения эффективности вычисления сигналов от подвижных малоразмерных целей на фоне мешающих отражений от морской поверхности в некогерентных РЛС в условиях априорной неопределенности относительно статистических свойств принимаемых сигналов.

Вектор оптимальной в смысле энергетического критерия обработки определяется условием:

$$w = \arg \max_w \frac{w^T R w}{w^T R_{II} w}, \quad (6)$$

где $R = R_{ср} - R_{II}$, R_{II} и $R_{ср}$ - межпериодные КМ помех и смеси сигнала и помехи соответственно на выходе детектора. Условие (6) удовлетворяет максимальный собственный вектор матрицы $R_{II}^{-1} R$. Однако, если измерение КМ R_{II} на выходе детектора принципиально осуществимо, то для формирования матрицы R необходимо знать коэффициенты корреляции недоступных наблюдению процессов на входе детектора. С учетом имеющей место на практике малости отношений сигнал/помеха и шум/помеха, а также сильной межпериодной корреляции флуктуаций сигнала и мешающих отражений, предложена двухгранговая аппроксимация матрицы R :

$$R = 2\sigma^2 [u u^T + v v^T],$$

где σ^2 - отношение сигнал/помеха на входе детектора, u и v - векторы с элементами $u_i = \cos(i\theta)$ и $v_i = \sin(i\theta)$ соответственно, θ - доплеровская разность фаз сигнала и помехи. В этом случае вектор обработки определяется выражением

$$w = R_{II}^{-1} (A_1 u + A_2 v),$$

где A_1 и A_2 - элементы максимального собственного вектора матрицы

$$C = \begin{bmatrix} u^T R_{II}^{-1} u & v^T R_{II}^{-1} u \\ u^T R_{II}^{-1} v & v^T R_{II}^{-1} v \end{bmatrix}.$$

вычисляемые аналитически.

Выполнен сравнительный анализ эффективности предложенного алгоритма обработки, традиционных схем ЧК различной кратности и применяемого в настоящее время в судовых РЛС квадратичного накопления. В качестве меры эффективности использовалась нормированный энергетический критерий:

$$\mu = \frac{1}{\alpha^2} \frac{w^T R w}{w^T R_{\Pi} w}$$

Рассчитаны потенциальные скоростные характеристики, отражающие зависимость величины μ от доплеровской разности фаз сигнала и мешающих отражений при точной настройке соответствующего скоростного канала на полезный сигнал, для широкого диапазона спектров флуктуирующей помехи. Расчеты показывают, что при спектре флуктуирующей мешающей отражений, близкому к резонансному, обработка на основе однократного ЧК и квазиоптимальный алгоритм реализуют практически потенциальную эффективность при любой ширине спектра флуктуаций. При форме спектра флуктуирующей, близкой к гауссовой, обработка на основе ЧК требует подбора кратности M , соответствующей ширине спектра флуктуаций, для достижения максимально возможной эффективности. Так, если при $\rho_{\Pi} = 1$ наилучшие результаты дает схема с однократным ЧК, то при $0,995 < \rho_{\Pi} < 0,999$ необходимо выбирать $M=2$. Дальнейшее расширение спектра помехи требует повышения кратности ЧК. Квазиоптимальная же обработка при сильно коррелированной помехе ($\rho_{\Pi} > 0,995$) обеспечивает практически потенциальные показатели для всех скоростных каналов, а при $\rho_{\Pi} < 0,995$ по эффективности занимает промежуточное положение между схемами с ЧК и оптимальной обработкой, приближаясь к последней при скоростях цели, близких к оптимальной.

Замена последетекторной КМ помех в квазиоптимальном алгоритме соответствующей ее оценкой дает возможность повысить эффективность выделения сигналов от подвижных целей в условиях априорной неопределенности по сравнению с традиционными методами чересперодной компенсации. Рассмотрены две оценки КМ, первая из которых учитывает инвариантность статистических характеристик помехи к временному сдвигу и персимметрическую структуру КМ R_{Π} , а вторая учитывает теплицеву структуру КМ. Для исследования эффективности адаптивной обработки методом статистического моделирования получены зависимости среднего значения μ от объема обучающей выборки \bar{N} и числа периодов обучения L на выходе скоростных каналов, соответствующих значениям $\theta = 0, 0,2\pi, 0,4\pi, 0,6\pi, 0,8\pi$ и π (оптимальная скорость). Моделирование показывает, что при использовании оценки КМ в классе теплицевых структур для удовлетворительного качества выделения сигнала от подвижной цели достаточно производить обучение по одному соседнему элементу

дальности ($Z=1$), при этом достаточно обработать порядка $L=20$ периодов повторения, что укладывается в возможности эксплуатируемых в настоящее время судовых РЛС. Расчеты показывают, что если, например, при $N=10$, $\sigma^2 = -10$ дБ и $\rho_{\Pi} = 0,995$ традиционное некогерентное накопление при заданной вероятности ложной тревоги $P_{\text{лт}} = 0,1$ обеспечивает вероятность обнаружения $P_{\text{об}}$ цели с относительной доплеровской фазой $0,2\pi$ не более $0,2$, то переход к многоканальной обработке на основе однократного ЧИХ позволяет повысить этот показатель до $0,62$, а использование предложенного квазиоптимального алгоритма обеспечивает $P_{\text{об}} = 0,91$.

В пятом разделе рассмотрены вопросы практической реализации алгоритмов адаптивной многоканальной обработки, в том числе учитывающих центральную симметрию и неидентичность каналов, применительно к многолучевым приемным системам параллельного обзора с фазированными антенными решетками (ФАР).

Предложен единый подход к синтезу алгоритмов оптимальной обработки сигналов в многолучевых ФАР на основе декоррелирующих преобразований, с его помощью получен ряд новых структур оптимальной обработки виде

$$y = S^H \left[\prod_{i=1}^{N-1} D_i L_i^H \right] D \left[\prod_{i=N-1}^1 L_i D_i \right] x,$$

где x и y - векторы сигналов на выходах каналов и приемных лучей соответственно, S - лучеобразующая матрица, D_i и L_i - соответственно диагональные и элементарные неунитарные матрицы, определяемые конкретным видом используемого декоррелирующего преобразования. Разработана методика синтеза рекуррентных процедур адаптивной настройки декоррелирующих структур. На основании предложенной методики синтезированы новые алгоритмы рекуррентного оценивания коэффициентов декоррелирующих преобразований. Предложены структурные схемы цифровых процессоров, реализующих синтезированные алгоритмы. Разработанные устройства используют одну и ту же аппаратуру как на этапе адаптации, так и на этапе обработки, и состоит из $N^2/2$ локально связанных между собой идентичных модулей, причем аппаратурная сложность такого модуля не зависит от числа каналов N , что создает предпосылки для реализации этих устройств в виде специализированных систолических вычислителей, дополняющих аппаратуру существующих и перспективных многоканальных радиотехнических комплексов морского базирования. Оригиналь-

ность технических разработок подтверждена авторским свидетельством и решением экспертизы ЕНИИПТ о выдаче патента РФ.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Показано, что применение алгоритмов АРС с персимметрическими оценками КМ в случае неидентичности приемных каналов может приводить к существенным потерям в эффективности (десятики дБ) по сравнению с алгоритмами, не учитывающими структурных свойств КМ.
2. Учет как структуры межканальной КМ, так и неидентичности приемных каналов позволяет получить выигрыш в скорости сходимости до 2 раз по сравнению со случаем КМ общей структуры. Это относится как к МП-оценкам КМ, так и к регуляризованным.
3. Для реализации указанного выигрыша достаточно оценить параметры неидентичности с относительной СКО порядка $10^{-3} \dots 10^{-2}$.
4. Предельная скорость сходимости алгоритмов АРС с персимметрическими оценками КМ имеет место в любых помеховых ситуациях при сигналах со свойством сопряженной симметрии.
5. При асимметричных сигналах скорость сходимости снижается по сравнению с предельной и зависит от конкретной сигнально-помеховой обстановки.
6. При увеличении N наблюдается тенденция к сближению верхней и нижней границ эффективности, т.е. предельная оценка скорости сходимости одновременно является асимптотической для больших N .
7. Максимальное ухудшение эффективности, связанное с асимметрией сигнала, не превышает десятых долей децибелла.
8. Получено точное выражение для функции правдоподобия комплексных коэффициентов отражения, однозначно определяющих КМ теплощевой структуры.
9. Получены рекуррентные выражения для вычисления целевой функции и вектора градиента, допускающие реализацию на базе параллельных решетчатых структур.
10. Синтезированы новые алгоритмы рекуррентного и совместного МП-оценивания комплексных КО, методом статистического моделирования исследована их эффективность.
11. Результаты моделирования свидетельствуют о высокой эффективности разработанных алгоритмов в условиях малого объема обучающей выборки.
12. Синтезирован алгоритм адаптивной последовательной межпериодной обработки. Показано, что для обучения достаточно 20 периодов

повторения в одном элементе дальности. Предложенный алгоритм позволяет превзойти показатели традиционных схем ЧПК в условиях априорной неопределенности для широкого класса помеховых ситуаций и допускает эффективную вычислительную реализацию на основе многоканального составного фильтра.

13. Предложен единый подход к синтезу алгоритмов оптимальной многоканальной обработки сигналов на основе декоррелирующих преобразований, с его помощью получен ряд новых структур оптимальной обработки.

14. Разработана методика синтеза рекуррентных процедур адаптивной настройки декоррелирующих структур, на ее основе получены новые алгоритмы адаптации, не требующие формирования в явном виде и обращения оценок КМ помех.

15. На основе разработанных методик синтезирован класс цифровых процессоров с модульной архитектурой.

Основные результаты диссертации отражены в работах:

1. Кошевой В.М., Радионов В.В. Оценка предельной скорости сходимости алгоритмов адаптивной обработки сигналов для одного класса структур корреляционных матриц помех // Радиотехника.- 1991.- №6.- С.36-41.

2. Кошевой В.М., Радионов В.В. Эффективность алгоритмов адаптации, учитывающих структурные свойства корреляционных матриц при неидентичности каналов приема // Радиотехника и электроника.- 1991.- Т.36, №11.- С.2135-2140.

3. Кошевой В.М.; Радионов В.В. Эффективность адаптивных фильтров с центральной симметрией приемных каналов // Радиотехника и электроника.- 1994.- Т.39, №11.

4. Кошевой В.М., Радионов В.В. Цифровая адаптивная многолучевая антенная решетка / Описание к заявке N 4809229/09, МЗМ №01Q 3/26. Заявл. 02.04.90. Полное решение от 25.06.91. Решение о выдаче Патента РФ от 21.01.94.

5. Радионов В.В. Цифровая адаптивная многолучевая антенная система / Описание к А.С. N 1633472, МЗМ №01Q 23/00. Заявл. 01.11.88. Спубл. 07.03.91, Вып.№9.

6. Кошевой В.М., Радионов В.В. Цифровые адаптивные алгоритмы приема дискретных сигналов в нестационарных каналах с памятью // Сб.тр.Международ.науч.-техн.конф. "Спутниковые системы связи и вещания: перспективы развития в Украине" (UkrSatCom-93), Одесса.-

1993. - С.2.13.1-2.13.4.

7. Кошевой В.М., Радионов В.В. Адаптивная обработка сигналов в эквидистантных приемных каналах// Автоматизация судовых технических средств: Научно-технический сборник, вып.2.- Одесса: ОГМА, 1994.

8. Кошевой В.М., Радионов В.В. Эффективность алгоритмов адаптации, учитывающих структурные свойства корреляционных матриц при неидентичности каналов приема// Сб. "Вероятностные модели и обработка случайных сигналов и полей", тез. докл. Укр. респ. школы-семинара, Черкассы, 1991, с.46.

9. Кошевой В.М., Радионов В.В. Влияние погрешности измерения амплитудно-фазовых характеристик приемных каналов на эффективность алгоритмов адаптивной обработки сигналов/ Деп. в НИИЭИР, вып.№6, 1990, ВИМИ, № 3-8732.

10. Кошевой В.М., Радионов В.В. Учет структурных свойств корреляционной матрицы помех и амплитудно-фазовой неидентичности приемных каналов в алгоритмах адаптивной обработки сигналов/ Деп. в НИИЭИР, вып.№6, 1990, ВИМИ, № 3-8733.

11. Кошевой В.М., Радионов В.В. Влияние амплитудно-фазовой неидентичности приемных каналов на эффективность алгоритмов адаптивной обработки сигналов/ Деп. в НИИЭИР, вып.№6, 1990, ВИМИ, № 3-8734.

12. Кошевой В.М., Радионов В.В. Эффективность алгоритмов адаптивной обработки сигналов для одного класса структур корреляционных матриц помех/ Деп. в НИИЭИР, вып.№2, 1991, ВИМИ, № 3-8825.

13. Кошевой В.М., Радионов В.В. Эффективность регуляризованных алгоритмов адаптивной обработки сигналов для одного класса структур корреляционных матриц помех/ Деп. в НИИЭИР, вып.№5, 1991, ВИМИ, № 3-8853.

14. Радионов В.В. Синтез пространственного декоррелятора решетчатой структуры/ Деп. в НИИЭИР, РТ №36, 1987, ВИМИ, № 3-8194.

15. Радионов В.В., Ясик Н.В. Цифровой рекуррентный алгоритм адаптивной компенсации помех/ Деп. в НИИЭИР, вып.№6, 1990, ВИМИ, № 3-8726.

Сокскаатель



В.В.Радионов

Радионов В.В. Повышение помехоустойчивости радиотехнических систем.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 - системы и устройства передачи информации по каналам связи, Украинская государственная академия связи им. А.С.Попова, Одесса, 1994.

Решены задачи синтеза и анализа эффективности алгоритмов адаптивной обработки сигналов, позволяющих за счет учета структурных свойств корреляционных матриц помех и неидентичности приемных каналов повысить помехозащищенность многоканальных когерентных и некогерентных судовых радиотехнических систем в условиях нестационарной помеховой обстановки. Разработаны структурные схемы цифровых процессоров, реализующих синтезированные алгоритмы.

Radionov V.V. Improvement of maritime multichannel radioengineering systems anti-interference properties.

Candidate of Sciences dissertation on speciality 05.12.02 - systems and devices for information transmission over communication channels, Ukrainian State Academy of Communication, Odessa, 1994.

The problems of synthesis and efficiency analysis of adaptive signal processing algorithms are solved, which allow to improve anti-interference properties of multichannel coherent and noncoherent maritime radioengineering systems in nonstationary interference environment due to consideration of interference covariance matrices structural properties and reception channels nonidentity. The block-schemes of digital processors are designed which realize the synthesized algorithms.

Ключевые слова :

адаптивная обработка сигналов, оценивание корреляционных матриц, неидентичность каналов.

Подписано к печати 21.09.1994 г. Объем I печ.л. Формат 60x64
№ 1/16. Зак. 138. Тираж 100.

Тип. УГАС им. А.С.Попова. Одесса, Старопортофранковская, 61