УДК 621.391:621.396.96

АНАЛИЗ РЕЖЕКТОРНЫХ ФИЛЬТРОВ РЕКУРСИВНОГО ТИПА

Попов Д.И., *д.т.н., профессор кафедры радиотехнических систем Рязанского государственного радиотехнического университета, e-mail: adop@mail.ru*

ANALYSIS OF RECURSIVE REJECTION FILTERS

Popov D.I.

An improved recursive rejection filter (RF) is proposed, which makes it possible to accelerate the transient process at the filter output by reconstructing its structure. At the same time, the established values of the decorrelated remnants of the rejection of the non-recursive part of the filter are sent to the RF output and to the feedbacks, which practically eliminates the "ringing" in the feedbacks caused by the average value and fluctuations of the clutter samples. The structural scheme of the improved RF is given, in which the restructuring of the RF structure is implemented by switching recursive connections after the establishment of processes in the non-recursive part of the RF. The introduction of clutter rejection residues into recursive connections and to the RF output, corresponding to the established mode of the non-recursive part of the RF, significantly reduces the transition time when compensating for clutter counts. A comparative analysis of the dynamic amplitude-frequency characteristics of the RF of a fixed and tunable structure and the effectiveness of the rejection of passive interference by these filters in the transient mode was carried out. It is shown that the restructuring of the RF structure by switching recursive connections significantly accelerates the processes of establishing a filter at the output, leading to significant (up to tens of decibels) gains in the efficiency of clutter rejection in the transient mode of operation compared to the RF of a fixed structure. Solving the problem of accelerating the transition process of recursive RF allows us to really use the broad possibilities of forming the required characteristics of RF data and their flexible management, which, in the conditions of parametric a priori uncertainty, implies the corresponding adaptation of the RF.

Key words: analysis, amplitude-frequency response, clutter suppression coefficient, restructuring the structure, transient mode, rejection filter, recursion.

Ключевые слова: анализ, амплитудно-частотная характеристика, коэффициент подавления помехи, перестройка структуры, переходный режим, режекторный фильтр, рекурсия.

Предложен усовершенствованный рекурсивный режекторный фильтр (РФ), позволяющий осуществить ускорение переходного процесса на выходе фильтра путем перестройки его структуры. При этом на выход РФ и в обратные связи поступают установившиеся значения декоррелированых остатков режектирования нерекурсивной части фильтра, что практически устраняет «звон» в обратных связях, вызываемый средним значением и флюктуациями отсчетов помехи. Приведена структурная схема усовершенствованного РФ, в котором перестройка структуры РФ реализуется путем коммутации рекурсивных связей после установления процессов в нерекурсивной части РФ. Поступление в рекурсивные связи и на выход РФ остатков режектирования помехи, соответствующих установившемуся режиму нерекурсивной части РФ, существенно сокращает время переходного процесса при компенсации отсчетов пассивной помехи. Проведен сравнительный анализ динамических амплитудно-частотных характеристик РФ фиксированной и перестраиваемой структуры и эффективности режектирования пассивных помех этими фильтрами в переходном режиме. Показано, что перестройка структуры РФ путем коммутации рекурсивных связей существенно ускоряет процессы установления на выходе фильтра, приводя к существенным (до десятков децибел) выигрышам в эффективности режектирования пассивной помехи в переходном режиме работы по сравнению с РФ фиксированной структуры. Решение проблемы ускорения переходного процесса рекурсивных РФ позволяет реально использовать широкие возможности формирования требуемых характеристик данных РФ и гибкого их управления, что в условиях параметрической априорной неопределенности предполагает соответствующую адаптацию РФ.

Введение

При выделении сигналов движущихся целей на фоне пассивных помех основной операцией в когерентно-импульсных радиолокационных системах высокой скважности является режектирование спектральных составляющих помехи [1-4]. Априорная неопределенность спектрально-корреляционных характеристик помехи, а также их неоднородность и нестационарность в зоне обзора дополнительно затрудняют реализацию эффективной защиты от пассивных помех. Преодоление априорной неопределенности параметров помехи основывается на методах адаптации к неизвестным корреляционным параметрам помехи, что приводит, в частности, к алгоритмам адаптивного режектирования помехи с комплексными весовыми коэффициентами и соответствующим адаптивным режекторным фильтрам (АРФ) [5]. Реализация данных АРФ в цифровом виде требует высокого быстродействия выполнения арифметических операций. Избежать указанных трудностей можно путем предварительной компенсации доплеровского сдвига фазы помехи. В работах [6, 7] синтезированы алгоритмы оценивания и предложены принципы построения и структурные схемы автокомпенсаторов доплеровской фазы пассивных помех с прямой и обратной связью. Особенности адаптации к корреляционным свойствам помехи на выходе автокомпенсатора и последующего ее режектирования рассмотрены в рабо-

те [8]. Определенное упрощение процедуры адаптации достигается в АРФ каскадного типа [9]. Другим вариантом упрощения процедуры адаптации является переход от комплексных весовых коэффициентов к действительным, что ограничивает область целесообразного применения соответствующих АРФ при ограниченной и сравнительно малой в зависимости от порядка фильтра и ожидаемых параметров помехи величине ее доплеровской скорости [10]. Компромиссное решение достигается в фильтрах с частичной адаптацией к доплеровской фазе помехи и оптимизацией характеристик режекторных фильтров в априорном диапазоне изменения спектрально-корреляционных параметров помехи [11]. Повышение эффективности нерекурсивных режекторных фильтров высоких порядков достигается при оптимизации их параметров по вероятностному критерию [12].

Известными преимуществами формирования характеристик перед нерекурсивными режекторными фильтрами (РФ) обладают рекурсивные РФ того же порядка, что может быть использовано для повышения эффективности выделения сигналов движущихся целей на фоне коррелированных (пассивных) помех. Развитие аппаратно-программных средств цифровой обработки сигналов стимулирует применение рекурсивных РФ в системах селекции движущихся целей для подавления пассивных помех. Традиционно при синтезе и анализе рекурсивных фильтров использовался частотный подход [13], соответствующий установившемуся режиму работы фильтра. Однако длительность обрабатываемых выборок радиолокационных сигналов, как правило, соизмерима с временем установления процессов в рекурсивных фильтрах [14]. При этом переходный режим является основным режимом работы рекурсивных РФ, что приводит к задачам ускорения переходного процесса и анализа характеристик рекурсивных РФ в переходном режиме.

Характеристики рекурсивных РФ

Рассмотрим рекурсивный РФ в виде представляющего наибольший интерес для практики каскадного соединения нерекурсивного звена 1-го порядка и рекурсивного звена 2-го порядка. Системная функция такого РФ в z-плоскости имеет вид

$$H(z)=\frac{(z-1)(z^2+az+1)}{z(z^2-b_1z-b_2)}=$$

$$=\frac{z^3-(1-a)z^2+(1-a)z-1}{z(z^2-b_1z-b_2)}=\sum_{k=0}^{\infty}g_k z^{-k},$$

где $z=\mathrm{e}^{\mathrm{i}\omega T}$; T – интервал временной дискретизации (для импульсных сигналов соответствует их периоду повторения); а, b_1, b_2 – весовые коэффициенты прямых и обратных связей рекурсивного звена; g_k – коэффициенты импульсной характеристики, определяемые из соотношений:

$$g_0=d_0,\quad g_1=d_1+b_1g_0,\quad g_k=d_k+\sum_{j=1}^{2}b_jg_{k-j}, \qquad (1)$$

а при $k>3$ $\quad g_k=\sum_{j=1}^{2}b_jg_{k-j}, \qquad (2)$

причем, $d_0=-d_3=1,\quad d_1=-d_2=-(1-a)$.

Переходя к циклической частоте $\theta=\omega T$, для квадрата стационарной амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) найдем:

$$H^2(\theta)=\left|H(\mathrm{e}^{\mathrm{i}\theta})\right|^2=H(z)H(z^{-1})\Big|_{z=\mathrm{e}^{\mathrm{i}\theta}}=$$

$$=\frac{2(1-\cos\theta)(2+a^2+4a\cos\theta+2\cos2\theta)}{1+b_1^2+b_2^2-2b_1(1-b_2)\cos\theta-2b_2\cos2\theta}. \qquad (3)$$

В переходном режиме характеристики РФ определяются конечным числом n коэффициентов импульсной характеристики g_k, $k=\overline{0,\,n-1}$. Тогда квадрат динамической АЧХ (соответствующей переходному режиму РФ) определяется выражением

$$H^2(\theta,n)=\left|H(\mathrm{e}^{\mathrm{i}\theta},n)\right|^2=\left|\sum_{k=0}^{n-1}g_k\,z^{-k}\right|^2_{z=\mathrm{e}^{\mathrm{i}\theta}}=$$

$$=\sum_{j,k=0}^{n-1}g_jg_k\cos\left[(j-k)\theta\right]. \qquad (4)$$

Соотношения (3), (4) соответствуют фиксированной структуре РФ. Для ускорения переходного процесса необходимо осуществлять перестройку структуры РФ. На рисунке 1 приведена структурная схема рассматриваемого каскадного РФ, перестройка структуры которого реализуется путем коммутации рекурсивных связей $(b_1,\,b_2)$. К приходу 4-го отсчета (импульса), соответствующего установлению процессов в нерекурсивной части РФ, по команде блока управления (БУ) замыкается коммутатор (К). В рекурсивные связи и на выход РФ теперь поступают остатки режектирования помехи, соответствующие установившемуся режиму нерекурсивной части РФ, что существенно сокращает время переходного процесса.

Заметим, что наиболее просто перестройка структуры РФ осуществляется при известном начале обрабатываемой последовательности, имеющем место при дискретном сканировании антенного луча.

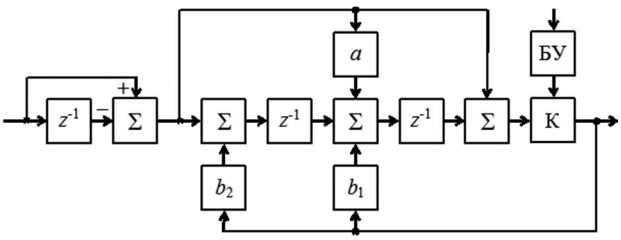


Рисунок 1 – Структурная схема каскадного рекурсивного РФ

При линейном (непрерывном) режиме обзора усовершенствование структуры РФ с целью ускорения его переходного процесса имеет свои особенности, обусловленные модуляцией импульсов помехи на ее кромках диаграммой направленности антенны. Вначале осуществляется обнаружение передней кромки помехи по всем модулированным импульсам кромки к моменту прихода импульса, соответствующего плоскому участку огибающей помехи. Далее задержанные отсчеты кромки помехи взвешиваются с целью восстановления прямоугольности их огибающей, что позволяет при аналогичной рисунку 1 обработке производить эффективное выделение доплеровских сигналов, не дожидаясь поступ-

ления импульсов плоского участка огибающей. При появлении и обнаружении задней кромки помехи также путем взвешивания отсчетов происходит восстановление прямоугольности ее огибающей.

Динамические АЧХ рекурсивных РФ

Нерекурсивной части РФ перестраиваемой структуры (рисунок 1) соответствует системная функция

$$H_{\text{н}}(z) = 1-(1-a)z^{-1}+(1-a)z^{-2}-z^{-3} = \sum_{k=0}^{3} d_k z^{-k},$$

и коэффициенты импульсной характеристики

$$d_0 = -d_3 = 1, \quad d_1 = -d_2 = -(1-a), \tag{5}$$

а рекурсивной части – системная функция

$$H_{\text{р}}(z) = (1-b_1 z^{-1}-b_2 z^{-2})^{-1} = \sum_{k=0}^{\infty} h_k z^{-k},$$

и коэффициенты импульсной характеристики

$$h_0 = 1, \quad h_1 = b_1 h_0, \text{ а при } k \geq 2 \quad h_k = b_1 h_{k-1} + b_2 h_{k-2}. \tag{6}$$

Частотная характеристика РФ в переходном режиме после коммутации рекурсивных связей имеет вид

$$H(\mathrm{e}^{\mathrm{i}\theta},\ n) = \left(\sum_{p=0}^{3} d_p z^{-p}\right)\left(\sum_{k=0}^{n-4} h_k z^{-k}\right)\Bigg|_{z=\mathrm{e}^{\mathrm{i}\theta}} =$$

$$= \sum_{k=0}^{n-4}\sum_{p=0}^{3} h_k d_p z^{-(k+p)}\Bigg|_{z=\mathrm{e}^{\mathrm{i}\theta}}.$$

По аналогии с выражением (4) для квадрата динамической АЧХ РФ перестраиваемой структуры найдем:

$$H^2(\theta, n) = \left|H(\mathrm{e}^{\mathrm{i}\theta}, n)\right|^2 =$$

$$= \sum_{j,k=0}^{n-4}\sum_{l,p=0}^{3} h_j h_k d_l d_p \cos\left[(j+l-k-p)\theta\right]. \tag{7}$$

Рассмотрим конкретные результаты для каскадного РФ эллиптического типа, синтезированного по квадрату стационарной АЧХ со следующими параметрами: циклическая частота смещенного нуля в полосе режекции $\theta_{\text{н}} = 0{,}1\pi$, частота среза полосы пропускания $\theta_{\text{с}} = 0{,}5\pi$ (ширина полосы пропускания $\Delta\theta = \pi$) и неравномерность АЧХ в полосе пропускания $\varepsilon \leq 3$ дБ. При этом весовые коэффициенты рекурсивного звена $a = -1{,}902$, $b_1 = -0{,}186$, $b_2 = -0{,}563$.

На рисунке 2 штриховой кривой изображена стационарная АЧХ РФ, соответствующая выражению (3), а сплошными кривыми – динамические АЧХ РФ фиксированной структуры, соответствующие выражению (4). Как видим, в полосе пропускания динамические АЧХ практически не зависят от количества обрабатываемых отсчетов n и отвечают требованиям к АЧХ в этой области (частоте среза $\theta_{\text{с}}$ и уровню пульсаций ε). Однако в зоне режекции АЧХ имеется существенная зависимость от числа отсчетов n, а приведенные на кривых значения n свидетельствуют о достаточно медленном процессе формирования зоны режекции, приближающейся к установившемуся состоянию только при $n > 16$, что крайне нежелательно для режекторных фильтров, так как приводит к маскировке сигналов движущихся целей нескомпенсированными остатками помехи.

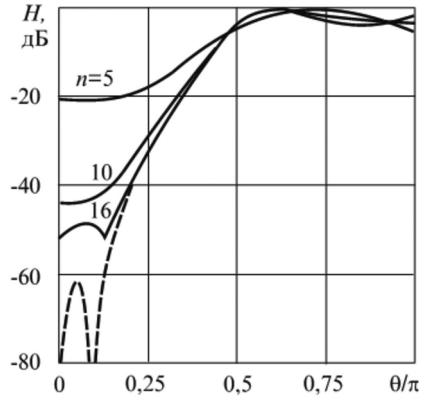


Рисунок 2 – Стационарная и динамические АЧХ рекурсивного РФ фиксированной структуры

На рисунке 3 приведены динамические АЧХ РФ перестраиваемой структуры (рисунок 1), соответствующие выражению (7). В этом случае зона режекции АЧХ остается практически стабильной при объеме обрабатываемой выборки $n \geq 4$. Действительно, к моменту замыкания коммутатора $(n = 4)$ АЧХ нерекурсивного РФ 3-го порядка близка к стационарной (рисунок 2) и имеет нули при $\theta = 0$ и $\theta = \theta_{\text{н}}$, что обеспечивает ее стабильность в окрестности этих точек при последующей обработке поступающих отсчетов. В полосе пропускания АЧХ практически приближается к стационарной при $n \geq 7$. Такая динамика установления для режекторного фильтра является вполне удовлетворительной.

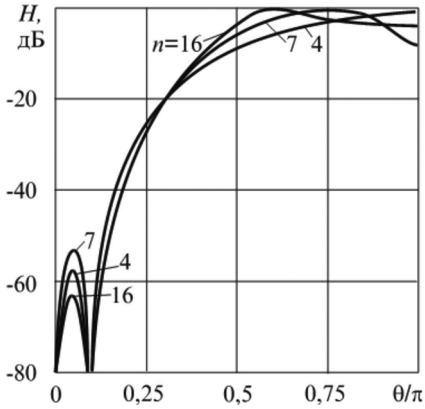


Рисунок 3 – Динамические АЧХ рекурсивного РФ перестраиваемой структуры

Эффективность режектирования рекурсивными РФ

Рассмотрим теперь эффективность режектирования пассивной помехи в переходном режиме рекурсивными РФ фиксированной и перестраиваемой структуры. Полагаем, что отсчеты комплексной огибающей гауссовской узкополосной помехи $U_j = x_j + \mathrm{i}y_j$ при скомпенсированной доплеровской скорости описываются корреляционными моментами

$$R_{jk} = \overline{U_j U_k^*}\big/2 = \sigma_{\text{п}}^2 \rho_{jk} + \sigma_{\text{ш}}^2 \delta_{jk},$$

где $\sigma_{\text{п}}^2$, $\sigma_{\text{ш}}^2$ – дисперсии помехи и собственного шума приемника соответственно, ρ_{jk} – коэффициенты межпериодной корреляции помехи, δ_{jk} – символ Кронекера.

На выходе реализуемого в двух квадратурных кана-

лах РФ фиксированной структуры в переходном режиме имеем

$$V = \sum_{j=0}^{n-1} g_j U_{n-j}.$$

Дисперсия помехи на выходе РФ определяется следующим образом:

$$\sigma^2_{V\text{п}} = \frac{1}{2}\overline{VV^*} = \sigma^2_{\text{п}} \sum_{j,k=0}^{n-1} g_j g_k \rho_{jk} + \sigma^2_{\text{ш}} \sum_{j=0}^{n-1} g_j^2. \quad (8)$$

Эффективность РФ будем оценивать по нормированному относительно прохождения некоррелированного собственного шума коэффициенту подавления помехи [15]

$$\mu = (\sigma^2_{V\text{ш}} / \sigma^2_{\text{ш}}) / (\sigma^2_{V\text{п}} / \sigma^2_{\text{п}}). \quad (9)$$

Для РФ фиксированной структуры с учетом выражений (8) и (9) получим

$$\mu(n) = \sum_{j=0}^{n-1} g_j^2 \Bigg/ \left(\sum_{j,k=0}^{n-1} g_j g_k \rho_{jk} + \lambda \sum_{j=0}^{n-1} g_j^2 \right), \quad (10)$$

где $\lambda = \sigma^2_{\text{ш}} / \sigma^2_{\text{п}}$ – отношение шум/помеха.

Представляя выходную величину РФ перестраиваемой структуры с учетом коммутации рекурсивных связей в виде

$$V = \sum_{j=0}^{n-4} h_j \sum_{l=0}^{3} d_l U_{4+j-l},$$

в результате вычислений, аналогичных предыдущим, получим

$$\mu(n) = \left(\sum_{l,p=0}^{3} \sum_{j=|l-p|}^{n-4} h_j h_{j-|l-p|} d_l d_p \right) \times$$

$$\times \left(\sum_{j,k=0}^{n-4} \sum_{l,p=0}^{3} h_j h_k d_l d_p \rho_{j-l,k-p} + \right. \quad (11)$$

$$\left. + \lambda \sum_{l,p=0}^{3} \sum_{j=|l-p|}^{n-4} h_j h_{j-|l-p|} d_l d_p \right)^{-1}.$$

Результаты расчетов эффективности режектирования в переходном режиме при гауссовской аппроксимации коэффициентов корреляции $\rho_{jk} = \exp\{-[\pi(j-k) \times \beta_{\text{п}}]^2 / 2,8\}$, нормированной ширине спектра помехи $\beta_{\text{п}} = \Delta f_{\text{п}} T = 0,05$ и $\lambda = 10^{-6}$ представлены на рисунке 4. Кривая 1 соответствует РФ фиксированной структуры, кривая 2 – РФ перестраиваемой структуры. В обоих случаях параметры исходной стационарной АЧХ соответствуют $\theta_{\text{н}} = 0,08\pi$, $\theta_{\text{с}} = 0,3\pi$. При этом кривая 1 для

РФ фиксированной структуры рассчитана в соответствии с выражением (10), в котором коэффициенты импульсной характеристики g_k определяются соотношениями (1) и (2). Кривая 2 для РФ перестраиваемой структуры рассчитана в соответствии с выражением (11), в котором коэффициенты импульсной характеристики d_k нерекурсивной части РФ определяются соотношениями (5), а коэффициенты импульсной характеристики h_k рекурсивной части РФ – соотношениями (6).

Как видим, установление процессов в РФ перестраиваемой структуры происходит практически к 5-у отсчету выборки, приводя к существенным (до десятков децибел) выигрышам в эффективности режектирования пассивной помехи в переходном режиме по сравнению с РФ фиксированной структуры.

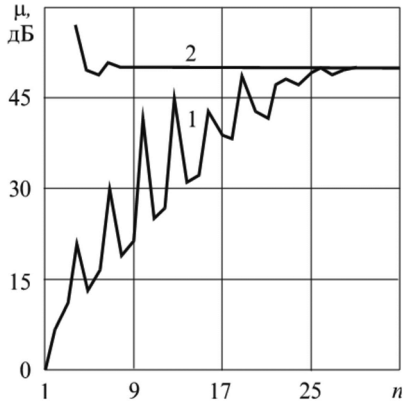


Рисунок 4 – Эффективность режектирования помехи в переходном режиме

В рассмотренном примере нерекурсивный РФ, имеющий место при $n = 4$, обладает весьма высокой эффективностью режектирования помехи и сравнительно узкой полосой пропускания, соответствующей частоте среза $\theta_{\text{с}} = 0,71\pi$. Рекурсивный РФ (при $n > 4$) позволяет существенно расширить полосу пропускания, что со ответствует частоте среза $\theta_{\text{с}} = 0,3\pi$, при сохранении достаточно высокой эффективности режектирования помехи. Наличие собственного (некоррелированного) шума ограничивает предельную эффективность РФ динамическим диапазоном помехи λ^{-1} по отношению к уровню шума, что приводит к выбору минимально необходимой величины $\theta_{\text{с}}$, при которой реализуется предельная или заданная эффективность режектирования в сочетании с максимальной для данных условий полосой пропускания РФ. В конечном счете оптимальная величина $\theta_{\text{с}}$ зависит от параметров помехи.

С учетом решения проблемы ускорения переходного процесса рекурсивные РФ позволяют реально использовать широкие возможности формирования требуемых характеристик и гибкого их управления, что в условиях априорной неопределенности спектрально-корреляционных характеристик пассивных помех создает благоприятные условия для соответствующей адаптации РФ [16].

Заключение

Усовершенствованный рекурсивный РФ позволяет осуществить ускорение переходного процесса путем перестройки его структуры. При этом на выход РФ и в обратные связи поступают установившиеся значения декоррелированых остатков режектирования нерекурсивной части фильтра, что практически устраняет «звон» в обратных связях, вызываемый средним значением и флюктуациями отсчетов помехи.

Предложена структурная схема усовершенствованного РФ, в котором перестройка структуры РФ реализуется путем коммутации рекурсивных связей после установления процессов в нерекурсивной части РФ. Поступление в рекурсивные связи и на выход РФ остатков ре-

жектирования помехи, соответствующих установившемуся режиму нерекурсивной части РФ, существенно сокращает время переходного процесса при компенсации отсчетов пассивной помехи.

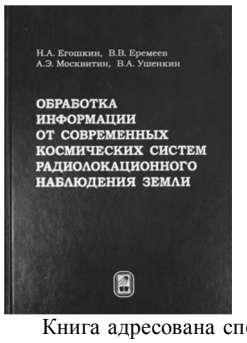
Проведенный сравнительный анализ динамических АЧХ РФ фиксированной и перестраиваемой структуры и эффективности режектирования пассивных помех этими фильтрами показывает, что перестройка структуры РФ путем коммутации рекурсивных связей существенно сокращает длительность процессов установления в фильтре, приводя к существенным (до десятков децибел) выигрышам в эффективности режектирования пассивной помехи в переходном режиме работы по сравнению с РФ фиксированной структуры.

Решение проблемы ускорения переходного процесса рекурсивных РФ позволяет реально использовать широкие возможности формирования требуемых характеристик данных РФ и гибкого их управления, что в условиях параметрической априорной неопределенности предполагает соответствующую адаптацию РФ.

Литература

1. Skolnik M.I. Introduction to Radar System, 3rd ed., New York: McGraw-Hill, 2001. 862 p.
2. Richards M.A., Scheer J.A., Holm W.A. (Eds.). Principles of Modern Radar: Basic Principles. New York: SciTech Publishing, IET, Edison. 2010. 924 p.
3. Melvin W. L., Scheer J.A. (Eds.). Principles of Modern Radar: Advanced Techniques. New York: SciTech Publishing, IET, Edison, 2013. 846 p.
4. Справочник по радиолокации: в 2 кн. Кн. 1 / под ред. М.И. Сколника; пер. с англ. под ред. В.С. Вербы. М.: Техносфера, 2014. 672 с.
5. Попов Д.И. Адаптация нерекурсивных режекторных фильтров. Известия вузов. Радиоэлектроника. 2009. Т. 52. № 4. С. 46-55.
6. Попов Д.И. Автокомпенсация доплеровской фазы пассивных помех. Цифровая обработка сигналов. 2009. № 2. С. 30-33.
7. Попов Д.И. Автокомпенсация доплеровской фазы многочастотных пассивных помех. Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2018. № 65. С. 32-37.
8. Попов Д.И. Адаптивное подавление пассивных помех. Цифровая обработка сигналов. 2014. № 4. С. 32-37.
9. Попов Д.И. Адаптивные режекторные фильтры каскадного типа. Цифровая обработка сигналов. 2016. № 2. С. 53-56.
10. Попов Д.И. Адаптивные режекторные фильтры с действительными весовыми коэффициентами. Цифровая обработка сигналов. 2017. № 1. С. 22-26.
11. Попов Д.И. Оптимизация нерекурсивных режекторных фильтров с частичной адаптацией. Цифровая обработка сигналов. 2018. № 1. С. 28-32.
12. Попов Д.И. Оптимизация режекторных фильтров по вероятностному критерию. Цифровая обработка сигналов. 2021. № 1. С. 55-58.
13. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. М.: Мир, 1978. 848 с.
14. Попов Д.И. Анализ эффективности режекторных фильтров. Вестник Рязанской государственной радиотехнической академии. 2003. Вып. 11. С. 105-107.
15. Попов Д.И. Анализ адаптивной обработки многочастотных сигналов. Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2018. № 63. С. 9-13.
16. Попов Д.И. Адаптивная межпериодная обработка многочастотных сигналов. Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2018. № 64. С. 17-22.

НОВЫЕ КНИГИ

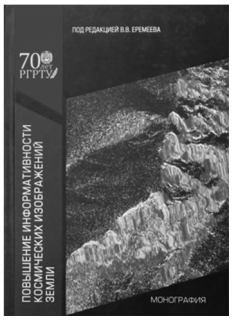


Егошкин Н.А., Еремеев В.В., Москвитин А.Э., Ушенкин В.А.

Обработка информации от современных космических систем радиолокационного наблюдения Земли. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2019. 320 с. + 32 с. цв. вкл.

В монографии представлены результаты научных исследований, полученные авторами – сотрудниками НИИ обработки аэрокосмических изображений Рязанского государственного радиотехнического университета – в ходе выполнения работ по созданию средств наземной обработки информации от космических систем радиолокационного наблюдения Земли. В качестве этих результатов выступают новые модели, алгоритмы и технологии первичной, геометрической и интерферометрической обработок космической радиолокационной информации. Впервые в отечественной литературе приводится широкий обзор и сравнительный анализ существующих зарубежных технологий первичной, поляриметрической и интерферометрической обработок радиолокационных данных.

Книга адресована специалистам в области обработки аэрокосмических изображений поверхности Земли, аспирантам и студентам старших курсов вузов.



Егошкин Н.А., Еремеев В.В., Козлов Е.П., Кузнецов А.Е., Макаренков А.А., Москвитин А.Э., Пресняков О.А., Ушенкин В.А.

Повышение информативности космических изображений Земли: монография / под ред. В.В. Еремеева. М.: КУРС, 2022. 368 с.

В монографии представлены результаты научных исследований в области координатной обработки и комплексирования данных космического наблюдения Земли в видимом, тепловом и радиолокационном диапазонах спектра. Дан анализ проблемы повышения информативности изображений от современных систем космического наблюдения Земли, определены пути решения этой проблемы.

Основное внимание в книге уделено вопросам: улучшения геометрического качества изображений, высокоточной привязки материалов космической съемки, повышения информативности изображений путем объединения снимков, полученных в видимом, тепловом и радиолокационном диапазонах спектра, экспериментального подтверждения предложенных подходов.