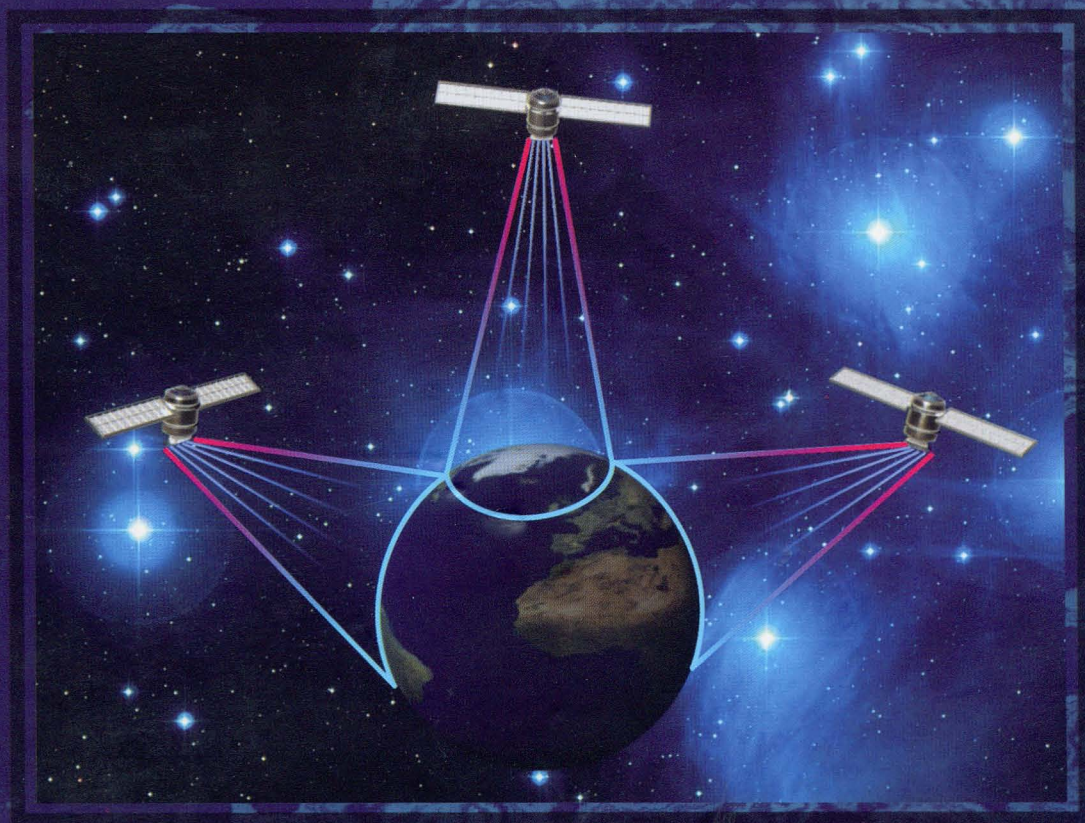


# ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ И ИЗОБРАЖЕНИЙ



УДК 517.95: 621.391.24: 530.1

ББК 22.311

Ц75

Авторский коллектив:

М. А. Басараб, В. К. Волосюк, О. В. Горячкин, А. А. Зеленский, В. Ф. Кравченко,  
А. В. Ксендзук, Б. Г. Кутуза, В. В. Лукин, А. В. Тоцкий, В. П. Яковлев

**Цифровая обработка сигналов и изображений в радиофизических приложениях.** / Под ред. В. Ф. Кравченко. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. — 544 с. — ISBN 978-5-9221-0871-3.

В монографии изложены новые перспективные направления цифровой обработки сигналов применительно к задачам радиофизики и радиотехники. Монография состоит из семи глав. В первой главе рассмотрены и обоснованы новые методы аппроксимации сигналов с помощью финитных функций, включая новый класс атомарных функций, на основе теоремы Уиттекера-Котельникова-Шеннона. Во второй главе рассмотрено использование биспектрального анализа в цифровой обработке сигналов. Третья глава посвящена многопозиционным радиолокационным системам с синтезированием апертуры антенн. В четвертой главе рассмотрены некоторые аспекты цифровой обработки сигналов в обзорных РЛС и РСА. Разработке алгоритмов для слепой обработки сигналов посвящена пятая глава. Шестая глава состоит из двух частей. В первой изложена теория R-функций и атомарных функций (АФ) применительно к описанию локусов произвольной формы, а во второй по результатам первой построены двумерные весовые функции (окна) Кравченко на опорных областях нестандартной геометрии для цифровой обработки многомерных сигналов и изображений. В седьмой главе впервые на основе обобщенных рядов Котельникова и Левитана предложен и обоснован новый класс аналитических вейвлетов. Численный эксперимент и анализ физических результатов показывают потенциальные возможности предложенного и обоснованного нового класса вейвлетов в различных задачах радиофизики, радиолокации, радиовидения.

Для научных работников, аспирантов и студентов старших курсов радиофизических и радиотехнических специальностей, а также для специалистов, работающих в области вычислительной математики и физики.

Рецензент: академик РАН В. И. Пустовойт

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
<b>Глава 1. Аппроксимация финитными функциями и цифровая обработка сигналов на основе теоремы Уиттекера–Котельникова–Шеннона .....</b>	<b>5</b>
Введение .....	5
1.1. Теорема Уиттекера–Котельникова–Шеннона .....	8
1.2. Синтез функций с финитным спектром .....	14
1.3. Продолжение функций с финитным спектром .....	17
1.4. Теорема о полиномиальном сканировании .....	20
1.5. Обобщенные ряды Котельникова на основе атомарных функций..	23
1.6. Полиномы Левитана на основе АФ .....	26
1.7. R-функции и соотношение неопределенности для пространственных сигналов, локализованных в области сложной геометрии .....	28
1.8. Системы функций с двойной ортогональностью и обобщенное соотношение неопределенности .....	35
1.9. Функции с минимальной энергией вредного спектра .....	52
1.10. Кватернионы и атомарные функции в задачах сферической интерполяции и аппроксимации .....	68
1.11. Методы интерполяции и аппроксимации на сфере .....	68
1.12. Метод накопленных базисов .....	72
1.13. Обработка выходной телеметрической информации космического летательного аппарата (КЛА) .....	79
Заключение .....	87
Список литературы .....	87
<b>Глава 2. Биспектральный анализ в приложении к цифровой обработке сигналов .....</b>	<b>92</b>
Введение .....	92
2.1. Математические основы биспектральной обработки стохастических сигналов и полей .....	92
2.1.1. Анализ свойств корреляционных функций третьего порядка и биспектров (92). 2.1.2. Методы оценивания биспектральной плотности (98).	

2.2. Восстановление одномерных вещественных сигналов по оценкам биспектральной плотности в присутствии Гауссовых и импульсных помех .....	115
2.2.1 Алгоритмы сглаживания восстановленных по биспектральным данным фазового и амплитудного Фурье-спектров одномерными линейными и нелинейными фильтрами (115). 2.2.2. Сглаживание оценок биспектральной плотности двумерными линейными и нелинейными фильтрами со скользящими окнами (129). 2.2.3. Векторная фильтрация оценки биспектральной плотности восстанавливаемого сигнала (143).	
2.3. Примеры практического применения биспектрального анализа в задачах оценивания радиолокационных дальностных портретов и реставрации изображений .....	148
2.3.1. Оценивание радиолокационного дальностного портрета объекта на фоне помех, вызванных рассеянием от морской поверхности (148). 2.3.2. Восстановление изображения по оценкам биспектральной плотности строк с предсказаниями (159).	
Список литературы .....	170

<b>Глава 3. Многопозиционные радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенны .....</b>	<b>174</b>
Введение .....	174
3.1. Потенциал многопозиционных РСА при решении задач дистанционного зондирования .....	175
3.2. Методы оптимальной и квазиоптимальной совместной обработки в многопозиционных системах дистанционного зондирования с синтезированием апертуры антенны .....	188
3.3. Методы обнаружения объектов в многопозиционных РСА на основании совместной обработки наблюдаемых процессов .....	196
3.4. Принципы и алгоритмы статистического моделирования пространственно-временных процессов и их обработки в МПРСА .....	201
3.5. Выбор и оптимизация пространственной конфигурации многопозиционных систем в реальном масштабе времени .....	207
3.5.1. Исследование влияния пространственной конфигурации и характера взаимного движения многопозиционной РСА на структуру пространственно-временных сигналов (208). 3.5.2. Оптимизация пространственной конфигурации многопозиционных РСА на основании градиентного анализа полей равного запаздывания и дельта-запаздывания (213).	
3.6. Принципы выбора ансамблей сигналов в МПРСА .....	218
3.6.1. Ортогональность сигналов в многопозиционной системе с синтезированием апертуры антенны с учетом их зависимости от пространственных конфигураций МПРСА, а также характера пространственно-временной обработки (218). 3.6.2. Анализ взаимных пространственных функций неопределенности и возможностей уменьшения межканальных помех в МПРСА за счет выбора ансамблей сигналов (224).	

3.7. Исследование особенностей применения шумоподобных сигналов в системах дистанционного зондирования .....	229
3.7.1. Исследование качественных показателей формирования РЛИ в обзорных РЛС с шумоподобными сигналами (231).	
3.7.2. Сравнение пространственных функций неопределенности и качества формирования радиолокационных изображений в РСА с различными видами сигналов (237).	
3.7.3. Использование ШПС в МПРСА (240).	
3.7.4. Выбор шумоподобных сигналов и алгоритмов их обработки с учетом особенностей решения задач ДЗ (243).	
3.8. Исследование возможности построения многопозиционных РСА, основанных на приеме сигналов навигационных систем ГЛОНАСС/GPS .....	247
3.8.1. Энергетический потенциал навигационных систем для решения задач дистанционного зондирования (250).	
3.8.2. Пространственные функции неопределенности и разрешающая способность многопозиционных РСА, основанных на приеме сигналов ГЛОНАСС/GPS (253).	
3.8.3. Оптимизация радиолокационного наблюдения псевдопассивными МПРСА (256).	
3.9. Когерентный режим работы бистатистических систем с синтезированием апертуры антенны .....	259
Список литературы .....	269

<b>Глава 4. Некоторые аспекты цифровой обработки сигналов в обзорных РЛС и РСА .....</b>	<b>274</b>
4.1. Модифицированный метод синтезирования апертуры. Особенности цифровой реализации .....	274
4.1.1. Синтез апертуры как оптимальная оценка коэффициента рассеяния в рамках метода максимального правдоподобия (277).	
4.1.2. Модифицированный алгоритм синтезирования апертуры (280).	
4.2. Качественные показатели алгоритмов формирования и цифровой обработки первичных радиолокационных изображений в обзорных РЛС и РСА .....	287
4.2.1. Динамические ошибки формирования РЛИ (290).	
4.2.2. Флуктуационные ошибки, обусловленные спекл-структурой РЛИ (293).	
4.2.3. Шумовые ошибки формирования РЛИ, обусловленные наличием аддитивной помехи (295).	
4.3. Сравнение алгоритмов вторичной цифровой обработки радиолокационных изображений .....	296
4.3.1. Методы оконного сглаживания, качественные показатели РЛИ после обработки (297).	
4.3.2. Цифровые фильтры на порядковых статистиках, особенности применения для обработки изображений в системах с синтезированием апертуры (302).	
4.3.3. Адаптивные цифровые алгоритмы обработки радиолокационных изображений (305).	



4.4. Адаптивные и неадаптивные цифровые алгоритмы селекции протяженных объектов на радиолокационных изображениях земной поверхности .....	310
4.4.1. Особенности цифровой обработки сигналов при решении задач обнаружения. Схемная реализация систем аттестации радиолокационных систем (311). 4.4.2. Исследование неадаптивных методов обнаружения при различных алгоритмах первичной и вторичной обработки. Характеристики обнаружителей (316). 4.4.3. Синтез адаптивных систем обнаружения. Исследование качества обнаружения для различных методов первичной обработки входных процессов и изображений (322).	
4.5. Развертка фазы в цифровых интерферометрических системах с синтезированием апертуры антенны .....	331
Список литературы .....	336

<b>Глава 5. Слепая обработка сигналов. Методы, алгоритмы, приложения</b> .....	340
Введение .....	340
5.1. Постановка задачи, основные приложения .....	340
5.2. Основные теоремы слепой идентификации .....	357
5.3. Слепая идентификация векторного канала .....	368
5.4. Слепая идентификация скалярного канала, основанная на полиномиальных статистиках .....	378
5.4.1. Полиномиальные статистики и их свойства (379). 5.4.2. Слепая идентификация канала, как решение системы полиномиальных уравнений (385). 5.4.3. Идентификация канала, основанная на факторизации аффинных многообразий (389). 5.4.4. Идентификация канала, основанная на использовании многообразий ненулевой корреляции (391).	
5.5. Слепая идентификация в системах связи .....	393
5.6. Слепое восстановление изображений радиолокационных станций с синтезированной апертурой .....	402
Список литературы .....	416

<b>Глава 6. Аналитическое описание локусов сложной формы R-операциями и атомарными функциями. Цифровая обработка сигналов и изображений</b> .....	421
Введение .....	421
6.1. Обратная задача аналитической геометрии и метод R-функций ..	421
6.2. Частично нормализованные уравнения .....	424
6.3. Локусы и финитные функции .....	426
6.4. Заполнение внутренней области локусов .....	431
6.5. Раскрой локусов .....	433
6.6. Комбинированные локусы .....	433

6.7. Контурный и структурный анализ изображений .....	455
6.8. Построение двумерных фильтров для цифровой обработки изображений весовыми функциями (окнами) Кравченко .....	463
6.8.1. Синтез двумерных КИХ-фильтров (463).	
Заключение .....	468
Список литературы .....	525

<b>Глава 7. Аналитические вейвлеты Кравченко–Котельникова и Кравченко–Левитана в цифровой обработке сверхширокополосных сигналов .....</b>	<b>470</b>
Введение .....	470
7.1. Вейвлет-преобразования .....	470
7.2. Обобщенные ряды Котельникова на основе атомарных функций (АФ) .....	471
7.3. Весовая функция (окно) Кравченко–Котельникова .....	476
7.4. Весовая функция Кравченко–Левитана .....	481
7.5. Вейвлет-модулированные весовые функции Кравченко–Котельникова и Кравченко–Левитана .....	484
7.6. Физические характеристики СШП сигналов .....	486
7.7. Численный эксперимент и анализ физических результатов .....	488
7.8. Построение весовых функций (окон): Кравченко–Котельникова–Гаусса и Кравченко–Левитана–Гаусса .....	501
7.9. Модели сверхширокополосных (СШП) сигналов .....	508
7.10. Функционал качества выбора вейвлетного базиса для анализа СШП сигналов .....	513
Заключение .....	525
Список литературы .....	525