

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
I. Анализ характеристик и инструментальных возможностей псевдошумовой радиолокации высокого разрешения с хаотизацией неинформативных параметров и рандомизацией обработки сигналов	7
1. Хаотизация неинформативных параметров и рандомизация приёма, обработки и формирования сигналов в традиционной радиолокации — инструмент СШП радиолокации высокого разрешения .....	7
Примеры применения хаотизации параметров и рандомизации приёма, обработки и формирования сигналов в РЛС .....	8
Рандомизированная обработка и формирование сигналов в системах радиолокации .....	8
Рандомизация обработки сигналов в условиях ограниченных .....	11
Вобуляция частоты повторения зондирующих импульсов в когерентно-импульсных РЛС .....	12
Быстрая перестройка несущей частоты .....	13
Стохастическая радиолокация: условия решения задач обнаружения, разрешения, оценивания и фильтрации .....	15
Введение в теорию стохастической радиолокации .....	21
Теория цифровой стохастической обработки радиолокационных сигналов .....	23
Условия решения задач обнаружения, оценивания и фильтрации .....	28
Стохастическая линеаризация обрабатываемого тракта	31
2. Расширение пространственно-частотных спектров в радиолокационных окнах наблюдения методами модуляции неинформационных параметров .....	37
Энергопотенциал радиолокационной станции и использование пространственных и временных окон ...	37
Учёт шума: потенциал радиолокационной станции .....	38

Использование временных и пространственных окон	40
Расширение спектров обычных и пространственных частот: частотно-временные и пространственно-частотные ресурсы	43
Радиолокация с использованием шумовых сигналов	43
Понятие обобщённого энергопотенциала РЛС	50
3. Принцип стохастического обеления пассивных коррелированных помех в задаче оптимизации РЛС с системой селекции движущихся целей	52
Компенсация пассивных коррелированных помех в когерентно-импульсных РЛС с СДЦ	53
Теоретическое обоснование традиционного подхода: метод приведения небелого шума к белому	56
Оптимизация системы: анализ коэффициента улучшения	57
Рассогласованная фильтрация: анализ корреляции выходного процесса	59
Стохастические обеляющие фильтры: новая трактовка метода приведения небелого шума к белому	60
Стохастические системы СДЦ	62
Анализ эффективности стохастической системы со случайными параметрами	64
Результаты моделирования	66
4. Снижение радиолокационной заметности объектов методами рандомизации параметров управляемого покрытия	68
Извлечение информации о пеленге	68
Модель отраженного от цели сигнала	68
Применение принципа стохастического обеления	69
Модель отраженного сигнала	70
Случайные весовые коэффициенты	71
5. Радиолокационные измерения ЭПР объектов со сложным профилем методом Монте-Карло при использовании сверхузких диаграмм направленности	73
Растровое сканирование и измерение ЭПР с использованием метода Монте-Карло	73
Метод растрового сканирования	73
Использование метода Монте-Карло	74
Помехозащищённость РЛС со стохастическим растровым сканированием	76

Схемы с ускоренной сходимостью измерений. Зависимые измерения .....	76
6. Синтез угломерных радиолокационных систем с хаотизацией бинарных отсчётов поля по плоским волнам ....	79
Построение стохастического пеленгатора с хаотизацией фокусировки бинарных отсчётов плоского поля	82
Формирование грубой статистики и синтезирование узких лучей .....	82
Формирование бинарно-знаковой робастной статистики	86
Анализ коэффициентов подавления и улучшения ....	87
Монобитовый пеленгатор .....	90
Теоретико-вероятностное содержание вопроса .....	92
Байесова оценка вероятности по частоте при квадратичной функции потерь .....	93
Организация процедур поэтапного усреднения методом зависимых статистических испытаний .....	95
Максимально правдоподобная оценка вероятности ....	96
Поэтапные процедуры оценивания вероятности .....	97
Хаотизация — способ сглаживания ошибок дискретности .....	98
Использование коррелированных выборок .....	99
Поисковые процедуры оценивания .....	99
7. Стохастические фазовращатели для схем псевдошумовой радиолокации приёмопередающих модулей АФАР современных РЛС .....	104
Современная элементная база СВЧ микроэлектроники .....	104
Тенденции развития элементной базы СВЧ микроэлектроники .....	104
Активные фазированные антенные решетки .....	105
Аналитический обзор полупроводниковых фазовращателей .....	108
Требования к АФАР и фазовращателям .....	108
Приемопередающий модуль АФАР .....	111
Классификация фазовращателей .....	114
Выбор и обоснование схемы построения фазовращателя .....	118
Особенности технической реализации фазовращателя .	118
Структурная схема фазовращателя .....	120

---

Разработка принципиальной схемы фазовращателя . . . . .	121
Цифровой стохастический фазовращатель . . . . .	123
Результаты экспериментальных исследований для технологий DRFM и DRFM-S . . . . .	127
8. Методы сверхразрешения для сверхширокополосных антенных решеток . . . . .	134
Основы теории определения направления прихода сигнала в линейных антенных решетках . . . . .	134
Вектор отклика антенной решетки . . . . .	134
Автоковариационные матрицы сигнала . . . . .	137
Традиционные методы определения направления прихода сигнала . . . . .	138
Стандартный метод формирования ДН . . . . .	139
Метод наименьшей вариации Кейпона . . . . .	141
Оценка максимального правдоподобия направления прихода радиосигнала . . . . .	142
Оценивание числа источников излучения . . . . .	146
9. Подпространственный подход к оценке направления прихода сигнала . . . . .	148
Алгоритм MUSIC . . . . .	148
Исследование влияния параметров на алгоритм MUSIC . . . . .	151
Алгоритм Root-MUSIC . . . . .	154
Алгоритм ESPRIT . . . . .	156
Сравнение алгоритмов . . . . .	159
II. Случайные величины . . . . .	167
10. Вероятностные расчеты при однократных испытаниях . . . . .	167
Однородные события . . . . .	167
Неоднородные события . . . . .	173
Первая теорема сложения и умножения вероятностей . . . . .	174
Вторая теорема сложения и умножения вероятностей . . . . .	175
Задачи и упражнения . . . . .	176
11. Вероятностные расчеты при многократных испытаниях . . . . .	178
Задачи и упражнения . . . . .	187
12. Законы распределения и их числовые характеристики, характеристические функции . . . . .	190
Основные определения . . . . .	190
Энтропия . . . . .	198

Характеристические функции . . . . .	200
Задачи и упражнения . . . . .	202
13. Законы распределения и числовые характеристики функционального преобразования случайных величин . . . . .	205
Задачи и упражнения . . . . .	207
14. Законы распределения систем случайных величин . . . . .	209
Определения и свойства двумерных законов . . . . .	209
Законы распределения суммы независимых случайных величин . . . . .	211
Числовые характеристики двумерных законов. Корреляция . . . . .	213
Функциональные преобразования двумерных законов . . . . .	216
Условные распределения двух случайных величин . . . . .	218
Задачи и упражнения . . . . .	220
15. Закон больших чисел и предельные теоремы . . . . .	222
Неравенство Чебышева . . . . .	222
Теорема Чебышева . . . . .	224
Теорема Бернулли . . . . .	226
Лемма Маркова . . . . .	227
Теорема Пуассона . . . . .	228
Центральная предельная теорема Ляпунова . . . . .	229
Задачи и упражнения . . . . .	231
16. Способы вычисления вероятностей событий . . . . .	233
Вычисление вероятностей событий как отношений числа благоприятных вероятности) . . . . .	233
Вычисление вероятностей событий как отношение мер множеств (геометрические вероятности) . . . . .	241
Вычисление вероятностей событий с помощью деревьев (графов) возможных исходов . . . . .	242
Вычисление вероятности сложных событий . . . . .	246
III. Случайные процессы . . . . .	251
17. Временные, корреляционные и спектральные характеристики случайных процессов . . . . .	251
Временные и корреляционные характеристики . . . . .	251
Спектральные характеристики: связь между корреляционными и спектральными характеристиками . . . . .	265
Задачи и упражнения . . . . .	271

18. Дополнительные средства представления случайных сигналов (процессов).....	274
Дискретизация непрерывных сигналов и канонические разложения.....	274
Представление сигналов в виде аналитического сигнала (огibaющая и фаза сигнала).....	280
Представление сигналов в виде векторов функционального пространства.....	287
Задачи и упражнения.....	290
19. Дополнительные средства. Описания вероятностных характеристик случайных сигналов (процессов).....	293
Разложения непрерывных законов распределения...	293
Представление $W(x)$ по производным $P(x)$ .....	294
Разложение $W(x)$ при помощи ортогональных полиномов.....	297
Разложение двумерного закона.....	301
Характеристики процессов по признаку марковости и основы расчета марковских процессов.....	302
Представление дискретных законов распределения при помощи производящих функций.....	306
Дискретные марковские последовательности.....	307
Дискретные марковские процессы.....	312
Непрерывные марковские последовательности и процессы.....	315
Вероятностные характеристики выбросов случайных процессов.....	321
Задачи и упражнения.....	325
IV. Радиолокация.....	327
20. Обнаружение радиолокационных сигналов.....	327
Задачи и упражнения.....	332
21. Радиолокационные методы измерения дальности.....	333
Принципы измерения дальности и классификация ошибок измерения.....	338
Метод прямого счёта.....	341
Нониусный метод измерения.....	344
Метод задержанных совпадений.....	347
Методы с промежуточным преобразованием.....	348
Метод статистических испытаний.....	351

---

Задачи и упражнения.....	358
22. Разрешающая способность РЛС по дальности, направлению и скорости.....	359
Задачи и упражнения.....	362
23. Системы селекции движущихся целей. Измерение радиальной скорости цели импульсными РЛС.....	365
Задачи и упражнения.....	370
24. Основное уравнение радиолокации.....	372
Основное уравнение радиолокации с пассивным ответом.....	372
Основное уравнение радиолокации с пассивным ответом с учетом влияния Земли.....	373
Задачи и упражнения.....	376
25. Пассивные помехи РЛС.....	378
Задачи и упражнения.....	383
26. Активные помехи РЛС и системам связи.....	385
Задачи и упражнения.....	390
V. Решение задач.....	391
VI. Ответы.....	431
<b>Приложение 1. Распределения случайных величин..</b>	<b>433</b>
Непрерывные законы.....	434
Дискретные законы.....	448
<b>Приложение 2. Космоцентр РТУ МИРЭА.....</b>	<b>452</b>
<b>Литература.....</b>	<b>454</b>