

Оглавление

Введение	3
1. Стохастическая радиолокация: обзор приложений, необходимость разработки адекватной теории	8
1.1. Примеры повышения эффективности обработки и формирования сигналов в РЛС методами рандомизации	9
1.2. Проблемы цифровой обработки	17
1.2.1. Учет эффектов дискретизации и квантования	19
1.2.2. Рандомизация и грубые статистики	20
1.2.3. Примеры использования «грубых отчетов» сигналов и их рандомизации по методу Монте-Карло	21
1.3. О необходимости разработки теории стохастической радиолокации	28
1.4. Главная и частные задачи исследований	29
2. Радиолокация: традиционные положения	32
2.1. Принципы радиолокации	32
2.1.1. Определения	32
2.1.2. Принципы получения радиолокационной информации	36
2.1.3. Координаты целей, измеряемые РЛС	38
2.1.4. Краткий обзор истории и применения радиолокации	44
2.1.5. Основные применения и виды радиолокации	46
2.1.6. Обобщенная структурная схема активной РЛС	49
2.2. Вторичное излучение целей и эффективная площадь рассеяния	51
2.2.1. Основные понятия и определения	51
2.2.2. ЭПР целей, размеры которых значительно меньше длины волны (релеевская область)	55
2.2.3. ЭПР целей, размеры которых одного порядка с длиной волны (резонансная область)	56
2.2.4. ЭПР сложных целей больших по сравнению с длиной волны размеров (высокочастотная область)	58
2.3. Основные тактико-технические характеристики РЛС	66
2.3.1. Тактические и технические характеристики РЛС ...	66
2.3.2. Дальность действия, рабочая зона, разрешающая способность РЛС	68
2.3.3. Методы поиска целей	87

2.3.4. Общие рекомендации по выбору основных ТТХ РЛС	94
2.3.5. Классификация критериев эффективности	98
2.3.6. Выводы	104
2.4. Основы теории обнаружения сигналов	104
2.4.1. Постановка задачи обнаружения и условия ее решения	105
2.4.2. Возможные решения и критерии качества обнаружения	109
2.4.3. Модели сигнала и шума	117
2.4.4. Общий подход к задаче обнаружения сигнала	119
2.4.5. Структура оптимальных алгоритмов обнаружения	120
2.4.6. Оптимальное обнаружение детерминированных сигналов	122
2.4.7. Оптимальное обнаружение квазидетерминированных сигналов	131
2.4.8. Согласованная фильтрация — основная операция оптимального обнаружения сигнала на фоне белого шума при неизвестной дальности цели	145
2.4.9. Обобщение задачи оптимального обнаружения для случая рандомизации условий радиоприема	151
2.5. Выводы	154
3. Основные положения теории цифровой стохастической обработки радиолокационных сигналов	157
3.1. Теория пространственно-временного обнаружения радиолокационных сигналов, учитывающая эффекты дискретизации и квантования	158
3.1.1. Обнаружение цели на фоне шума и помех	158
3.1.2. Базовая теория обнаружения, учитывающая эффекты дискретизации и квантования сигналов	160
3.1.3. Использование различий сигналов и помех	164
3.2. Расширение границ применимости теории пространственно-временного обнаружения сигналов в условиях искусственной рандомизации грубых отсчетов	166
3.2.1. Формулировка основного принципа линеаризации грубых статистик	167
3.2.2. Метод Монте-Карло — разрешение компромисса между «грубым квантованием» и эффективными размерами окна пространственно-временных выборок	169
3.2.3. Формулировка нового подкласса задач теории обнаружения	170
3.3. Обобщенная структурно-логическая модель исследований	171
3.3.1. Описание составных компонент структурной схемы модели исследований	172
3.3.2. Описание внутренних и внешних связей	175

3.4. Выводы	177
4. Стохастическая теория оценивания	179
4.1. Многоэтапная рекурсивная процедура оценивания ...	179
4.1.1. Байесова оценка вероятности по частоте при квадратичной функции потерь	183
4.1.2. Максимально правдоподобная оценка вероятности и другие линейные оценки	185
4.1.3. Поэтапные процедуры измерения вероятности	186
4.2. Многоэтапные рекурсивные процедуры Монте-Карло для оценивания параметров (компонент) вектора повторяющегося сигнала	189
4.2.1. Многоэтапная процедура	190
4.2.2. Дисперсия оценки	191
4.2.3. Асимптотика Муавра–Лапласа	192
4.2.4. Связь с двухэтапной процедурой измерения	193
4.2.5. Измерения на L -м этапе	194
4.3. Организация процедур поимпульсного усреднения параметров эхо-сигналов методом зависимых статистических испытаний	195
4.3.1. Рандомизация — способ сглаживания ошибок дискретности	196
4.3.2. Использование коррелированных выборок	197
4.3.3. Поисквые процедуры оценивания	198
4.3.4. Частные случаи	200
4.4. Выводы	202
5. Теория стохастического обнаружения. Процедуры стохастического принятия решений	203
5.1. Основные положения теории стохастического обнаружения. Рандомизация критериев обнаружения	203
5.1.1. Стохастические критерии обнаружения сигналов ...	203
5.1.2. Рандомизация критерия обнаружения в импульсных РЛС	209
5.2. Робастное непараметрическое обнаружение сигналов на основе обобщенно-весаового знакового критерия ...	212
5.2.1. Анализ ложных обнаружений	213
5.2.2. Анализ правильных обнаружений	214
5.3. Робастные непараметрические обнаружители сигналов с рандомизацией критерия обнаружения	215
5.3.1. Анализ ложных обнаружений	216
5.3.2. Анализ правильных обнаружений	217
5.4. Фильтрация траекторий как задача цифрового стохастического обнаружения	219

5.4.1. Описание метода и оценка его эффективности	221
5.4.2. Сравнение с методом наименьших квадратов	224
5.5. Выводы	225
6. Теория цифровой стохастической фильтрации пространственно-временных сигналов. Рандомизация процедур цифровой фильтрации	228
6.1. Аналого-цифровое преобразование сигналов как процесс стохастического оценивания и квантования распределений	228
6.1.1. Способы квантования сигнала по уровню	229
6.1.2. Квантование сигналов по уровню как процесс квантования распределений	229
6.1.3. Аналого-цифровое преобразование как процесс стохастического оценивания	230
6.2. Построение цифровых режекторных фильтров и компенсаторов помех по частоте и направлению	235
6.2.1. Уменьшение разрядности АЦП в системе РФ-КН	236
6.2.2. Анализ коэффициента улучшения в схеме РФ-КН с рандомизацией аналого-цифрового преобразования	238
6.3. Особенности цифровой фильтрации сигналов по направлению с использованием понятия пространственных частот	243
6.3.1. Технология DRFM-S и измерение пеленга	245
6.3.2. Нарращивание апертуры окна пространственных выборок	249
6.3.3. Некоторые обобщения	251
6.4. Особенности построения процессора ПВ обработки сигналов с использованием технологии DRFM-S	252
6.4.1. Выбор размера M окна пространственных выборок	252
6.4.2. Выбор размера N окна временных выборок	252
6.4.3. Измерение пеленга	253
6.4.4. Выбор разрядности АЦП	255
6.4.5. Реализация антенных устройств	255
6.4.6. Обобщение	256
6.5. Стохастические обеляющие фильтры	257
6.5.1. Анализ корреляционных параметров выходного процесса	257
6.5.2. Оптимизация стохастических систем	258
6.5.3. Резюме	262
6.6. Уменьшение разрядности весовых коэффициентов цифровых режекторных фильтров со случайными параметрами	262

6.6.1. Выбор критерия качества и его анализ для обычного и стохастического случаев	263
6.6.2. Учет квантования ВК и поиск эвристических решений	265
6.6.3. Изменение условий для сглаживания шумов квантования ВК при увеличении порядка ЦРФ	267
6.6.4. Резюме	268
6.7. Неожиданная взаимосвязь с проблемой снижения заметности антенных систем в бортовых радиолокационных комплексах	268
6.8. Квазилинейные обрабатывающие тракты в информационных системах современных радиолокационных комплексов	270
6.8.1. Методика оптимизации ДПФ-процессора	271
6.8.2. Формирование знаковой статистики	273
6.8.3. Анализ коэффициентов подавления и улучшения ...	273
6.8.4. Промежуточные выводы	276
6.9. Выводы	276
7. Восстановление сигнальных полей, дискретизированных по времени и пространству в системах пространственно-временной обработки сигналов	278
7.1. Теорема Котельникова для случая детерминированного и стохастического квантования времени и пространства	278
7.1.1. Стохастическая дискретизация времени	280
7.1.2. Стохастическая дискретизация пространства	281
7.1.3. Результаты моделирования	283
7.1.4. Оценка точности восстановления исходных зависимостей	284
7.1.5. Параметры спектрального анализа обычных и пространственных частот	84
7.1.6. Обобщение	286
7.2. Стохастическое квантование в «медленном времени» — средство устранения эффекта «слепых» скоростей. Оценка возможности подавления радаров, работающих в режиме СДЦ	286
7.2.1. Стохастическая оптимизация параметров импульсно-доплеровских РЛС средствами вобуляции частоты повторения зондирующих импульсов	287
7.2.2. О возможности подавления когерентно-импульсных РЛС обнаружения и целеуказания станциями РЭП, учитывающими структуру сигнала в «медленном» времени и направление его прихода	293
7.3. Выводы	294

8. Системы селекции движущихся целей	295
8.1. Общие вопросы построения систем СДЦ	295
8.1.1. Структурная схема системы СДЦ	296
8.1.2. Ограничения предельных возможностей	299
8.2. Основные понятия теории цифровых фильтров для анализа и синтеза систем СДЦ	304
8.2.1. Математическое описание и структура цифровых фильтров	304
8.2.2. Цифровые фильтры с конечной импульсной характеристикой	308
8.2.3. Дискретное преобразование Фурье	309
8.3. Анализ и синтез систем СДЦ	312
8.3.1. Метод приведения небелого шума к белому	312
8.3.2. Системы СДЦ на основе нерекурсивных цифровых фильтров	314
8.3.3. Системы СДЦ на основе рекурсивных цифровых фильтров	316
8.3.4. Системы СДЦ на основе многоканальных доплеровских фильтров (МДФ)	319
8.3.5. Адаптивные системы СДЦ	323
8.4. Особенности работы бортовых авиационных комплексов наблюдения и поиска целей в условиях пассивных и активных помех	328
8.4.1. Традиционные пути решения задачи адаптации радаров к внешней помеховой обстановке	329
8.4.2. Предварительный анализ	330
8.4.3. Снижение чувствительности РЛС в режиме СДЦ ...	332
8.4.4. Особенности прохождения АП через РФ систем СДЦ	333
8.4.5. Оценка эффективности радиоэлектронного подавления импульсно-доплеровских РЛС с БПЧ	334
8.4.6. Оценка информационного ущерба при воздействии на РЛС активных помех	336
8.4.7. Использование когерентного многочастотного сигнала	337
8.4.8. Резюме	340
8.5. Стохастические системы СДЦ	341
8.5.1. Примеры стохастических систем	341
8.5.2. Системы СДЦ с вобуляцией частоты повторения ...	341
8.5.3. Управление параметрами режекторного фильтра ...	343
8.5.4. Способ разрушения корреляции выходного шума ...	344
8.5.5. Анализ эффективности стохастической системы со случайными параметрами	345
8.6. Заключение	347
9. Принцип неопределенности в радиолокации	349

9.1. Тела неопределенности с учетом местоположения и движения цели при использовании сигналов большой длительности	350
9.1.1. Оптимальная обработка когерентных сигналов большой длительности	352
9.1.2. Двумерная автокорреляционная функция сигнала ..	357
9.1.3. Влияние вида двумерной автокорреляционной функции на обнаружение, измерение параметров и разрешение сигналов	361
9.1.4. Тела неопределенности радиоимпульсов без внутриимпульсной модуляции	366
9.1.5. Тела неопределенности радиоимпульсов с линейной частотной модуляцией. Приложение к спектральному анализу	368
9.1.6. Тела неопределенности когерентных пачек радиоимпульсов	373
9.2. Радиолокация при использовании шумоподобных стохастических сигналов	376
9.2.1. Рельеф тела неопределенности шумоподобного сигнала	376
9.2.2. Обработка импульсных непрерывных и длинноимпульсных сигналов	378
9.2.3. Обработка шумоподобных сигналов в режиме слежения	382
9.3. Направленные свойства и уменьшение эффектов дискретизации и квантования в цифровых ФАР	384
9.3.1. Построение цифровых режекторных фильтров и компенсаторов помех по частоте и направлению	385
9.3.2. Критерии качества	388
9.3.3. Учет квантования ВК	389
9.3.4. Изменение условий квантования ВК при увеличении порядка ЦРФ	390
9.3.5. Квазилинейные обрабатывающие тракты в ФАР с ПВ обработкой сигналов	390
9.3.6. Формирование знаковой статистики	391
9.3.7. Моделирование амплитудного джиттера	391
9.3.8. Уровень боковых лепестков	392
9.4. Заключение	394
10. Моделирование и экспериментальные исследования	395
10.1. Формулировка задач, решаемых моделированием	395
10.2. Моделирование частотомеров и пеленгаторов для задач РТР-РЭП и радиолокации	397

10.3. Моделирование квазилинейных трактов пространственно-временной обработки сигналов в условиях грубого квантования квадратурных компонент входного сигнала	401
10.4. Моделирование процедур цифрового запоминания и фильтрации обычных и пространственных частот (угловых направлений)	405
10.5. Формулировка задач, решаемых с помощью экспериментальных исследований	412
10.6. Экспериментальные исследования технологии DRFM и DRFM-S	413
10.6.1. Экспериментальные исследования технологии DRFM и DRFM-S	413
10.7. Экспериментальные исследования опытного образца комплексной радиоакустической системы подповерхностного обнаружения мин на железной дороге	419
10.8. Аппаратурное воспроизведение стохастических характеристик рандомизирующего процесса	421
10.8.1. Анализ аппаратурных погрешностей измерителя параметров повторяющегося сигнала, использующего метод зависимых статистических испытаний	423
10.8.2. Марковская аппроксимация линейных оценок вероятности	425
10.8.3. Влияние нестабильностей аппаратуры на точностные характеристики измерителей параметров сигнала, работающих в условиях эффектов стробоскопического характера .	428
10.8.4. Вопросы сходимости эмпирических распределений в линейном методе зависимых статистических испытаний ...	433
10.9. Выводы	438
11. Технические приложения стохастических методов и устройств в радиолокации	440
11.1. Краткое описание изобретений в увязке со структурно-логической моделью проводимых исследований	440
11.1.1. Изобретения, связанные с использованием «случайных шкал» квантования	440
11.1.2. Стохастические дальномеры	442
11.1.3. Непараметрические обнаружители	443
11.1.4. Обнаружитель радиолокационных сигналов с инвариантной к размеру выборки оценкой угловых координат ..	444
11.1.5. Режекторные фильтры пассивных помех в когерентно-импульсных радарх	444
11.1.6. Стохастический фазовращатель	445
11.1.7. Устройство контроля	446

11.2. Системы СДЦ и первичной обработки радиолокационной информации в автоматизированных мобильных радиолокационных комплексах УВД и посадки	446
11.2.1. Немного истории	447
11.2.2. О методике испытаний	448
11.2.3. Внедрение результатов исследований в аэродромные и аэроузловые РЛК типа «Скала-МП»	448
11.2.4. Автоматизированные комплексы управления воздушным движением и посадкой ЛА на корабли ВМФ	451
11.3. Информационные тракты современных комплексов РТР-РЭП для многофункциональных и легких фронтовых истребителей нового поколения	453
11.3.1. Перспективы интеграции аппаратуры	453
11.3.2. Построение аппаратуры РТР-РЭП	456
11.4. Комплексная радиоакустическая система подповерхностного обнаружения мин на железной дороге	457
11.4.1. Особенности решения задачи	459
11.4.2. Комплексная радиоакустическая система	460
11.4.3. Другие разработки	463
11.4.4. Резюме	465
11.5. Оценка эффективности технических решений. Достигнутый эффект	465
Заключение	468
Основные сокращения	472
Литература	474
Приложение 1	486
Приложение 2	486
Приложение 3	487
Приложение 4	489
Приложение 5	490
Приложение 6	490
Приложение 7	492
Приложение 8	492
Приложение 9	494
Приложение 10	494
Приложение 11	497