

Введение

*Светлой памяти генерального директора
ФГУП «ЦНИРТИ им. академика
А.И. Берга» (2005–2015 гг.) д.т.н., профессора
Бориса Семеновича Лобанова посвящается*

В настоящее время имеется много прекрасных учебников по радиолокации. Тем не менее, радиолокация не стоит на месте появляются ее новые виды: многопозиционная, загоризонтная, нелинейная, подповерхностная, застеночная, био- и др.

В качественном плане фундаментальные основы радиолокации сохраняются, так как известно, что классика не устаревает. В то же время появляются новые направления. В теории и технике обработки радиолокационных сигналов появились новые виды обработки и формирования сигналов:

- ассоциативная (многопроцессорная);
- пространственно-временная;
- синтез апертуры;
- фрактальный анализ (фрактальная обработка);
- вейвлет-анализ (вейвлет-обработка) и др.

Обобщая упомянутое, можно сказать, что сегодня наступило время написания фундаментальной книги «Современная радиолокация» и учебника «Введение в теорию современной радиолокации», однако столь непосильный труд мы не стали брать на себя, а ограничились гибридным вариантом. Мы посчитали возможным сделать небольшой шаг — реализовать сочетание классики и нового путем избранного цитирования основных положений радиолокации (фундаментальных основ) из известных учебников с одновременным введением новых элементов, являющихся наработками авторов.

Среди этих наработок можно назвать следующие. Это стохастическая радиолокация: стохастическая линейаризация эффектов дискретной и цифровой обработки грубых булевых и бинарно-знаковых статистик сигналов в РЛС с селекцией движущихся целей (СДЦ) и фазированной антенной решеткой (ФАР), рандомизация процедур обнаружения и измерения параметров повторяющегося сигнала, пространственно-временная и робастная обработка сигналов и ряд других.

Таким образом, предлагаемую читателям монографию можно назвать обзорно-реферативным аналитическим и в указанном выше смысле промежуточным этапом в оформлении зарождающегося направления «Современная радиолокация».

Монография состоит из 11 разделов.

В разделе 1 дана общая характеристика работы и обосновано определение понятия «стохастическая радиолокация». Приведен краткий обзор приложений выбранного направления исследований и сделана констатация необходимости разработки адекватной теории. Сформулирована главная задача исследований, обоснованы и сформулированы частные задачи создания систем дискретной и цифровой рандомизированной обработки и формирования сигналов для многофункционального (МФ) РЛК в условиях применения грубых статистик, развития теоретических основ цифровой рандомизированной (стохастической) обработки пространственно-временных (ПВ) радиолокационных сигналов, отличающихся оригинальными процедурами устранения (уменьшения влияния) эффектов дискретизации и квантования в цифровых системах обработки и формирования сигналов.

Раздел 2 представляет собой введение в теорию радиолокации, в нём рассмотрены основные понятия, определения, характеристики и основные соотношения, применяемые в классической теории радиолокации. В разделе выдвинуто теоретического положение о том, что в формировании пространства наблюдений может принимать участие Наблюдатель, который варьирует случайным образом параметры кумулятивного распределений шума и сигнала, рандомизируя процесс наблюдения для достижения частной цели.

В разделе 3 сформулированы основные положения и новые понятия теории стохастической радиолокации. Уточняется и используется по-новому понятие «грубые статистики» (ГС). Введенное определение понятия ГС предполагает дискретизацию непрерывных множеств селективируемых, измеряемых и неизменяемых параметров ПВ сигнала, допуская на начальных этапах замену непрерывных множеств конечным множеством грубых отсчетов с последующей рандомизацией этих отсчетов путем введения вероятностной меры с помощью искусственной генерации случайных или псевдослучайных величин с целью уменьшения влияния эффектов дискретизации и квантования за счет удлинения размеров ПВ выборки или обеспечения повторяемости измерений путем организации соответствующих ансамблей выборок по принципу удлиняющейся или повторяющейся серии испытаний.

Раздел 4 посвящен анализу методов измерения координат целей с применением многоэтапных рекурсивных алгоритмов стохастического оценивания параметров (компонент) вектора измеряемых параметров повторяющегося сигнала по принципу удлиняющейся серии. Сформулированы основные положения стохастической рандометрии. Разработана концепция и методы точной дальнометрии в МФ РЛК, основанные на использовании грубых (булевых) статистик при рандомизированной обработке совокупности удлиняющейся серии отсчетов и отличающиеся от традиционных, использующих многоразрядные отсчеты;

В разделе 5 излагается новая теория стохастического обнаружения, предполагающей использование грубых булевых и бинарно-знаковых робастных статистик сигналов в РЛС. Разработан метод непараметрического обнаружения сигналов с рандомизацией критерия обнаружения, обеспечивающий получение инвариантных к распределению шума характеристик обнаружения и интерполяцию вероятностей ложных тревог и правильного обнаружения МФ РЛК (рабочих характеристик), в отличие от классического, в котором они представлены дискретным множеством точек;

В разделе 6 обсуждаются вопросы стохастического аналого-цифрового преобразования и излагается теория цифровой стохастической фильтрации пространственно-временных сигналов. Разработаны способы повышения эффективности цифровых систем когерентной обработки МФ РЛК, реализующие рандомизированные алгоритмы обработки грубых отсчетов сигналов, а также распределение разрядной сетки АЦП и цифровых фильтров (ЦФ) по зонам шума и помеха+шум.

Обоснована процедура синтеза систем ПВ обработки в МФ РЛК с широкоугольными и широкополосными ФАР на основе использования алгоритмов фрактальной суммарно-разностной обработки сигналов в условиях использования грубых отсчетов и слабонаправленных парциальных лучах.

Теоретически обоснован принцип стохастического обеления, расширяющий принципа обеления Урковица–Котельникова и обеспечивающий возможность построения энергетически прозрачных ЦФ со стабильным уровнем шума и малозаметных ФАР.

В разделе 7 излагается современная теория восстановления сигнальных полей дискретизированных по времени и пространству, включая варианты доказательства теоремы Котельникова для детерминированного и стохастического квантования времени и пространства.

В разделе 8 исследованы вопросы помехозащищенности когерентно-импульсных РЛС, системы СДЦ и особенности работы РЛС в условиях пассивных и активных помех. Разработана концепция подавления МФ РЛС с поимпульсной перестройкой несущей частоты в условиях воздействия пространственно-распределенных пассивных, гидрометеоров и активных помех, помех типа цифровой копии.

В разделе 9 дан новый взгляд на принцип неопределенности в радиолокации.

Тело неопределенности является сигнальной характеристикой, описывающей структуру сигнала для одной «блестящей» точки, и к этому так и нужно относиться. К рекомендациям по результатам синтеза сигнала по телу неопределенности необходимо относиться весьма осторожно, так как реальные цели представляются как правило моделями с большим числом блестящих точек. При синтезе сигналов реальных целей необходимо учитывать эти обстоятельства и принимать во внимание условия, в которых осуществляется радиолокация цели.

Раздел 10 посвящен моделированию и экспериментальным исследованиям алгоритмов и устройств стохастической радиолокации. В результате целевого распределения задач, решаемых моделированием и проведением экспериментальных исследований, выделены приоритетные задачи и были выбраны соответствующие методы (методики) моделирования и проведения.

Экспериментальные исследования и ранее полученные экспериментальные данные позволили обеспечить прогнозируемые характеристики обнаружения, разрешения и требуемой точности измерения координат условиях помех. Также в разделе проведено теоретическое обоснование способа аппаратурной генерации рандомизирующих процессов на основе биений регулярных шкал квантования, реализующих быструю скорость сходимости диафантовых приближений, отличающийся тем, что исключается необходимость генерации псевдослучайных величин с гарантированными характеристиками распределения.

В разделе 11 приведены технические приложения и некоторые результаты внедрения стохастической радиолокации в разработки РЛС, к которым имели отношение авторы данной монографии. Это мобильные, аэродромные и аэроузловые РЛК УВД и посадки, автоматизированные комплексы УВД и посадки авианесущих кораблей и комплексы радиоэлектронного подавления (РЭП) авиационного базирования.

Авторами монографии получены следующие научные и практические результаты:

- развита теория цифровой рандомизированной (стохастической) обработки ПВ радиолокационных сигналов;
- разработаны новые подходы к построению и анализу стохастических систем первичной и вторичной обработки РЛИ в МФ РЛК;
- расширены границы применимости теоремы отсчетов на случай квантования пространственных частот и применения стохастических шкал квантования;
- развита алгоритмическая база способов построения устройств обработки сигналов в условиях грубого квантования и конечной разрядности представления радиолокационных данных и весовых коэффициентов;
- разработан метод стохастического обеления при обработке ПВ радиолокационных сигналов в адаптивных цифровых режекторных фильтрах (ЦРФ);
- разработан математический аппарат и методики оптимизации устройств рандомизированной обработки ПВ радиолокационных сигналов.

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить уважаемых рецензентов профессора, д.т.н. Ю.М. Перунова и профессора, д.т.н. А.М. Бородина. Отдельная благодарность профессору, д.т.н. В.С. Черняку за предоставленные в раздел 2 материалы по моделированию РЛ сигналов и всем, кто принял участие на разных этапах подготовки предлагаемой читателю книги и способствовал улучшению качества ее формы и содержания.