

Введение

В последнее время возникла задача исследования стохастической радиолокации: хаотизации (варьировании параметров) формирования и обработки сигналов в условиях цифровой обработки и использования грубых бинарно-знаковых и малоразрядных статистик. В настоящем курсе проведено теоретическое и экспериментальное исследование решения традиционных задач радиолокации и радиосвязи: обнаружения, разрешения, дискретизации и квантования, фильтрации сигналов, подавления помех с использованием нового стохастического подхода. В качестве детального объекта исследования взяты многоканальные доплеровские системы современных радиолокационных систем (РЛС) с многолучевыми активными фазированными антенными решетками (АФАР), имеющие разветвленную сеть цифровых сигнальных процессоров пространственно-временной обработки.

Изучаются способы хаотизации (рандомизации) условий процесса «прием — передача» сигналов путем введения в процесс наблюдения цели в высокопотенциальных РЛС случайных процедур и компонент: вобуляции частоты повторения, перестройки несущей частоты, стохастического сканирования, модуляции порогов квантования, использования стохастических шкал квантования, эталонных случайных добавок и т. п. Хаотизация (варьирование параметров) детерминированных сигналов осуществляется с целью устранения влияния стробоскопических, интерференционных эффектов, уменьшения шумов квантования, боковых лепестков, линеаризации тракта приема и обработки сигналов, использования грубых (булевых, бинарно-знаковых) и усеченных би- и тристатических пространственно-временных статистик при формировании амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) системы селекции движущихся целей (СДЦ) и диаграммообразовании ФАР.

Выбранное направление является перспективным и актуальным, поскольку оно предполагает путь совершенствования элементной базы дискретной твердотельной и электровакуумной

электроники по пути полномасштабного внедрения высокопотенциальных сверхширокополосных (СШП) сигналов в радиолокацию и связь. Альтернативный подход, основанный на использовании в качестве носителей информации хаотических шумовых сигналов, в настоящее время актуален для построения РЛС с пониженным уровнем вероятности вскрытия, но он ограничен радиолокаторами малой дальности. Разработка радиолокаторов большой дальности действия (сотни километров и более) сдерживается отсутствием соответствующей элементной базы, не позволяющей сегодня реализовать большие величины составляющих энергопотенциала РЛС с непрерывными СШП-сигналами, так как в электронных приборах используются линейные режимы работы («без отсечки»). Работа «в ключевом» режиме с пониженными уровнями мощности и переходом к КНИ хаотическим сигналам представляется перспективным направлением совершенствования маломощной электроники РЛС авиационного и космического базирования.

Истоки рандомизированных (хаотических) алгоритмов лежат в идеях метода статистического моделирования Монте-Карло, предложенного в Лос-Аламосе Джоном фон Нейманом, Николасом Метрополисом и Станиславом Уламом в ходе работ над Манхэттенским проектом [11]. С тех пор прошло много времени, но идеи метода Монте-Карло внедрились не только в задачи статистического моделирования, но и в радиолокацию.

В близких по постановкам задачах обработки сигналов целей, наблюдаемых в условиях произвольных ПП, иногда применяют рандомизированные алгоритмы [1–5, 39, 52, 85–89]. В указанных работах разрабатываются алгоритмы рандомизации при принятии решений [1–5, 39, 52], адаптивного оценивания параметров сигналов [1–5, 39, 85, 86], неминимаксной фильтрации [87], выявлению линейной регрессии нестационарного шума [88], использования пробных возмущений [1–5, 39, 52, 89], робастных статистик в условиях использовании частотной неопределенности* [1–5, 39, 52]. В [59] рассматриваются усредняющие свойства алгоритма пространственного стохастического АЦП, который мог быть использован в дальнейшем для решения новых задач на основе анализируемого принципа стохастического обеления.

* Данная теория сформирована автором и в постановочном плане читалась студентам 4 курса РТУ МИРЭА.

В настоящей книге не ставится цель нахождения оптимальных рандомизированных алгоритмов формирования и обработки сигналов, а на эвристической основе высказывается гипотеза о возможности снятия ограничения детерминированности обработки. Решение задач проводится аналитически и подтверждается моделированием.

Настоящий курс можно назвать обзорно-реферативным аналитическим и в указанном выше смысле промежуточным этапом в оформлении направления «Стохастическая радиолокация».

Состояние вопроса по тому или иному направлению (разделам) исследований будет дано в начале каждой темы.

Лекционные материалы включают 11 тем.

Тема 1. Приводятся основные понятия и примеры применения хаотизации формирования и обработки сигналов (рандомизированной обработки) применительно к построению доплеровских и угломерных информационных каналов для систем радиолокации и радиосвязи. При рандомизации «стохастичность» включается в модели сигналов и алгоритмы их обработки целенаправленно. С этой позиции рассмотрены известные понятия: грубые отсчеты, грубые статистики, АЦП, пространственные частоты, пространственно-временные выборки, принцип обеления коррелированных по времени и пространству помех. Приведен краткий обзор приложений выбранного направления исследований и показана необходимость построения адекватной теории.

Тема 2. Излагается подход, основанный на расширении пространственных и частотных спектров в радиолокационных окнах наблюдения методами хаотизации параметров сигналов. Рассмотрена радиолокация с использованием шумовых и псевдошумовых сигналов, уточнено понятие энергопотенциала.

Тема 3. Обосновывается принцип стохастического обеления пассивных коррелированных помех в задаче оптимизации РЛС с системой СДЦ, дано теоретическое обоснование введения понятия стохастических обеляющих фильтров со случайными коэффициентами, основанное на использовании новой трактовки метода приведения небелого шума к белому Котельникова при подавлении коррелированных по времени пассивных и коррелированных по пространству активных помех.

Тема 4. Посвящена исследованию вопросов снижения заметности объектов в совпадающих диапазонах взаимодействующих объектов методом хаотизации параметров управляемого покрытия.

Тема 5. Посвящена радиолокационным измерениям ЭПР объектов со сложным профилем методом Монте-Карло при использовании грубых статистик, сверхузких диаграмм направленности и хаотизации управления сканированием.

Тема 6. Посвящена синтезу угломерных радиолокационных систем с хаотизацией фокусировки бинарных би- и тристатических отсчетов поля по плоским волнам при формировании векторной многолучевой диаграммы направленности ФАР.

Тема 7. Исследуются стохастические фазовращатели для приемопередающих модулей АФАР систем псевдошумовой радиолокации и радиовидения: элементная база сверхвысокочастотной (СВЧ) микроэлектроники, тенденции ее развития, техническая реализация.

Тема 8. Посвящена разработке методов радиолокации и радиоголографии высокого разрешения на основе многолучевых сверхширокополосных антенных решеток. Изложены основы теории определения направления прихода сигнала в линейных антенных решетках с традиционным методом определения направления прихода сигнала и со сверхразрешением.

Тема 9. Посвящена исследованию грубых статистик в пеленгации источников радиолокационного излучения с бинарно-знаковым квантованием сигналов. Акцент сделан на панорамных объемных малоэлементных пеленгаторах.

Тема 10. Посвящена исследованию метода обращаемого спектрального анализа (двойного спектрального и двойного корреляционного) эффективного для адаптивного пассивного и активного радиомониторинга импульсных, длинно-импульсных, непрерывных и квазинепрерывных сигналов.

Тема 11. Посвящена дискретной и цифровой обработке. Решение таких задач осуществляется в окнах временных и пространственных выборок, взвешенных весовыми функциями, параметры которых (внешние и внутренние) варьируются. Особое внимание уделяется процедурам стохастической модуляции, которые базируются на концепции внедрения в процесс обработки и формирования сигналов искусственной стохастичности, предполагающей наряду с естественной — шумами и помехами — рандомизацию условий приема, обработки и передачи сигналов. Анализируются условия решения ключевых задач цифровой обработки — обнаружения, оценивания и фильтрации. Проводится сравнение с шумовой радиолокацией и связью.