

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе



Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.

Программа аспирантуры

Направление 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

Направленность (специальность) 05.12.14 Радиолокация и радионавигация

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

специальной дисциплины

"Радиолокация и радионавигация"

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ОД.2

Всего: 252 часа

Семестр 5, 144 часа, в том числе 6 часов – контактная работа,
138 часа – самостоятельная работа,

Семестр 6, 108 часов, в том числе 6 часов – контактная работа,
66 часов – самостоятельная работа,
36 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи, утвержденного приказом Минобрнауки России от 30 июля 2014 г. № 876, и паспорта специальности, указанной в номенклатуре специальностей научных работников 05.12.14 Радиолокация и радионавигация, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является формирование знаний, отвечающих *формуле специальности применительно к области исследований соответствующей отрасли науки.*

Задачами дисциплины являются:

- развитие способности эффективно использовать всю совокупность полученных ранее компетенций для применения в разработках и исследованиях в своей предметной области по теме научно-исследовательской работы;
- продемонстрировать результаты образования в аспирантуре.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);
- способность следовать этическим нормам в профессиональной деятельности (УК-5);
- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-6);
- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);
- владение культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2);
- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);

- готовность организовать работу исследовательского коллектива в профессиональной деятельности (ОПК-4);
- способность разрабатывать эффективные алгоритмы решения научных задач (ПК-1);
- способность реализовать разработанные алгоритмы решения научных задач с использованием современных языков программирования (ПК-2).

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

- алгоритмы оптимальной обработки сигналов и информации в аппаратуре потребителей СРНС (УК-1);
- потенциальные характеристики алгоритмов оптимальной обработки сигналов и информации в аппаратуре потребителей СРНС (УК-2);
- алгоритмы оптимальной обработки сигналов и радиолокационной информации (УК-5);
- потенциальные точностные характеристики измерения радиолокационных параметров (УК-6);

уметь:

- применять методы статистического синтеза для решения задач обработки сигналов в перспективной аппаратуре радиолокации (ОПК-1);
- применять методы статистического синтеза для решения задач обработки сигналов в перспективной аппаратуре радионавигации (ОПК-2);
- применять статистические методы анализа радиотехнических систем (ОПК-3);
- применять статистические методы анализа радиотехнических устройств (ОПК-4);

владеть:

- статистическими методами синтеза и анализа радиолокационных систем и устройств (ПК-1);
- статистическими методами синтеза и анализа радионавигационных систем и устройств (ПК-1);
- методиками расчета основных характеристик оптимальных радиолокационных систем и устройств (ПК-2);
- методиками расчета основных характеристик оптимальных радионавигационных систем и устройств (ПК-2).

Формула специальности

Радиолокация и радионавигация - область науки и техники использующая радиоволны для извлечения информации в средствах радиолокации, радионавигации, а также в промышленной технологии, включающая исследования, разработку, проектирование, испытание, сертификацию и

эксплуатацию радиолокационных и радионавигационных систем и устройств. Специальность отличается тем, что содержит научные, технические и технологические исследования и разработки радиолокационных и радионавигационных систем, систем радиоэлектронной борьбы, а также других систем специального назначения и методов их использования в различных отраслях народного хозяйства.

Специальность включает вопросы исследования и использования радиотехнических явлений для разработки новых принципов и алгоритмов работы радиолокационных и радионавигационных систем, новых методов их проектирования и обеспечения надежности, новых технологических процессов и испытаний этих систем.

Значение решений научных и технических проблем радиолокации и радионавигации, радиолокационных и радионавигационных систем и устройств состоит в исследовании новых принципов и методов извлечения и обработки информации для создания высокоэффективных средств в области радиолокации, радионавигации, радиоэлектронной борьбы, технологии их производства и др.

Области исследований

1. Исследование новых явлений и процессов в радиоэлектронике, позволяющих повысить эффективность систем и устройств радиолокации и радионавигации.

2. Исследование рассеяния и отражения объектами радиоволн различных диапазонов.

3. Разработка устройств генерирования, усиления, преобразования радиосигналов в радиолокационных и радионавигационных системах и устройствах. Создание методик их расчета и основ проектирования.

4. Исследование и разработка новых систем и устройств радиолокации с целью увеличения дальности действия, точности и разрешающей способности, повышения помехозащищенности и помехоустойчивости.

5. Разработка и исследование методов и алгоритмов обработки радиосигналов и извлечения из них информации при воздействии помех. Создание помехоустойчивых систем и устройств. Разработка методов защиты и разрушения информации в системах радиолокации и радионавигации.

6. Исследование и разработка устройств радионавигации, в том числе космических, с целью повышения точности местоопределения объектов в пространстве, эффективности управления объектами и широкого использования радионавигационных устройств в народном хозяйстве.

7. Исследование и разработка радиотехнических систем и устройств специального назначения, в том числе для радио мониторинга и радиоэлектронной борьбы.

8. Исследование и разработка каналов передачи информации в многопозиционных системах.

9. Разработка радиоэлектронных устройств отображения и хранения информации. Разработка перспективных информационных технологий, в том

числе цифровых, а также с использованием нейронных сетей для обнаружения и распознавания объектов в радиолокационных системах и устройствах.

10. Разработка методов синтеза и анализа, а также алгоритмов моделирования радиолокационных и радионавигационных систем.

11. Разработка научных и технических основ проектирования, конструирования, технологии производства, испытания и сертификации радиолокационных и радионавигационных устройств и систем.

Отрасль науки

физико-математические науки (за исследования теоретического характера в пунктах 1 и 2), технические науки (за разработку систем, устройств, приборов, технологических процессов и за применение их в народном хозяйстве).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Статистическая теория радиотехнических систем

Статистическое описание сообщений, сигналов и помех. Передача, извлечение и разрушение информации. Радиосигналы. Радиосигналы с амплитудной и угловой (частотной и фазовой) модуляцией и их спектры. Радиосигналы со сложной (смешанной) модуляцией и их спектры.

Шумы и помехи как случайные процессы. Плотности распределения вероятностей, характеристические функции и функции распределения случайных процессов. Энергетические характеристики случайных процессов. Моментные и корреляционные функции. Спектральная плотность. Свойства корреляционных функций. Теорема Винера-Хинчина. Стационарность и эргодичность случайных процессов. Автокорреляционные и взаимные корреляционные функции. Непрерывность и дифференцируемость случайных процессов. Интегрирование случайных процессов. Гауссовский случайный процесс и его характеристики. Процессы близкие к гауссовскому. Импульсные и точечные случайные процессы. Марковские процессы. Узкополосные случайные процессы. Статистические характеристики огибающей, фазы и их производных для суммы сигнала и узкополосного шума. Выбросы случайных процессов.

Критерии и решающие правила оптимального обнаружения: критерий Байеса, минимаксный критерий, критерий Неймана-Пирсона, критерий Вальда и др. Показатели качества обнаружения сигналов. Методы синтеза оптимальных обнаружителей. Обнаружение детерминированных и квазидетерминированных сигналов на фоне «белого» шума. Обнаружение пачек когерентных и некогерентных радиоимпульсов в «белом» шуме. Корреляционная, фильтровая и корреляционно-фильтровая обработка сигналов. Обнаружение детерминированных и квазидетерминированных сигналов, в том числе и многоканальное, на фоне гауссовых коррелированных помех. Обесцвечивающие фильтры.

Обнаружение сигналов в негауссовых помехах. Обнаружение пространственно-временных сигналов, многоканальная схема обработки. Условия разделения пространственно-временной обработки на отдельные

пространственную и временную. Пространственный фильтр и коррелятор. Реализация пространственных фильтров и корреляторов с помощью ФАР.

Информативные и неинформативные параметры сигналов. Оценки параметров сигналов. Байесовские и небайесовские оценки и их свойства. Оценка максимального правдоподобия и ее свойства. Неравенство Крамера-Рао. Потенциальная точность измерения параметра. Многоканальный и следящий измерители. Оценивание энергетических и неэнергетических параметров сигнала на фоне «белого» шума. Функция рассогласования сигнала и ее связь с потенциальной точностью измерений.

Оценивание времени запаздывания, частоты и фазы различных моделей сигнала. Оценивание параметров стохастических сигналов.

Виды оценивания: фильтрация, интерполяция и экстраполяция. Байесовы правила оценивания. Марковская аппроксимация сигналов. Стохастическое уравнение оптимальной фильтрации (уравнение Стратоновича). Линейная фильтрация. Непрерывный и дискретный фильтр Калмана. Нелинейная фильтрация. Синтез алгоритмов методом гауссовского приближения. Оценочно-корреляционная обработка сигналов.

Параметрическая и непараметрическая априорная неопределенность. Методы синтеза алгоритмов обработки при параметрической априорной неопределенности. Адаптивные алгоритмы. Адаптивные многоканальные (в том числе двухканальные) компенсаторы помех с корреляционной обратной связью. Автокомпенсаторы коррелированных помех. Методы синтеза алгоритмов при непараметрической априорной неопределенности. Использование знаковых, порядковых и ранговых статистик для обнаружения сигналов. Робастное оценивание параметров сигнала. Оценки типа максимального правдоподобия (М-оценки). Робастное обнаружение. Адаптивно-робастное обнаружение.

Робастное оценивание времени запаздывания, частоты и фазы различных моделей сигнала.

Общие сведения о разрешении и распознавании сигналов (объектов). Характеристики (признаки) объектов и сигналов, используемые для разрешения и распознавания. Взаимосвязь задач разрешения и распознавания. Показатели качества разрешения и распознавания и решающие правила. Упрощенная процедура распознавания. Алгоритмы разрешения и распознавания детерминированных и квазидетерминированных сигналов. Связь разрешающей способности с функцией рассогласования. Меры разрешающей способности. Разрешающая способность по времени запаздывания и по частоте.

Цифровые методы обработки сигналов. Дискретизация сигналов по времени и квантование по уровню. Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) и выбор параметров кода. Методы синтеза алгоритмов и устройств цифровой обработки сигналов. Цифровая фильтрация и цифровые фильтры. Ошибки квантования и округления. Методы расчета цифровых фильтров. Коэффициент передачи и импульсная характеристика цифровых фильтров. Цифровая фильтрация во временной и частотной областях. Цифровой спектральный

анализ. Быстрое преобразование Фурье. Цифровая обработка многомерных сигналов и изображений.

2. Системы и устройства радиолокации

Области применения и задачи радиолокации. Виды радиолокации. Обзор пространства. Виды обзора, зона обзора и время обзора.

Физические основы радиолокации. Эффективная площадь рассеяния (ЭПР) целей. Поляризационная матрица рассеяния. Модели реальных точечных и протяженных целей. Наблюдаемость точечных целей на фоне протяженных (радиолокационный контраст).

Дальность действия РЛС. Влияние атмосферы и подстилающей поверхности на дальность действия РЛС.

Устройства обнаружения (обнаружители) радиолокационных сигналов. Алгоритмы оптимального обнаружения. Структуры обнаружителей. Обнаружители радиосигналов на фоне коррелированных помех. Цифровые обнаружители. Знаковые, ранговые, робастные и адаптивные обнаружители. Методы стабилизации уровня ложных тревог. Пороговая мощность радиолокационного сигнала.

Разрешающая способность по дальности, угловым координатам и скорости. Выбор зондирующего сигнала.

Простые и сложные сигналы. Двумерная корреляционная функция (ДКФ) зондирующего сигнала. Функция неопределенности (ФН) и диаграмма неопределенности (ДН) радиолокационных сигналов.

Методы измерения координат и параметров движения целей. Следящие и неследящие измерители.

Фазовые, частотные и импульсные дальнометры. Радиодальномеры со сложными сигналами. Пределы однозначного измерения, разрешающая способность и точность радиодальномеров.

Измерители радиальной скорости целей. Пределы однозначного измерения, разрешающая способность и точность измерителей скорости.

Прецизионные фазовые и корреляционно-фазовые пеленгаторы.

Амплитудные, фазовые и суммарно-разностные моноимпульсные пеленгаторы. Пределы однозначного измерения, разрешающая способность и точность пеленгаторов.

Измерители угловых скоростей.

Пассивные, активные и комбинированные помехи. Характеристики помех. Борьба с пассивными помехами. Селекция движущихся целей (СДЦ). Когерентно-импульсные РЛС. Режекция пассивных помех с помощью гребенчатых фильтров (РГФ). Цифровые РГФ. Качество подавления помех.

РЛС с синтезированной апертурой (РСА). Выбор параметров РСА и структуры цифровой обработки. Радиointерферометры со сверхдлинной базой. Апертурный синтез. Радиовидение.

Пространственно-временная обработка сигналов. Автокомпенсаторы активных помех.

Вторичная обработка радиолокационной информации. Обнаружение и сопровождение траекторий. Калмановская фильтрация траекторий.

Многопозиционная радиолокация.

Обнаружение сигналов теплового радиоизлучения. Схемы радиометров. Методы и устройства измерения координат источников теплового радиоизлучения.

Подповерхностная радиолокация. Нелинейная радиолокация.

3. Системы и устройства радионавигации и радиоуправления

Методы определения местоположения объекта и способы вывода его в заданную точку пространства. Принципы радионавигации и методы технической реализации радионавигационных систем (РНС) и устройств (РНУ). Методы радиоуправления в радионавигации. Элементы теории автоматического управления объектами. Контур следящего управления и его основные звенья.

Командное следящее радиоуправление, автономное радиоуправление, радиоуправление при наведении по лучу, управление космическими аппаратами. Особенности радиолиний управления объектами.

Автономные РНС: системы счисления пути. Радиосистемы навигации по геофизическим полям Земли. Радиовысотомеры и доплеровские измерители скорости и угла сноса летательных аппаратов (ДИС).

Корреляционно-экстремальные измерители скорости. Обзорно-сравнительные радионавигационные системы. Системы навигации по рельефу и карте местности.

Комплексообразование навигационных систем с радиотехническими и нерадиотехническими датчиками. Интегрированные РНС.

Радиосистемы дальней навигации (РСДН). Построение глобальных и региональных РСДН. Фазовые и импульсно-фазовые РСДН, использующие дальномерные и разностно-дальномерные методы определения местоположения. Погрешности РСДН.

Спутниковые радионавигационные системы (СРНС). Передача сведений об орбитах спутников потребителю для целей навигации. Особенности построения и функционирования СРНС. Влияние атмосферы и космической среды на характеристики СРНС. Методы определения местоположения в СРНС: доплеровский, дальномерный, разностно-дальномерный.

Радиосистемы ближней навигации (РСБН). Радиосистемы посадки летательных аппаратов.

Точность определения местоположения в позиционных РНС. Линии и поверхности положения. Ошибки линий положения. Ошибки определения местоположения на плоскости и в пространстве. Эллипс и эллипсоид ошибок положения. Рабочие зоны РНС. Геометрический фактор.

4. Системы и устройства разрушения информации

Область применения и задачи систем разрушения информации (радиоэлектронной борьбы - РЭБ).

Радиотехническая разведка (РТР). Построение систем и устройств РТР. Определение параметров радиосигналов радиотехнических систем различного назначения средствами РТР. Методы определения местоположения радиоэлектронных систем (РЭС). Эффективность средств РТР.

Методы и средства разрушения информации. Генераторы активных помех. Виды активных помех: заградительные, прицельные, ответные и имитационные.

Радиоэлектронная маскировка. Характеристики качества радиомаскировки. Скрытность и незаметность. Общие методы маскировки объектов и уменьшения радиоконтраста РЭС. Использование широкополосных (ШПС) и сверхширокополосных сигналов (СШПС). Маскировка с помощью пассивных помех.

Основные методы помехозащиты. Изменение параметров радиосигнала в процессе работы, борьба с помехами с помощью устройств селекции радиосигналов.

Защита РЭС от воздействия средств поражения. Эффективность средств РЭБ.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 5 семестр - зачет, 6 семестр - кандидатский экзамен.

Вопросы для самоконтроля и проведения экзамена

1. Математическое описание случайных процессов
2. Постановка задачи оптимального обнаружения сигналов
3. Характеристики обнаружения детерминированного сигнала
4. Характеристики обнаружения сигнала со случайной начальной фазой
5. Соотношение для потенциальной точности оценки задержки сигнала
6. Соотношение для потенциальной точности оценки доплеровского смещения частоты сигнала
7. Соотношение для потенциальной точности оценки фазы сигнала
8. Структурная схема и уравнения, описывающие фильтр Калмана
9. Апостериорная плотность вероятности и ее значение в теории оптимальной фильтрации
10. Общее выражение для оптимального дискриминатора следящей системы за параметром радиосигнала
11. Постановка задачи оптимальной комплексной фильтрации
12. Алгоритмы фильтрации при решении навигационной задачи (вторичная обработка)
13. Статистическое описание навигационных радиосигналов.
14. Обнаружение сигнала со случайной фазой
15. Обнаружение сигнала с некогерентным накоплением
16. Оценки максимального правдоподобия: основные соотношения, свойства.
17. Поиск навигационного сигнала по задержке и частоте
18. Оценки максимального правдоподобия параметров радиосигнала.
19. Потенциальная точность оценок максимального правдоподобия: основные соотношения, нижняя граница Рао-Крамера.

20. Основные положения теории оптимальной нелинейной фильтрации при приеме навигационных сигналов
21. Оптимальная линейная фильтрация информационных процессов
22. Синтез оптимальных когерентных дискриминаторов фазы и задержки при приеме сигналов СРНС.
23. Когерентный и некогерентный прием навигационных сигналов. Особенности синтеза дискриминаторов в этих режимах
24. Эквивалентные линейные наблюдения фильтруемых процессов при синтезе оптимальных следящих систем. Методика использования теории оптимальной линейной фильтрации для синтеза сглаживающих фильтров следящих систем.
25. Синтез оптимальных алгоритмов решения навигационной задачи
26. Синтез комплексного измерителя дальности и скорости
27. Синтез комплексного алгоритма фильтрации координат объекта на вторичном уровне.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. . ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования, Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова – М.: Радиотехника, 2010.
2. Радиотехнические системы: Учебник для вузов/Под ред. Ю.М. Казаринова. М.: Изд. Дом «Академия»., 2008.
3. Баскаков А.И., Жутяева Т.С., Лукашенко Ю.И. Локационные методы исследования объектов и сред. М.: Изд. Дом «Академия»., 2011.
4. Меркулов В.И., Перов А.И. и др. Оценивание дальности и скорости в РЛС. Часть 2. – М.: Радиотехника, 2007.
5. Меркулов В.И., Перов А.И. и др. Оценивание дальности и скорости в РЛС. Часть 3. – М.: Радиотехника, 2009..
6. Перов А.И. Методы и алгоритмы оптимального приема сигналов в аппаратуре потребителей спутниковых радионавигационных систем. – М.: Радиотехника, 2012.
7. Перов А.И. Статистическая теория радиотехнических систем. – М. Радиотехника, 2003.

Дополнительная литература

1. Саватеев Ю.И. Оптимальный прием сигналов на фоне помех и шумов. – М.: Радиотехника, 2011.
2. Сосулин Ю.Г., Костров В.В., Паршин Ю.Н. Оценочно-корреляционная обработка сигналов и компенсация помех. – М.: Радиотехника, 2014.
3. Тихонов В.И. Харисов В.Н. Статистический анализ