

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»
Программа повышение конкурентоспособности ННГУ им. Н.И. Лобачевского
Стратегическая инициатива 7 «Достижение лидирующих позиций в области
суперкомпьютерных технологий и высокопроизводительных вычислений»

Радиофизический факультет
Кафедра бионики и статистической радиофизики

УТВЕРЖДАЮ
Декан радиофизического факультета

_____ Матросов В.В.
« » _____ 2014 г.

Учебная программа

Дисциплины ДС.07.6 «Статистически оптимальное оценивание и управление»

по специальности 010801 «Радиофизика и электроника»

специализация «Статистическая радиофизика»

Нижегород
2014 г.

1. Область применения

Данная дисциплина относится к специальным дисциплинам, преподается в 9 семестре.

2. Цели и задачи дисциплины

Цель курса:

- ознакомление с основными методами статистически оптимального оценивания вектора состояния источника динамического сигнала на базе теории оптимальной фильтрации Калмана-Бьюси.

- знакомство с постановкой и решением задач оптимальной обработки сигналов, имеющих прикладное значение, в том числе и в области радиофизических исследований.

Изучение курса предполагает:

- усвоение элементов теории статистически оптимального оценивания вектора состояния стохастических процессов;

- получение навыков решения прикладных задач статистически оптимального оценивания случайных динамических процессов.

3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В процессе изучения курса студенты должны:

- Знать теорию оптимального оценивания вектора состояния стохастических процессов и её актуальность при решении прикладных радиофизических задач;

- Приобрести навыки формализации задачи и возможности её решения аналитическими и численными методами.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

| Виды учебной работы | Всего часов | Семестры |
|---|-------------|----------|
| Общая трудоемкость дисциплины | 60 | 9 |
| Аудиторные занятия | 36 | 36 |
| Лекции | 36 | 36 |
| Практические занятия (ПЗ) | 0 | 0 |
| Семинары (С) | 0 | 0 |
| Лабораторные работы (ЛР) | 0 | 0 |
| Другие виды аудиторных занятий | 0 | 0 |
| Самостоятельная работа | 24 | 24 |
| Курсовой проект (работа) | 0 | 0 |
| Расчетно-графическая работа | 0 | 0 |
| Реферат | 0 | 0 |
| Другие виды самостоятельной работы | 0 | 0 |
| Вид итогового контроля (зачет, экзамен) | экзамен | экзамен |

5. Содержание дисциплины

5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

| №п/п | Раздел дисциплины | Лекции | ПЗ (или С) | ЛР |
|------|--|--------|------------|----|
| 1. | Общая постановка задач статистически оптимального оценивания динамического процесса. Наблюдаемость процесса. | 6 | | |
| 2. | Статистически оптимальное оценивание марковских процессов. | 6 | | |
| 3 | Линейные модели источника сигнала и его измерения. | 6 | | |
| 4 | Статистически оптимальные линейные оценки в задаче оптимального управления. | 6 | | |
| 5. | | 4 | | |

| | | | | |
|----|---|---|--|--|
| 6. | Оценивание параметров модели динамического процесса | 4 | | |
| 7. | Оптимальная и квазиоптимальная фильтрация радиосигналов | 4 | | |

5.2. Содержание разделов дисциплины

1. Общая постановка задачи. Динамический процесс как источник информационных сообщений и объект наблюдения и управления. Близость задач оценивания и управления в условия возмущений и помех. Векторы информационного сообщения, полезного и наблюдаемого сигнала, помехи. Априорные и апостериорные сведения о наблюдаемом процессе. Решающее правило. Оптимальная оценка, ошибка фильтрации. Функции потерь. Безусловный и условный средние риски. Байесовские функции. Условное среднее как оптимальная оценка состояния объекта.

2. Оценивание марковских сигналов (общая постановка задачи). Математические модели сигналов, информационных сообщений, возмущений и помех. Уравнение ФПК для априорной плотности распределения вероятностей. Уравнение Стратоновича для апостериорной плотности распределения вероятностей. Возможности его решения. Рекуррентные высокопроизводительные алгоритмы прямого вычисления апостериорной плотности вероятности.

3. Линейное оценивание марковских сигналов.

3.1. Линейная модель гауссовских марковских сообщений. Дискретный и непрерывный виды, связь между ними. Уравнения для априорных среднего и корреляционной матрицы информационного сообщения.

3.2. Дискретный фильтр Калмана-Бьюси. Точное решение уравнения Стратоновича в задаче линейной фильтрации. Структурная схема фильтра. Уравнения для апостериорных среднего (оптимальной оценки) и корреляционной матрицы ошибки фильтрации в условиях коррелированности шумов и возмущений. Программная реализация высокопроизводительных алгоритмов фильтра Калмана-Бьюси на ЭВМ. Использование методов параллельных вычислений при реализации многомерных фильтров Калмана-Бьюси.

3.3. Непрерывный фильтр Калмана-Бьюси. Структурная схема фильтра. Уравнения для апостериорных среднего (оптимальной оценки) и корреляционной матрицы ошибки фильтрации (уравнение Риккати).

3.4. Стационарный фильтр Калмана-Бьюси. Способы решения уравнения Риккати. Реализация решения уравнения Риккати при помощи высокопроизводительных алгоритмов на ЭВМ. Исследование устойчивости фильтра.

3.5. Оценивание с предсказанием (экстраполяция) и запаздывание (интерполяция). Оптимальное сглаживание на закрепленном интервале и в закрепленной точке. Структурные схемы и уравнения высокопроизводительных алгоритмов для оценок вектора состояния и корреляционных матриц ошибок фильтрации.

4. Использование статистически оптимальных линейных оценок в задаче оптимального управления. Оптимальные квадратичные линейные регуляторы. Структурная схема. Дуальность задачи оптимальной фильтрации и управления. Уравнения для статистических моментов линейного регулятора и способы их решения на ЭВМ. Оценка устойчивости регулятора.

5. Оценивание параметров модели динамического процесса. Обратный фильтр Калмана-Бьюси. Программная реализация высокопроизводительных алгоритмов оценивания параметров многомерных моделей при помощи обратного фильтра Калмана-Бьюси. Метод наименьших квадратов. Дуальное оценивание и управление.

6. Квазиоптимальные алгоритмы нелинейной фильтрации.

6.1. Решение уравнения Стратоновича в гауссовском приближении. Уравнения для оценки и корреляционной матрицы ошибки фильтрации.

6.2. Квазиоптимальные алгоритмы нелинейной фильтрации с эмпирической корреляционной матрицей ошибки фильтрации. Обобщенный фильтр Калмана-Бьюси.

6.3. Рекуррентно-поисковые алгоритмы оценивания.

7. Примеры аналитического конструирования и численного моделирования фильтров

Калмана-Бьюси для различных радиофизических задач

7.1. Оптимальное оценивание динамического объекта, описываемого дифференциальным уравнением 1-го порядка

7.2. Оптимальное оценивание динамического объекта, описываемого дифференциальным уравнением второго порядка

7.3. Оптимальная фильтрация узкополосного радиосигнала с известными параметрами на фоне белого гауссовского шума.

6. Лабораторный практикум.

Не предусмотрен.

7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

7.1. Рекомендуемая литература.

а) основная литература:

1. Колмогоров А.Н. Интерполирование и экстраполирование стационарных последовательностей. Изв. АН СССР. Сер. Математ., 1941 №5. с. 3-14.
2. Wiener N. The extrapolation, interpolation and smoothing of stationary time series with engineering applications. N.Y.: Wiley, 1949. 162 p.
3. Калман, Бьюси Р.С. Новые результаты в линейной фильтрации и теории предсказания (пер. с англ.). Труды американского общества инженеров-механиков. Техническая механика, 1961, т. 83. Сер. Д. №1. с. 123-141.

б) дополнительная литература:

4. Медич Дж. Статистически оптимальные линейные оценки и управление. М.: Энергия. 1977, с. 440.
5. Квакернаак Х., Сиван Р. Линейные оптимальные системы управления. М.: Мир, 1977, с. 650.
6. Красовский А.А., Белоглазов И.Н., Чигин Г.П. Теория корреляционного-экстремальных навигационных систем. М.: Наука, 1979, с. 448.
7. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов. М.: Радио и связь, 1983.
8. Мальцев А.А., Силаев А.М. Оптимальное оценивание состояния динамических систем при скачкообразных и импульсных возмущениях. Учебное пособие. Горький: ГГУ, 1986.
9. Курочкин И.В., Мальцев А.А. Моделирование деятельности человек – оператора в задаче отслеживания стохастической траектории управляемым динамическим объектом. А и Т, №8 с. 126-133.
10. Курочкин И.В., Мальцев А.А. Статистическая оптимизация взаимодействия элементов эргатической системы управления на ранних стадиях ее проектирования. А и Т, №7 1994, с. 103-110.

8. Вопросы для контроля

1. Динамический процесс как источник информационных сообщений и объект наблюдения и управления.
2. Оптимальная оценка, ошибка фильтрации. Функции потерь.
3. Оценивание марковских сигналов (общая постановка задачи).
4. Уравнение Стратоновича для апостериорной плотности распределения вероятностей.
5. Линейное оценивание марковских сигналов.
6. Линейная модель гауссовских марковских сообщений.
7. Дискретный фильтр Калмана-Бьюси.
8. Точное решение уравнение Стратоновича в задаче линейной фильтрации. Структурная схема фильтра.
9. Непрерывный фильтр Калмана-Бьюси. Структурная схема фильтра.
10. Стационарный фильтр Калмана-Бьюси.
11. Структурные схемы и уравнения алгоритмов для оценок и корреляционных матриц ошибок фильтрации.
12. Оптимальные квадратичные линейные регуляторы. Структурная схема.
13. Оценивание параметров модели динамического процесса. Обратный фильтр Калмана.

14. Квазиоптимальные алгоритмы нелинейной фильтрации.
15. Решение уравнения Стратоновича в гауссовском приближении.
16. Обобщенный фильтр Калмана.
17. Рекуррентно-поисковые алгоритмы оценивания.
18. Фильтрация амплитудно и частотно-модулированных сигналов.
19. Фазовая автоподстройка частоты. Фильтрация огибающей фазы узкополосного сигнала.

9. Критерии оценок

| | |
|---------------------|---|
| Превосходно | Превосходная подготовка с очень незначительными погрешностями |
| Отлично | Подготовка, уровень которой существенно выше среднего с некоторыми ошибками |
| Очень хорошо | В целом хорошая подготовка с рядом заметных ошибок |
| Хорошо | Хорошая подготовка, но со значительными ошибками |
| Удовлетворительно | Подготовка, удовлетворяющая минимальным требованиям |
| Неудовлетворительно | Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытаний |
| Плохо | Подготовка совершенно недостаточная |

10. Примерная тематика курсовых работ и критерии их оценки

Курсовые работы не предусмотрены.

Программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом по специальности 010801 «Радиофизика и электроника».

Автор программы _____ Курочкин И.В.

Программа рассмотрена на заседании кафедры 26 мая 2014 года протокол № 21

Заведующий кафедрой _____ Мальцев А.А.

Программа одобрена методической комиссией факультета 19 июня 2014 года
протокол _____

Председатель методической комиссии _____ Мануилов В.Н.