

Учебная программа

Дисциплины «Современные методы цифрового спектрального анализа»

Авторы программы: Кривошеев В.И., Ястребов И.П.

Содержание разделов дисциплины

Первая часть

1. Спектральные представления детерминированных сигналов

Преобразование Фурье сигналов непрерывного времени. Дискретное во времени преобразование Фурье. Дискретный ряд Фурье. Дискретное преобразование Фурье сигналов конечной длительности. Соотношения связи спектральных представлений сигналов непрерывного и дискретного времен.

2. Спектральные представления случайных процессов

Спектральная плотность мощности (СПМ) стационарного случайного процесса непрерывного времени. Спектральная плотность мощности стационарного случайного процесса дискретного времени.

3. Классические методы цифрового спектрального оценивания

Коррелограммный метод оценки СПМ. Периодограммный метод оценки СПМ.

Использование окон при спектральных измерениях. Частотное разрешение и произведение “устойчивость * длительность * ширина полосы”. Примеры нахождения спектральных оценок классическими методами.

4. Параметрические модели случайных процессов

Модели авторегрессии (АР), скользящего среднего (СС) и авторегрессии-скользящего среднего (АРСС) для случайных процессов. Соотношения связей АР-, СС- и АРСС-параметров с автокорреляционной последовательностью.

Авторегрессионный процесс и свойства его СПМ.

5. Алгоритмы авторегрессионного спектрального оценивания

Спектральное оценивание по методу Юла-Уолкера. Гармонический алгоритм (Берга). Ковариационный алгоритм. Модифицированный ковариационный алгоритм. Выбор порядка моделей. Частотное разрешение и дисперсия АР- оценок СПМ. Примеры нахождения АР- оценок СПМ.

6. Спектральное оценивание на основе АРСС-моделей

Методы раздельного оценивания АР- и СС- параметров. Примеры нахождения АРСС-оценок СПМ.

7. Метод Прони

Моделирование выборочных данных суммой экспоненциальных функций. Обобщенный метод Прони. Модифицированный метод наименьших квадратов Прони. Спектральная интерпретация метода Прони. Примеры спектрального оценивания на основе моделей Прони.

Вторая часть

8. Введение в измерение спектров нестационарных сигналов

Простые и сложные сигналы. База сигнала. Обобщенная функция корреляции и Функция неопределенности Вудворда. Текущий спектр. Оконное преобразование Фурье. Спектрально-временная плотность энергии. Применение классических и параметрических алгоритмов спектрального оценивания для оценки спектров нестационарных процессов. Алгоритмы обработки последовательных данных применительно к авторегрессионному спектральному оцениванию.

9. Частотно-временные распределения

Распределение Вигнера-Вилля. Локализация энергии в плоскости частота-время. Аналогии с квантовой механикой. Класс Коэна частотно-временных распределений. Характеристическая функция. Перекрестные члены частотно-временных распределений и методы борьбы с ними. Распределение Цзуи-Уильямса. Сглаженные распределения. Линейная фильтрация во время-частотной области. Примеры применения частотно-временных распределений.

10. Wavelet-преобразование

Непрерывное и дискретное wavelet-преобразования. Базисные (материнские) функции. Частотно-временная локализация wavelet-преобразования. Способы представления результатов wavelet-преобразования. Примеры применения wavelet –преобразования.

11. Преобразование Гильберта-Хуанга

Эмпирический метод декомпозиции (EMD) сигналов. Спектральный анализ Гильберта (HAS). Примеры применения преобразования Гильберта-Хуанга.

Лабораторный практикум

1. Периодограммный и коррелограммный методы оценивания СПМ
2. Авторегрессионное спектральное оценивание

Рекомендуемая литература

Литература по первой части

а) основная:

1. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М., Мир, 1990.
2. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. М., Мир, 1978.
3. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. М., Связь, 1979.
4. Бендат Д., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных.
5. М., Мир, 1989.
6. Дженкинс Г.М., Ваттс Д.Г. Спектральный анализ и его приложения.
7. Вып. 1, 2. М., Мир, 1971, 1972.
8. Кей С.М., Марпл-мл. С.Л. Современные методы спектрального
9. анализа. Обзор. ТИИЭР, т. 69, N11, 1981.
10. Кривошеев В.И. Цифровая обработка сигналов: Учебное пособие. – Н.Новгород: Изд-во Нижегородского университета., 2006
11. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: Учебное пособие для вузов. СПб., Питер, 2002.
12. Шахтарин Б.И., Ковригин В.А. Методы спектрального оценивания случайных процессов: Учебное пособие. – М.: Гелиос АРВ, 2005.
13. Кривошеев В.И. Цифровой спектральный анализ: Периодограммный и коррелограммный методы. Методические указания к лабораторной работе. ННГУ, 2005.
14. Кривошеев В.И. Цифровой спектральный анализ: Авторегрессионное оценивание спектров. Практикум. ННГУ, 2010.
15. Кривошеев В.И. Цифровой спектральный анализ: спектральное оценивание на основе моделей авторегрессии-скользящего среднего. Методические указания к лабораторной работе. ННГУ, 1996.
16. Кривошеев В.И. Цифровой спектральный анализ: метод Прони. Методические указания к лабораторной работе. ННГУ, 1996.
17. Кривошеев В.И. Цифровой спектральный анализ: методы оценивания частоты на основе анализа собственных значений. Методические указания к лабораторной работе. ННГУ, 1999.

б) дополнительная:

1. Сверхбольшие интегральные схемы и современная обработка сигналов. Под ред. Гуна С. и др. М., 1989.
2. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. М., Мир, 1974.
3. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. М., Мир, 1982.

4. Хэррис Ф. Использование окон при гармоническом анализе методом ДПФ. ТИИЭР, т.66, N1, 1978.

Литература по второй части

а) основная:

1. Коэн Л. Время-частотные распределения. Обзор, ТИИЭР, 1989, Т.77, №10, с 72-116.
2. Ж. Макс. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. М. Мир, 1983. Том.2
3. Бабанов Ю.Н., Лебедев Ю.П., Воинов Б.С. Спектрально-временной анализ детерминированных сигналов. Учебное пособие. – Горький, ГГУ, 1980.
4. Кривошеев В. И. Лебедев Ю.П. Спектрально-временной анализ линейных систем и анализаторов спектра. – Горький, ГГУ, 1983
5. С. Малла. Вейвлеты в обработке сигналов. М.Мир. 2005
6. Н.М. Астафьева. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения. // Успехи физических наук, том 166, 1996 № 11, с. 1145.
7. И.М. Дремин, О.В. Иванов, В.А. Нечитайло. Вейвлеты и их использование. // Успехи физических наук, том 171, 2001 № 5, с. 465.
8. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. СПб.: ВУС, 1999. 204 с.
9. Новиков Л.В. Основы вейвлет-анализа сигналов. Учебное пособие. СПб.:Модус+, 1999, 152с.
10. The Hilbert-Huang transform and its applications / editors, Norden E. Huang, Samuel S.P. Shen. - World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 5 Toh Tuck Link, Singapore 596224.

б) дополнительная:

1. Харкевич А. А. "Спектры и анализ". М. Гостехиздат, 1957.
2. Варакин Л. Е. "Теория сложных сигналов". М. Советское радио, 1970.
3. Финк М. Сигналы, помехи, ошибки. М. Радио и Связь, 1984.
4. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в Matlab. М.:ДМК Пресс, 2008. 448 с.
5. Ronald L. Allen, Duncan W. Mills. Sygnal Analysis. Time, Freauency, Scale & Structures. IEEE Press, 2004, 382 с.
6. Alfred Mertins. Wavelets, Filter Banks, Time-Frequency Transforms and Applications John Wiley & Sons. 1999.
7. Boualem Boashah. Time Frequency Signal Analysis and Processing. A Comprehensive Reference. Elsevier. 2003.
8. BALAJI NAGARAJAN. TIME FREQUENCY ANALYSIS – AN APPLICATION TO FMCW RADARS. Electronics and Communication Engineering Hindustan College of Engineering, University of Madras Chennai, India – 2001.

Вопросы для контроля

1. Каковы преобразования Фурье сигналов непрерывного времени?
2. Что такое амплитудно-частотный и фазо-частотный спектры сигнала?
3. Что такое энергетический спектр сигнала?
4. Каков ряд Фурье для сигналов непрерывного времени?
5. Каковы дискретно-временные преобразования Фурье?
6. Каков ряд Фурье для периодического сигнала дискретного времени?
7. Каковы дискретные преобразования Фурье для сигналов конечной длительности?
8. Каковы соотношения связи спектральных представлений сигналов непрерывного и дискретного времен?
9. Каковы определения понятия спектральная плотность мощности (СПМ) стационарного случайного процесса непрерывного времени?
10. Напишите соотношение Винера-Хинчина
11. Как определяется спектральная плотность мощности стационарного случайного процесса дискретного времени?
12. Что такое коррелограммный метод оценки СПМ?
13. Каковы статистические характеристики коррелограммной оценки СПМ?
14. В чем сущность периодограммного метода оценки СПМ?

15. В чем сущность метода Уэлча для нахождения периодограммной оценки СПМ?
16. Каковы статистические характеристики периодограммной оценки СПМ?
17. Как и для какой цели используются оконные функции при спектральных измерениях?
18. Что такое частотное разрешение и произведение “устойчивость * длительность * ширина полосы”?
19. Как выбираются параметры алгоритмов нахождения спектральных оценок классическими методами?
20. Каковы достоинства и недостатки спектральных оценок получаемых классическими методами?
21. Опишите модели авторегрессии (АР), скользящего среднего (СС) и авторегрессии-скользящего среднего (АРСС) для случайных процессов?
22. Каковы соотношения связей АР-, СС- и АРСС-параметров с автокорреляционной последовательностью?
23. В чем достоинства авторегрессионного процесса и каковы свойства его СПМ?
24. В чем состоят преимущества нахождения оценок СПМ случайных процессов на основе их параметрических моделей?
25. Какова связь авторегрессионного спектрального оценивания и процедуры линейного предсказания случайного процесса?
26. Что такое рекурсия Левинсона?
27. Опишите алгоритм спектрального оценивания по методу Юла-Уолкера.
28. Опишите гармонический алгоритм (Берга) оценивания СПМ.
29. Опишите ковариационный алгоритм оценивания СПМ.
30. Опишите модифицированный ковариационный алгоритм оценивания СПМ.
31. Как выбирается порядок моделей при нахождении оценок СПМ?
32. Каковы частотное разрешение и дисперсия АР- оценок СПМ?
33. Каковы достоинства и недостатки АР-оценок СПМ?
34. Опишите методы раздельного оценивания АР- и СС- параметров АРСС- модели.
35. Каковы достоинства и недостатки АРСС-оценок СПМ?
36. Опишите процедуру моделирования выборочных данных суммой экспоненциальных функций.
37. В чем сущность обобщенного метода Прони?
38. Что такое модифицированный метод наименьших квадратов Прони?
39. Какова спектральная интерпретация метода Прони?
40. Каковы достоинства и недостатки оценок СПМ по методу Прони?
41. Чем отличаются простые сигналы от сложных?
42. Что такое база сигнала?
43. Что называют временем корреляции?
44. Что такое текущий, скользящий и мгновенный спектры?
45. Как связаны обобщенная корреляционная функция и функция неопределенности Вудворда?
46. Напишите преобразование Вигнера-Вилля
47. Какого предельного разрешения на плоскости время-частота можно достичь при использовании преобразования Вигнера-Вилля?
48. На какие величины из области время-частотного анализа можно переносить принцип неопределенности энергия – время из квантовой механики, а на какие нет?
49. В чем преимущества преобразования Вигнера-Вилля?
50. Какие основные недостатки преобразования Вигнера-Вилля?
51. Какими способами можно подавить перекрестные члены в распределении Вигнера-Вилля?
52. Какие время-частотные распределения вам известны?
53. Напишите соотношение для wavelet-преобразования.
54. Что такое базисная функция wavelet-преобразования?
55. Какими свойствами должна обладать базисная функция?
56. Какие базисные wavelet функций вам известны?
57. Можно ли отнести преобразование Габора к wavelet-преобразованиям?
58. В особенность частотно-временного разрешения для wavelet-преобразования?
59. Какие особенности позволяет обнаружить wavelet-преобразование?

60. Что такое преобразование Гильберта-Хуанга?
61. Объясните принцип эмпирического метода декомпозиции
62. Что называют Гильбертовым спектральным анализом?
63. В чем достоинства преобразования Гильберта-Хуанга?