

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ И МЕТОДОВ ИХ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В MATLAB

к.т.н., проф. Солонина А. И., асс. Клионский Д. М.

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ)

Тенденции в направлениях Инфокоммуникационные технологии и системы связи (210700) и Радиотехника (210400) связаны с повсеместным распространением методов цифровой обработки сигналов (ЦОС).

В базовую часть нового учебного плана бакалавров включена обязательная дисциплина «Цифровая обработка сигналов», в которой изучаются основы теории и технологии компьютерного моделирования ЦОС.

На кафедре ЦОС Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича разработано и принято к опубликованию новое учебное пособие, предназначенное для изучения базовой теории ЦОС на основе компьютерного моделирования и одновременно средств компьютерного моделирования. В разработке учебного пособия принимали участие преподаватели кафедры ЦОС СПбГУТ, участвующие в проведении учебного процесса по дисциплине «Цифровая обработка сигналов».

Учебное пособие предназначено, главным образом, для студентов (бакалавров и магистров), изучающих теорию ЦОС, и преподавателей. Пособие также может быть использовано аспирантами и техническими специалистами, занимающимися теоретическими и прикладными вопросами ЦОС.

В настоящее время к общепризнанным мировым универсальным стандартам в области компьютерных технологий относится система (программная среда) MATLAB, на которую ориентировано моделирование базовых методов и алгоритмов ЦОС при изучении дисциплины «Цифровая обработка сигналов».

Учебное пособие содержит две части:

I. Основы моделирования в MATLAB [2,3], включая:

1. Знакомство с MATLAB. Основные объекты языка MATLAB.
2. Матричная обработка данных.
3. Типы массивов.
4. Средства построения графиков.
5. Режим программирования: script-файлы и function-файлы.
6. Режим программирования: организация разветвлений и циклов.

II. Моделирование ЦОС в MATLAB, включая:

1. Дискретные сигналы [1-4].
2. Линейные дискретные системы [2-4].
3. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) [1-4], часть первая.
4. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ), часть вторая.
5. Синтез КИХ-фильтров методом окон [2-4,6].
6. Синтез КИХ-фильтров методом наилучшей равномерной (чебышевской) аппроксимации [2-4,6].
7. Синтез БИХ-фильтров методом билинейного Z-преобразования [2-4,6].
8. Синтез цифровых фильтров в GUI FDATool и FilterBuilder [2-4].
9. Цифровые фильтры с фиксированной точкой [2-4,6].
10. Спектральный анализ: непараметрические методы [1-2,6].
11. Спектральный анализ: параметрические методы [2,3,6].
12. Спектральный анализ средствами GUI SPTool [3].
13. Многокроскоростные системы ЦОС [2-4].
14. Моделирование полифазных структур многокроскоростных систем средствами GUI FDATool и FilterBuilder.
15. Адаптивные фильтры [2-5,7].

Первая часть учебного пособия включена в помощь начинающим и содержит краткую справку по соответствующему разделу и задание на лабораторную работу для освоения навыков работы в MATLAB.

Вторая часть учебного пособия предназначена для изучения ЦОС на основе компьютерного моделирования в MATLAB. Структурно все главы второй части организованы в виде лабораторных работ и включают в себя разделы:

- цель работы и теоретическую справку по изучаемой теме ЦОС;
- исходные данные, пункты задания, типовой script-файл (или описание GUI) для их выполнения и вопросы по результатам исследования;
- пункты для самостоятельного исследования на основе создаваемой пользователем внешней функции (function-файла);
- контрольные вопросы по изучаемой теме ЦОС.

К учебному пособию будет прилагаться CD-диск с созданными script- и function-файлами всех работ, необходимыми таблицами исходных данных и результатов. Лабораторные работы выполняются на основе созданного script-файла (прилагаемого на CD-диске).

В качестве примеров рассматривается выполнение лабораторных работ по моделированию дискретных сигналов и адаптивной фильтрации дискретных сигналов. Данные работы являются, соответственно, первой и заключительной во второй части учебного пособия. Успешное выполнение первой работы необходимо для освоения материала, содержащегося в остальных главах второй части учебного пособия. Заключительная работа завершает весь цикл и носит отчасти прикладной характер в силу широкого использования на практике представленных в ней методов и алгоритмов адаптивной фильтрации.

В лабораторной работе, посвященной моделированию дискретных сигналов, теоретическая справка включает в себя: описание дискретных и цифровых сигналов; детерминированных дискретных сигналов и их основных характеристик; случайных дискретных сигналов, стационарных в широком и узком смысле и эргодических, и их статистических характеристик (математическое ожидание, дисперсия, автокорреляционная и автоковариационная функция). Приводятся функции MATLAB для вычисления характеристик детерминированных дискретных сигналов и статистических характеристик случайных последовательностей.

Далее приводятся результаты выполнения следующих основных пунктов работы по моделированию дискретных сигналов в MATLAB:

1. Моделирование цифрового единичного импульса.
2. Моделирование цифрового единичного скачка.
3. Моделирование дискретной экспоненты.
4. Моделирование дискретного комплексного гармонического сигнала.
5. Моделирование задержанных типовых последовательностей ЦОС из пп. 1-3.
6. Моделирование дискретного прямоугольного импульса на основе типовых последовательностей ЦОС.
7. Моделирование дискретного треугольного импульса на основе прямоугольного импульса, сформированного в п.6.
8. Вычисление линейной комбинации дискретных гармонических сигналов.
9. Моделирование дискретного гармонического сигнала с экспоненциальной огибающей.
10. Моделирование периодической последовательности дискретных прямоугольных импульсов.
11. Моделирование равномерного белого шума.
12. Моделирование нормального белого шума.
13. Вычисление (моделирование) аддитивной смеси дискретного гармонического сигнала с нормальным белым шумом.
14. Вычисление АКФ последовательности в виде аддитивной смеси дискретного гармонического сигнала с нормальным белым шумом.
15. Моделирование нормального белого шума с заданными математическим ожиданием и дисперсией с построением гистограмм.

В лабораторной работе, посвященной знакомству с адаптивными фильтрами, теоретическая справка включает в себя: определение и описание адаптивного фильтра (АФ) на основе КИХ-фильтра; описание фильтра Винера и области его применения; алгоритмов LMS, NLMS и RLS; моделирование на основе АФ алгоритмов оценки импульсной характеристики неизвестной системы; очистки сигнала от шума; выравнивания частотной характеристики неизвестной системы; оценки параметров линейного предсказания сигнала. Приводятся средства MATLAB для описания АФ с алгоритмами LMS, NLMS и RLS, вычисление выходного сигнала и сигнала ошибки, определения параметров АФ.

Далее приводятся результаты выполнения следующих основных пунктов работы по адаптивной фильтрации сигналов в MATLAB:

1. Моделирование нормального белого шума (для дальнейшего использования при моделировании алгоритмов адаптивной фильтрации).
2. Моделирование структуры АФ с алгоритмом LMS.
3. Моделирование структуры АФ с алгоритмом NLMS.

4. Моделирование структуры АФ с алгоритмом RLS.
5. Оценка импульсной характеристики неизвестной ЛДС.
6. Очистка сигнала от шума.
7. Выравнивание частотной характеристики неизвестной ЛДС.
8. Вычисление оценок параметров АР-модели и оценок параметров линейного предсказания.

В самостоятельном задании предлагается на основе имеющихся script-файлов создать собственные function-файлы для решения задач в рамках тем, рассматриваемых в лабораторных работах, с другими исходными данными для освоения программных средств MATLAB. Отчет составляется в редакторе Word и содержит результаты выполнения каждого пункта задания, включая копируемые из окна **Command Window** результаты вычислений, созданные графики и ответы на поставленные вопросы. Защита лабораторной работы заключается в ответах на вопросы по представленному отчету.

Литература

1. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. — М.: Техносфера, 2006.
2. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов, 3-е изд. — СПб.: БХВ-Петербург, 2010.
3. Солонина А. И., С. М. Арбузов. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в MATLAB. — СПб.: БХВ-Петербург, 2008.
4. Солонина А. И., Улахович Д. А., Арбузов С. М., Соловьева Е. Б. Основы цифровой обработки сигналов. 2-е изд. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
5. Уидроу В., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов. — М.: Радио и связь, 1989.
6. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. — М.—СПб.—Киев: Вильямс, 2004.
7. Адаптивные фильтры / Под ред. К. Ф. Коуэна и П. М. Гранта. — М.: Мир, 1988.