

О. Б. Попов

Компьютерный практикум по цифровой обработке аудиосигналов

Рекомендовано УМО по образованию в области телекоммуникаций
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению подготовки
дипломированных специалистов
210400 – «Телекоммуникации»

Москва
Горячая линия - Телеком
2010

УДК 681.84
ББК 32.884.1
П58

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор Ю. А. Ковалгин;
доктор техн. наук, профессор А. А. Волков

Попов О. Б.

П58 Компьютерный практикум по цифровой обработке аудиосигналов. Учебное пособие для вузов. — М.: Горячая линия — Телеком, 2010. — 176 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0131-5.

Цифровая обработка «сопровождает» звуковой вещательный сигнал (ЗВС) от пульта звукорежиссера до абонентского приемника — и при аналоговой и при цифровой передаче. Цель обработки заключается в согласовании свойств сигнала как с возможностями канала передачи, так и с особенностями слухового восприятия. В учебном пособии приведены примеры практических работ по обработке и анализу свойств аудиосигналов в трактах канала звукового вещания. В ходе выполнения работ анализируются основные характеристики сигналов и каналов звукового вещания. Изучаются результаты использования базовых математических процедур при цифровой обработке ЗВС. Моделируются способы представления и основные алгоритмы обработки сигнала в канале звукового вещания, включая анализ искажений сигнала на всех этапах его передачи — при первичном цифровом преобразовании и компактном представлении, в процессе автоматического регулирования уровня и аудиопроцессорной обработки. Практические работы выполнены на базе программного звукового редактора COOL-2000, математических пакетов Mathcad и Matlab, но при их выполнении могут быть использованы и другие программы.

Для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов 210400 — «Телекоммуникации», может быть полезна специалистам эксплуатационных служб радиосвязи, радиовещания и телевидения.

ББК 32.884.1

Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU

Учебное издание

Попов Олег Борисович

**Компьютерный практикум
по цифровой обработке аудиосигналов**

Учебное пособие

Редактирование и верстка Ю. Н. Чернышова

Корректор С. П. Сергеева

Обложка художника В. Г. Ситникова

Подписано в печать 27.12.09. Формат 60×90/16. Уч. изд. л. 11. Изд. № 9131. Тираж 500 экз.

ISBN 978-5-9912-0131-5

© О. Б. Попов, 2010

© Оформление издательства
«Горячая линия—Телеком», 2010

Введение

Звук, звуковые сигналы, возможность слухового восприятия — неотъемлемые составляющие полноценной жизни человека, среды его обитания.

Звуковое и радиовещание стали неотъемлемой частью жизни общества, важным средством политического, эстетического и нравственного воздействия на население. Радиовещание по-прежнему, несмотря на популярность телевидения, остается основным источником информации для миллионов людей. Одним из главных преимуществ радиовещания как средства доставки информации является оперативность, недостижимая пока телевидению.

В стране сосуществуют общероссийское, региональное и местное вещание с государственными, муниципальными и частными формами собственности. Становление полноценных вещательных компаний, создающих или ретранслирующих программы и распространяющих их при помощи собственных радиовещательных передатчиков, идет крайне медленно. Тем не менее радиовещание в России по-прежнему популярно и его регулярно слушает более 80 % населения нашей страны (рис. 1).

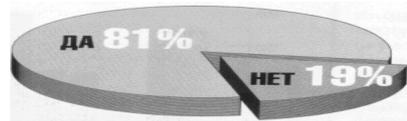


Рис. 1. «Слушаете ли вы радио?» Данные опроса 1500 респондентов из 65 городов России, проведенного в марте 1999 г.

Компьютерная цифровая обработка звуковых вещательных сигналов (ЗВС) — не самоцель, а средство оптимизации передачи таких сигналов по каналам и трактам. Цифровая передача ЗВС получила очень широкое распространение. Основная причина использования именно цифровых методов обработки заключается в возможности реализовать достаточно сложные алгоритмы обработки, причем часто в виде одной микросхемы. Не менее важной причиной применения цифровых систем, в частности, в подвижной связи является также возможность обеспечения скрытности передачи.

Вопросы, связанные с обработкой сигналов в каналах звукового вещания (КЗВ), рассмотрены в [1–9]. В настоящем пособии акцентируется внимание на специфических вопросах, связанных с углубленным изучением первичного цифрового преобразования и компактного представления ЗВС, автоматического регулирования уровня таких сигналов в канале звукового вещания и их аудиопроцессорной обра-

ботки в трактах вторичного распределения с анализом искажений сигнала на всех этапах его передачи по многозвенным (составным) КЗВ.

Практикум по цифровой обработке аудиосигналов построен с использованием редактора звуковых файлов Cool Edit и математических пакетов Mathcad и Matlab. Предусмотрено освоение работы с редактором непосредственно в ходе выполнения заданий, поэтому в каждом из них подробно описана последовательность действий и приведены иллюстрации соответствующих интерфейсов.

Серия аудиоредакторов Cool Edit создана Дэвидом Джонсом. Редактор является свободно распространяемым (ShareWare), его всегда можно найти в Интернете на сайте www.syntrillium.com.

Редакторы из серии Cool Edit работают под управлением Windows ME, NT, XP и Vista с любым типом звуковых карт (хоть с восьмибитными), при этом расширяя свои возможности в зависимости от класса качества звуковой карты.

В 2003 году продукт Cool Edit Pro был продан корпорации Adobe (www.adobe.com), после чего получил новое название Adobe Audition.

Работа с редактором подробно описана в книгах Романа и Юрия Петелиных [10–12] (<http://www.petelin.ru>). Редактор рассчитан на неискушенного пользователя, не вызывает трудностей при освоении и во многом напоминает текстовый редактор Word.

В верхней части главного окна программы расположена панель инструментов, внешний вид и состав которой можно формировать по своему усмотрению. В правой нижней части окна расположены кнопки, похожие на кнопки управления магнитофоном. С их помощью осуществляется управление отображением, записью и воспроизведением сэмплов. Предполагается, что в ходе выполнения практикума учащиеся будут, в основном, использовать заранее подготовленные записи радиовещательных программ или музыкальные диски. Это обеспечивает возможность работы с высококачественными звуковыми сигналами.

Редактор обеспечивает возможность выполнения практически всех видов преобразования и компактного представления звукового сигнала, которые используются в трактах канала звукового вещания: студийная обработка, которая используется в тракте формирования программ, согласование параметров сигнала с возможностями тракта первичного и вторичного распределения программ, системы регулирования уровня, шумопонижения, компактного представления, частотной обработки.

Достоинством редактора является возможность анализа статистических и частотных свойств сигнала, анализ мгновенных и усредненных спектров, построение гистограмм вероятности появления сигнала с заданными амплитудными значениями.

Возможности редактора не ограничиваются только процессами обработки звукового сигнала. С его помощью можно изучать процессы амплитудной модуляции радиосигнала, формирования сигнала одной боковой полосы частот, фазовой манипуляции, формирования цифровых последовательностей. Поэтому освоение аудиоредактора полезно и при изучении других дисциплин университетского курса.

Программа *Cool Edit* предназначена для работы с оцифрованным звуком, т.е. аналоговые звуковые волны должны быть предварительно преобразованы (*сэмплированы*) в последовательность двоичных цифровых отсчетов. Такое преобразование осуществляется в аналого-цифровом преобразователе (АЦП). В результате работы АЦП получается цифровой образ звука, то, что в английском языке именуется *Waveform*. Волновые формы хранятся на жестком диске в файлах различных форматов. Чаще всего, это файлы с расширением *wav*. Таким образом, *wav*-файлы служат стандартными элементарными блоками, кирпичиками при синтезе в *Cool Edit* аудиокomпозиции (например, песни).

В принципе, существует два метода редактирования звуковых данных: разрушающий и неразрушающий. При разрушающем методе преобразования (вырезка, вставка, обработка эффектом и т.д.) применяются непосредственно к исходному *wav*-файлу так, что изменяются сами первоначальные звуковые данные, в то время как неразрушающее редактирование подразумевает, что файл на диске фактически не изменяется. Вместо этого каждая операция редактирования сохраняется как команда, которую нужно выполнить при воспроизведении волновой формы. Например, при разрушающем редактировании изменение громкости звука фактически изменило бы амплитуду волновой формы. А при неразрушающем редактировании изменение громкости будет вызвано выполнением последовательности команд, которые, по существу, являются инструкциями программе о том, как перестраивать коэффициент передачи усилителя звуковой карты.

В *Cool Edit* используются и разрушающие, и неразрушающие методы редактирования. Однако даже разрушающее редактирование не будет применено непосредственно к исходной волновой форме до тех пор, пока вы не сохранили файл. Здесь реализован метод, который можно назвать отсроченным разрушающим редактированием. Когда вы в *Cool Edit* открываете *wav*-файл, программа помещает копию файла во временный каталог и использует эту копию для редактирования. Исходный файл остается неизменным до тех, пока вы не сохраните изменения на диске (например, выбирая из меню *File* команду *Save...*). И только когда вы сохраняете внесенные изменения, *Cool Edit* записывает поверх исходного файла файл с теми изменениями, которые вы сделали в файле-копии.

Оглавление

Список сокращений	3
Введение	5
Глава 1. Исследование распознаваемости, разборчивости и качества аудиосигналов	10
Глава 2. Спектральный анализ аудиосигналов и искажения, обусловленные неверной интерпретацией его результатов	20
Глава 3. Анализ искажений при цифровом представлении аудиосигналов	29
Глава 4. Исследование искажений при компактном представлении аудиосигналов	49
Глава 5. Изменение частоты дискретизации в системах передачи	61
Глава 6. Анализ результатов работы авторегуляторов уровня и систем шумоподавления	80
Глава 7. Анализ изменений сигнала при аудиопроецессорной обработке	104
Глава 8. Моделирование тракта цифрового радиовещания	113
Глава 9. Моделирование тракта магнитной записи	132
Глава 10. Исследование характерных искажений звукового сигнала в каналах передачи	144
Приложения	157
Литература	161