Федосов В. П., Нестеренко А. К.

Цифровая обработка сигналов в LabVIEW

Под редакцией Федосова В. П.

Москва, 2007

УДК 681.3.06(075.8)
ББК 32.973.26-108.2***
Б 28***

Рецензенты:

кафедра «Радиоэлектронные системы» Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса, г. Шахты Ростовской области, заведующий кафедрой, канд. техн. наук, профессор **Марчук В. И.**;

доктор техн. наук, профессор кафедры радиофизики Волгоградского государственного университета **Захарченко В. Д.**

Федосов В. П., Нестеренко А. К.
Цифровая обработка сигналов в LabVIEW: учеб. пособие / под ред. В. П. Федосова. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 456 с.

ISBN 5-94074-342-0

Учебное пособие содержит материалы для освоения программно-аппаратных средств National Instruments по спектральному анализу, применению окон сглаживания, узлов цифровых систем связи, синтезу и анализу цифровых фильтров, программированию и тестированию сигнальных процессоров, программированию ПЛИС, виброакустическому анализу, проектированию цифровых фильтров, сопряжению LabVIEW с другими программными средствами для цифровой обработки сигналов. Пособие предназначено для студентов, магистрантов, аспирантов и специалистов, изучивших начальный курс LabVIEW.

УДК 681.3.06(075.8)
ББК 32.973.26-108.2*

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 5-94074-342-0

© Федосов В. П., Нестеренко А. К., 2007
© Оформление, ДМК Пресс, 2007

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 16

▼ 1

Введение в цифровую обработку сигнала и анализ в LabVIEW 18

▼ 2

Цифровая связь и LabVIEW 27
2.1. Обычный цифровой приемник 30
2.2. Приемник подвыборки 31
Резюме 36

▼ 3

Получение сигнала в LabVIEW 38
3.1. Сигнал в обычном цифровом приемнике 38
3.2. Сигнал в цифровом приемнике с прореживанием выборки 43
3.2.1. Выбор частоты дискретизации 45
3.2.2. ОСШ при прореживании выборки 46
3.2.3. Прореживание выборки и спектральное размещение сигнала 53
3.3. Другие методы дискретизации 54
3.3.1. Цифровой осциллограф 55
3.3.2. Анализатор спектра радиосигнала 55
3.3.3. Карта дискретизации аналогового сигнала 56
3.3.4. Звуковая карта 56
Резюме 57

▼ 4

Цифровая фильтрация(Digital Filtering) 60
4.1. Введение в фильтрацию 60
4.2. Преимущества цифровой фильтрации по сравнению с аналоговой фильтрацией 60

4.3. Классификация цифровых фильтров 61
4.3.1. Импульсная характеристика (Impulse Response) 61
4.3.2. Классификация фильтров по импульсной характеристике 62
4.3.3. Коэффициенты фильтра 63
4.3.4. Характеристики идеальных фильтров 63
4.3.5. Практические (неидеальные) фильтры 65
4.3.6. Полоса перехода 65
4.4. Пульсации АЧХ в полосе пропускания и в полосе ослабления 65
4.5. Частота дискретизации 67
4.6. КИХ-фильтры 67
4.6.1. Отводы (Taps) 68
4.6.2. Проектирование КИХ-фильтров 68
4.6.3. Проектирование КИХ-фильтров с помощью окон (Windowing) 72
4.6.4. Проектирование оптимальных КИХ-фильтров на основе использования алгоритма Parks-McClellan 73
4.6.5. Проектирование Equiripple КИХ-фильтров на основе использования алгоритма Parks-McClellan 73
4.6.6. Проектирование узкополосных КИХ-фильтров 74
4.6.7. Проектирование широкополосных КИХ-фильтров 76
4.7. БИХ(IIR)-фильтры 77
4.7.1. Каскадная форма БИХ-фильтрации 78
4.7.2. Фильтрация второго порядка 79
4.7.3. Фильтрация четвертого порядка 80
4.7.5. Типы БИХ-фильтров 81
4.7.6. Минимизация пиковой ошибки 81
4.7.7. Фильтры Баттерворта (Butterworth) 81
4.7.8. Фильтры Чебышева 82
4.7.9. Фильтры Чебышева II 82
4.7.10. Эллиптические фильтры 84
4.7.11. Фильтры Бесселя 85
4.7.12. Проектирование БИХ-фильтров 85
4.7.13. Характеристики БИХ-фильтра в LabVIEW 87
4.7.14. Переходный отклик 88
4.8. Сравнение КИХ- и БИХ-фильтров 88
4.9. Нелинейные фильтры 89
4.10. Выбор проекта цифрового фильтра 91

▼ 5

Спектральный анализ 93
5.1. Различия между частотной областью и временной областью 93
5.2. Отношения Парсеваля 95

5.3. Преобразование Фурье 95
5.4. Дискретное преобразование Фурье 97
5.4.1. Отношения между выборками из N отсчетов в области частот и в области времени 97
5.4.2. Пример ДПФ 98
5.4.3. Информация об амплитуде и фазе 100
5.4.4. Частотный интервал между выборками ДПФ 101
5.5. Основные принципы БПФ 103
5.5.1. Вычисление частотных составляющих 104
5.5.2. Быстродействие БПФ 104
5.5.3. Дополнение нулями 105
5.5.4. Виртуальный прибор БПФ (VI FFT) 106
5.5.5. Отображение частотной информации после преобразования 106
5.5.6. Двухстороннее БПФ, центрированное относительно постоянной составляющей 108
5.5.7. Математическое представление двустороннего БПФ, центрированного относительно постоянной составляющей 108
5.5.8. Создание двустороннего БПФ с постоянной составляющей в центре 109
5.6. Спектр мощности 111
5.6.1. Преобразование двустороннего спектра мощности в односторонний спектр мощности 112
5.6.2. Потеря фазовой информации 113
5.6.3. Вычисления на основе спектра 114
5.6.4. Оценка мощности и частоты 114
5.6.5. Вычисление шумового уровня и спектральная плотность мощности 115
5.6.6. Вычисление амплитудных и фазовых спектров 116
5.6.7. Вычисление амплитуды в вольтах среднеквадратических значений (Brms) и начальной фазы в градусах 118
5.6.8. Частотная характеристика 118
5.7. Перекрестный (взаимный) спектр мощности (Cross Power Spectrum) 119
5.7.1. Частотная характеристика и анализ четырехполюсников 120
5.7.2. Частотная характеристика 120
5.7.3. Импульсная характеристика 121
5.8. Функция когерентности 121
5.9. Работа с окнами 122
5.10. Усреднение для улучшения измерений 123
5.10.1. Среднеквадратическое усреднение (RMS Averaging) 123
5.10.2. Векторное усреднение (Vector Averaging) 124
5.10.3. Пиковое усреднение (Peak Hold) 124

5.11. Взвешивание (Weighting) 124
5.12. Обнаружение эхосигнала (Echo Detection) 125

▼6

Примеры спектрального анализа в LabVIEW 128
6.1. Преобразования низкого уровня в области частоты 128
6.1.1. Простое БПФ 130
6.1.2. Улучшенное БПФ 132
6.2. Анализ результатов ДПФ 135
6.2.1. Спектральная утечка 135
6.2.2. Дискретизация формы окна 135
6.3. Спектральные преобразования высокого уровня 140
6.4. Добавление обычных кодов C к LabVIEW 143
6.5. Инструменты (Toolset) для спектральных измерений 147
Резюме 148

▼7

Окна сглаживания (Smoothing windows) 149
7.1. Растекание спектра 149
7.1.1. Дискретизация целого числа периодов 151
7.1.2. Дискретизация с нецелым числом периодов 152
7.2. Сигналы с окнами 154
7.3. Характеристики сигналов с различными окнами сглаживания 158
7.3.1. Основной лепесток спектра окна сглаживания 159
7.3.2. Боковые лепестки спектра окна сглаживания 160
7.4. Прямоугольное окно (None) 161
7.5. Окно Хэннинга (Hanning) 161
7.6. Окно Хемминга (Hamming) 162
7.7. Окно Кайзера – Бесселя (Kaiser – Bessel) 163
7.8. Треугольное окно (Triangle) 164
7.9. Окно с плоской вершиной (Flat Top) 164
7.10. Экспоненциальное (Exponential) окно 165
7.11. Окно для спектрального анализа против окна для проектирования коэффициентов фильтра 166
7.11.1. Спектральный анализ 166
7.11.2. Окна для проектирования коэффициентов КИХ-фильтра 167
7.12. Выбор правильного окна сглаживания 168
7.13. Масштабирование окон сглаживания 169

▼ 8

Многоскоростная обработка сигналов в LabVIEW 171
8.1. Повышение частоты дискретизации 171
8.2. Уменьшение частоты дискретизации 173
8.3. Фильтры передискретизации 175
8.3.1. Фильтры полуполосы 177
8.3.2. Полифазные фильтры 179
Резюме 181

▼ 9

Генерация сигналов в LabVIEW 183
9.1. Основные функции 183
9.2. Синусоиды 185
9.2.1. Комплексный преобразователь 185
9.2.2. Функция sinc(x) 186
9.2.3. Линейно-частотно-модулированная (ЛЧМ) последовательность 188
9.3. Генерация моделей канала связи 190
9.3.1. Распределение Рэлея 190
9.3.2. Белый гауссовский шум 191
9.4. Формирование символов 193
Резюме 195

▼ 10

Сборка узлов системы связи 197
10.1. Модулятор 198
10.2. Демодулятор 200
10.3. Искажения в канале 204
10.4. Обнаружение и восстановление сигнала 210
10.4.1. Обнаружение и согласованная фильтрация 210
10.4.2. Пороговые решения 213
10.5. Синхронизация 213
10.5.1. Синхронизация по времени 213
10.5.2. Синхронизация по частоте 215
10.6. Модуляция в NI Toolset 216
Резюме 218

▼ 11

Оптимизация обработки сигналов в LabVIEW 219

11.1. Общие руководящие принципы кодирования в LabVIEW 219
11.2. Подсказки в обработке сигналов 221
11.2.1. Линейная свертка на основе БПФ 221
11.2.2. Реальное БПФ 222
11.3. Дальнейшие применения цифровой обработки сигналов в LabVIEW 224
11.3.1. Корни дифференциального уравнения 226
11.3.2. Линейный прогнозирующий шифровальщик речи 226
Резюме 230

▼ 12

Сопряжение LabVIEW с другими программными продуктами для обработки цифровых сигналов. Пакет LabVIEW Simulation Interface Toolkit 231
12.1. Тестирование моделей с использованием интерфейса LabVIEW 232
12.2. Дополнительные возможности по тестированию моделей 232
12.3. Импортирование моделей из Simulink в LabVIEW 235
12.4. Перенос модели в систему реального времени 235

▼ 13

Тестирование и программирование цифровых сигнальных процессоров (DSP) в LabVIEW 237
13.1. Пакет LabVIEW DSP Test Toolkit 237
13.1.1. Функции автоматизации CCS 237
13.1.2. Обмен данными с кодом DSP 238
13.1.3. Функции углубленного тестирования сигнальных процессоров (DSP Test Advanced VIs) 238
13.2. Пакет LabVIEW DSP Module 239
13.2.1. Поддерживаемые аппаратные средства 239
13.2.2. Области применения 240

▼ 14

Виброакустический анализ в LabVIEW 243
14.1. Функциональные возможности Sound and Vibration Toolkit 243
14.2. Поддерживаемые аппаратные средства 246
14.3. Перечень и описание виртуальных приборов и функций, входящих в пакет 246

14.3.1. Масштабирование ... 246
14.3.2. Калибровка ... 246
14.3.3. Тестирование (измерение) уровней сигналов ... 247
14.3.4. Взвешивание ... 248
14.3.5. Интегрирование ... 248
14.3.6. Генерация ... 249
14.3.7. Уровень вибрации ... 250
14.3.8. Уровень звука ... 250
14.3.9. Октавный анализ ... 250
14.3.10. Частотный анализ ... 251
14.3.11. Анализ переходных процессов ... 251
14.3.12. Каскадный график ... 251
14.3.13. Гармонический анализ ... 251
14.3.14. Анализ искажений ... 251
14.3.15. Чистый тон ... 253

▼ 15

Программирование ПЛИС (FPGA) в LabVIEW ... 254
15.1. Реконфигурируемые устройства ввода/вывода (RIO) ... 255
15.2. Создание проектов ... 256
15.3. Последовательность программирования ПЛИС ... 258
Резюме ... 260

▼ 16

Инструментарий проектирования цифровых фильтров в LabVIEW ... 261
16.1. Введение в инструментарий проектирования цифровых фильтров в LabVIEW ... 261
16.1.1. Краткий обзор процесса проектирования цифрового фильтра ... 261
16.1.2. Краткий обзор инструментария LabVIEW для проектирования цифрового фильтра ... 262
16.1.3. Обобщенный метод Ремеза и перечень p-x норм синтеза алгоритмов ... 262
16.1.4. Большой выбор структур фильтра ... 263
16.1.5. Специальное проектирование цифрового фильтра ... 263
16.1.6. Проектирование фильтра с фиксированной запятой ... 263
16.1.7. Создание кода для ПЛИС (FPGA) и цифровых сигнальных процессоров (DSP) ... 264
16.1.8. Проектирование многоскоростных цифровых фильтров ... 264

16.1.9. Всесторонние инструментальные средства анализа 264
16.1.10. Заметки к пользовательской расширенной библиотеке анализа в LabVIEW (Current LabVIEW Advanced Analysis Library Users) 264
16.2. Основы проектирования цифровых фильтров 265
16.2.1. Применение цифровых фильтров 265
16.2.2. Терминология цифрового фильтра 266
16.2.3. Свойства фильтра 266
16.2.4. КИХ- и БИХ-фильтры 267
16.2.5. Математические определения 267
16.2.6. Различие КИХ- и БИХ-фильтров 268
16.2.7. Свойства КИХ- и БИХ-фильтров. Технические требования для цифровых фильтров 269
16.2.8. Тип фильтра 269
16.2.9. Частота дискретизации 269
16.2.10. Технические требования к фильтру 269
16.2.11. Методы проектирования 270
16.2.12. Анализ цифрового фильтра 272
16.2.13. Полюса и нули 273
16.2.14. Поле нулей и полюсов 273
Резюме 274
16.3. Основы проектирования фильтра с плавающей запятой 275
16.3.1. Типичный процесс проектирования цифрового фильтра с плавающей запятой 275
16.3.2. Проектирование фильтров с плавающей запятой 276
16.3.3. Ввод технических характеристик фильтра 276
16.3.4. Ввод технических характеристик фильтра в цифровом управлении, основанном на текстовом интерфейсе 276
16.3.5. Ввод технических характеристик фильтра в графическом интерфейсе 278
16.3.6. Выбор метода проектирования 278
16.3.7. Анализ проекта фильтра 280
16.3.8. Частотная характеристика 280
16.3.9. Поле нулей и полюсов 280
16.3.10. Определение порядка фильтра 280
16.3.11. Пример. Проектирование ФНЧ цифрового фильтра согласно параметрам 281
16.3.12. Пример. Фильтрация 282
Резюме 282
16.4. Основы проектирования фильтра с фиксированной запятой 284