

ТОРГАЕВ С.Н.^{1,2,3}, ЕВТУШЕНКО Г.С.², ОГОРОДНИКОВ Д.Н.², КИСЕЛЕВА В.А.²

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Аннотация

В работе описывается программно-аппаратный комплекс для цифровой обработки сигналов. Предлагаемая система позволяет передавать в микроконтроллер параметры необходимых цифровых фильтров с целью автоматической перестройки. Комплекс может быть использован для анализа и повышения качества компонентов телекоммуникационных систем, в том числе, с целью совершенствования качества связи.

Ключевые слова

Цифровой фильтр, цифровая обработка сигналов, частота дискретизации, медицинские сигналы, помеха.

Введение

Цифровая обработка сигналов является неотъемлемой частью ключевых отраслей науки и техники. Такими отраслями являются телекоммуникация, цифровое телевидение, цифровая звукозапись, биомедицинские технологии и т.д. На сегодняшний день системы цифровой обработки сигналов являются основным ядром большого количества новейших разработок, таких как цифровая мобильная связь, цифровые видеокамеры, а также практически всех современных медицинских диагностических приборов [1]. Также цифровая обработка сигналов необходима для повышения качества работы различных компонентов телекоммуникационных систем. В связи с этим от инженеров-электронщиков, программистов и т.д. требуются знание принципов работы и умение построения систем цифровой обработки аналоговых сигналов.

Одним из основных компонентов систем цифровой обработки сигналов является блок цифровой фильтрации. На данный момент существуют специализированные программы по расчету и модельной реализации цифровых фильтров, например пакет прикладных программ Matlab. Посредством языка высокого уровня Matlab возможно осуществлять сложную цифровую обработку сигналов и выводить результат на экран. Однако приложение `fdatool` программы Matlab позволяет произвести только расчет коэффициентов цифровых фильтров, построение амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и т.д. [2]. Широкое применение цифровых фильтров обусловлено тем, что по сравнению с аналоговыми фильтрами цифровая фильтрация обладает рядом достоинств таких как: устойчивость к внешним факторам (температура, влажность); высокая точность; простота реализации и перестройки и т.д.

Данная работа посвящена разработке программно-аппаратного комплекса для расчета и реализации систем цифровой обработки сигналов с использованием микроконтроллеров. Разработанный комплекс включает в себя компьютерную программу, позволяющую производить расчет расчета цифровых фильтров и содержащую набор тестовых биомедицинских сигналов, отладочный макет на основе микроконтроллера STM32F407, а также плату расширения с набором тестовых сигналов. Плата расширения необходима для изучения принципов реализации цифровых систем обработки аналоговых сигналов, в том числе биомедицинских.

Программная часть комплекса

Программная часть по расчету цифровых фильтров и обработке биомедицинских сигналов была разработана с использованием языка программирования Delphi [3]. Программа состоит из двух блоков: первый блок предназначен для расчета коэффициентов цифровых фильтров различного типа, а второй блок содержит тестовые наборы биомедицинских сигналов.

Внешний вид первого блока программы представлен на рис. 1.

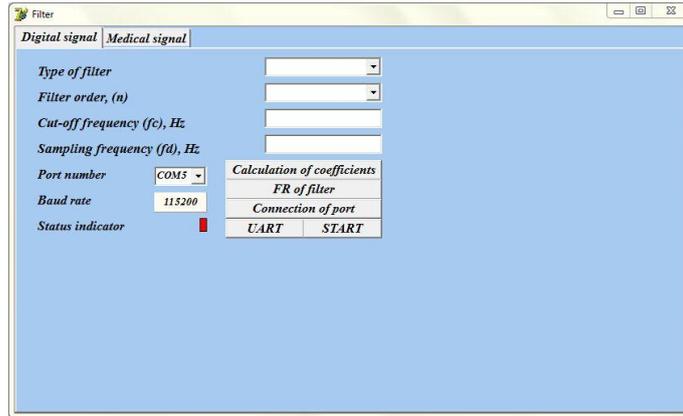
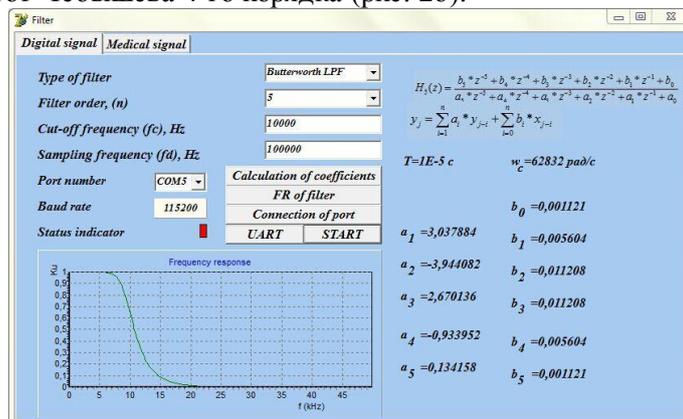
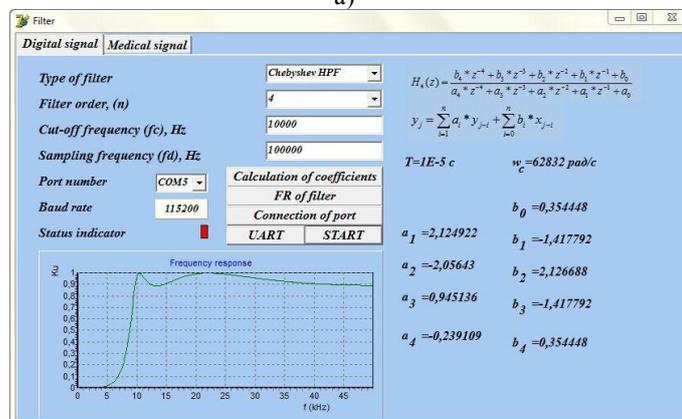


Рис. 1. Программа расчета цифровых фильтров

Расчет цифровых фильтров сводится к расчету коэффициентов, необходимых для реализации данного типа фильтров с использованием микроконтроллера. Исходными параметрами для расчета являются: *Type of filter* (*Тип фильтра*), *Filter order* (*Порядок фильтра*), *Sampling frequency* (*Частота дискретизации*) и *Cut-off frequency* (*Частота среза*). В программе предусмотрен расчет четырех типов фильтров: фильтр низких частот (ФНЧ) Баттерворта, фильтр высоких частот (ФВЧ) Баттерворта, ФНЧ Чебышева и ФВЧ Чебышева, при этом порядок каждого из фильтров может варьироваться от 1 до 5. После расчета соответствующего фильтра программа позволяет построить график амплитудно-частотной характеристики (кнопка *FR of filter*). На рис. 2 представлен внешний вид программы расчета для фильтра нижних частот Баттерворта 5-го порядка (рис. 2а) и фильтра верхних частот Чебышева 4-го порядка (рис. 2б).



а)



б)

Рис. 2. Внешний вид программы расчета для фильтра нижних частот Баттерворта 5-го порядка (а) и фильтра верхних частот Чебышева 4-го порядка (б)

Для реализации соответствующего фильтра с использованием микроконтроллера в программе предусмотрен блок асинхронной передачи данных (по интерфейсу UART). При нажатии кнопки *UART* осуществляется передача в микроконтроллер (с использованием виртуального COM-порта) коэффициентов фильтра, а также частоты дискретизации. Передача коэффициентов и частоты дискретизации, позволяет осуществлять автоматическую перестройку аппаратной реализации цифрового фильтра.

Как отмечалось выше, цифровые системы обработки сигналов находят широкое применение в системах обработки биомедицинских сигналов. Разработанная программа содержит ряд оцифрованных биомедицинских сигналов, например электрокардиограмма (без шумов и с шумами). Соответствующие сигналы загружены в программу в табличной форме с возможностью отображения их в графическом виде (рис. 3). Для осуществления цифровой фильтрации данных сигналов или их цифровой обработки (например, определение частоты сердечных сокращений, интервалы и амплитуды зубцов) в программе организована асинхронная передача данных в микроконтроллер.

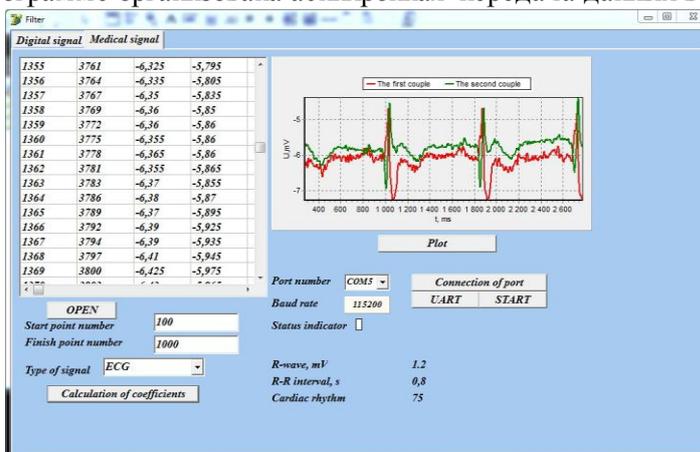


Рис. 3. Внешний вид программы обработки биомедицинских сигналов

Тестирование комплекса

Тестирование разработанного комплекса осуществлялось с использованием различных тестовых сигналов. Цифровые фильтры были реализованы с использованием 32-разрядного микроконтроллера STM32F407. Алгоритм работы микроконтроллера представлен на рис. 4.

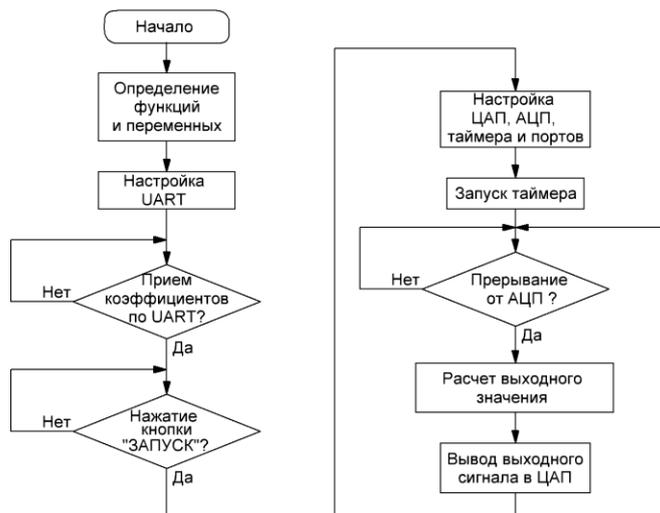


Рис. 4. Алгоритм работы микроконтроллера

Тестирование фильтров нижних частот осуществлялось с использованием тестового синусоидального сигнала с частотой 5 кГц и наложенными на него гармоническими помехами с частотами 20 и 50 кГц. В качестве примера были реализованы цифровые фильтры нижних частот Баттервор-

та третьего и пятого порядков с частотой среза 5 кГц. На рис. 5 представлены осциллограммы входного сигнала и сигналов на выходе фильтров.

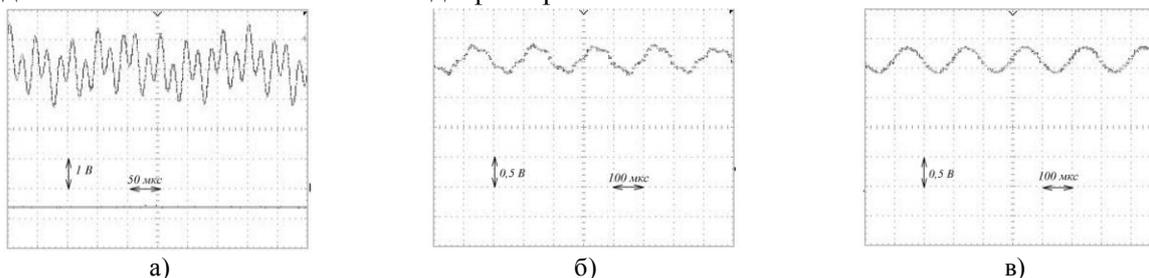


Рис. 5. Осциллограммы сигналов на входе цифрового фильтра (а), на выходе фильтра 3-го порядка (б) и на выходе фильтра пятого порядка (в)

Представленные на рис. 5 осциллограммы показывают работоспособность комплекса. Видно, что в выходном сигнале присутствует только основная гармоника входного сигнала, при этом с увеличением порядка фильтра заметно улучшается качество фильтрации. На рис. 6 представлены осциллограммы, полученные на выходе фильтра нижних частот Чебышева с частотами среза 10 и 40 кГц. При этом на вход фильтра подавался сигнал треугольной формы с частотой 5 кГц.

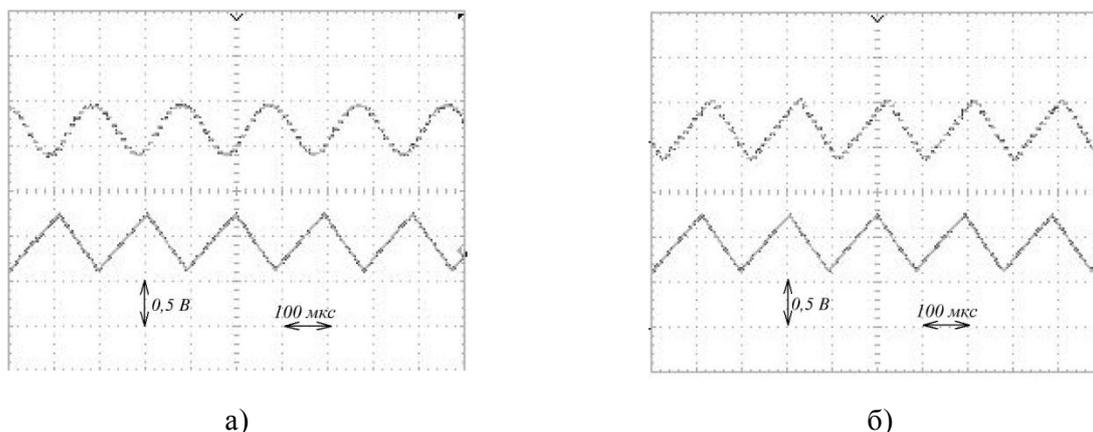


Рис. 6. Осциллограммы сигналов на входе цифрового фильтра и на выходе ФНЧ Чебышева с частотой среза 10 кГц (а) и 40 кГц (б)

Видно, что при частоте среза 40 кГц выходной сигнал фильтра имеет треугольную форму, как и входной. При меньшей частоте среза цифровой фильтр выделяет первую гармонику входного сигнала и на выходе фильтра присутствует гармонический сигнал.

Таким образом, тестирование показывает возможность использования разработанного комплекса для аппаратной реализации цифровых фильтров с возможностью автоматической перестройки параметров и характеристик фильтров с управлением от персонального компьютера.

Выводы

В статье представлен программно-аппаратный комплекс, позволяющий осуществлять цифровую обработку аналоговых сигналов, в частности цифровую фильтрацию. Программная часть комплекса осуществляет расчет необходимого типа цифрового фильтра с возможностью отправки результатов расчета в микроконтроллер. За счет этого получена возможность построения перенастраиваемых систем.

Правильность функционирования комплекса показана на ряде примеров по организации цифровых фильтров нижних частот Чебышева и Баттерворта. В дальнейшем планируется включение в программу расчет других типов фильтров, например полосового и режекторного, а также реализация систем обработки биомедицинских сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергиенко, А. Цифровая обработка сигналов. 3-е изд. / А. Сергиенко. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2011. — 768 с. — Доступ только с авторизованных компьютеров. — ISBN 978-5-9775-0606-9.
2. Вадутов, Олег Самигулович. Математические основы обработки сигналов : практикум : учебное пособие / О. С. Вадутов; ТПУ. — Томск: Изд-во ТПУ, 2007. — 100 с.: ил. — Учебники Томского политехнического университета. — Библиография: с. 98
3. Фаронов, Валерий Васильевич. Delphi 2005. Язык, среда, разработка приложений / В. В. Фаронов. — СПб.: Питер, 2007. — 560 с.: ил. — Библиогр.: с. 543. — Алфавитный указатель: с. 548-559. — ISBN 5-469-00826-6.

¹Томский государственный университет, г. Томск, Россия

²Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

³Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева, г. Томск, Россия

Торгаев Станислав Николаевич, к.ф.-м.н, доцент
Евтушенко Геннадий Сергеевич, д.т.н., профессор
Огородников Дмитрий Н, к.т.н, доцент
Киселева Виктория Андреевна, студент

S.N. TORGAEV, G.S. EVTUSHENKO, D.N. OGORODNIKOV, V.A. KISELEYOVA

SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR DIGITAL SIGNAL PROCESSING

The software and hardware complex for digital signal processing is described. The proposed complex allows to transfer digital filter parameters to the microcontroller for its automatic adjustment. The complex can be used to analyze and improve the quality of telecommunication systems components, including, in order to improve the quality of communication.

Keywords: *digital filter, digital signal processing, sampling rate, medical signals, interference.*

REFERENCES

1. Sergienko A. *Cifrovaja obrabotka signalov* [Digital signal processing]. 3 ed., St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2011, 768 p.
2. Vadutov O.S. *Matematicheskie osnovy obrabotki signalov: praktikum: uchebnoe posobie* [Mathematical fundamentals of signal processing: practicum: study aid]. Tomsk, TPU Publ., 2007, 100 p.
3. Faronov V.V. *Delphi 2005. Jazyk, sreda, razrabotka prilozhenij* [Language, environment, application development]. St. Petersburg, *Piter*, 2007, 560 p.