

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 534.773

Кивачук  
Анастасия Викторовна

Процессор обработки сигнала для слухового аппарата на основе  
реконфигурируемой платформы Zynq

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-40 80 01 «Элементы и устройства вычислительной  
техники и систем управления»

Научный руководитель:  
Вашкевич Максим Иосифович  
Доцент, кандидат технических наук

Минск 2020

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время около 1 миллиарда человек (16% населения мира) страдают потерей слуха. Примерно 20% больных пользуются слуховыми аппаратами, однако качеством их работы удовлетворены только 40%. Поэтому необходимо создавать новые или усовершенствовать существующие алгоритмы обработки сигналов в слуховых аппаратах.

Центральными компонентами слухового аппарата является банк фильтров, а также вычислитель, отвечающий за подсистему шумоподавления. Чтобы реализовать такой слуховой аппарат, необходима платформа, которая отвечает всем требованиям. Существует достаточное количество аппаратных платформ для обработки сигнала, однако не хватает мобильных платформ, подходящих для реализации алгоритмов, необходимых для слуховых аппаратов.

Основной целью проектирования является создание аппаратной платформы для разработки алгоритмов и архитектур слуховых аппаратов на основе реконфигурируемой системы-на-кристалле (СНК) Zynq, которая сочетает в себе достоинства платформ на базе FPGA и ЦОС, а именно: реализацию параллельных структур и удобство с точки зрения программирования.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) разработать аппаратную часть платформы быстрого прототипирования слуховых аппаратов на базе СНК;
- 2) разработать компрессор динамического диапазона;
- 3) экспериментально проверить эффективность процессора обработки сигнала для слухового аппарата на основе реконфигурируемой системы-на-кристалле Zynq.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы исследования**

Проблемами со слухом в том или ином виде страдают 300 млн. человек по всему миру. Примерно 20% из них пользуются слуховыми аппаратами, однако качеством их работы удовлетворены только 40%. Этим фактом объясняется актуальность улучшения существующих и разработки новых методов коррекции слуха.

### **Цель и задачи исследования**

**Целью** данного исследования является разработка процессора обработки сигнала для слухового аппарата на основе реконфигурируемой платформы

Zynq. В соответствии с поставленной целью в работе сформулированы и решены следующие **задачи**:

- 1) разработать аппаратную часть платформы быстрого прототипирования слуховых аппаратов на базе СНК;
- 2) разработать компрессор динамического диапазона;
- 3) экспериментально проверить эффективность процессора обработки сигнала для слухового аппарата на основе реконфигурируемой системы-на-кристалле Zynq.

**Объектом** исследования выступают слуховые аппараты.

**Предметом** исследования является реконфигурируемая система-на-кристалле (СНК) Zynq.

**Область исследования и содержание** диссертационной работы соответствуют образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-40 80 01 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в разработке и экспериментальном исследовании компрессора динамического диапазона на базе реконфигурируемой системы-на-кристалле Zynq.

**Положения, выносимые на защиту:**

- 1) разработанная аппаратная часть платформы быстрого прототипирования слуховых аппаратов на базе СНК;
- 2) разработанный компрессор динамического диапазона;
- 3) экспериментальные исследования эффективности разработанного процессора обработки сигнала для слухового аппарата на основе реконфигурируемой системы-на-кристалле Zynq.

**Апробация результатов диссертации**

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 55-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, 2019).

**Опубликованность результатов исследования**

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликован тезис в сборнике и материале научной конференции.

**Структура и объем диссертации**

Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации – 65 страниц. Работа содержит 3 таблицы, 30 рисунков. Библиографический список включает 30 наименований, графический материал включает 11 слайдов презентации (Приложение Б).

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрена структура слухового аппарата, а также описано обоснование актуальности темы и задачи магистерской диссертации.

В **общей характеристике работы** показана актуальность проводимых исследований, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, обозначена область исследований, научная (теоретическая и практическая) значимость исследований, а также апробация работы.

В **первой главе** приведен обзор существующих платформ для обработки сигнала в слуховых аппаратах.

Выявлены преимущества реализации СнК на базе FPGA:

- малые затраты на разработку и создание опытных образцов;
- возможность многократной коррекции проекта;
- использование хорошо проверенных серийных изделий;
- более простой процесс тестирования и отладки (возможность реализации и отладки «по частям»).

Кроме того, по сравнению с остальными платформами СнК содержит ЦОС, это позволяет реализовывать алгоритмы реализации поблочной обработки, это необходимо для решения задач шумоподавления.

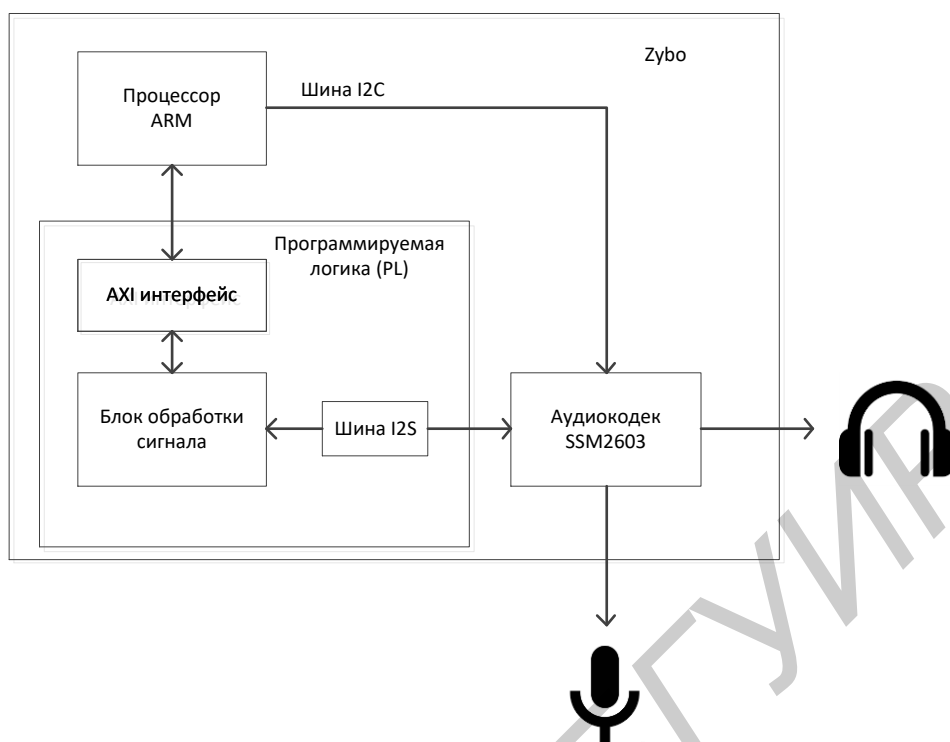
Таким образом, самым оптимальным вариантом является использование платформы на базе системы на кристалле (СнК), так как она сочетает в себе достоинства платформ на базе FPGA и ЦОС, что позволяет расширить спектр решаемых ими задач.

Во **второй главе** приведена схема реализации аппаратной платформы для прототипирования алгоритмов и архитектур слуховых аппаратов на основе СнК Zynq (рисунок 1). Данная аппаратная платформа содержит аудиокодек SSM2603, программируемую логику (PL), AXI интерфейс, процессор ARM, а также шины I2S для цифрового аудио и I2C для передачи сигналов управления между PS Zynq и кодеком.

Помимо этого описано конфигурирование Zybo для использования аудиокодека на плате. А также подробное описание аудиокодека SSM2603 и интерфейса I2S.

Далее приведён алгоритм получения коэффициентов фильтра для разработки фильтра-корректора.

А также в данной главе имеется теоретические сведения для разработки компрессии динамического диапазона.



**Рисунок 1– Схема реализации аппаратной платформы для прототипирования алгоритмов и архитектур слуховых аппаратов на основе СпК Zynq**

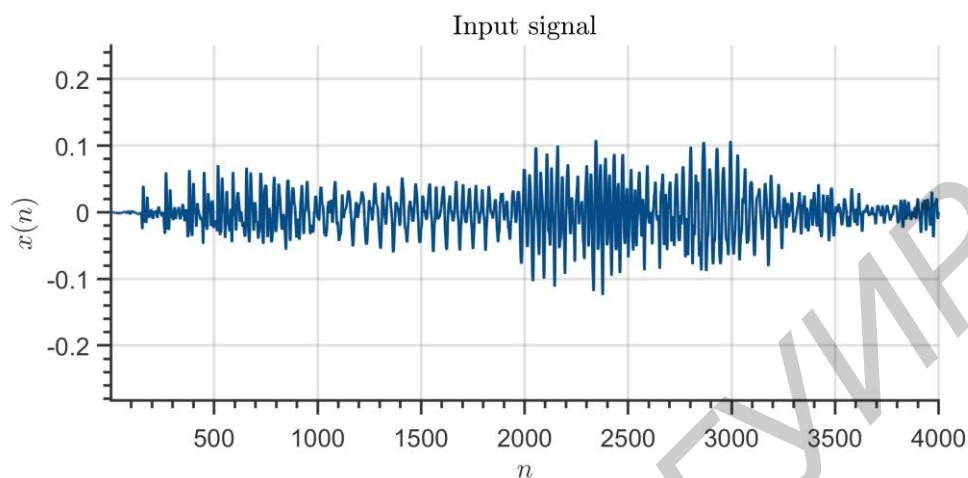
**В третьей главе** приведено руководство для программной настройки параметров, которое состоит из 11 шагов.

Помимо этого приведено описание обмена данными между программной и аппаратной частью платформы. Обмен данными происходит благодаря AXI протоколу. Протокол AXI поддерживает пакетные транзакции, каждая из которых содержит адрес и управляющую информацию в адресном канале. Несколько главных AXI могут быть подключены к нескольким управляемым AXI через межсоединение AXI. Управляющий AXI передает данные главному AXI через межсоединение AXI, используя канал записи данных (или канал чтения данных от передатчика к приемнику). В частности, транзакции записи имеют дополнительный канал ответа на запись, поскольку все данные передаются от передатчика к приёмнику, и поэтому он используется для управляемого устройства, чтобы сигнализировать о завершении транзакции записи.

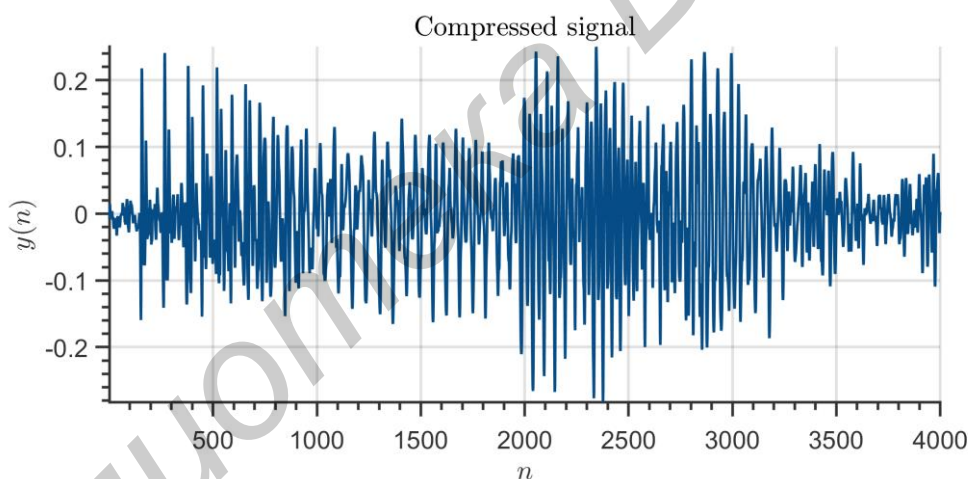
**В четвёртой главе** приведена реализация компрессора динамического диапазона на языке Matlab. Приведен код функции компрессора, а также подробные комментарии к коду.

Был проведен опыт, подтверждающий работу компрессора. На рисунке 2 располагается график исходного сигнала, а на рисунке 3 компрессированный.

Из графиков можно заметить, что компрессированный сигнал имеет большую амплитуду, по сравнению с входным сигналом, следовательно с помощью функции компрессора был расширен динамический диапазон сигнала.



**Рисунок 2 – Входной сигнал**

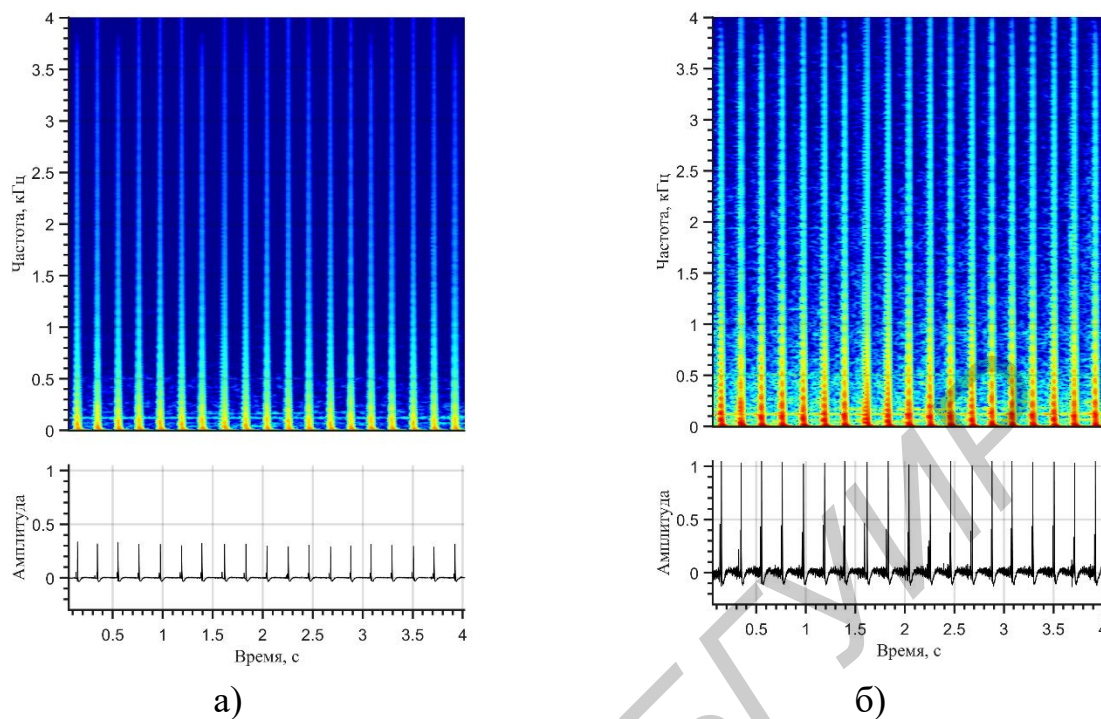


**Рисунок 3 – Выходной сигнал**

Далее описан способ перевода функции компрессора с Matlab на язык C. Данное действие было выполнено с помощью MATLAB Coder. Также приведён код на языке C и подробные комментарии к коду.

Помимо всего приведены результаты эксперимента, который доказывает работоспособность созданного процессора обработки сигнала для слухового аппарата на основе реконфигурируемой платформы Zynq.

Данные графики показывают, что сигнал, который прошёл через компрессор имеет большую амплитуду, что подтверждает то, что произошло усиление, особенно в той части сигнала которая имела маленькую энергию, то есть между импульсами.



**Рисунок 5 – (а) Частотно-временное представление сигнала без обработки  
(б) Частотно-временное представление сигнала после обработки компрессором**

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложена разработка и экспериментальное исследование компрессора динамического диапазона на базе реконфигурируемой системы-на-кристалле Zynq.

Для начала был произведен обзор существующих платформ для обработки сигнала в слуховых аппаратах. По результатам обзора была выбрана реконфигурируемая система-на-кристалле Xilinx Zynq-7000, так как платформа сочетает в себе достоинства платформ на базе FPGA и ЦОС, что позволяет расширить спектр решаемых задач.

В ходе выполнения работы была разработана аппаратная часть платформы быстрого прототипирования слуховых аппаратов на базе СНК, которая содержит аудиокодек SSM2603, программируемой логики (PL), AXI интерфейс, процессор ARM, а также шины I2S для цифрового аудио и I2C для передачи сигналов управления между PS Zynq и кодеком.

Следующим шагом стала разработка компрессор динамического диапазона на языке Matlab. Изучая графики, полученные при моделировании, можно заметить, что компрессированный сигнал имеет большую амплитуду, по

сравнению с входным сигналом, следовательно с помощью функции компрессора мы расширили динамический диапазон сигнала.

Для того, чтобы перенести компрессор на плату, необходимо было перевести код с Matlab на язык C.

Далее была программная настройка платы:

- 1) настройка ЦАП и АЦП;
- 2) настройка обмена данными между программной и аппаратной частью платформы;
- 3) написание скрипта для работы платы, где есть вызов функции компрессора.

В конечном итоге разработан рабочий вариант процессора обработки сигнала для слухового аппарата на основе реконфигурируемой платформы Zynq.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**

1. Кивачук, А. В. Аппаратная платформа для прототипирования алгоритмов и архитектур слуховых аппаратов на основе (СнК) Zynq / А. В. Кивачук // Компьютерные системы и сети: 55-я юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22-26 апреля 2019 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2019. – С. 265 – 267. (<https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/35265>)