

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

УДК 004.93

На правах рукописи

РОВА
Михаил Сергеевич



**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ
В ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ АНАЛИЗА АУДИОИНФОРМАЦИИ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени
магистра техники и технологий

по специальности 1-39 81 01 – Компьютерные технологии
проектирования электронных систем

Минск 2019

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **РОЛИЧ Олег Чеславович**
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **МАЗАНИК Александр Васильевич,**
кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой энергофизики «Белорусского государственного университета»

Защита диссертации состоится «5» февраля 2019 г. года в 9⁰⁰ часов на заседании Государственной экзаменационной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск, ул. П.Бровки, 6, копр. 1, ауд. 415, тел. 293-20-80, e-mail: kafpiks@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

ВВЕДЕНИЕ

Анализ аудиосигналов занимает определяющую позицию в системах детектирования акустических команд управления, автоматизированного распознавания речи, голосовой идентификации. Для обработки аудиосигнала автоматизированными системами входной аналоговый сигнал преобразуется в цифровой. Цифровые аудиосигналы стандартно описываются одномерными целочисленными массивами в импульсно-кодовом или импульсно-плотностном форматах. Подавляющее большинство алгоритмов цифровой обработки и анализа аудиосигналов оперируют одномерными массивами данных.

Частным случаем анализа аудиосигналов является задача распознавания речи, которая на сегодняшний день подразумевает целую сферу научной и инженерной деятельности. Каждая задача распознавания, как и анализа, сводится к выделению информативных параметров сигнала, их классификации и соответствующей реакции на человеческую речь в масштабе реального времени.

Основная идея настоящей диссертации состоит в разработке способов и моделировании алгоритмов анализа аудиосигналов на базе их представления в многомерном виде, в частности, в виде множества двумерных образов. Последующий анализ многомерных цифровых сигналов планируется проводить путём поиска образов, подобных заданным.

Преобразование одномерного массива аудиоданных в двухмерную матрицу и интерпретация двухмерной матрицы как изображения позволит воспользоваться известными методами цифровой обработки изображений и анализа сцен. В поиске подобных образов, в процессе их анализа и распознавания планируется операция векторизации изображений, вычисление их метрических характеристик, в частности, применение формул Дуды или их аналогов. Для поиска подобных образов также предполагается использование аппарата корреляционного анализа, в том числе, знаковой корреляции, которая тесно связана с частотно-импульсным (или импульсно-плотностным, PDM) форматом представления цифрового сигнала. Исследование поведения знаковой корреляции в многомерных образах позволит значительно упростить вычисления и способствовать реализации алгоритмов реального времени для анализа аудиоданных на микроконтроллерной базе, что, в свою очередь, способствует созданию портативных, независимых от клиент-серверной архитектуры, малогабаритных и недорогих приборов.

В диссертационной работе будут рассмотрены вопросы анализа аудиообразов с целью исследования алгоритмов и методов их распознавания как на фоне шумов, так и без них.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Анализ аудиосигналов занимает определяющую позицию в системах автоматизированного распознавания и измерения речи, голосовой идентификации, детектирования акустических команд управления. Современные алгоритмы решения подобных задач имеют высокую вычислительную сложность, и в основном строятся на распределённой клиент-серверной архитектуре.

В связи с вышесказанным, актуальной является разработка и моделирование алгоритмов анализа аудиосигналов, имеющих невысокую вычислительную сложность и способных выполняться на автономных приборах на базе современных недорогих микроконтроллеров.

Степень разработанности проблемы

Исследование состава аудиосигналов, методов их генерации, векторизации и распознавания образов осуществлялось на основе построения теоретических моделей с использованием работ российских и белорусских ученых: А.М. Крот, В.Н. Емельянова, А.В. Аргановский, Д.А. Леднов, С.В. Рыбин, Б.М. Лобанов, В.Я. Кучеров, Н.В. Сорокин, Ю.Н. Матвеев, А.А. Борисевич, А.В. Фролов, Г.В. Фролов, Т.К. Винцюк а также зарубежных авторов: Дж. Кейтер, Г. Фант, Дж. Фланаган и др.

Одним из недостатков исследований, представленных в современной технической литературе, является неполное рассмотрение алгоритмов анализа аудиосигналов, имеющих невысокую вычислительную сложность и способных выполняться на автономных приборах на базе современных недорогих микроконтроллеров.

Предложенное исследование направлено на устранение этого недостатка на основе векторизации спектра эталонных аудиообразов.

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является моделирование прибора анализа аудиоданных с разработкой быстрых алгоритмов преобразования импульсных форматов их представления.

Поставленная цель работы определяет **следующие основные задачи:**

1. Провести обзор известных методов и алгоритмов анализа аудиосигналов и исследовать изменение их характеристик в процессе преобразования в системах аудиоанализа.

2. Разработать методику компьютерного моделирования известных методов анализа аудиосигналов, процессов их преобразования в линейных системах и распознавания аудиообразов.

3. Разработать компьютерную модель прибора анализа аудиосигналов и алгоритм их быстрых преобразований на базе *ARM*-микроконтроллеров.

Область исследования

Содержание диссертации соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) ОСВО 1-39 81 01-2012 специальности 1-39 81 01 «Компьютерные технологии проектирования электронных систем».

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли работы белорусских и зарубежных ученых в области распознавания и синтеза речи, а также анализ технических нормативных правовых актов по рассматриваемой тематике.

Информационная база исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

Научная новизна

Научная новизна и значимость полученных результатов работы заключается в разработке быстрых алгоритмов анализа аудиосигналов на базе оперирования данными в импульсно-плотностном формате.

Теоретическая значимость работы заключается в математическом моделировании процессов преобразования аудиосигналов с учетом особенностей архитектуры микроконтроллера.

Практическая значимость диссертации состоит в разработке макета прибора анализа аудиосигналов в масштабе реального времени.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Систематизация известных методов и алгоритмов анализа аудиоинформации, основанная на ключевых параметрах быстрых алгоритмов преобразования аудиосигналов.

2. Методика детектирования аудиоинформации на базе анализа изменения формы оконной гистограммы и интегральных частотных характеристик спектрограммы.

3. Компьютерная модель прибора анализа аудиосигналов с реализацией быстрых арифметического преобразования Фурье и преобразования импульсно-кодовой в импульсно-плотностную аудио последовательность.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на XXIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях» (г. Рязань, Российская Федерация, 2018 г.), публиковались в электронном научном журнале «Вестник современных исследований» (г. Омск, Российская Федерация, 2019 г.) и в международном научном журнале «Научные вести» (г. Белгород, Российская Федерация, 2019 г.)

Отдельные положения диссертации могут быть использованы при преподавании дисциплин «Мобильные вычислительные системы», «Математические методы в программировании».

Публикации

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 7 печатных работах. В их числе 1 статья тезис доклада на научной конференции, 6 статьи в электронном научном журнале.

Общий объем публикаций по теме диссертации составляет 24 страницы.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений.

В первой главе проведен обзор известных методов и алгоритмов анализа аудиосигналов и исследованы изменения их характеристик в процессе преобразования в системах аудиоанализа

Во второй главе разработана методика компьютерного моделирования известных методов анализа аудиосигналов, процессов их преобразования в линейных системах и распознавания аудиообразов.

В третьей главе разработана компьютерная модель прибора анализа аудиосигналов с реализацией быстрых арифметического преобразования Фурье и преобразования импульсно-кодовой в импульсно-плотностную аудио последовательность.

В приложении представлены публикации автора и акт внедрения.

Общий объем диссертационной работы составляет 103 страницы. Из них 52 страницы основного текста, 36 иллюстраций на 27 страницах, библиографический список из 53 наименований на 4 страницах, список собственных публикаций соискателя из 7 наименований на 1 странице, 4 приложений на 36 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние алгоритмов анализа аудиосигналов, указаны основные направления исследований, проводимых по данной тематике, а также описано обоснование актуальности темы.

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** проведен обзор основных принципов, методов и алгоритмов анализа аудиосигнала. Исследованы поведения знаковой корреляции в многомерных образах, что позволило значительно упростить вычисления и способствовало реализации алгоритмов анализа аудиоданных на микроконтроллерной базе. Выявлено, что недостатком рассмотренных технологий является то, что в системах детектирования акустических команд управления, автоматизированного распознавания и измерения речи, голосовой идентификации вычислительная сложность сфокусируется на распределённой клиент-серверной архитектуре. Рассмотрены алгоритмы и методы оцифровки аудиосигналов, исследованы системы преобразования импульсно-кодовой последовательности в импульсно-плотностную. Рассмотрены принципы работы сигма-дельта АЦП. Проанализированы существующие алгоритмы детектирования аудиоинформации на базе анализа изменения формы оконной гистограммы и алгоритмы распознавания аудиообразов на основе анализа изменения интегральных частотных характеристик спектрограмм.

Во **второй главе** произведена классификация аудиосигналов по временным, частотным параметрам, а также по форме и ширине спектра. С целью исследования частотных характеристик аудиосигналов произведено конструирование макета на базе микроконтроллера *STM32F407VGT6* с использованием *MEMS*-микрофона. Микрофон использовался *MP45DT02* от компании *STMicroelectronics*. Данный микрофон интересен тем, что выходные аудиоданные представляются в импульсно-плотностном формате. Для записи аудиопотока на *USB* накопитель необходимо в первую очередь преобразовать сигнал

из импульсно-кодовой последовательности в импульсно плотностную. Преобразование форматов осуществлялось с использованием ресурсов микроконтроллера. Блок-схема записи и преобразования аудиосигналов представлена на рисунке 1. Команды для записи следующие: «РАЗ», «ДВА», «ТРИ», «ЧЕТЫРЕ», «ПЯТЬ», «ШЕСТЬ», «СЕМЬ», «ВОСЕМЬ». Запись осуществлялась с временным разделением, то есть команды произносились друг за другом, но с паузами между собой, что обеспечивает четкое разграничение при обработке. Дальнейшим этапом осуществлялся статистический анализ аудиосигналов, а именно построение гистограмм и сравнение между собой. Осуществлялось построение спектрограмм данных аудиосигналов и их сравнение. Для анализа и построения гистограмм и спектрограмм использовалось инженерное математическое программное обеспечение *MathCAD*.

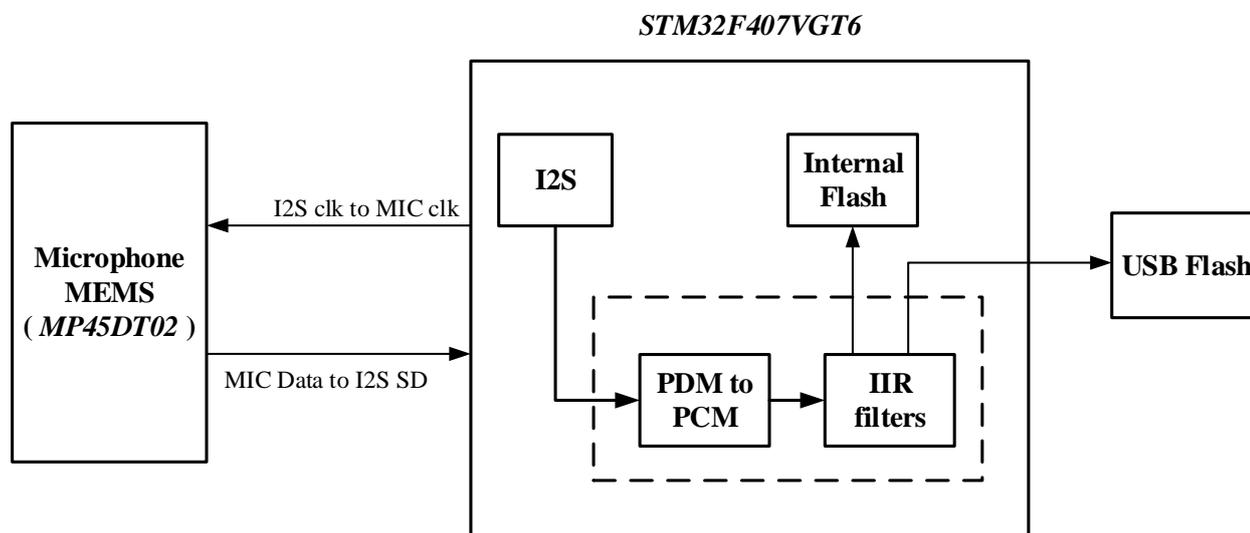


Рисунок 1 – Блок-схема макета записи и преобразования аудиосигналов

В третьей главе осуществлен анализ шумовых аудиосигналов, исследованы законы распределения и соответствующие им шумовые сигналы. С применением инженерного математического программного обеспечения *MathCAD* осуществлялось моделирование наиболее значимых для последующей разработки прибора процессов преобразования аудиосигналов в линейных системах. Была разработана модель прибора анализа аудиосигналов и алгоритма их быстрых преобразований на микроконтроллерной базе.

Поставленная задача звучит следующим образом: пусть имеется синусоидальный сигнал с частотой 10кГц. Необходимо составить структурную и принципиальную схему прибора преобразования импульсно-кодовой (PCM) в импульсно-плотностную (PDM) последовательность с использованием быстрого алгоритма преобразования. Произвести моделирование работы схемы,

подав на вход тестовый сигнал, и снять осциллограммы в контрольных точках схемы.

Структурная схема прибора состоит из входного интегратора, вычитателя, компаратора и интегратора обратной связи. Во входном интеграторе происходит интегрирование аудиосигнала. Интегратор обратной связи служит цифро-аналоговым преобразователем и формирует аналоговый сигнал. Следующим этапом необходимо из входного проинтегрированного сигнала вычесть выходной проинтегрированный сигнал. С вычитателя сигнал поступает на компаратор, который сравнивает сигналы с пороговым значением и формирует на выходе импульсную последовательность выходного сигнала.

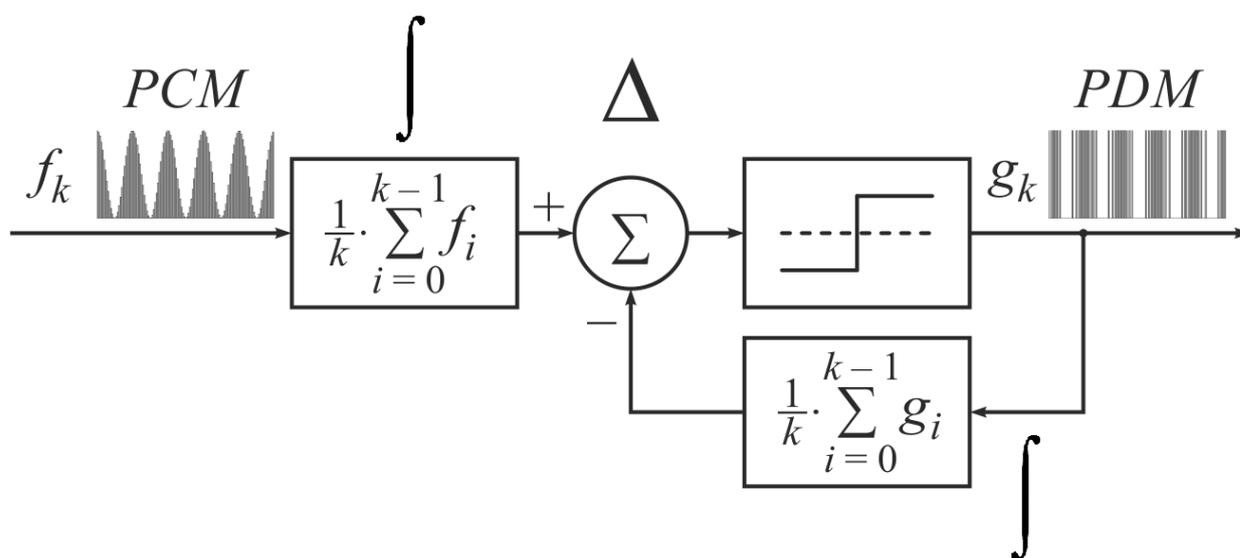


Рисунок 2 – Структурная схема прибора

С использованием структурной схемы, приведенной на рисунке 2, была составлена принципиальная электрическая схема прибора преобразования форматов. Все элементы структурной схемы прибора были реализованы на операционных усилителях. Для этих целей была использована микросхема LM324, имеющая в своем составе четыре идентичных операционных усилителя. Для питания ОУ использован DC-DC преобразователь AD1117-3.3, выходное напряжение которого + 3.3 В, которого достаточно для питания всей схемы. Для входного интегратора задействован первый ОУ в микросхеме. Вывод +IN_1 послужил входом для аудиосигнал произвольной формы. Принципиальная схема прибора преобразования форматов представлена на рисунке 3.

В связи с тем, что входной сигнал имеет размах только в положительной области от 0 вольт до 3.3В, необходимо подавать на инверсный вход ОУ (вывод -IN_1) напряжение, соответствующее середине этого диапазона, а в случае, когда сигнал имеет размах, допустим, 200мВ, то на инверсный вход необ-

ходимо подавать 100 мВ, что соответствует середине диапазона. АЦП микроконтроллера служит для отслеживания размаха сигнала и выдает на ЦАП напряжение, соответствующее среднему значению размаха. Микроконтроллер также осуществляет компенсацию наводки 50Гц путем смещения среднего напряжения, подаваемого с ЦАП микроконтроллера, вверх либо вниз в соответствии с частотой наводки. Далее сигнал с выхода первого ОУ подается на вычитатель. Так как вычитание одного сигнала из другого возможно осуществить на ОУ и коэффициент усиления ОУ велик, то второй ОУ возможно использовать как компаратор и вычитатель одновременно. На данном этапе входной сигнал 10кГц проинтегрируется, и из проинтегрированного сигнала вычитается предыдущее состояние сигнала, которое поступает из интегратора обратной связи. На выходе ОУ наблюдаем логический ноль в случае, когда сигнал, поступающий с интегратора обратной связи, больше проинтегрированного входного сигнала, и единицу – в обратном случае. В качестве интегратора обратной связи был использован третий ОУ, управление которым осуществлялось АЦП и ЦАП микроконтроллера по аналогии со входным интегратором. Выходная импульсно-плотностная последовательность наблюдалась при подключении к выводу *OUT_2*.

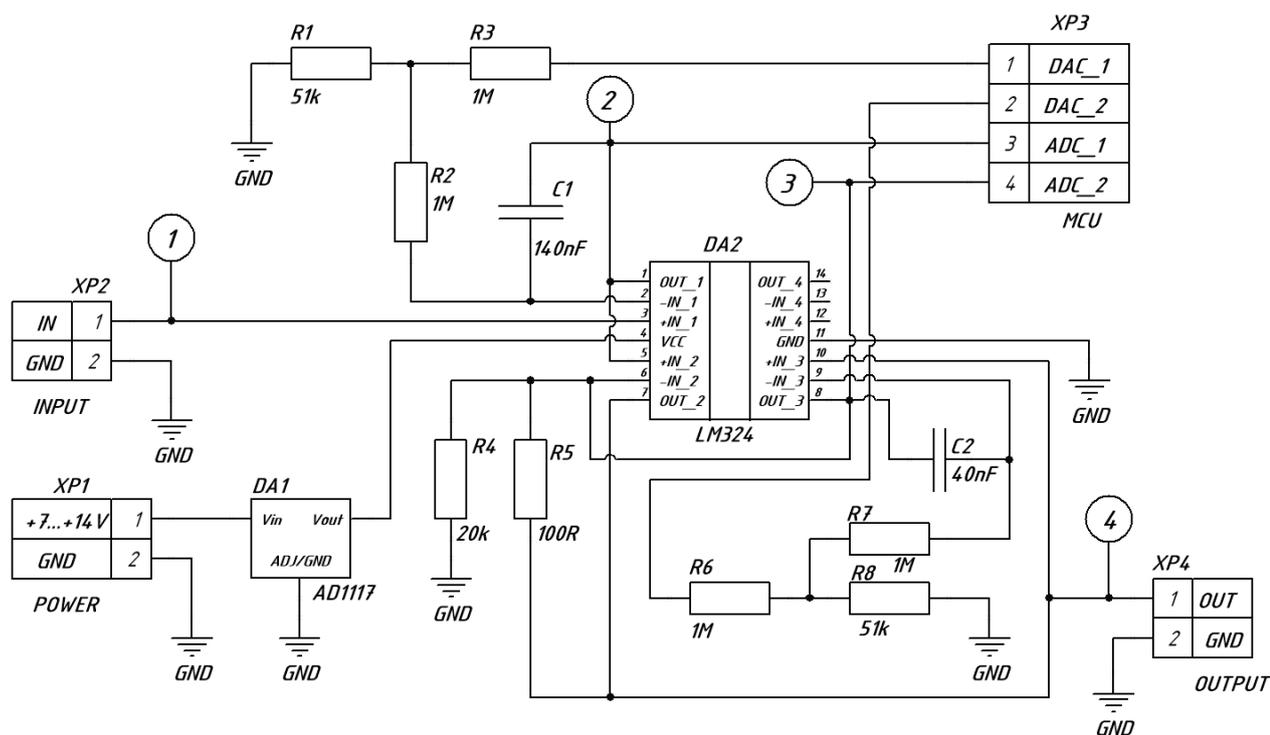


Рисунок 3 – Схема электрическая принципиальная прибора

Провелась проверка работоспособности схемы с подключением осциллографа к контрольным точкам, обозначенным на схеме. При подключении к точке «1» - виден входной сигнал 10кГц, который соответствует поставленной

задаче. В точке «2» наблюдался входной сигнал, но со смещением, равным $\pi/4$, что соответствует теоретическим основам работы интегратора. На рисунке 4 изображена осциллограмма, снятая в точках «3» и «4».

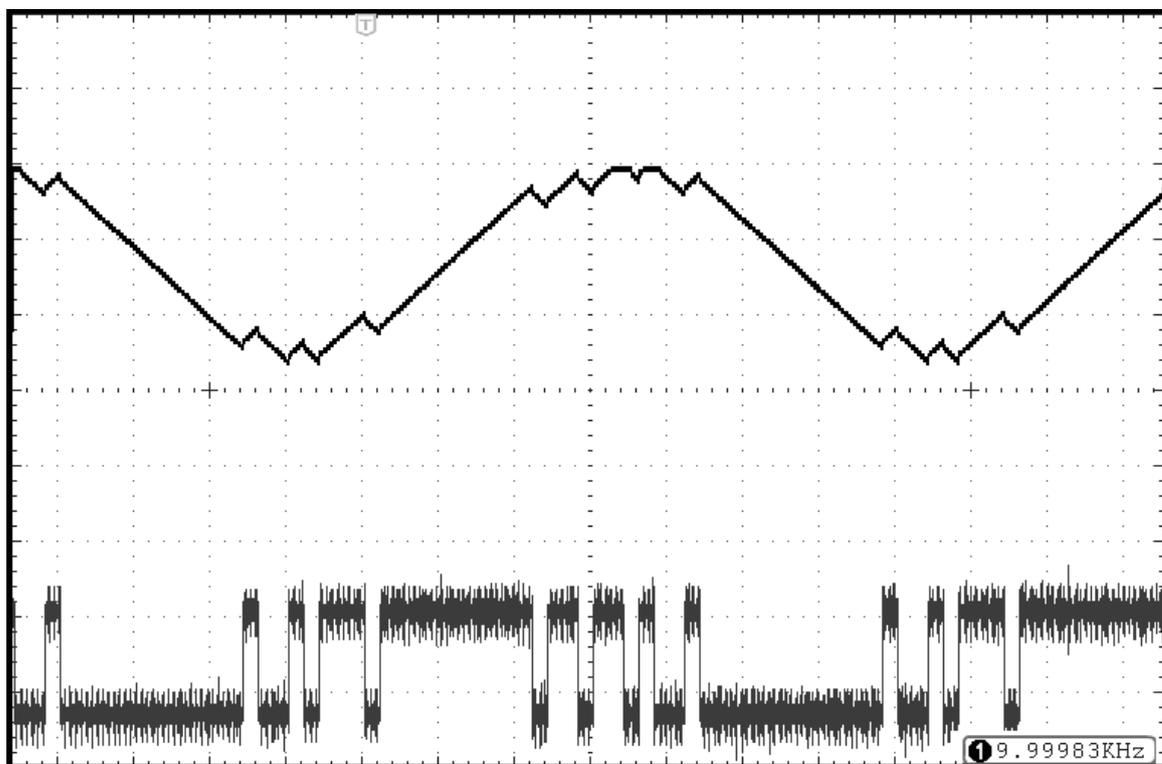


Рисунок 4 – Осциллограмма сигнала на выходе компаратора (снизу) и интегратора обратной связи

Осциллограмма, полученная в точке «3», соответствует выходному сигналу интегратора обратной связи и подобна входному синусоидальному сигналу. Также можно отметить, что интегратор обратной связи – это не идеальный ЦАП. Выходной сигнал прибора представляет собой импульсно-плотную последовательность, которая изображена на рисунке 4 снизу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. В результате обзора основных принципов, методов и алгоритмов анализа аудиосигналов выявлены недостатки существующих способов детектирования акустических команд в системах управления, автоматизированного распознавания и измерения речи и голосовой идентификации, заключающиеся, главным образом, в клиент-серверной организации, что повышает вычислительную сложность алгоритмов и обуславливает наличие больших временных задержек. [1,2].

2. Разработана компьютерная модель алгоритма детектирования аудиообразов на базе оперирования данными в импульсно-плотностном формате и анализа изменения формы оконной гистограммы плотности их битовой последовательности. Разработан алгоритм и компьютерная модель распознавания аудиообразов на основе анализа временного изменения интегральных параметров амплитудно-частотной характеристики аудиоданных, представленных в импульсно-плотностном формате. [3-5].

3. Разработана модель прибора преобразования в реальном времени импульсно-плотностной в импульсно-кодую последовательность на базе микроконтроллера, отличающаяся вычислительной простотой и высокой скоростью. [6,7].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученные результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в учебные курсы «Мобильные вычислительные системы», «Математические методы в программировании».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

1. Ровдо М.С Алгоритм моделирования однобитного СИГМА-ДЕЛЬТА АЦП / М.С. Ровдо // XXIII Всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях». – 2018. – Рязань: РГРТУ, 2018. – С. 201–202.

2. Ровдо М.С. Анализ способов преобразования импульсно-плотностной в импульсно-кодую последовательность на базе микроконтроллера / М.С. Ровдо, Д.В. Давидович, А.И. Курило // Электронный научный журнал «Вестник современных исследований». – 2019. – Омск: Научный центр «Орка», 2019. – С. 171–173.

3. Ровдо М.С. Методы оптимизации аудиосигнала для передачи по цепи питания / М.С. Ровдо, А.Г. Алейников, П.В. Гайдукевич, А.И. Курило // Международный научный журнал «Научные вести». – Белгород, 2019. – С. 260–263.

4. Алейников А.Г. Оптимизация устройства обмена информацией по цепи питания для передачи аудиосигнала / А.Г. Алейников, М.С. Ровдо, П.В. Гайдукевич // Международный научный журнал «Научные вести». – Белгород, 2019. – С. 245–249.

5. Гайдукевич П.В. Методы оптимизации, применимые к ранним стадиям разработки устройства, на примере передачи аудиосигнала по цепи питания / П.В. Гайдукевич, А.Г. Алейников, М.С. Ровдо, А.И. Курило // Международный научный журнал «Научные вести». – Белгород, 2019. – С. 250–253.

6. Давидович Д.В. Мобильный телефон – как средство для шпионажа / Д.В. Давидович, А.И. Курило, М.С. Ровдо // Электронный научный журнал «Вестник современных исследований». – 2019. – Омск: Научный центр «Орка», 2019. – С. 34–37.

7. Курило А.И. Коррекция накапливающихся ошибок при измерениях линейных перемещений / А.И. Курило, Д.В. Давидович, М.С. Ровдо // Электронный научный журнал «Вестник современных исследований». – 2019. – Омск: Научный центр «Орка», 2019. – С. 114–115.

РЭЗІЮМЭ
Роўда Міхаіл Сяргеевіч
Мадэляванне працэсаў пераўтварэння сігналаў у электронных
сістэмах аналізу аўдыёінфармацыі

Ключавыя словы: аўдыёсігнал, імпульсна-шчыльнасная мадуляцыя.

Мэта працы: распрацоўка метадыкі павышэння інфарматыўнасці сістэмы аналізу аўдыёінфармацыі з дапамогай дэтэктавання зададзеных аўдыёвобразаў і мадэляванне прыбора пераўтварэння фарматаў.

Атрыманая вынікі і іх навізна: праведзены агляд асноўных прынцыпаў, метадаў і алгарытмаў аналізу аўдыёсігналаў. Даследаваны паводзіны знакавай карэляцыі ў шматмерных вобразах, што дазволіла значна спрасціць вылічэнні і садзейнічала рэалізацыі алгарытмаў аналізу аўдыёдадзеных на мікракантроллерной базе. Выяўлена, што недахопам разгледжаных тэхналогій з'яўляецца тое, што ў сістэмах дэтэктавання акустычных каманд кіравання, аўтаматызаванага распазнавання і вымярэння маўлення, галасавой ідэнтыфікацыі вылічальная складанасць будзеца на размеркаванай кліент-сервернай архітэктурцы. Прааналізаваны існуючыя алгарытмы дэтэктавання аўдыёінфармацыі на базе аналізу змены формы аконнай гістаграмы і алгарытмы распазнавання аўдыёвобразаў на аснове аналізу змены інтэгральных частотных характарыстык спектраграмы. Змадэляваны прыбор пераўтварэння імпульсна-шчыльнаснай у імпульсна-кодавую паслядоўнасць на базе мікракантролера з выкарыстаннем у рэальным маштабе часу, які адрозніваецца вылічальнай лёгкасцю.

Ступень выкарыстання: вынікі інтэграваны ў навучальны працэс на кафедры праектавання інфармацыйна-камп'ютэрных сістэм установы адукацыі «Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі» і могуць быць ужытымі пры выкладанні дысцыплін «Мабільныя вылічальныя сістэмы», «Матэматычныя метады ў праграмаванні»

Сфера ўжывання: аўдыёаналіз, распазнанне і сінтэзаванне маўлення.

РЕЗЮМЕ

Ровдо Михаил Сергеевич

Моделирование процессов преобразования сигналов в электронных системах анализа аудиоинформации

Ключевые слова: аудиосигнал, импульсно-плотностная модуляция.

Цель работы: разработка методики повышения информативности системы анализа аудиоинформации посредством детектирования заданных аудиообразов и моделирование прибора преобразования форматов.

Полученные результаты и их новизна: проведен обзор основных принципов, методов и алгоритмов анализа аудиосигнала. Исследованы поведения знаковой корреляции в многомерных образах, что позволило значительно упростить вычисления и способствовало реализации алгоритмов анализа аудиоданных на микроконтроллерной базе. Выявлено, что недостатком рассмотренных технологий является то, что в системах детектирования акустических команд управления, автоматизированного распознавания и измерения речи, голосовой идентификации вычислительная сложность строится на распределённой клиент-серверной архитектуре. Проанализированы существующие алгоритмы детектирования аудиоинформации на базе анализа изменения формы оконной гистограммы и алгоритмы распознавания аудиообразов на основе анализа изменения интегральных частотных характеристик спектрограмм. Смоделирован прибор преобразования импульсно-плотностной в импульсно-кодую последовательность на базе микроконтроллера с использованием в реальном масштабе времени, отличающийся вычислительной простотой.

Степень использования: результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» при преподавании дисциплин «Мобильные вычислительные системы», «Математические методы в программировании».

Область применения: аудиоанализ, распознавание и синтезирование речи.

SUMMARY

Rovdo Mikhail Sergeevich

Simulation of signal conversion processes in electronic audio information analysis systems

Keywords: audio signal, pulse-density modulation.

The object of study: development of methods for increasing the information content of the audio information analysis system by detecting specified audio images and modeling the format conversion device.

The results and novelty: review of the basic principles, methods and algorithms for the analysis of audio. The behavior of the sign correlation in multidimensional images was studied, which made it possible to significantly simplify calculations and contributed to the implementation of audio data analysis algorithms on a microcontroller base. It was revealed that the disadvantage of the considered technologies is that in the systems for detecting acoustic control commands, automated speech recognition and measurement, voice identification, computational complexity is based on a distributed client-server architecture. The existing algorithms for detecting audio information are analyzed on the basis of the analysis of changes in the shape of the window histogram and the algorithms of recognition of audio images based on the analysis of changes in the integral frequency characteristics of the spectrograms. A device is designed to convert a pulse-density to a pulse-code sequence based on a microcontroller using a real-time system, which is distinguished by its computational simplicity.

Degree of use: the results were introduced into the educational process at the department of design of information and computer systems of the educational institution “Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics” while teaching the disciplines “Mobile Computing Systems”, “Mathematical Methods in Programming”.

Sphere of application: audio analysis, speech recognition and synthesis.