|  |  |
| --- | --- |
|  | **Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  **высшего образования**  **«Московский государственный технический университет**  **имени Н.Э. Баумана**  **(национальный исследовательский университет)»**  **(МГТУ им. Н.Э. Баумана)** |

|  |  |
| --- | --- |
| ФАКУЛЬТЕТ | «Информатика и системы управления» |
| КАФЕДРА | «Теоретическая информатика и компьютерные технологии» |

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

***НА ТЕМУ:***

|  |
| --- |
| ***Использование методов фильтрации*** |
| ***аудиосигналов в мобильном приложении*** |
|  |
|  |
|  |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Студент | ИУ9-72Б |  |  |  | Караник А.А. |
|  | (группа) |  | (подпись, дата) |  | (И.О. Фамилия) |
| Руководитель курсового проекта |  |  |  |  | Каганов Ю.Т. |
|  |  |  | (подпись, дата) |  | (И.О. Фамилия) |
|  |  |  |  |  |  |
| Консультант |  |  |  |  |  |
|  |  |  | (подпись, дата) |  | (И.О. Фамилия) |

*2024 г.*

СОДЕРЖАНИЕ

[СОДЕРЖАНИЕ 1](#_Toc189976823)

[ВВЕДЕНИЕ 2](#_Toc189976824)

[1. Цель и основные задачи 3](#_Toc189976825)

[2. Описание методов 4](#_Toc189976826)

[2.1. Низкочастотные и высокочастотные фильтры 4](#_Toc189976827)

[2.2. Полосовой фильтр 6](#_Toc189976828)

[2.3. Метод Калмана 7](#_Toc189976829)

[2.4. Гауссов и медианный фильтры 8](#_Toc189976830)

[2.5. Метод шумоподавления с использованием спектрального вычитания 10](#_Toc189976831)

ВВЕДЕНИЕ

Развитие мобильных технологий и рост вычислительных мощностей смартфонов открыли новые возможности для обработки аудиосигналов в реальном времени. Современные устройства оснащены мощными процессорами и специализированными цифровыми сигнальными процессорами, которые позволяют эффективно применять сложные численные методы фильтрации без значительных задержек. Это особенно важно для интерактивных приложений, таких как голосовые помощники, системы видеозвонков и аудиоредакторы, где качество звука напрямую влияет на удобство использования.

Важность методов фильтрации аудиосигналов также связана с развитием технологий искусственного интеллекта и машинного обучения. Современные алгоритмы обработки речи и звука включают элементы адаптивной фильтрации, позволяя устройствам подстраиваться под изменяющиеся условия окружающей среды. Например, в шумных местах смартфоны могут автоматически усиливать голос пользователя и подавлять посторонние звуки, что значительно улучшает восприятие речи. Такие методы находят применение в системах автоматического перевода, голосового управления и биометрической идентификации по голосу.

Кроме того, методы фильтрации активно применяются в аудиостриминговых сервисах для повышения качества воспроизведения музыки. Использование алгоритмов эквализации, динамической компрессии и шумоподавления позволяет улучшать звук в зависимости от типа наушников или акустической среды. Многие современные музыкальные приложения внедряют персонализированные алгоритмы обработки, адаптирующие звук под предпочтения пользователя.

Использование методов фильтрации аудиосигналов в мобильных приложениях является не только важной технологической задачей, но и направлением, способствующим развитию новых форм взаимодействия человека с цифровыми устройствами. Совершенствование этих методов позволяет не только повысить качество звука, но и создать более интеллектуальные системы, способные адаптироваться к потребностям пользователей и обеспечивать комфортное аудиообщение в любых условиях.

1. Цель и основные задачи

Целью данной курсовой работы является изучение и анализ методов фильтрации аудиосигналов, а также их практическое применение в мобильных приложениях для улучшения качества звука, подавления шума и повышения разборчивости речи.

Основные задачи:

1. Изучение методов фильтрации аудиосигналов:
   1. Анализ основных методов обработки аудиосигналов.
   2. Рассмотрение их преимуществ, недостатков и областей применения в мобильных приложениях.
2. Реализация методов фильтрации аудиосигналов:
   1. Выбор наиболее подходящих алгоритмов для цифровой обработки звука.
   2. Разработка и программная реализация фильтров с использованием языка программирования Kotlin.
3. Написание интерфейса для применения данных методов в мобильном приложении:
   1. Создание пользовательского интерфейса для взаимодействия с системой фильтрации.
   2. Интеграция фильтрации аудиосигналов в мобильное приложение с учетом производительности и удобства использования.
4. Тестирование и оценка результатов:
   1. Проведение тестирования работы фильтров на различных аудиосигналах.
   2. Оценка качества фильтрации, анализа производительности и выявление возможных улучшений.
5. Описание методов
   1. Низкочастотные и высокочастотные фильтры

Фильтрация сигналов играет ключевую роль в цифровой обработке аудио, позволяя выделять полезные частотные компоненты и подавлять шумы. Одними из наиболее распространенных типов фильтров являются низкочастотные (Low-Pass Filter, LPF) и высокочастотные (High-Pass Filter, HPF).

Низкочастотный фильтр (НЧ-фильтр) предназначен для подавления частот выше заданной частоты среза и сохранения более низких частот. Такие фильтры применяются в системах шумоподавления, улучшения качества звука, выделения низкочастотных компонентов, например, в голосовых сигналах.

Одним из простейших вариантов является фильтр первого порядка, описываемый дифференциальным уравнением:

где:

* – входной сигнал.
* – выходной сигнал.
* – постоянная времени фильтра.

В цифровой обработке сигналов применяется разностное уравнение первого порядка:

где:

* – входной сигнал в дискретном случае.
* – выходной сигнал в дискретном случае.
* – коэффициент фильтрации, вычисляемый по формуле:

где – шаг дискретизации, а – частота дискретизации.

Этот фильтр выполняет экспоненциальное сглаживание входного сигнала и используется, например, для подавления высокочастотного шума в голосовых приложениях и музыкальных редакторах.

Высокочастотный фильтр (ВЧ-фильтр) выполняет противоположную задачу – подавляет низкие частоты и пропускает высокие. Он используется для удаления низкочастотного гула, подавления вибраций и выделения высокочастотных деталей в аудиосигнале.

Один из простейших реализуемых ВЧ-фильтров имеет дифференциальное уравнение:

В отличие от НЧ-фильтра, этот фильтр подавляет низкие частоты и усиливает высокие.

В цифровом виде высокочастотный фильтр можно описать разностным уравнением:

где в свою очередь вычисляется по следующей формуле:

Этот фильтр удаляет медленно изменяющиеся компоненты сигнала, такие как низкочастотные шумы, оставляя быстрые колебания.

В мобильных приложениях сочетание этих фильтров помогает адаптировать аудиосигналы под различные условия. Например, в VoIP-связи HPF устраняет низкочастотный фоновый шум, а LPF сглаживает резкие артефакты. В музыкальных редакторах LPF усиливает басы, а HPF повышает четкость звучания инструментов.

НЧ и ВЧ фильтры являются важнейшими инструментами цифровой обработки сигналов и находят широкое применение в мобильных технологиях.

* 1. Полосовой фильтр

Полосовой фильтр (Band-Pass Filter, BPF) – это разновидность частотного фильтра, предназначенного для пропускания сигналов в определенном диапазоне частот и ослабления всех остальных. Такой фильтр сочетает в себе свойства низкочастотного (Low-Pass Filter, LPF) и высокочастотного (High-Pass Filter, HPF) фильтров, работая по принципу удаления частот, расположенных ниже нижней границы полосы пропускания и выше ее верхней границы. Полосовой фильтр можно реализовать как в аналоговом, так и в цифровом виде, что делает его важным инструментом в обработке сигналов, в том числе в мобильных приложениях для работы с аудиосигналами.

Формула для полосового фильтра в дискретном представлении выглядит следующим образом:

где – выходной сигнал низкочастотного фильтра, а – выходной сигнал высокочастотного фильтра.

Этот метод фильтрации эффективен для выделения определенных частотных диапазонов в аудиосигналах, например, для обработки речи или музыкальных инструментов. В мобильных приложениях такие фильтры применяются для шумоподавления, улучшения разборчивости речи и обработки звуковых эффектов. Выбор частотных границ полосового фильтра зависит от конкретных задач, например, в радиосистемах полосовой фильтр может использоваться для выделения сигнала определенной частоты, а в аудиотехнике – для подавления нежелательных шумов.

* 1. Метод Калмана

Фильтр Калмана – это рекурсивный алгоритм оценки состояния системы, подверженной случайным шумам. Он позволяет предсказывать и корректировать значения наблюдаемых параметров, минимизируя влияние шума и неопределенности. Метод находит широкое применение в обработке аудиосигналов, особенно при подавлении шума и улучшении качества звука, так как позволяет динамически адаптироваться к изменяющимся характеристикам сигнала.

Математическая основа фильтра Калмана базируется на линейной модели системы, которая описывает эволюцию состояния во времени. Пусть – вектор состояния системы в момент времени , тогда динамика системы описывается уравнением:

где:

* – матрица перехода состояния, описывающая изменение состояния во времени.
* – матрица управления.
* – управляющий вход.
* – шум процесса, который считается случайным гауссовым шумом с нулевым средним и ковариационной матрицей :

Система производит измерения, которые связаны с истинным состоянием следующим уравнением:

где – наблюдаемый вектор измерений, – матрица наблюдений, связывающая состояние системы с измеряемыми параметрами, а – шум измерений, также предполагаемый гауссовым с нулевым средним и ковариационной матрицей :

Фильтр Калмана выполняет два ключевых шага: предсказание и обновление. На этапе предсказания рассчитывается априорная оценка состояния и его ковариации:

где – это предсказанное состояние, а – ковариационная матрица ошибки предсказания.

После получения нового измерения производится корректировка состояния. Для этого вычисляется матрица Калмана, определяющая, насколько следует доверять измерениям по сравнению с модельным предсказанием:

Затем обновляется оценка состояния:

И пересчитывается ковариационная матрица ошибки:

Фильтр Калмана на каждом шаге динамически корректирует свою оценку состояния на основе новых измерений. В обработке аудиосигналов этот метод позволяет эффективно подавлять шум, поскольку он использует априорную информацию о модели сигнала и адаптируется к изменениям в данных. Например, если шум обладает известной статистикой, фильтр Калмана может выделять полезный сигнал, минимизируя влияние случайных возмущений. В частности, он применяется в шумоподавлении речи, удалении фона в аудиозаписях и повышении разборчивости голоса в зашумленных условиях.

* 1. Гауссов и медианный фильтры

Методы фильтрации, такие как гауссов и медианный фильтры, широко используются в обработке аудиосигналов для подавления шума. Они относятся к категории линейных и нелинейных фильтров, соответственно, и применяются для улучшения качества звука в различных условиях.

Гауссов фильтр является линейным фильтром, основанным на применении ядра с гауссовым распределением для сглаживания сигналов. Ядро Гаусса имеет вид функции Гаусса:

где – расстояние от центра ядра (от текущего элемента в аудиосигнале), а – стандартное отклонение, которое контролирует ширину гауссовой кривой.

Суть работы гауссова фильтра заключается в том, чтобы применить это ядро к сигналу, заменяя каждое значение на взвешенное среднее значений из окрестности текущего элемента с учетом гауссовых весов. Таким образом, каждый элемент сигнала будет более похож на соседние значения, что снижает влияние случайных шумов.

Процесс применения гауссова фильтра в случае одномерного аудиосигнала можно описать следующим образом. Пусть – это входной сигнал, а – выходной сигнал после фильтрации. Тогда выходной сигнал для каждого значения вычисляется как свертка входного сигнала с ядром Гаусса:

где – значение ядра Гаусса для сдвига , а – значения аудиосигнала на соответствующих временных позициях.

Медианный фильтр, в отличие от гауссова, является нелинейным фильтром, который работает, заменяя каждое значение сигнала медианой значений в окрестности текущего элемента. Такой фильтр эффективен для удаления импульсного шума, который выражается в виде резких выбросов. Окно медианного фильтра имеет фиксированный размер, например, , и медианная фильтрация для каждого элемента сигнала рассчитывается как медиана всех значений в окне вокруг текущего элемента.

Формально медианная фильтрация для одномерного сигнала может быть записана следующим образом. Пусть – это входной сигнал, а – его фильтрованный вариант. Тогда выходной сигнал на позиции определяется как медиана значений во временном окне вокруг :

где – размер окна, которое определяется пользователем в зависимости от характеристик шума. Для каждого значения в окне берутся все соседние элементы сигнала, затем эти значения сортируются, и медианное значение (то есть центральное значение после сортировки) становится результатом фильтрации.

Главное отличие медианного фильтра от гауссова заключается в том, что медианный фильтр не применяет взвешенные средние значения, а использует медиану, что позволяет эффективно удалять импульсные шумы, не размывая сигнал. Например, если в окне фильтрации присутствуют аномально большие или маленькие значения, такие как выбросы, медианный фильтр будет игнорировать их и заменять на центральное значение, которое лучше отражает нормальные данные.

Оба этих фильтра используются для улучшения качества аудиосигнала, но их применение зависит от типа шума, с которым нужно работать. Гауссов фильтр часто применяется для устранения гауссовского шума, который представляет собой плавные и случайные колебания сигнала, в то время как медианный фильтр более эффективен при наличии резких выбросов или импульсного шума.

* 1. Метод шумоподавления с использованием спектрального вычитания

<https://en.wikipedia.org/wiki/Low-pass_filter>

<https://en.wikipedia.org/wiki/High-pass_filter>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Band-pass_filter>

https://en.wikipedia.org/wiki/Kalman\_filter