Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

|  |  |
| --- | --- |
| Факультет | компьютерных систем и сетей |
|  |  |
| Кафедра | электронных вычислительных средств |

|  |  |
| --- | --- |
|  | *К защите допустить:* |
|  |  |
|  | Заведующий кафедрой ЭВС |
|  | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ И. С. Азаров |

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту

на тему

**СИСТЕМА ШУМОПОДАВЛЕНИЯ ДЛЯ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ**

БГУИР ДП 1-40 02 02 01 001 ПЗ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студент |  | Я. А. Рогова |
|  |  |  |
| Руководитель |  | М. И. Порхун |
|  |  |  |
| Консультанты: |  |  |
| *от кафедры ЭВС* |  | М. И. Порхун |
|  |  |  |
| *по экономической части* |  | Т. А. Рыковская |
|  |  |  |
| Нормоконтролер |  | … |
|  |  |  |
| Рецензент |  | … |

Минск 2022

**РЕФЕРАТ**

СИСТЕМА ШУМОПОДАВЛЕНИЯ В РЕЧЕВЫХ СИГНАЛАХ : дипломный проект / Я. А. Рогова. – Минск : БГУИР, 2022, – п.з. – 79 с., чертежей (плакатов) – 6 л. формата А1

CОДЕРЖАНИЕ

[Введение 6](#_Toc100823883)

[1 Обзор существующих методов шумоподавления для речевых сигналов 8](#_Toc100823884)

[1.1 Существующие методы шумоподавления в речевых сигналах 8](#_Toc100823885)

[1.2 Методы, основанные на спектральном вычитании 8](#_Toc100823886)

[1.2.1 Базовый алгоритм спектрального вычитания 8](#_Toc100823887)

[1.2.2 Спектральное сверхвычитание 11](#_Toc100823888)

[1.2.3 Субполосное спектральное вычитание 12](#_Toc100823889)

[1.3 Адаптивные фильтры 13](#_Toc100823890)

[1.3.1 Оптимальный фильтр Винера 14](#_Toc100823891)

[1.3.2 Адаптивный алгоритм LMS 14](#_Toc100823892)

[1.3.3 Адаптивный алгоритм RLS 14](#_Toc100823893)

[1.4 Нейронные сети 15](#_Toc100823894)

[1.5 Модели восприятия речи человеком 15](#_Toc100823895)

[2 Анализ технического задания 16](#_Toc100823896)

[2.1 Анализ требований к алгоритму 16](#_Toc100823897)

[2.2 Анализ требований к программной реализации 16](#_Toc100823898)

[2.3 Выбор и обоснование метода решения задачи 16](#_Toc100823899)

[3 Разработка структуры и алгоритма системы шумоподавления для речевых сигналов 18](#_Toc100823900)

[4 Программная реализация системы шумоподавления для речевых сигналов 19](#_Toc100823901)

[5 Технико-экономическое обоснование разработки системы шумоподавления в речевых сигналах 20](#_Toc100823902)

[6 Анализ результатов тестирования системы 21](#_Toc100823903)

[Заключение 22](#_Toc100823904)

[Список используемых источников 23](#_Toc100823905)

Введение

Список используемых источников нужно будет менять. Нумерация во время написания пояснительной записки будет соответствовать файлу «Список используемых источников (предварительный).docx».

Рекомендуется следующее содержание введения (предисловия):

− краткий анализ достижений в той области, которой посвящена тема дипломного проекта (работы);

− цель дипломного проектирования;

− принципы, положенные в основу проектирования, научного исследования, поиска технического решения;

− краткое изложение содержания разделов пояснительной записки с обязательным указанием задач, решению которых они посвящены.

Речь является одной из наиболее часто используемых форм обмена информацией между людьми. В настоящее время существует множество технологий, обеспечивающих передачу речевых сигналов на расстояние.

Зачастую во время записи речевые сигналы подвергаются воздействию тех или иных шумов, возникающих из-за несовершенства записывающей аппаратуры, собственных шумов микрофонов и шума окружающей среды [6]. В результате появления аддитивного шума в записанном речевом сигнале ухудшается его разборчивость при воспроизведении. В связи с этим создание методов обработки речевых сигналов, позволяющих понизить шум для повышения качества звучания, является актуальной задачей.

В настоящее время существует множество методов цифровой обработки сигналов, очищающих речевые сигналы от шумов: адаптивные методы шумоподавления; методы, использующие спектральные характеристики шума; методы, основанные на использовании моделей нейронных сетей; методы, основанные на моделях восприятия речи человеком.

Целью данного дипломного проекта является исследование современных методов шумоподавления, применяемых для повышения качества речевых сигналов, а также проектирование системы шумоподавления с использованием одного из существующих методов.

Проектирование системы шумоподавления в речевых сигналах производилось в несколько этапов, отраженных в структуре пояснительной записки данного дипломного проекта.

Первоначально необходимо ознакомиться с существующими методами шумоподавления для речевых сигналов. Для выполнения этого этапа был осуществлен поиск теоретического материала и его последующий анализ. В первом разделе пояснительной записки приведены результаты анализа наиболее часто используемых методов шумоподавления для речевых сигналов.

Следующим этапом выполнения дипломного проекта является анализ технического задания дипломного проекта, в результате которого был выбран метод, составляющий основу алгоритма работы системы. Результаты данного этапа приведены во втором разделе пояснительной записки.

На основе выбранного метода шумоподавления было проведено проектирование системы. Этот этап описан в третьем разделе, который содержит в себе описание алгоритма работы системы, а также ее структуру.

Для проверки работоспособности алгоритма работы системы была осуществлена его программная реализация. Особенности этого этапа приведены в четвертом разделе.

Следующим этапом является технико-экономическое обоснование разработки системы шумоподавления для речевых сигналов, результаты выполнения которого приведены в пятом разделе.

На следующем этапе осуществляется тестирование разработанной системы. Результаты тестирования системы отражены в шестом разделе.

В завершение был проведен анализ результатов проектирования системы, результаты которого представлены в последнем разделе пояснительной записки.

# Обзор существующих методов шумоподавления для речевых сигналов

## Существующие методы шумоподавления в речевых сигналах

На данный момент существует множество методов для решения задачи шумоподавления в речевых сигналах. Главными направлениями в решении задачи шумоподавления в речевых сигналах являются алгоритмы, основанные на использовании спектральных характеристик шума, и адаптивная фильтрация.

Спектральные характеристики шума чаще всего используется в алгоритмах спектрального вычитания, в которых входной сигнал представляется как сумма речевого сигнала и шума. На участках, где отсутствует речь, оценивается спектральная плотность мощности шума. Восстановленный сигнал формируется посредством вычитания спектральной плотности мощности шума из спектральной плотности мощности речевого сигнала [1].

Другой подход к решению задачи шумоподавления в речевых сигналах – это использование адаптивных фильтров. Адаптивный фильтр состоит из цифрового фильтра с изменяемыми коэффициентами и адаптивного алгоритма, который используется для изменения коэффициентов фильтра. Коэффициенты цифрового фильтра регулируются некоторым адаптивным алгоритмом, в котором сигнал ошибки минимизируется согласно выбранному критерию. [4].

## Методы, основанные на спектральном вычитании

Алгоритм используются в случаях, когда входящий зашумленный сигнал *x*(*n*) можно представить как сумму речевого сигнала *s*(*n*) и аддитивного шума *d*(*n*):

|  |  |
| --- | --- |
| . | (1.2.1) |

### Базовый алгоритм спектрального вычитания

Базовый алгоритм спектрального вычитания был разработан для очистки сигналов от белого шума. Входящий зашумленный сигнал разбивается на перекрывающиеся фреймы. Предполагается, что *k* первых фреймов содержат только шум. Начальное значение спектра мощности шума рассчитывается как среднее значение для каждого отсчета в первых *k* фреймах.

Последующая обработка осуществляется последовательно для каждого фрейма. Фрейм умножается на оконную функцию, после чего применяется преобразование Фурье для перехода в частотную область. Далее осуществляется переход к полярным координатам, чтобы фаза выходного сигнала была такой же, как у входного. Для определения наличия речевого сигнала в текущем фрейме высчитывается значение сегментного отношения сигнал/шум (ОСШ).

После выполнения шагов, перечисленных выше, выполняется спектральное вычитание, формула которого в общем виде выглядит следующим образом:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (1.2.2) |

где , – амплитудные спектры очищенного и зашумленного сигнала соответственно; – оценка амплитудного спектра шума, определенная как усредненное значение его амплитуд во время пауз в речи; *p* – показатель степени.

На практике зачастую используют показатель *p* = 2:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (1.2.3) |

В правой части формулы (1.2.3) может получиться значение ниже нуля при неточной оценке амплитудного спектра шума. Однако значение амплитуды не может быть отрицательным числом, поэтому необходимо ограничить отрицательные компоненты:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.2.4) |

После выполнения спектрального вычитания необходимо определить, присутствует ли во фрейме речь. Для этого ранее полученное значение сегментного ОСШ сравнивается с его пороговым значением, определенным экспериментально. Если полученное значение больше порогового, значит во фрейме присутствует речь, иначе фрейм содержит только шум. Если определено, что во фрейме отсутствует речь, то происходит новая оценка спектра мощности шума методом экспоненциального усреднения:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (1.2.5) |

где γ – коэффициент усреднения, который обычно берется в диапазоне 0,9 < γ < 1.

Далее осуществляется переход из полярных координат к декартовым и выполняется обратное преобразование Фурье, в результате которого получается итоговый выходной сигнал.

Структура описанного алгоритма приведена на рисунке 1.1:



Рисунок . – Структура базового алгоритма спектрального вычитания

В случае вычисления спектра шума на коротком интервале времени в нем присутствуют локальные минимумы и максимумы. Когда из спектра зашумленного сигнала вычитается оценка среднего значения шума, в окрестности локального минимума спектр принимает нулевое значение, а максимумы лишь уменьшают амплитуду. В результате в спектре шума остаются локальные максимумы, которые продолжают восприниматься как шум. При этом наиболее широкие максимумы воспринимаются как широкополосный шум, а узкие – как изменяющиеся тона, которые называют музыкальным шумом.

Плюсами данного алгоритма являются его простота и вычислительная скорость. К минусам можно отнести неполную очистку речевого сигнала от шума и появление музыкального шума в очищенном сигнале.

### Спектральное сверхвычитание

Для уменьшения музыкального шума, возникающего в базовом алгоритме спектрального вычитания используется данная модификация алгоритма. В ней вводятся два дополнительных параметра: коэффициент сверхвычитания α и коэффициент спектрального минимума шума β [2]. Амплитудный спектр очищенного сигнала вычисляется следующим образом:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.2.6) |

при этом α ≥ 1, 0 < β << 1.

Коэффициент сверхвычитания α позволяет увеличить вычитаемый амплитудный спектр шума, что приводит к лучшему очищению сигнала от шума, в то время как коэффициент спектрального минимума шума β уменьшает воспринимаемый музыкальный шум. При больших значениях β остаточный шум достаточно ощутим, а при низких возникает высокий уровень музыкального шума. Таким образом, использование коэффициентов α и β позволяет добиться компромисса между количеством остаточного шума и уровнем воспринимаемого музыкального шума.

Преимуществом данного подхода является лучшая очистка сигнала от шума, чем при использовании базового алгоритма, и лучшее подавление музыкального шума. Однако после применения присутствует остаточный шум, влияющий на качество сигнала. Так же недостатком алгоритма является допущение, что шум одинаково влияет на весь речевой спектр, из-за чего используется один коэффициент α для всего спектра речи, в результате чего речь искажается.

### Субполосное спектральное вычитание

Реальный шум влияет на речевой сигнал по-разному на разных участках спектра. Сегментное ОСШ в низкочастотных диапазонах значительно выше, чем в высокочастотных. Идея данной модификации состоит в том, чтобы использовать большие значения коэффициента сверхвычитания α на частотах с низким значением ОСШ и малые – на частотах с высоким [2].

В этой модификации алгоритма спектр сигнала делится на k неперекрывающихся полос и в каждой полосе происходит независимое спектральное вычитание [3]:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (1.2.7) |

где *i* – номер полосы; – коэффициент сверхвычитания, зависящий от значения ОСШ в *i*-й полосе; – дополнительный коэффициент вычитания в *i*-й полосе, который устанавливается отдельно для каждой полосы; и – минимальное и максимальное значение частоты *i*-й полосы соответственно.

В случае получения отрицательного результата в правой части выражения (1.2.7) необходимо провести ограничение отрицательных компонентов:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.2.8) |

На рисунке 1.2 приведено описание последовательности выполнения модификации алгоритма, при это предварительная и последующая обработки совпадают с базовым алгоритмом спектрального вычитания.

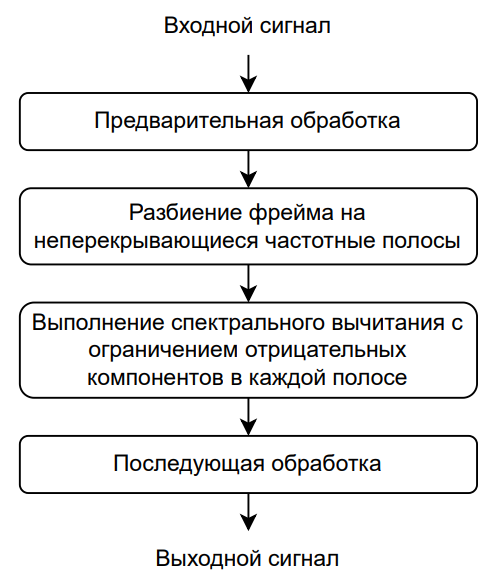


Рисунок . – Структура алгоритма субполосного спектрального вычитания

В статье [3] говорится, что для получения хорошего качества речи после обработки данным методов достаточно разделения спектра на четыре полосы.

Преимуществом данного метода над базовым алгоритмом спектрального вычитания является лучшее качество очистки речи от различного рода шумов, а также значительное снижение воспринимаемого музыкального шума, при этом дополнительная вычислительная сложность алгоритма минимальна.

## Адаптивные фильтры

На адаптивный фильтр поступает два сигнала: зашумленный речевой сигнал *d*(*k*), в котором речь и шум не коррелируют, и мера зашумленного сигнала *x*(*k*), коррелирующая с шумом из первого сигнала. Цифровой фильтр обрабатывает шумовой сигнал для получения оценки шума , после чего очищенный сигнал оценивается как разность зашумленного сигнала и полученной оценки шума. Выходной сигнал является одновременно результирующим очищенным сигналом и сигналом ошибки *e*(*k*), применяем для корректировки коэффициентов цифрового фильтра. Зачастую критерием минимизации сигнала ошибки *ek* выступает среднее квадратическое отклонение (СКО).

На рисунке 1.3 изображена схема работы адаптивного фильтра:

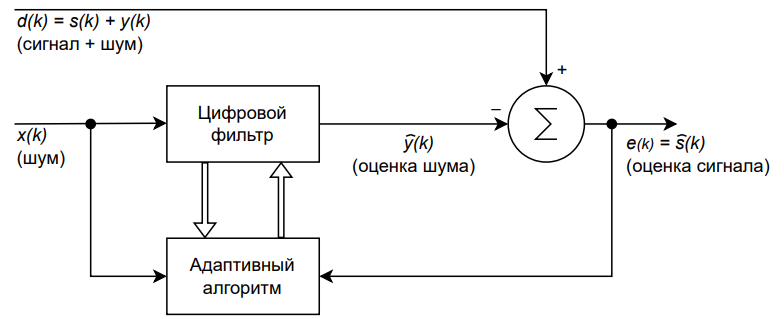


Рисунок . – Структурная схема адаптивного фильтра

### Оптимальный фильтр Винера

Сигнал шума *x*(*k*) обрабатывается дискретным фильтром порядка *N* с весовыми коэффициентами {*wn*}, *n* = 0, 1, ..., *N*, выходной сигнал которого равен:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.3.1) |

### Адаптивный алгоритм LMS

Метод наименьшего квадрата

Главным достоинством алгоритма LMS является низкая вычислительная сложность алгоритма – для подстройки коэффициентов фильтра на каждом шаге необходимо выполнить N + 1 пар «умножение-сложение». Минусами являются медленная сходимость и повышенная по сравнению с минимально достижимым значением дисперсия ошибки в установившемся режиме [5].

### Адаптивный алгоритм RLS

Рекурсивный метод наименьших квадратов

Алгоритм RLS требует значительно большего числа операций по сравнению с алгоритмом LMS, что является минусом. Его вычислительная сложность вырастает квадратично с увеличением порядка фильтра. Однако RLS-алгоритм сходится значительно быстрее LMS-алгоритма.

## Нейронные сети

## Модели восприятия речи человеком

# Анализ технического задания

## Анализ требований к алгоритму

Основными требованиями к алгоритму работы системы шумоподавления для речевых сигналов являются:

– независимость от типа аддитивного шума;

– высокая скорость обработки сигнала от шума.

Далее рассмотрены способы удовлетворения требований, перечисленных выше.

Независимость от типа аддитивного шума, присутствующего в начальном сигнале, позволяет использовать систему для очистки сигналов от различных типов шумов, а не от одного конкретного. Указанное требование удовлетворяется путем выбора алгоритма шумоподавления, нацеленного на подавление различных типов шумов.

Высокая скорость обработки речевого сигнала от шума достигается путем выбора менее ресурсоемких алгоритмов цифровой обработки сигналов.

## Анализ требований к программной реализации

В техническом задании по данному дипломному проекту указаны следующие требования к программной реализации системы шумоподавления для речевых сигналов:

– минимальная частота дискретизации: 12 кГц;

– минимальное количество бит на отсчёт: 16;

– число каналов во входном звуковом сигнале: 1.

Перечисленные требования были учтены при выполнении программной реализации системы.

## Выбор и обоснование метода решения задачи

Задачей разрабатываемой системы является снижение уровня шума в записанном речевом сигнале.

Исходя из информации, приведенной в разделе 1, в настоящее время широко используются следующие методы шумоподавления для речевых сигналов:

– спектральное вычитание;

– адаптивная фильтрация;

– методы, использующие модели восприятия речи человеком;

– методы, использующие модели нейронных сетей.

Перед осуществлением выбора основного метода необходимо произвести анализ указанных методов.

Методы спектрального вычитания обладают низкой вычислительной сложностью алгоритма, однако в результате их применения возникают музыкальные шумы.

При использовании адаптивной фильтрации происходит лучшая очистка сигнала от шума посредством того, что коэффициенты фильтра пересчитываются. При использовании адаптивной фильтрации в результате получается алгоритм с низкой вычислительной сложностью и медленной сходимостью или быстро сходящийся алгоритм, обладающий высокой вычислительной сложностью.

Основываясь на информации, изложенной выше, а также на требованиях, предъявленных к алгоритму, целесообразно выбрать метод шумоподавления, основанный на методе субполосного спектрального вычитания. Данный метод позволит добиться относительно быстрой обработки речевого сигнала при обеспечении оптимального потребления вычислительных ресурсов и сведет музыкальные шумы к минимуму.

# Разработка структуры и алгоритма системы шумоподавления для речевых сигналов

# Программная реализация системы шумоподавления для речевых сигналов

# Технико-экономическое обоснование разработки системы шумоподавления в речевых сигналах

## Характеристика системы шумоподавления для речевых сигналов

Проводимая научно-исследовательская работа заключается в проектировании системы шумоподавления для речевых сигналов на основе метода субполосного спектрального вычитания.

Для кого разрабатывается проект

В чем преимущество перед аналогами

## Разработка плана проведения научно-исследовательской работы

Данная работа проводится в рамках внутреннего исследования университета с дальнейшим развитием в научных статьях и журналах. План на проведение научно-исследовательской работы представлен в таблице 5.1. В данном плане отражены этапы проектирования системы шумоподавления для речевых сигналов на основе метода субполосного спектрального вычитания, а также количество и состав исполнителей: научный руководитель и ответственный исполнитель.

Основными методами определения трудоёмкости являются система аналогов, метод прямого счёта и метод экспертных оценок. В данной работе при расчете трудоемкости использовался метод прямого счета. При прямом счёте трудоёмкость обосновывается руководителем совместно с дипломником.

Таблица 5.1 – План проведения научно-исследовательской работы

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование этапа и вида работы | Исполнитель (должность, квалификация) | Численность исполнителей, чел. | Продолжительность выполнения работы, д. |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 Сопоставление и утверждение ТЗ на НИР | Научный руководитель, ответственный исполнитель | 2 |  |
| 2 Сбор научно-технической литературы и других материалов, относящихся к теме исследования | Ответственный исполнитель | 1 |  |
| 3 Изучение собранных материалов и научно-технической литературы, относящихся к теме исследования | Ответственный исполнитель | 1 |  |
| 4 Проведение патентных исследований | Ответственный исполнитель | 1 |  |
| 5 Формулирование возможных направлений решения задач, поставленных в ТЗ на НИР | Ответственный исполнитель | 1 |  |
| 6 Сравнительная оценка возможных направлений решения задач, поставленных в ТЗ на НИР | Ответственный исполнитель | 1 |  |
| 7 Составление аналитического обзора состояния вопросов по теме | Ответственный исполнитель | 1 |  |
| 8 Выбор и обоснование принятого направления проведения исследований способов решения поставленных задач | Научный руководитель, ответственный исполнитель | 2 |  |
| 9 Разработка общей методики проведения исследований | Ответственный исполнитель | 1 |  |
| 10 Проектирование структуры системы шумоподавления для речевых сигналов | Ответственный исполнитель | 1 |  |
| 11 Проектирование алгоритма работы системы шумоподавления для речевых сигналов | Ответственный исполнитель | 1 |  |
| 12 Программная реализация структуры и алгоритма работы системы шумоподавления для речевых сигналов | Ответственный исполнитель | 1 |  |
| 13 Составление промежуточного отчёта и его рассмотрение | Научный руководитель, ответственный исполнитель | 2 |  |
| 14 Разработка частных методик проведения экспериментальных исследований. | Ответственный исполнитель | 1 |  |
| 15 Подготовка моделей, а также испытательного оборудования, необходимых для проведения экспериментальных исследований | Научный руководитель, ответственный исполнитель | 2 |  |
| 16 Проведение экспериментальных исследований | Ответственный исполнитель | 1 |  |
| 17 Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями | Научный руководитель, ответственный исполнитель | 2 |  |
| 18 Корректировка теоретических моделей  исследований | Научный руководитель, ответственный исполнитель | 2 |  |
| 19 Проведение дополнительных  экспериментов | Ответственный исполнитель | 1 |  |
| 20 Обобщение результатов предыдущих этапов работы | Научный руководитель, ответственный исполнитель | 2 |  |
| 21 Оценка полноты решения поставленных задач | Ответственный исполнитель | 1 |  |
| 22 Составление и оформление отчета | Ответственный исполнитель | 1 |  |
| 23 Рассмотрение результатов проведенной НИР | Ответственный исполнитель | 1 |  |

# Анализ результатов тестирования системы

Заключение

Список используемых источников