

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

УДК 621.391.8:621.395.611.75

Артюшевский Егор Олегович

Радиопетличный микрофон с системой шумоподавления

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-39 80 02 «Радиотехника, в том числе системы и  
устройства радионавигации, радиолокации и телевидения»

---

Научный руководитель  
Карпушкин Э.М.  
Доцент, к.т.н.

---

Минск 2020

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Речь – самый эффективный и самый удобный инструмент для человеческого общения. Это играет очень важную роль в нашей повседневной жизни.

Однако «мы живем в шумном мире» [11]! Речевые сигналы обычно ухудшаются из-за шума. Например, при использовании телефона, рекордера, слухового аппарата, компьютерного интерфейса и многих других речевых инструментов желаемый речевой сигнал обычно ухудшается из-за шума окружающей среды и внутреннего шума устройства. Необходимо подавить или устранить шум в искаженном речевом сигнале, прежде чем мы воспроизведем, передадим, или восстановим его.

Тем не менее, улучшение речи является довольно сложной задачей для исследователей [11]. Научно-исследовательские работы в этой области начались в 1960-х годах. До сих пор была проделана большая работа и было предложено много подходов. Однако подходы все еще далеки от удовлетворительных. Проблема остается в значительной степени открытой.

Большинство методов или алгоритмов для улучшения речи на основе микрофонной решетки используют довольно большие массивы. Массивы имеют большое количество микрофонов, и апертуры массивов обычно большие. Большая апертура может сильно ограничить применение массива микрофонов. Если решетка используется в телефоне, мобильном телефоне, слуховом аппарате или КПК, массив должен быть достаточно маленьким, чтобы его можно было встроить в эти небольшие устройства. Поэтому изучение методов или алгоритмов улучшения речи с использованием небольшой микрофонной решетки имеет большое значение.

Эта работа будет сосредоточена на изучении методов или алгоритмов для улучшения речи с использованием небольшой микрофонной решетки. Данная работа в основном рассматривает алгоритмы с низкой вычислительной сложностью для возможности их реализации в реальном времени.

# **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

## **Цель и задачи исследования**

Цель данного исследования - разработка и исследование алгоритма шумоподавления, подходящего для использования в составе системы радиомикрофона для решения задач шумоподавления в реальном времени и обеспечивающего достаточное повышение отношения сигнал/шум.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие основные задачи:

1. Анализ основных существующих алгоритмов шумоподавления и их исследование.
2. Исследование возможности комбинирования разнообразных алгоритмов шумоподавления для достижения лучших результатов работы.
3. Исследование работоспособности и свойств алгоритмов посредством моделирования и исследований в реальной среде.

## **Личный вклад соискателя**

Все основные результаты, изложенные в диссертационной работе, получены при непосредственном участии соискателя. Научному руководителю Э. М. Карпушкину принадлежит постановка ряда основных задач. Исследования алгоритмов шумоподавления в условиях реальной среды осуществлялись на студии звукозаписи Platinum с использованием предоставленного оборудования.

## **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из трех глав с выводами по каждой главе, заключения, списка использованных источников. Общий объем диссертационной работы составляет 91 страницу, из них 80 страниц основного текста, 40 рисунков на 30 страницах, 3 таблицы на 3 страницах, список использованных источников содержит 44 наименования на 4 страницах.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Данная работа начинается с рассмотрения и описания основных существующих многоканальных алгоритмов шумоподавления, таких как ANC, MANC, CRANC и MCRANC.

Среди многих алгоритмов улучшения речи алгоритм адаптивного шумоподавления (Adaptive Noise Cancellation, ANC) остается одним из наиболее важных. Он может использоваться с различными видами шумов и его легко реализовать в реальном времени, поскольку он имеет низкую вычислительную сложность. В отличие от многих других алгоритмов, которые требуют использования массива микрофонов с большой апертурой, он может хорошо работать с небольшой сеткой микрофонов.

Из-за особенностей распространения аудиосигнала шумы, полученные основным каналом и вторичным каналом, могут не полностью коррелироваться в системе ANC с двумя микрофонами. В связи с этим производительность алгоритма улучшения речи с использованием двухканального ANC ограничена. Для повышения производительности необходимо использовать больше микрофонов для формирования массива микрофонов.

В алгоритме ANC вторичный канал в идеале должен содержать только шумовой сигнал. В противном случае речевой сигнал в основном канале будет частично или даже в значительной степени подавлен с подавлением шума. Чем выше уровень речевого сигнала, попадающего во вторичный канал, тем больше речевого подавления происходит в основном канале и, следовательно, хуже результат работы алгоритма усиления речи. Однако в практической среде вторичный канал практически не может содержать только шум. В частности, в небольшой сетке микрофонов вторичный канал имеет почти такое же количество речевого сигнала, что и основной канал. Эта проблема побуждает нас искать новые алгоритмы шумоподавления для небольшой группы микрофонов.

В реальной среде может быть несколько источников шума. Даже если имеется только один источник шума, шум может проходить по многим путям распространения к любому принимающему микрофону, таким как прямой путь, путь преломления и путь отражения. Эти факты распространения могут привести к снижению эффективности в двухканальном алгоритме ANC. Причина этого заключается в том, что один канал только эталонного шума не может полностью устранить шум в основном канале. Одним из решений является использование большего количества микрофонов для получения большего количества вторичных каналов помех и использование всех их для подавления шума в основном канале. Теоретические и экспериментальные результаты подтвердили, что эта схема осуществима и эффективна.

Алгоритмы ANC и MANC предполагают, что нет речевого компонента во вторичном канале. В противном случае речь в основном канале может быть частично подавлена в процессе шумоподавления. Однако в большинстве сред речевой сигнал может неизбежно распространяться на вторичные микрофоны и заставлять вторичный канал также содержать речь, особенно когда апертура микрофонной решетки мала. Следовательно, общий алгоритм ANC не подходит для улучшения речи в таких условиях. Если сигнал основного канала и сигнал вторичного канала содержат как речь, так и шум, мы называем это явление «перекрестными помехами» речевого сигнала (или шумового сигнала). В подобных условиях предлагается использовать двухканальный алгоритм адаптивного шумоподавления, устойчивого к перекрестным помехам (CRANC). Он состоит только из двух фильтров и имеет низкую вычислительную сложность. Кроме того, он обладает хорошей стабильностью и может справляться с различными видами шумов.

Алгоритм MCRANC является улучшенной версией CRANC, основанной на использовании нескольких вторичных микрофонов. Результаты экспериментов на рисунке 1 демонстрируют, что среди рассмотренных выше алгоритмов MCRANC является оптимальным, он обеспечивает достаточное шумоподавление, при этом не подавляя в значительной степени полезный речевой сигнал, в отличие от MANC.

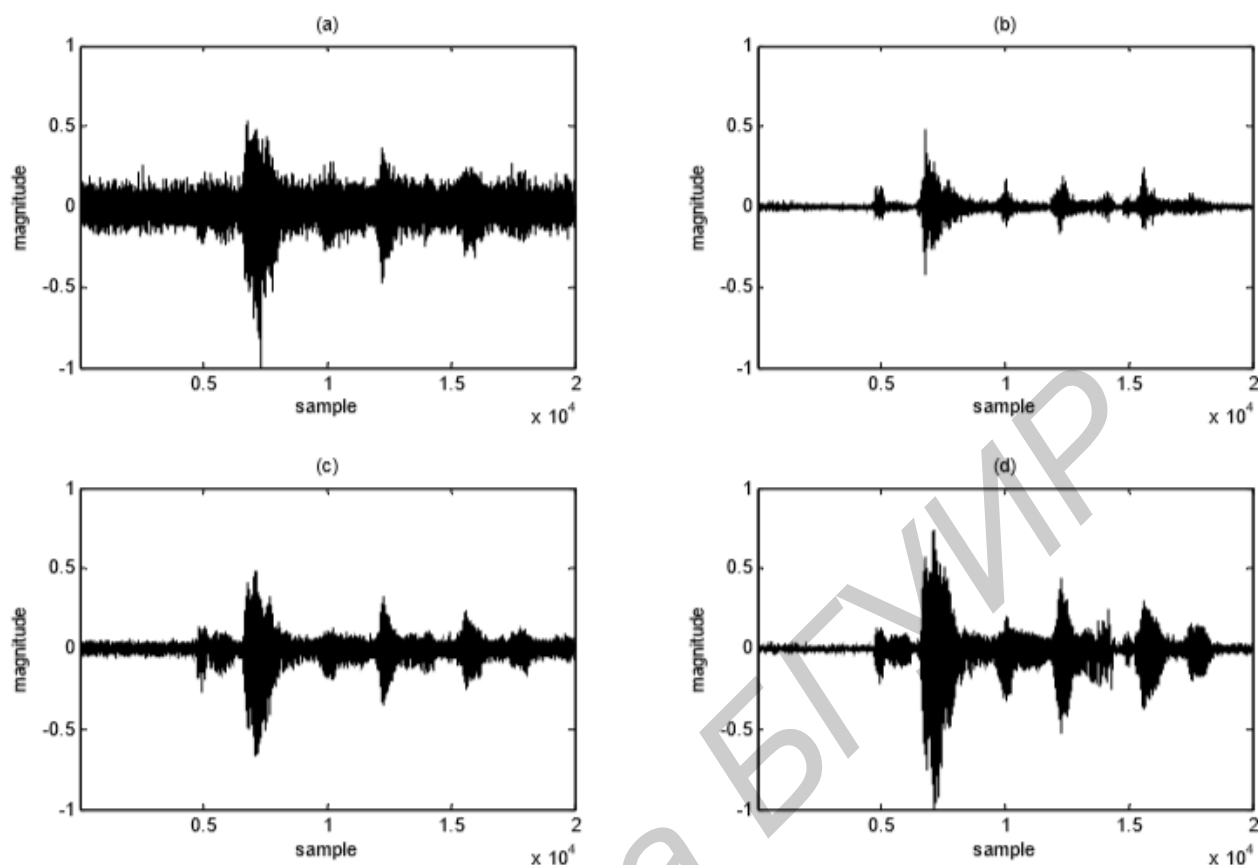


Рисунок 1 - Результаты экспериментов использования алгоритмов MANC, CRANC и MCRANC

- (a) – Зашумленная речь
- (b) – Результат работы MANC
- (c) – Результат работы двухканального CRANC
- (d) – Результат работы MCRANC

Далее в работе предлагаются комбинации алгоритма MCRANC с основными одноканальными алгоритмами шумоподавления, которые используют выходной сигнал алгоритма MCRANC для дальнейшей обработки и улучшения.

Предлагаются три комбинированных алгоритма, использующие многоканальное устойчивое к перекрестным помехам адаптивное шумоподавление (MCRANC) и другие существующие алгоритмы. Первый комбинированный алгоритм – это комбинация MCRANC с одноканальным улучшенным спектральным вычитанием (ISS). Вторым является комбинация с формированием луча с задержкой и суммой (DAS), который является основным алгоритмом для обработки сигналов матрицы датчиков. Третий – это комбинация с многоканальной постфильтрацией Вейнера (WPF). Теоретический анализ и экспериментальные результаты подтверждают, что

комбинированные алгоритмы достигают лучших характеристик улучшения речи.

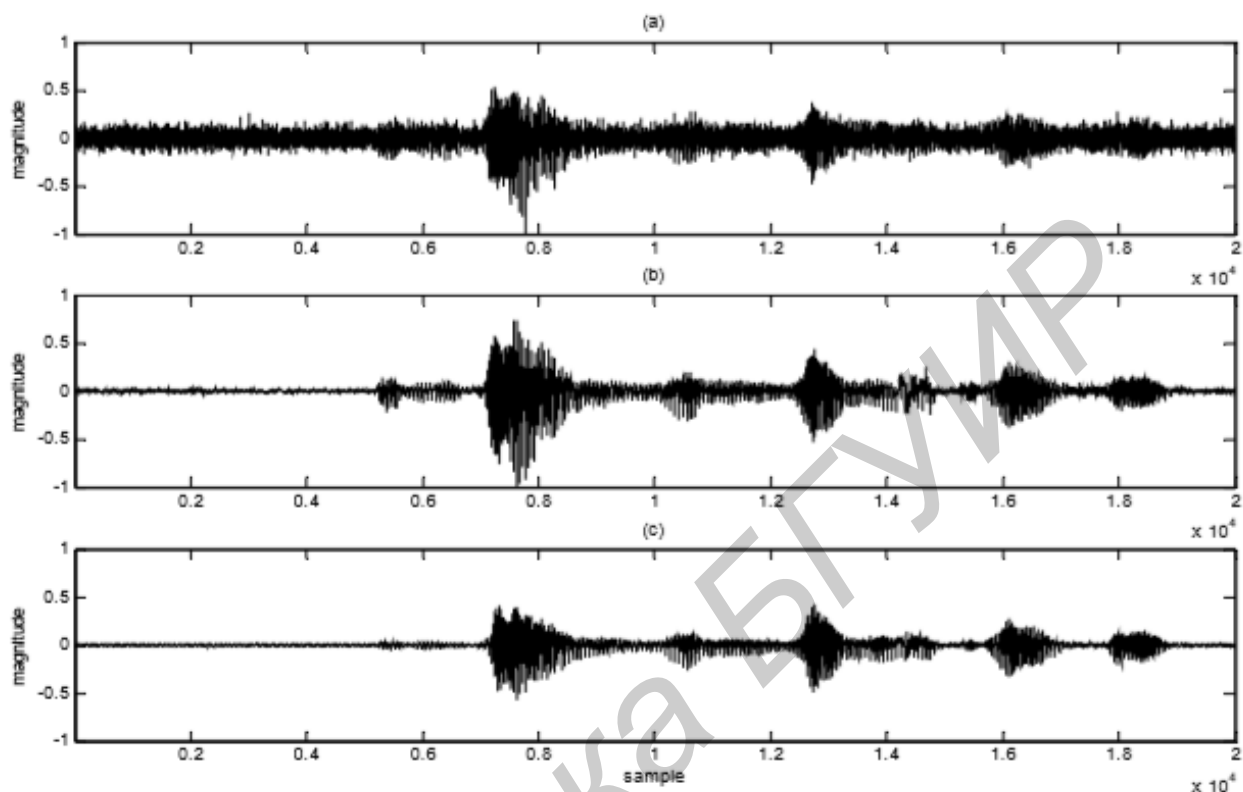


Рисунок 2 - Результаты экспериментов, демонстрирующие работу комбинации MCRANC с алгоритмом WPF

(a) – Зашумленная речь  $x_1(k)$

(b) – Выходной сигнал первой подсистемы MCRANC  $x_1'(k)$

(c) – Окончательно улучшенная речь  $y(k)$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Улучшение речи имеет широкую область применения, но это сложная область исследований. Среди многих алгоритмов улучшения речи алгоритмы, основанные на микрофонной решетке, могут достигать наилучших характеристик. Однако общий набор микрофонов не может быть встроен во многие небольшие устройства. Поэтому исследование алгоритмов для небольшой группы микрофонов имеет большое значение. Требования к небольшому размеру и меньшему количеству микрофонов делают исследование более сложным.

В этой работе предлагается три гибридных алгоритма для улучшения речи с использованием небольшой микрофонной решетки. Основаны они на объединении алгоритма MCRANC с основными одноканальными алгоритмами, такими как ISS, DAS и WPF.

Предложенные алгоритмы можно развивать и дальше, каскадируя с другими алгоритмами шумоподавления, однако это может сильно увеличить вычислительную сложность, что скажется на возможности использовать данные алгоритмы в реальном времени.

Исследованные алгоритмы отвечают требованиям вычислительной сложности для использования в реальном времени, а также обеспечивают достаточную степень улучшения ОСШ для использования их в системе радиопетличного микрофона с системой шумоподавления.



## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Артюшевский Е.О. Радиопетличный микрофон с системой шумоподавления / Е. О. Артюшевский // Тезисы докладов к 55-й научной конференции - Минск, 2019 - с 30.
2. Артюшевский Е.О. Радиопетличный микрофон с системой шумоподавления / Е. О. Артюшевский // Тезисы докладов к 56-й научной конференции - Минск, 2020 - с 112.

Библиотека БГУИР