

На правах рукописи



Перельгин Сергей Васильевич

**Разработка методов пространственной обработки речевых
сигналов с помощью микрофонной антенной решетки**

Специальность 05.12.04 – Радиотехника, в том числе
системы и устройства телевидения

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2016 г.

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения» на кафедре киновидеоаппаратуры.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
Кривошейкин Анатолий Валентинович

Официальные оппоненты: **Ковалгин Юрий Алексеевич**, доктор технических наук, профессор кафедры радиосвязи и вещания, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций имени профессора М.А. Бонч-Бруевича»

Столбов Михаил Борисович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник ООО «ЦРТ-инновации»

Ведущая организация: Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт телевидения»

Защита состоится «31» марта 2016 г. в 16.00 на заседании диссертационного совета Д 212.229.01 при ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» по адресу: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая, 29, учебный корпус 4, аудитория 305.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» и на сайте университета <http://www.spbstu.ru>.

Автореферат разослан «___» _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.т.н., профессор

Коротков Александр Станиславович



Общая характеристика работы

Актуальность

В системах радио- и гидролокации используются антенны с явно выраженными диаграммами направленности. Сканирование основного луча антенны в пределах $\pm 90^0$ позволяет обнаружить исследуемый объект с целью определения его параметров, в частности его местонахождения, направления и скорости движения, геометрических параметров и т.д. До середины двадцатого века сканирование осуществлялось механическим способом, путем вращения тела антенны. В настоящее время процесс сканирования обеспечивается неподвижными антеннами, называемыми антенными решетками. Они представляют собой множество приемников, взвешенная сумма сигналов на выходе которых образует сигнал с заданной диаграммой направленности. Электронный способ управления весовыми коэффициентами позволяет отказаться от механического перемещения антенны.

Успехи, достигнутые в теории и практике систем радио- и гидролокации, позволяют использовать разработанные и апробированные принципы построения этих систем в задачах обработки речевого сигнала. Согласно классификации, предложенной М.Б. Столбовым, к этим задачам относятся:

- выделение речи (повышение разборчивости) целевого диктора в шумах;
- дистанционный сбор речевой информации;
- дистанционное распознавание речи (например, для голосового управления устройствами);
- дистанционная идентификация дикторов;
- разделение речи дикторов, выделение речи целевого диктора в голосовом коктейле;
- определение положения и трассировка положения источников звука;
- анализ акустической эмиссии источников звука;
- системы автоматического распознавания речи и речевого управления в автомобиле;
- информационные киоски с речевым сервисом в общественных местах;
- слуховые аппараты.

Теория антенных решеток, используемых в системах радио- и гидролокации, базируется на предположении об узкополосности сигнала, принимаемого и обрабатываемого антенной решеткой. Однако речевой сигнал, занимающий полосу частот от нескольких десятков Герц до нескольких кГц, является широкополосным. Алгоритмы обработки широкополосного речевого сигнала, используемые в микрофонных антенных решетках, в литературе практически не освещены.

Адаптация методов построения антенных решеток применительно к задаче выделения речи целевого диктора из шумов и смеси голосов составляет содержание данной диссертации.

Таким образом, наличие практической потребности в обработке речевого сигнала и существующее состояние вопроса обработки микрофонными решетками широкополосного речевого сигнала обусловили **необходимость и актуальность** решения задач, рассматриваемых в диссертации.

Цель диссертационной работы состоит в разработке методов построения микрофонных антенных решеток применительно к задаче выделения речи целевого источника из шумов и смеси голосов с учетом факта широкополосности речевых сигналов.

Для достижения указанной цели в диссертационной работе необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Провести анализ существующих и перспективных алгоритмов работы антенных решеток;
2. Предложить и обосновать методику обработки широкополосного речевого сигнала в микрофонной антенной решетке;
3. Разработать метод ориентации микрофонной антенной решетки;
4. Разработать и реализовать метод статистических испытаний для оценки допустимых искажений полезного речевого сигнала;
5. Провести математическое моделирование микрофонной антенной решетки.

Методы исследования. Теоретические и экспериментальные исследования базируются на использовании аппарата дискретного

преобразования Фурье, методов вычислительной математики, методов статистического анализа, методов математического моделирования.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. Сформулирована общая методика обработки микрофонной антенной решеткой широкополосного речевого сигнала, позволяющая осуществить ориентацию микрофонной антенной решетки по модифицированному методу Кейпона и пространственное разделение широкополосных речевых сигналов с помощью взвешенного суммирования спектров сигналов с комплекснозначными частотно зависимыми весовыми коэффициентами.

2. Получены в замкнутой аналитической форме выражения для весовых коэффициентов микрофонной антенной решетки, используемых в задаче пространственного разделения широкополосных сигналов.

3. Получены теоретические и экспериментальные зависимости, связывающие степень подавления микрофонной антенной решеткой мешающего сигнала с отношением сигнал/шум (ОСШ).

4. Предложен и обоснован статистический метод определения таких параметров микрофонной антенной решетки, которые гарантируют допустимые искажения полезного речевого сигнала и связывают степень подавления мешающего сигнала с допуском на параметры микрофонов.

Практическая значимость

Результаты данной работы позволяют производить выделение речи целевого источника из шумов и смеси голосов, осуществлять дистанционный сбор речевой информации. Применение разработанных методов обработки речевых сигналов позволило установить численные значения допусков на отличие чувствительностей микрофонов. В частности, установлено, что для подавления мешающего сигнала на 30 дБ допуск на отклонение чувствительностей микрофонов составляет 0,25 дБ (3%).

Личный вклад автора состоит в следующем:

- получение замкнутых аналитических выражений для весовых коэффициентов сумматора сигналов;
- разработка алгоритма настройки микрофонной антенной решетки;

- проведение и обработка результатов статистического испытания модели микрофонной антенной решетки.

Положения, выносимые на защиту

1. В отличие от методов обработки узкополосных сигналов во временной области, используемых в системах радиолокации, при выделении широкополосного речевого сигнала из смеси голосов, обработку речевых сигналов следует производить в частотной области.

2. Для обработки широкополосных речевых сигналов с помощью микрофонной антенной решетки следует использовать взвешенное суммирование сигналов с комплекснозначными частотно зависимыми весовыми коэффициентами, полученными из решения линейных уравнений, связывающих выходные речевые сигналы решетки и сигналы на выходе каждого из микрофонов.

3. Следует ограничить значения модулей весовых коэффициентов для устранения заметных, субъективно оцениваемых искажений выделенного речевого сигнала, возникающих вследствие подчеркивания шумовых составляющих при пространственном разделении сигналов.

4. Для решения задачи ориентации микрофонной антенной решетки, т.е. определения направлений на источники широкополосных речевых сигналов, необходимо рассчитывать функции Кейпона и значения направлений, доставляющих максимум этой функции, для каждой частотной компоненты с последующим усреднением этих направлений.

5. Для определения оптимальных параметров микрофонной антенной решетки необходимо оценить качество сигнала, прошедшего обработку при разных пороговых ограничениях на весовые коэффициенты решетки, выбрав то пороговое значение, при котором субъективно оцениваемые искажения классифицируются, как малозаметные.

Реализация и внедрение результатов исследований.

Результаты исследований использованы при проведении работ в ООО НПП «ПРОЭЛ» (имеется акт о внедрении), а также внедрены в учебный процесс по кафедре радиотехники и информационных технологий СПбГИКиТ

при изучении магистрантами дисциплины «Устройства приема и обработки сигналов».

Апробация работы. По материалам данной работы были сделаны доклады на Межвузовском научно-практическом студенческом форуме в рамках «Недели науки и творчества», СПб, СПбГУКиТ, 21-25 апреля 2014 года, на X Международной научно-практической конференции «Прикладные научные разработки – 2014», Прага, Чехия, организация “Education and Science”, 25 июля - 5 августа 2014 года, на VI Международной научно-практической конференции: «Современные концепции научных исследований», Москва, «Евразийский Союз Ученых "EUS"» 26-27 сентября 2014 года, на XLIV научной и учебно-методической конференции молодых ученых, СПб, СПбГУИТМО, 3-6 февраля 2015 года, на IX Международной научно-практической конференции "Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия", Новосибирск, Международный Научный Институт "Educatio", 13-14 марта 2015 года, на Межвузовском научно-практическом форуме студентов, аспирантов и молодых ученых «Неделя науки и творчества», СПб, СПбГИКиТ, 20-27 апреля 2015 года, на Международной научно-практической конференции «Общество в условиях современного медиапространства», СПб, СПбГИКиТ, 28-29 мая 2015 года.

Публикации. Основные материалы диссертации изложены в 9 статьях, 4 из них опубликованы в журналах из списка ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 78 наименований. Общий объем диссертации 124 страницы, в том числе 48 рисунков и 7 таблиц.

Основное содержание работы

Во введении производится обоснование актуальности темы диссертационного исследования, формулируются цель и задачи работы, основные положения, выносимые на защиту, определяется содержание работы.

В первой главе указывается на единство принципов работы антенных решеток и решаемых ими задач в радиолокации, гидролокации и системах

разделения речевых сигналов с использованием микрофонных решеток. Дается анализ публикаций, посвященных применению микрофонных антенных решеток для дистанционного сбора речевой информации, рассматриваются современные микрофонные антенные решетки зарубежных компаний. Применительно к задаче разделения речевых сигналов с помощью микрофонных антенных решеток формулируются две проблемы: *первая* – выделение полезного речевого сигнала, *вторая* – подавление мешающего речевого сигнала. Существующие методы построения микрофонных антенных решеток, в основном, направлены на решение только первой проблемы. Следовательно, необходимо предложить и обосновать методы реализации широкополосных микрофонных антенных решеток, обеспечивающих выделение полезного речевого сигнала и подавление мешающего.

Вторая глава посвящена вопросу пространственного разделения сигналов с помощью микрофонной решетки при *известных* направлениях на источники.

Пусть на вырожденную микрофонную антенную решетку, состоящую из двух одинаковых ненаправленных микрофонов, воздействуют широкополосные акустические сигналы с плоскими волновыми фронтами от двух источников, образующих углы φ' и φ'' относительно нормали к решетке (рисунок 1). Углы φ' и φ'' могут быть заданы произвольно из диапазона от -90° до 90° .

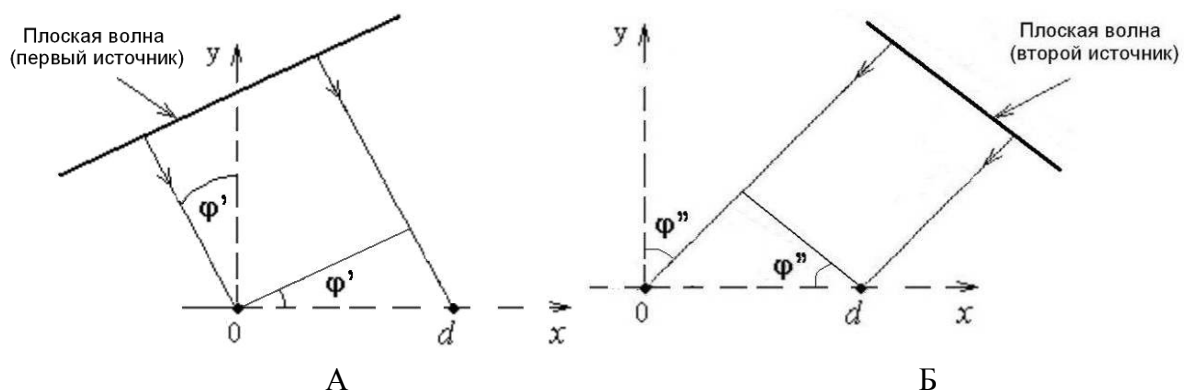


Рисунок 1 – Схема, поясняющая принцип работы решетки: А – звуковая волна от 1-го источника; Б – звуковая волна от 2-го источника

Поставим следующую задачу построения микрофонной антенной решетки:

- 1) отклик решетки на первый источник сигнала с точностью до постоянной должен быть равен отклику первого микрофона на первый источник сигнала,
- 2) решетка **не** должна давать отклик на второй источник сигнала.

Для решения задачи предлагается заменить взвешенное суммирование во временной области, используемое при обработке узкополосных радиосигналов, взвешенным суммированием в частотной области. В диссертации сформулированы требования к весовым коэффициентам и получены аналитические выражения для их расчета.

Если обозначить спектр сигнала на выходе первого микрофона $S_1(j\omega)$, а спектр сигнала на выходе второго микрофона $S_2(j\omega)$, то отклик настроенной решетки в частотной области $S(j\omega)$ будет равен:

$$S(j\omega) = w_1(j\omega) \cdot S_1(j\omega) + w_2(j\omega) \cdot S_2(j\omega) \quad (1)$$

Для подтверждения правильности решения сформулированной выше задачи с помощью соотношения (1) было проведено моделирование в среде Matlab, в ходе которого был имитирован процесс прохождения сигналов через микрофонную антенную решетку. На рисунке 2 схематично показан звуковой тракт, используемый при проведении моделирования.

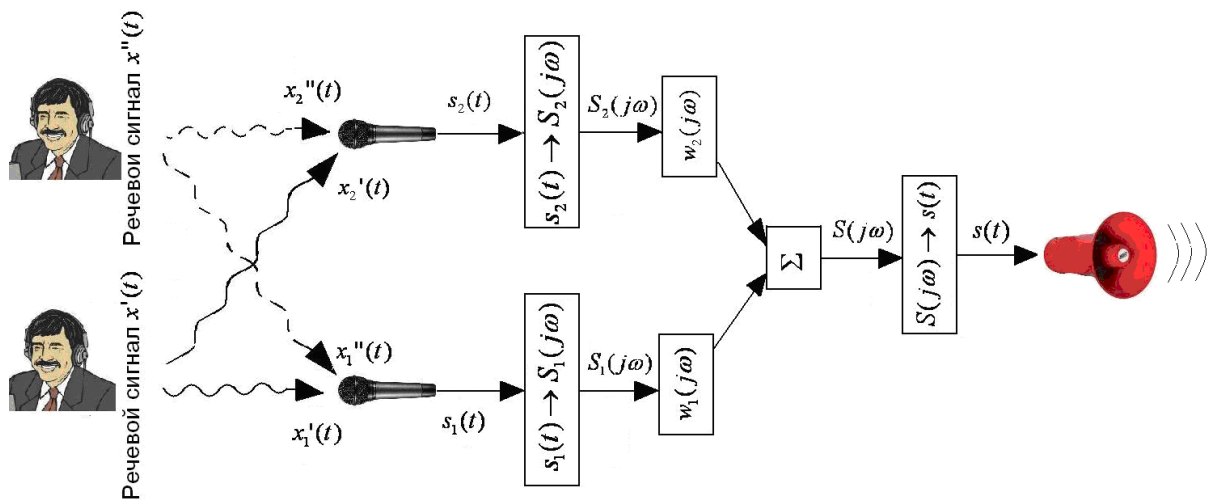


Рисунок 2 – Схема звукового тракта при проведении моделирования

Поскольку решетка была настроена на заранее известные углы φ' и φ'' , то в отклике решетки отсутствовал мешающий сигнал. Одновременно были выявлены искажения полезного сигнала в виде шипения и свиста. Для борьбы с отмеченными артефактами предлагается ограничить сверху значение модуля весового коэффициента и субъективно оценить произошедшие изменения в обработанном сигнале. Если при расчете весовой коэффициент по модулю

получается выше порогового значения, то ему присваивается значение, равное пороговому.

При проведении моделирования был выбран диапазон поиска оптимального порогового значения весового коэффициента от 100 до 0,5. По результатам моделирования было выбрано значение, лежащее внутри диапазона и равное 1,5. Выбор определялся отсутствием шипения и свиста с одной стороны и субъективным оцениванием слышимости согласных звуков с другой стороны. Также на основании проведенного моделирования было принято решение разделить диапазон слышимых частот на две области и использовать два пороговых значения весового коэффициента.

На рисунке 3 представлены графики абсолютных значений весовых коэффициентов до и после процедуры порогового ограничения для углов $\varphi' = 90^0$, $\varphi'' = -90^0$ (источники максимально разнесены в пространстве), граница областей обозначена на рисунке 3 (Б) пунктиром.

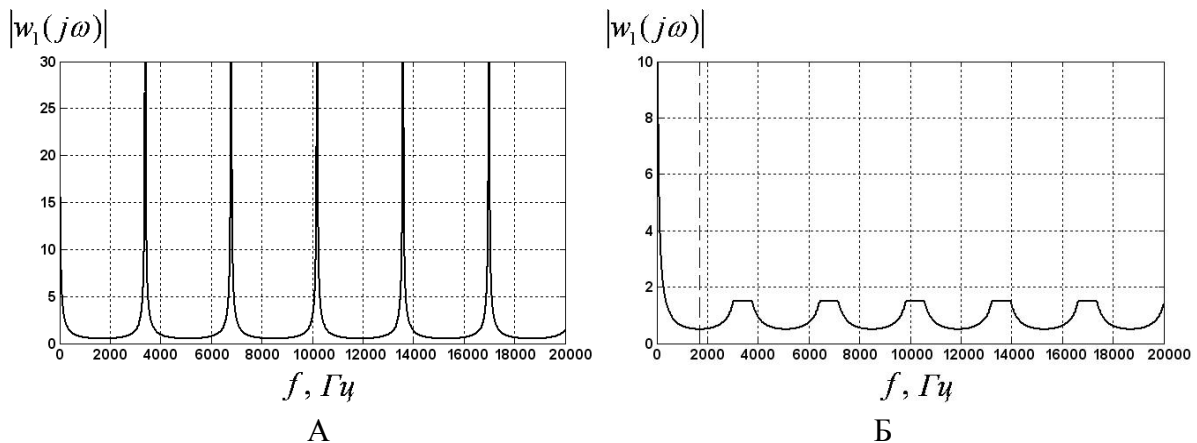


Рисунок 3 – Значения модуля весового коэффициента: А – до процедуры порогового ограничения; Б – после процедуры порогового ограничения

По аналогии были проведены модельные эксперименты для произвольных значений углов φ' и φ'' . При этом использовались два постоянных пороговых значения весовых коэффициентов (100 в нижней области, 1,5 в верхней области).

Использование двух пороговых значений коэффициентов при точной настройке на углы φ' и φ'' показывает, что:

- 1) мешающий речевой сигнал подавляется полностью,
- 2) вносимых искажений (шипения, свиста) не наблюдается,

- 3) слышимость согласных звуков для полезного сигнала не ухудшается,
 4) полезный речевой сигнал иногда претерпевает тембральные искажения, не вызывающие раздражения у слушателя; в большинстве случаев тембральные искажения незаметны.

По материалам, изложенным **во второй главе**, даются следующие выводы. Для обработки широкополосного речевого сигнала с помощью микрофонной антенной решетки необходимо перейти из временной области в частотную область. При этом результирующий сигнал должен быть получен с помощью взвешенного суммирования спектральных составляющих сигналов от приемников решетки с последующим переходом во временную область. Введение пороговых ограничений на весовые коэффициенты позволяет избежать значительного уменьшения ОСШ, приводящего к появлению шипения и свиста в выходном сигнале. Для минимизации искажений даются рекомендации к установлению пороговых значений весовых коэффициентов. Окончательные рекомендации получены по результатам экспертных статистических испытаний, рассмотренных в **четвертой главе**.

Третья глава посвящена способу определения направлений на источники широкополосных сигналов и исследованию влияния собственных шумов решетки на точность определения направлений.

Для нахождения углов прихода широкополосных сигналов предлагается модифицировать метод Кейпона, используемый при приеме *узкополосных* сигналов. В данном методе используется разрешающая функция, имеющая вид:

$$\xi(\varphi) = \frac{1}{S^H(\varphi) \cdot M^{-1} \cdot S(\varphi)} \quad (2)$$

где $S(\varphi)$ – нормированный вектор комплексных амплитуд сигналов на выходах приемников, возбужденных монохроматической волной, приходящей под углом φ . Символ « H » обозначает эрмитово сопряжение. Вектор $S(\varphi)$ рассчитывается на основе информации о расположении элементов решетки, фронте и направлении приходящей волны и известен заранее, M – корреляционная матрица принятых сигналов.

В отличие от *узкополосного* сигнала, для которого точки максимума функции $\xi(\varphi)$ совпадают с направлениями на источники сигналов, алгоритм определения направлений прихода *широкополосных* сигналов усложняется зависимостью разрешающей функции и ее составляющих в (2) от частоты. Эта зависимость требует расчета вектора $S(\varphi, j\omega)$, корреляционной матрицы и разрешающей функции для каждой частотной компоненты в отдельности. Далее необходимо определить точки максимума функции $\xi(\varphi, j\omega)$ для каждой частотной компоненты в отдельности и обработать полученные результаты.

Для подтверждения правильности предлагаемого подхода был проведен модельный эксперимент с использованием среды Matlab. В процессе эксперимента были созданы 2 речевых сигнала и имитирован процесс совместного воздействия этих сигналов на эквидистантную решетку из четырех идентичных ненаправленных микрофонов с коэффициентами передачи, равными единице. Полученные смеси двух речевых сигналов с выхода каждого из четырех микрофонов подвергались обработке.

По ходу эксперимента задавался массив значений углов φ от -90° до 90° с шагом $0,5^\circ$. Для нескольких частотных компонент и для каждого угла φ рассчитывались векторы $S(\varphi, j\omega)$. Далее для тех же частотных компонент производился расчет корреляционных матриц принятых сигналов. Наконец, рассчитывалась совокупность разрешающих функций $\xi(\varphi, j\omega)$, которые далее по отдельности анализировались.

На рисунке 4 показаны совмещенные графики нормированных разрешающих функций Кейпона, построенные для двух случаев расположения источников речевых сигналов на четырех частотах. Из рисунка следует, что на всех графиках, т.е. для всех частот, разрешающая функция имеет точки максимума, совпадающие с направлениями на источники сигналов. Метод Кейпона, адаптированный к широкополосному сигналу, имеет тем лучшее разрешение, чем ближе к нормали к оси решетки ($\varphi = 0^\circ$) расположены источники сигналов. На границах выбранного диапазона частот разрешающая способность метода Кейпона ухудшается.

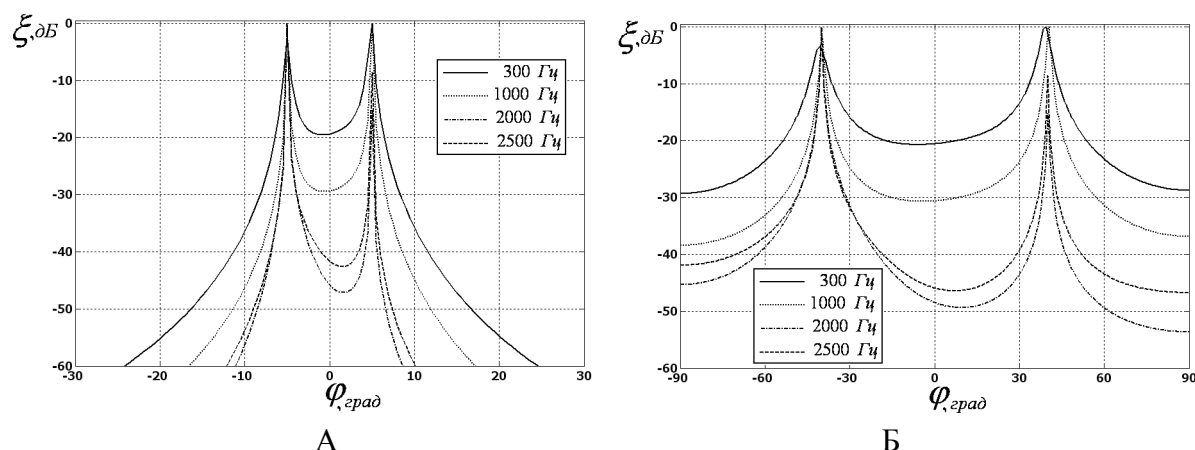


Рисунок 4 – Разрешающие функции:

А – для близкого расположения источников (-5° и 5° от нормали к оси решетки);

Б – для разнесения источников по направлениям (-40° и 40° от нормали к оси решетки)

Собственный шум микрофонной антенной решетки ухудшает ее разрешающую способность. С уменьшением ОСШ максимумы разрешающих функций становятся менее выраженные, а для очень низких ОСШ точки максимума смещаются вплоть до “слипания” в одну точку.

Для оценки влияния собственных шумов решетки на точность определения направлений прихода сигналов была проведена серия модельных экспериментов с использованием среды Matlab. В ходе каждого эксперимента задавалось требуемое численное значение ОСШ, был имитирован процесс совместного воздействия двух речевых сигналов на решетку из четырех микрофонов, затем к смеси сигналов с выхода каждого микрофона добавлялся сгенерированный белый (гауссовский) шум, мощность которого соответствовала заданному значению ОСШ. Результирующие сигналы, содержавшие смесь белого шума и двух речевых сигналов, подвергались обработке. После обработки рассчитывалась совокупность разрешающих функций $\xi(\varphi, j\omega)$, которые далее по отдельности анализировались. Для каждой функции $\xi(\varphi, j\omega)$ определялись точки максимума и сравнивались с истинными значениями направлений на источники сигналов, вычислялась ошибка в определении направлений. Затем задавалось новое требуемое значение ОСШ, и выполнялся новый модельный эксперимент.

По результатам модельных экспериментов были построены графики зависимостей ошибки в определении направлений на один из источников от

ОСШ, представленные на рисунке 5. Реальные направления прихода сигналов равны: $\varphi' = -40^0$, $\varphi'' = 40^0$.

Если реальный угол прихода мешающего сигнала отличается от угла настройки φ'' и равен $\varphi'' + \Delta\varphi''$, то отклик настроенной решетки будет содержать не только полезный, но и ненулевой мешающий сигнал. В диссертации получено аналитическое выражение для степени подавления мешающего сигнала $\Delta A''(\Delta\varphi'')$, из которого следует, что при $\Delta\varphi'' \neq 0$ степень подавления мешающего сигнала конечна. При совмещении зависимостей ошибки в определении направления прихода сигнала от ОСШ $\Delta\varphi''(\eta)$, полученных с помощью моделирования (рисунок 5), и зависимостей степени подавления мешающего сигнала от ошибки в определении направления его прихода $\Delta A''(\Delta\varphi'')$ были получены результирующие графики степени подавления мешающего сигнала от ОСШ $\Delta A''(\eta)$ для каждой частоты (рисунок 6). Реальные направления прихода сигналов: $\varphi' = -40^0$, $\varphi'' = 40^0$.

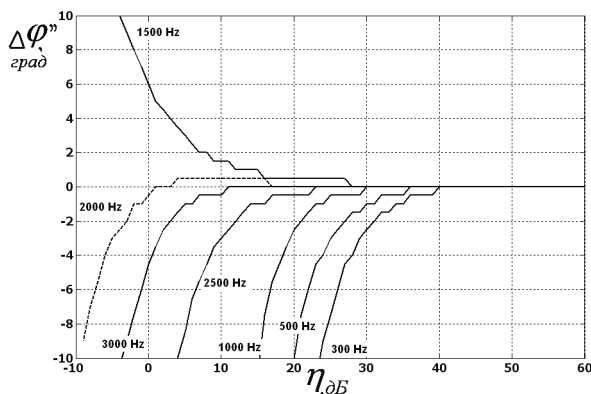


Рисунок 5 – Зависимости ошибки в определении направления прихода сигнала от ОСШ

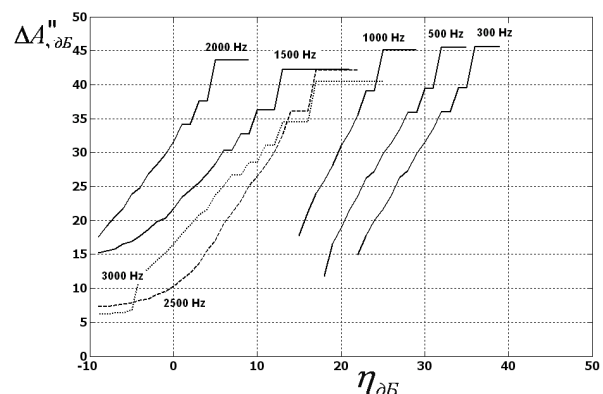


Рисунок 6 – Зависимости степени подавления мешающего сигнала от ОСШ

Каждый из графиков $\Delta A''(\eta)$ построен для значений η , лежащих в интервале $\eta_{\min} \div \eta_{\max}$. η_{\max} – максимальное ОСШ, при превышении которого $\Delta\varphi''$ скачком изменяется до нуля, а $\Delta A''$ устремляется в бесконечность, η_{\min} – минимальное ОСШ, ниже которого решетка не способна определить, что на нее воздействуют два источника. Как видно из рисунка 6, степень подавления мешающего сигнала уменьшается с уменьшением ОСШ. На низких частотах степень подавления мешающего сигнала становится отличной от

бесконечности при больших значениях ОСШ, чем на высоких частотах. Также, в отличие от высоких частот, на низких частотах раньше появляется ошибка в определении количества воздействующих на решетку источников сигналов.

По материалам, изложенным **в третьей главе**, даются следующие выводы. Для решения задачи ориентации микрофонной антенной решетки, т.е. определения направлений на источники широкополосных речевых сигналов, необходимо рассчитывать функции Кейпона и значения направлений, доставляющих максимум этой функции для каждой частотной компоненты с последующим усреднением этих направлений. Собственный шум решетки вносит погрешность в определение направлений на источники сигналов, в результате чего в процессе пространственного разделения мешающий сигнал оказывается подавленным не полностью. Оценке заметности мешающего сигнала посвящен один из разделов **четвертой главы**.

В четвертой главе описан порядок проведения и обработки результатов статистических испытаний модели микрофонной антенной решетки. В ходе проведения испытаний решаются задачи: поиск оптимального порогового значения весовых коэффициентов, получение субъективных оценок заметности мешающего сигнала при ошибочной настройке решетки, оценка влияния неидентичности микрофонов на параметры решетки.

Для *поиска оптимального порогового значения* весовых коэффициентов была использована аудиозапись сигналов, полученных с выхода двух имитированных микрофонов. Эти сигналы представляли собой смесь двух голосов дикторов, находившихся под разными точно известными углами к решетке ($\varphi' = -40^\circ$, $\varphi'' = 40^\circ$) и говоривших одновременно (см. рисунок 2). В ходе каждого испытания задавалось пороговое значение весовых коэффициентов, и производился их расчет с учетом порогового ограничения. Далее осуществлялась обработка сигналов путем взвешенного суммирования их спектров, и формировался результирующий сигнал, готовый для субъективной оценки. Затем задавалось новое пороговое значение, и формировался новый результирующий сигнал.

Полученная совокупность сигналов прослушивалась по очереди через головные телефоны и субъективно оценивалась экспертами: преподавателями и студентами СПбГИКиТ в общем количестве 92 человека. Перед каждым из экспертов была поставлена задача интегральной оценки заметности двух видов искажений: артефактов, проявляющихся при высоком значении порога в виде шипения, свиста и дребезга, и ухудшения качества самого сигнала, проявляющегося при низком значении порога в виде тембральных искажений и ухудшения слышимости согласных звуков. Для оценки заметности искажений, в соответствии с рекомендацией ITU-R BS.1284-1, была использована 5-балльная шкала со следующими градациями: 5 – искажения незаметны, 4 – искажения заметны, но не мешают, 3 – искажения немного мешают, 2 – искажения мешают и раздражают, 1 – искажения сильно мешают. Усредненные результаты субъективных оценок искажений сигнала представлены в виде графика на рисунке 7. Как следует из рисунка, оптимальное пороговое значение, являющееся компромиссом между искажениями первого и второго вида, равно **1,5**. Таким образом, для минимизации искажений, возникающих в сигнале при обработке микрофонной решеткой, рекомендуется выбирать пороговое значение весовых коэффициентов, равное 1,5.

Для *оценки влияния неидентичности микрофонов* на степень подавления мешающего сигнала было проведено моделирование в среде Матлаб. В качестве мешающего сигнала был создан речевой сигнал в формате звукового файла “wav” со следующими параметрами: длительность 25 секунд, частота дискретизации 48 кГц, разрядность 16 бит на отсчет. Далее задавались разные значения разницы чувствительностей микрофонов и имитировался процесс воздействия этого сигнала на вырожденную микрофонную решетку под углом $\varphi = 40^\circ$. Степень подавления мешающего сигнала рассчитывалась, как отношение энергий воздействующего на решетку и прошедшего обработку сигналов для каждого значения разницы чувствительностей микрофонов. Результаты показывают, что экспериментальная кривая зависимости степени подавления мешающего сигнала от разницы чувствительностей микрофонов (рисунок 8) попадает в теоретический диапазон возможных значений.

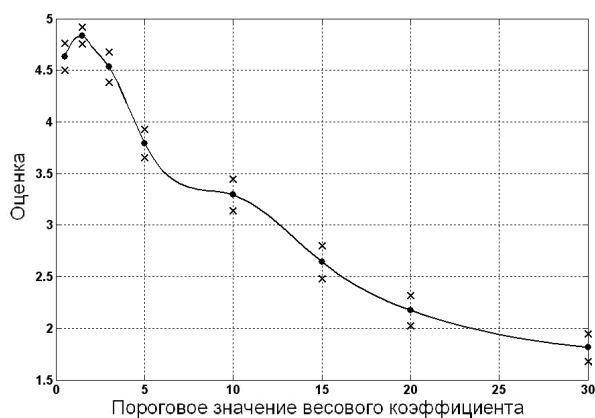


Рисунок 7 – Зависимость оценки искажений от порогового значения весового коэффициента

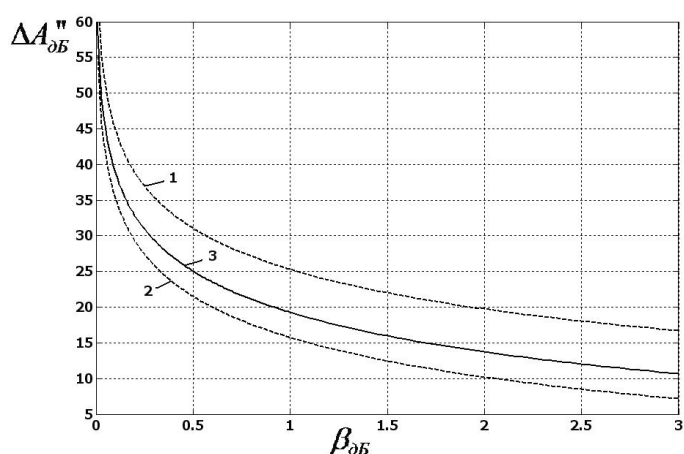


Рисунок 8 – Зависимость степени подавления мешающего сигнала от неидентичности микрофонов: (1), (2) – границы теоретического диапазона значений, (3) – экспериментальная кривая.

По материалам, изложенным в **четвертой главе**, делаются следующие выводы. На основании проведения и обработки результатов статистических испытаний модели микрофонной антенной решетки были построены графики, связывающие объективные и субъективные величины. Зависимость оценки искажений сигнала от порогового значения весового коэффициента позволяет установить оптимальное пороговое значение, равное **1,5**, при котором минимально заметны как вносимые искажения, так и искажения самого сигнала. Зависимость степени подавления мешающего сигнала от неидентичности микрофонов позволяет определить допуск на отличие АЧХ микрофонов, при котором будет гарантировано требуемое подавление мешающего сигнала при выделении полезного сигнала.

В заключении сформулированы основные результаты работы, которые состоят в следующем:

1. Пространственная обработка широкополосных речевых сигналов применительно к задаче выделения речевого сигнала из смеси голосов должна производиться в частотной области.

2. Метод взвешенного суммирования сигналов с комплекснозначными частотно зависимыми ограниченными по абсолютным значениям весовыми коэффициентами обеспечивает выделение полезного сигнала и подавление мешающего сигнала.

3. Модифицированный метод Кейпона, используемый для определения направлений на источники широкополосных сигналов, позволяет осуществить настройку (ориентацию) микрофонной антенной решетки для последующего пространственного разделения сигналов.

4. Полученные зависимости степени подавления микрофонной антенной решеткой мешающего сигнала от отношения сигнал/шум и зависимость субъективной оценки заметности мешающего сигнала от ошибки в ориентации решетки позволяют определить отношение сигнал/шум, при котором обеспечивается подавление мешающего сигнала, удовлетворяющее заданному значению экспертного мнения.

5. Найденные по результатам экспертных статистических испытаний пороговые значения весовых коэффициентов, равные 100 и 1,5, гарантируют, что неизбежно возникающие искажения полезного речевого сигнала будут классифицироваться, как малозаметные.

6. Полученная зависимость степени подавления мешающего сигнала от неидентичности микрофонов позволяет установить численные значения допусков на отличие чувствительностей микрофонов. Например, допуск на отклонение чувствительностей микрофонов, равный 0,25 дБ (3%), обеспечивает подавление мешающего сигнала на 30 дБ.

Список публикаций по теме диссертации

1. Перелыгин С.В. Принципы построения микрофонных антенных решеток. / Перелыгин С.В. // Материалы межвузовского научно-практического форума, СПб, СПбГУКиТ. – 2014. – Часть 2, С. 116-118

2. Перелыгин С.В. Принципы настройки микрофонных антенных решеток. / Кривошейкин А.В., Перелыгин С.В. // Материалы X Международной научно-практической конференции «Прикладные научные разработки – 2014». Прага (Чехия): Publishing House «Education and Science». – 2014. – С. 14-17

3. Перелыгин С.В. Способ пространственного разделения звуковых сигналов с помощью микрофонной решетки. / Кривошейкин А.В.,

Перельгин С.В. // Материалы VI Международной научно-практической конференции: «Современные концепции научных исследований», Москва: «Евразийский Союз Ученых "EUS"». – 2014. – Т.3, №6. – С. 89-92

4. Перельгин С.В. Микрофонная решетка для реализации направленной акустической антенны / Кривошейкин А.В., Перельгин С.В. // Изв. вузов. Приборостроение. – 2015. – Т. 58, № 3. – С. 221-225. Издание из перечня ВАК.

5. Перельгин С.В. Способ обнаружения источников широкополосных акустических сигналов с помощью микрофонной антенной решетки / Кривошейкин А.В., Перельгин С.В. // Материалы IX Международной научно-практической конференции: "Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия", Новосибирск: Международный Научный Институт "Educatio". – 2015. – Т.2, №2(9). – С. 128-131

6. Перельгин С.В. Анализ работы микрофонной антенной решетки для широкополосных акустических сигналов // Системы управления и информационные технологии / Кривошейкин А.В., Перельгин С.В., Смирнов И.Н., Иванова А.Ф. // Системы управления и информационные технологии. – 2015. – №1(59). – С. 66-68. Издание из перечня ВАК.

7. Перельгин С.В. Способ пространственного разделения сигналов с помощью микрофонной решетки. / Перельгин С.В. // Материалы межвузовского научно-практического форума студентов, аспирантов и молодых ученых, СПб, СПбГИКиТ. – 2015. – Часть 1, С. 55

8. Перельгин С.В. Чувствительность микрофонной антенной решетки к воздействию собственных шумов микрофонов. / Перельгин С.В., Кривошейкин А.В. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2015. – №6(234). – С. 80-85. Издание из перечня ВАК.

9. Перельгин С.В. Повышение качества обработки речевых сигналов с помощью микрофонной антенной решетки. / Перельгин С.В., Нурмухамедов Л.Х. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2015. – №6(234). – С. 43-48. Издание из перечня ВАК.