

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 8 |
| ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СЛУХОВОЙ СИСТЕМЕ ЧЕЛОВЕКА И ОБЗОР ПОДХОДОВ К ПОСТРОЕНИЮ ЦИФРОВЫХ СЛУХОВЫХ АППАРАТОВ | 11 |
| 1.1. Слух и понимание | 11 |
| 1.2. Физиология уха человека | 11 |
| 1.3. Психоакустические аспекты тугоухости | 14 |
| 1.4. Функции слухового аппарата | 16 |
| 1.4.1. Компрессия динамического диапазона | 16 |
| 1.4.2. Шумоподавление | 17 |
| 1.4.3. Подавление эффекта акустической обратной связи | 18 |
| 1.5. Разработка слуховых аппаратов | 21 |
| 1.5.1. Требования, предъявляемые к слуховым аппаратам | 21 |
| 1.5.2. Современные подходы к построению слуховых аппаратов | 23 |
| 1.5.3. Структура слухового аппарата с обработкой в перцептуальной частотной шкале | 28 |
| 1.6. Обзор методов построения неравнополосных банков фильтров | 30 |
| 1.7. Краткие выводы | 34 |
| ГЛАВА 2. СИНТЕЗ НЕРАВНОПОЛОСНОГО КОСИНУСНО-МОДУЛИРОВАННОГО БАНКА ФИЛЬТРОВ | 35 |
| 2.1. Косинусно-модулированный банк фильтров (КМБФ) | 35 |
| 2.1.1. Основные понятия | 35 |
| 2.1.2. Полифазная реализация КМБФ | 38 |
| 2.1.3. Эффективная реализация косинусной модуляции | 40 |
| 2.2. Неравнополосный косинусно-модулированный банк фильтров | 42 |
| 2.2.1. Фазовое преобразование | 42 |
| 2.2.2. Деформация частотной оси КМБФ | 44 |
| 2.2.3. Расчет коэффициента деформации частотной оси КМБФ для аппроксимации шкалы барков | 46 |
| 2.2.4. Выбор коэффициентов децимации/интерполяции | 48 |
| 2.2.5. Выравнивание групповой задержки | 50 |

| | |
|---|----|
| 2.3. Метод расчета фильтра-прототипа неравнополосного косинусно-модулированного банка фильтров | 53 |
| 2.3.1. Постановка задачи | 53 |
| 2.3.2. Расчетные выражения | 54 |
| 2.3.3. Расчет фильтра-прототипа НКМБФ | 56 |
| 2.4. Результаты экспериментов | 59 |
| 2.4.1. Расчет коэффициентов децимации/интерполяции | 59 |
| 2.4.2. Оптимизация фильтра-прототипа | 61 |
| 2.4.3. Бичастотная функция неравнополосного КМБФ | 63 |
| | |
| ГЛАВА 3. ПЕРЕКРЫВАЮЩИЕСЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СЛУХОВЫХ АППАРАТАХ | 67 |
| 3.1. Причины применения перекрывающихся преобразований в слуховых аппаратах | 67 |
| 3.2. Перекрывающееся преобразование (ПП) | 68 |
| 3.3. Дополненное модулированное ПП (ДМПП) | 68 |
| 3.3.1. Модулированное перекрывающееся преобразование | 69 |
| 3.3.2. Определение ДМПП | 69 |
| 3.3.3. Схема компенсации акустической обратной связи на основе ДМПП | 71 |
| 3.3.4. Предсказатель $\hat{H}[m]$ | 72 |
| 3.4. Модифицированное дискретное косинусное преобразование с деформацией частотной оси | 74 |
| 3.4.1. Модифицированное дискретное косинусное преобразование (МДКП) | 75 |
| 3.4.2. Искривление частотной оси МДКП | 77 |
| 3.4.3. Применение МДКП с деформацией частотной оси в слуховом аппарате | 77 |
| 3.5. Краткие выводы | 80 |
| | |
| ГЛАВА 4. СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ МЕТОД СИНТЕЗА БЫСТРЫХ АЛГОРИТМОВ ВЫЧИСЛЕНИЯ ДИСКРЕТНОГО КОСИНУСНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРОИЗВОЛЬНОГО РАЗМЕРА | 81 |

| | |
|---|-----|
| 4.1. Обоснование разработки систематического метода синтеза быстрых алгоритмов ДКП | 81 |
| 4.2. Анализ методов синтеза быстрых алгоритмов дискретных преобразований | 82 |
| 4.3. Синтез быстрых алгоритмов дискретных преобразований с использованием полиномиальной алгебры | 84 |
| 4.3.1. Представление алгоритма | 84 |
| 4.3.2. Полиномиальное преобразование | 85 |
| 4.4. Алгебраический метод синтеза быстрых алгоритмов ДКП | 87 |
| 4.4.1. Описание метода | 87 |
| 4.4.2. Синтез быстрого алгоритма ДКП-4 формата 7 | 87 |
| 4.4.3. Рекурсивный быстрый алгоритм ДКП-4 | 93 |
| 4.4.4. Рекурсивный быстрый алгоритм ДКП-2 | 97 |
| 4.5. Основные результаты и выводы | 101 |
| | |
| ГЛАВА 5. АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА В СЛУХОВОМ АППАРАТЕ НА ОСНОВЕ НЕРАВНОПОЛОСНОГО БАНКА ФИЛЬТРОВ | 102 |
| 5.1. Модификация спектра сигнала в слуховом аппарате | 102 |
| 5.1.1. Принцип работы | 103 |
| 5.1.2. Шумоподавление | 106 |
| 5.1.3. Компенсация потери слуха | 111 |
| 5.1.4. Компрессия динамического диапазона | 113 |
| 5.2. Компенсация эффекта акустической обратной связи с использованием неравнополосного банка фильтров | 118 |
| 5.2.1. Введение | 118 |
| 5.2.2. Метод субполосной компенсации эффекта акустической обратной связи | 120 |
| 5.2.3. Оценка эффективности компенсации сигнала АОС | 125 |
| 5.3. Основные результаты и выводы | 131 |
| | |
| ГЛАВА 6. РЕАЛИЗАЦИЯ СЛУХОВОГО АППАРАТА НА МОБИЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЕ | 132 |

| | |
|---|-----|
| 6.1. Преимущества и недостатки мобильных платформ для реализации слуховых аппаратов | 132 |
| 6.2. Схема обработки сигнала для коррекции слуха | 135 |
| 6.3. Определение целевых параметров звукоусиления | 140 |
| 6.3.1. Аудиограмма | 140 |
| 6.3.2. Расчет целевого усиления и коэффициентов корректирующего фильтра | 142 |
| 6.3.3. Компенсация нарушения ощущения громкости | 145 |
| 6.3.4. Временные параметры компрессора динамического диапазона | 147 |
| 6.4. Реализация слухового аппарата на мобильной платформе | 150 |
| 6.4.1. Схема включения приложения | 150 |
| 6.4.2. Полоса пропускания | 151 |
| 6.4.3. Алгоритм обработки сигнала в слуховом аппарате на мобильной платформе | 151 |
| 6.4.4. Задержка обработки сигнала | 157 |
| 6.5. Результаты экспериментов | 157 |
| 6.5.1. Конфигурация устройства | 157 |
| 6.5.2. Полное акустическое усиление | 158 |
| 6.5.3. Пример обработки сигнала | 158 |
| 6.6. Резюме | 160 |

ГЛАВА 7. АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЛУХОВОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ НЕРАВНОПОЛОСНОГО БАНКА ФИЛЬТРОВ

161

| | |
|--|-----|
| 7.1. Структура процессора слухового аппарата | 161 |
| 7.2. Реализация неравнополосного КМБФ | 163 |
| 7.3. Цепочка фазовых звеньев | 164 |
| 7.4. Блок полифазных компонент фильтра-прототипа | 168 |
| 7.5. Блок косинусной модуляции | 170 |
| 7.5.1. Быстрый алгоритм ДКП с использованием техники кодирования алгебраическими числами | 171 |
| 7.5.2. Реализация 16-точечного ДКП-2 | 171 |
| 7.5.3. IP-ядра быстрого алгоритма ДКП | 177 |

| | |
|--|-----|
| 7.6. Система быстрого прототипирования неравнополосного косинусно-модулированного банка фильтров | 182 |
| 7.7. Основные результаты и выводы | 186 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 187 |
| ЛИТЕРАТУРА | 189 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А. Краткие сведения из теории групп и теории Галуа | 205 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Полиномы Чебышева | 207 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ В. Кохлеарный банк фильтров | 208 |