

КАРМАННЫЙ ЦИФРОВОЙ СЛУХОВОЙ АППАРАТ НА ADSP-2183

Потерями слуха в той или иной форме страдают многие люди. Эти потери становятся критическими, когда они начинают препятствовать нормальному речевому общению между людьми. Возрастное ухудшение слуха, перенесённые болезни уха, звуковые травмы, ототоксическое действие некоторых лекарств и другие причины приводят к тому, что около 2% населения для того, чтобы быть полноправными членами общества, нуждаются в применении слуховых аппаратов (СА).

Историческое развитие СА отражает развитие техники и научных представлений о механизмах функционирования слуховой системы человека и причинах ухудшения слуха. Технология производства СА за последние 100 лет прошла путь от механических приспособлений в виде раструбов, до внутриканальных аппаратов с цифровой обработкой сигналов. В отношении методов обработки сигналов в СА эволюция взглядов не была столь стремительна. В основном применялось усиление звука и формирование частотной характеристики на основе измерения аудиограммы пациента (зависимости порогов слышимости и дискомфорта от высоты звука). Для предотвращения дискомфортных перегрузок вначале использовалось насыщение и клипирование выходного сигнала, затем стала применять-

Развитие цифровых процессоров обработки сигналов общего назначения также привело к снижению габаритов и потребляемой мощности и открыло возможность для их внедрения в класс карманных слуховых аппаратов

ся амплитудная компрессия в одной или нескольких частотных полосах, концепция которой в настоящее время трансформировалась в задачу оптимального частотно-зависимого отображения широкого динамического диапазона входных сигналов в суженный динамический диапазон остаточного слуха (рис. 1). Дальнейшие исследования способов обработки сигналов в СА ведутся в областях повышения помехоустойчивости восприятия речи за счёт адаптивного шумопонижения, формирования пространственных диаграмм направленности микрофонов и моделирования механизмов функционирования периферии слуховой системы. Следует также упомянуть слуховое протезирование с помощью имплантации электродов в улитку, которое выходит за рамки традиционных СА и здесь не рассматривается.

В настоящее время на рынке представлен широкий спектр СА, выполненных в виде карманных, заушных, внутриушных и внутриканальных устройств. В основном это аналоговые СА. Долгое время широкому внедрению цифровых методов обработки звука в СА препятствовали габариты и потребляемая мощность цифровых схем. С другой стороны, в аналоговых аппаратах ощущался недостаток гибкости настроек для согласования параметров СА с индивидуальным характером потерь слуха

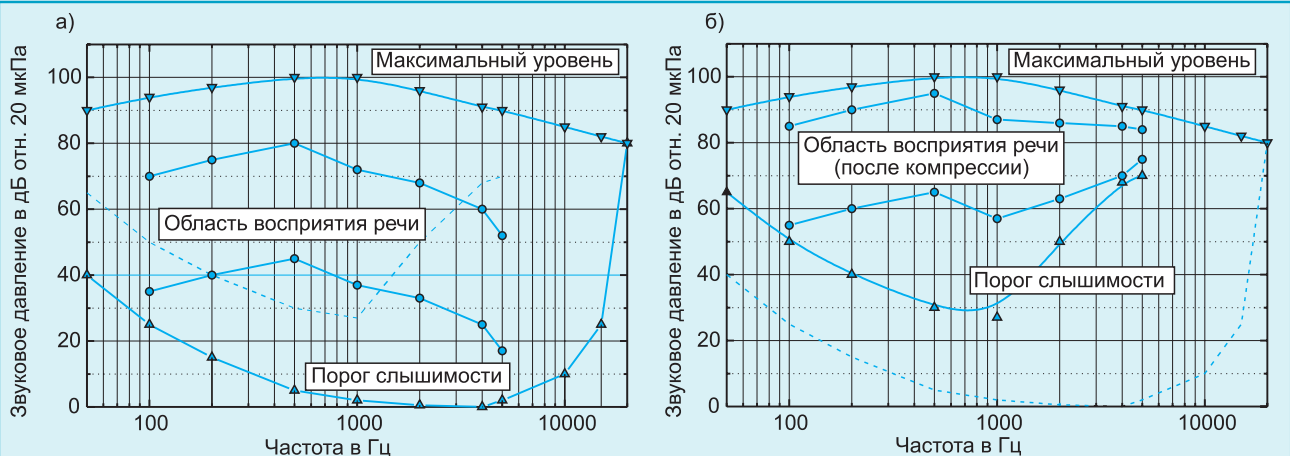


Рис. 1. Диапазон восприятия сигналов: (а) — нормальный слух, (б) — остаточное восприятие (пример)

у пациентов, связанный с ограничением числа механических регулировок, особенно в миниатюрных вариантах. Вследствие этого, в конце 80-х гг. появились аналоговые аппараты с цифровым программированием настроек. В 1996 году на рынке появляются полностью цифровые заушные и внутриушные СА фирм OTICON и WIDEX, реализованные на базе специализированных микропроцессоров с жёсткой внутренней структурой, напряжением питания 0,9–1,2 В, током потребления 1–2 мА и производительностью от 14 до 40 млн. операций в секунду. В настоящее время ещё несколько фирм (BERNAFON, RESOUND, SIEMENS, SONIC, STARKEY и другие) выпускают внутриушные и внутриканальные цифровые СА со средней стоимостью порядка \$ 1300 на базе собственных цифровых платформ.

Таким образом, барьер больших габаритов и большого потребления питания цифровых микропроцессоров с производительностью, достаточной для реализации сложных алгоритмов обработки сигналов в реальном масштабе времени, препятствовавший их широкому внедрению на рынок СА, основную долю которого занимают заушные и внутриушные аппараты, успешно преодолен. Успехи цифровой миниатюризации заставляют предполагать, что в скором времени большинство СА станут цифровыми. Поэтому, в дальнейшем развитии СА на первый план выходит задача разработки новых алгоритмов цифровой обработки речевых сигналов, способных качественно изменить подходы к обработке сигналов в СА и улучшить реабилитацию пациентов.

С другой стороны, развитие цифровых процессоров обработки сигналов (DSP) общего назначения также привело к снижению габаритов и потребляемой мощности и открыло возможность для их внедрения в класс карманных СА. Появились DSP с энергопотреблением, меньшим 100 мВт, и габаритами порядка 1 см². Например, 16-разрядные DSP фирмы ANALOG DEVICES ADSP-2183/2189 (производительность 52/75 MIPS, напряжение питания 3,3/(2,5—ядро, 3,3—периферия) В, 32/80 Кслов оперативной памяти (ОЗУ) на кристалле) и фирмы TEXAS INSTRUMENTS TMS320c549/5410 (100 MIPS, ядро 2,5 В, 32/64 Кслов ОЗУ на кристалле). Особо следует отметить гибрид AD73522-80 с напряжением питания 3,3 В, сочетающий в себе DSP-процессор (52 MIPS, 32 Кслов ОЗУ), 2-канальный 16-разрядный речевой кодек и FLASH-память 64 Кбайт, а также DSP TMS320UVC5402/VC5409 с очень низким напряжением питания 1,2/1,8 В (30/80 MIPS, 16/32 Кслов ОЗУ), специально разработанный для применения в СА, кохлеарных имплантатах и других маломощных устройствах. До конца 2000 года должен появиться вариант с напряжением питания ядра 0,9 В и потреблением тока 0,18 мА/MIPS.

Гибкость программирования и вычислительная мощность DSP общего назначения позволяет сделать СА на их основе не только средством реабилитации пациентов с тяжёлыми поражениями слуха, но и инструментом для разработки и испытаний новых алгоритмов ЦОС большой вычислительной сложности перед их внедрением в процессор с жёсткой структурой. Такие испытания на реальных пациентах крайне важны, так как мно-

гие алгоритмы, дающие обнадёживающие результаты в лабораторных условиях на ограниченном наборе тестовых сигналов, не обеспечивают должной помехоустойчивости и комфорта в реальных жизненных ситуациях.

Поэтому, в целях разработки ресурсоёмких алгоритмов, функционирующих в реальном масштабе времени, и их апробации на конкретных пациентах в реальной акустической обстановке, в том числе за пределами лаборатории, нами был разработан карманный прототип цифрового СА, который является гибкой, мощной и недорогой цифровой платформой на базе DSP общего применения ADSP-2183 и речевого кодека AD73311 фирмы ANALOG DEVICES.

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В СА

Прежде всего, СА имеют следующие общие преимущества при использовании цифровой обработки сигналов (ЦОС) звукового диапазона частот:

- качество, стабильность, точность, повторяемость амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) цифровых фильтров. Возможность создания банков полосовых фильтров с линейной фазой. Формирование с большой точностью заданных АЧХ, компенсирующих как индивидуальные характеристики слуха пациента, так и АЧХ применённых электроакустических преобразователей;
- отсутствие механических элементов настройки с одновременным ростом числа управляемых параметров;
- программная гибкость реализации и индивидуальной настройки алгоритмов при неизменном аппаратном ядре;
- возможность выбора стратегии обработки звука, отвечающей конкретной акустической обстановке, простым переключением программы микропроцессора.

Концепция обработки звука в существующих цифровых СА, прежде всего, повторяет базовый подход частотно-зависимого усиления и амплитудной компрессии, но делает это с большей гибкостью и с параметрами, недоступными при традиционной аналоговой обработке. Многополосная компрессия реализуется в 3-7-9 полосах с изменяемыми частотными границами полос и независимым выбором параметров компрессии в каждой полосе (глубина компрессии, уровень приведения сигналов, величина максимального усиления, время атаки и восстановления). Это позволяет наиболее эффективно согласовывать динамический диапазон сигналов с областью остаточного восприятия (рис. 1).

Но главное преимущество цифровых СА состоит в том, что они позволяют реализовать функции обработки сигналов, принципиально невозможные в аналоговой реализации:

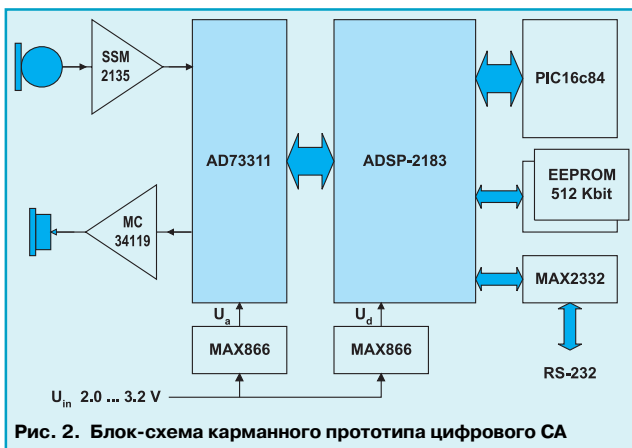
- адаптивные алгоритмы фильтрации помех со спектром, перекрывающимся со спектром полезного сигнала на основе анализа признаков речевого сигнала. Это необходимо для повышения разборчивости речи у пациентов с нейросенсорной тугоухостью в реальной акустической обстановке на фоне окружающих шумов;
- адаптивные алгоритмы преобразования сигналов в представление, обеспечивающее максимальную разборчивость речи остаточным слухом пациента. Например, обнаружение и спектральный перенос только значимых областей речевых сигналов, попадающих в зону полной глухоты;
- адаптивные алгоритмы формирования пространственных диаграмм направленности микрофонов.

Эти алгоритмы, наиболее перспективные с точки зрения дальнейшей реабилитации пациентов, для своей реализации в реальном времени требуют большой вычислительной мощности и поэтому в настоящее время могут быть реализованы только на процессорах общего назначения в карманных СА, которые, обладая такими качествами, могут успешно конкурировать с миниатюрными СА.

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО СА

Блок-схема карманного прототипа цифрового СА представлена на рис. 2. Для реализации был выбран процессор ADSP-2183 (33 MIPS, 3,3 В, 32 К ОЗУ на кристалле).

При батарейном питании возникает несколько проблем. Во-первых, ресурса батарей должно хватать минимум на день непрерывной работы СА. Во-вторых, цифровые схемы чувствительны к изменению напряжения питания по мере разряда батарей. В третьих, напряжение батарей отличается от напряжения заменяющих их аккумуляторов. Для решения перечисленных проблем используются преобразователи напряжения DC-DC MAX866, которые обеспечивают питающее напряжение 3,3 В от двух пальчиковых элементов типа 316 (AA)



или аналогичных аккумуляторов во всем диапазоне разряда от 3,2 до 2,0 В. При использовании аккумуляторов ёмкостью 1100 мАч общая продолжительность работы аппарата достигает 10 часов. Общий потребляемый ток зависит от программной загрузки DSP и для программы 3-полосной компрессии составляет около 60 мА.

Другой острой проблемой портативной реализации является динамический диапазон (SNR) аналогово-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей (АЦП-ЦАП). Необходимо обеспечить низкий уровень собственных шумов во всём диапазоне входных звуковых сигналов. Поэтому желательно, чтобы АЦП имел динамический диапазон порядка 80 дБ. Это требует порядка 14 эффективных разрядов АЦП, при этом вес младшего разряда при напряжении питания 3,3 В составляет 200 мкВ. Сигма-дельта звуковые кодеки, имеющие такой SNR (например, AD1849), питаются от 5 В и потребляют значительную мощность. Альтернативным решением может быть использование кодека с меньшим SNR и входного микрофонного усилителя с программируемым коэффициентом усиления. В качестве преобразователя в данном СА используется речевой сигма-дельта кодек AD73311. Он имеет SNR для АЦП порядка 55 дБ, для ЦАП порядка 60 дБ, встроенные фильтры, программируемую частоту дискретизации до 64 кГц, питание 3,3 В (60 мВт) и программируемое входное усиление (PGA) в диапазоне 0...+38 дБ.

Особое внимание должно быть уделено развязке цифровых и аналоговых цепей. Микрофонный вход работает с сигналами с амплитудой начиная от 5 мкВ, поэтому аналоговые цепи должны быть тщательно проработаны, экранированы и развязаны по питанию. В данном СА эта проблема решается использованием отдельных преобразователей MAX866 для питания цифровых и аналоговых цепей, причём для снижения наводок цифровая часть AD73311 питается так же от источника аналогового напряжения.

СА имеет выносной электретный микрофон и телефон ТМ-5М с ушным вкладышем. В микрофонном усилителе используется малошумящий операционный усилитель SSM2135. Для обеспечения максимального выходного звукового давления до 130 дБ, выходной каскад телефонного усилителя собран по мостовой схеме на MC34119. Управление громкостью осуществляется программно через обработку прерываний, выставляемых при нажатии на кнопки на передней панели СА.

Помимо ADSP-2183, СА содержит дополнительный микроконтроллер PIC16C84, управляющий включением питания и начальной загрузкой DSP.

Пользовательские программы хранятся в постоянной EEPROM памяти с удобным последовательным интерфейсом. Используются микросхемы фирмы ATMEЛ 24С64 и 24С256 ёмкостью 64 и 256 Кбит. При включении СА имеется возможность выбора загружаемой программы.

Для оперативной загрузки и отладки рабочих программ в DSP, а также для прошивки программ в EEPROM, в СА реализована связь с персональным компьютером (ПК) через последовательный порт RS-232. В



Рис. 3. Максимальное акустическое усиление

этих режимах работы интерфейс с ПК со стороны СА аппаратно поддерживается с помощью MAX2332, а программно — с помощью монитора, который постоянно присутствует в старших адресах памяти DSP и обеспечивает загрузку рабочих программ и доступ к внутренней памяти DSP со стороны ПК.

СА имеет габариты 27×60×125 мм и вес 150 г без источников питания. На рис. 3 и 4 приведены экспериментальные характеристики разработанного прототипа цифрового СА. Представлены АЧХ максимального акустического усиления сквозного линейного канала и уровня звукового давления насыщения, измеренные согласно ГОСТ-10893-87.

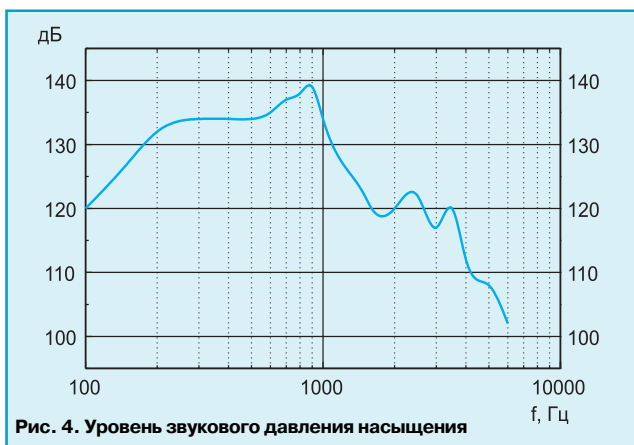


Рис. 4. Уровень звукового давления насыщения

РЕАЛИЗОВАННЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

На вышеописанной цифровой платформе реализованы следующие экспериментальные алгоритмы обработки сигналов:

1. Формирование произвольно заданной АЧХ СА, согласованной с индивидуальной аудиограммой пациен-

та. Используются фильтры с конечной импульсной характеристикой (КИХ) и длиной до 512 коэффициентов при частоте дискретизации от 8 до 16 кГц.

2. Многополосная компрессия сигнала. Входной сигнал с помощью линейки КИХ-фильтров с линейной фазой разделяется на частотные полосы, в каждой из которых реализуется амплитудная компрессия сигнала с индивидуальным заданием параметров — времени атаки и восстановления, коэффициента компрессии, максимального усиления и выходного уровня приведения сигнала, что позволяет для каждого пациента наилучшим образом отобразить широкий динамический диапазон входных сигналов в пониженный динамический диапазон остаточного слуха и избежать как дискомфортных перегрузок, так и роста раздражающего шума в паузах речи. Выбор числа и границ частотных полос в общем случае определяется индивидуальными характеристиками, при этом необходимо учитывать общую тенденцию разделения мощных НЧ и слабых ВЧ компонент речи в различные полосы. Во-первых, восприятие ВЧ компонент речи страдает, в первую очередь, у большинства пациентов, поэтому для них необходимы другие параметры компрессии. Во-вторых, такое разделение позволит снизить эффект маскировки слабых компонент сильными, который у пациентов с нейросенсорной тугоухостью увеличивается. В-третьих, правильный выбор границ позволяет разделить смежные формантные пики большинства гласных звуков в смежные полосы, что позволяет подчеркнуть более слабые второй и третий формантные пики (порядка 10–15 дБ от уровня первой форманты).

3. Алгоритм повышения словесной разборчивости пациентов с нейросенсорной тугоухостью в присутствии мешающих шумов за счёт адаптивной фильтрации на основе анализа признаков речевых сигналов. Одной из характеристик нейросенсорной тугоухости является понижение помехоустойчивости восприятия речи из-за усиления эффекта маскировки одних звуков другими, по сравнению с нормальным слухом, вследствие расширения критических полос слуха (понижения частотной селективности). Поэтому понижение входного отношения сигнал/шум, измеренного в широкой полосе, для речи до 0 дБ приводит к резкому падению словесной разборчивости по сравнению с нормальным слухом. Любая речь на расстоянии начинает восприниматься невнятно. Задачей алгоритма является повышение отношения сигнал/шум (в широкой полосе) для речи, предъявляемой пациенту, по отношению к таковому на входе аппарата за счёт фильтров с динамически изменяющимися характеристиками (Патент RU-2047946).

4. Алгоритм спектрального переноса значимых областей, который является способом хоть как-то улучшить восприятие речи пациентами, которые практически ничего не слышат выше 1 кГц. При этом они не воспринимают формантную структуру гласных звуков, а также фрикативные согласные, типа “ж-ш”, “ц-ч-с”. Подобный перенос при соответствующей тренировке способен облегчить чтение по губам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты показывают, что ключ к дальнейшему улучшению качества реабилитации пациентов с помощью цифровых СА находится в области создания сложных адаптивных алгоритмов, моделирующих периферию слуховой системы человека. Эти алгоритмы требуют решения задач анализа входных сигналов в реальном масштабе времени, поэтому для их реализации необходима цифровая платформа с производительностью не менее 25–30 MIPS.

Уровень развития DSP-процессоров общего назначения позволяет создавать на их основе цифровые СА карманного типа. Низкая стоимость таких СА, высокая производительность и открытость для программирования позволяют использовать их для помощи пациентам с тяжёлыми нарушениями слуховой функции и как инструмент для разработки и испытания новых алгоритмов.

Автор хочет выразить благодарность всем своим коллегам, принимающим участие в проекте, и лично — А. Довжикову, создавшему образец СА.

E-mail: barabashka@fnmail.com

НОВАЯ АРХИТЕКТУРА QDR SRAM ОБЕСПЕЧИВАЕТ ПОЛОСУ ПРОПУСКАНИЯ СВЫШЕ 200 МГц

Три фирмы — CYPRESS SEMICONDUCTOR, IDT и MICRON TECHNOLOGY совместными усилиями разработали новую архитектуру SRAM, получившую наименование QDR (Quad Data Rate), ориентированную на использование в перспективных маршрутизаторах и коммутаторах, работающих со скоростями передачи данных свыше 200 МГц. Совместная работа велась с целью организации системы из нескольких поставщиков, организации согласованной технической и рыночной политики и обеспечения по выводной и функциональной совместимости.

Новая QDR архитектура SRAM располагает большей полосой пропускания, по сравнению с обычной памятью SRAM. Новая память, по утверждению специалистов фирмы, будет использоваться в качестве основной для просмотра таблиц, списков связей и буферной памяти контроллеров.

Архитектуры ZBT (Zero Bus Turnaround) и NoBL (No Bus Latency) ориентированы на требования современных коммуникационных систем, работающих на частотах 66...200 МГц. Архитектура QDR SRAM ориентирована на перспективные системы, которые будут передавать данные на частотах, превышающих 200 МГц. Новая архитектура предусматривает два порта, работающих независимо с удвоенной скоростью (DDR), что приводит к учетверению производительности в каждом тактовом цикле. Как считают специалисты фирм разработчиков, в зависимости от вида применения, использование QDR SRAM позволит более чем удвоить полосу пропускания SRAM.

Каждая из трёх упомянутых фирм будет изготавливать QDR SRAM на собственных производственных мощностях и распространять через свою сеть поставщиков. Фирмы рассчитывают наладить производство приборов с новой архитектурой в течение следующего года.

24 августа 1999 год



ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ

ОТ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

ОТК и ПЗ

НИЗКИЕ ЦЕНЫ

КРЕДИТ

Дилерские цены на импортные компоненты

ANALOG DEVICES, TEXAS INSTRUMENTS, ATMEL, MICROCHIP, SGS-THOMSON, PHILIPS

SYNTON-TECH, SUNSCREEN, BESTTILE, INTECH, HOSONIC

Сверхнизкие цены на пассивные компоненты производителей из Юго-восточной Азии



НЕОБХОДИМО & ДОСТАТОЧНО

НПФ "Радио-Сервис"

426075 г. Ижевск, а/я 1636 тел:(3412)37-56-25, факс:37-81-96, e-mail:office@radio.udm.net