

## РЕАЛИЗАЦИЯ КАРМАННОГО ЦИФРОВОГО СЛУХОВОГО АППАРАТА НА ADSP-2183

*Бабкин В.В., Бабкина Л.Н.\*, Довжиков А.А.\*\*\*, Молчанов А.П.\**

Кафедра Цифровой Обработки Сигналов,  
Государственный Университет Телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича  
Россия, 193232, Санкт-Петербург, пр. Большевиков д. 24,  
т. 589-82-46, E-mail: barabashka@fnmail.com

\*\* Институт эволюционной физиологии и биохимии РАН им. И. М. Сеченова  
Россия, 194223, Санкт-Петербург, пр. Тореца д. 44, E-mail: aad@iephb.ru

\* Научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи  
Россия, 198013, Санкт-Петербург, ул. Бронницкая д. 9, E-mail: barabashka@usa.net

**Реферат.** В докладе представлена практическая реализация карманного прототипа цифрового слухового аппарата на цифровом сигнальном процессоре ADSP-2183. Анализируются возможности и задачи таких аппаратов. Дается краткое описание примененных алгоритмов цифровой обработки речевых сигналов, открывающих новые возможности компенсации потерь слуха, недоступные при традиционной аналоговой реализации. Приводятся характеристики аппаратной реализации карманного устройства с батарейным питанием, сочетающего в себе жесткие требования к цифровой и аналоговой частям.

### 1. Введение.

На современном рынке представлен широкий спектр слуховых аппаратов (СА), предназначенных для компенсации потерь слуха различной степени тяжести. В основном это аналоговые аппараты, выполненные в виде карманных, заушных, внутриушных и внутриканальных вариантов. Основные стратегии обработки сигналов в аналоговых аппаратах широко известны и изложены, например, в [1].

С 1995 года ряд фирм (Oticon, Widex, Siemens, Bernafon) объявил о создании цифровых СА заушного типа на базе специально разработанных микропроцессоров с напряжением питания 0.9-1.2 вольта и производительностью порядка 14 MIPS [2,3]. Таким образом, барьер больших габаритов и большого потребления питания цифровых микропроцессоров с производительностью достаточной для обработки сигналов в реальном времени, препятствовавший их широкому внедрению в класс носимых устройств, успешно преодолен. На первый план выходят алгоритмы цифровой обработки речевых сигналов, кардинально изменяющие подходы к обработке сигналов в СА [3-9]. Успехи цифровой миниатюризации и внедрение передовых алгоритмов заставляют предполагать, что в скором времени большинство СА станут цифровыми.

Разработанный нами карманный прототип цифрового СА предназначен, в основном, для разработки и демонстрации в реальном масштабе времени алгоритмов цифровой обработки речевых сигналов, пригодных для пациентов с поражениями слуха различной степени тяжести, и позволяет отработать эти алгоритмы на реальных пациентах в различной акустической обстановке, в т.ч. за пределами лаборатории. Прототип построен на базе цифрового сигнального процессора (DSP) общего применения ADSP-2183 и речевого кодека AD73311 фирмы Analog Devices.

### 2. Преимущества использования цифровой обработки сигналов в СА.

Общие преимущества цифровой обработки сигналов звукового диапазона частот хорошо известны:

- Точность, стабильность, повторяемость характеристик цифровых фильтров.
- Гибкость программирования при неизменном аппаратном ядре.

Но основное отличие между цифровыми и аналоговыми СА состоит в том, что цифровые СА позволяют реализовать следующие функции обработки сигналов с параметрами не достижимыми при традиционной аналоговой обработке:

- Формирование с большой точностью заданной амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) СА, компенсирующей как индивидуальные характеристики пациента так и частотные характеристики примененных акусто-электрических и электро-акустических преобразователей.
- Многополосная компрессия речи (3-7 полос) с независимым выбором параметров компрессии в каждой полосе (глубина компрессии, уровень приведения сигналов, максимальное усиление, время атаки и восстановления).
- Адаптивные алгоритмы шумоподавления и повышения разборчивости речи для пациентов с нейросенсорной тугоухостью в присутствии мешающих шумов.
- Преобразование сигналов в представление, обеспечивающее максимальную разборчивость речи остаточным слухом пациента. (Например, спектральный перенос значимых областей.)
- Возможность выбора стратегии обработки звука, отвечающей конкретной акустической обстановке, простым переключением программы микропроцессора.

### 3. Проблемы аппаратной реализации цифровых СА.

Основной проблемой цифровой реализации СА, мешающей их внедрению на рынок СА, основную долю которого занимают заушные и внутриушные аппараты, являются габариты и потребляемая мощность питания цифровых процессоров, с производительностью достаточной для реализации сложных алгоритмов обработки сигналов в реальном времени. В настоящее время наметилось две тенденции. Наряду с созданием спецпроцессоров для СА [2] появляются DSP общего назначения с малым энергопотреблением порядка 100 мВт и габаритами 1кв.см. Это ADSP-2183/2189 (52/66 MIPS, напряжение питания 3.3/2.5 вольта) фирмы Analog Devices, TMS320c549/5410 (100 MIPS, ядро 2.5 вольта) фирмы Texas Instruments. Для реализации прототипа цифрового СА был выбран процессор ADSP-2183 с производительностью 33 MIPS, напряжением питания 3.3 в (100 мВт), имеющий 32 К слов оперативной памяти на кристалле.

При батарейном питании цифровых схем возникает несколько проблем. Во-первых, ресурса батарей должно хватать минимум на день непрерывной работы СА. Во-вторых, существует проблема чувствительности цифровых схем к изменению напряжения питания по мере разряда батарей. В третьих, напряжение батарей отличается от напряжения заменяющих их аккумуляторов. Поэтому необходимо использовать преобразователи напряжения DC-DC. Мы использовали преобразователи MAX866, которые обеспечивают питающее напряжение 3.3 вольта от двух пальчиковых элементов 316 (AA) или аналогичных аккумуляторов в всем рабочем диапазоне от 3.2 до 2.0 вольт. При использовании аккумуляторов емкостью 1100 мА\*ч, общая продолжительность работы аппарата достигает 10 часов. Общий потребляемый ток зависит от загрузки процессора и для программы фильтрации составляет около 60 мА.

Другой острой проблемой является динамический диапазон аналогово-цифровых и цифроаналоговых преобразователей. Необходимо обеспечивать не более 25 дБ акустического шума, приведенного ко входу, при не менее чем 60 дБ максимального усиления с учетом взвешивания АЧХ СА [10]. Поэтому желательно чтобы АЦП имел динамический диапазон порядка 80 дБ. Это требует порядка 14 эффективных разрядов АЦП, что при напряжении питания 3.3 вольта составляет 200 мкв/разряд. Сигма-дельта звуковые кодеки, имеющие такой диапазон (например AD1849) питаются от 5 вольт и потребляют значительную мощность. Альтернативным решением может быть использование кодека с меньшей динамикой и входного микрофонного усилителя с программируемым коэффициентом усиления.

В качестве аналогово-цифрового и цифро-аналогового преобразователя в данном СА используется кодек AD73311. Он имеет входной динамический диапазон 55 дБ, питание 3.3 в (60 мВт) и программируемое входное усиление (PGA) в диапазоне 0...+38 дБ с шагом 3 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, причем для снижения наводок цифровая часть AD73311 питается так же от источника аналогового напряжения. В микрофонном усилителе используется малозумящий операционный усилитель SSM 2135.

#### 4. Структурная схема прототипа цифрового СА.

Блок схема карманного прототипа цифрового СА представлена на рис. 1. Он имеет габариты 27x60x125 и вес 150 г без источников питания. СА имеет выносной микрофон и телефон с ушным вкладышем. На рис. 2 и 3 приведены экспериментальные характеристики разработанного прототипа цифрового СА. Представлены АЧХ максимального акустического усиления сквозного линейного канала и уровня звукового давления насыщения, измеренные согласно [10].

Помимо ADSP-2183 СА содержит дополнительный микропроцессор PIC16C84, выполняющий роль супервизора включения питания и начальной загрузки DSP.

Рабочие программы хранятся в постоянной EEPROM памяти с последовательным интерфейсом. Используются микросхемы фирмы Atmel 24C64 и 24C256 емкостью 64 и 256 килобит.

Для загрузки и отладки рабочих программ DSP, а также для прошивания программ в EEPROM в СА реализована связь с персональным компьютером (ПК) через последовательный порт RS-232. В этих режимах работы интерфейс с ПК со стороны DSP поддерживается с помощью программы монитора, которая обеспечивает загрузку рабочих программ и доступ ко внутренней памяти DSP из ПК.

СА должен обеспечивать максимальное выходное звуковое давление до 130 дБ [10], поэтому для увеличения выходной мощности телефонного усилителя его выходной каскад собран по мостовой схеме на MC34119.

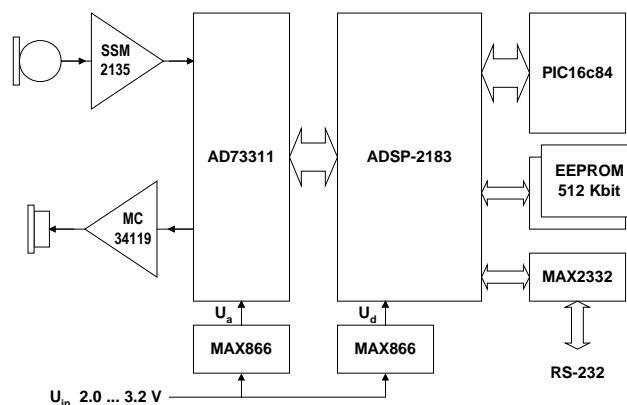


Рис. 1 Блок схема карманного прототипа цифрового СА.

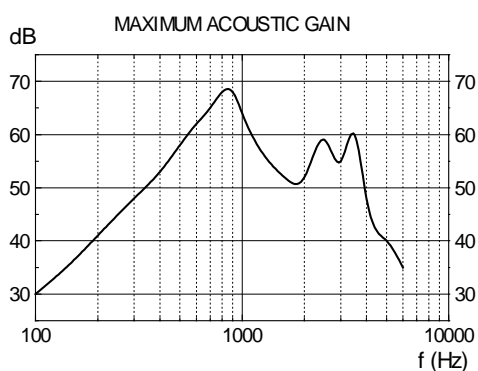


Рис. 2 Максимальное акустическое усиление.

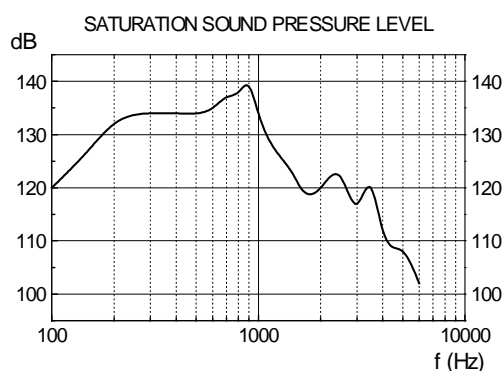


Рис. 3 Уровень звукового давления насыщения.

#### 5. Реализованные алгоритмы обработки сигналов.

Реализованы следующие алгоритмы обработки сигналов:

1. Формирование произвольно заданной амплитудно-частотной характеристики, согласованной с индивидуальной аудиограммой пациента. Используются фильтры с конечным импульсным откликом (линейной фазой) длиной до 512 коэффициентов.

2. Многополосная компрессия сигнала – это способ отображения широкого динамического диапазона речевых сигналов в пониженный динамический диапазон остаточного слуха, позволяющий произвести индивидуальное согласование коэффициентов компрессии и уровня приведения сигнала в каждой из частотных полос наилучшим образом для каждого пациента и избежать дискомфортных перегрузок. Выбор 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 избежать эффекта маскировки слабых компонент сильными. 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 дБ от уровня первой форманты).
3. Повышение словесной разборчивости пациентов с нейросенсорной тугоухостью в присутствии мешающих шумов за счет адаптивной фильтрации. 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. Поэтому понижение отношения сигнал/шум (в широкой полосе) входной 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 шум (в широкой полосе) предъявляемого пациенту по отношению к таковому на входе аппарата за счет фильтров с динамически изменяющимися характеристиками. Основные идеи алгоритма изложены в [8, 9].
4. Преобразование сигналов в представление, обеспечивающее максимальную разборчивость речи остаточным слухом пациента (спектральный перенос значимых областей). Это способ 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".

## 6. Заключение.

Полученные результаты показывают, что уже в настоящее время достигнутый уровень технологии производства DSP процессоров общего применения позволяет создавать на их основе цифровые слуховые аппараты карманного типа.

Сочетание низкой стоимости таких процессоров с широкими возможностями применения сложных адаптивных алгоритмов преобразования сигналов позволяет использовать такие СА для помощи пациентам с тяжелыми нарушениями слуховой функции.

## Библиография

1. В. А. Лисовский, В. А. Елисеев, "Слуховые приборы и аппараты", Москва, Радио и Связь, 1991, 191стр.
2. "The world's smallest computer: 4 grams!", Press release of Oticon, 12<sup>th</sup> September 1995
3. G. Nailor, "Technical and audiological factors in the implementation and use of digital signal processing hearing aids", paper presented at the 100<sup>th</sup> Audio Engineering Society Convention, Copenhagen, May 1996
4. Z. Ribic, J. Yang, M. Latzel, "Adaptive Spectral Contrast Enhancement Based On Masking Effect For The Hearing Impaired", ICASSP 1996, p. 937-940
5. K. Itoh, M. Mizushima, "Environmental Noise Reduction Based On Speech/Non-Speech Identification For Hearing Aids", ICASSP 1997, p. 419-422
6. N. Magota, S. Sirivara, "Real-Time Digital Speech Processing Strategies For The Hearing Impaired", ICASSP 1997
7. T. Schneider, R. Brenann, "A Multichannel Compression Strategy For A Digital Hearing Aid", ICASSP 1997
8. L. Babkina, R. Dombrovsky, A. Molchanov, "The Model of the Adaptive Filtering in the Peripheral part of the Hearing System and its Implementation", presented at the 103<sup>rd</sup> Convention of AES, 26-29 Sept 1997, New York.
9. Бабкина Л.Н., Молчанов А.П., "Способ адаптивной фильтрации речевых сигналов в слуховых аппаратах", патент RU - 2047946 от 10.11.95
10. Аппараты слуховые электронные. Общие ТУ. ГОСТ 10893-87

Авторы выражают свою благодарность д.б.н. Вартамян И. А., к.т.н. Домбровскому Р. В.  
и к.т.н. Марковичу А. С. за оказанную помощь в создании данного СА.