

ВВЕДЕНИЕ

По данным всемирной организации здравоохранения на 2005 г. около 278 млн человек в мире имели умеренные или серьезные нарушения слуха [1]. 80% из них живет в странах с низким и средним уровнем дохода.

Распространенными причинами нарушения слуха являются инфекционные заболевания (например менингит, корь и др.), воздействие чрезмерного шума, травмы, старение и применение ототоксичных лекарственных средств [2]. Большой частью слуховой дисфункцией страдают люди в трудоспособном возрасте. Поэтому возвращение или улучшение слуха таким людям – так называемая слуховая реабилитация – представляет собой важную медико-социально-экономическую проблему. Важное место в общем комплексе мер по слуховой реабилитации занимает применение специальных технических средств – слуховых приборов, однако с помощью производимых в настоящее время слуховых аппаратов можно удовлетворить менее 10% глобальных потребностей. В развивающихся странах слуховые аппараты имеют менее 1 из каждых 40 человек нуждающихся в них. В то же время возможности слуховых аппаратов постоянно расширяются благодаря совместным усилиям ученых из различных областей науки, включая физиологию, аудиологию, психо- и биофизику и отоларингологию.

Все полученные знания о различных патологиях и возможных способах коррекции слуха используются слуховыми аппаратами в виде соответствующих алгоритмов цифровой обработки сигналов (ЦОС). Однако из-за особенностей приложения разработка и реализация таких алгоритмов сопряжена с серьезными сложностями. Во-первых, по своему назначению слуховой аппарат должен выполнять непрерывный ввод, вывод и обработку звукового сигнала; во-вторых, задержка сигнала между входом и выходом аппарата (алгоритмическая задержка обработки в прямом канале аппарата) не должна превышать 7–9 мс [3–6]; в-третьих должно быть обеспечено крайне низкое энергопотребление устройства, поскольку слуховой аппарат выполняется в виде миниатюрного изделия и не может иметь мощного автономного источника энергии. Перечисленные особенности предъявляют специальные требования как к алгоритмам обработки, так и к вычислительной платформе устройства.

В отношении алгоритмов обработки наиболее важными их характеристиками в данном контексте являются эффективность реализации (вычислительная сложность) и алгоритмическая задержка. Центральным компонентом цифровой обработки звукового сигнала является частотно-временное преобразование. Благодаря специфике приложения (непрерывный ввод-вывод) наиболее подходящей является реализация преобразования в виде банка фильтров [7]. Причем предпочтительно, чтобы сигнал представлялся в частотной области с разным разрешением, учитывающим особенности слухового восприятия человека [3]. Само по себе проектирование таких банков фильтров с заданными параметрами является актуальной задачей для многих приложений, применительно же к слуховому аппарату эта задача приобретает особую важность и потому в настоящей работе ей уделяется особое внимание. Кроме того, на основе частотной декомпозиции сигнала, выполняемой банком фильтров, предлагаются специальные, адаптированные к требованиям приложения, алгоритмы подавления шума, обратной акустической связи, компрессии динамического диапазона и др.

Что касается вычислительной платформы, то основными требованиями являются производительность, низкое энергопотребление, низкая тактовая частота и архитектура, позволяющая эффективно выполнять требуемые алгоритмы обработки. Сегодня существует две основные альтернативы: процессоры цифровой обработки сигналов (ПЦОС) [8, 9] и программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Преимуществом ПЦОС является их высокая производительность, наличие аппаратных ускорителей многих операций, а также скорость разработки и отладки программного кода. Однако главным недостатком ПЦОС для их использования в качестве вычислителей для слуховых аппаратов является тот факт, что им характерна высокая тактовая частота. Это в свою очередь приводит к повышенному энергопотреблению, что не соответствует требованиям целевого приложения. Необходимо учитывать, что алгоритмы обработки имеют высокую степень параллелизма, что делает возможным их эффективную реализацию на ПЛИС в виде параллельно работающих структур. Использование параллельных структур позволяет уменьшить тактовую частоту процессора слухового аппарата, поскольку данные в этом случае будут обрабатываться в темпе их поступления.

При проектировании слухового аппарата желательно использовать высокоуровневые структуры и блоки обработки, обеспечивающие гибкость и возможность быстрой адаптации платформы к новым требованиям и алгоритмам. Новые требования возникают вследствие развития технических средств, с возникновением более производительных устройств с низким потреблением или при появлении и диагностике новых патологий слуха. Поэтому в настоящей работе предлагается процессор слухового аппарата в виде высокоуровневой реконфигурируемой структуры, объединяющей функциональные макроблоки. В процессе разработки слухового аппарата данные макроблоки настраиваются и объединяются в соответствии с заданными требованиями, после чего процессор синтезируется на ПЛИС. Этим достигается сокращение производственного цикла изделия (быстрое прототипирование) с сохранением его гибкости и функциональности.

В монографии приводится пример построения слухового аппарата на базе современной мобильной вычислительной платформы (iPhone). Интерес к такого рода реализации обусловлен широким распространением высокопроизводительных смартфонов, позволяющих выполнять обработку сигнала в режиме реального времени. При разработке слухового аппарата на базе мультимедийной вычислительной платформе необходимо учитывать особенности ее архитектуры для того, чтобы обеспечить требуемую функциональность. В работе предлагается специальная, адаптированная для смартфона, схема обработки сигнала с малой групповой задержкой и пониженной вычислительной сложностью.