

# Цифровой звук

<sup>1</sup>Кафедра информационных технологий и систем  
Национальная металлургическая академия Украины

19 октября 2011 г.

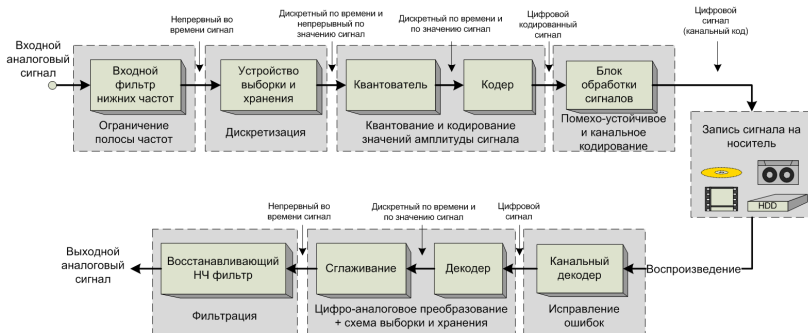
Цифровой звук — представление аналогового звукового сигнала в виде битовой последовательности, которая соответствует уровням электрических звуковых колебаний в определенные промежутки времени. Для преобразования звука в цифровой вид, применяется импульсно-кодовая модуляция или, реже, сигма-дельта-модуляция. Кроме описания звуковых колебаний в цифровом виде, применяется также создание специальных команд для автоматического воспроизведения на электронных музыкальных инструментах, ярчайшим примером такой технологии является MIDI.

Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ, англ. Pulse Code Modulation, РСМ) используется для оцифровки аналоговых сигналов. Практически все виды аналоговых данных (видео, голос, данные телеметрии) допускают применение ИКМ.

Чтобы получить на входе канала связи (передающий конец) ИКМ-сигнал из аналогового, мгновенное значение аналогового сигнала измеряется через равные промежутки времени. Количество оцифрованных значений в секунду (или скорость оцифровки, частота дискретизации) должно быть не ниже 2-кратной максимальной частоты в спектре аналогового сигнала (по теореме Котельникова). Мгновенное измеренное значение аналогового сигнала округляется до ближайшего уровня из нескольких заранее определённых значений. Этот процесс называется квантованием, а количество уровней всегда берётся кратным степени двойки, например, 8, 16, 32 или 64. Номер уровня может быть соответственно представлен 3, 4, 5 или 6 битами. Таким образом, на выходе модулятора получается набор битов (0 и 1).

На приёмном конце канала связи демодулятор преобразует последовательность битов в импульсы собственным генератором с тем же уровнем квантования, который использовал модулятор. Далее эти импульсы используются для восстановления аналогового сигнала в ЦАП.

Цифровая звукозапись — технология преобразования аналогового звука в цифровой с целью сохранения его на физическом носителе для возможности последующего воспроизведения записанного сигнала.



Принцип цифрового представления колебаний звукозаписи достаточно прост:

- вначале нужно преобразовать аналоговый сигнал в цифровой, это осуществляет устройство — аналого-цифровой преобразователь (АЦП)
- произвести сохранение полученных цифровых данных на носитель: магнитную ленту (DAT), жёсткий диск, оптический диск или флеш-память
- для того чтобы прослушать сделанную запись, необходимо воспроизведение сделанной записи с носителя и обратное преобразование из цифрового сигнала в аналоговый, с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП).



Принцип действия АЦП — тоже достаточно прост: аналоговый сигнал, полученный от микрофонов, электро-музыкальных инструментов, акустических инструментов, духовых, ударных и проч., преобразовывается в цифровой. Это преобразование включает в себя следующие операции

Ограничение полосы частот производится при помощи фильтра нижних частот для подавления спектральных компонент, частота которых превышает половину частоты дискретизации.

Дискретизацию во времени, то есть замену непрерывного аналогового сигнала последовательностью его значений в дискретные моменты времени ??? отсчетов. Эта задача решается путём использования специальной схемы на входе АЦП ??? устройства выборки-хранения.

Квантование по уровню представляет собой замену величины отсчета сигнала ближайшим значением из набора фиксированных величин — уровней квантования.

Кодирование или оцифровку, в результате которого значение каждого квантованного отсчета представляется в виде числа, соответствующего порядковому номеру уровня квантования.

Делается это следующим образом: непрерывный аналоговый сигнал "режется" на участки, с частотой дискретизации, получается цифровой дискретный сигнал, который проходит процесс квантования с определенной разрядностью, а затем кодируется, то есть заменяется последовательностью кодовых символов. Для записи звука в полосе частот 20-20 000 Гц, требуется частота дискретизации от 44,1 и выше (в настоящее время появились АЦП и ЦАП с частотой дискретизации 192 и даже 384 кГц). Для получения качественной записи достаточно разрядности 16 бит, однако для расширения динамического диапазона и повышения качества звукозаписи используется разрядность 24 (реже 32) бита.

## Принцип действия ЦАП

Цифровой сигнал, полученный с декодера, преобразовывается в аналоговый. Это преобразование происходит следующим образом:

- Декодер ЦАП преобразует последовательность чисел в дискретный квантованный сигнал
- Путем сглаживания во временной области из дискретных отсчетов вырабатывается непрерывный во времени сигнал
- Окончательное восстановление сигнала производится путем подавления побочных спектров в аналоговом фильтре нижних частот

Основными параметрами, влияющими на качество цифровой звукозаписи, являются:

- Разрядность АЦП и ЦАП.
- Частота дискретизации АЦП и ЦАП.
- Джиттер АЦП и ЦАП
- Передискретизация



Также немаловажными остаются параметры аналогового тракта цифровых устройств звукозаписи и звуковоспроизведения:

- Отношение сигнал/шум
- Коэффициент нелинейных искажений
- Интермодуляционные искажения
- Неравномерность амплитудно-частотной характеристики
- Взаимопроникновение каналов
- Динамический диапазон

Сжатие (компрессия) аудиоданных представляет собой процесс уменьшения скорости цифрового потока за счет сокращения статистической и психоакустической избыточности цифрового звукового сигнала.

Методы сокращения статистической избыточности аудиоданных также называют сжатием без потерь, а, соответственно, методы сокращения психоакустической избыточности - сжатием с потерями.

Сжатие аудиоданных с потерями основывается на несовершенстве человеческого слуха при восприятии звуковой информации. Неспособность человека в определенных случаях различать тихие звуки в присутствии более громких, называемая эффектом маскировки, была использована в алгоритмах сокращения психоакустической избыточности. Эффекты слухового маскирования зависят от спектральных и временных характеристик маскируемого и маскирующего сигналов и могут быть разделены на две основные группы:

- частотное (одновременное) маскирование
- временное (неодновременное) маскирование

Эффект маскирования в частотной области связан с тем, что в присутствии больших звуковых амплитуд человеческое ухо нечувствительно к малым амплитудам близких частот. То есть, когда два сигнала одновременно находятся в ограниченной частотной области, то более слабый сигнал становится неслышимым на фоне более сильного.

Маскирование во временной области характеризует динамические свойства слуха, показывая изменение во времени относительного порога слышимости (порог слышимости одного сигнала в присутствии другого), когда маскирующий и маскируемый сигналы звучат не одновременно. При этом следует различать явления послемаскировки (изменение порога слышимости после сигнала высокого уровня) и предмаскировки (изменение порога слышимости перед приходом сигнала максимального уровня). Более слабый сигнал становится неслышимым за 5 — 20 мс до включения сигнала маскирования и становится слышимым через 50 — 200 мс после его включения.

Звуковая карта (звуковая плата, аудиокарта; англ. sound card) — дополнительное оборудование персонального компьютера, позволяющее обрабатывать звук (выводить на акустические системы и/или записывать). На момент появления звуковые платы представляли собой отдельные карты расширения, устанавливаемые в соответствующий слот. В современных компьютерах чаще представлены в виде интегрированного в материнскую плату аппаратного кодека (согласно спецификации Intel AC'97 или Intel HD Audio).

Поскольку IBM PC проектировался не как мультимедийная машина, а инструмент для решения научных и деловых задач, звуковая карта на нём не была предусмотрена и даже не запланирована. Единственный звук, который издавал компьютер, был звук встроенного динамика, сообщавший о неисправностях. (На компьютерах фирмы Apple звук присутствовал изначально.)

В 1986 году в продажу поступило устройство фирмы Covox Inc. Оно присоединялось к принтерному порту IBM PC и позволяло воспроизводить монофонический цифровой звук. Пожалуй, Covox можно считать первой внешней звуковой платой. Covox был очень прост и дешев по устройству (практически простейший резистивный ЦАП) и оставался популярным в течение 90-х годов. Появилось большое количество модификаций, в том числе — для воспроизведения стереофонического[1] звучания.



В 1988 году фирма Creative Labs выпустила устройство Creative Music System (С/MS, позднее также продавалась под названием Game Blaster) на основе двух микросхем звукогенератора Philips SAA 1099, каждая из которых могла воспроизводить по 6 тонов одновременно. Примерно в это же время компания AdLib выпустила свою карту, одноимённую с названием фирмы, на основе микросхемы YM3812 фирмы Yamaha. Данный синтезатор для генерации звука использовал принцип частотной модуляции (FM, frequency modulation). Данный принцип позволял получить более естественное звучание инструментов, чем у Game Blaster.

Одним из методов сокращения объёмов, занимаемых музыкой, является MIDI (Musical Instrument Digital Interface) — способ записи команд, посылаемых инструментам. MIDI-файл (обычно это файл с расширением mid) содержит ссылки на ноты. Когда MIDI-совместимая звуковая карта получает эту ссылку, она ищет необходимый звук в таблице (Wave Table). Стандарт General MIDI описывает около 200 звуков. Карты, поддерживающие этот стандарт, обычно имеют память, в которой хранятся звуки, либо используют для этого память компьютера. Одной из первых wavetables-карт была Gravis Ultrasound, получившая в России прозвище "Гусь" (от сокращённого названия GUS). Creative, стремясь упрочить своё положение на рынке, выпустила собственный звуковой процессор EMU8000 (EMU8K) и музыкальную плату на его основе Sound Blaster AWE32, которая была, несомненно, лучшей картой того времени. "32" — это количество голосов MIDI-синтезатора в карточке.

С возрастанием мощности процессоров, постепенно стала отмирать шина ISA, на которой работали все предыдущие звуковые карты, и многие производители переключились на выпуск карты для шины PCI. В 1998 году компания Creative вновь делает широкий шаг в развитии звука и выпуском карты Sound Blaster Live! на аудиопроцессоре EMU10K, который поддерживал технологию EAX, устанавливает новый стандарт для IBM PC, который остаётся (в усовершенствованном виде) актуален и по сей день.

АС'97[2] (сокращенно от англ. audio codec '97) — это стандарт для аудиокодеков, разработанный подразделением Intel Architecture Labs компании Intel в 1997 г. Этот стандарт используется в основном в системных платах, модемах, звуковых картах и корпусах с аудиорешением передней панели. АС'97 поддерживает частоту дискретизации 96 кГц при использовании 20-разрядного стерео-разрешения и 48 кГц при использовании 20-разрядного стерео для многоканальной записи и воспроизведения.

АС'97 состоит из встроенного в южный мост чипсета хост-контроллера и расположенного на плате аудиокодека. Хост-контроллер (он же цифровой контроллер, DC'97; англ. digit controller) отвечает за обмен цифровыми данными между системной шиной и аналоговым кодеком. Аналоговый кодек — это небольшой чип (4×4 мм, корпус TSOP, 48 выводов), который осуществляет аналогоцифровое и цифроаналоговое преобразования в режиме программной передачи или по DMA.

HD Audio (от англ. high definition audio — звук высокой четкости) является эволюционным продолжением спецификации AC'97, предложенным компанией Intel в 2004 году, обеспечивающим воспроизведение большего количества каналов с более высоким качеством звука, чем при использовании интегрированных аудиокодеков AC'97. Аппаратные средства, основанные на HD Audio, поддерживают 24-разрядное качество звучания (до 192 кГц в стереорежиме, до 96 кГц в многоканальном режимах — до 8 каналов).

- Creative Labs,
- Diamond Multimedia System, Inc.,
- ESS Technology (сейчас только микросхемы ЦАП/АЦП),
- KYE Systems (Genius),
- M-Audio,
- Turtle Beach Systems,
- Yamaha Media Technology.

ASUS XONAR ESSENCESTX/A звуковая карта 192\$  
Creative 70SB127000001 SOUND CARD PCIE X-FI  
TITANIUM/HD 295\$  
Звуковая карта Egosystems MaXiO XD 20 801 грн.



