

Краткий Курс молодого (можно душой) аудиофила по вопросам цифровой записи и воспроизведения звука.

Идея этого текста - дать некоторое понимание основных процессов при записи и воспроизведении звука в цифровой форме, изложенное доступным образом. Часть 1 затронет общие вопросы, часть 2 - некоторые детали цифро-аналогового преобразования, в части 3 я попытаюсь сделать краткий обзор технических деталей основных форматов записи. Это не законченное изложение по этому вопросу, скорее очерк на тему. Текст не окончательный, первая часть написана за один вечер и комментарии приветствуются.

Часть первая.

1) Составляющие цепочки «цифровой» записи звука

1.1 Источник звука

1.2 Звуковая волна

1.3 Преобразователь энергии и информации звуковой волны в аналоговый электрический сигнал (микрофон)

1.4 Обработка аналогового сигнала (фильтрация, усиление, микширование и т.п.)

1.5 Преобразователь аналогового электрического сигнала в цифровой код (АЦП)

1.6 Обработка цифрового сигнала (по сути – вычислительный процесс, производимый с данными)

1.7 Устройство записи полученных данных на цифровой носитель.

1.8 Цифровой носитель

2) Составляющие цепочки воспроизведения цифрового звука

2.1 Цифровой носитель

2.2 Устройство воспроизведения данных с цифрового носителя

2.3 Преобразователь цифрового кода в аналоговый электрический сигнал (ЦАП)

2.4 Обработка электрического сигнала (фильтрация, усиление и т.д.)

2.5 Преобразователь энергии и информации аналогового электрического сигнала в звуковую волну (громкоговоритель, наушники)

2.6 Звуковая волна

2.7 Приёмник и анализатор звука (ухо + мозг)

Я сознательно несколько упростил цепочку, но в целом этот список достаточен для наших целей.

Разница между аналоговым сигналом и цифровыми данными.

Аналоговый сигнал - изменение реального значения физической величины во времени. Каждому конкретному моменту времени соответствует определённое значение величины (тока, напряжения, напряжённости поля, температуры, давления, силы света и т.д.) . Теоретически любой аналоговый сигнал можно измерять сколь угодно часто, с любым разрешением во времени. Цифровые же данные в нашем случае появляются, как результат таких измерений, сделанных с определённой точностью и через определённые промежутки времени (это делает аналого-цифровой преобразователь - АЦП). После того, как последовательность таких измерений произведена, мы остаёмся с некоторым набором чисел. Эти числа сохраняются (в общем случае для двоичного кода в электронной форме) в виде последовательности или групп "нулей" и "единиц".

Здесь для нас важны два момента. Во-первых, результат измерения **фиксирован** и представляет из себя цифровой код - данные. От того, что телефонный номер переписать сто раз, его содержание не изменится, если только не произойдёт ошибки при переписывании. От того, написать ли этот номер на бумаге или напечатать в электронной почте, номер также не изменится. Если мы попробуем, например, зашифровать этот номер или написать его иероглифами, то после расшифровки или прочтения иероглифов мы получим ту же самую информацию, что и раньше.

Во-вторых, этот результат существует в **абстрактной** по сути форме. Информация в цифровых данных не зависит от носителя, от времени, от копирования данных - до тех пор, пока не появятся численные ошибки. Достаточно сравнить копию с оригиналом и будет совершенно ясно, точна ли копия или нет. Эта абстрактность - и сила, и слабость цифровой формы представления аналогового сигнала. Сила в однозначности данных, а слабость в том, что эти данные представляют аналоговый оригинал только с определённой конечной точностью.

Об информации.

Когда мы слышим звук, то наш слуховой аппарат позволяет нам получить определённую информацию из колебаний давления воздуха. Поскольку микрофон - это не ухо, уже при преобразовании звуковой волны в электрический сигнал какое-то количество информации теряется. В этом - особенность любой аналоговой системы записи-воспроизведения. Любое действие с сигналом, любое его преобразование, даже просто хранение записи приводит всегда к **потере** информации по сравнению с оригиналом.

С другой стороны, цифровые данные можно хранить, копировать, переносить без потери информации. Достигается это дорогой ценой - утерей значительной части информации при аналого-цифровом преобразовании, по причине конечной точности измерения и фиксированной величины интервала между измерениями.

Кроме этого, есть ещё один специальный случай потери информации уже в цифровых данных. Любые операции с данными, приводящие к изменению значений отсчётов всегда приведут к потере информации. Иногда крайне незначительной, но потери всегда есть. К сожалению, сейчас такая цифровая обработка данных в звукозаписи широко распространена и это - одна из причин общей потери качества звучания современных записей. Частным вариантом такой обработки является компрессирование звуковых данных, основанное на добровольной потере большей части информации, наиболее известный способ - компрессия MP3.

О хранении и передаче цифровых данных.

Существует масса различных носителей цифровой информации - от жёстких дисков и магнитной ленты до CD или DVD. Информация передаётся по радио и по проводам, с помощью оптических волокон и флэш-памяти. Задача **любого** носителя данных - передать (записать, сохранить/переслать, воспроизвести) **данные без ошибок**. Поскольку ошибки всё равно возникают на любом носителе, где-то чаще, где-то реже, то обычно точная передача данных достигается использованием помехозащищённого кодирования, когда в записываемую непосредственно на носитель информацию добавляются избыточные данные, позволяющие корректировать возникающие ошибки. В любом случае подобные процессы можно считать "внутренним делом" носителя данных, служебной операцией, прозрачной для пользователя. Как именно работает аппарат конкретного носителя, с точки зрения цифровых данных **совершенно всё равно**. Получены данные на входе - предъявлены точно те же самые данные на выходе - всё, задача носителя выполнена на 100%, к нему никаких вопросов быть не может.

Искусство воспроизведения.

Теперь - ко второй половине цепочки.

Аналоговый сигнал измерен и полученные цифровые данные записаны, сохранены, переданы и даже воспроизведены без потерь. Но это только полдела. Наш мозг не приспособлен для подключения непосредственно к источнику цифровых данных, ему по вкусу аналоговый сигнал в виде звуковой волны. Понятно, что в системе звуковоспроизведения звуковая волна создаётся практически всегда электромеханическим преобразователем - в громкоговорителе или в наушниках, и для этого нужен аналоговый электрический сигнал. Поэтому требуется полученный при воспроизведении носителя цифровой код преобразовать назад в аналоговый сигнал. Этим занимается ЦАП - цифро-аналоговый преобразователь.

В идеальном мире ЦАП превращал бы каждый закодированный отсчёт-измерение в конкретное и точное значения напряжения или тока в нужный момент времени. Заметим, что для наиболее аккуратного восстановления подобия оригинального сигнала и, соответственно, записанной звуковой информации, требуется выполнение и того, и другого условия - то есть **точность в величине (амплитуде) И точность во времени**. Отклонения и в том, и в другом приводят к искажению теоретически достижимой формы сигнала, записанного в цифровом виде.

Кроме этого, проблема с восстановлением аналогового сигнала из цифрового состоит в том, что один и тот же цифровой сигнал может соответствовать нескольким разным вариантам аналогового сигнала на входе АЦП, поэтому на выходе ЦАПа появятся не только сигнал, близкий к оригинальному аналоговому, но и паразитные сигналы, которые могли бы быть на входе АЦП для получения того же самого цифрового кода. Разные ЦАПы по-разному фильтруют нежелательные составляющие на выходе, чаще всего ещё до собственно преобразования в аналог - путём дополнительной цифровой обработки данных, и во многом именно от варианта выполнения этого "участка работы" зависит качество звукового сигнала на выходе преобразователя.

Здесь мне хотелось бы ещё раз остановиться на важном моменте: цифровые звуковые данные несут вполне конкретную информацию об оригинальном сигнале, и, соответственно, о звуковой информации, важной для нас, как слушателей. При преобразовании из цифры в аналог какая-то часть этой информации опять теряется. Теряется **всегда**, больше или меньше - зависит от качества работы преобразователя. Но даже самый суперточный преобразователь не может найти в полученных цифровых данных больше информации, чем они содержат. Процесс восстановления аналога - это набор компромиссов и проблем, которые могут только отнять от заложенного в цифре, но никак не прибавить.

Во второй части я постараюсь рассказать о некоторых существенных деталях этого печального процесса - восстановления подобия живого звука из нарезанных тонких ломтиков.

18.11.2008