



[Цифровой звук](#) » [Аналитика и полезная информация](#)

Методика измерения аудиотрактов звуковых карт

В данном документе приводится методика измерения аудиотрактов звуковых карт, используемая в обзорах раздела [Мультимедиа](#) на сайте [IXBT.com](#).

Некоторые общие пояснения технических терминов можно найти в нашем [FAQ по звуку](#). Для более глубокого понимания нижеизложенного можно воспользоваться следующими документами: [FAQ по цифровому представлению звуковых сигналов](#), [Personal Computer Audio Quality Measurements](#).

Для количественной оценки технических параметров качества звучания используется программа SpectraLab 4.32.14 ([www.soundtechnology.com](#)). Спектрограммы тестов на нелинейные искажения и шумы получаются при подаче на вход эталонного синусоидального сигнала частотой 1 кГц. Тестовый синусоидальный сигнал с амплитудой -3 дБ был получен в wav-редакторе CoolEdit 2000 генератором синусоидального сигнала *GenerateTones*.

Для измерений характеристик, получаемых при прохождении сигнала по внешнему пути аудиотракта карты — из линейного выхода в линейный вход (external loopback), был применён шнурок длиной 10 см из отдельно экранированных микрофонных проводов d=6 мм. На его концах были распаяны позолоченные разъемы миниджек производства Тайвань, немного расточенные с торца.

Немного теории

Действие программы SpectraLab основано на FFT (Fast Fourier Transform — быстрое преобразование Фурье). Вспомним формулу прямого преобразования Фурье:

$$g(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot e^{-i\omega t} dt \quad (1)$$

где $f(t)$ — непрерывная функция на входе, например $A \cdot \sin \omega_0 t$.

A — амплитуда сигнала, например 1 Vrms, ω_0 — частота, например 1000 Гц.

На её основе вводится формула дискретного преобразования Фурье:

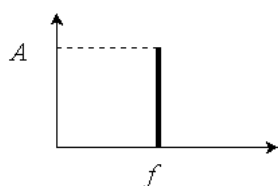
$$G(\omega) = \sum_{i=1}^N F(i) \cdot e^{\frac{2\pi}{N}(i-1)\omega - 1} \quad (2)$$

где $F(i)$ — дискретные значения непрерывной функции $f(t)$ в точке i , N — количество точек, ω — частота.

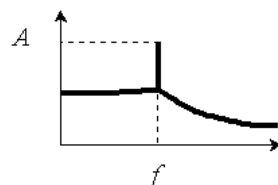
При этом мы можем выбирать как узкий диапазон частот для более точного исследования, так и

всю доступную полосу, которая, согласно теореме Котельникова, не может превышать половину частоты дискретизации. Для максимальной производительности выбирают N , являющееся степенью числа 2 (в программах обычно предлагается ряд от 2^8 до 2^{16}).

Какие методические погрешности мы получаем? Самая большая неприятность — это *рассеяние*. То есть при подаче синусоиды вместо такой картинки в идеале:



возникает немного другая:



Это "просачивание" сигнала на соседние частоты спектра в английской терминологии носит название *leakage*. Такова плата за realtime в измерениях, который мы имеем используя FFT. То есть искажению подвергается даже представление идеального файла с чистой синусоидой, что делает невозможным определение по графику истинного значения спектрального распределения шумов на реальном сигнале.

Методы представления результатов FFT (smoothing windows)

Но не всё так плохо. В зависимости от преследуемых целей результаты могут быть представлены в соответствии с одним из методов, указанных в таблице:

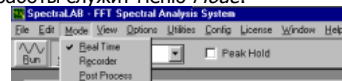
Метод представления	Точность передачи по частоте спектра	Точность передачи амплитуды	Уменьшение размытия	Где применяется
Bartlett	Плохо	Плохо	Средне	
Blackman	Плохо	Хорошо	Превосходно	Измерение искажений (distortion)
Flattop	Очень плохо	Превосходно	Средне	Точные измерения значений амплитуды
Hamming	Плохо	Плохо	Плохо	
Hanning	Плохо	Превосходно	Превосходно	Измерение искажений и шумов
Kaiser	Плохо	Плохо	Очень плохо	
Parzen	Плохо	Плохо	Очень плохо	
Triangular	Плохо	Плохо	Очень плохо	
Uniform				Точные измерения значений

(неизменённое представление) Превосходно Очень плохо Очень плохо частоты пиков, анализ импульсов

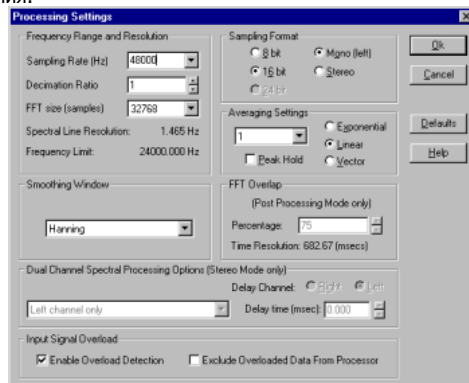
Из приведённой таблицы видно, что в реальной жизни хватит всего 2-х методов: по Ханнингу (Hanning) и обычного представления (Uniform). Принцип действия всех этих методов заключается в подборе такой сложной функции, которая бы дала нам оптимальный вид зависимости амплитуды от частоты.

Режимы работы с программой

Для переключения режимов работы служит меню *Mode*:



Real Time — измерения в реальном времени, *Recorder* — запись и обработка файлов, *Post Process* — постобработка, в которой имеется возможность использования перекрытий (FFT overlap) для более точного измерения.



Перейдём в режим *Recorder* и откроем тестовый файл — синусоиду с частотой 1 кГц. Нажав клавишу F4 или выбрав пункт меню *Option/Settings*, попадаем в настройки и устанавливаем необходимые параметры. Следует обратить внимание на частоту обработки. Если она отличается от частоты семплирования, неизбежны значительные нелинейные искажения от передискретизации.

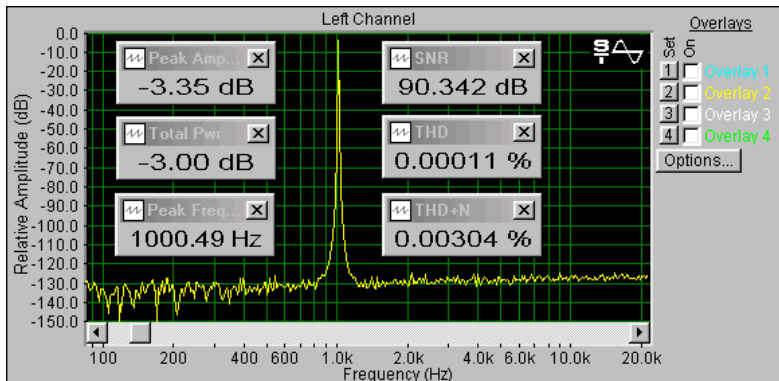
ВНИМАНИЕ! Не рекомендуется использовать входящий в комплект SpectralLAB тестовый файл синусоиды 1 кГц 44100 Гц при измерении характеристик карт в режиме семплинга 48000 Гц.

Averaging Settings - округления по сериям измерений. *FFT size* — число N из формулы (2). *Peak Hold* — фиксировать пики — необходимо только для показа "потолка", так как измерения искажений и шумов в этом режиме получаются некорректными. *Decimal Ratio* — позволяет уменьшить выборку по частоте. Для исключения "пульсаций" АЧХ при максимальном *FFT size* следует уменьшить значение этого параметра до 32768 (можно предположить следующее: поскольку численное интегрирование очень чувствительно к шагу, деление на 2^{16} в формуле (2) значительно ухудшает точность и устойчивость численного метода).

Особенности выбора тестового сигнала

Создадим стандартный синусоидальный сигнал 1 кГц амплитудой 0 dB (амплитуда считается относительно максимального сигнала без перегрузки для 16-битной разрядной сетки). Сигнал для тестов точно под "0" — не очень хороший выбор (исключая рекламные проспекты). Реально на студиях никто не нормализует музыкальный материал таким образом — всегда оставляют некоторый запас "сверху" (headover). Это происходит по разным причинам. И одна из них такова: старший бит несёт информацию о половине амплитуды сигнала, ошибки при считывании CD-DA интерполируются через двойной каскадный код Рида-Соломона, и при нормализованном под "ноль" сигнале щелчки со временем "эксплуатации" будут слышны все чаще и чаще. Для

получения более реальных характеристик разумно использовать для измерений файл с уровнем -3дБ.



Ровный спектр шумов при почти полном отсутствии гармоник идеально подходит в качестве эталонного сигнала.

Измеряемые параметры

Коэффициент нелинейных искажений (*Total Harmonic Distortion, THD*). Равен квадратному корню отношения суммы мощностей всех гармоник, кроме основной, к мощности основного колебания. Согласно установившейся практике подаётся сигнал частотой 1 кГц максимальной амплитуды. Характеризует нелинейность и обычно сильно зависит от частоты. Измеряется в процентах. Для цифровой техники при выходе цифрового сигнала за разрядность цифровой сетки (например, при высоких положениях регуляторов громкости в микшере или некорректных алгоритмах) характерно скачкообразное увеличение значения THD.

Отношение сигнал/шум (*Signal to Noise Ratio, SNR*). Показывает превышение амплитуды выходного сигнала над среднеквадратичным значением мощности шумов. Вычисляется вычитанием упомянутой величины в децибелах, поэтому является размерной величиной. Очень актуален для аналоговых устройств и АЦП/ЦАП. Так как уровень воздействия шумов на человека зависит от спектра самого шума, то для учёта субъективного восприятия (а иногда и в маркетинговых целях) применяют стандартную сетку A-взвешивания. При этом рядом с параметром должно быть указано A-weighting. Цифровые шумы не подчиняются закону геометрического сложения, как аналоговые.

Для совместной оценки шумов и искажений также измеряют полный коэффициент гармоник с учётом шумов (*THD+N*). Он объединяет в себе значения двух вышеописанных параметров.

Реальный сигнал включает в себя частоты, на порядок отличающиеся друг от друга по значению. Вследствие нелинейности звукового тракта могут образовываться паразитные модуляционные гармоники, делающие звук неестественным и неприятным. Для учёта такого влияния вводят коэффициент взаимной модуляции (*InterModulation Distortion, IMD*).

АЧХ, или амплитудно-частотная характеристика (**AFC**, *amplitude-frequency characteristic*). Представляет собой график в координатах амплитуды от частоты, построенный измерением амплитуды на выходе системы при подаче гармонического сигнала обычно представляющего собой "плавающий" синус (*swept sine*) с постоянной амплитудой. В идеале этот график должен быть прямой линией, при этом имеет значение не абсолютное соответствие референсному сигналу, а отклонение от наиболее ровного участка. Позволяет судить о том, насколько верно передаётся амплитуда сигнала на различных частотах спектра. При необходимости корректируется многополосным эквалайзером. К сожалению, аналоговые эквалайзеры привносят гораздо более неприятные на слух по сравнению с частотными фазовые искажения. Необходимо отметить, что цифровые эквалайзеры, работающие не в реальном времени, не вносят фазовых искажений в сигнал.

Мощность шумов квантования при оцифровке может быть уменьшена на несколько дБ за счёт оверсэмплинга и последующей фильтрации неслышимых частот, что широко применяется в кодеках и ЦАП-ах. Упомянуто это для объяснения технологической необходимости установки

фильтра высокого порядка (означающего спад АЧХ на высоких частотах). Однако создать идеальный фильтр (и дешевый, и эффективный) трудно, поэтому разработчики часто "залезают" даже в слышимую область спектра. Влияния подобного рода инженерных решений на качество звука нужно оценивать в каждом конкретном случае предельно аккуратно.

О применимости данной методики и корректности результатов измерений

В статье [SB Live! и домашняя звуковая студия](#) приводятся сравнение параметров аудиотракта звуковой карты SBLive!, полученных на измерительном комплексе Audio Precision, с таковыми у профессиональных и полупрофессиональных карточек. Данные, полученные нами с помощью программы SpectraLab 4.32.14, отличались от указанных в статье не более чем на 1,5%.

В любом случае наша цель состоит не в получении абсолютных значений, а в *сравнении параметров звуковых карт между собой по одной и той же методике, в одних и тех же условиях*. И что самое важное — результаты измерений хорошо согласуются с независимыми слуховыми экспертными оценками на качественном аудио-оборудовании.

В наших планах стоит улучшение и развитие данной методики измерений. Комментарии и поправки от квалифицированных специалистов в данной области приветствуются.

Обсуждения в конференции:

- [20:04] [Проблема выбора домашней акустики: топ-мультимедиа vs бюджетный H...](#) (3285 сообщений)
- [19:05] [Выбор звуковых карт начального и среднего уровня](#) (4134 сообщений)
- [19:02] [Качественные колонки 2.0 или 2.1 \(часть 2\)](#) (1296 сообщений)
- [18:42] [TopDevice TDS-505: интересный звук за смешные деньги](#) (1142 сообщений)
- [18:38] [Обсуждение настроек звуковой карты "Asus Xonar D1"](#). (1139 сообщений)
- [18:20] [SP/DIF на Realtek ALC1200 - только 2 канала???](#) (9 сообщений)
- [18:07] [Сетевые аудиоплееры SQUEEZEBOX производства Logitech \(Slimdevices...](#) (2572 сообщений)

Copyright © 1997—2012, iXBT.com.

Создание сайта — [студия Explosion](#)

Код для блога ^{бета}

- [Код](#)
- [Предпросмотр](#)

Выделите HTML-код в поле, скопируйте его в буфер и вставьте в свой блог.

