

Плагины Waves. Часть 2.

Все для реставрации фонограмм

Роман Петелин, Юрий Петелин

Аудиокассеты, аудиокассеты - сколько этого добра у вас разбросано по ящикам столов да на полках стеллажей! И на некоторых из них хранятся дорогие вашему сердцу записи. Песня, которую под гитару вы давным-давно пели со своими друзьями, звуковое письмо, присланное любимым человеком, первый стишок, выученный внучкой, еще не умеющей выговаривать, как подобает, добрую половину букв алфавита... Не многие записи отличаются достойным техническим качеством. А главное состоит в том, что все это может оказаться безвозвратно утраченным. Хорошо бы оцифровать звук, а полученные файлы записать на диск, да еще и копией запастись. Кроме того, было бы здорово записи отреставрировать.

Как раз о реставрации и пойдет сегодня речь. Применительно к работе со звуком реставрация на 90% заключается в снижении заметности помех.

В практике звукозаписи вы столкнетесь с помехами трех типов:

- широкополосные импульсные (треск и щелчки, вызванные повреждениями носителя записи, выпадение отсчетов цифрового звука);
- широкополосные шумовые (акустический шум в помещении, шум магнитной ленты, тепловые токи в сигнальных цепях, наводки на звуковую карту в результате хаотического излучения электромагнитных волн элементами компьютера);
- узкополосные тональные (фон сетевого напряжения питания, резонирующие акустические и электронные элементы).

Звукорежиссеры всегда пытались противопоставить наступающему хаосу адекватные меры борьбы с его проявлениями. Но эффективные решения появились только тогда, когда на стороне человека в это вечное сражение включился компьютер.

В статье мы хотим познакомить вас с плагинами, предназначенными для реставрации фонограмм, шумоподавления и устранения помех в аудиосигнале, входящими в пакет Waves Platinum Native Bundle 4.

Антищелкунчик

Плагин X-Click предназначен для удаления щелчков и шорохов, характерных для виниловых пластинок или возникающих в результате сбоев в цифровых устройствах.



Окно плагина X-Click

Если нажата кнопка **Audio**, то на дисплее белым цветом отображается волновая форма обрабатываемого сигнала и отмечаются позиции, в которых обнаружены щелчки. Если нажата кнопка **Difference**, то на дисплее отображаются непосредственно те компоненты сигнала, которые плагин счел щелчками. Картинка прокручивается влево. Состояние кнопок **Audio** и **Difference** влияет также на то, что вы услышите в процессе мониторинга: звук композиции после обработки плагином или звучание тех компонентов, которые удаляются из сигнала.

Сигнал анализируется в соответствии с алгоритмом, позволяющим по совокупности нескольких признаков (среди которых есть уровень и длительность импульса помехи) идентифицировать щелчки. Выявленные элементы вычитаются из сигнала. Таким путем обеспечивается компенсация щелчков (и прочих импульсных помех). Подавление щелчков осуществляется в полуавтоматическом режиме: алгоритм функционирует автоматически и независимо от вас, а вы должны поочередно регулировать два его параметра, контролируя на слух результаты своей работы.

Регулятором **Thresh** задают порог срабатывания детектора щелчков, а регулятором **Shape** - форму его характеристики. Цель подстройки этих параметров состоит в том, чтобы при включенной кнопке **Difference** были слышны только удаляемые щелчки и не "пробивались" полезные составляющие сигнала. Чаще всего среди последних вы услышите "фронты" звука барабанов и прочих инструментов с короткой атакой, которые программа самостоятельно не способна отличить от помех.

При работе плагина происходит задержка, соответствующая 2624 отсчетам оцифрованного звука. Получается, что X-Click работает как бы уже и не совсем в реальном времени. Если плагин применяется только к некоторым трекам многотрекового проекта, то для устранения временного рассогласования сигналы на остальных треках нужно также задержать на время, соответствующее 2624 отсчетам.

Щетка против трещотки

Плагин X-Crackle выполняет задачу, очень похожую на ту, для решения которой применяется X-Click. Оба они служат для удаления из звука треска и щелчков - артефактов, принадлежащих к одному и тому же классу помех. И треск, и щелчки представляют собой короткие импульсы. Разница между ними заключается только в уровне и частоте повторения импульсов (или, точнее в скважности импульсной последовательности, которая представляет собой отношение среднего периода следования импульсов к средней длительности импульса). Для потрескивания характерен небольшой уровень и маленькая скважность, для щелчков, наоборот - уровень, сравнимый с уровнем полезного сигнала и большая скважность. Рекомендуется применять эти два плагина в комплексе, причем сначала X-Click, а затем X-Crackle.

Разработчики утверждают, что в плагине X-Crackle используются самые новые результаты исследований в области психоакустики и многоуровневые алгоритмы принятия решения, чтобы удалить потрескивания при сохранении ясности звука и с наименьшим ущербом для исходного сигнала. Детальные сведения об алгоритме хранятся втайне. Судя по некоторым внешним признакам, в плагине наряду с динамической обработкой уровня сигнала используется также и его адаптивная частотная фильтрация.



Окно плагина X-Crackle

В вашем распоряжении вновь только два регулятора: порога обнаружения и степени подавления помех. Индикатор отображает уровень подавляемых компонентов.

Дисплей разделен на два горизонтальных трека. Верхний трек служит для отображения волновой формы сигнала (если включена кнопка **Audio**) или тех компонентов сигнала, которые плагин идентифицировал в качестве помех (если включена кнопка **Difference**).

На нижнем треке отображается мгновенный спектр обрабатываемого сигнала. По горизонтальной оси отложено время, по вертикальной - частота, а уровню спектральных составляющих сопоставляется кажущаяся яркость точек дисплея. Спектр исходного сигнала показан белым цветом, удаляемые компоненты - зеленым. Вообще говоря, эта спектральная диаграмма скорее носит декоративный характер, нежели служит в качестве инструментального средства.

Работа с плагином предельно проста: регулируете параметры **Thresh** и **Reduction**, контролируя работу на слух. Все что требуется от вас - следить, чтобы, удаляя трески, не затронуть полезные элементы сигнала.

Сложность алгоритма обработки, примененного в плагине X-Crackle, заметна "невооруженным глазом": он очень сильно "грузит" компьютер, потребляя значительно больше ресурсов, чем плагин X-Click. Из-за этого не на всяком компьютере удастся получить быстрый отклик на изменение положения регулятора. Утешает только то, что в процессе реставрации фонограмм торопиться особенно не куда: запись уже сделана, пролежала в архиве десятков лет и несколько часов как-нибудь "потерпит".

Не свистите

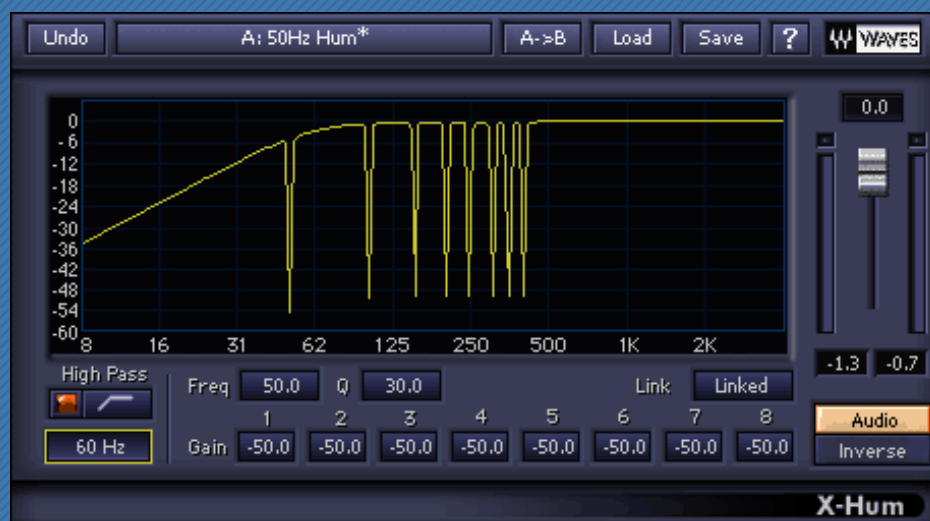
Плагин X-Hum предназначен для удаления из сигнала различных узкополосных периодических колебаний, которые в зависимости от частоты проявляют себя в звуке как "свист", "гудение" или "звон".

Примером помех такого рода может служить фон переменного тока, проникающий в аудиотракт сквозь неудачно спроектированные фильтры цепи питания, либо возникающий

из-за наводок на длинные сигнальные кабели. Так как часть элементов аппаратуры работает в нелинейном режиме, то кроме колебаний на основной частоте промышленного переменного тока 50 Гц появляются также и колебания на гармониках этой частоты (100 Гц, 150 Гц, 200 Гц и т. д.).

Иногда причиной паразитных периодических колебаний в записанном сигнале служат случайно создавшиеся условия для возникновения нежелательного акустического или электрического резонанса. Вспомните скрипящую и свистящую магнитную ленту, во время протяжки цепляющуюся краем за невидимые глазу потертости на корпусе кассеты или направляющих стоек.

Или еще пример. Однажды в одной из телепередач довелось наблюдать такую картину: к разговаривавшим участникам передачи подкатили огромную пустую бочку (помнится, речь шла о каком-то оригинальном способе лечения). И захотелось... немедленно переключить канал. Таким плохим стал звук. В нем появились гудящие призвуки, то возникающие, то исчезающие в зависимости от того, встречались ли в речи телевизионных собеседников тона, частоты которых совпадали с резонансными частотами бочки. Если бы звукорежиссер передачи знал о плагине X-Hum и потрудился немного поработать над фонограммой, глядишь, миллион-другой телезрителей и не щелкнули бы в это время кнопкой дистанционки, выбирая канал с менее раздражающим звуком.



Окно плагина X-Hum

Что же это за чудо такое, позволяющее столь легко избавляться сразу от нескольких злейших врагов звукозаписывающей и усилительной аппаратуры?

На самом деле никаких чудес нет. Плагин X-Hum - всего лишь специализированный многополосный эквалайзер.

В его составе имеются 9 фильтров. Есть фильтр для подавления низких частот. И, самое главное, есть 8 полосноподавляющих фильтров с регулируемой добротностью и уровнем ослабления сигнала в полосе подавления. Частоты настройки фильтров (**Freq**) также регулируются, но здесь есть одна особенность. Частоты перестраиваются синхронно, так, что отношение между ними всегда остается постоянным. За базовую частоту принята частота настройки самого низкочастотного (левого) фильтра. Именно она отображается в поле **Freq**. Таким образом, кроме основной частоты помехи, плагин позволяет подавить еще 7 ее гармоник. Этого предостаточно, т. к. амплитуды уже пятой и тем более восьмой гармоники любого колебания, порожденного реальным физическим процессом, значительно меньше амплитуды основного колебания (первой гармоники).

Особенностью регуляторов **Gain** является то, что параметр может принимать исключительно отрицательные значения. Т. е. ряд узкополосных составляющих спектра сигнала можно только ослабить, но не усилить.

Добротность фильтров **Q** изменяется в пределах от 3,0 до 60,0. При изменении добротности изменяется ширина отдельных полос подавления. Так, например, при минимальной добротности 3,0 ширина полосы подавления фильтра, настроенного на частоту 50 Гц, будет составлять примерно 17 Гц. Такой фильтр "отправит на тот свет" не только основную частоту фона переменного тока, но и заметную часть спектра баса. Повредит он и многим другим важным областям частотного спектра аудиосигнала. Например, кроме 8-й гармоники фона переменного тока (на частоте 400 Гц) будет подавлен также спектр сигнала в полосе приблизительно от 330 - 470 Гц. В результате из композиции исчезнут звуки, соответствующие половине нот первой октавы. Совсем другая картина будет при максимальной добротности. Полоса подавления фильтра, настроенного на частоту 50 Гц, составит всего лишь 0,8 Гц, а фильтра, настроенного на 8-ю гармонику, - около 7 Гц. Вреда полезному сигналу такой эквалайзер не причинит.

В плагине не предусмотрен ни анализатор спектра, ни измеритель частоты нежелательных периодических колебаний. Откуда же узнать частоту настройки эквалайзера? Можно воспользоваться анализатором спектра (см. [Матрия ПК № 12/2003](#)). Но в данном случае лучшим измерительным инструментом будет ваш слух. Если включена кнопка **Audio**, то вы слышите сигнал, обработанный плагином. Заметить в нем посторонний призвук бывает трудно, потому что не всегда призвук интенсивен, и к тому же его маскируются все остальные звуки. Уберите все фильтры кроме первого (установите для "лишних" фильтров **Gain** = 0). Получится фильтр, который не подавляет, а напротив выделяет колебание, попадающее в полосу пропускания. Соответствующий звук подчеркивается, становится более заметным. Теперь осталось, внимательно прислушиваясь, не спеша поработать регулятором **Freq** до тех пор, пока не обнаружится что-нибудь бубнящее или звенящее. Тогда переключайте плагин в режим обработки и мониторинга основного сигнала (включайте кнопку **Audio**) и по мере необходимости вводите подавление гармоник обнаруженного нежелательного колебания. Вот и все.

Шумодав идет по следу

В радиотехнике многие реальные шумовые процессы принято моделировать, пользуясь понятием "белый шум". Шум называется белым, если его спектр непрерывен, бесконечен и равномерен. Иными словами, в белом шуме на любой (сколь угодно малой или сколь угодно большой) частоте всегда найдется гармоническое колебание, причем амплитуды всех колебаний одинаковы. Белый шум - абстракция того же порядка, что и бесконечно короткий импульс или бесконечно протяженное колебание синусоидальной формы. Ничто из перечисленного в природе не существует. Реальный шум хоть и имеет широкий спектр, но, к счастью, он неравномерен. На каких-то частотах интенсивность шума выше, на каких-то - ниже. Как раз на учете этой неравномерности спектра реального шума и основан шумоподавитель, о котором идет речь. В нем воплощен так называемый согласованный фильтр. Такой фильтр должен в максимальной степени пропускать через себя энергию сигнала, с которым он согласован. Для этого амплитудно-частотная характеристика фильтра должна с точностью до постоянного коэффициента совпадать с амплитудным спектром сигнала, с которым фильтр согласован. В таком случае автоматически получится, что все прочие сигналы, поступающие на вход фильтра, он значительно ослабит. Т. е. будет обеспечено максимальное выделение одного сигнала на фоне других. Согласованный фильтр - это всегда наилучший фильтр для данного сигнала.

Многие реальные шумовые процессы обладают еще одним важным свойством - в пределах некоторого интервала времени их можно считать стационарными (в отличие от речевого или музыкального сигнала). Стационарность процесса означает, что его статистические, а значит и спектральные характеристики и параметры, не изменяются или изменяются незначительно. Например, если помещение, где производится запись, а также микрофон и входной усилитель "шумят", то спектр этого шума, измеренный сейчас, будет оставаться примерно тем же и через секунду, и через минуту. Наилучшим способ подавления стационарного широкополосного шума с неравномерным спектром реализовывал бы

следующий алгоритм.

1. В сеансе записи с микрофона до начала исполнения музыки или вокала нужно записать "тишину", которая на самом деле и будет представлять собой реализацию шума (получить модель шума).
2. Провести спектральный анализ фрагмента шума, характерного для конкретных условий записи (получить спектральную функцию шума).
3. Синтезировать фильтр, АЧХ которого равна полученному спектру шума (фильтр, согласованный с моделью шума).
4. Подать сигнал, содержащий и полезную составляющую (музыку) и шум, на вход фильтра, согласованного с моделью шума (выделить шум из его смеси с сигналом).
5. Из полного сигнала вычесть шум, выделенный согласованным фильтром.

Теория сигналов подобный алгоритм относит к классу адаптивных алгоритмов распознавания с обучением по ограниченной выборке. В результате его работы шум окажется в максимальной степени подавлен, а полезный сигнал будет затронут минимально.

Конечно, такой шумоподаватель, являясь оптимальным, все равно не может быть идеальным. Полезный сигнал он, конечно, хоть немного, но все же искажает. И причин тому есть несколько. Вот только самые существенные. Во-первых, если в спектре полезного сигнала есть составляющие, частоты которых совпадают с частотами в спектре шума, то фильтр будет ослаблять и их в той степени, в которой соотносятся интенсивности полезного сигнала и шума. Поэтому так важно сразу при записи обеспечить максимальное отношение сигнал/шум (даже, если запись ведется с расчетом на шумоподавление). Во-вторых, реальный шум все-таки не является в строгом смысле слова стационарным процессом. Модель шума, полученная до начала исполнения произведения быстро устаревает. Алгоритм продолжает "давить" шум, который существовал минуту назад, а тот шум, что существует сейчас, имеет несколько иной спектр. Поэтому в устройстве подавления должны быть предусмотрены дополнительные ручные регулировки параметров фильтра.

Все, о чем мы рассуждали, рассматривая возможный вариант оптимального шумоподавателя, реализовано в плагине X-Noise.

Сложнейший алгоритм шумоподавления скрыт от наших глаз. "На поверхности" находятся лишь несколько регуляторов и дисплеев. На нем отображаются сразу три характеристики. Красным цветом отображается спектр входного сигнала, зеленым - выходного и белым - характеристика фильтра, согласованного с моделью шума.

До начала работы в группе **Resolution** выберите разрешающую способность анализа/синтеза: **Low** - низкую, **Med** - среднюю, **High** - высокую. Высокая, конечно, предпочтительнее (если только с ней справится ваш компьютер). Далее нажмите кнопку **Noise Profile** -. Она замигает, а надпись **Learn** сменится на **Learning**. Алгоритм готов к обучению. В программе-хосте включите режим воспроизведения. Дайте плагину "понюхать" след - воспроизведите фрагмент записи, содержащий только шум, и еще раз нажмите кнопку **Noise Profile** -. На дисплее появится шумовой профиль - спектр шума.



Окно плагина X-Noise

Одновременно способом, который разработчики держат в секрете, по полученному спектру будет синтезирована АЧХ согласованного фильтра. Теперь можно приступить непосредственно к шумоподавлению. Начинайте воспроизводить тот фрагмент записи, где содержится уже не только шум, но и полезный сигнал. На дисплее появятся и будут непрерывно изменять свою форму графики спектров входного и обработанного сигналов.

Автоматика автоматикой, но критерием качества шумоподавления все же является ваше слуховое ощущение. Попеременно слушайте обработанный сигнал и сигнал на выходе фильтра, согласованного с моделью шума. При этом регулируйте порог срабатывания шумоподавителя и степень ослабления шума. Можно также задействовать дополнительный фильтр, регуляторы усиления, времени включения и выключения динамической обработки. Главное, чтобы в итоге получилось так, что при включенной кнопке **Difference** вы слышали только удаляемый шум, а при включенной кнопке **Audio** - неискаженный сигнал.

В заключение хотим сказать, что подробности о работе с X-Click, X-Crackle, X-Hum, X-Noise можно прочитать в книге "[Профессиональные плагины для SONAR и Cubase](#)". Аналогичные по назначению и обладающие не меньшими возможностями средства подавления различных помех встроены в звуковой редактор Cool Edit Pro.

Продолжение