

**МИНИСТЕРСТВО ПО РАЗВИТИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**
**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

ФАКУЛЬТЕТ КОМПЬЮТЕРНЫЙ ИНЖИНИРИНГ
кафедра “Мультимедийные технологии”

Лекции по предмету “Мультимедийно-голосовой дизайн”

Ташкент – 2015

Лекция 1. Основы Звукового дизайна

1. Значимость звукового дизайна
2. Звуковой дизайн в кинопроизводстве
3. Звуковой дизайн в театральном искусстве
4. Звуковой дизайн на телевидении

Ключевые слова: Дизайн, звук, кино, медиа

Звуковой дизайн (саунд-дизайн)— это процесс определения, приобретения, управления или создания звучовых элементов. Он используется в различных областях, включая кинопроизводство, ТВ-производство, театр, звукозапись, живое исполнение, искусство звука, пост-продакшн и разработку компьютерных игр. Звуковое оформление чаще всего включает в себя манипуляции из ранее составленного или записанного аудио, подобного музыке или звуковым эффектам. Иногда оно может включать в себя комбинирование или манипуляцию с аудио, для создания нужного эффекта или настроения.

В самом широком понимании **звуковой дизайн** (от англ. Sound Design – дизайн звука, саунд-дизайн) – вид дизайнерской деятельности, объектом которой является звук, его носители (цифровые, аналоговые) и в некоторых случаях акустика пространств и помещений. Сама формулировка «звуковой дизайн» указывает на деятельность, относящуюся к сфере производства звуков и акустических сред, работ по звуковому оформлению аудиовизуальных проектов, проектированию и разработке звукошумового сопровождения экранных и мультимедийных продуктов, в первую очередь для коммерческого и массового использования.

Звуковой дизайн — вид дизайнерской деятельности по моделированию звуковых пространств и созданию специальных звуковых эффектов для экранных и мультимедийных проектов.

Благодаря возможностям новейшей аппаратуры звукозапись и обработка звука перешли на новый уровень, при котором стало возможным не только точное звуковоспроизведение, но и высококачественное моделирование звука, создание необычных звуковых элементов при помощи синтеза и обработки. Эффектные взрывы, всевозможные фантастические машины, звуки и голоса монстров, фоновые атмосферы планет и батальные звуки сражений в далеких галактиках – все эти и многие другие оригинальные компоненты кино- видеофонограммы чрезвычайно востребованы в современном коммерческом кино и мультимедиапродукции. Без необычных звуков, созданных талантом дизайнера, действие на кино- и телеэкране не будет столь динамичным, эффектным и захватывающим.

Звуковой дизайн востребован в кино, видео, мультипликации, мультимедиа, на телевидении, в сфере брендинга и рекламы, на радио, в театральном искусстве и в современных жанрах музыки.

Дизайнер звука – это творческая профессия, которая подразумевает хорошее владение навыками в области звуковой техники и технологии, поэтому среди специалистов по дизайну звука много профессиональных звукорежиссеров, звукооператоров и композиторов. Дизайнер звука должен объединять в себе как творческого, так и технического работника, должен хорошо разбираться в драматургии и режиссуре аудиовизуального продукта, в актерском мастерстве и точно чувствовать взаимосвязь сценического, экранного действия и звукового сопровождения. В компетенцию специалиста по звуковому дизайну также входят знание и понимание особенностей рынка аудиовизуальной индустрии, психологии восприятия экранной продукции, профессиональное чутье и коммуникабельность.

В самом широком понимании **звуковой дизайн** (от англ. *Sound Design - дизайн звука*) – вид дизайнерской деятельности, объектом которой является звук, его носители (цифровые, аналоговые) и в некоторых случаях акустика пространств и помещений. Сама формулировка «звуковой дизайн» указывает на деятельность, относящуюся к сфере производства звуков и акустических сред, работ по звуковому оформлению аудиовизуальных проектов, проектированию и разработке звукошумового сопровождения экранных и мультимедийных продуктов, в первую очередь для коммерческого и массового использования.

Специфика дизайна звука как профессии заключается в осознанном стремлении специалиста-дизайнера средствами проектирования, синтезирования и записи звука отыскать удовлетворительные решения задач, связанных со звуковым оформлением, звуко-акустическим решением, причём предоставить практический результат в пределах строго определённого временного промежутка. Специфика дизайна звука состоит не только в создании привлекательного продукта, но и в соблюдении особых технологических требований, предъявляемых для его дальнейшего использования в структуре аудиовизуальных проектов, например, в звуковой дорожке кинофильма, в программном коде видеоигры, в контексте инсталляции или презентации и пр. Важно учитывать стилевые и жанровые особенности конкретного проекта, его технические параметры (формат, размер, параметры звуковых файлов и пр.), звуковые материалы (исходные звуки, аудио материалы) и их свойства, различные технологии звукозаписи и обработки звука. Немаловажным фактором для звукового дизайна является предвыпускная подготовка звукового продукта, так называемый «премастеринг» звука. При этом следует учитывать, что и это, как правило, не последнее звено в производственной цепочке, так как далее звук попадает к звукорежиссёру для микширования или программисту, и

только на этом последнем этапе дизайн звука обретает конечный вид продукта в форме финальной звуковой дорожки

Звуковой дизайн применяется в различных видах экранных искусств: в кинематографе, видео, театре, а также в индустрии мультимедиа и видеоигр, музыкальной звукозаписи и в концертной практике. Звуковой дизайн не создаёт самостоятельных художественных образов, но своими средствами способствует реализации художественной образности в том виде искусства, в котором применены звуковые элементы дизайна. Звуковой дизайн применяется также в современных художественных практиках, основанных на работе со звуком, таких как сочинение электронной музыки, компьютерная аранжировка, звуковое синтезирование в различных музыкальных жанрах (рок, техно-музыка, эмбиентс и пр.), в радиопостановках.

Значительная востребованность в современной медиаиндустрии способствует развитию звукового дизайна как *инновационной* профессии наряду с уже существующими традиционными сферами профессиональной деятельности, такими как звукорежиссура, звукооператорское мастерство, продюсирование звука и др. Выпускается новейшая звукодизайнерская техника и аппаратура, идёт строительство и организация новых студий звукового дизайна в странах Западной Европы, США и в последнее время в России.

Благодаря широчайшим возможностям новейшей аппаратуры звукозапись и обработка звука перешли на новый уровень, при котором стало возможным не только точное звуковоспроизведение, но и высококачественное моделирование звука, создание новых необычных звуковых элементов при помощи синтеза и обработки. Звуки световых мечей из киноэпопеи «Звёздные войны» (реж. Дж. Лукас), крики диких животных и динозавров из фильма «Парк Юрского периода» (реж. С. Спилберг), звуки машин будущего из фильма «Пятый элемент» (реж. Л. Бессон), звуки движений и действий героев в компьютерных играх, звуковые эффекты в телепередачах и видеопрезентациях – все эти оригинальные компоненты кино- видеофонограммы требуют от их создателя - дизайнера звука - большой изобретательности, знаний и опыта, и способны действительно улучшить и обострить зрительское восприятие событий экранного «мира».

О звуковом дизайне как форме специфической технической и творческой деятельности заговорили в конце 1970-х годов. В титрах к известному фильму «Апокалипсис наших дней» (1979) режиссёра Ф.Ф.Копполы впервые упоминается новый вид деятельности, обозначенный как «дизайн звука». В качестве дизайнера звука в титрах был указан известный американский продюсер и редактор Уолтер Мёрч, оказавший большое влияние на становление звукового дизайна как профессии.

В кинопроизводстве дизайнер звука работает совместно с композитором над звуковым сопровождением кинофильма. Дизайнер звука приступает к работе ещё на этапе подготовки к съёмкам фильма, участвуя в создании общей концепции звукошумового озвучения. На следующем этапе осуществляется разработка звукового решения и реализуются поставленные режиссёром и продюсером звукодизайнерские задачи.

В некоторых случаях звуковое решение оказывает непосредственное влияние на реализацию собственно визуальных и изобразительных задач. Так, например, известный дизайнер звука Гэри Райдстром, работая над фильмом «Парк Юрского периода» (реж. С. Спилберг, 1993), смонтировал и синтезировал звуки динозавров и диких животных, и лишь потом, при помощи компьютерных технологий, были созданы их визуальные макеты с учётом звуков рычания и криков.

Дизайнер может создавать какой-либо один вид звуковых эффектов. Например, дизайнер звука Рон Бочар (Ron Bochar) был приглашён на этапе финального монтажа фильма «Волк» (реж. Майк Николс, 1994) для создания звуков, сопровождавших превращения героя Джека Николсона.

В театральном искусстве дизайн звука может решать сразу несколько производственных и творческих задач. Это не только создание, запись и синтезирование звуков и звукошумовых эффектов для спектаклей и сценических шоу, но разработка технических решений для звукотехнического оснащения театральных залов. Театральный звуковой дизайн - это комплекс технических, организационных, технологических и творческих мероприятий, целью которых является создание качественного и художественно цельного звукового сопровождения спектакля или сценического действия. Звуковой дизайнер и композитор выявляют способы воздействия, вызывающие эмоциональный отклик у слушателя. При этом дизайнер отвечает как за проектное звуковое решение спектакля, так и за его непосредственную реализацию, контролируя весь процесс звукового оформления. По словам известного российского звукорежиссёра и дизайнера звука Вл. Виноградова: «Звуковое решение спектакля [в западном театральном искусстве] отражается в специальной книге - так называемой «Production book», которая есть непререкаемый закон и порядок ведения спектакля».

Элементы дизайна звука можно найти не только в театральном искусстве, но и на **радио**: в радиопостановках и жанре радиодрамы, в художественных и публицистических радиопрограммах. И хотя до 1980-х годов сам термин «звуковой дизайн» на радио не использовался, тем не менее многие важнейшие приёмы работы со звуком были обнаружены именно режиссёрами радио. В наши дни звуковой дизайн на радио используется чаще в контексте рекламы и промоушен стратегий

коммерческих радиокompаний. Выбор звукообразных средств в дизайне на радио диктуется не столько их художественной ценностью, сколько коммерческой и производственной необходимостью, выводя на передний план вопросы экономической эффективности звукового дизайна в том или ином радиопроекте или радиорекламе. Важными показателями становятся продуктивная эффективность и окупаемость, скорость и сроки выполнения работы, сегментация целевой аудитории, а также технологические аспекты производства звукового продукта.

Звуковой дизайн на телевидении находит двойное применение: во-первых, это - звукошумовое оформление телепередач; во-вторых, всё большее влияние набирает дизайн звука в сфере маркетинга, брэндинга и промоушен как мощное средство психологического воздействия на массовую аудиторию. Основная задача дизайнера – создать звуковой «облик» телепрограммы или всего телеканала. Он занимается оформлением рекламных, анонсных, промоушен роликов, всевозможных заставок и отбивок. Дизайнерское звуковое оформление решает задачи коммуникации со зрителем, идентификации канала, играет важную роль в нацеливании на аудиторию, продвигает ценности брэнда и отражает атрибуты телеканала. В профессиональные обязанности звукового дизайнера на ТВ входит требование ориентироваться во многих параметрах звукозрительного восприятия. Здесь важно и ассоциативное мышление, и знание основ психоанализа, и оперирование гражданскими, национальными мотивами, и тонкое чувство юмора, и умение манипулировать человеческими эмоциями.

Индустрия цифровых медиа и в особенности *индустрия компьютерных и видеоигр* стали важнейшими отраслями для дизайна звука. Исследовательница Карен Коллинс так определяет звуковой дизайн в индустрии компьютерных игр: «Дизайнеры звука выполняют важную роль в создании любых звуковых элементов для видеоигр. Они могут работать с программистами и разработчиками звуковых технологий, создавая звуковые базы данных, интегрируя их в программный код [видеоигры] и отвечая за формирование звуковых библиотек». Как пишет В. Г. Чилдс в книге «Создание музыки и звука для видеоигр»: «Дизайнер звука – это специалист из команды разработчиков видеоигр, который отвечает за подбор всех звуковых эффектов и звуков окружающей [виртуальной] среды в игре. Кроме того, он отвечает за контроль общего качества игрового звука».

Звуковой дизайн – чрезвычайно интересный и творческий процесс работы над озвучением экранного действия. Он требует от специалиста особых навыков и комплексных знаний. Качественный и продуманный звук оказывает значительное влияние на привлекательность экранного продукта для зрителя. От успешно выполненного звукового дизайна во многом зависит успех на рынке всего экранного проекта.

Контрольные вопросы

1. Звуковой дизайн это?
2. Значимость звукового дизайна
3. Звуковой дизайн в кинопроизводстве
4. Звуковой дизайн в театральном искусстве
5. Звуковой дизайн на телевидении

Литература

1. Деникин А. А. Звуковой дизайн в кинематографе и мультимедиа. – М.: ГИТР, 2012. – 394 с. ISBN 975-5-94237-046-6. ББК 76.032. Д33.
Деникин А. А. Звуковой дизайн в видеоиграх. Технологии "игрового" аудио для непрограммистов. – М.: ДМК Пресс, 2012. - 696 с. ISBN: 978-5-94074-234-0. ББК 77.563.4с515
2. Уайатт Х., Эмиес Т. Монтаж звука в теле- и кинопроизводстве. Знакомство с технологиями и приемами / пер. с англ. П. Смоляковой; под ред. А. Чудинова. – М.: ГИТР, 2006.
3. Beauchamp R. Designing Sound for Animation. – Focal Press, 2005.
Gibbs T. The Fundamentals of Sonic Art & Sound Design. – AVA Pudlishung SA, 2007.
4. Miranda E. Computer Sound Design: Synthesis Techniques and Programming. – Publisher: Focal Press. Second edition, 2002.
Sonnenschein D. Sound Design. Studio City. – CA: Michael Wiese Production, 2001.
5. Viers R. The Sound Effects Bible: How to Create and Record Hollywood Style Sound Effects. – Michael Wiese Productions, 2008.
6. Whittington W. Sound design and science fiction. – Austin: University of Texas Press, 2007.

Лекция 2

Программное обеспечение звуковых технологий

План:

1. Аудио и MIDI
2. Классификация программ для работы со звуком
3. Звуковой процессор
4. Системы многоканальной записи и сведения
5. Звуковые редакторы

Ключевые слова: MIDI, аудио, музыка, звук, генерация, функция, АЦП ЦАП, частота, wave, процессор, композитор, нота, гамма

В последнее время наряду с термином «мультимедиа», получил распространение другой — «музыкальные программы». Новый термин оказался столь же многозначным, что и его родитель, — этим сочетанием стали называть любые программы, имеющие дело с каким-либо звуком; при этом нередко происходит смешение основных понятий и путаница в принципах работы программ. В результате одни пользователи даже не догадываются о некоторых доступных им возможностях, а другие ошибочно возлагают на программу (и компьютер в целом) неоправданные надежды. Цель данной статьи — классификация методов работы со звуком на PC и обзор технологий и программных средств для этой цели.

Профессионалы и «продвинутые любители», имеющие представление о технологиях обработки звука на PC, свободно могут пропустить следующую главу — она предназначена в основном для начинающих в этой области.

1. Audio и MIDI

В современных компьютерах можно выделить две наиболее популярные технологии, имеющие отношение к звуку и музыке:

Audio (аудио) — наиболее универсальная технология, представляющая произвольный звук как он есть — в виде цифрового представления исходного звукового колебания или звуковой волны (wave), отчего в ряде случаев она именуется wave-технологией. Позволяет работать со звуками любого вида, любой формы и длительности. Звуковая информация обычно хранится в файлах с расширением WAV.

MIDI — нотно-музыкальная технология, основанная на регистрации событий, происходящих при игре на электронном инструменте, — нажатий клавиш, педалей, воздействий на регуляторы, тумблеры, кнопки и т.п. Последовательность подобных событий образует «электронную партитуру» музыкального произведения — как бы полную программу управления «автоматическим оркестром». Позволяет весьма точно записать достаточно сложное музыкальное произведение, а затем любое число раз исполнить его в

точном соответствии с программой. Информация обычно хранится в файлах с расширением MID.

MIDI означает Musical Instrument Digital Interface — цифровой интерфейс музыкальных инструментов, принятый сейчас в качестве мирового стандарта во всех мало-мальски серьезных электронных музыкальных инструментах.

Audio-технология обычно применяется там, где имеется исходный звуковой сигнал, подлежащий обработке, — с ее помощью записывают, обрабатывают и сводят «живые» акустические и голосовые партии, речь, шумы, специальные сигналы и т.п. MIDI-технология снискала себе успех в создании музыкальных произведений «с нуля», посредством только электронных инструментов. При помощи MIDI-системы может быть создан как некий музыкальный каркас, к которому впоследствии будут добавлены голосовые или акустические партии, так и полноценное, законченное музыкальное произведение.

Для применения аудио-технологии достаточно простейшего звукового адаптера, содержащего АЦП и ЦАП — аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи. При этом сложность, качество и цена адаптера совершенно не влияет на принципиальные возможности обработки звука — от адаптера зависит лишь общее качество входного и выходного преобразования, а также сервисные возможности (например, быстрое аппаратное сжатие или фильтрование).

Для использования MIDI-технологии прежде всего нужен электронный музыкальный инструмент, преобразующий последовательность нот и команд управления в звук — обычный или сразу цифровой. Это может быть клавишный синтезатор, звуковой модуль (тонгенератор, или синтезатор без клавиатуры), музыкальная карта с аппаратным синтезатором или же программный синтезатор — программа, имитирующая работу реального синтезатора. Соответственно, все возможности, доступные в этой технологии, целиком определяются имеющимся набором MIDI-инструментов.

В Windows каждая технология представлена своим типом звукового устройства. Устройства могут быть реальными (аппаратные адаптеры) и виртуальными (программы-имитаторы, генераторы, фильтры и т.п.). Общение программ с устройствами происходит посредством аудио- и MIDI-портов, которые появляются в системе после установки соответствующих устройств.

Отдельным случаем аудио-портов являются порты DirectSound. Классический (Wave, MME) аудио-порт не гарантирует предельно быстрого вывода звука — при обмене небольшими фрагментами, за счет буферизации и невысокой частоты обращений к адаптеру, возникают значительные (относительно времени звучания самих фрагментов) задержки. Интерфейс DirectSound, входящий в комплект интерфейсов DirectX, дает возможность работать с адаптером с минимальной буферизацией и накладными

расходами, заметно сокращая задержки. Кроме того, в DirectSound несколько программ могут использовать один порт одновременно, что далеко не всегда возможно при работе с Wave-портами.

2. Классификация программ

Любая программа для работы со звуком на PC использует в той или иной форме одну из этих технологий либо обе сразу. Я различаю следующие основные классы программ:

- Звуковые процессоры (audio processors)
- Системы многоканальной записи и сведения (multitrack recorders)
- Звуковые редакторы (audio editors)
- Генераторы и анализаторы сигналов (audio generators/analysers)
- Виртуальные (программные) синтезаторы (virtual/software synthesizers)
- Музыкальные редакторы (music/MIDI editors)
- секвенсоры (sequencers)
- трекеры (trackers)
- нотные редакторы (score editors)
- Музыкальные процессоры (music/MIDI processors)
- Автокомпозиторы (auto composers)
- Автоаккомпаниаторы (auto accompaniment generators, jammers)
- Распознаватели нот (score recognition software)
- Преобразователи форматов (format convertors)
- Считыватели звуковых дорожек с компакт-дисков (CD rippers/grabbers)
- Психоакустические компрессоры (psychoacoustic compressors)
- Проигрыватели (players)
- Системы для радиовещания и дискотек (delivery systems)
- Утилиты и управляющие программы (utility/control software)

Многие программы сочетают в себе функции из разных классов: например, звуковые редакторы и секвенсоры нередко предоставляют также возможности процессоров (обработка в реальном времени), а музыкальные процессоры и автокомпозиторы часто имеют функции секвенсора.

3. Звуковые процессоры

Имитируют работу типовых устройств обработки звука, применяемых в студийной работе, — усилителей, ограничителей, шумоподавителей, компандеров, эффект-блоков и т.п. Существует три основных типа процессоров:

Нелинейные (off-line) — получают сигнал в виде дискового файла, предварительно записанного другими средствами, и записывают результат обработки в другой дисковый файл.

Сквозные реального времени — получают сигнал непосредственно с аудиопорта и выводят результат в другой порт.

Подключаемые модули (plugins) — получают сигнал от другой программы при помощи специального программного интерфейса (API) и возвращают результат обработки этой же программе. Фактическим стандартом такого интерфейса стал Microsoft DirectX. Модули обычно поддерживают обработку в реальном времени.

Процессоры первого типа разрабатывались достаточно давно, уступая место процессорам второго типа по мере роста мощности компьютеров. После появления системы DirectX популярные процессоры разрабатываются в этом интерфейсе.

4. Системы многоканальной записи и сведения

Предназначены для многодорожечной записи и воспроизведения фонограмм подобно многоканальному магнитофону, а также для окончного сведения (микширования) многодорожечной фонограммы. Основными функциями являются монтажные операции на дорожках, совмещение звуковых фрагментов, организация плавного перехода одних фрагментов в другие, регулировка громкости и положения на стереопанораме для каждой дорожки, перезапись всей дорожки или ее отдельных фрагментов.

Большинство систем многоканальной записи предназначено для работы в серьезных студийных условиях, поэтому практически все они имеют поддержку удаленного управления (MMC), синхронизации с внешними устройствами (SMPTE). Ряд современных систем поддерживает также синхронизацию с видеороликами.

В многоканальных системах используется преимущественно неразрушающий (non-destructive) монтаж. Это означает, что программа оперирует на многодорожечной панели не с самими звуковыми данными, а лишь со ссылками на их фрагменты (clips). Это заметно уменьшает требования к памяти, ускоряет доступ к данным и вдобавок защищает их от нежелательного изменения.

5. Звуковые редакторы

Объединяют функции цифрового магнитофона, звуковой монтажной станции и набора устройств обработки звука (процессоров). Осуществляют запись, воспроизведение и монтаж (вырезка, вклейка, замена фрагментов фонограммы). Чаще всего имеют набор встроенных и/или подключаемых звуковых процессоров, с помощью которых реализуется сложная обработка записанной фонограммы. Редактор может быть многоканальным, допуская

раздельную запись и обработку нескольких звуковых дорожек с последующим их сведением (микшированием). Ряд редакторов предоставляет звуковые процессоры реального времени, а также средства для исследования сигнала — спектроанализаторы, взвешивающие фильтры и статистические функции.

Среди типовых функций звуковых редакторов наиболее общими являются:

Запись и воспроизведение звукового сигнала через аудиопорт звукового адаптера (карты)

Чтение и запись звуковых файлов, преимущественно формата RIFF PCM (WAV), а также других распространенных форматов

Возможность обработки моно- и стереосигнала с разрядностью 8 и 16 и частотой дискретизации до 44 100 Гц (нередко – до 24 разрядов и 96 кГц)

Монтаж сигнала (вырезка, вставка, удаление и размножение фрагментов)

Различные способы выделения рабочего участка (selection) при монтаже с выравниванием (snap) по точкам пересечения нуля (zero crossing), по времени (time), по ритмическим долям (beats)

Пометка точек и фрагментов фонограммы с ведением списка таких пометок, из которого можно быстро перейти к помеченному участку, а также поддержка списка участков проигрывания (play list), с помощью которого можно заменить линейное проигрывание на «рваное»

Основные операции обработки: усиление/ослабление, нормализация (такое масштабирование сигнала, чтобы его амплитуда точно вписалась в заданный диапазон), плавное увеличение/снижение уровня громкости (fade), изменение стереобаланса (pan), сжатие/растяжение динамического диапазона (compress/expand), пороговое пропускание (gate), наложение огибающей (envelope)

Основные виды эффект-обработки: phaser, flanger, reverb, delay, echo, overdrive, distortion, fuzz и т.п.

Специальные операции: частотное фильтрование (filter/EQ), изменение высоты (pitch) сигнала или длительности (stretch) участка фонограммы, ослабление шумов (noise, hiss) и щелчков (clicks, pops), формирование музыкальных звуков из участков фонограммы, спектральный анализ всей фонограммы или ее участка

Преобразование формата сигналов — частоты дискретизации, разрядности отсчета и количества каналов, смешивание стереоканалов в один

Генерация сигналов различной формы и характеристик — как стационарных, так и с изменяющимися во времени параметрами, а также шумов с различным распределением

Доступ к зарегистрированным в системе внешним модулям (plugins) обработки звука в стандарте DirectX/ActiveMovie, которым передается для обработки выделенный участок фонограммы

Синхронизация записи/воспроизведения по MIDI — запуск записи или воспроизведения по внешнему событию, посылка синхронизирующих сообщений другим устройствам (ведущее устройство, master sync), синхронизация по приходящим от других устройств сообщениям (ведомое устройство, slave sync)

WaveLab

Разработчик — Steinberg

Один из наиболее мощных и удобных современных редакторов. Поддерживает форматы до 24 разрядов и 96 кГц.

Предоставляет все необходимые монтажные операции, нормализацию, преобразования динамики, коррекцию высоты/времени звучания. Операции сложной обработки немногочисленны: трехполосный эквалайзер, гармонайзер на 16 голосов (создает дополнительные гармоники основного голоса), качественный Chorus.

Основное внимание при обработке уделено поддержке модулей реального времени — собственных, DirectX и VST (от Cubase VST). Для управления модулями сделана специальная панель эффектов (Master Section), в которой можно выбрать до шести модулей одновременно. Для модулей WaveLab/VST изображаются панели управления, стилизованные под вид аппаратных стоечных блоков. Панели модулей, а также панели инструментов WaveLab (toolbars) могут находиться в любом месте экрана, а не только в окне редактора.

Имеет функции сравнения двух файлов, генерации тестового сигнала с огибающей, построения трехмерной спектрограммы с показом ее с различных точек зрения.

Функция Batch Processor позволяет сформировать алгоритм пакетной обработки набора файлов.

Поддерживает обмен данными с аппаратными семплерами AKAI, Ensoniq, E-mu, Kurzweil, Roland в стандартах SDS/SMDI. Может считывать звуковые дорожки с компакт-дисков. Содержит встроенный CD-рекордер с возможностью задания длительности пауз между дорожками.

Имеет несколько стилей и цветовых палитр интерфейса. После выполнения каждой операции отмечается время, затраченное на операцию, с точностью до миллисекунды, что удобно для оценки эффективности.

Контрольные вопросы:

1. Что такое MIDI?
2. Как вы понимаете слово – аудио?
3. Различия между аудио и MIDI технологиями?
4. АЦП ЦАП преобразования, схематично изобразите принцип работы
5. Что такое звуковой процессор?
6. Основные виды, классификация звуковых процессоров

7. Проклассифицируйте звуковые программы, определите наиболее важные среди них, и докажите свою точку зрения.
8. Что такое сведение звука?
9. Как осуществить многоканальную запись звука, на примере формата 5.1
10. Звуковые редакторы, достоинства и недостатки (выберите любой по вашему усмотрению)

Список литературы:

1. Ватолин Д. Методы сжатия данных. Учебное пособие: 2003.
2. Загуменнов А.П. Запись и редактирование звука. Музыкальные эффекты/ М.:Издательство «НТ Пресс», 2005.
3. Крапивенко А.В., «Методы и средства обработки аудио- и видеоданных». 2010.
4. Загуменнов А.П. Компьютерная обработка звука. 2000.
5. Секунов Н.Ю. Обработка звука на РС. 2006 г.
6. Леонтьев В.П. Обработка музыки и звука на компьютере. 2005
7. Владимир Деревских. Синтез и обработка звука на РС. 2002г.

Лекция 3. Знакомство с SoundForge

План

Введение

1. Главное окно
2. Основные операции
3. Работа с файлами
4. Запись
5. Обработка
6. Acoustic Mirror
7. Другие возможности

Выводы

Литература

Контрольные вопросы

Введение

Программа под названием SoundForge канадской фирмы SonicFoundry уже стала своего рода классикой редактирования цифрового звука под Windows. Многие звукозаписывающие компании считают SoundForge промышленным стандартом. И, нужно сказать, вполне заслуженно - до последнего времени не существовало другой программы, имеющей такой огромный арсенал средств редактирования и обработки, а также способной нормально взаимодействовать как с мультимедийным, так и со студийным оборудованием.

Правда, на протяжении последних четырех лет SoundForge развивался эволюционным путем - добавлялись новые модули обработки, косметически изменялся интерфейс, а вот "ядро" оставалось старым. С распространением формата 24/96 программа стала сдавать позиции, поскольку не могла работать с файлами, имеющими разрядность более 16 бит. Появился 24-битный WaveLab, вслед за ним сменил ядро CoolEdit, так что SoundForge имел все шансы, оставаясь классикой, перестать быть инструментом повседневной работы.

Целых три года разработчики переделывали ядро программы, а вместе с ним встроенные алгоритмы обработки под формат 32 бита с плавающей запятой. Планка частоты дискретизации поднялась до 192 кГц, что может скоро стать актуальным.

Разработчики не стали отдавать дань моде и усложнять программу встроенным многодорожечным аудио секвенсором, SoundForge 5.0 остался двухканальным. Для многоканальной работы в комплект поставки включена облегченная версия мультитрекера Vegas под названием Vegas LE.

Появилось средство для мастеринга WaveHammer, а модуль реверберации AcousticMirror вместе с популярными наборами подключаемых

модулей формата DirectX (XFX 1/2/3) теперь входят в комплект поставки. В общем, довольно грамотный маркетинговый ход компании - кто же не хочет бесплатного ПО почти на 800\$!

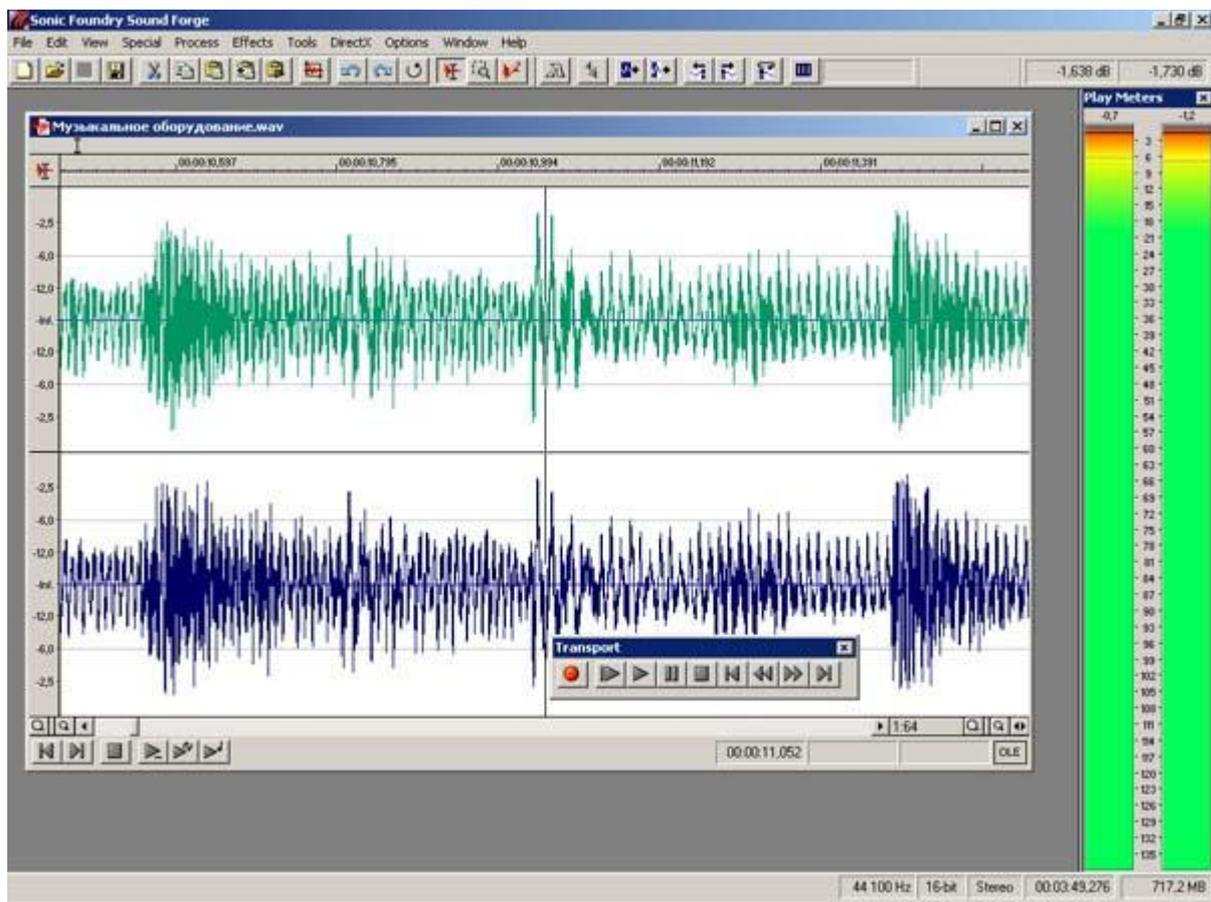
SoundForge 5.0 может импортировать файлы в двенадцати, а экспортировать - в семнадцати форматах, включая MP3, WindowsMedia, RealAudio, AIFF, WAV, VOX, AU/SND, формат PerfectClarityAudio, SoundDesigner и VideoforWindows. За отдельную плату предлагаются модули пакетной обработки BatchConverter и шумоподавления NoiseReduction.

Программа очень снисходительна к системным ресурсам. Требуется процессор 200 МГц, ММЕ-совместимая звуковая плата, 32 Мбайт RAM, CD-ROM, 25 Мбайт свободного места на жестком диске для установки, операционная система Windows 98 SE, ME или Windows 2000.

Процесс установки может состоять из нескольких этапов, в зависимости от того, какие нужны дополнительные средства. Вместе с программой ставятся все 18 модулей XFX, а также модули WaveHammer и AcousticMirror. Отдельной установки требуют Vegas LE и виртуальный MIDI кабель SonicFoundryVirtual MIDI Router. Производитель уверяет, что сносить старые версии программы необязательно, что SoundForge 4.5 и 5.0 могут сосуществовать на одном компьютере без проблем. Я в это не поверил и оказался прав - если в системе установлен SoundForge 4.5, то новая версия программы отказывается импортировать большинство MP3 файлов.

1. Главное окно

Интерфейс программы практически не изменился с предыдущих версий (рис. 1), только картинки на кнопках стали повеселее, да фейдеры в диалоговых окнах приобрели некую трехмерность.



SoundForge - одна из немногих звуковых программ, чей интерфейс был изначально разработан грамотно, и впоследствии не усложнялся: только то, что нужно, и там, где нужно.

Программа позволяет одновременно открыть несколько файлов, каждый в своем окне. Вызов команд производится из меню, чаще через дополнительные диалоговые окна, в которых настраивается тот или иной алгоритм обработки. К любому краю главного окна можно прицепить до одиннадцати панелей инструментов, видимость панелей управляется через окно Preferences из меню Options. Индикатор уровня сигнала имеет восемь рабочих диапазонов, от 0... -12 дБ до 0... -138 дБ, а также возможность отображать максимальные и минимальные пиковые уровни в виде тонких горизонтальных полос. Управление транспортными функциями производится либо с общей панели транспорта, либо через кнопки, которые находятся в левом нижнем углу каждого окна с файлом. Режимов воспроизведения три: Normal, Looped и Sample/CutList. В режиме Normal файл воспроизводится от курсора или от начала выделенного фрагмента, в режиме Loop циклически воспроизводится выделенный фрагмент или весь файл. Если вы хотите услышать, как файл будет воспроизводиться семплером, включите режим Sample/CutList (см. далее раздел "Работа с семплерами").

В верхней части окна с файлом располагается область быстрой навигации (OverviewBar), где квадратными скобками обозначена видимая часть волновой формы. В этой области можно перемещать вертикальную

полоску - указатель положения курсора, правой кнопкой мыши включать или выключать воспроизведение; удерживая левую кнопку и перемещая мышь получать эффект Scrubcontrol, когда направление и скорость воспроизведения зависят от направления и скорости движения мыши.

Ниже области навигации находится линейка времени (TimeRuler), она может отображать время в секундах, семплах, кадрах, долях такта и т. д. (всего 11 форматов), формат выбирается из контекстного меню. Слева расположена линейка уровня (LevelRuler), уровень сигнала отображается в децибелах или процентах. В нижних углах окна - кнопки масштабирования волновой формы по горизонтали и вертикали. Предел масштабирования по горизонтали - от 1:1 (т. е. на один пиксель приходится один семпл) до 1:2097152.

В программе есть три инструмента редактирования: EditTool (курсор), Magnify (лупа) и Pencil (карандаш), назначение которых понятно из названий. Карандаш работает только при масштабе от 1:1 до 1:32.

В закладке Display окна Preferences можно выбрать цвета волновой формы для каждого канала и режима редактирования.

Стоит особенно отметить качество прокрутки волновой формы при воспроизведении. Ни в одном другом звуковом редакторе нет такой плавности и комфорта для глаз, как в SoundForge. Это может казаться мелочью, но только до тех пор, пока вы не поработаете с программой несколько часов подряд.

Большинство операций редактирования, таких, как вырезание, копирование, удаление, обработка эффектами, выполняется над выделенным фрагментом. Выделение производится перемещением мыши при нажатой левой кнопке, либо клавишами управления курсором при нажатой кнопке Shift, что, кстати, позволяет добиться большей точности. Можно выделять фрагменты в левом и правом канале по отдельности. Если перетащить выделенный фрагмент в пустую область главного окна, то будет создан новый файл с этим фрагментом. При нажатии кнопки OLE и перетаскивании мыши в окно другой программы, например, MicrosoftWord, текущий звуковой файл внедряется в вордовский документ. В общем, Drag&Drop в действии.

Для ускорения работы предусмотрены "снимки" (views). Снимок относится к одному окну с открытым файлом и сохраняет в себе текущую позицию курсора, выделенный фрагмент, масштабирование и положение полос прокрутки. Для создания снимка нажмите кнопку Set на панели Views (а если панель не видна, сделайте ее видимой через окно Preferences, закладка Toolbars). Затем нажмите одну из кнопок на этой панели. Вызов снимка выполняется по нажатию клавиши с номером снимка.

Можно также сохранять положение и внешний вид нескольких открытых окон вместе с их снимками в одном файле рабочей области (Workspace). Файл имеет расширение SFW, сохраняется и загружается через меню File - Workspace.

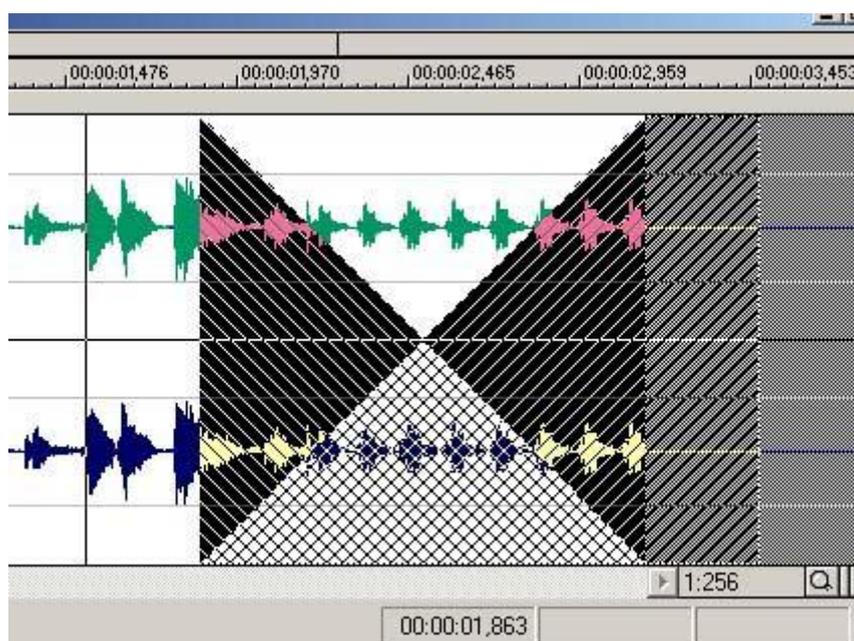
Основные операции

Тот факт, что однотипные команды редактирования в SoundForge почему-то разнесены по разным меню, уже обсуждался на страницах МО (см. статью "Звуковые редакторы"). Были надежды на исправление этого недостатка в пятой версии программы, но они не оправдались. По-прежнему эффектом считается гейт, а команды TimeStretch и PitchShift относятся к разным классам обработки.

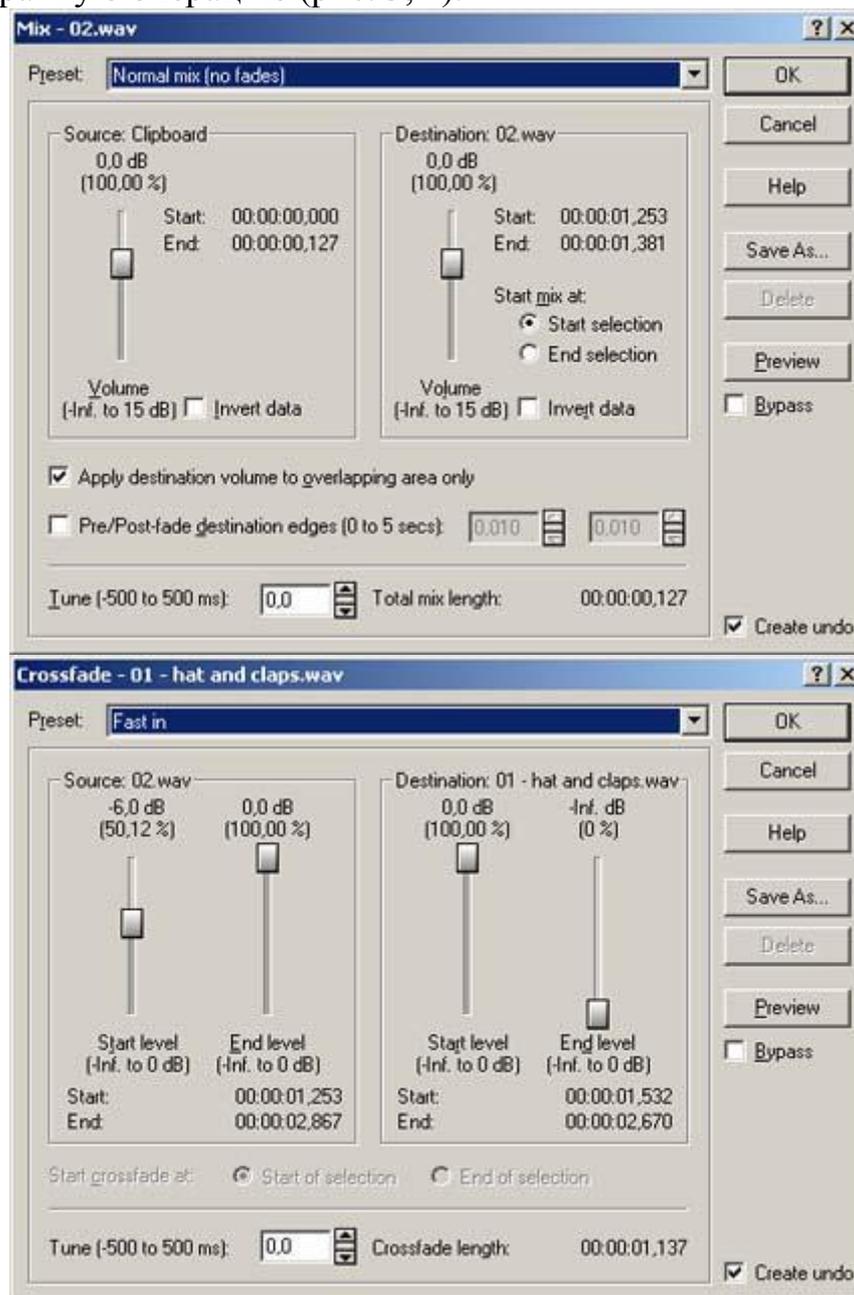
Из основных операций редактирования в программе есть копирование, вырезание, вставка, специальная вставка (пять режимов), удаление фрагмента, обрезание файла по краям выделенного фрагмента (Trim/Crop), заглушение фрагмента (Mute). Можно также инвертировать фрагмент (Invert/Flip), переворачивать задом наперед (Reverse), вставлять тишину в позицию курсора, в начало или в конец файла (InsertSilence).

Режим специальной вставки PastetoNew создает новый файл из буфера обмена. В режиме Replicate выделенный фрагмент замещается копиями буфера обмена. Копии вставляются до тех пор, пока не будет достигнут конец выделения. Можно настроить алгоритм на вставку только целого числа копий (WholeCopies), а можно разрешить неполную последнюю копию (CopyPartials), если длина выделенного фрагмента не кратна размеру буфера обмена. Необычная функция, но при желании ей можно найти применения.

В режиме Overwrite происходит замена выделенного фрагмента содержимым буфера с гарантией того, что замена не выйдет за границы выделения. Режимы Mix и Crossfade позволяют микшировать содержимое буфера обмена с содержимым активного окна и выполнять кроссфейд соответственно. Здесь удобнее пользоваться техникой Drag&Drop - перетащите выделенный фрагмент из одного окна в другое, после чего в интерактивном режиме отрегулируйте параметры кроссфейда или микса (рис. 2).



При отпускании кнопки мыши появится диалог, в котором можно настроить выбранную операцию (рис. 3, 4).



Если в исходном фрагменте есть маркеры, регионы или петли, то они также вставляются вместе со звуковыми данными. Такое поведение программы можно изменить, сняв галочку в пункте PasteEvents меню Options.

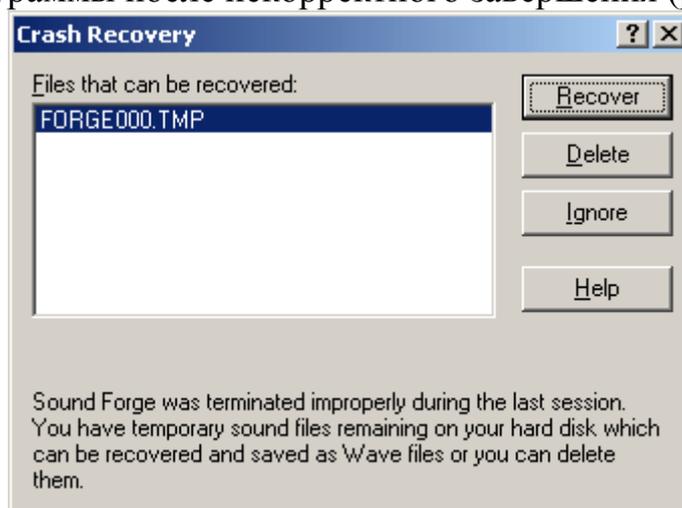
Работа с файлами

В SoundForge есть три режима работы с файлами: режим прямого редактирования (DirectMode), режим "только чтение" (ReadOnly) и обычный режим.

В обычном режиме при открытии файла создается его копия, и все операции редактирования производятся над ней. Эта копия хранится в папке для временных файлов, которую можно указать в окне Preferences (меню

Options, команда Preferences, закладка Perform). При любом изменении файла, будь то вырезание фрагмента или обработка эффектом, создается еще одна копия и операция производится над ней. И так далее, пока не закончится свободное место на жестком диске. Все эти промежуточные копии нужны для функции отмены (Undo), которая работает до тех пор, пока вы не сохраните файл. При сохранении на место исходного файла копируется последний вариант из временной папки.

Такой режим работы является самым тормозным, но зато и самым надежным. Тормозной - понятно, почему: открываете вы файл размером 100 Мбайт, SoundForge любезно делает копию. Вырезаете фрагмент из середины такого файла - подождите, пока через дисковый интерфейс пройдет еще сотня мегабайт данных. Сохраняете файл - опять ждите, пока мегабайты из временной папки скопируются на место исходного файла. Я заметил, что в этом режиме больше времени тратится именно на дисковый ввод-вывод, а не на обсчет звуковых данных. Надежность состоит в том, что в случае некорректного завершения программы (например, вследствие глюка или выключения питания), все несохраненные файлы могут быть восстановлены. В SoundForge есть функция CrashRecovery, которая активизируется при первом запуске программы после некорректного завершения (рис. 5).



В списке выводятся обнаруженные во временной папке файлы, которые могут быть восстановлены. Процесс восстановления элементарен - функция CrashRecovery заменяет расширение файлов с TMP на WAV. В результате вы получаете последний вариант редактируемого файла перед сбоем, то есть тот вариант, который вы не успели сохранить. Можно удалить временный файл, если он не нужен, нажав кнопку Delete, а можно проигнорировать (Ignore), тогда файл останется лежать мертвым грузом на жестком диске.

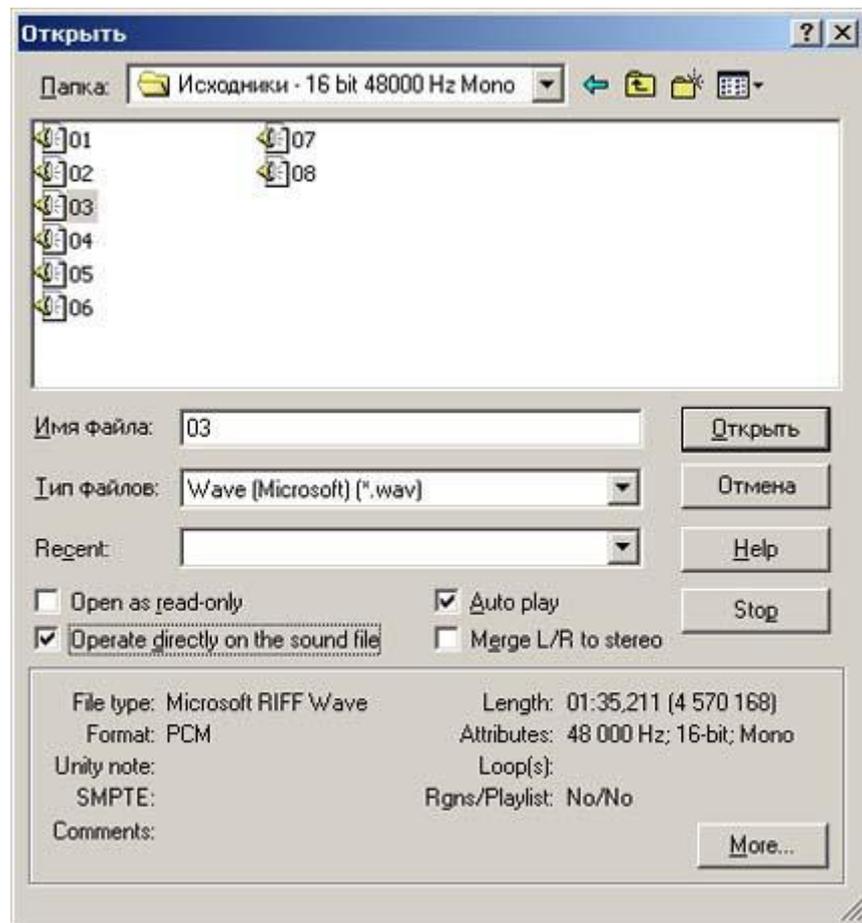
В режиме прямого редактирования при открытии файла никаких копий не создается. Вы редактируете файл непосредственно в том месте, где он находится на диске. Копии создаются только перед обработкой для обеспечения функции Undo. В этом режиме открытие файла происходит очень быстро (фактически, время тратится только на подготовку Peak-файла, содержащего информацию для графического представления волновой

формы), а если Peak-файл был создан ранее, то звуковой файл открывается почти мгновенно вне зависимости от размера. Сохранение файла также происходит мгновенно, если временная папка находится на том же диске, что и сам файл. В этом случае программа выполняет не копирование, а перенос файла из одной папки в другую. Если же временная папка расположена на другом диске, то время сохранения такое же, как и в обычном режиме. Единственная неприятность в DirectMode - невозможность восстановления файла после сбоя, а в остальном я советую применять его всегда для экономии времени.

Режим ReadOnly полезен в том случае, когда звуковые данные изменяться не должны. Все, что можно делать с файлом в этом режиме, - это воспроизводить или копировать из него фрагменты в другие файлы. Можно, правда, изменять регионы и информационный заголовок, но для сохранения этих изменений файл придется записать под другим именем. Открытие файла в режиме ReadOnly также происходит очень быстро.

Замечу, что в режимах DirectMode и ReadOnly программа позволяет открывать только файлы формата WAV и AIFF. Все компрессированные файлы (например, MP3) открываются только в обычном режиме - это и понятно, нужно ведь сначала выполнить декодирование с созданием полноценного WAV файла во временной папке. То же самое касается и файлов в формате 32 бита с плавающей запятой. Будьте внимательны - если в настройках (Options, Preferences, File) выбран пункт Use 32 bit (IEEE Float) temporaryfiles, то при открытии 16-битного файла в DirectMode вся обработка останется 16-разрядной. Причина этого проста - если использовать 32-битные временные файлы, то придется при открытии 16-разрядного файла делать 32-разрядную копию, и тогда все прелести DirectMode сойдут на нет. Здесь уместно было бы какое-нибудь предупреждающее сообщение для пользователя, но разработчики про это забыли.

Для того, чтобы открыть файл в режиме DirectMode, нужно в окне открытия (рис. 6) поставить галочку напротив Operatedirectlyonthesoundfile. Опция Openasreadonly открывает файл только для чтения, а для работы в обычном режиме нужно снять обе галочки. Если вы используете настройки цветов по умолчанию, то в режиме DirectMode волновая форма будет иметь красный цвет, в режиме ReadOnly - зеленый, в обычном - синий. Название текущего режима отображается в заголовке окна с волновой формой. Сам режим в процессе редактирования изменить нельзя.



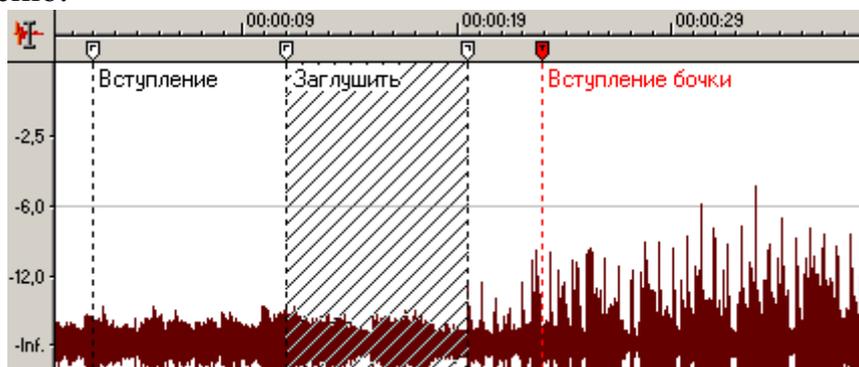
Все-таки работа с большими файлами даже в новой версии программы доставляет мало удовольствия. Слишком много времени тратится на обмен с жестким диском, даже для такой пустяковой операции, как вырезание небольшого фрагмента из начала файла. В WaveLab, например, эта операция выполняется мгновенно. Вообще, WaveLab отличается очень эффективным алгоритмом работы с файлами, время ожидания при обработке практически полностью тратится на обсчет данных, а не на их перемещение по жесткому диску; файлы открываются без всяких режимов, что проще для пользователя. Мне кажется, для программы такого класса, как SoundForge, нужен более совершенный алгоритм управления файлами.

Маркеры, регионы, списки SoundForge всегда отличался широкими возможностями разметки звуковых файлов для самых разнообразных применений. Разметку используют для создания именованных областей внутри файла (регионов), для создания семплерных петель, для вставки команд WindowsMedia и RealMedia. С помощью регионов можно вытворять довольно интересные вещи, выстроив их в нужной последовательности в списке воспроизведения/ удаления (PlayList / CutList); регионы представляют собой простое и удобное средство документирования файла.

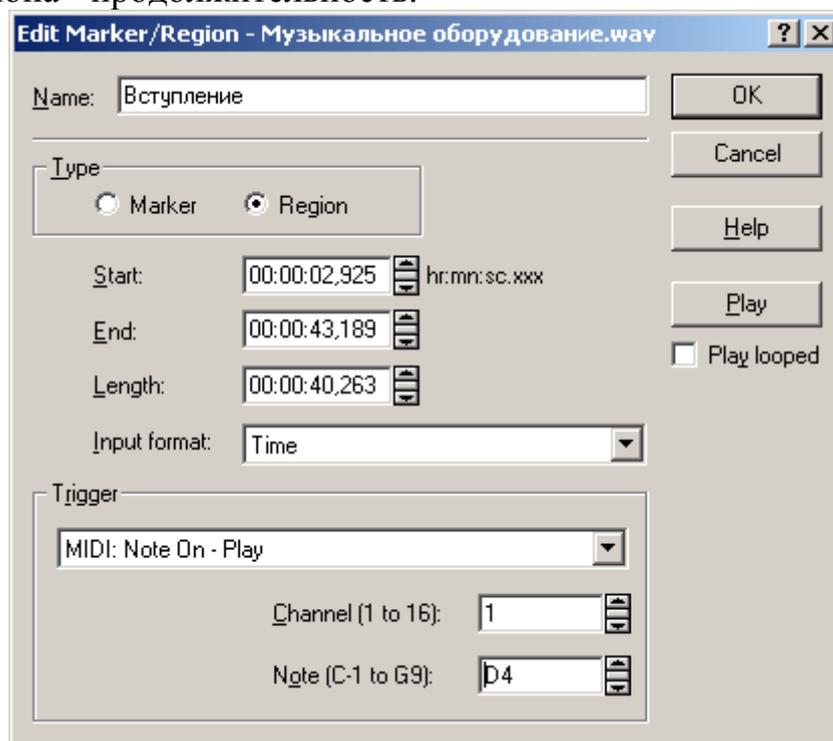
Простейший элемент разметки - маркер, вставляется в позицию курсора при нажатии клавиши "M" или при выборе команды из меню Special. Можно вставлять маркеры во время воспроизведения (с помощью той же клавиши); это удобно, но надо наловчиться для точного попадания в нужное

место - существует запаздывание, связанное с параметрами звуковой платы и видеоадаптера, с прорисовкой волновой формы.

Регионы обычно создаются из выделенного фрагмента с помощью команды CreateRegion меню Special, но можно конвертировать в регионы маркеры. Элементы разметки располагаются под линейкой времени (рис. 7), где могут свободно перетаскиваться мышью и редактироваться через контекстное меню.



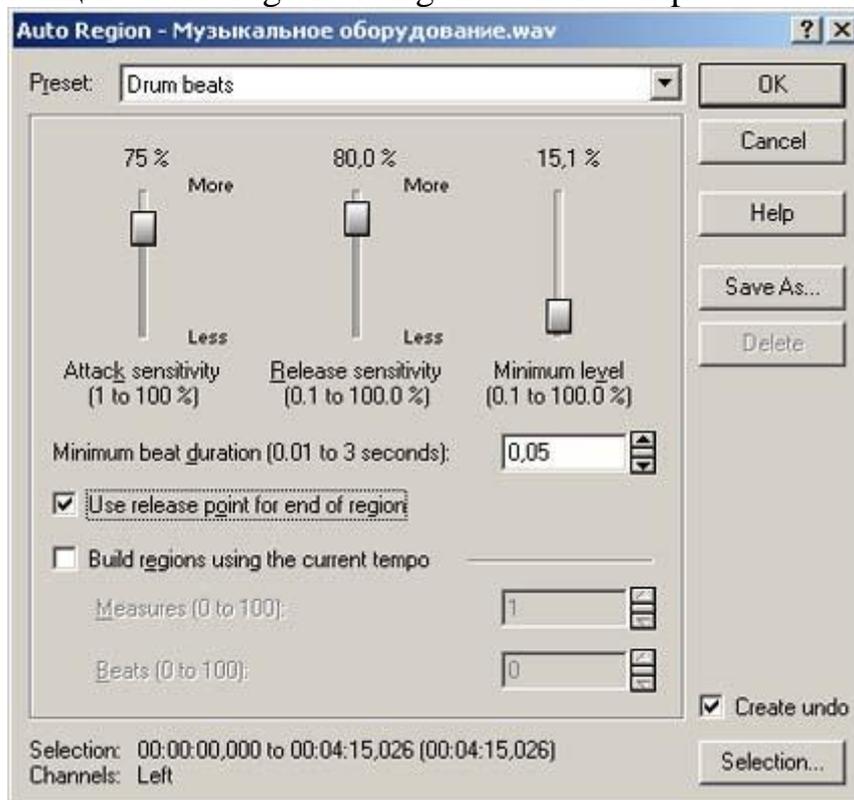
В окне свойств элемента (рис. 8) можно задать его имя, тип, позицию в файле, для региона - продолжительность.



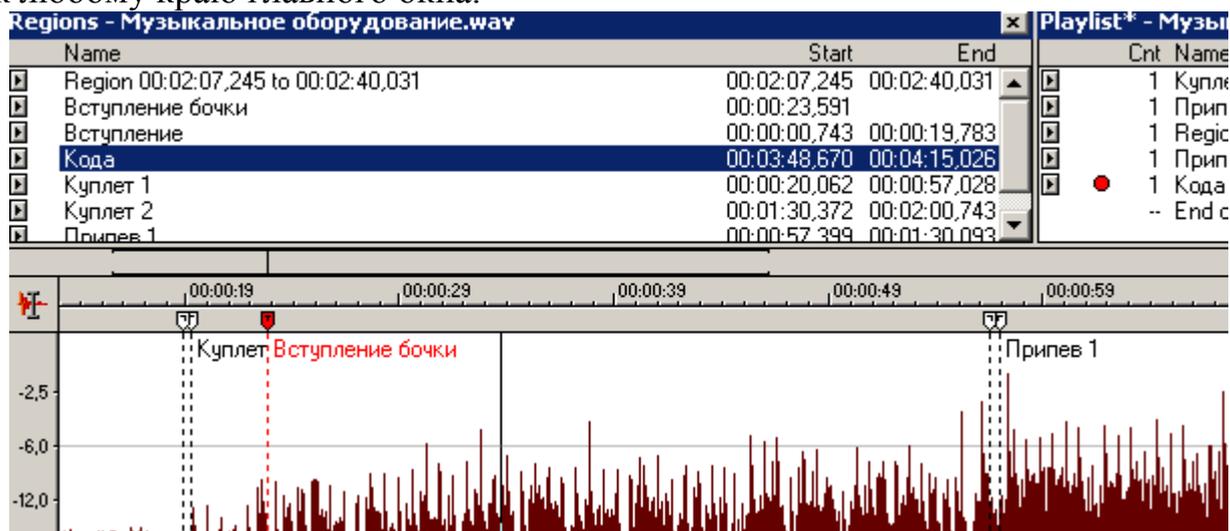
Очень полезная возможность - запускать воспроизведение региона от MIDI события, иными словами, задавать триггер (см. далее).

Регионы могут создаваться автоматически на основе звуковых данных или по сетке временного деления. Используется команда AutoRegion из меню Tools (рис. 9). В диалоге есть несколько пресетов для разного звукового материала, но настройка алгоритма также ничего сложного не представляет. Чем большее значение имеет параметр AttackSensitivity, тем больше регионов будет создано, новые регионы будут создаваться даже при небольшом увеличении уровня. Все то же с точностью до наоборот относится к параметру ReleaseSensitivity. Параметр MinimumLevel запрещает создание

региона до тех пор, пока уровень не достигнет заданного. Высокие значения MinimumLevel полезны, когда нужно построить регионы по границам такта, если начало четко отмечается бас-барабаном, а сам микс насыщен другими инструментами. Эту же задачу можно решить другим способом - сначала задать текущий темп в диалоге Edittempo (меню Special), а затем включить опцию Build regions using the current tempo.



Все регионы, созданные в файле, содержатся в списке регионов (RegionsList, рис. 10) - это плавающее окно, которое может быть прицеплено к любому краю главного окна.



На основе регионов можно построить список воспроизведения/удаления (PlayList / CutList). Регионы в него проще всего добавлять перетаскиванием из списка регионов. PlayList / CutList является, по сути, скриптом, определяющим либо порядок воспроизведения регионов в файле, либо те регионы, которые не воспроизводятся. Скрипт может быть

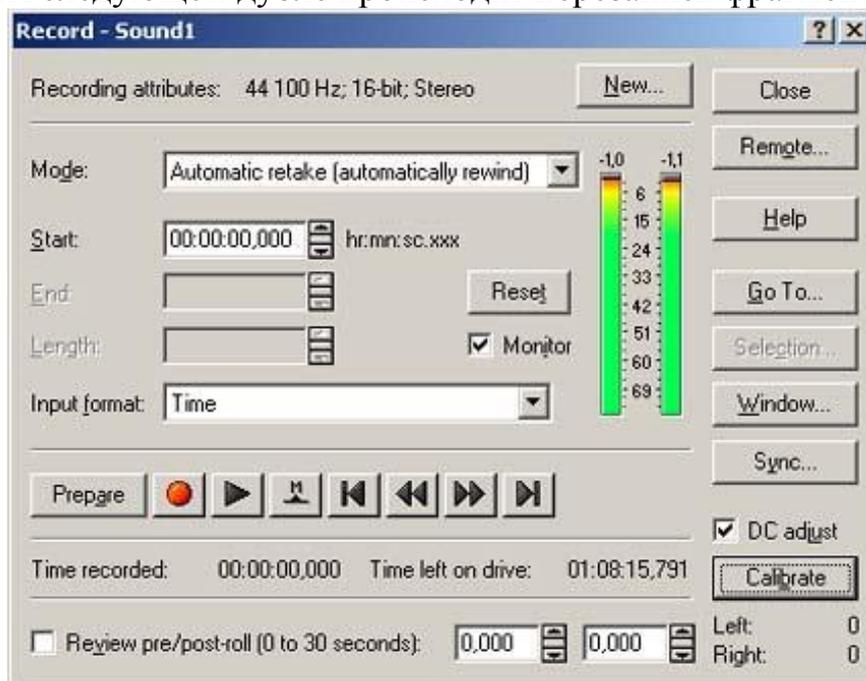
запущен кнопками Play слева от названия региона, остановлен с панели транспорта или по достижении Точки остановки (StopPoint), которой можно маркировать любой регион списка. Переключение между режимами PlayList и CutList выполняется с помощью команды TreatasCutList меню Special.

Режим CutList - это одно из лучших средств недеструктивного редактирования в SoundForge. Довольно часто приходится вырезать небольшие фрагменты по всей длине файла, вставлять их в другие места, менять местами и т. п. Если выполнять все это в лоб, можно поседеть, ожидая, пока Forge будет делать файлы отмены перед каждой операцией, а потом еще столько же времени выполнять саму операцию (вспомните, сколько времени тратится на вырезание небольшого фрагмента из начала большого файла). CutList позволяет определить все регионы для последующего удаления, а потом за один прием их удалить. Алгоритм работает быстро и эффективно; создается новый файл, а исходный остается целым и невредимым. Из Play-скрипта можно также создать новый файл, при этом операции вставки и дублирования регионов будут выполнены автоматически. Одним словом, мощное и полезное средство.

Вам приходилось видеть файлы, содержащие по двадцать-тридцать семплов хетов, тарелок, бочек и т. п., заботливо порубленные на регионы? Так вот, их можно быстро расчленить, используя команду ExtractRegions из меню Tools. Достаточно указать путь и префикс для будущих файлов.

Запись

В SoundForge есть пять режимов записи. В первом (AutomaticRetake) запись начинается всегда с позиции, определенной параметром Start (рис. 11), т. е. при каждом следующем дубле происходит перезапись фрагмента.



В двух других режимах дубли сохраняются последовательно в одном файле, с созданием регионов или без. Есть режим, в котором каждый новый

дубль сохраняется в отдельном окне, и, конечно, режим Punch-In, когда происходит только перезапись выделенного фрагмента или фрагмента, параметры которого указаны в окошках Start, End, Length.

При нажатии кнопки New запись происходит в новый файл, параметры которого (частоту и разрядность) можно указать в появившемся диалоге. Записывать можно и в открытый файл, который выбирается при нажатии кнопки Window.

В окне записи отображается уровень входного сигнала, длительность записи и количество "свободного времени" на жестком диске. Перед записью можно выполнить калибровку каналов для определения постоянной составляющей, а при записи удалять ее в реальном времени. Очень удобна возможность сделать окно записи плавающим поверх остальных окон в операционной системе (для этого служит кнопка Remote). Можно переключаться по запущенным программам (секвенсорам, семплерам и т. п.), держа окно записи наготове.

Непосредственно перед записью рекомендуется нажать кнопку Prepare, это обеспечит практически мгновенную готовность устройства при нажатии кнопки Record. В процессе записи можно вставлять маркеры с помощью комбинации клавиш Alt + M. Все транспортные функции окна могут управляться внешними MIDI контроллерами (см. далее).

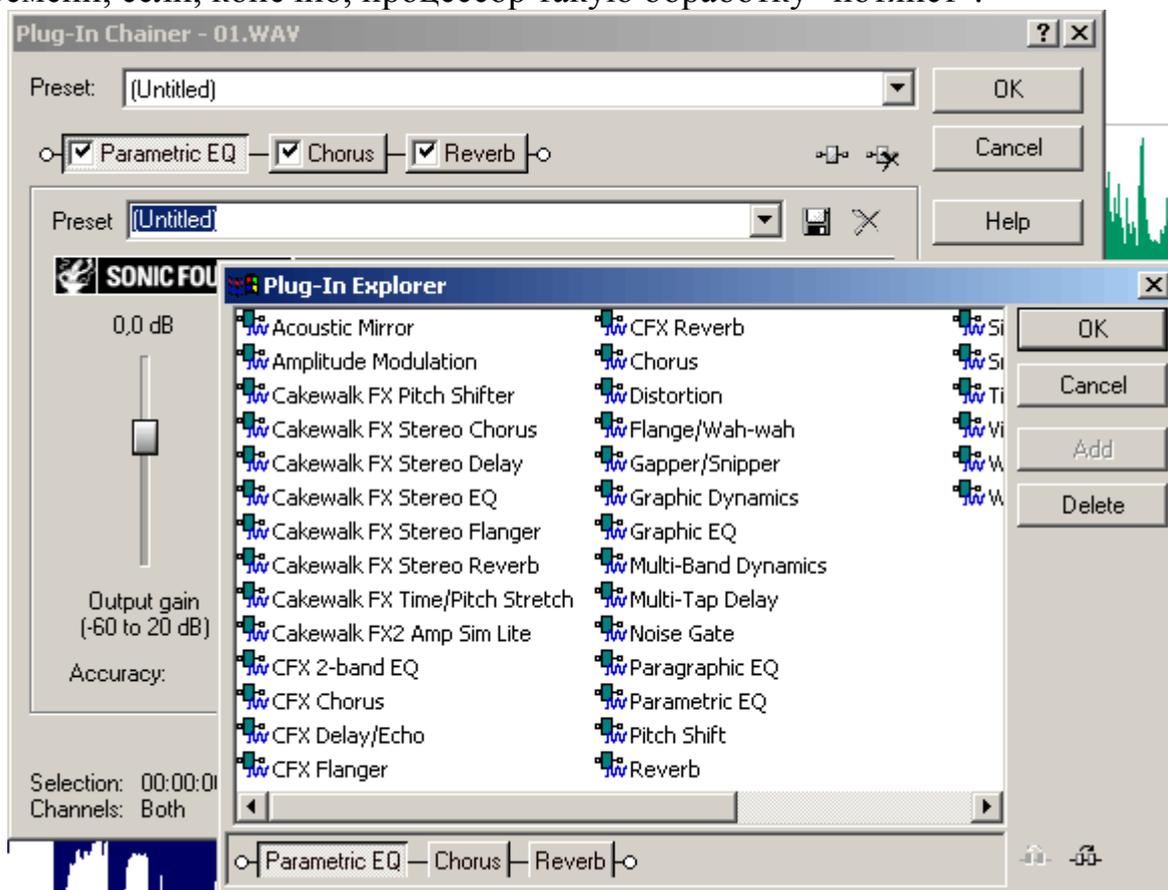
Обработка

Все встроенные алгоритмы обработки SoundForge являются одновременно подключаемыми модулями формата DirectX из наборов XFX 1/2/3. В SoundForge эти алгоритмы вызываются из меню Process и Effects, а в других программах - как обычные подключаемые модули.

Для обработки из меню вызывается нужный алгоритм, появляется диалоговое окно для настройки его параметров, при нажатии кнопки ОК файл начинает обсчитываться в фоновом режиме. В строке состояния отображается ход выполнения операции. В любой момент процесс обработки можно прервать, нажав кнопку Cancel. Каждый алгоритм имеет по несколько пресетов (выбираются из списка сверху). Собственные пресеты можно сохранять, нажав на кнопку SaveAs. Все алгоритмы имеют возможность предварительного прослушивания, длительность прослушивания устанавливается в окне Preferences на закладке Previews (по умолчанию 4 секунды). Большинство алгоритмов имеют опцию RealTime, включив которую, можно прослушать весь файл до конца, не покидая диалогового окна алгоритма.

При включенном режиме "Use 32 bit (IEEE float) temporary files" результаты обработки хранятся в 32-разрядном виде до тех пор, пока вы не сохраните файл (об одном исключении из этого правила говорилось ранее). При сохранении файла с разрядностью менее 24 бит автоматически выполняется дизеринг.

Подключаемые модули формата DirectX вызываются из одноименного меню, но если требуется обработка несколькими модулями, лучше объединять их в цепь, для чего служит команда AudioPlug-InChainer из меню Tools (рис. 12). При этом гарантируется 32-разрядное представление сигнала на всех этапах обработки. Наиболее часто применяемые цепочки модулей можно сохранить в виде пресетов, что очень удобно. В окне цепочки есть опция RealTime для прослушивания результата обработки в реальном времени, если, конечно, процессор такую обработку "потянет".

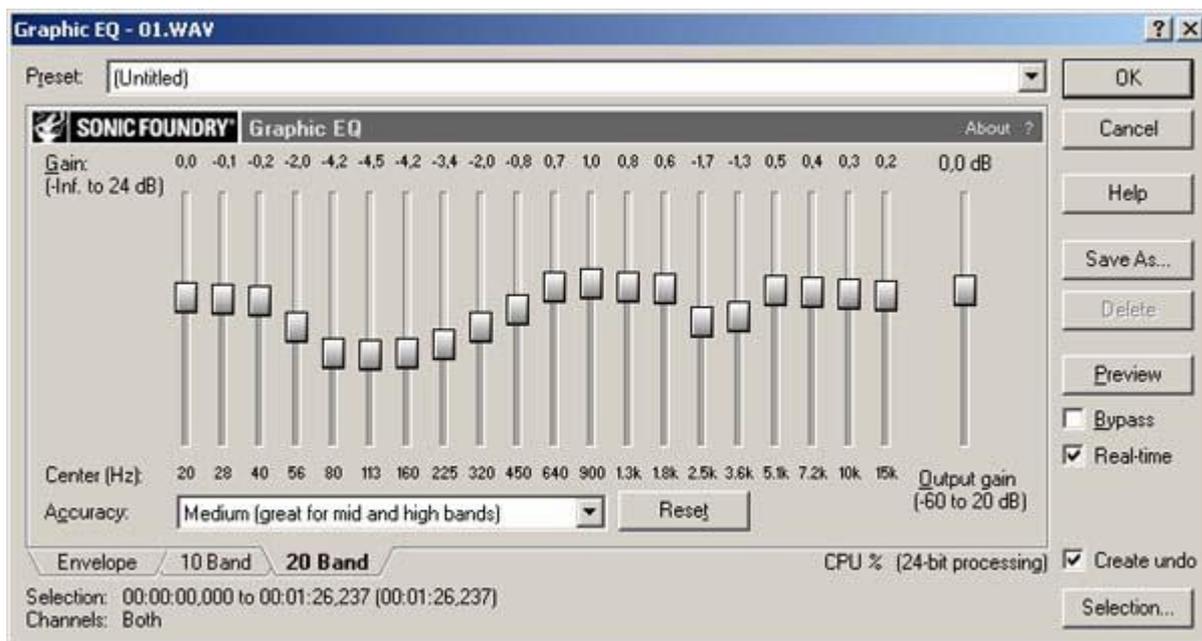
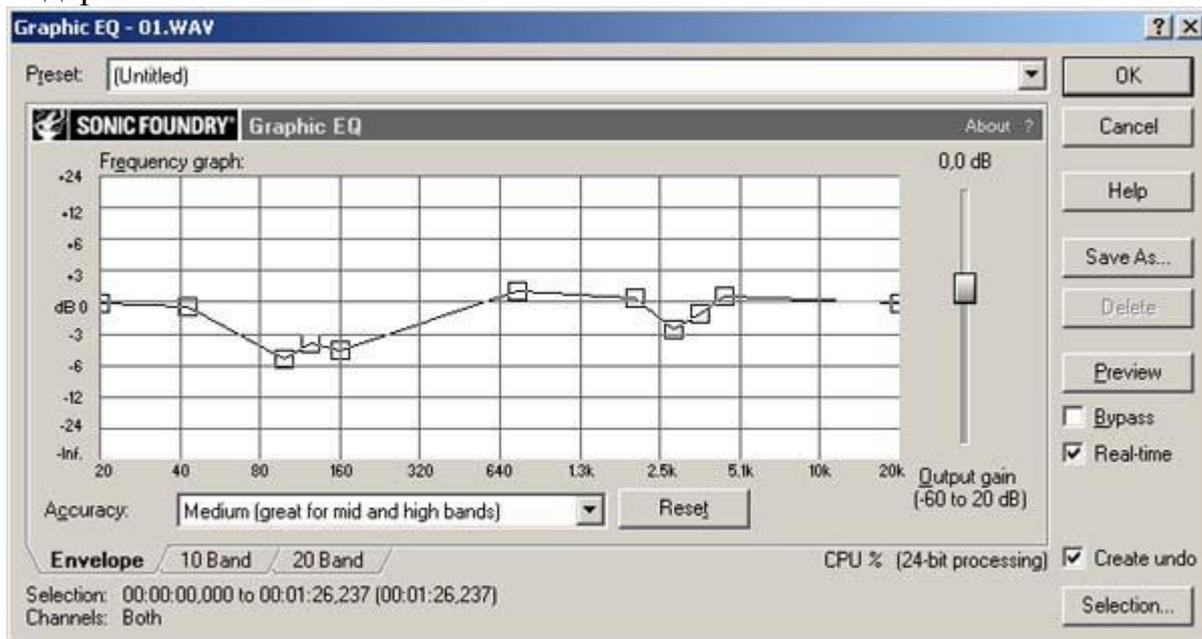


Работа с окном цепочки мне показалась неудобной: пока не закончено выстраивание модулей в цепь, никакими другими вещами в программе заниматься нельзя; если не сохранить конфигурацию цепочки в пресете, то при следующем вызове диалога ее придется строить заново. Вообще, хотелось бы уже увидеть в SoundForge некое подобие мастер-секции WaveLab, благо мощности современных процессоров это позволяют.

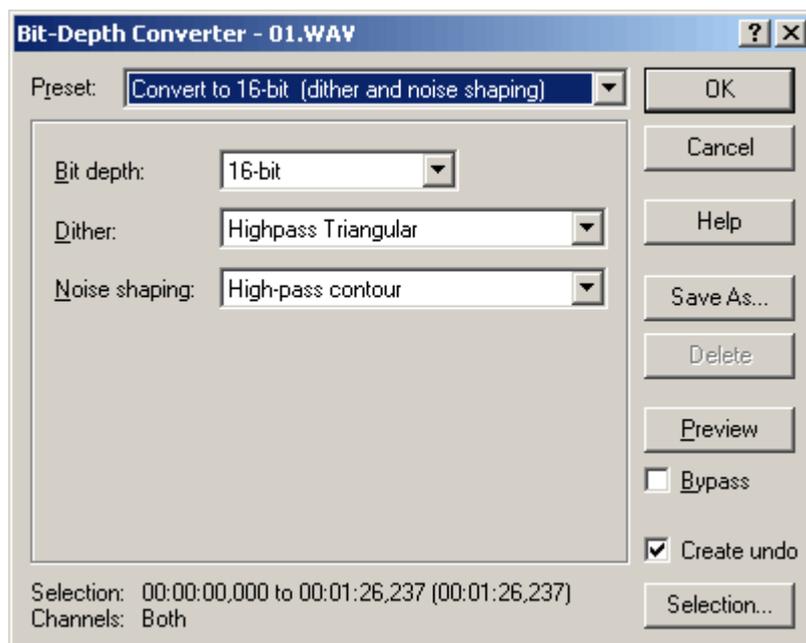
SoundForge 5.0 имеет более 35 алгоритмов обработки. Среди них амплитудная модуляция, вибрато, хорус, фленджер/фейзер, простая и многоотводная задержка, реверберация. Частотная обработка представлена эквалайзерами трех типов (графический, параграфический, параметрический), динамическая - простым и многополосным компрессором. Есть генератор огибающей, гейт, дисторшн, алгоритмы сжатия/расширения временного диапазона, изменения высоты тона, управления стереобазой.

Серьезные изменения претерпел модуль графического эквалайзера (рис. 13, 14). Теперь можно строить АЧХ на закладке Envelope, а две другие

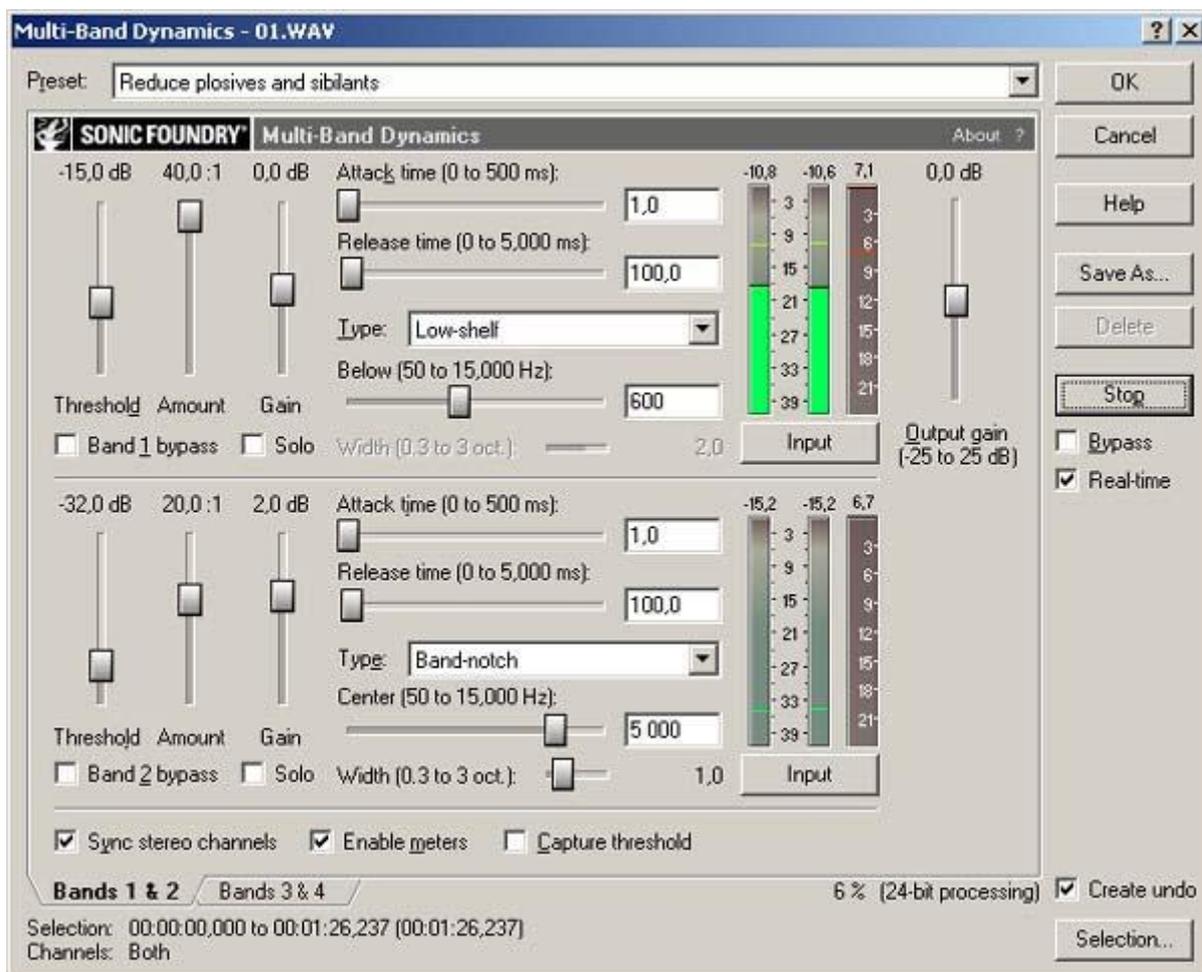
закладки отображают сделанные изменения в виде 10 или 20 полос с фейдерами.



Появился новый преобразователь разрядности файла - BitDepthConverter (рис. 15). При понижении разрядности предлагаются пять типов дизеринга и два типа нойс-шейпинга.



Значительно улучшился интерфейс в модуле многополосной динамической обработки (рис. 16). Есть две закладки, на каждую из них помещено по две полосы с независимыми органами управления и индикаторами уровня.



AcousticMirror

Этот модуль предназначен, прежде всего, для имитации акустики помещений, то есть, по сути своей, является ревербератором. В отличие от обычных ревербераторов, использующих математическую модель распространения звука в акустическом пространстве, AcousticMirror использует реальные "снимки" отклика помещения на тестовые сигналы, снятые микрофоном. Сама идея уже не нова, что могут подтвердить пользователи программы Samplitude. Модуль RoomSimulator из Samplitude и AcousticMirror из SoundForge - братья-близнецы как по функциям, так и по качеству обработки. Из аппаратных устройств на технологии "convolution" ("свертка" - так называется этот тип обработки) построен семплирующий ревербератор Sony DRE-S 777.

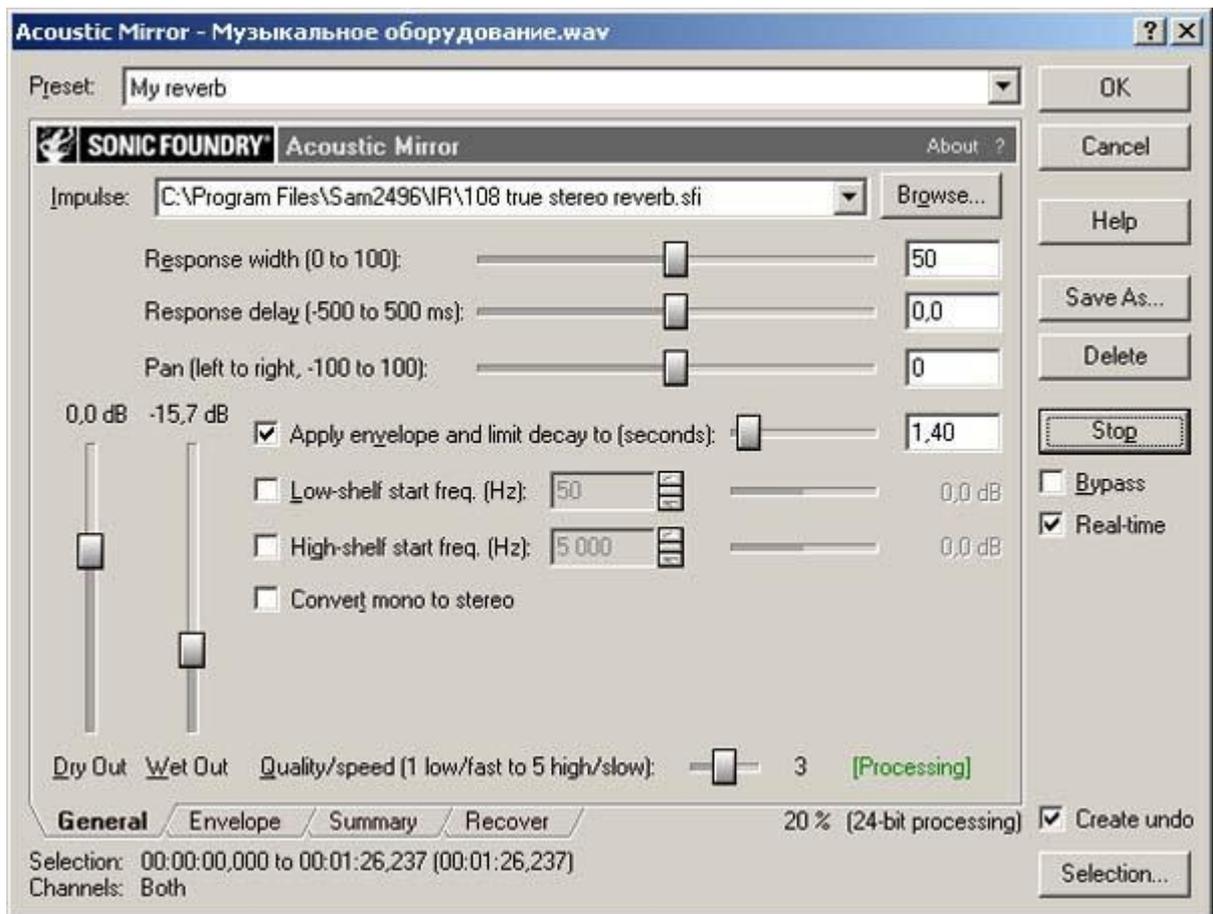
При обработке анализируется большое количество импульсных тонов отклика тестового сигнала, после чего воссоздаются ранние отражения и реверберационный хвост. В качестве тестового сигнала обычно используется короткий импульс с очень широким спектром.

На CD с дистрибутивом SoundForge (в каталоге TestTones) есть большая коллекция импульсных откликов (файлы с расширением SFI). Представлены семплы реальных концертных залов, церквей, тон-ателье различных студий. Особенно любимы народом отклики, снятые с приборов Lexicon и TC Electronic. Напрашивается вопрос: а нужно ли тратить тысячи долларов на нормальный ревербератор, когда, прикупив подобную коллекцию семплов, можно получить и L 300, и M 5000, и даже аризонский GrandCanyon? Ответ, в общем-то, банальный - любое моделирование обречено на бесконечное приближение к оригиналу, но не больше.

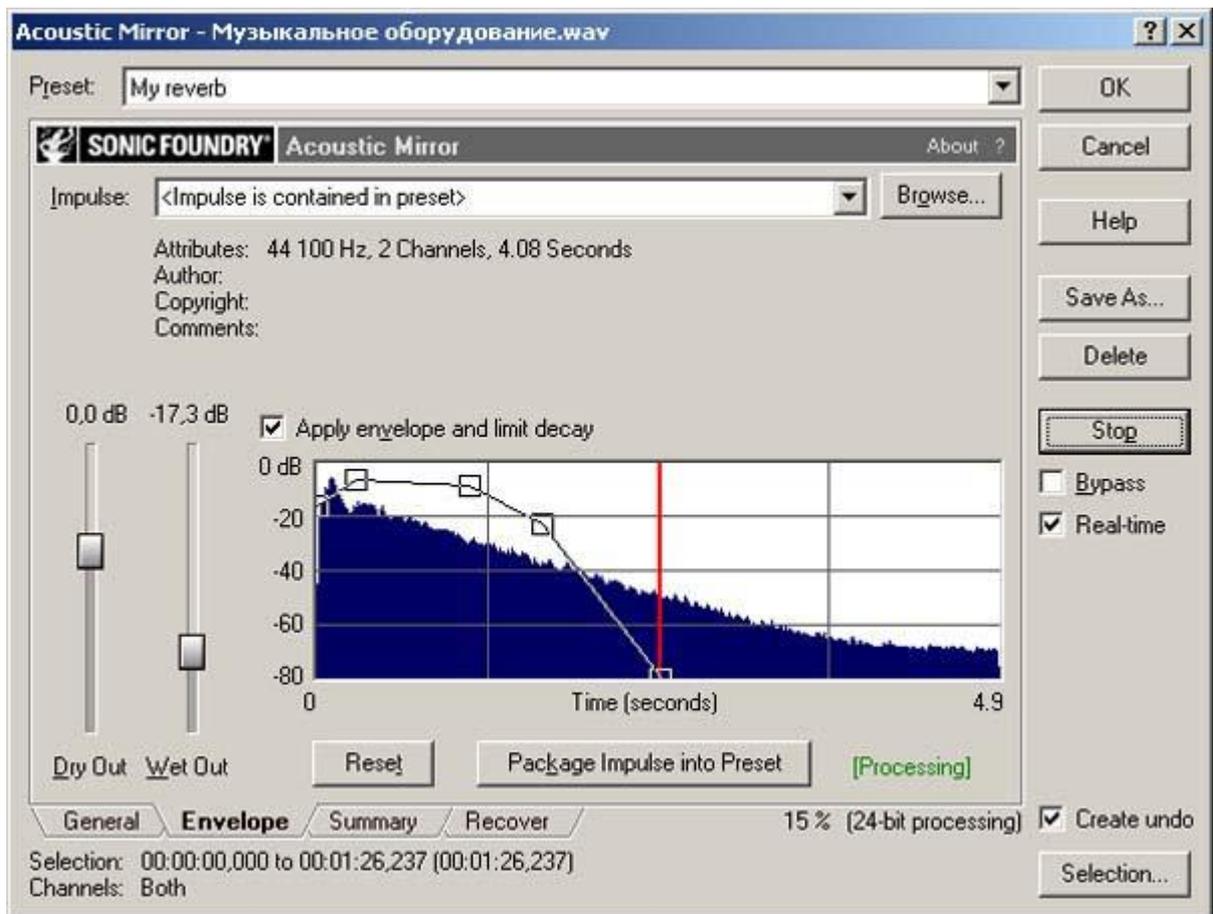
По качеству эффекта AcousticMirror и RoomSimulator оставляют далеко позади все программные ревербераторы, построенные по обычной схеме, и, на мой взгляд, превосходят недорогие аппаратные устройства.

На самом деле, реверберация не единственный "конек" модуля. Как насчет моделирования микрофонов Neumann? Пожалуйста, - достаньте только импульсный файл. Или сделайте сами. Совершенно фантастических эффектов можно добиться, подсовывая модулю в качестве импульсных файлов произвольные звуковые фрагменты. Очень эффектна частотно-зависимая задержка, получаемая при использовании сгенеренного с помощью того же SoundForge сигнала с плавно изменяющейся частотой, например, от 50 до 5000 Гц. А если "импульс" обработать еще и автопанером...

Возможность самостоятельной подготовки импульсных файлов, как мне кажется, важна именно для таких нестандартных применений. Без дорогостоящего воспроизводящего оборудования и микрофонов, а, главное, без теоретической базы, вряд ли можно грамотно засемплировать акустику понравившегося помещения.



Для обработки файла нужно на закладке General (рис. 17) выбрать какой-либо импульсный файл. С помощью регуляторов DryOut и WetOut можно добиться нужного соотношения прямого и обработанного сигналов. Ширина стереобазы изменяется регулятором ResponseWidth, значение 50 говорит о том, что пространственная информация из импульсного файла остается без изменений. Время предварительной задержки указывается в параметре ResponseDelay. Сигнал можно пропускать через шельфовый фильтр низких или высоких частот. Время затухания постоянно для каждого импульсного файла, но с закладки Envelope можно управлять огибающей импульса и ограничивать DecayTime (рис. 18).

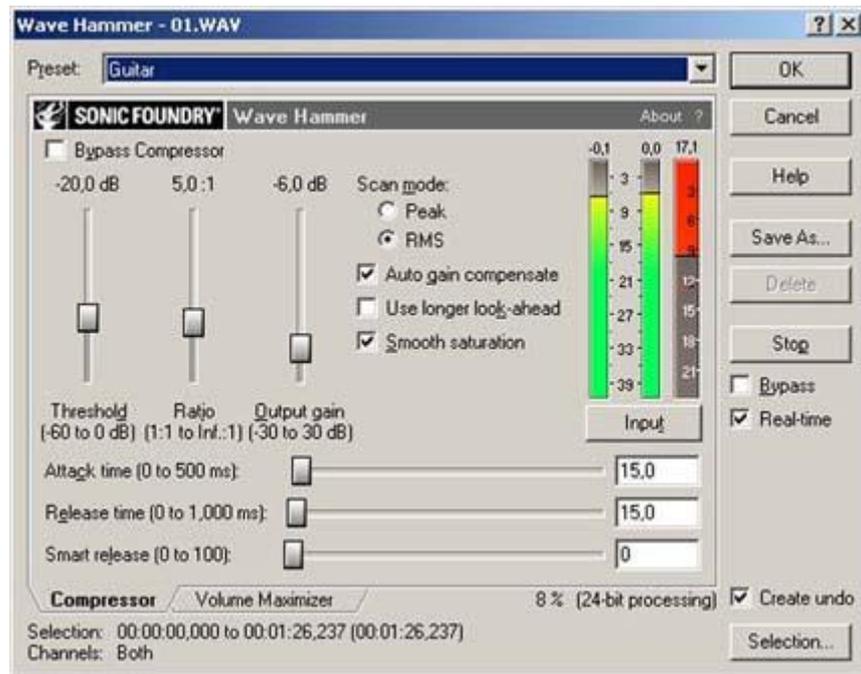


Есть еще регулятор управления качеством эффекта, он нужен только для обеспечения предварительного прослушивания. Модуль является настолько ресурсоемким, что в режиме максимального качества предварительное прослушивание не получилось даже на машине с процессором Pentium III 600.

WaveHammer

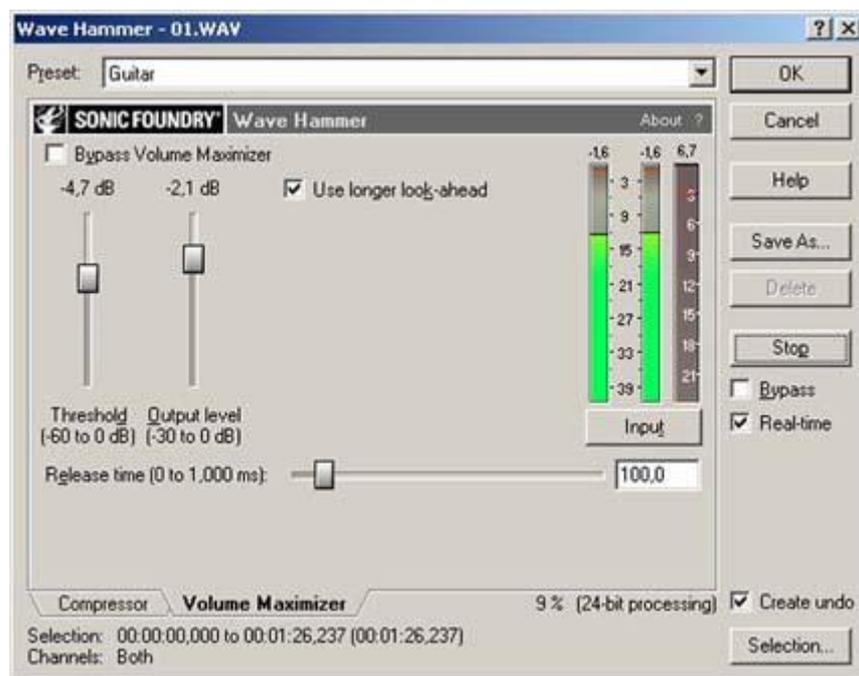
Может быть, называть модуль WaveHammer средством для мастеринга - слишком громко (насколько вообще возможно называть мастерингом обработку файла на PC перед записью на компакт-диск). Но ведь речь идет не о получении качества, сравнимого с качеством студии мастеринга, а о самой технологии работы. WaveHammer объединяет в себе классический компрессор и максимайзер.

Компрессор (рис. 19) содержит регулятор порога срабатывания (Threshold), степени компрессии (Ratio) и компенсатор выходного уровня сигнала (OutputGain). Есть также режим автоматической компенсации уровня (Autogaincompensate), при его включении лучше не трогать параметр OutputGain во избежании перегрузок по выходу. Время атаки может устанавливаться от 0 до 500 мс, время восстановления - от 0 до 1000 мс. Параметр Smartrelease автоматически подстраивает время восстановления под материал. Чем больше значение SmartRelease, тем большую свободу вы даете алгоритму в отклонении от параметра Releasetime.



Есть два режима работы компрессора: Peak и RMS. В режиме RMS чувствительность компрессора притупляется, что дает возможность проскакать коротким пикам сигнала без обработки. Опция *Use longer look-ahead* увеличивает временной интервал для анализа перед обработкой, в этом режиме компрессор может сработать чуть раньше стадии атаки. Такая предкомпрессия довольно интересна, но делает звучание ненатуральным. Флажок *Smooth saturation* добавляет теплоту в обрабатываемый сигнал (т. е. обогащает его четными гармониками) и, надо сказать, делает это ненавязчиво и осторожно, в отличие от некоторых похожих модулей, где сатурация делает звук наглым, вычурным и агрессивным, т. е. совсем не похожим на настоящий ламповый звук.

Максимайзер (рис. 20) имеет регулятор порога срабатывания и регулятор выходного уровня. Сигнал с уровнем, превышающим значение *Threshold*, лимитируется также довольно аккуратно (по крайней мере, на слух). Лимитирование происходит до уровня, указанного в параметре *OutputLevel*. Если порог срабатывания установлен, скажем, в -9 дБ, а выходной уровень в -3 дБ, общий уровень сигнала будет поднят на 6 дБ, т. е. в два раза, но таким образом, что пики, превышающие -9 дБ, будут иметь уровень -3 дБ.



ACID

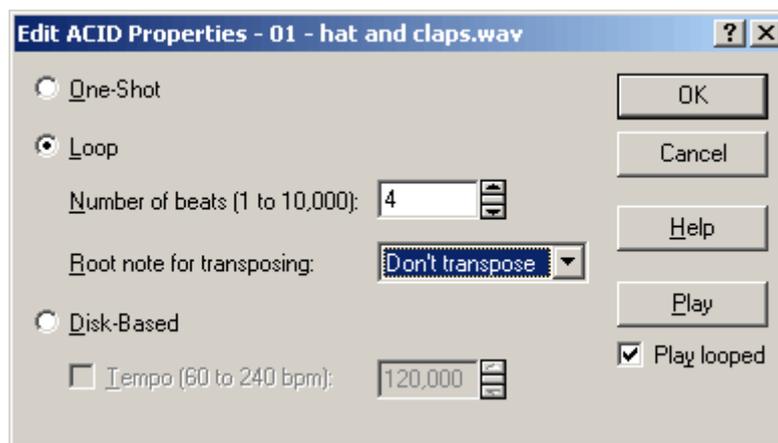
Отрадно, что разработчики не обошли вниманием интеграцию между своими приложениями. При работе с лупами в ACID или в другой подобной программе часто возникает потребность перемещения фрагментов лупа длиной в четверть в начало или в конец, дробления пополам или удвоения лупа, и т. д. В SoundForge (в меню Special) есть набор команд ACID LoopingTools, облегчающих эти операции.

Первые две команды, HalveSelection и DoubleSelection, позволяют в два раза сокращать текущее выделение или увеличивать его соответственно. Представьте такую задачу: есть восьмитактовый луп, из которого нужно вырезать первые четыре такта. Понятно, что наугад искать точку разделения сложно, поэтому выделяем луп целиком и выбираем команду HalveSelection - программа сократит выделение вдвое с точностью до семпла.

Часто требуется перемещать выделение внутри лупа, точно сохраняя размер выделения, который обычно кратен четверти. Для этого служат команды Shift Selection Left и Shift Selection Right.

Перечисленные команды сами звуковые данные не затрагивают, изменяя только расположение выделенного фрагмента, а вот команда RotateAudio позволяет прокрутить луп в кольцо, изменив его стартовую позицию. Если выделения нет, то первая четверть лупа из начала переносится в конец. Если выделение расположено от начала файла, то выделенный фрагмент переносится в конец лупа и наоборот.

Очень удобно, что параметры лупа можно настроить, не выходя из программы (команда Edit ACID Properties, рис. 21). Эти параметры запишутся в информационный заголовок WAV файла, а затем будут считаны при загрузке лупа в ACID.



Другие возможности

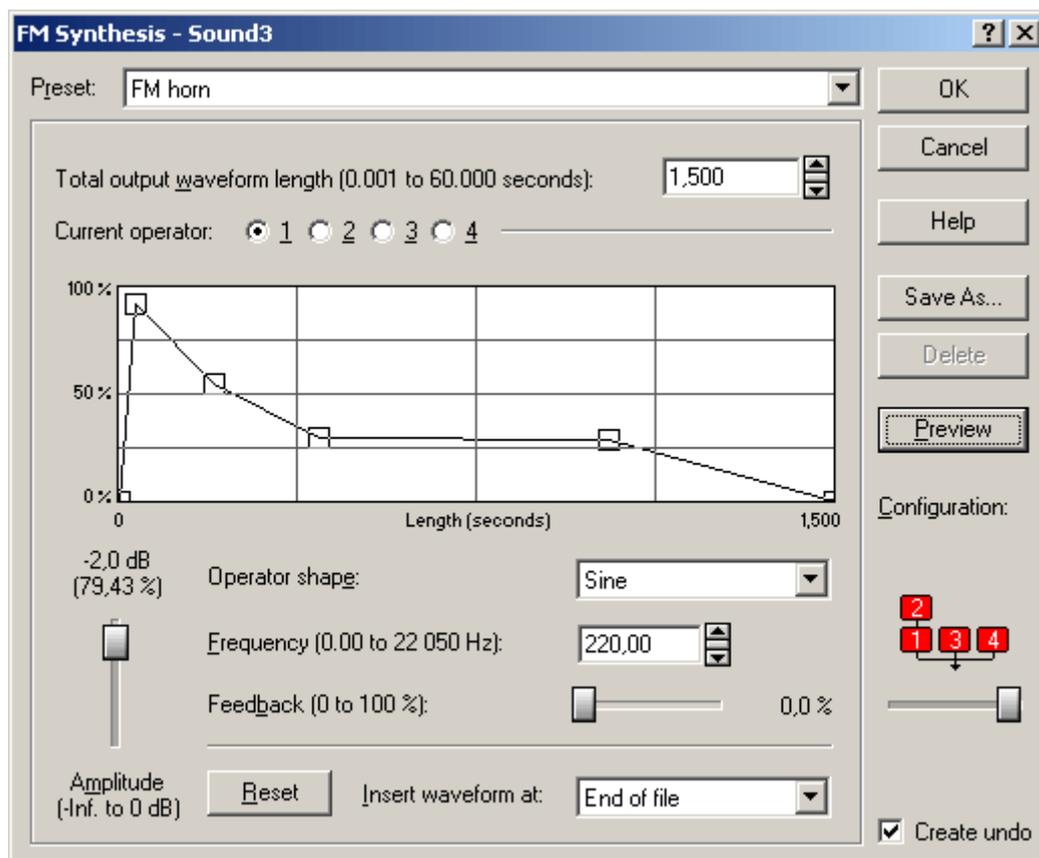
Стоит упомянуть еще несколько полезных функций программы.

SoundForge может работать в качестве генератора тестовых сигналов. В пункте Synthesis меню Tools есть три вида синтеза звуков: простой, имитация тонального набора номера в телефонных аппаратах и FM синтез.

В режиме простого синтеза предлагаются пять форм волны (синусоидальная, синусоидальная с положительным полупериодом, треугольная, прямоугольная, пилообразная), а также генератор белого шума. Можно задать частоту, уровень, длительность сигнала и его расположение в файле (с начала, от курсора, в конце). При использовании пресета Noise параметр Frequency определяет частоту среза пропускающего фильтра низких частот, поэтому для получения полноценного белого шума эту частоту следует задавать максимально возможной (равной половине частоты дискретизации файла).

В режиме DTMF/MF задается последовательность цифр, букв и разделителей, на базе которой моделируется звук тонального набора номера в бытовых телефонных аппаратах (DTMF) или в телефонных сетях (MF).

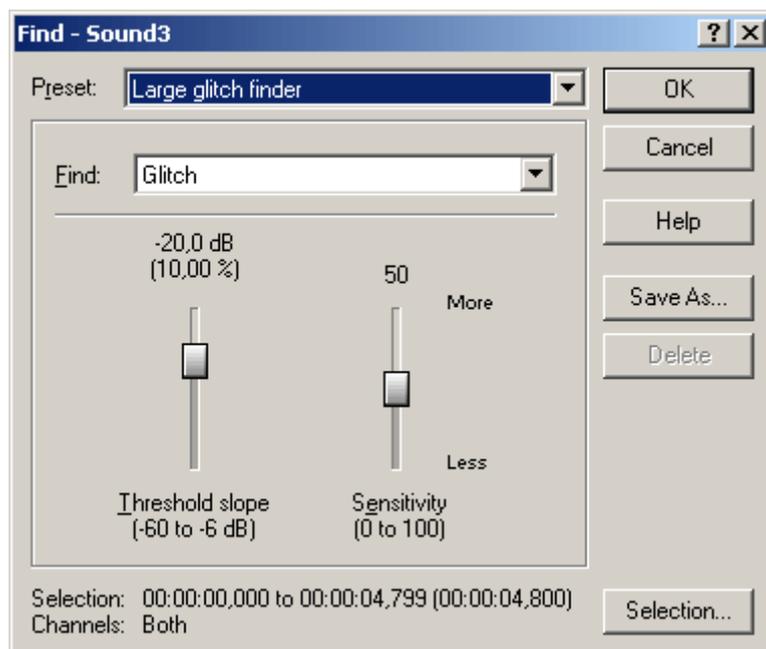
FM синтезатор SoundForge (рис. 29) имеет слишком много возможностей для простого генератора тестовых сигналов, но слишком мало для полноценного FM синтезатора.



Предлагаются четыре оператора, которые могут модулировать друг друга тринадцатью способами. Есть пять пресетных форм волны и генератор белого шума. Возможно управление огибающей путем добавления и перемещения хендлов на графике. Для каждого оператора можно установить форму волны, амплитуду, длительность и уровень обратной связи. Имеются 17 пресетов, которые демонстрируют возможности синтезатора.

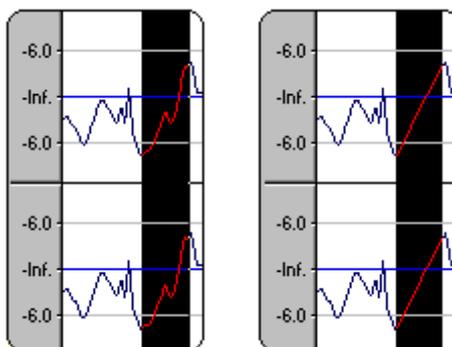
В SoundForge 5.0 включены средства для удаления из звукового материала щелчков, "царапин" и других дефектов. Они, конечно, не заменяют подключаемый модуль NoiseReduction (который продается отдельно) или некогда популярный VinylRestoration, но свою работу делают. Их удобно применять для файлов с небольшим количеством дефектов.

Предлагаются три способа исправления дефектов: интерполяция, замена предыдущими неповрежденными данными и замена из неповрежденного канала (для стерео файла). Дефект можно найти на слух, но проще использовать команду Find из меню Tools (рис. 30).



Нужно выбрать пресет **Glitch** и подстроить алгоритм поиска в случае необходимости. Чем выше значение уровня в параметре **ThresholdSlope**, тем более крутой подъем или спад должна иметь волновая форма, чтобы программа посчитала участок за дефектный. Параметр **Sensitivity** управляет точностью анализа волновой формы. Чем меньше значение этого параметра, тем меньше дефектных участков будет найдено при одном и том же значении **ThresholdSlope**. После нажатия **OK** курсор установится в середину ближайшего дефектного участка, либо будет выдано сообщение, что такого участка не обнаружено.

Если дефект имеет небольшую длину (порядка 2 мс), то проще всего использовать функцию **Interpolate** (рис. 31) - она просто соединяет начало и конец выделенного участка прямой линией.

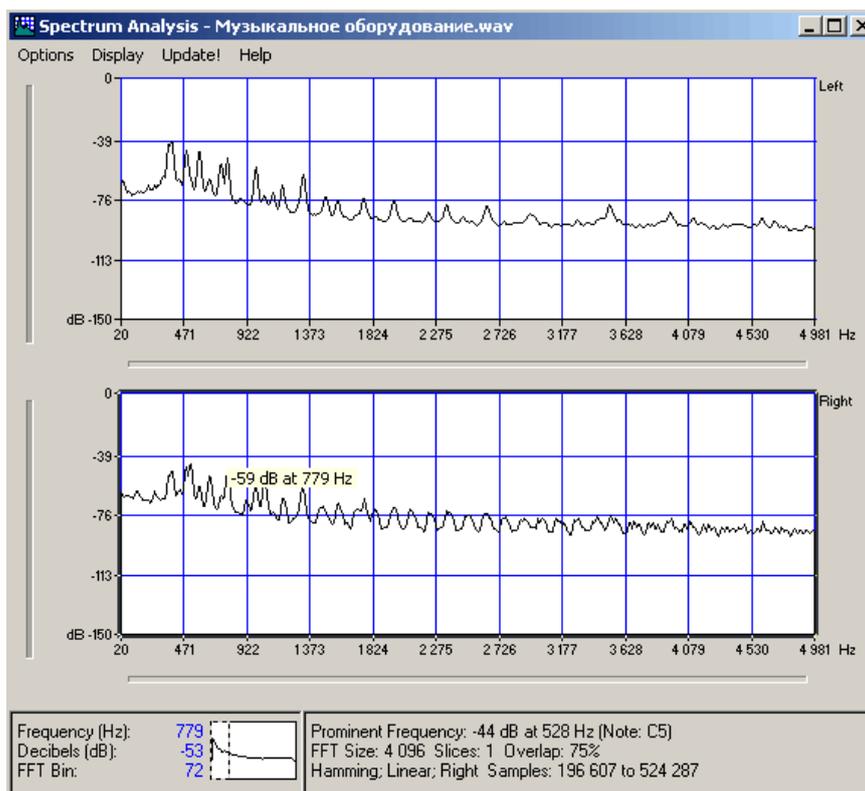


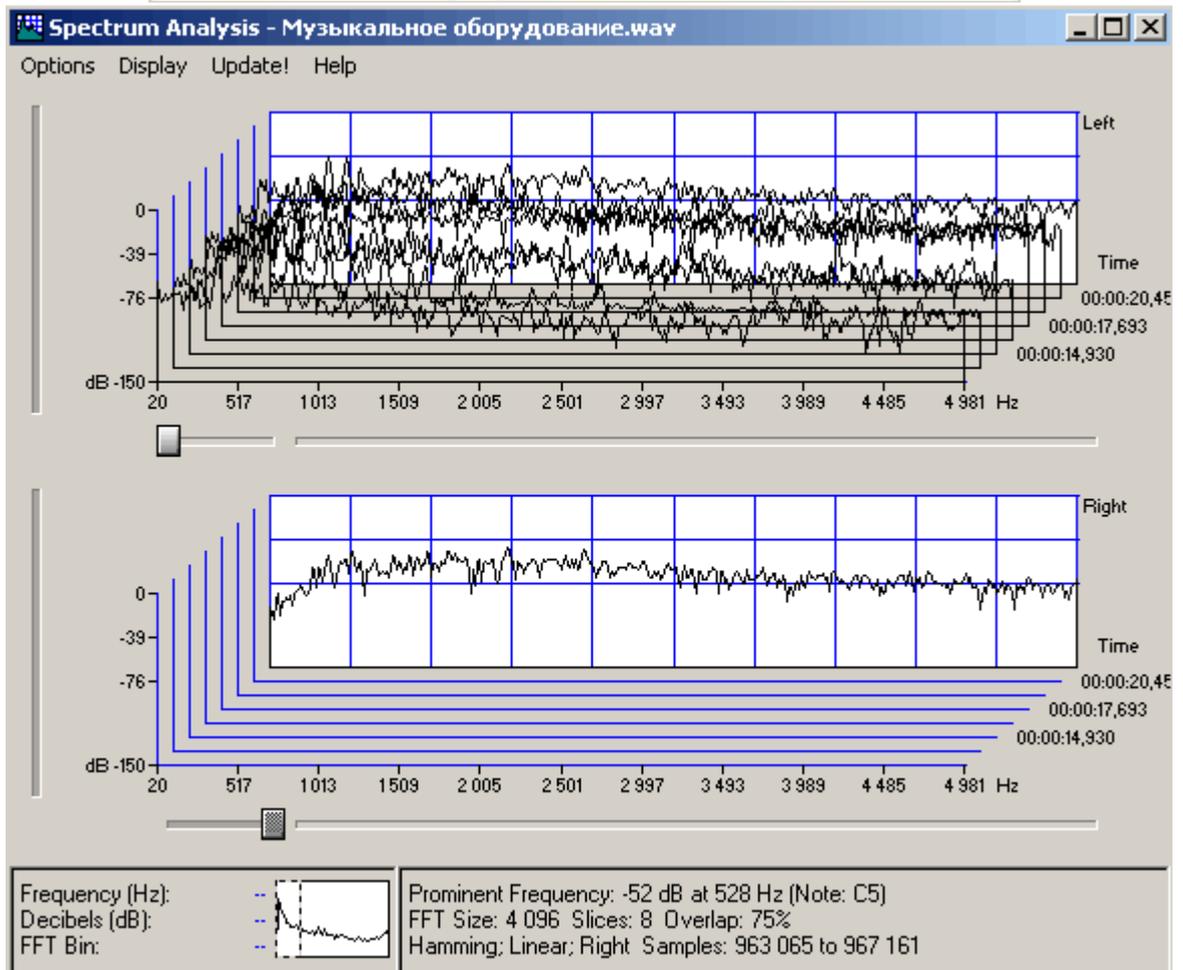
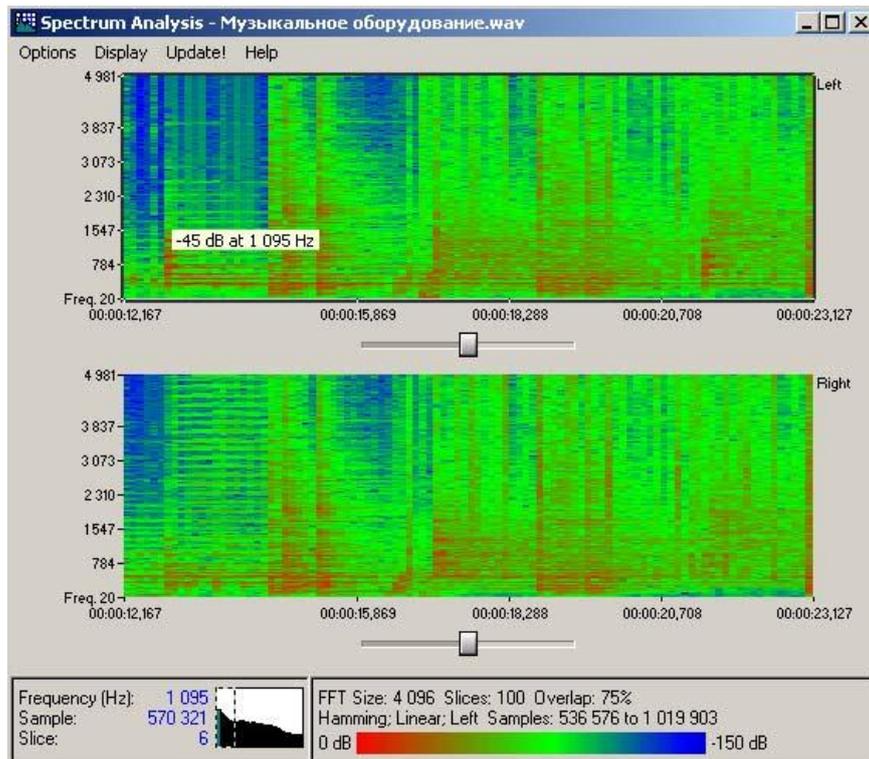
Если дефект длиннее (до 0,5 с), попробуйте команду **Replace**, она заменяет дефектный участок предыдущими данными (а при нажатой клавише **Ctrl** - последующими), выполняя кроссфейд на краях участка для большей маскировки дефекта.

В случаях, когда поврежден только один канал стерео файла, наиболее эффективный метод - скопировать в него данные из неповрежденного канала. Для этого выделите в поврежденном канале фрагмент с дефектом так, чтобы длина фрагмента в 3-4 раза превышала длину дефекта (но не более 50 мс).

Затем вызовите команду CopyOtherChannel. В начале и в конце фрагмента будет также выполнен короткий кроссфейд.

SoundForge 5.0 имеет довольно неплохой модуль спектрального анализа, работающий по методу быстрого преобразования Фурье (FFT). На следующих рисунках показаны возможные варианты представления спектра сигнала: в виде стандартной зависимости амплитуда-частота (рис. 32), в виде сонограммы (рис. 33), в трехмерном виде с осями амплитуда-частота-время (рис. 34)



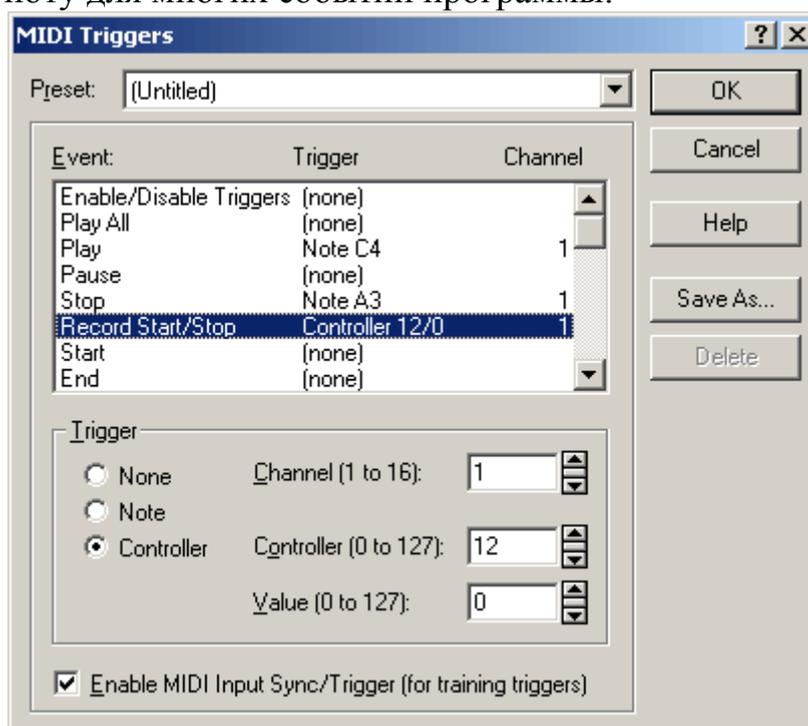


В модуле есть множество параметров настройки, таких, как размер FFT (т. е. количество анализируемых частотных полос), перекрытие "окон", пять

алгоритмов отображения данных и т. д. На сонограмме уровни гармоник отображаются разными цветами (чем ниже уровень, тем холоднее цвет), либо в оттенках серого. Графики можно масштабировать в широких пределах, устанавливать логарифмический или линейный масштаб осей; есть режим, в котором окно спектра автоматически пересчитывается при изменении положения курсора в файле или смене выделенного фрагмента. Модуль довольно шустро работает в реальном времени, анализируя как записанный сигнал, так и сигнал, подаваемый на вход звуковой платы. Для удобства есть режим удержания пиковых уровней гармоник. В общем, довольно полезный в работе инструмент, если не предъявляется высоких требований к точности анализа.

SoundForge может синхронизироваться с другими программами или периферией посредством MIDI TimeCode, являясь ведомым устройством. Кроме того, в комплект программы входит виртуальный MIDI кабель SonicFoundryVirtual MIDI Router, который добавляет в систему до четырех новых MIDI портов.

Очень полезна возможность управления работой программы с внешнего MIDI контроллера или секвенсора. В меню Options есть команда MIDI Triggers (рис. 35), вызывая которую, можно назначить управляющий контроллер или ноту для многих событий программы.



К числу таких событий относятся все команды транспорта, режимы воспроизведения, переключение между окнами с открытыми файлами, создание маркеров, регионов, выделение фрагмента, изменение масштаба и т. д. Фактически можно сконфигурировать SoundForge так, как вы привыкли работать с автономными устройствами (например, использовать педаль для врезки или начала записи). Для наиболее популярных контроллеров есть готовые пресеты.

Оптимизация

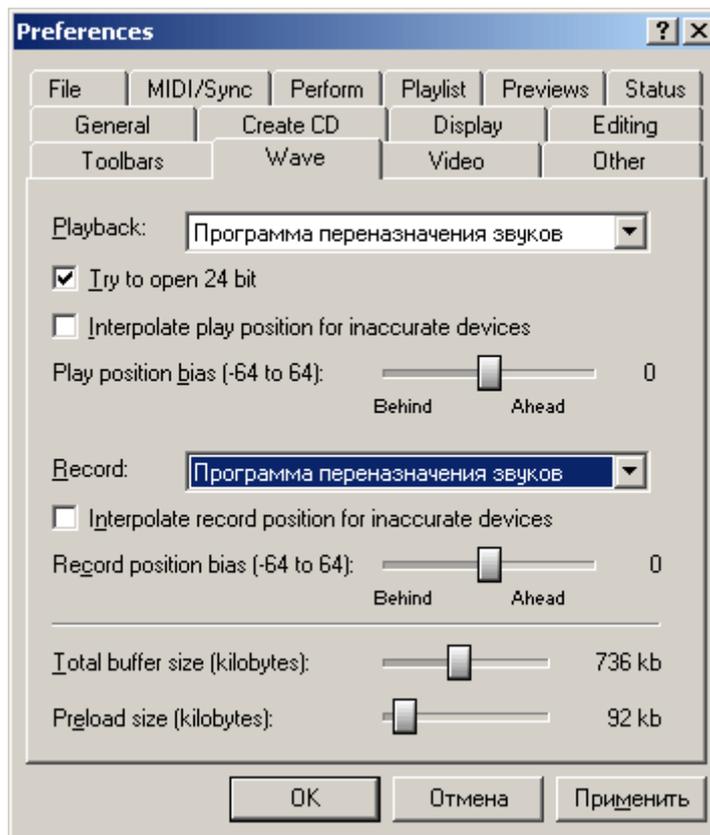
В большинстве случаев SoundForge после установки не требует никаких дополнительных настроек, поскольку сам достаточно сообразителен в общении с устройствами ввода-вывода звука. Если же при воспроизведении вы слышите щелчки, провалы в звуке или программа вдруг стала подтормаживать, проверьте следующее.

Первый и самый главный враг программы - фрагментация жесткого диска. Как говорилось выше, SoundForge - типично дисковый звуковой редактор, мало обращающий внимания на количество оперативной памяти в вашем компьютере. Для обеспечения нормальной работы нужна регулярная дефрагментация, это касается всех систем, включая Windows NT и Windows 2000.

Удачное расположение каталога для временных файлов - тоже большое дело. Лучше всего, если временный каталог находится на самом быстром диске в системе и на этом диске есть, по крайней мере, несколько гигабайт свободного пространства. По возможности используйте DirectMode, файлы будут открываться и сохраняться очень быстро, особенно если находятся на том же логическом диске, где и временный каталог.

В системах Windows 98 и ME стоит лишний раз заглянуть в Панель управления и убедиться, что установлено полное упреждающее чтение дисков, максимальное ускорение видеоадаптера, и системе дозволено самой управлять виртуальной памятью.

Особый момент - это MicrosoftSoundMapper, набор системных подпрограмм, позволяющих воспроизводить на звуковой плате файлы таких форматов, которые непосредственно (через свой драйвер) воспроизводить она не может. Да, да, эта прослойка выполняет пересемплирование и транкейт, декомпрессию, преобразует моно в стерео и наоборот, если это необходимо. Все это происходит в реальном времени и отнимает ресурсы процессора, поэтому является наиболее вероятным источником провалов в звуке. По возможности используйте родной драйвер звуковой платы и откажитесь от услуг SoundMapper. Выбрать устройство ввода-вывода можно на закладке Wave окна Preferences (рис. 36).



В локализованных версиях операционных систем SoundMapper обозвали "Программой переназначения звуков"; попробуйте заменить этот пункт другим, содержащим имя вашей платы. Если большинство файлов воспроизводится нормально, то SoundMapper вам не нужен. Если же вы воспроизводите файлы формата 24/96 на восьмибитной звуковой плате, то не браните программу, почем зря...

На той же закладке Wave можно подрегулировать размеры буферов воспроизведения, как именно - выясняется только экспериментальным путем. Это последнее средство, и прибегать к нему следует в крайнем случае.

Итог

Честно говоря, я ожидал, что после установки долгожданной пятой версии Forge можно будет смело удалить со своей машины WaveLab и CoolEdit. Это вовсе не означает, что я в претензии к двум последним программам, - просто очень уж хотелось иметь один любимый инструмент для редактирования цифрового звука. Зачем? Одну программу проще изучить досконально, разобраться в нюансах ее поведения, а это заметно ускоряет и облегчает работу. Тем более, что SoundForge 5.0 перекрывает практически все мыслимые потребности редактирования.

Так вот, после обкатки новой версии SoundForge я не только не удалил WaveLab и CoolEdit, но еще и модернизировал их до самых свежих версий. Теперь я использую три приложения, выполняющих, по сути, одну и ту же работу.

Мораль здесь проста: не пытайтесь найти универсальную программу, даже для решения специфических задач (к коим я отношу и редактирование цифрового звука) - такой программы нет и, скорее всего, не будет. Каждая задача требует своего подхода и своих инструментов.

Подведем итог.

Достоинства: простой и удобный интерфейс, качественное графическое представление волновой формы в процессе редактирования и воспроизведения, поддержка частоты дискретизации до 192 кГц и разрядности до 32 бит, импорт и экспорт файлов множества форматов, более 35 алгоритмов обработки, обмен данными с семплерами, возможность управления большинством функций с MIDI контроллеров, SMPTE- и МТС-синхронизация с другими программами/ периферией, неограниченный уровень отмены операций.

Недостатки: неудобства обработки сигнала в реальном времени, не всегда эффективный алгоритм работы с жестким диском, отсутствие нормальных средств для записи CD, отсутствие встроенных средств шумоподавления и пакетной обработки файлов.

Контрольные вопросы:

1. Основные возможности Sounge Forge
2. Работа с файлами в SoungeForge
3. Достоинства SoungeForge
4. Недостатки SoungeForge
5. Способы исправления дефектов в SoungeForge
6. Технические требования SoungeForge
7. Моно и стерео это?

Лекция 4

Понятие об музыкальных компьютерных технологиях

План:

1. Введение. Общее понятие об MIDI.
2. Разница между MIDI технологиями и аудио.
3. MIDI технологияларнинг қўлланиш соҳаси.

Ключевые слова: MIDI (Musical Instrument Digital Interface), секвенсор, синтезатор.

1. Введение. Общее понятие об MIDI

Интенсивное развитие компьютерных технологий, широкое использование их в различных видах музыкального творчества, выдвинуло ряд проблем, требующих своего осмысления и решения современным музыковедением. Стимулом к появлению и развитию технической музыки (ТМ) и ее разновидности — электронной музыки (ЭМ) — в XX веке послужило два фактора: а) стремление композиторов к поиску новых выразительных средств в музыке, к новому музыкальному языку и как следствие — новому инструментарию; б) стремительное научно-техническое развитие в области электроники и позднее информационных технологий.

Яркий «всплеск» интереса музыкантов (и слушателей) к необычным звучаниям, к новым тембрам, равно как и стремление хотя бы как-то облегчить необычайно сложный труд композитора и исполнителя, плюс появление возможности использовать для этого новые информационные технологии предопределили использование компьютеров в процессе сочинения музыки. Первые компьютеры не были рассчитаны для этого; пришлось поработать конструкторам, но без музыкантов они ничего бы не сделали. Сейчас эта техника, можно сказать, готова полностью перевернуть музыкальное мышление. И за какое-то очень короткое в историческом аспекте время (лишь в августе 1981 года фирма IBM начала выпускать первые в мире персональные компьютеры) эта техника объединила многие

миллионы людей; интерес к возможностям ее в музыкальной сфере стал поистине колоссальным. Обращение к информационным технологиям, музыкальной акустике в их актуальных связях с музыкой ставит перед исследователями многие сложные проблемы. Безусловно, важнейшей из них является проблема соотношения художественного (музыкального) и естественнонаучного мышления или проблема соотношения образного эмоционального восприятия музыки и точности, объективности методов ее познания. Однако объективные критерии позволяют получать знания лишь о внешних, материальных проявлениях искусства. Для представителей точных наук останутся скрытыми (если не навсегда, то надолго) духовная сущность искусства, составляющая основу эстетического познания музыки. Во всяком случае, информационные технологии, музыкальная акустика не предоставляют исследователям таких возможностей.

2. Разница между Аудио и MIDI технологиями

Почти с самого своего рождения протокол MIDI (Musical Instrument Digital Interface — цифровой интерфейс музыкальных инструментов) стал стандартом для всей электромузыкальной промышленности с невиданной до того степенью совместимости. Такой совместимости до сих пор нет даже у электрических лампочек, сетевых и телефонных розеток. Ситуация сейчас такова, что если выпускается электромузыкальное устройство, несовместимое с MIDI, оно обречено быть оторванным от остального мира.

Причина, по которой MIDI на протяжении двадцати лет имеет ошеломляющий успех, проста — протокол был очень тщательно разработан, прежде чем предстать перед публикой. В нем нет "дыр", а требования к аппаратной реализации и взаимодействию устройств четко определены и не могут быть трактованы двояко. Кроме того, MIDI не принадлежит одной компании, а является продуктом целой ассоциации производителей.

Основная предпосылка к появлению MIDI состояла в насущной потребности музыкантов того времени управлять с одной клавиатуры несколькими синтезаторами одновременно. При этом от разработчиков требовалось, чтобы соединение инструментов было простым, а сам интерфейс надежным и недорогим. Сейчас, по прошествии двадцати лет, можно уверенно заявить: эти условия для своего времени были выполнены разработчиками идеально.

Протокол MIDI разрабатывался как простое, недорогое и надежное средство для управления одним синтезатором с другого.

Это нужно вспоминать всякий раз, когда возникают вопросы и недоумения "а почему в MIDI это сделано именно так?". Тем более, вспоминать основное предназначение MIDI нужно перед тем, как критиковать протокол. А критиковали MIDI с самого его рождения и критикуют до сих пор, особенно по поводу слишком медленной передачи данных и ритмической неточности. Тем более в свете современных технологий. Достоинства и недостатки протокола, способы их преодоления и альтернативы MIDI — настолько обширная тема для обсуждения, что этому будет посвящена отдельная статья.

Несмотря на все недостатки, MIDI и сегодня вполне успешно выполняет свое предназначение. И не только — сфера применения протокола давно уже не ограничивается управлением синтезаторами. По MIDI управляются многие процессоры эффектов, микшерные пульта, даже осветительные, пиротехнические приборы и дымовые машины. Что уж говорить о персональных компьютерах и связанной с ними индустрии мультимедиа! Сейчас уже в порядке вещей скачать из интернета MIDI-файл в качестве звонка для мобильного телефона. Не удивлюсь, если в скором времени можно будет скачать MIDI-файл для управления кухонным комбайном...

3. Сфера применения MIDI технологий

MIDI — это протокол связи между устройством управления, генерирующим команды, и подчиненным устройством, выполняющим эти команды. Если очень сильно сузить это определение, то можно привести типичный пример: MIDI позволяет исполнителю нажать клавишу на одном инструменте, а получить при этом звук другого или даже нескольких. Любые воздействия исполнителя на органы управления (нажатие клавиш, педалей, изменение положений регуляторов и т. п.) могут быть преобразованы в команды, которые можно передать по MIDI-кабелю на другие инструменты. Эти инструменты, получая команды, обрабатывают их так же, как и при воздействии на их собственные органы управления.

На самом деле протокол MIDI не конкретизирует состав взаимодействующих устройств и не требует наличия живого исполнителя. Суть протокола в том, что в некой системе, состоящей из нескольких

устройств, одно устройство (мастер) генерирует команды управления, а все другие устройства (подчиненные) выполняют эти команды. Если подчиненные устройства являются источниками звука (синтезаторы, звуковые модули, семплеры, драм-машины, одним словом, тон-генераторы), то они управляются командами, связанными со звукообразованием: например, "взять ноту До первой октавы" или "переключить тембр на номер 5". Если подчиненные устройства выполняют другие функции, например, обработку аудиосигнала, то и команды для них будут несколько иными. Как бы там ни было, прибор, получает команды управления через свой MIDI-вход (MIDI In).

В качестве мастер-устройства может выступать любой прибор, имеющий MIDI-выход (MIDI Out) и способный посылать на этот выход команды управления. Мастер-устройства можно разделить на два типа: устройства, на которые непосредственно воздействует исполнитель (например, синтезатор) и устройства, которые генерируют управляющие команды автоматически (без участия исполнителя), на основе ранее введенных данных. Типичным примером устройства последнего типа является секвенсор.

Секвенсор напоминает магнитофон, только записывает он не звук, а команды управления, и не на ленту, а в память компьютера (в широком смысле слова, это может быть и встроенный компьютер синтезатора). Секвенсор позволяет записать действия исполнителя (включая динамику исполнения, стиль, штрихи и т. п.), а затем воспроизвести их в первоизданном виде, точно так же, как если бы исполнитель снова сел за инструмент и сыграл то же самое. Кроме того, в секвенсоре можно редактировать записанную информацию способами, невыполнимыми на магнитофоне: транспонировать партии или отдельные ноты, изменять ритмическую позицию событий или тембр, которым синтезатор будет воспроизводить партию.

Протокол MIDI разрабатывался для управления синтезаторами, а в них, как известно, самый главный орган управления — клавиатура. Неудивительно поэтому, что разработчики MIDI для описания действий исполнителя выбрали принцип клавишного инструмента.

MIDI является выраженным клавишно-ориентированным протоколом.

Это не означает, что управлять тон-генератором можно только с клавиатуры — существуют множество других способов ввода, например,

электронные пэды и целые ударные установки, гитарные или духовые контроллеры (о них мы поговорим отдельно и более подробно). Однако, какое бы средство ввода не использовалось, сообщения от него преобразуются в клавишно-ориентированные.

Приемы звукоизвлечения, нехарактерные для клавишного инструмента, могут быть лишь симитированы средствами MIDI с той или иной степенью достоверности.

Контрольные вопросы:

1. Что вы понимаете под МКТ?
2. Разница между Аудио и MIDI технологиями.
3. Сфера применения MIDI технологий
4. MIDI – основные составляющие звука суллари?

Лекция 5

Знакомство с форматами сжатия звука

План:

1. Разновидности цифровых аудиоформатов
2. Сжатие аудиоданных
3. Структура кодера сжатия аудиоданных с потерями
4. Особенности сжатия цифрового звука
5. Семейство стандартов MPEG
6. Метод сжатия звука Ogg Vorbis
7. Метод сжатия звука MusePack
8. Формат Windows Media Audio (WMA)

Ключевые слова: звук, mp3, wav, wma, частота, битрейт, аудиофайл, музыка, песня, трек, mp3, ogg.

Цифровой аудиоформат — формат представления звуковых данных, используемый при цифровой звукозаписи, а также для дальнейшего хранения записанного материала на компьютере и других электронных носителях информации, так называемых звуковых носителях.

Аудиофайл (файл, содержащий звукозапись) — компьютерный файл, состоящий из информации об амплитуде и частоте звука, сохранённую для дальнейшего воспроизведения на компьютере или проигрывателе.

1. Разновидности цифровых аудиоформатов

Формат представления звуковых данных в цифровом виде зависит от способа квантования цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП). В звукотехнике в настоящее время наиболее распространены два вида квантования :

- импульсно-кодовая модуляция
- сигма-дельта-модуляция

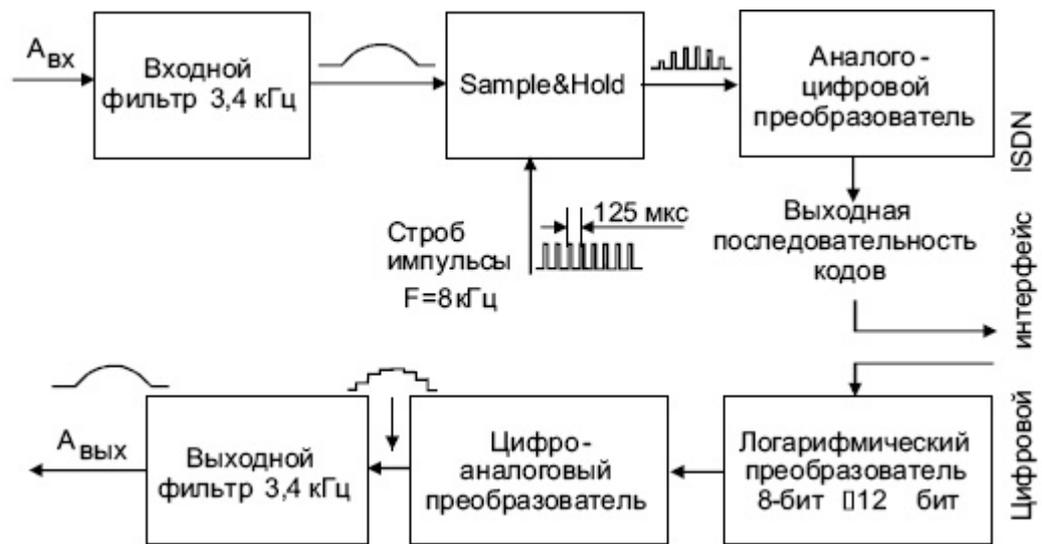


Рис. 1.5. Схема импульсно-кодовой модуляции

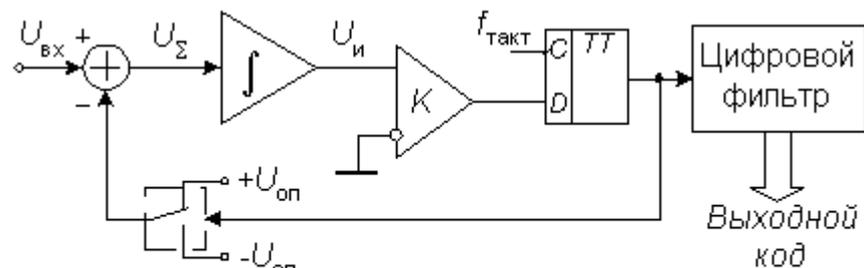


Рис. 15. Структурная схема сигма-дельта АЦП

Зачастую разрядность квантования и частоту дискретизации указывают для различных звуковых устройств записи и воспроизведения как формат представления цифрового звука (24 бита/192 кГц; 16 бит/48 кГц).

Формат файла определяет структуру и особенности представления звуковых данных при хранении на запоминающем устройстве ПК. Для устранения избыточности аудио данных используются аудиокодеки, при помощи которых производится сжатие аудиоданных. Выделяют три группы звуковых форматов файлов:

- аудиоформаты без сжатия, такие как WAV, AIFF
- аудиоформаты со сжатием без потерь (APE, FLAC)
- аудиоформаты, с применением сжатия с потерями (mp3, ogg)

Особняком стоят модульные музыкальные форматы файлов. Созданные синтетически или из сэмплов заранее записанных живых инструментов, они, в основном, служат для создания современной электронной музыки (MOD). Также сюда можно отнести формат MIDI, который не является звукозаписью, но при этом с помощью секвенсора позволяет записывать и воспроизводить музыку, используя определенный набор команд в текстовом виде.

Форматы носителей цифрового звука применяют как для массового распространения звуковых записей (CD, SACD), так и в профессиональной звукозаписи (DAT, минидиск).

Для систем пространственного звучания также можно выделить форматы звука, в основном являющиеся звуковым многоканальным сопровождением к кинофильмам. Такие системы имеют целые семейства форматов от двух крупных конкурирующих компаний Digital Theater Systems Inc. — DTS и Dolby Laboratories Inc. — Dolby Digital.

Также форматом называют количество каналов в системах многоканального звука (5.1; 7.1). Изначально такая система была разработана для кинотеатров, но впоследствии была расширена для систем домашнего кинотеатра.

2. Сжатие аудиоданных

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 без потерь

Сокращение статистической избыточности основано на учете свойств самих звуковых сигналов. Она определяется наличием корреляционной связи между соседними отсчетами цифрового звукового сигнала, устранение которой позволяет сокращать объем передаваемых данных на 15...25% по сравнению с их исходной величиной. Для передачи сигнала необходимо получить более компактное его представление, что возможно осуществить с помощью ортогонального преобразования. Важными условиями применения такого метода преобразования являются:

- возможность восстанавливать исходный сигнал без искажений
- способность обеспечивать наибольшую концентрацию энергии в небольшом числе коэффициентов преобразования
- быстрый вычислительный алгоритм

Этим требованиям отвечает модифицированное дискретно-косинусное преобразование (МДКП).

Уменьшить скорость цифрового потока позволяют методы кодирования, учитывающие статистику звуковых сигналов, например, вероятности появления уровней разной величины. Одним из таких методов является код Хаффмана, где наиболее вероятным значениям сигнала приписываются более короткие кодовые слова, а значения отсчетов, вероятность появления которых мала, кодируются кодовыми словами большей длины. Именно в силу этих двух причин в наиболее эффективных алгоритмах компрессии

цифровых аудиоданных кодированию подвергаются не сами отсчеты звукового сигнала, а коэффициенты МДКП.

Подобные методы применяются при архивации файлов.

Сжатие 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.

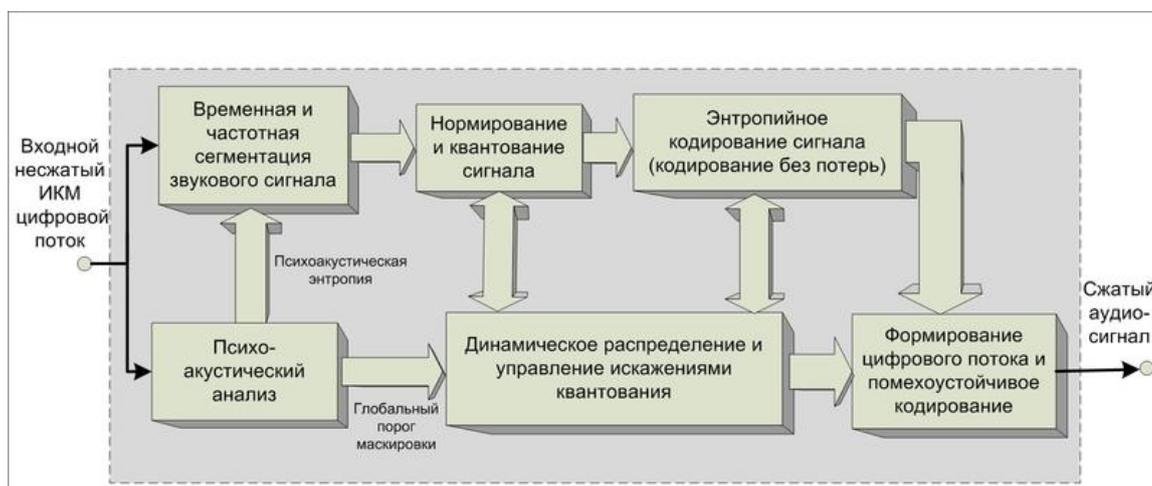
Маскирование во временной области характеризует динамические свойства слуха, показывая изменение во времени относительного порога слышимости (порог слышимости одного сигнала в присутствии другого), когда маскирующий и маскируемый сигналы звучат не одновременно. При этом следует различать явления послемаскировки (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.

Наилучшим методом кодирования звука, учитывающим эффект маскирования, оказывается полосное кодирование. Сущность его заключается в следующем. Группа отсчетов входного звукового сигнала, называемая кадром, поступает на блок фильтров который разделяет сигнал на частотные поддиапазоны. На выходе каждого фильтра оказывается та часть входного сигнала, которая попадает в полосу пропускания данного фильтра. Далее, в каждой полосе с помощью психоакустической модели, анализируется спектральный состав сигнала и оценивается, какую часть сигнала следует передавать без сокращений, а какая лежит ниже порога маскирования и может быть перекувантована на меньшее число бит. Для сокращения максимального динамического диапазона определяется максимальный отсчет в кадре и вычисляется масштабирующий множитель, который приводит этот отсчет к верхнему уровню квантования. Эта операция аналогична компандированию в аналоговом вещании. На этот же множитель умножаются и все остальные отсчеты. Масштабирующий множитель

передается к декодеру вместе с кодированными данными для коррекции коэффициента передачи последнего. После масштабирования производится оценка порога маскирования и осуществляется перераспределение общего числа битов между всеми полосами.

Очевидно, что после устранения психоакустической избыточности звуковых сигналов их точное восстановления при декодировании оказывается уже невозможным. Методами устранения психофизической избыточности можно обеспечить сжатие цифровых аудиоданных в 10 – 12 раз без существенных потерь в качестве.

3. Структура кодера сжатия аудиоданных с потерями



Обобщенная структура кодера звукового сигнала с компрессией цифровых аудиоданных

Исходный цифровой звуковой сигнал разделяется на частотные поддиапазоны и сегментируется по времени в блоке временной и частотной сегментации.

Длина кодируемой выборки зависит от формы временной функции звукового сигнала. При отсутствии резких выбросов по амплитуде используется так называемая длинная выборка, обеспечивающая высокое разрешение по частоте. В случае же резких изменений амплитуды сигнала длина кодируемой выборки резко уменьшается, что дает более высокое разрешение по времени. Решение об изменении длины кодируемой выборки принимает блок психоакустического анализа, вычисляя значение психоакустической энтропии сигнала.

После сегментации сигналы частотных поддиапазонов нормируются, квантуются и кодируются. В наиболее эффективных алгоритмах компрессии кодированию подвергаются не сами отсчеты выборки звукового сигнала, а соответствующие им коэффициенты МДКП.

Учет закономерностей слухового восприятия звукового сигнала выполняется в блоке психоакустического анализа. Здесь по специальной

процедуре для каждого частотного поддиапазона рассчитывается максимально допустимый уровень искажений (шумов) квантования, при котором они еще маскируются полезным сигналом данного поддиапазона.

Блок динамического распределения бит в соответствии с требованиями психоакустической модели для каждого поддиапазона кодирования выделяет такое минимально возможное их количество при котором уровень искажений, вызванных квантованием, не превышает порога их слышимости, рассчитанного психоакустической моделью.

Также могут использоваться:

- матрицирование стерео - сложение и вычитание левого и правого канала для устранения повторяющейся информации
- специальные процедуры итерационных циклов, позволяющие управлять величиной энергии искажений квантования в поддиапазонах при недостаточном числе доступных для кодирования бит
- процедуры линейного и обратного адаптивного предсказаний
- техника сглаживания переходных шумов во временной области (Temporal Noise Shaping - TNS), позволяющая управлять микроструктурой искажений квантования внутри каждого поддиапазона кодирования

Многие другие приёмы могут послужить способом сократить объём данных звуковой информации. Даже простое сужение полосы частот сигнала вместе с уменьшением динамического диапазона может уже называться сжатием аудиоданных. Например, в стандарте сжатия звука в сотовой связи используется и то и другое. Стремясь удалить избыточность из звука, кодек при плохом качестве сигнала становится избирателен к определённым словам, упорно проглатывая их.

Очевидно, что при более высокой частоте дискретизации 44.1-48.0 кГц и более высокой битовой частоте (от 160-192 Кбит/с) мы получим более соответствующий оригиналу звук, чем при частоте дискретизации в 22 кГц и битовой частоте 64 Кбит/с. Однако, размер конечного сжатого файла прямо пропорционален частоте выборки и выбранной битовой частоте, и именно этим зачастую руководствуются люди, распространяющие музыку в сжатом виде через Интернет или на различных носителях.

Следует также помнить о том, что большинство алгоритмов вырезают верхнюю часть слышимого диапазона, начиная приблизительно с 15 кГц. Это утверждение несложно проверить, проведя простейший анализ частотного спектра в звуковых редакторах Audacity или Snd, либо в специально предназначенной для этого программе Freqtweak.

4. Особенности сжатия цифрового звука

Музыкальные записи можно сжимать и обычными архиваторами, однако они не могут работать в режиме реального времени, к тому же,

уровень сжатия несжатых музыкальных записей редко когда превышает 50%. Другой, используемый на практике, способ сжатия аудиоинформации заключается в применении специальных программ – так называемых кодеков, с помощью которых можно сжимать и "на лету" заниматься раскодированием и воспроизведением сжатых композиций.

Говоря о кодеках для сжатия аудиоинформации, следует различать понятия кодек и контейнер медиаданных. Контейнер – это, упрощенно говоря, некая стандартная оболочка, в которой хранятся аудиоданные, сжатые тем или иным кодеком. Например, в MP4-контейнере могут храниться данные, сжатые различными кодеками – в частности – кодеком сжатия с потерями AAC, кодеком сжатия без потерь ALAC и другими. Обычно для различных типов данных, которые хранятся в MP4-контейнере, применяются различные расширения файла. Точно так же, в WAV-файле могут храниться различные данные – например, сжатые в популярном формате MP3 или несжатая информация в формате PCM – в случае с WAV-файлами расширение имени файла остается неизменным (.wav), а различаются эти файлы лишь по своей внутренней структуре.

Перечень программ

Среди существующих форматов сжатия аудиоданных с потерями можно отметить "большую четверку" - MP3, WMA, Ogg Vorbis и AAC. Ваш MP3-плеер с практически 100% вероятностью будет поддерживать один из этих форматов, а скорее всего – несколько. Знания о некоторых особенностях форматов будут особенно полезны при практической работе с аудиоинформацией. Например, в следующих лекциях мы рассмотрим ПО для работы со звуком, в частности, подробно остановимся на конверсии звука из одного формата в другой, и если вы будете знать о формате сжатия данных немного больше, чем его название, это может вам неплохо помочь. Итак, начнем с самого популярного формата.

MP3

Полное название MP3 – MPEG 1 Audio Layer 3. MP3 – это формат сжатия аудиоданных с потерями, который добился невероятной популярности по всему миру. В настоящее время существуют варианты стандарта - MPEG-2 Layer 3 и MPEG-2.5 Layer 3.

История MP3 начинается в конце 1980-х годов, когда рабочая группа инженеров института Фраунгофера (Fraunhofer Society) начала работать над проектом DAB (Digital Audio Broadcast). Проект был частью исследовательской программы EUREKA и в ее рамках был известен как EU-147. MP3 стал результатом переработки стандартов сжатия аудиоинформации Musicam и ASPEC, добавления к идеям, используемых в этих стандартах, новых оригинальных концепций. Непосредственное отношение к стандарту имеет так же компания Thomson.

Стандарт развивался в начале 1990-х, в 1995 году была опубликована окончательная версия стандарта, однако еще в 1994 году был создан первый программный MP3-кодировщик, который назывался Izenc. Тогда же было

выбрано расширение .mp3 для файлов, закодированных в данном формате, а в 1995 году появился первый программный MP3-проигрыватель Winplay3, доступный широкой общественности. Благодаря высокому качеству музыки при небольшом размере файлов, а так же из-за появления простого и качественного программного обеспечения для проигрывания и создания MP3-файлов (например, широко известного и ныне здравствующего WinAmp'a, который появился еще в середине 1990-х годов), стандарт обрел огромную популярность и пользуется ей до сих пор.

Возможности MP3

Говоря о возможностях формата MP3, пожалуй, надо начать с формата, в котором хранят музыку на обычных музыкальных CD-дисках, на так называемых Audio CD. Звук, записанный на такие диски, имеет вполне определенные характеристики, а именно, это 44.1kHz 16Bit Stereo (44,1 кГц, 16-битный стереозвук). В переводе на нормальный человеческий язык это означает, что каждая секунда звучания состоит из 44100 образцов (этот параметр называют частотой дискретизации), каждый из которых имеет размер 16 бит (то есть – два байта), причем, информация записывается для двух каналов – для правого и для левого. В итоге получается, что для хранения одной секунды музыки в формате Audio CD потребуется $44100 * 16 * 2 = 1411200$ бит, или 176400 байт, или 172,2 Кб. Таким образом, пятиминутная композиция займет $176400 * 5 * 60 = 52920000$ байт, то есть – почти 50 мегабайт дискового пространства. Даже сегодня, учитывая десятки, а чаще – сотни гигабайт жестких дисков, которые есть в распоряжении обычных пользователей, довольно сложно представить себе музыкальную коллекцию, состоящую исключительно из звука, записанного в таком неэкономном формате. Что и говорить о жестких дисках на пару гигабайт, которые были пределом мечтаний многих лет десять назад.

Файлы, сжатые в MP3 практически без потери первоначального качества, занимают в 6-10 раз меньше места, чем оригинал. То есть из огромного 50-мегабайтного файла получается вполне пристойный 5-мегабайтный. Причем, если сжать такой файл с помощью обычных алгоритмов сжатия (RAR или ZIP, например), которые используются для простых файлов, мы получим, в лучшем случае, 50% выигрыш (то есть файл порядка 25 Мб). В чем же дело? Почему же MP3 способен так сильно сжимать файлы, практически не ухудшая их качества. Ответ на вопрос здесь кроется в слове "практически". Ведь обычное сжатие не изменяет качества композиций, оно полностью сохраняет его, а MP3 проводит некие манипуляции с файлом, которые могут сказаться на его качестве.

Как работает MP3

В основе MP3 лежит множество механизмов сжатия, в частности, так называемое адаптивное кодирование, основанное на психоакустических моделях, которые учитывают особенности восприятия звука человеком и удаляют из него все "лишнее" - все то, что среднестатистическому человеку невозможно услышать при прослушивании композиций. Как мы уже

говорили, если не стремиться слишком сильно сжать композицию, применив наиболее качественный вариант MP3-кодирования, то ее размер будет примерно в 6-10 раз меньше оригинала с CD-качеством, а качество этих двух записей будет идентичным – вряд ли даже профессионал различит их. При более высоких уровнях сжатия потери (их еще называют артефактами сжатия) слышны гораздо сильнее, но тот, кто пользуется сильно сжатой MP3-музыкой, сознательно идет на такой шаг. Например, сильно сжатые MP3 чрезвычайно популярны в среде сотовых телефонов – часто встроенной памяти аппарата не хватает для того, чтобы загрузить в него достаточное количество качественных MP3, в результате владелец жертвует качеством записи ради количества. Но вернемся к описанию принципов работы MP3, в частности, к психоакустическим моделям.

Адаптивное кодирование, основанное на психоакустических моделях, применяет различные знания об особенностях восприятия звуков человеком. Так, если одновременно воспроизводятся два звуковых сигнала, один из которых слабее, то более слабый сигнал заглушается (или, как говорят, маскируется) более сильным сигналом. В результате получается, что человек слышит более сильный звук, а более слабый – нет. В таком случае информация о более слабом звуке просто отбрасывается. Точно так же происходит, если сразу после громкого звука идет тихий – громкий звук вызывает временное понижение слуховой чувствительности, в результате – тихий звук оказывается не слышимым – информацию о нем так же можно убрать. Так же при обработке музыкальных композиций учитывается то, что большинство людей не способны различить сигналы, мощность которых находится ниже определенного уровня для различных частотных диапазонов.

20.2. Схема MP3 кодера



MP3-файл состоит из нескольких фрагментов (фреймов) MP3. Такая последовательность фрагментов называется **элементарным потоком**.

Битрейт

При MP3-кодировании особенную важность имеет так называемый битрейт (bitrate или ширина потока), который задается при кодировании. Например, уже описанный Audio CD может быть закодирован с максимальным битрейтом 320 Кбит/с (килобит в секунду – этот показатель так же обозначают как kbps, kbs, kb/s) до 128 и ниже. На практике, при битрейте ниже 128 Кбит/с качество звучания падает настолько сильно, что кодировать с подобным битрейтом есть смысл лишь тогда, когда другой альтернативы просто нет.

С одним и тем же битрейтом могут быть закодированы различные исходные материалы, например, звук может быть не стереофоническим, а монофоническим, другой может быть частота дискретизации или размер выборки, однако битрейт – это очень важный интегральный показатель качества MP3-файла. В общем случае, чем он больше – тем это лучше. Очень часто при кодировании MP3-записей Audio CD-качества, можно встретить битрейт 192 Кбит/с – он неплохо подходит для этих целей, однако при прослушивании подобных записей на качественной аудиоаппаратуре (особенно, если сравнить их с оригинальными Audio CD), заметны артефакты сжатия.

Однако, нельзя однозначно утверждать, что любая музыкальная композиция, скажем, записанная на битрейте 192 Кбит/с лучше, чем композиция, записанная на 128 Кбит/с. Многое зависит от самой музыки, от кодировщика, от исходного качества записи, а так же от того, какой тип битрейта использован при записи композиции.

Так, наиболее простой тип битрейта – это постоянный битрейт – или CBR (Constant Bit Rate). Этот битрейт не меняется в течение кодирования всей композиции, то есть каждая секунда звучания, независимо от ее содержимого, кодируется одинаковым количеством бит.

Интереснее выглядит переменный битрейт (VBR, Variable Bit Rate). Он динамически изменяется при кодировании в зависимости от аудиоданных, которые подвергаются обработке. Это наиболее прогрессивный тип кодирования MP3 – при его использовании качество записей повышается, в сравнении с использованием постоянного битрейта, а размер файлов уменьшается. Это происходит из-за того, что более насыщенные участки записи кодируются с более высоким битрейтом, а участки, где высокий битрейт не требуются, кодируются с битрейтом более низким. Основной минус VBR заключается в том, что перед началом кодирования практически невозможно назвать размер выходного файла.

Еще один вариант битрейта называется усредненным битрейтом (ABR, Average Bit Rate) – его можно назвать комбинацией VBR и CBR. Так, перед началом кодирования пользователь задает средний битрейт, а при кодировании программа, используя переменный битрейт, следит за тем, чтобы в итоге битрейт вписался в установленное пользователем ограничение. Качество выходного файла получается, таким образом, хуже, чем при использовании VBR (но немного лучше, чем при использовании

аналогичного CBR), однако размер файла поддается гибкой и точной регулировке.

В ходе кодирования исходный аудиосигнал разбивается на участки, которые называются фреймами. Каждый фрейм кодируется отдельно, а при декодировании звуковой сигнал реконструируется из декодированных фреймов. Особый интерес при кодировании MP3 представляет способ обработки стереосигнала – давайте остановимся на этом вопросе подробнее.

5. Семейство стандартов MPEG

К настоящему времени достаточное распространение в радиовещании получили также еще нескольких стандартов MPEG, таких, как MPEG-2 ISO/IEC 13818-3, 13818-7 и MPEG-4 ISO/IEC 14496-3. В отличие от этого в США был разработан стандарт Dolby AC-3 (A/52) в качестве альтернативны стандартам MPEG. Несмотря на значительное разнообразие алгоритмов компрессии цифровых аудиоданных, структура кодера, реализующего такой алгоритм обработки сигналов, может быть представлена в виде обобщенной схемы, показанной на рис. 5.1.

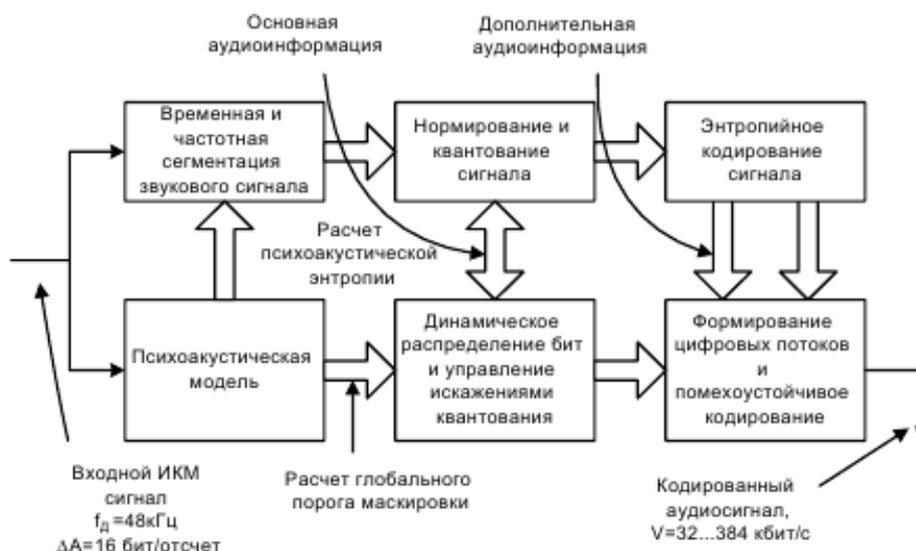


Рис. 5.1. Обобщенная структурная схема кодера с компрессией цифровых аудиоданных

MPEG расшифровывается как «Moving Picture Coding Experts Group», дословно – группа экспертов по кодированию подвижных изображений. MPEG ведет свою историю с января 1988 года. Начиная с первого собрания в мае 1988 года, группа начала расти, и выросла до очень большого коллектива специалистов. Обычно, в собрании MPEG принимают участие около 350 специалистов из более чем 200 компаний. Большая часть участников MPEG – это специалисты, занятые в тех или иных научных и академических учреждениях.

Стандарт MPEG-1

Стандарт MPEG-1 (ISO/IEC 11172-3) включает в себя три алгоритма различных уровней сложности: Layer (уровень) I, Layer II и Layer III. Общая структура процесса кодирования одинакова для всех уровней. Однако, несмотря на схожесть уровней в общем подходе к кодированию, уровни различаются по целевому использованию и внутренним механизмам. Для каждого уровня определен свой цифровой поток (общая ширина потока) и свой алгоритм декодирования. MPEG-1 предназначен для кодирования сигналов, оцифрованных с частотой дискретизации 32, 44.1 и 48 КГц. Как было указано выше, MPEG-1 имеет три уровня (Layer I, II и III). Эти уровни имеют различия в обеспечиваемом коэффициенте сжатия и качестве звучания получаемых потоков. MPEG-1 нормирует для всех трех уровней следующие номиналы скоростей цифрового потока: 32, 48, 56, 64, 96, 112, 192, 256, 384 и 448 кбит/с, число уровней квантования входного сигнала – от 16 до 24. Стандартным входным сигналом для кодера MPEG-1 принят цифровой сигнал AES/EBU (двухканальный цифровой звуковой сигнал с разрядностью квантования 20–24 бита на отсчет).

Предусматриваются следующие режимы работы звукового кодера:

- одиночный канал (моно);
- двойной канал (стерео или два моноканала);
- joint stereo (сигнал с частичным разделением правого и левого каналов).

Важнейшим свойством MPEG-1 является полная обратная совместимость всех трех уровней. Это означает, что каждый декодер может декодировать сигналы не только своего, но и нижележащих уровней. MPEG-1 оказался первым международным стандартом цифрового сжатия звуковых сигналов и это обусловило его широкое применение во многих областях: вещании, звукозаписи, связи и мультимедийных приложениях. Наиболее широко используется Уровень II, он вошел составной частью в европейские стандарты спутникового, кабельного и наземного цифрового ТВ вещания, в стандарты звукового вещания, записи на DVD, Рекомендации МСЭ BS.1115 и J.52. Уровень III (его еще называют MP3) нашел широкое применение в цифровых сетях с интегральным обслуживанием (ISDN) и в сети Интернет. Подавляющее большинство музыкальных файлов в сети записаны именно в этом стандарте.

Стандарт MPEG-2

MPEG-2 это расширение MPEG-1 в сторону многоканального звука. Следствием совместимости MPEG-2 с MPEG-1 в части кодирования звука стало полное использование трехуровневой системы, разработанной в MPEG-1 для обработки звуковых данных кодерами стандарта MPEG-2. Различия между стандартами начинаются при переходе от двухканального звука, принятого за основу в MPEG-1, к многоканальному звуку, поддерживаемому в MPEG-2. MPEG-2 специфицирует различия

режима передачи многоканального звука, в том числе пятиканальный формат, семиканальный звук с двумя дополнительными громкоговорителями, применяемыми в кинотеатрах с очень широким экраном, расширения этих форматов с низкочастотным каналом. Соответствующее расположение громкоговорителей показано в таблице 4. 1. В данном случае в числителе дроби указывается число фронтальных каналов, в знаменателе – число каналов, излучаемых сзади. Одной из разновидностей многоканального звука является многоязычное звуковое сопровождение. Оно может осуществляться либо передачей отдельного цифрового потока для каждого языка, либо добавлением нескольких (до 7) языковых каналов со скоростью 64 кбит/с к многоканальному потоку 384 кбит/с. Возможна передача дополнительных звуковых каналов для людей с ухудшением зрения и слуха. Система улучшенного кодирования звука AAC. Одной из лучших современных систем сжатия звука признана система AAC (Advanced Audio Coding – усовершенствованная система кодирования звука), специфицированная в седьмой части стандарта ISO/IEC 13818. В отличие от других методов сжатия звуковых данных, принятых в MPEG-2, она не обладает свойством обратной совместимости – декодеры MPEG-1 не могут декодировать сигнал AAC. На данный момент существуют пять разновидностей формата AAC:

1. HomeboyAAC;
2. AT&T a2b AAC;
3. LiquifierPROAAC;
4. Astrid/Quartex AAC;
5. AACPlus.

Стандарт MPEG-4

В качестве средств компрессии звука в MPEG-4 (ISO/IEC 14496-3) используется комплекс нескольких стандартов кодирования звука: улучшенный алгоритм MPEG-2 AAC, алгоритм TwinVQ, а также алгоритмы кодирования речи HVXC и CELP. Кроме того, MPEG-4 предусматривает множество механизмов обеспечения масштабируемости и предсказания. Однако в целом, стандарт MPEG-4 AAC, предусматривающий правила и алгоритмы кодирования звука, является, в общем, продолжением MPEG-2 AAC. MPEG-4 – аудио предлагает широкий перечень приложений, которые покрывают область от простой речи до высококачественного многоканального звука, и от естественных до синтетических звуков.

Метод кодирования MPEG-4 CELP. Метод кодирования MPEG-4 CELP предназначен для обработки речевых сигналов. На практике применяются в основном три основных класса кодеров: кодеры формы, вокодеры и гибридные кодеры. Кодеры формы характеризуются способностью сохранять основную форму речевого сигнала. К кодерам формы относятся кодеры с импульсно кодовой модуляцией (ИКМ), кодеры с дифференциальной ИКМ (ДИКМ), адаптивной дифференциальной ИКМ

(АДИКМ) и др. Системы передачи с подобным типом кодеров обеспечивают хорошее качество воспроизведения речевых сигналов (стандартная полоса частот которых составляет 300–3400 Гц) и более широкополосных звуковых сигналов. Однако, эти кодеры малоэффективны с точки зрения снижения скоростей передачи цифровых сигналов. Вокодеры (от английских слов «voice» – голос и «coder» – кодирующее устройство) обеспечивают значительно большее снижение скоростей передачи речевых сигналов. Сжатие на передающей стороне производится в анализаторе, выделяющем из речевого сигнала медленно меняющиеся составляющие, которые передаются по каналу связи в виде кодовых комбинаций. На приемной стороне с помощью местных источников сигналов, управляемых с использованием принятой информации, синтезируется речевой сигнал.

Стандарт MPEG-7

Аудио MPEG-7 FCD имеет пять технологий: структура описания звука, которая включает в себя масштабируемые последовательности, дескрипторы нижнего уровня и равномерные сегменты тишины; средства описания тембра музыкального инструмента; средства распознавания звука; средства описания голосового материала и средства описания мелодии. Описание системы аудио MPEG-7. Аудиоструктура содержит средства нижнего уровня, которые обеспечивают основы для формирования звуковых приложений высокого уровня. Предоставляя общую платформу структуры описаний, MPEG-7 Audio устанавливает базис для совместимости всех приложений, которые могут быть созданы в рамках данной системы.

6. Метод сжатия звука Ogg Vorbis

Сразу после своего появления формат MP3 приобрел огромную популярность у пользователей персонального компьютера, на аудиодиск размером 650 Мб можно поместить в 10 раз больше звуковой информации, при этом сохранив приемлемое качество. Созданные таким образом файлы можно без проблем пересылать через Интернет, использовать в переносных устройствах, собирать музыкальные коллекции. OggVorbis принадлежит к тому же типу форматов аудиосжатия, что и MP3, AAC, VQF, PAC, QDesign AIFF и WMA, т.е. к форматам сжатия с потерями. Психоакустическая модель, используемая в OggVorbis по принципам действия близка к MP3 и иже с ними, но и только – математическая обработка и практическая реализация этой модели в корне отличается, что позволяет авторам объявить свой формат совершенно независимым от всех предшественников.

Главное неоспоримое преимущество формата OggVorbis – это его полная открытость и бесплатность. WMA и Astrid/Quartex тоже бесплатны, но авторы этих форматов не опубликовали исходные коды своих

разработок, а Xiphophorus именно это и сделала. OggVorbis создается в рамках проекта GNU и полностью подчиняется GNU GPL (генеральная публичная лицензия). А это означает, что формат совершенно открыт для коммерческого и некоммерческого использования, его коды можно модифицировать безо всяких ограничений, группа разработчиков оставляет за собой лишь право утверждать новые спецификации формата. OggVorbis использует математическую психоакустическую модель отличную от MP3, и это сказывается на звучании. MP3 и OggVorbis трудно сравнивать, но в целом звучание OggVorbis гораздо лучше. При кодировании кодеки OggVorbis используют VBR (variable bitrate), подобно некоторым MP3 кодекам, что позволяет существенно уменьшить размер композиции, при незначительной потере качества. Что же касается скорости кодирования, то тут пока нет никаких выдающихся результатов. Скорость кодека OggVorbis не быстрее кодека MP3. Разработчики признают, что код кодека совершенно не оптимизирован, так как эта программа была выпущена как можно быстрее для демонстрации спецификации, чтобы не быть голословными. Т.е., в будущем можно ожидать существенного улучшения скоростных характеристик, особенно, когда подключатся сторонние производители. OggVorbis, как и MP3, изначально разрабатывался как сетевой потоковый формат. Это свойство является очень важным, особенно учитывая мультиплатформенную направленность формата OggVorbis. Интернет-радиостанция использующая низкоскоростные версии OggVorbis сможет вещать сразу на всех платформах, тогда как такая же радиостанция, использующая для передачи WMA (в виде ASF) будет ограничена только пользователями Windows.

7. Метод сжатия звука MusePack

Ogg Vorbis является не единственной некоммерческой разработкой такого рода. Энтузиасты продолжали и продолжают делать попытки создания альтернативных качественных аудиокодеков. Кодек MPEGplus (MPEG+) был позже переименован в MusePack (MPC) из-за проблем, которые появились у автора кодека в связи с тем, что название последнего содержало в себе аббревиатуру «MPEG». MusePack – это еще одна разновидность сжатия звука с потерями сродни MP3.

Кодеком предусмотрено кодирование только в режиме переменной скорости потока. Скорость компрессии и декомпрессии в/из MPC заметно выше скорости выполнения этих операций применительно к MP3. В среднем, качество кодирования MPC на высоких скоростях (160 Кбит/с и выше) заметно (если не сказать «значительно») выше качества, обеспечиваемого MP3. Это связано с различиями в механизмах кодирования. Ранее мы отмечали, что MP3 при кодировании разбивает сигнал на частотные подполосы, затем производит разложение сигнала в ряд косинусов (MDCT – частный случай преобразования Фурье) и записывает

округленные (квантованные) значения полученных после преобразования коэффициентов. МРС же после разбиения сигнала на частотные подполосы просто производит переквантование (опираясь на психоакустическую модель) сигнала в каждой подполосе и полученные округленные (квантованные) значения записывает в выходной поток.

Этим же фактом объясняется и большая скорость компрессии и декомпрессии МРС. В отличие от Ogg Vorbis, кодек MusePak переживает сегодня не самые лучшие времена, в то время как Ogg Vorbis получает все более и более широкое распространение, MusePak остается малоизвестным, хотя и незаслуженно.

8. Формат Windows Media Audio (WMA)

Несмотря на то, что WMA как стандарт появился сравнительно недавно, чуть ли не последним из всех конкурентов МРЗ, история этого формата, вернее его кодека, началась гораздо раньше. Во-первых, в этом кодеке было впервые достигнуто качество МРЗ 128 при скорости всего 64 кбит/с! Во-вторых, на этот формат обратили внимание сразу несколько крупных телефонных компаний, так как сжатая этим кодеком голосовая информация обладала, даже при скорости всего 64 кбит/с очень высокой разборчивостью. Экспертами было установлено, что при скорости 64 кбит/с слоговая разборчивость голоса достигала 90%, в то время, как у других форматов аудиосжатия подобный показатель наблюдается при скорости в 2–2,5 раза больше, т.е. при скорости 128 и 160 кбит/с соответственно. Новый формат Voxware, как оказалось идеально адаптирован именно для сжатия оцифрованного человеческого голоса. На некоторых высокоскоростных цифровых телефонных сетях США и Канады была апробирована система сжатия голосовой информации, имеющая в своей основе аппаратную реализацию разработок Voxware. Данная система позволяла вести по одной линии четыре отдельных разговора одновременно без каких-либо искажений. И, наконец, поддержка этого кодека была включена компанией Microsoft в бесплатный Media Player. Чтобы убедиться в этом, достаточно посмотреть список поддерживаемых форматов – там есть строчка «Voxware Audio CODEC». Если учесть тот факт, что Microsoft до сих пор так и не удосужилась поддержать VQF и все разновидности AAC, то такая поддержка дорогого стоит. WMA со скоростью 64 кбит/с лучше МРЗ 128 кбит/с или по крайней мере обладает тем же качеством. Кодек позволяет легко перекодировать из МРЗ в WMA с любой скоростью. В общем WMA вскоре придет на смену МРЗ, тем более что уже появились первые аппаратные плееры с поддержкой этого формата. Правда подобный переход светит только пользователям операционной системы Windows, поклонникам других платформ, например Linux, пока придется искать альтернативы WMA.

Контрольные вопросы:

1. Чему равна скорость цифрового потока V при передаче одного сигнала, если $f = 48$ кГц и $\Delta A = 16$ бит/отсчет? И какой суммарной пропускной способности канала связи требуется при передаче звукового сигнала форматов 5.1 (Dolby Digital)?
2. Сколько бит/с способен человек сознательно обрабатывать своими органами чувств?
3. Какие стандарты MPEG к настоящему времени получили достаточное распространение в радиовещании?
4. Какой стандарт был разработан в качестве альтернативных стандартам MPEG в США? И какие две платформы цифровых технологий сформировались для радиовещания и телевидения? В чем отличие этих платформ?
5. Какой метод кодирования звука оказывается наилучшим методом, учитывающим эффект маскирования?
6. Раскройте сущность полосного кодирования.
7. Какие три алгоритма различных уровней сложности включает в себя стандарт MPEG-1 (ISO/IEC 11172-3)? По каким параметрам различаются уровни?
8. Какой формат положен в основу алгоритма Уровня I MPEG? При какой скорости достигается «прозрачность» канала уровня II MPEG-1? Какой формат положен в основу алгоритма Уровня II?
9. В какие европейские стандарты вошел уровень II MPEG-1?
10. Где нашел применение уровень III MPEG-1?
11. Какие усовершенствования были предприняты для улучшения кодирования при разработке звукового кодера MPEG-1 третьего уровня?
12. Какие пять разновидностей формата AAC на данный момент существуют? Совместимы ли они между собой?
13. Какой перечень приложений предлагает MPEG-4 – аудио?
14. Презентацию каких звуковых объектов поддерживает MPEG-4?
15. Какие технологии имеет формат аудио MPEG-7 FCD?
16. К какому типу форматов аудиосжатия принадлежит OggVorbis?
17. Каково качество кодирования MPC на высоких скоростях по сравнению с MP3?
18. Почему на формат WMA обратили внимание сразу несколько крупных телефонных компаний?
19. На какой платформе используется формат сжатия звука QDesign AIF?
20. Что можно отнести к числу недостатков формата PAC?

Лекция 6

Звуковые эффекты и их преобразование

План:

1. Способы преобразования звука
2. Звуковые эффекты

Ключевые слова: Звук, волна, колебание, электричество, амплитуда, частота, уровень, синусоида, искажение, фильтр, коррекция, шум, подавление, эхо, хор, акустика, преобразование, виртуальный, синтезатор, эмуляция, эмулятор, сигнал, вход, выход.

1. Способы преобразования звука

Какие же существуют способы преобразования звука и зачем они нужны? К преобразованию звука прибегают в основном с целью изменения каких-то характеристик звука. Кроме того, на основе описанных ниже преобразований базируются механизмы создания различных звуковых эффектов (их мы рассмотрим ниже), а также способы очистки звука от нежелательных шумов, изменения тембра и т.п. Все эти преобразования сводятся, в конечном счете, к нижеследующим.

Амплитудные преобразования. Выполняются над амплитудой сигнала. Такую процедуру можно проделать двумя способами: либо умножая амплитуду сигнала на некоторое фиксированное число, в результате чего получится одинаковое изменение интенсивности сигнала на всей его протяженности, то есть усиление или ослабление, либо изменяя амплитуду сигнала по какому-то закону, то есть умножая амплитуду сигнала на модулирующую функцию. Последний процесс называется амплитудной модуляцией.

Спектральные (частотные) преобразования. Такие преобразования выполняются над частотными составляющими звука. Фактически сигнал представляется рядом Фурье, то есть раскладывается на простейшие синусоидальные колебания различных частот и амплитуд. Затем производится обработка необходимых частотных составляющих (например, фильтрация) и обратная свертка. В отличие от амплитудных преобразований,

эта процедура значительно более сложная в исполнении, так как сам процесс разложения звука на простейшие синусоидальные колебания очень трудоемок. Фазовые преобразования. Выполняются либо путем постоянного сдвига фазы сигнала, либо путем наложения некоторой фазомодулирующей функции. Такие преобразования, например, стерео сигнала, позволяют реализовать эффект вращения или "объёмности" звука. Временные преобразования. Реализуются путем наложения на сигнал одной или нескольких его копий, сдвинутых во времени. Позволяют создать эффекты эха или хора. Кроме того, временные преобразования могут влиять на пространственные характеристики звука. Формантные преобразования. Выполняются над формантами - усиленными участками спектра звука. Применительно к звуку, сформированному речевым аппаратом человека, изменяя параметры формант, фактически можно изменять восприятие тембра и высоты голоса. Отдельно необходимо обсудить фильтрацию звука, так как она тоже является одним из способов преобразования звука. Зачем может понадобиться фильтрация? К фильтрации прибегают в случаях, когда необходимо ограничить или изменить спектр звукового сигнала в каком-то определенном частотном диапазоне. Путем фильтрации звука, можно избавиться, например, от нежелательных шумов или помех, подавить определенные частотные полосы. Существует и еще один немаловажный аспект применения фильтрации. Часто устройства, с помощью которых производится запись и преобразования звуковых сигналов, имеют нелинейную зависимость амплитуды от частоты сигнала. Это означает, что при записи одни частотные составляющие звука могут быть завышены, а другие занижены. Фильтрация позволяет нормализовать частотные составляющие в необходимом диапазоне. Таким образом, фильтрацию сигналов можно в целом классифицировать следующим образом:

фильтрация, в результате которой происходит усиление или ослабление отдельных частотных составляющих спектра;

полное подавление частотных составляющих в определенной полосе частот. Фильтры характеризуются с помощью амплитудно-частотной характеристики (АЧХ). Эта характеристика представляет собой график зависимости коэффициента передачи $K(f)$ (амплитуды) от частоты f . То есть на таком графике можно увидеть, в какой полосе частот сигнал будет передаваться без изменений, и в какой полосе частот сигнал будет ослаблен или не пропущен совсем.

Существует четыре основных типа фильтров:

- фильтры нижних частот ФНЧ. Типичная АЧХ таких фильтров выглядит след. образом:
- фильтры верхних частот ФВЧ. Типичная АЧХ таких фильтров выглядит след. образом:
- полосно-пропускающие фильтры. Типичная АЧХ таких фильтров выглядит след. образом:
- полосно-запирающие фильтры. Типичная АЧХ таких фильтров выглядит след. образом:

Фильтрация реализуется с помощью различных устройств и алгоритмов. Одним из наиболее известных фильтрующих устройств является эквалайзер. Эквалайзер позволяет регулировать (усиливать или ослаблять) уровень частотных составляющих в определенной полосе частот, тем самым фактически регулируя тембр звука. Применительно к компьютерной технике, аппаратная реализация фильтрующих устройств в достаточной степени затруднена, так как процесс фильтрации предполагает разложение сигнала в ряд Фурье, что является математически трудоемкой операцией. Однако реализацию фильтров той или иной сложности можно найти в цифровых сигнальных процессорах (DSP - Digital Signal Processor), используемых в профессиональной и полупрофессиональной музыкальной аппаратуре (хотя в последнее время это утверждение стало частично относиться также и к бытовым звуковым устройствам). Фильтрация находит реализацию и в различном программном обеспечении, предназначенном для обработки звука. В таком случае процессы фильтрации чаще всего происходят не в реальном времени.

2. Звуковые эффекты

Давайте подробно остановимся на рассмотрении тех манипуляций со звуком, которые позволяют добиваться появления таких эффектов, как, например, эхо, реверберация и т.п. Выше мы говорили о различных способах преобразования звука (амплитудные, частотные и проч.). На основе этих преобразований реализуются звуковые эффекты. Принципиально, целью обработки звука является придание существующему звуку каких-то новых качеств или устранение нежелательных. Звуковые эффекты относятся к тем преобразованиям звука, которые придают звучанию новые формы или полностью изменяют звуковую информацию. Аппаратную реализацию звуковых эффектов находят в цифровых сигнальных процессорах (DSP). Любой более или менее приличный MIDI-синтезатор имеет встроенный

эффект-процессор той или иной сложности (эффект-процессор представляет собой один или несколько DSP). Сложные эффект-процессоры "умеют" накладывать на звуковой сигнал сразу несколько различных эффектов, причем, отдельно для каждого канала, позволяя регулировать параметры эффектов в режиме реального времени. Однако стоимость таких эффект-процессоров чрезвычайно высока (как и стоимость любого другого высокопроизводительного микропроцессора), поэтому профессиональные DSP устанавливаются только на качественной музыкальной аппаратуре. На более или менее дешевых звуковых платах часто устанавливается DSP с упрощенным набором возможностей: наложение одного или нескольких эффектов на все каналы одновременно. Аппаратный эффект-процессор - это, безусловно, хорошо, но обработать звук на высоком уровне можно и программным способом. Существует множество различных звуковых редакторов, позволяющих делать со звуком значительно более сложные вещи, чем это позволяют делать даже самые сложные эффект-процессоры. Кроме того, эффект-процессоры часто эмулируются в виртуальных WT-синтезаторах, а также находят программную реализацию в специальных программах для обработки звука в режиме реального времени. Итак, вернемся к описанию эффектов. Те или иные эффекты получают в основном четырьмя способами: с использованием задержки, изменением амплитуд, фильтрацией и изменением частотных составляющих.

Использование задержки

Delay. Собственно, эффект задержки (от англ. "delay" - задержка) применяется чаще в случаях, когда моно сигнал требуется преобразовать в нечто вроде псевдостерео. Если моно сигнал подать в оба канала стереофонической акустической системы, то путем некоторой задержки сигнала в одном из каналов можно добиться получения стерео эффекта. Если же в оба канала сигнал приходит одновременно, то слушателю будет казаться, что источник звука расположен посередине. Меняя задержку сигнала в одном из каналов в пределах 8 мс можно получить эффект перемещения источника звука по стерео панораме.

Echo. На использовании метода задержки построено создание эффекта "эхо" (echo). Фактически для получения эха необходимо на оригинальный входной сигнал наложить его задержанную во времени копию. Для того, чтобы человеческое ухо воспринимало вторую копию сигнала как повторение, а не как отзвук основного сигнала, необходимо время задержки установить равным примерно 50 мс. Кроме того, на основной сигнал можно

наложить не одну его копию, а несколько, что позволит на выходе получить эффект многократного повторения звука (многоголосного эха). Чтобы эхо казалось затухающим, необходимо на исходный сигнал накладывать не просто задержанные копии сигнала, а и приглушенные по амплитуде. Схематично механизм создания эха можно представить, как показано на рисунке:

Reverberation. С использованием задержки можно добиться появления еще одного интересного эффекта - реверберации (от англ. "reverberation" - повторение, отражение). Эффект реверберации заключается в придании звучанию объемности, характерной для большого зала, где каждый звук порождает соответствующий, медленно угасающий отзвук. Таким образом, с помощью реверберации можно "оживить", например, фонограмму, сделанную в заглушенном помещении. От эффекта "эхо" реверберация отличается тем, что на входной сигнал накладывается задержанная во времени не его копия, а выходной сигнал. Такой процесс происходит следующим образом. В первый момент времени входной сигнал проходит на выход без изменений. Затем, по истечении времени задержки, он снимается с выхода, его амплитуда умножается на какой-то коэффициент A (обычно имеющий значение меньше 1, что фактически приглушает сигнал) и суммируется со входным сигналом. И снова, по прошествии очередного промежутка времени задержки, уже смешанный сигнал снимается с выхода, снова перемножается на коэффициент A и в очередной раз суммируется с входным сигналом. Схематично механизм реверберации показан на рисунке:

Возьмем, например, значение коэффициента A , равным 0.5. Тогда сигнал, снятый с выхода по истечении времени задержки, будет изменен по амплитуде на значение, равное произведению амплитуды выходного сигнала на коэффициент A (то есть в половину приглушен), и просуммирован со входным сигналом. Далее, просуммированный сигнал будет снова снят с выхода, умножен на коэффициент A и снова подан на вход, где будет просуммирован со входным сигналом. И так далее. Таким образом, чем выходной сигнал "старше", тем большее количество раз он был пропущен через "петлю" и тем более низкую амплитуду он будет иметь. Другими словами, в случае, если $A < 1$, то параллельно основному сигналу мы будем слышать многократное затухающее по амплитуде его повторение. Следует опасаться случаев, когда A принимает значения больше 1. В таком случае каждый новый "виток" такого алгоритма преобразования сигнала будет приводить к увеличению амплитуды. В результате в какой-то момент времени произойдет перегрузка сигнала, что в свою очередь может привести

к выходу из строя аппаратуры (усилителя или колонок). Точно такой же эффект можно наблюдать, если установить рядом микрофон и колонки, подключенные к одному и тому же усилителю.

Реверберация широко применяется в случаях, когда необходимо "украсить", обогатить звучание сольного инструмента или голоса, а также струнной, духовой групп или других голосов оркестра за исключением только ритм-секции. Следует оговорить также проблему создания реалистичной реверберации. Дело в том, что вышеописанный механизм создания реверберации не учитывает многих обстоятельств. Если, скажем, мы хотим создать впечатление прослушивания музыки в зале, то следует учитывать, что звук, распространяющийся в зале, отражается не только от стен, но также и от кресел, пола и прочих поверхностей, которые порождают потоки дополнительных звуковых волн. Кроме того, каждая поверхность обладает свойством поглощения, в результате чего отраженный от этой поверхности сигнал может иметь несколько отличный от пришедшего сигнала спектр. По этой причине, для создания реалистичной реверберации пользуются значительно более сложными методами, которые фактически включают в себя объединения из нескольких механизмов, аналогичных тому, который мы рассмотрели выше.

Chorus. Эффект chorus (от англ. "chorus" - хор) назван так потому, что в результате его применения звучание сигнала превращается как бы в звучание хора или в одновременное прослушивание нескольких инструментов. Схема получения такого эффекта аналогична схеме создания эффекта эха с той лишь разницей, что задержанные копии входного сигнала подвергаются слабой частотной модуляции (в среднем от 0.1 до 5 Гц) перед смешиванием со входным сигналом. Процесс понижения или повышения частоты уже оцифрованного сигнала является достаточно трудоемкой работой, так как этот процесс происходит путем разложения сигнала на частотные составляющие. Увеличение количества "голосов" в хоре достигается путем добавления копий сигнала с различными временами задержки.

Flanger (от англ. "flange" - фланец, кайма). Реализация этого эффекта напоминает реализацию эффекта эха или хора. То есть, основной сигнал смешивается с его копиями, но слегка задержанными (обычно до времени в 5-15 миллисекунд). Кроме того, эти копии могут быть частотно модулированными, при этом время задержки постоянно изменяется. В результате на выходе получается плавающий звук с биениями частот или хор с измененными тембрами копий основного сигнала. При определенном

соотношении задержек, частоты и глубины модуляции возможно получение эффекта, напоминающего восприятие гудка проезжающего мимо слушателя паровоза. В аналоговых устройствах флэнжер достигается путем пропускания сигнала через гребенчатые фильтры. А обнаружен этот эффект был чисто случайно, когда два магнитофона одновременно воспроизводили одну и ту же запись в одном из них случайно задели ведомый ролик пленки (фланец), то есть фактически задержали скорость воспроизведения. От смешивания двух фонограмм возник эффект плавания звука. Этот эффект удивил звукоинженеров своей новизной и в последствии флэнжер стал широко использоваться при написании музыкальных композиций.

Phaser (от англ. "phase" - фаза). Также основан на смешивании входного сигнала с его копиями, сдвинутыми в пределах фазы сигнала. Вообще говоря, сдвиг по фазе аналогичен сдвигу во времени на доли миллисекунд. Может применяться сдвиг по фазе не на фиксированные значения, а изменяющийся по какому-то фазомодулирующему закону. В результате такой эффект может восприниматься на слух как "качание" частот, то есть приглушение то одних, то других. В случае обработки стерео сигнала частоты могут "переплывать" из одного канала в другой. В аналоговой технике для получения фэйзера прибегают к использованию фазовращателей.

Преобразование амплитуд

Distortion. Эффект дисторшн (от англ. "distortion" - искажение) основывается на использовании амплитудной модуляции. Фактически это замена одних значений амплитуд сигнала другими значениями. За счет переусиления, когда происходит срезание вершущек входного сигнала, можно получить, например, классический вариант гитары heavy metal (то есть сигналу придается скрежетание или своеобразная "хрипота"). Применение такого эффекта приводит к довольно резкому искажению входного сигнала (в зависимости от глубины модуляции), в результате чего сигнал становится похож на прямоугольный, и как следствие происходит расширение спектра сигнала. Классический механизм получения эффекта следующий:

Входной сигнал смешивается с его копией, подвергнутой преобразованию в блоке distortion. Блок имеет два уровня сигнала: пороговый и верхний. Если амплитуда входящего в блок сигнала не превышает порогового уровня, то сигнал проходит на выход блока без изменений. Если же амплитуда сигнала выше порогового уровня, то блок

усиливает такой сигнал до верхнего уровня. Пример применения эффекта *distortion* к синусоидальному сигналу приведен на рисунке:

Envelope (от англ. "envelope" - огибающая). Представляет собой изменение огибающей амплитуды сигнала. С помощью такого преобразования можно, например, сигнал, записанный с равномерной громкостью (интенсивностью) на всей его протяженности, сделать медленно нарастающим вначале и медленно спадающим в конце.

Tremolo. Реализуется путем амплитудной модуляции сигнала. Частота амплитудно-модулирующей функции не должна превышать 10-12 Гц. Фактически тремоло представляет собой частный случай амплитудного вибрато (см. ниже) с коэффициентом глубины модуляции, равным единице. На слух тремоло воспринимается как дрожание звука.

Частотные преобразования

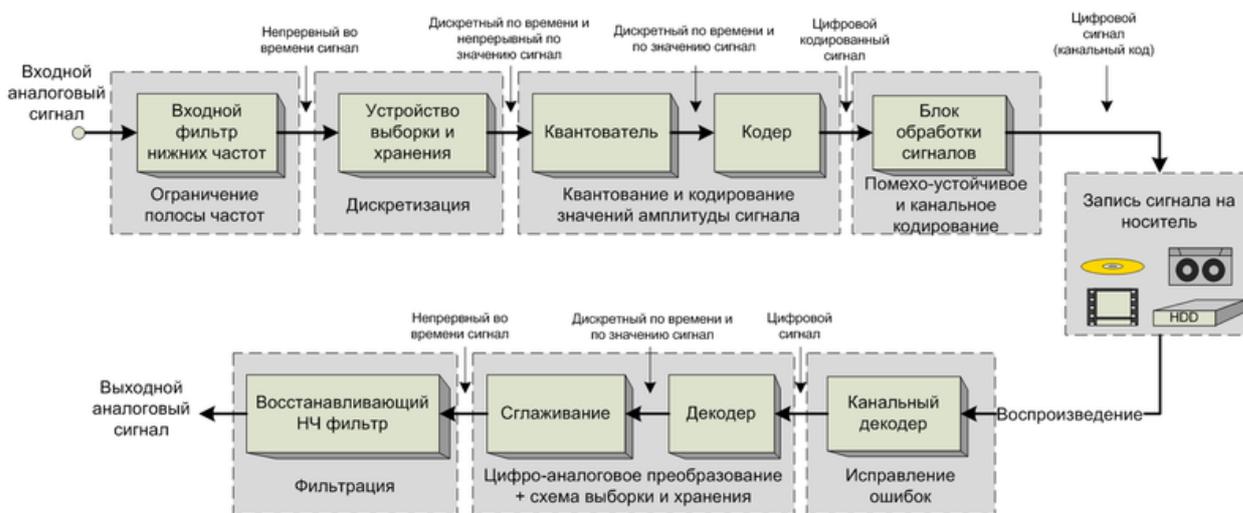
Частотные преобразования могут проводиться над спектром сигнала или над частотой воспроизведения сигнала. Как мы говорили, на основе частотных преобразований спектра реализуются различные фильтры и эквалайзеры. Принцип действия их состоит в следующем. Входной сигнал раскладывается на частотные составляющие. Затем, в зависимости от производимых действий, какие-то составляющие могут быть полностью приглушены, а какие-то просто изменены по амплитуде. В результате на выходе получается сигнал с отфильтрованными частотами. Частотные преобразования применяются как для "технических нужд" (например, при очистке сигнала от ненужных постоянных шумов), так и для придания звучанию новой окраски. Как уже говорилось выше, разложение сигнала на частотные составляющие и их дальнейшая обратная свертка в сигнал - достаточно трудоемкая операция, поэтому частотные преобразования трудновыполнимы в режиме реального времени. Однако, мощность современных процессоров иногда позволяет производить такие действия.

Vibrato (от англ. "vibrate" - вибрация). Частотное вибрато достигается путем частотной модуляции сигнала с небольшой частотой и малой глубиной модуляции. Воспринимается как завывание звука.

Vocoder (сокращение от англ. "vocal coder" - кодировщик вокала). Способ модуляции сигнала с широким спектром в соответствии с формантными областями голоса. В результате таких преобразований исходный сигнал (например, звук скрипки или гитары) звучит подобно

голосу. Создается ощущение поющего или говорящего инструмента. Эффект часто находит применение, например, при создании "компьютерного голоса".

Karaoke. Прежде чем приступить к рассмотрению karaoke, необходимо дать небольшое пояснение, почему karaoke был отнесен к частотным преобразованиям. Действительно, karaoke не в полной мере относится к звуковым эффектам в привычном понимании - он не придает звуку никаких особенностей и никак не облагораживает его. Это даже не совсем эффект, - это больше специфический механизм. Однако этот механизм действительно относится к группе эффектов, основанных на частотных и амплитудных преобразованиях. Итак, karaoke - это механизм удаления из песни вокала исполнителя, для получения т.н. "минусовки" - "-1". Эта "минусовка" в дальнейшем может использоваться как фонограмма при собственном пении. Рассмотрим принцип работы этого механизма. Обычно голос исполнителя находится посередине стерео панорамы. В таком случае удалить голос исполнителя можно путем вычитания одного канала из другого. Следует учитывать, что если голос исполнителя находится не посередине стерео панорамы, то перед вычитанием необходимо сначала уравнивать амплитуды сигналов левого и правого каналов. Возможен также вариант, когда в обрабатываемой песне присутствуют голоса нескольких исполнителей. В этом случае удаление голосов производится путем фильтрации соответствующих частот. Однако в любом случае, каким бы способом не производилось удаление голоса (голосов), качество полученной фонограммы всегда будет ощутимо хуже качества звучания оригинала.



Полный цикл преобразования звука: от оцифровки до воспроизведения

Контрольные вопросы:

1. Понятие звука
2. Что такое звуковые эффекты?
3. Какие разновидности звуковых эффектов вы знаете? Объясните их.
4. Использование задержки
5. Способы преобразования звука
6. Какие программные пакеты предназначены для работы со звуковыми эффектами вы знаете?

Лекция 7

Способы синтеза музыкальных сигналов

План:

1. Принцип работы синтезатора
2. Виды синтеза

Ключевые слова: Синтезатор, звуковые волны, генератор упругости, квадратичные колебания, пилообразные колебания, треугольные колебания, аддитивный синтез, субтрактивный синтез, векторный синтез, частотная модуляция, аналоговое моделирование.

1. Принципы работы синтезаторов

Наибольшее распространение сейчас получили инструменты, работающие по принципу воспроизведения семплов. В их памяти находятся заранее записанные образцы звучания, которые воспроизводятся при нажатии клавиш с разной высотой и динамикой. Эти синтезаторы замечательно имитируют звук разных реальных музыкальных инструментов – от барабанов и басов до скрипок и фортепиано. Среди компьютерных виртуальных синтезаторов по этому принципу работают, например подключаемые модули Edirol Hyper Canvas, Edirol Super Quartet или IK Sampletank. Однако по части получения различных синтетических тембров они уступают синтезаторам классического типа, которые в середине 90-х годов получили второе рождение благодаря цифровым технологиям. Подавляющее большинство компьютерных подключаемых модулей представляют как раз второй тип. Так как инструменты, работающие по принципу воспроизведения семплов – это дальнейшее развитие синтезаторов классического типа, мы начнем с принципов работы последних. А потом перейдем к более сложным инструментам.

На Рис. 1. показана структурная схема классического синтезатора. Если вы вникните в принципы звукообразования и поймете, зачем требуется каждый элемент синтеза, то никакое количество регуляторов вас уже не смутит – все электронные инструменты построены по одной и той же схеме.

Так что при освоении той или иной новинки вам нужно будет лишь найти на панели управления знакомые блоки и знакомые регуляторы – и можно начинать работать. А по мере привыкания к новому синтезатору вы разберетесь и с тем, что же его отличает от остальных разработок.

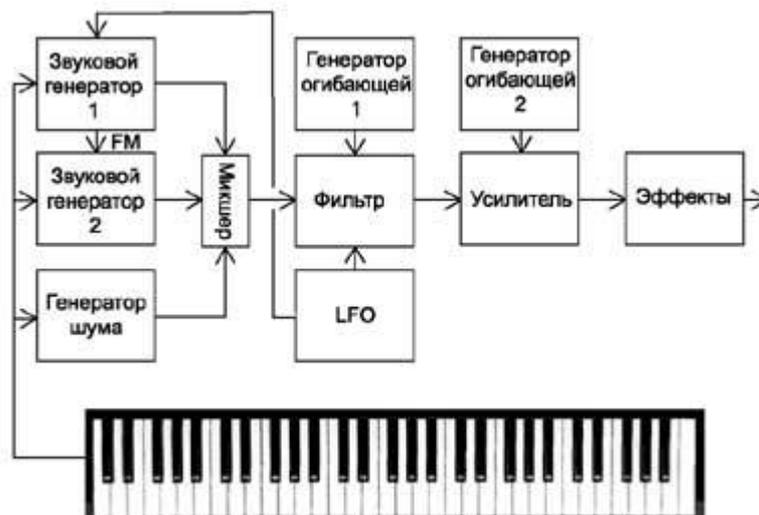


Рис. 1. Структурная схема синтезатора

В современных синтезаторах клавиатура и звуковой блок – две независимые части, связанные между собой через MIDI интерфейс. Клавиатура при нажатии клавиш производит сообщения о взятой ноте и ее динамике, которые распознаются любыми электронными инструментами. Многие из них выполнены в виде звуковых модулей, которые могут работать с любой подключенной клавиатурой.

Итак, при нажатии клавиш через MIDI интерфейс в блок синтеза начинают поступать сообщения о нотах и их динамике. Здесь они попадают в звуковые генераторы (Oscillator) – устройства, производящие периодические электрические сигналы, которые впоследствии преобразуются в звук в акустических системах (Рис. 1). Высота тона (частота) сигналов определяется MIDI-сообщениями от клавиатуры. Обычно в синтезаторах бывает от одного до трех звуковых генераторов (на Рис. 1 их два). Плюс генератор шума - Noise Generator (случайного сигнала, который воспринимается нами как «шипение»). Шум используется при создании некоторых синтетических звуков. Все они начинают работать одновременно при поступлении MIDI-сообщения от клавиатуры.

Звуковые генераторы классических синтезаторов способны производить несколько разных форм волны, которые отличаются своим звучанием. Базовых форм четыре: синусоидальная (sin), треугольная (triangle), пилообразная (saw) и прямоугольная (pulse) (Рис. 2). Все синтетические звуки представляют собой различные комбинации этих форм. Некоторые звуковые генераторы могут производить дополнительные волны, но они всегда являются производными от базовых. Сигналы ото всех генераторов смешиваются в микшере (mixer) – таким образом, производится изменение тембра звука (Рис. 1). Например, первый генератор выдает мягкую и нежно звучащую синусоиду. С помощью микшера мы можем добавить к ней немного пилообразного сигнала от второго генератора – звучание станет чуть жестче.



Рис. 2. Формы волны звуковых генераторов

В современных синтезаторах классического типа есть еще один способ кардинального изменения тембра звука на уровне звуковых генераторов. Он называется частотная модуляция (FM – frequency modulation). Модуляция – это управление, а частотная модуляция, соответственно, – управление частотой. В создании FM принимают участие два звуковых генератора. Один из них производит главный сигнал, а второй – управляющий, который меняет тембр (на Рис. 1 управляющий сигнал производит первый звуковой генератор). Изменения тембра при частотной модуляции возможно только при использовании синусоидальных волн.

Посмотрите на Рис 3. На нем показан график зависимости частоты звука от времени, иллюстрирующий действие частотной модуляции. Предположим, мы взяли ноту «Ля» на клавиатуре и включили на синтезаторе второй звуковой генератор, который выдает синусоидальную волну с частотой 440 Гц. На рисунке эта частота названа «опорной» и показана горизонтальной прерывистой линией, то есть частота со временем не изменяется – она все время соответствует ноте «Ля».



Рис. 3. Принцип действия частотной модуляции

Теперь мы включаем первый управляющий генератор, и задаем частоту его синусоидальных колебаний в 1 Гц. Управляющий генератор начинает периодически менять частоту второго генератора относительно 440 Гц. Результатом будет звук, похожий на сирену скорой помощи – измененный сигнал показан на Рис. 3. в виде синусоиды с периодом в 1 секунду. Если мы увеличим частоту управляющего генератора до 10 Гц, то на выходе синтезатора появится характерный «бьющийся» звук. А если его частота будет увеличена, например, до 200 Гц, то звук приобретет новый тембр. Меняя управляющую частоту, мы можем получать разные оттенки звучания базовой синусоиды – именно это свойство частотной модуляции используется в синтезаторах.

Еще один метод изменения тембра звука в генераторах называется «модуляцией ширины импульса» (PWM). Его используют с прямоугольной формой волны (четвертая форма на Рис. 2). При этом виде модуляции периодически меняется ширина «прямоугольника – это тоже приводит к изменениям тембра. В некоторых синтезаторах присутствует так называемая «кольцевая модуляция». При ней один сигнал служит образцом для периодических изменений формы другого.

Снова посмотрите на Рис. 1. Суммарный сигнал от микшера попадает в фильтр (filter) – устройство, которое подобно эквалайзерам может воздействовать на разные частотные полосы. Но в отличие от эквалайзеров бытовых музыкальных центров, синтезаторные фильтры полностью

вырезают те или иные частоты, а не уменьшают их уровень (такие фильтры называются «пропускающими»). Зато частоту среза можно выставить произвольно с помощью специального регулятора (обычно он называется Cutoff). Также в синтезаторных фильтрах есть параметр, который называется «резонанс» – это небольшой подъем уровня полосы непосредственно перед частотой среза (Рис. 4). Такой «пик» дает очень характерный окрас звука, и у любого синтезаторного фильтра есть специальный регулятор (Resonance), который позволяет менять уровень резонанса (высоту «пика»).



Рис. 4. Схема действия фильтра

В современных синтезаторах фильтры имеют несколько вариантов воздействия на звук – поэтому они называются «мультирежимными». Фильтр, который показан на Рис. 4 называется «пропускающим низких частот» (low pass), то есть он пропускает низкие частоты, а остальные вырезает. Другие варианты фильтров показаны на Рис. 5. Также у фильтров есть еще один параметр, который называется «крутизна среза» – он определяет крутизну «горки» обрезания частоты. Обычно в синтезаторах используются фильтры с крутизной 12 и 24 дБ/октава. Чем больше крутизна, тем более ярким является вмешательство в звук.

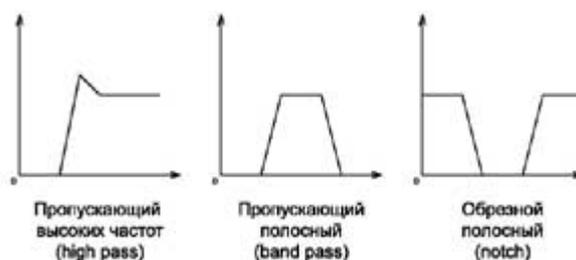


Рис. 5. Типы фильтров

Любой синтезаторный фильтр может модулироваться (управляться) двумя специальными устройствами – генератором низкой частоты (LFO) и генератором огибающей (Envelope) (Рис. 1). Первое из них представляет собой генератор, идентичный звуковому. Его единственное отличие – диапазон частот производимых электрических колебаний. LFO обычно работает в диапазоне от 0,01 до 1000 Гц. Если мы с помощью генератора низкой частоты начинаем, например, периодически менять частоту среза фильтра, то это приводит к характерным ритмичным изменениям тембра звука. Очень часто генератор низкой частоты синхронизируется с темпом композиции, тембральные изменения попадают в ритм – звучит все это дело очень эффектно. Также LFO используется для модуляции звуковых генераторов и получения эффекта «вibrato».

Генератор огибающей (Envelope) – это устройство, которое позволяет управлять тем или иным параметром в зависимости от времени. То есть, с его помощью мы можем сделать так, что первые пол секунды звучания ноты параметр имеет одно значение, следующие пол секунды – другое и т.д. Обычно генераторы огибающей имеют интерфейс в виде графика с четырьмя ступенями, которые называются атака (attack), затухание (decay), продолженное звучание (sustain) и отпускание (release) (Рис. 6). Изменения параметра производятся в точном соответствии с графиком. Последняя ступень огибающей (отпускание) действует уже после того, как отпущена клавиша на MIDI-клавиатуре. С помощью этого генератора мы можем нарисовать схему изменения параметра, которая будет работать для каждой взятой ноты. и вообще не притрагиваться к регуляторам синтезатора – все будет происходить автоматически. У фильтра обычно с помощью генератора огибающей модулируется частота среза (Cutoff).



Рис. 6. Принцип действия генератора огибающей

После фильтра обработанный сигнал попадает в усилитель (amplifier), который модулируется отдельным генератором огибающей (Рис 1.). В усилителе обычно устанавливается уровень сигнала, его положение в панораме (если синтезатор имеет стерео выход), а также задается схема изменения уровня в зависимости от времени с помощью огибающей. Мы можем сделать, например, так, что нота будет плавно затухать после того, как мы отпустили клавиши, или придумать любые другие варианты изменения уровня. И последний элемент в цепочке синтеза – блок эффектов, с помощью которого звуку придается дополнительный блеск.

В чем преимущество синтезатора классического типа? Такие синтезаторы позволяют с помощью регуляторов менять тембр звука прямо во время исполнения и записывать все изменения в секвенсор (MIDI-дорожки «виртуальной студии»). То есть можно не только записывать сложные перемещения фильтра, но и вообще сделать плавное перетекание одних звуков в другие. Причем после записи все перемещения регуляторов можно отредактировать – в общем, простор для творчества здесь практически не ограничен.

Синтезаторы, работающие по принципу воспроизведения семплов, имеют точно такую же структурную схему. Только звуковые генераторы у них воспроизводят заранее записанные образцы звучания. В таких синтезаторах отсутствуют возможности частотной и кольцевой модуляции, а также модуляции ширины импульса. Также у них, как правило, нет возможности столь гибкого управления звуком в реальном времени и создания звуков, плавно перетекающих из одного в другой. Но это и не нужно. Главная задача таких синтезаторов – максимально реалистично передать звучание акустических музыкальных инструментов. Для этого в них используется наложение слоев – прием, позволяющий передавать изменение тембра реального инструмента в зависимости от звукоизвлечения.

Если вы умеете играть на одном из акустических инструментов, то должны знать, что при акцентированной игре инструмент звучит не совсем так, как при мягком, нежном звукоизвлечении. Изменения динамики приводят к изменению тембра: например, у гитары при акценте появляется характерный «щелчок». Чтобы передать такие нюансы, в синтезаторах, работающих по принципу воспроизведения семплов, для каждой ноты

используется не один образец звучания, а несколько. А нужный образец вызывается из памяти в зависимости от MIDI-сообщения динамики (в спецификации MIDI он называется *velocity* – скорость нажатия клавиши). Посмотрите на Рис. 7. На нем показана структурная схема такого синтезатора.

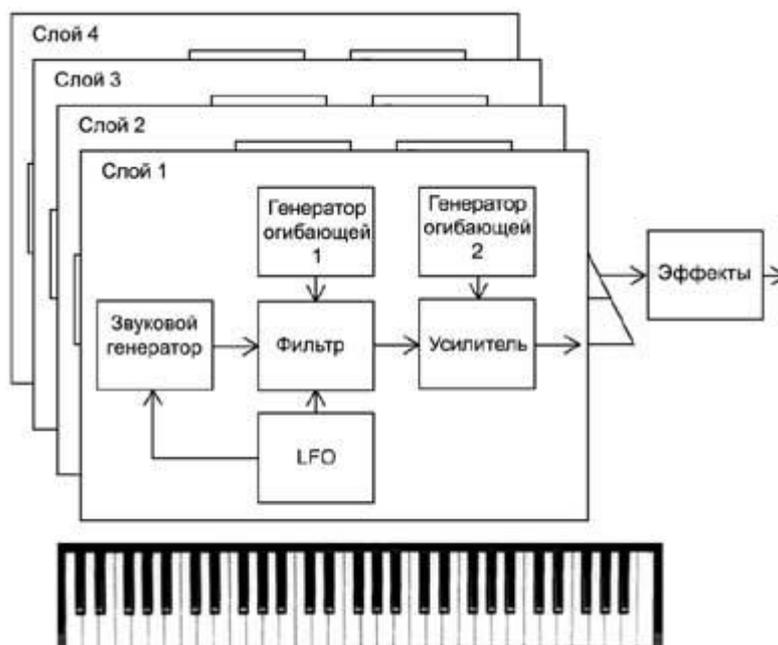


Рис. 7. Структурная схема синтезатора, работающего по принципу воспроизведения семплов

Фактически такой синтезатор представляет собой четыре упрощенных классических синтезатора, расположенных в одном корпусе – у каждого из них есть только один звуковой генератор, воспроизводящий семплы. (Слой 1 – Слой 4 на Рис. 7). Звуковые генераторы каждого из слоев воспроизводят образцы звучания одной ноты реального инструмента, но записанные с разным акцентированием. Четвертый слой воспроизводит самое мягкое звукоизвлечение, первый слой – самое динамичное. Каждый из слоев присваивается определенному диапазону значений динамики. То есть при легком нажатии на клавиши работает четвертый слой, при быстром и акцентированном – первый. Таким образом и достигается максимально реалистичная передача звучания акустических инструментов.

Есть еще один тип синтезаторов, который занимает промежуточное положение между классическими и работающими по принципу воспроизведения семплов. Это Wave Table синтезаторы фирмы Waldorf

(фирма выпускает и программный синтезатор PPG Wave формата VSTi). У них тоже есть постоянная память. Однако, в этой памяти хранятся не семплы, с образцами звучания реальных инструментов, а оцифрованные волновые формы, имеющие длительность всего в один период, и полученные с помощью оцифровки работы одного или нескольких аналоговых генераторов. Но при нажатии клавиши синтезатор обращается не к ним, а к некоей промежуточной структуре под названием «волновая таблица», в которой хранятся ссылки на волновые формы.

В этой самой таблице и вся суть Wave Table синтеза. Таблица имеет 64 ячейки, к каждой из которых может обратиться синтезатор. Но в ячейке не обязательно должна содержаться ссылка на волновую форму. Если ее нет, то синтезатор генерирует отсутствующую волновую форму из двух других, на которые содержатся ссылки в соседних ячейках – получается некий переходной вариант. Если и в соседних ячейках ничего не содержится, то синтезатор ищет ближайшие ссылки и заполняет пустующие ячейки необходимым количеством переходных волновых форм. Но это еще не все. Синтезатор может последовательно обращаться к разным ячейкам таблицы под воздействием модуляции (например, от специального колеса модуляции на MIDI-клавиатуре). И вы в результате получаете плавное изменение тембра одной ноты в тех пределах, которые требуется. Ни один другой тип синтезаторов не способен к таким сложным тембральным переживаниям – в классических инструментах максимум можно получить плавное изменение тембра в пределах двух-трех волновых форм. А в Wave Table инструменте вы можете использовать до 64 волновых форм!

В некоторых современных синтезаторах (в том числе и программных, например Native Instruments Absynth) используется принцип физического моделирования – либо как единственный, либо совмещенный с другими. Этот метод предусматривает использование математических моделей звукообразования реальных музыкальных инструментов для генерации в цифровом виде соответствующих волновых форм, которые затем просто конвертируются в звук.

Пояснить такой способ синтеза нам поможет следующий пример. В акустике есть точные математические описания явлений, происходящих в саксофоне – в качестве источника колебаний воздуха выступает трость, затем звук усиливается и тембрально окрашивается в резонаторе, в качестве которого выступает изогнутая металлическая труба. Когда на клавиатуре синтезатора, работающего по принципу физического моделирования,

нажимается какая-то клавиша, то он на основе известных математических моделей сначала рассчитывает сложные колебания воздуха, которые возникают под влиянием движений трости, и на основании этих расчетов создает цифровое подобие этих колебаний. Затем рассчитываются все изменения, происходящие со звуком в резонаторе и, согласно этим вычислениям, модифицируется произведенная ранее цифровая модель. Остается только преобразовать цифровую модель звука в электрические колебания, с чем успешно справляется цифро-аналоговый преобразователь. Преимуществом такого метода синтеза является возможность совмещения совершенно несовместимых в реальности источников колебаний и резонаторов. Например, можно взять саксофонную трость, а в качестве резонатора использовать корпус акустической гитары, да еще и произвольно задать размеры этого резонатора. Плюс к этому все параметры можно менять в реальном времени с помощью регуляторов. Затем все это дело обработать синтезаторными фильтрами, задать модуляцию с помощью огибающих и в довершение добавить каких-нибудь эффектов...

2. Типы синтеза

В зависимости от способа генерации звуковых волн и их преобразования синтез звука можно классифицировать следующим образом:



Синтезатор с аналоговым моделированием Access Virus Ti Polar



Суммирующий (аддитивный) синтез, в котором используется принцип суперпозиции (наложения) нескольких волн простой (обычно синусоидальной) формы с различными частотами и амплитудами. По аналогии с электроорганами эти волны называются регистрами и обозначаются, как 16' (тон на октаву ниже взятого), 8' (исходный тон), 4' (тон на октаву выше взятого) и т. д. (цифра представляет собой длину трубы соответствующего регистра органа в футах). В чистом виде встречается у электроорганов (Hammond, Farfisa) и их цифровых эмуляторов (Korg CX-3, Roland VK-8 и т. д.). Звучание инструмента тем богаче, чем большее количество регистров использовано в конструкции.

Вычитающий (субтрактивный) синтез, в котором исходная волна произвольной формы изменяет тембральную окраску при прохождении через разнообразные фильтры, генераторы огибающих, процессоры эффектов и т. д. Как подмножество данный тип синтеза широко применяется практически во всех современных моделях синтезаторов.

Операторный (англ. Frequency Modulation, FM) синтез, в котором происходит взаимодействие (частотная модуляция и суммирование) нескольких волн простой формы. Каждая волна вместе со своими характеристиками называется оператором, определённая конфигурация операторов составляет алгоритм. Чем большее количество операторов использовано в конструкции синтезатора, тем богаче становится звучание инструмента. Например, популярный по сей день синтезатор Yamaha DX7 (1983 год выпуска) обладает 6 операторами, для коммутирования которых служат 32 различных алгоритма.

Физический синтез, в котором за счёт использования мощных процессоров производится моделирование реальных физических процессов, протекающих в музыкальных инструментах того или иного типа. Например, для духовых свистковых инструментов типа флейты параметрами будут длина, профиль и диаметр трубы, скорость воздушного потока, материал корпуса; для струнных инструментов — размер корпуса, материал, длина и натяжение струн и т. д. Физический синтез используют такие инструменты, как Yamaha VL-1, Korg OASYS, Alesis Fusion и т. д.

Волновой (Wavetable, PCM) синтез, в котором звук создаётся за счёт воспроизведения записанных ранее в память инструмента фрагментов звучания реальных музыкальных инструментов (семплов и мультисемплов). Самый известный синтезатор в этой группе — Waldorf Wave, также прославившийся, как самый дорогой в мире серийный синтезатор.

Гибридный синтез, в котором применяется та или иная комбинация различных способов синтеза звука, например «суммирующий + вычитающий», «волновой + вычитающий», «операторный + вычитающий» и т. д. Большинство современных инструментов создаётся именно на основе гибридного синтеза, так как он обладает очень мощными средствами для варьирования тембра в самых широких пределах.

«Ресинтез» (Re-synthesis), где записанные в память синтезатора реальные волновые формы анализируются при помощи искусственной нейронной сети и преобразуются в цифровые модели с выделением определенного пакета управляемых «характеристик». Каждый модуль подобного синтезатора называется «ресинатором» (resynator). Для управления звуком в реальном времени используется как прямое управление выделенными параметрами одного ресинатора, так и «связывание» между собой пары параметров разных ресинаторов (например, «дыхание» флейтоподобного тембра и вибрато тембра в духе скрипки). Таким образом создаются очень сложные и одновременно легко управляемые тембровые конфигурации. Единственный на сегодняшний день синтезатор подобного типа — Hartmann Neuron.

Контрольные вопросы:

1. Функция синтезатора?
2. Звуковые колебания?

3. Функция генератора?
4. Что такое квадратные волны?
5. Пилообразные волны?
6. Треугольные волны?
7. Аддитивный синтез?
8. Субтрактивный синтез – как оно образуется?
9. Каким способом считается векторный синтез?
10. Частотная модуляция - это?
11. Аналог моделирование?

Список литературы:

1. Крапивенко А.В., «Методы и средства обработки аудио- и видеоданных». Учебное пособие. Москва М.: «Вузовская книга», 2010. 210 с.
2. Загуменнов А.П. Компьютерная обработка звука. -М.: ДМК, 2000. -384 с.
3. Секунов Н.Ю. Обработка звука на РС.- СПб.:БХВ. Петербург, 2006 г.
4. Леонтьев В.П. Обработка музыки и звука на компьютере. М.: ОЛМА-ПРЕСС, 2005-192с
5. Владимир Деревских. Синтез и обработка звука на РС. Санкт – Петербург, «БХВ – Питербург» 2002 г.
6. А. А. Лоянич. Запись и обработка звука на компьютере. Просто как дважды два / — М. : Эксмо, 2008. — 320 с.

Лекция 8

Компоненты студии звукозаписи

План:

1. Базисы в студийном деле
2. Классическая схема студии звукозаписи (технология)

Ключевые слова: Студия, звук, запись, техника, микрофон, акустика, композитор, оранжировка, интерфейс, компьютер, технология

1. Базисы в студийном деле

Основа практически любой современной студии звукозаписи, ее ядро - это компьютер, аудио-миди редактор, установленный в нем и звуковая карта. Звуковая карта обеспечивает запись и воспроизведение музыкального материала, программа-редактор осуществляет управление процессом записи (запись, воспроизведение, стоп, перемотка и т.п.) и обеспечивает возможность визуальной редакции материала (видео-примеры и статья об аудио-миди редакторах).

На текущий момент развития звукозаписывающей индустрии за достаточно небольшие деньги можно приобрести хороший мощный компьютер и неплохой, качественно оцифровывающий аудиоинтерфейс. Здесь то и встает вопрос - а какое еще оборудование необходимо? Понятно, что для того что бы музыкальный материал попал в компьютер, его надо записать через некое устройство. Голос пишется через микрофон, гитара - здесь все сложнее. Акустическая гитара - обычно через микрофон, реже через пьезодатчик. Электрогитара и электроакустическая гитара через звукосниматель. Но это в теории. На практике сигнал поступивший в звуковую карту непосредственно через звукосниматель не так хорош, как хотелось бы. Поэтому электрогитару обычно подключают в комбик, а звук, идущий через динамик комбика снимают все тем же микрофоном. Или используют специальные приборы обработки - спикосимуляторы. Эти приборы обрабатывают, "эмулируют" звук таким образом, что бы на выходе устройства звук был похожим по звучанию, как если бы мы писали его, пропустив через комбик и сняв микрофоном. Клавишные инструменты пишутся или сразу в линию или через клавишные комбо - опять же микрофоном, ударные инструменты - микрофонами или специальными звукоснимателями.

Список можно продолжить, но вырисовывается следующая картина: Если звук не подается непосредственно на линейный вход аудиоинтерфейса, то в подавляющем большинстве случаев его записывают с помощью микрофона. Тут важно понять такую вещь. У вас может быть очень качественный аудиоинтерфейс, у вас может быть очень богатый тембр голоса, но если какой либо прибор в цепи "источник звука - аудиоинтерфейс"

не "дотягивает" до общего качества системы в целом, то получившаяся аудиозапись будет обладать качеством не выше самого слабого звена всей цепи аудиотракта. Т.е - дешевый микрофон - плохая запись, некачественный микрофонный предусилитель - плохая запись, мутный компрессор - плохая запись, фونهاщие провода - плохая запись.

И не стоит надеяться, что в последствии, можно будет поправить недостатки аудиозаписи, обработав ее некими эффектами. Обработка материала в ряде случаев может замаскировать определенные огрехи, но тотально выправить положение таким способом не удастся. Все таки необходимая минимальная цепочка для ввода аудиоматериала в компьютер присутствующая в каждой студии звукозаписи должна выглядеть примерно так: микрофон - микрофонный предусилитель - компрессор - звуковая карта.

В некоторых звуковых картах уже есть встроенный микрофонный предусилитель, но практически нигде нет "разрыва" (insert) для включения в цепь - компрессора. А ведь в подавляющем большинстве случаев при записи с микрофона компрессор необходим. Вот и получается, что в аудиокарте микрофонный предусилитель есть, но так, как нужен компрессор, то приходится пользоваться сторонним микрофонным предусилителем, потом обрабатывать аудиосигнал компрессором (реже лимитером) и только потом направлять его на вход аудиокарты. Но уже не микрофонный, а линейный.

Такая схема стала настолько классической, что производители выпускают целый ряд устройств совмещающих в себе микрофонный предусилитель и компрессор в одном корпусе. Причем если в эру аналоговой записи еще возможны были хоть какие-то подвижки в сторону, то при цифровой записи они практически исключены. Дело в том, что при записи, на магнитную пленку, например, сигнал уровень которого превышал максимальный уровень возможности записи сигнала, искажался "музыкально", и такое искажение в ряде случаев даже намеренно использовалось (эффект магнитной пленки, эффект перегруза лампы). В цифровой записи не так. Даже минимальное значение превышающее максимальный порог дает искажение в виде щелчков и тресков. И чем выше уровень превышающего значения, тем сильнее искажения. Но даже и слабые искажения вносят в цифровую запись недопустимые на слух помехи.

Теперь озвучим следующий тезис: чем меньше приборов и устройств (за исключением необходимых) находится между микрофоном и аналого-цифровым преобразователем аудиоинтерфейса, тем меньше артефактов и помех будет иметь записанный аудиоматериал. Ведь любое устройство не идеально, любое устройство в той или иной мере искажает "красит" звук, у любого устройства есть собственные шумы, которые неизбежно окажутся в записанном материале. И вот мы подходим к тому пункту нашей студии, который необходим, но уже не столь бюджетен, как ранее озвученные. Это микшер. Без него многоканальная запись и сведения невозможны, но хороший микшер стоит больших денег, а не очень хороший внесет в звуковой материал столько собственных шумов и красок, что продраться

сквозь них будет очень, очень трудно. Напомним, что речь идет именно о студийном микшере. К концертному, организующему звук на улице или в большом помещении требования несколько иные. А вот студийный микшер должен обладать определенными характеристиками. Вносить минимальные искажения в звук, иметь развитую систему коммутации и маршрутизации сигнала. На наш взгляд проблема микшера прекрасно решается встроенными средствами аудио-миди секвенсора. Т.е. необходимое количество входоввыходов обеспечивается соответствующим аудиоинтерфейсом, а вот маршрутизация, сведение материала, эквализация, обработка эффектами и все другие необходимые операции осуществляются внутри аудио-миди секвенсора его микшером, его обработкой.

А если учесть, что современные технологии позволяют подключать еще и программные модули обработки сторонних производителей, то возможности такого программно-аппаратного комплекса (аудиоинтерфейс, аудио-миди секвенсор, набор приборов обработки) весьма велики. Понятно, что и такое решение не всегда идеально, но исходя из тезиса о том, что на определенную студию есть определенный бюджет, который надо потратить оптимально - лучше приобрести более качественный микрофон, предусилитель, компрессор, аудиоинтерфейс, чем распылить средства на средненькие микрофон, звуковую карту, компрессор, микшер. К недостаткам программных микшеров многие относят то, что всеми органами управления приходится управлять посредством компьютерной мыши и клавиатуры онако этоне совсем так. Во первых управление может осуществляться органами миди-клавиатуры (и не только клавишами, но и ручками и ползунками), во вторых есть не очень дорогие консоли управления аудио-миди секвенсорами.

Да что говорить. Даже имея Iphone или Irod и поставив на них соответствующий софт, копеечный или вообще бесплатный, можно превратить подобные устройства в беспроводные консоли управления. Куда уж удобнее? А принимая во внимание еще и то, что в программных микшерах прекрасно прописывается, запоминается и впоследствии воспроизводится автоматизация подавляющего числа операций, о микшерах не топового класса в физическом исполнении можно даже не вспоминать.

Осталось упомянуть о последнем звене звукового тракта - Студийных мониторах и наушниках. Для их подключения никаких дополнительных компонентов не надо. Они коммутируются в соответствующие разъемы аудиоинтерфейса. О студийных мониторах можно почитать соответствующую статью, а о наушниках скажем несколько слов. Очень важно понимать, что какие бы хорошие не были наушники, но свести в них музыкальный материал на сегодняшний день хорошо не получится. Обязательно ошибетесь. Наушники не дают истинной звуковой картины особенно в низкой части звукового спектра. Они могут служить хорошим подспорьем в детализации и контроле звуковой палитры, но никак не единственным инструментом прослушивания и сведения. Наушники

различаются по исполнению и условно делятся на открытые, полуоткрытые или полужакрытые и закрытые. В открытых наушниках музыкальный материал звучит более естественно, в закрытых более детально. Хорошие наушники не должны давить частями своей конструкции на голову слушателя, а амбигуры (ободки вокруг динамиков) должны быть изготовлены из материалов обеспечивающих долгое комфортное прослушивание.

2. Классическая схема

Необходимые компоненты классической схемы звукозаписывающей студии включают в себя:

- Микрофон
- Микрофонный предусилитель
- Компрессор
- Аудиоинтерфейс
- Компьютер со специальным ПО, обеспечивающим визуализацию процесса записи, воспроизведения и редактирования аудиоматериала, а так же микширование и обработку звуковых дорожек.
- Студийные мониторы

При дальнейшем развитии еще и консоль управления записью, воспроизведением и другими органами управления - ползунками микшера, кнопками MuteSolo, ручками эквалайзера и других приборов обработки. Примером такого решения может служить продукция фирмы Presonus. К старшим моделям аудиоинтерфейсов можно докупить специальное устройство, с помощью которого можно управлять многими параметрами аудио-миди секвенсоров. Причем единственный ползунок имеемый в наличии способен регулировать параметры рашных каналов звукозаписи. Такое решение далеко не ново. И еще вопрос чего тут больше - удобства или неудобств. Ведь, на практике, все время приходится следить какой именно параметр сейчас выбран для редакции именно этим ползунком или кнопкой.

Стоит упомянуть так же о линейке приборов, которые так же можно назвать комбинированными. По сути это аудиоинтерфейсы с консолью управления основными параметрами. Причем работать такие устройства могут в двух режимах. В классической схеме ручки управления комбинированного устройства могут быть назначены на органы управления секвенсором. Но это не все возможности. при необходимости, подобные приборы могут работать автономно - без участия компьютера. В этом случае запись аудиоматериала происходит на внутренний носитель устройства), а управление и редакция музыкального материала осуществляется органами управления вынесенными на переднюю панель. Хорошей иллюстрацией такого устройства может служить Roland V-Studio 100

Дальнейшее развитие студии звукозаписи формируется исходя из потребностей и задач. Данная статья не может охватить все аспекты и особенности индивидуальных решений. Ведь даже многие крупные профессиональные студии звукозаписи на сегодняшний день имеют свою специализацию. Одни специализируются на записи тяжелой музыки, другие пишут рэперов, третьи заняли свою нишу в озвучании телевизионных проектов и кино. Каждый аспект требует своих решений, своего специального оборудования, своего набора музыкальных инструментов и приборов обработки, своих схем записи материала, коммутации и т.п.

Контрольные вопросы:

1. Что такое студия звукозаписи?
2. Перечислите самое необходимое для запуска звукозаписывающей студии, и обоснуйте свой ответ.
3. Какую акустическую систему рекомендовано использовать в студийных помещениях для звукозаписи?
4. Опишите классическую схему звукозаписывающей студии
5. Произведите смету ориентируясь на внутренний рынок предложения.

СОДЕРЖАНИЕ:

Лекция 1. Основы Звукового дизайна	2
Лекция 2. Программное обеспечение звуковых технологий	8
Лекция 3. Знакомство с SoundForge	15
Лекция 4. Понятие об музыкальных компьютерных технологиях	45
Лекция 5. Знакомство с форматами сжатия звука	50
Лекция 6. Звуковые эффекты и их преобразование	67
Лекция 7. Способы синтеза музыкальных сигналов	77
Лекция 8. Компоненты студии звукозаписи	90