

Методы синтеза звука

Создание (синтез) звука в основном преследует две цели: имитация различных естественных звуков (шум ветра и дождя, звук шагов, пение птиц и т. п.), а также акустических музыкальных инструментов (имитационный синтез), и получение принципиально новых звуков, не встречающихся в природе (чистый синтез) [1].

Обработка звука обычно направлена на получение новых звуков из уже существующих (например, «голос робота»), либо придание им дополнительных качеств или устранение существующих (например, добавление эффекта хора, удаление шума или щелчков). Каждый из методов синтеза и обработки имеет свою математическую и алгоритмическую модель, что позволяет любой из них реализовать на компьютере; однако, многие методы, будучи реализованы точно, требуют слишком большого объема вычислений, отчего их обычно реализуют с какой-либо степенью допущения.

Существуют следующие основные методы синтеза звука.

1. Аддитивный (*additive*). Основан на утверждении Фурье о том, что любое периодическое колебание можно представить в виде суммы чистых тонов (синусоидальных колебаний с различными частотами и амплитудами).

Для этого нужен набор из нескольких синусоидальных генераторов с независимым управлением, выходные сигналы которых суммируются для получения результирующего сигнала. На этом методе основан принцип создания звука в духовом органе.

Достоинства метода: позволяет получить любой периодический звук, и процесс синтеза хорошо предсказуем (изменение настройки одного из генераторов не влияет на остальную часть спектра звука). Основной недостаток – для звуков сложной структуры могут потребоваться сотни генераторов, что достаточно сложно и дорого реализовать. Для снижения стоимости реализации вместо набора отдельных генераторов (реальных или математических) применяется обратное преобразование Фурье.

2. Разностный (*subtractive*). Идеологически противоположен первому. В основу положена генерация звукового сигнала с богатым спектром (множеством частотных составляющих) с последующей фильтрацией (выделением одних составляющих и ослаблением других) – по этому принципу работает речевой аппарат человека. В качестве исходных сигналов обычно используются меандр (прямоугольный, *square*), с переменной скважностью (отношением всего периода к положительному полупериоду), пилообразный (*saw*) – прямой и обратный, и треугольный (*triangle*), а также различные виды шумов (случайных непериодических колебаний). Основным

органом синтеза в этом методе служат управляемые фильтры: резонансный (полосовой) – с изменяемым положением и шириной полосы пропускания (*band*) и фильтр нижних частот (ФНЧ) с изменяемой частотой среза (*cutoff*). Для каждого фильтра также регулируется добротность (Q) – крутизна подъема или спада на резонансной частоте.

Достоинства метода – относительно простая реализация и довольно широкий диапазон синтезируемых звуков. На этом методе построено множество студийных и концертных синтезаторов.

Недостаток – для синтеза звуков со сложным спектром требуется большое количество управляемых фильтров, которые достаточно сложны и дороги.

3. Частотно-модуляционный (*frequency modulation – FM*). В основу положена взаимная модуляция по частоте между несколькими синусоидальными генераторами. Каждый из таких генераторов, снабженный собственными формирователем амплитудной огибающей, амплитудным и частотным вибратором, именуется оператором. Различные способы соединения нескольких операторов, когда сигналы с выходов одних управляют работой других, называются алгоритмами синтеза. Алгоритм может включать один или больше операторов, соединенных последовательно, параллельно, последовательно-параллельно, с обратными связями и в прочих сочетаниях – все это дает практически бесконечное множество возможных звуков.

Благодаря простоте цифровой реализации, метод получил широкое распространение в студийной и концертной практике. Однако практическое использование этого метода достаточно сложно из-за того, что большая часть звуков, получаемых с его помощью, представляет собой шумоподобные колебания, и достаточно лишь слегка изменить настройку одного из генераторов, чтобы чистый тембр превратился в шум. Однако метод дает широкие возможности по синтезу разного рода ударных звуков, а также – различных звуковых эффектов, недостижимых в других методах разумной сложности.

4. Самплерный (*sample–* выборка). В этом методе записывается реальное звучание (сампл), которое затем в нужный момент воспроизводится. Для получения звуков разной высоты воспроизведение ускоряется или замедляется; при неизменной скорости выборки применяется расчет промежуточных значений отсчетов (интерполяция). Чтобы тембр звука при сдвиге высоты не менялся слишком сильно, используется несколько записей звучания через определенные интервалы (обычно – через одну-две октавы). В ранних самплерных синтезаторах звуки в буквальном смысле записывались на магнитофон, в современных применяется цифровая запись звука.

Метод позволяет получить сколь угодно точное подобие звучания реального инструмента, однако для этого требуются достаточно большие объемы

памяти. С другой стороны, запись звучит естественно только при тех же параметрах, при которых она была сделана – при попытке, например, придать ей другую амплитудную огибающую естественно резко падает.

Для уменьшения требуемого объема памяти применяется зацикливание сэмпла (*looping*). В этом случае записывается только короткое время звучания инструмента, затем в нем выделяется средняя фаза с установившимся (*sustained*) звуком, которая при воспроизведении повторяется до тех пор, пока включена нота (нажата клавиша), а после отпущения воспроизводится конечная фаза.

На самом деле этот метод нельзя с полным правом называть синтезом – это скорее метод записи-воспроизведения. Однако в современных синтезаторах на его основе воспроизводимый звук можно подвергать различной обработке – модуляции, фильтрованию, добавлению новых гармоник, звуковых эффектов, в результате чего звук может приобретать совершенно новый тембр, иногда совсем непохожий на первоначальный. По сути, получается комбинация трех основных методов синтеза, где в качестве основного сигнала используется исходное звучание.

5. Таблично-волновой (*wave table*). Разновидность самплерного метода, когда записывается не все звучание целиком, а его отдельные фазы – атака, начальное затухание, средняя фаза и конечное затухание, что позволяет резко снизить объем памяти, требуемый для хранения сэмплов.

Эти фазы записываются на различных частотах и при различных условиях (мягкий или резкий удар по клавише рояля, различное положение губ и языка при игре на саксофоне и т. п.), в результате чего получается семейство звучаний одного инструмента. При воспроизведении эти фазы нужным образом составляются, что дает возможность при относительно небольшом объеме сэмплов получить достаточно широкий спектр различных звучаний инструмента, а главное – заметно усилить выразительность звучания, выбирая, например, в зависимости от силы удара по клавише синтезатора не только нужную амплитудную огибающую, как делает любой синтезатор, но и нужную фазу атаки.

Основная проблема этого метода – в сложности сопряжения различных фаз друг с другом, чтобы переходы не воспринимались на слух, и звучание было цельным и непрерывным. Поэтому синтезаторы этого класса достаточно редки и дороги.

Этот метод также используется в синтезаторах звуковых карт персональных компьютеров, однако его возможности там сильно урезаны. В частности, почти нигде не применяют составление звука из нескольких фаз, сводя метод к простому самплерному, хотя почти везде есть возможность параллельного воспроизведения более одного сэмпла внутри одной ноты.

6. Метод физического моделирования (*physical modelling*). Состоит в моделировании физических процессов, определяющих звучание реального инструмента на основе его заданных параметров (например, для скрипки – порода дерева, состав лака, геометрические размеры, материал струн и смычка и т. п.). В связи с крайней сложностью точного моделирования даже простых инструментов и огромным объемом вычислений метод пока развивается медленно, на уровне студийных и экспериментальных образцов синтезаторов. Ожидается, что с момента своего достаточного развития он заменит известные методы синтеза звучаний акустических инструментов, оставив им только задачу синтеза не встречающихся в природе тембров.

+7. (*Alexander Grigoriev*) *WaveGuide* технология, активно разрабатываемая в Стэнфордском Университете и применяемая уже в нескольких промышленных моделях электронных роялей. Представляет собой разновидность физического моделирования, при которой моделируется распространение колебаний, представленных дискретными отсчетами, по струне (одномерное моделирование) и по резонансным поверхностям (двумерное моделирование) или в объемном резонаторе (трехмерное). При этом появляется возможность моделировать также нелинейные эффекты, например удар молоточка и касание струны демпфером, а также взаимную связь струн и связь горизонтальной и вертикальной мод.

<https://studfile.net/preview/6062586/page:5/>