

Валерий Белунцов

## ВРЕЗКИ К СТАТЬЕ «Sinfonia.mus или заметки в нотной тетради»

### MIDI

MIDI расшифровывается как Musical Instruments Digital Interface (цифровой интерфейс музыкальных инструментов, в некоторых отечественных изданиях первоначально обозначался ЦИМИ). Это стандартный цифровой интерфейс обмена данными между электронными музыкальными инструментами. По MIDI передаётся не сам звуковой сигнал, а различные управляющие сигналы: нажатие и отпускание клавиши, сила удара по клавише, громкость, вибрато, плавное изменение высоты звука и т.п. В качестве соединителя используется трёхжильный кабель с разъёмами DIN; во избежание путаницы с аудио стандартами, у разъёмов DIN используются контакты 2, 3 и 5. У электронных музыкальных инструментов, имеющих MIDI-интерфейс (а иные сейчас практически не выпускаются) имеются три (иногда два) MIDI-разъёма: MIDI IN — вход, принимающий MIDI-сигналы, MIDI OUT — выход, куда передаётся информация о действиях, производящихся на самом инструменте, и MIDI THRU — выход, куда передаётся вся информация, поступившая на MIDI IN. Сигналы передаются как цифровая последовательность, разбитая на байты. Отдельное MIDI-сообщение обычно состоит из одного, двух или трёх байт (кроме исключительных системных сообщений).

Для управления мультитембральными инструментами, а также для управления одновременно несколькими устройствами используется система MIDI-каналов. Считается, что каждое MIDI-сообщение передаётся по одному из шестнадцати MIDI-каналов, и каждому каналу может быть поставлен в соответствие свой инструмент или тембр. Информация о MIDI-канале содержится в младших четырёх битах первого байта MIDI-сообщения.

Наиболее часто передаваемое MIDI-сообщение — это «нажатие клавиши» (Note On или Key On). Здесь передаётся информация о номере клавиши (в стандарте MIDI используется 128 клавиш) и силе удара по клавише. Сила удара по клавише имеет 128 градаций и измеряется как скорость движения клавиши при нажатии, поэтому этот параметр обычно называют «velocity». Другие MIDI-сообщения — отпускание клавиши (Note Off) с теми же параметрами, смена тембра на данном канале (Program Change), плавное изменение высоты звука (Pitch Bend) с 16384 градациями высоты на диапазон от полутона до октавы, изменение давления на клавишу после нажатия (Aftertouch). Особое место занимает MIDI-сообщение «смена значения контроллера» (Control Change). Несмотря на то, что оно передаёт всего два 7-битных параметра, результатом его будет изменение практически любого выбранного параметра звучания. Дело в том, что первый параметр — это так называемый номер контроллера, а второй — его значение, причём большинству мыслимых музыкальных параметров поставлен в соответствие контроллер с определённым номером. Так, это может быть глубина модуляции, или вибрато (контроллер №1), абсолютная громкость (контроллер №7), пространственная локализация (контроллер №10), эффект правой педали фортепиано (контроллер №64), включение/выключение глиссандирования при переходе от одного звука к другому (контроллер №65) и многие другие параметры.

Первоначальным назначением MIDI была возможность управления сразу несколькими инструментами с клавиатуры одного инструмента. Сейчас большое распространение получили MIDI-секвенсеры — устройства, позволяю-

щие записывать музыкальную пьесу как последовательность MIDI-сообщений и временных промежутков между ними. Впоследствии, если воспроизводя её с применением тех же самых устройств, с которых производилась запись, мы получим идентичный звуковой результат. В отличие от цифровой записи звуковой информации, запись MIDI-последовательности занимает очень небольшой объём памяти.

В последнее время получил распространение также стандарт General MIDI. Он предполагает, что в различных музыкальных устройствах различных производителей сходные по звучанию тембры имеют одинаковые номера. Например, обычный рояль — тембр №1, литавры — тембр №49 и т.д. Таким образом, если имеется MIDI-последовательность, записанная на General MIDI-устройствах, то её можно воспроизводить на любых, не обязательно тех же самых устройствах, поддерживающих этот стандарт; звуковой результат при этом будет лишь совсем немного отличаться от исходного материала.

### О звуковых картах

Звуковая карта объединяет в себе средства для аудиозаписи и воспроизведения (в т.ч. ЦАП/АЦП), сэмплер или синтезатор (иногда и то, и другое), MIDI-интерфейс, эффект-процессор и некоторые другие устройства. Всё это добро располагается на плате, которая вставляется в слот ISA. При выборе звуковой карты очень важно, чтоб работа каждого этих устройств удовлетворяла музыканта. На компьютерном рынке существует огромное разнообразие звуковых карт, различающихся по конфигурации, качеству и, разумеется, цене (диапазон цен простирается от пятнадцати — двадцати до нескольких тысяч долларов. Как правило, с точки зрения музыканта-профессионала здесь не выдерживают критики «саунд-бластеры» и прочие простые карты. Среди музыкантов заслуженным успехом пользуются различные звуковые карты от компании Turtle Beach.

### Аналоговая электронная музыка

Использование электронных музыкальных инструментов началось задолго до распространения компьютеров. Ещё в 1919 году советский инженер и музыкант Лев Сергеевич Термен изобрёл свой знаменитый терменвокс, который принято считать первым электромузыкальным инструментом. По крайней мере — первым *значительным* изобретением в развитии электронной музыки — хотя до этого уже были изобретены «телармониум» Т. Кахилла (1900), «поющая дуга» В. Дуддела (1899), «гальваническая музыка» Ч. Пейджа (1837) и даже работающий на статическом электричестве «электроклавесин» Ла Борде (1759). На терменвоксе успел поиграть даже В. И. Ленин (тот самый!). Напомню, что терменвокс предназначен для исполнения одноголосных мелодий с помощью движений рук в пространстве: приближение руки к вертикальной (расположенной справа) вызывает повышение звука, а приближение к горизонтальной (левой) антенне — уменьшение его громкости. Как правило, терменвокс использовался для исполнения классических мелодий; до недавнего времени композиторы почти не писали музыку специально для этого инструмента, по-настоящему используя его возможности. В 1928 году появился ещё один эпохальный электронный инструмент — траутониум, изобретённый Фридрихом Траутвайном (Friedrich Trautwein). В качестве устройства ввода здесь вместо клавиатуры использовались грифы. В 1935 году Л. Хаммонд изобрёл свой знаменитый электроорган.

В 1955 году появился аналоговый синтезатор RCA, — первый синтезатор с широкими возможностями. Бесклавиатурный синтезатор Дональда Букла (Donald Buchla), появившийся в 1962 году, также обладал широкими возможностями синтеза. Практическая работа с этим синтезатором заключалась в соединении различных модулей проводами и установке параметров с помощью обычных потенциометров. Наконец, в 1964 году появился знаменитый синтезатор Роберта Муга (Robert Moog). В современных компьютерных программах и цифровых инструментах до сих пор часто встречается имитация звучания этого синтезатора, который так назывался — Moog.

В СССР интерес к подобным вещам также не ослабевал. Несмотря на все препоны, здесь были сделаны ещё два эпохальных инструмента. Это эквотин, изобретённый А. Володиным и «оптический синтезатор» АНС Е. Мурзина. Эквотин, созданный для имитации тембров акустических инструментов, обладал, помимо всего прочего, чувствительной клавиатурой, способной обрабатывать изгибание давления на клавишу после её нажатия (то, что потом назовут «aftertouch»). А у АНСа входным устройством являлся некий своеобразный «графический планшет» из прозрачного материала с нанесённым на него слоем специальной незасыхающей мастики. С помощью особой палочки в слое этой мастики прорисовывались точки и линии. Затем рисунок оптическими методами переводился в звук. Впоследствии эту идею неоднократно реализовывали в виде компьютерных программ перевода графики в звучание.

### Рождение компьютерной музыки

В 1957 году М. Мэтьюз и Н. Гутман посетили концерт одного малоизвестного пианиста. Концерт им обоим не понравился, и, в процессе обмена впечатлениями после концерта, М. Мэтьюз заявил, что компьютер может сыграть лучше. Но поскольку на дворе был 1957 год, компьютеры ещё не умели играть музыку. Придя домой, М. Мэтьюз тут же стал писать программу, играющую музыку. Первая компьютерная пьеса неизменно производит на окружающих ужасающее впечатление. Но идея Мэтьюза, развиваясь, породила целый класс музыкальных языков программирования, которые вначале назывались «MUSIC» с номером версии. Язык C-Sound произошёл как раз из этих программ. А отделение Стэнфордского института исследований, где работал тогда м. Мэтьюз, выросло в целый музыкальный исследовательский центр под названием CCRMA (читается «карма»).

### Время и его измерение

В MIDI-секвенцерах принято измерять время не в минутах и секундах, как в жизни, а в тактах и их долях, как в музыке. Для того, чтоб обеспечить как можно более точную запись любых неровностей при исполнении музыки, в качестве наименьшей единицы измерения времени выбран «тик». Обычно 1 «тик» принимается равным  $1/96$ ,  $1/192$  или  $1/384$  четвертной ноты. В стандартном MIDI-файле обязательно указывается количество «тиков» в 1 четверти. Для того, чтобы определить темп, в MIDI-файле указывают, какое количество «тиков» должно «поместиться» в 1 секунду.

## Оцифровка звукового сигнала

Для того, чтобы звуковые колебания представить в цифровом виде, в каждый конкретный момент звучания измеряют амплитуду (интенсивность) звукового сигнала. Так как волновая форма звука по своей природе непрерывна, то для точного её цифрового отображения необходимо, строго говоря, измерить амплитуду бесконечное количество раз в секунду и разделить амплитудную шкалу на бесконечное количество градаций. В реальности же количество измерений в секунду (*частота дискретизации*) колеблется обычно от 10000 до 96000. В настоящее время наиболее употребительные частоты дискретизации — это 44100 Гц (стандарт для CD-аудио) и 48000 Гц (основной стандарт для DAT). Количество же амплитудных градаций (*разрешение*) обычно принимается равным  $2^8$ ,  $2^{16}$  или  $2^{24}$  (в зависимости от количества бит, выделенных для этой информации).

Разумеется, при дискретизации непрерывного сигнала неизбежно возникают искажения. Чем меньше частота дискретизации и/или разрешение, тем больше волновая форма на выходе приближается к прямоугольной. При этом возникают высокочастотные искажения, которые частично гасятся с помощью фильтров, устанавливаемых на выходе ЦАП. Теоретически для адекватного воспроизведения частоты  $f$  частота дискретизации должна быть не менее  $2f$ .

Оцифрованный звук требует больших объёмов памяти. В самом деле, при стандартной частоте дискретизации в 44100 Гц и разрешении 16 бит, звуковой материал (стерео) продолжительностью в 1 мин. Будет занимать 10584000 байт (приблизительно 10,09 Мбайт). Кроме того, звуковые файлы очень плохо сжимаются стандартными средствами сжатия (zip, arj, и т.п.). Поэтому для них существуют особые алгоритмы сжатия. Например, WAV-файл, сжатый с помощью ADPCM, занимает примерно вчетверо меньше места. Однако при этом могут появиться искажения, поэтому при профессиональной работе алгоритмы сжатия звука лучше не использовать.

## FM-синтез

Синтез звука методом частотной модуляции был разработан Дж. Чоунингом и с успехом применялся и применяется в синтезаторах. Суть его проста: дело в том, что при помощи модуляции звукового сигнала сигналом с частотой, лежащей в звуковом диапазоне, при достаточно большой глубине модуляции возникает большое количество спектральных составляющих. Так, если мы имеем два синусоидальных сигнала, причём несущая частота равна  $f_c$ , модулирующая —  $f_m$ , то при глубине модуляции  $\Delta f$  (глубина модуляции измеряется как максимальное частотное отклонение от основной частоты) в спектре выходного сигнала будут присутствовать частоты, равные  $f_c \pm k f_m$ , где  $k$  — любое неотрицательное целое число, не превосходящее  $(\frac{\Delta f}{f_m} + 2)$ . Например, если  $\frac{\Delta f}{f_m} = 5$ , то в выходном спектре будет присутствовать 11 составляющих. Таким образом, имеется возможность легко получать и изменять различные тембры минимальными средствами.

Дж. Чоунинг разработал метод FM-синтеза в своей дипломной работе. Некоторое время он существовал только лишь как «один из» многочисленных методов. Однако вскоре фирма Yamaha лицензировала его для использования в своей продукции, и вскоре уже весь мир стал играть на FM-инструментах (например, широко известном DX7).

В последнее время популярность FM-синтеза заметно снизилась. Это связано с тем, что поп-музыканты стали предпочитать так называемые WT-син-

тезаторы — устройства, использующие для синтеза тембров записанные в память отрезки звуков реальных акустических инструментов.