SECTION II. INFORMATION TECHNOLOGY

Филатов-Бекман С.А.

Технологическая линия компьютерно-музыкального моделирования: цели, задачи, перспективы

*Российская государственная специализированная академия искусств
Московская государственная консерватория им. П. И. Чайковского
(Россия, Москва)*

doi 10.18411/gq-30-11-2017-03

idsp 000001:gq-30-11-2017-03

Аннотация

Предлагается обсуждение некоторых результатов численных экспериментов на основе технологической линии компьютерно-музыкального моделирования

Ключевые слова: технологическая линия компьютерно-музыкального моделирования, классификация музыкальных сигналов, синтез, обработка и анализ сигналов, музыкально-акустическая модель, музыкально-статистическая модель

В предлагаемой работе представлены некоторые результаты компьютерных экспериментов, проведенных на основе авторской технологической линии компьютерно-музыкального моделирования (КММ) [4].

Технологическая линия КММ является одной из современных музыкально-информационных технологий. Она включает следующие этапы:

1. синтез музыкального сигнала;
2. обработку музыкального сигнала;
3. анализ характеристик синтезированного и обработанного сигнала.

Под термином «музыкальный сигнал» мы понимаем различные виды музыкальной информации, обладающие следующими особенностями:

- свойством отражения специфическим музыкальным языком явлений самоорганизации в компьютерных моделях различных природных и социальных систем, если имеется способ трансформации результатов компьютерного моделирования в музыкальный язык;
- свойством самоорганизации, способным проявлять себя на различных масштабных (пространственно – временных) уровнях. Поэтому одной из основных задач технологии КММ является поиск законов самоорганизации музыкальной информации.

Этап синтеза основан на разработанной нами классификации музыкальных сигналов [4]. Так, можно определить три класса музыкальных сигналов. Первый из них – *модельный сигнал*. Он формируется в виде некоторой функциональной зависимости, которая реализуется в компьютерной программе на одном из языков программирования и представляет собой ряд чисел. Для того чтобы этот сигнал зазвучал, его необходимо преобразовать в какой-либо музыкальный формат. Сам по себе модельный сигнал не порождает музыкального звучания.

Ко второму классу музыкальных сигналов относится *компьютерный сигнал*. Он, в отличие от модельного сигнала, представляет музыкальную информацию, зафиксированную на диске компьютера в формате миди- или волнового файла.

Диапазон возможностей компьютерного сигнала по сравнению с модельным является значительно более обширным. К примеру, программа – музыкальный редактор SoundForge позволяет получить компьютерное звучание с переменным тембром (от одного до четырехголосов, на основе встроенного программного

синтезатора). К компьютерному сигналу можно отнести и миди-файлы, которые легко отображаются в волновой формат.

Примером рассматриваемого класса музыкальной информации являются компьютерные звучности, создаваемые автором статьи и получившие наименование «математической музыки». Данная музыка, происхождение и анализ которой рассмотрены в [4] и других работах автора, представляет собой озвученные результаты, полученные в результате компьютерного моделирования некоторых свойств, присущих нелинейной динамической системе. Основное отличие компьютерного класса сигналов от модельного класса состоит именно в том, что данные сигналы способны создавать реальное музыкальное звучание, хотя и порожденное компьютером.

Компьютерный сигнал синтезируется тремя способами. Первый из них состоит в использовании программного синтезатора на базе какой-либо программы – музыкального редактора. Второй способ получения сигнала состоит в применении операции «отпечатки клавиш», реализуемой большинством программ – музыкальных редакторов. Третий способ представляет собой синтез примеров авторской математической музыки путем проведения численных экспериментов на основе первой (из двух) авторской компьютерной модели – *музыкально-акустической* (MARC).

Третий класс музыкальных сигналов – *реальный сигнал*, или запись реального живого исполнения (вокала, фортепьянной игры, симфонического оркестра и т.д.).

Этап обработки состоит в применении второй авторской компьютерной модели – *музыкально-статистической* (MQS). К настоящему времени подготовлено три версии модели, разрабатывается четвертая версия.

Конечная цель *этапа анализа характеристик музыкальных сигналов* – раскрытие многомерной художественной природы музыкального произведения, проявляющей себя в множественности исполнительских трактовок. Эстетический смысл каждой интерпретации, образные оттенки, драматургические решения, «исполнительские наклонения» к определенному эмоциональному строю, жанровому характеру могут быть исследованы на основе применения рассматриваемой компьютерной методики (при этом следует принять во внимание, что решение подобной задачи во всей ее полноте доступно лишь исключительно мощному компьютеру).

Термин «исполнительское наклонение» введен в книге профессора Московской консерватории М. С. Скребковой-Филатовой «Фактура в музыке»: это «избираемая музыкантом конкретная исполнительская реализация жанрового характера тематизма» в музыкальном произведении [2, с.245]. По аналогии можно говорить об эмоциональных, драматургических «исполнительских наклонениях» как об индивидуальном выборе исполнителем характера музыки.

Рассмотрим более подробно вопрос: как именно рождается математическая музыка?

В обширном спектре современной электроакустической музыки значительная роль принадлежит музыке компьютерной. Согласно классификации, приведенной в [3], это – музыка, которая генерируется чисто компьютерными средствами. Однако существует и иной подход: компьютер становится музыкальным соавтором композитора. В данном случае речь идет о так называемой алгоритмической музыке, которая представляет собой музыкальный результат некоторого компьютерного алгоритма. Первым в России, кто осуществил построение подобного музыкального алгоритма, был наш выдающийся соотечественник Р. Зарипов [1]. Исключительно важная роль принадлежит композитору с мировым именем Я. Ксенакису; используя идеи теории вероятностей и теории игр (например, генерация случайных чисел), он создал целый пантеон ярких произведений. Основные идеи Ксенакиса изложены в книге «Формализованная музыка» [5].

Компьютерный алгоритм может строиться в виде некоторой «неизменяемой» конструкции, управление которой ограничивается, к примеру, лишь звуковысотностью, скоростью воспроизведения и возможностью «перестановки» исполняемых элементов. Подобная конструкция представляет лишь ограниченный простор для творческой фантазии композитора.

Значительно более сложным является алгоритм, допускающий возможность вариации со стороны музыканта (системного программиста или пользователя). В данном случае на сцену выступает компьютерная алгоритмическая интерактивная музыка [3, 5]. Она, в свою очередь, может быть следствием некоторых теоретико-вероятностных моделей.

Однако в основу машинного алгоритма может быть положен и иной процесс, отличающийся достаточно жесткой детерминированностью. Подобный процесс определяет генерацию и эволюцию авторской математической музыки.

Как уже говорилось выше, автором разработана музыкально-акустическая модель MARC, одна из задач которой – исследование процесса взаимодействия излучения и вещества. Модель описывает эволюцию разреженных планетных атмосфер под воздействием длинноволнового излучения (верхняя стратосфера Земли; атмосфера Марса) [4].

Музыкально-акустическая модель основана на системе трех (в настоящее время – шести) уравнений в частных производных, описывающих процессы диффузии; введение переменных коэффициентов турбулентного обмена переводит исходные уравнения в класс квазилинейных. Однако учет процессов поглощения и излучения, представленных существенно нелинейными (экспоненциальными) функциями, еще более усложняет задачу. Реально мы имеем дело с системой трех (или шести) нелинейных уравнений, связанных правыми частями; компьютерное моделирование – практически единственный способ исследования свойств подобных формализмов.

Авторский алгоритм построения акустических звучностей базируется на формировании элементов числового множества как численного эксперимента на основе модели MARC. В соответствии данным элементам ставятся акустические частоты. Для простейшего случая темп, тембр и амплитуда полученного таким образом компьютерного музыкального сигнала являются заранее фиксированными и не изменяются во времени. Таким образом, изменяется лишь акустическая частота; однако именно вариативность частоты и порождает одnogолосную электронную мелодию.

К настоящему времени разработаны шесть версий модели, отличающиеся друг от друга как формой и объемом представления физических процессов, так и элементами схемы численного интегрирования по времени. Седьмая версия является к н. в. наиболее полной, т. к. содержит компактное представление исходной системы уравнений, базирующееся на расчете матрицы сложных прогностических коэффициентов (представленных в виде нелинейных функционалов).

Конвертация результатов численного интегрирования в музыкальный миди-файл осуществляется на основе авторской компьютерной программы (конвертор Subecom, [4]). По существу, данный конвертор выполняет роль численного оператора, ставя в соответствие множеству рациональных чисел множество акустических частот, имеющих совершенно иной физический смысл.

Применение программ – музыкальных редакторов предоставляет обширные возможности для музыкально-акустических экспериментов. Так, одnogолосный сигнал в формате MIDI легко разделяется на несколько участков, размещаемых на разных треках, что приводит к многоголосному гетерофоническому звучанию (голоса не коррелируют друг с другом), а также к вариациям тембра и амплитуды. Трансформация в волновой формат открывает доступ к обширной палитре «процессинга» и «эффeктинга», содержащейся в меню музыкальных редакторов.

Авторская музыкально-статистическая модель MQS позволяет проанализировать особенности полученного звучания, преобразованного в волновой формат, на основе некоторых принципов нелинейной динамики и математической статистики (реконструкция фазовых отображений, расчет корреляционной размерности, оценка шумов квантования и т. д.); данные особенности недоступны обычному, «традиционному» музыкальному анализу. Заметим, что ни один элемент музыкального звучания не создается «вручную»: все музыкальные примеры имеют чисто компьютерное происхождение.

Основываясь на сказанном выше, *определим математическую музыку как компьютерно-алгоритмическую, интерактивную и детерминированную.* Интерактивность следует из возможности оптимизации алгоритма; детерминированность проявляется в том, что каждой ноте ставится в соответствие определенное число, являющееся результатом численного интегрирования в рамках пространственно-временного континуума.

На рис. 1 приведен пример многоголосного звучания:

Рис. 1. Нотный пример компьютерного многоголосного звучания

Данный пример получен путем численного решения одномерного линейного однородного уравнения диффузии (шестая версия модели MARC) и последующего разделения одноголосной мелодии на некоторые участки.

1. Зарипов Р. Х. Кибернетика и музыка. М.: Наука, 1963.
2. Скребкова-Филатова М. С. Фактура в музыке. М., Музыка, 1985, 283 с.
3. Теория современной композиции: Учебное пособие – М.: МУЗЫКА, 2005. – 624 с., нот.
4. Филатов-Бекман С. А. Компьютерно-музыкальное моделирование: Учебное пособие для высшей школы. – М.: ООО «Сам полиграфист», 2015. – 160 с.: ил., нот.
5. Xenakis I. Formalized Musik, thoughts and mathematics in composition. IndianaUniversity Press, Bloomington, 1972.