

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ ДЖАЗОВОЙ ИМПРОВИЗАЦИИ**

**Славщик А.А.**

**научный руководитель д-р техн. наук Бронов С.А.**

***Сибирский федеральный университет, Институт Космических и  
Информационных Технологий, НУЛ САПР***

Ученые и заинтересованные люди всегда пытались перевести на математический язык различные аспекты музыкального творчества, начиная от Лежарена Хиллера (американского ученого, создавшего первое сгенерированное компьютером музыкальное произведение – Сюиту Иллиака) или Янниса Ксенакиса (французского композитора и архитектора, разработавшего собственную систему музыкальной композиции, основанную на термодинамических законах – Формализованную музыку), заканчивая крупными компаниями, разрабатывающими современные аудиосервисы, которые «рекомендуют» пользователю определенную музыку на основе анализа его предпочтений, или новейшими программными средами, позволяющими реализовывать самые различные методы анализа и синтеза музыкальных отрывков (MAX/MSP, Sound и другие). В наше время увеличение количества мультимедийной информации и развитие информационных технологий значительно повлияло на возможности изучения данной темы, однако ни в одной области исследования так и не достигнуто убедительных результатов, особенно в сфере алгоритмического сочинения музыки. Алгоритмической музыкой (алгоритмической музыкальной композицией) называют процесс создания музыкальных отрывков, последовательностей и композиций с помощью математических моделей, правил и алгоритмов. В научной классификации данная тема относится к специальным областям системного анализа и искусственного интеллекта.

Исследовательская работа, проводимая в научно-учебной лаборатории систем автоматизированного проектирования (НУЛ САПР) Института космических и информационных технологий (ИКИТ) Сибирского федерального университета (СФУ) посвящена разработке математической модели для алгоритмической генерации джазовой импровизации. Джаз был выбран по причине очень небольшого количества работ, посвященных данному стилю, в отличие от классической и поп-музыки. Был разработан алгоритм построения системы для генерации джаза, состоящий из трех последовательных шагов: генерация аккордовой последовательности, генерация джазовой импровизации и генерация ритмической партии. Генерация джазовой импровизации происходит на основе статистических данных, полученных после анализа существующих джазовых композиций. Непременным условием успешности полученной песни является правильный выбор исходного аудиоформата для анализа и унифицирование анализируемых композиций по признакам ритма и тональностей. Рассмотрим каждый пункт по отдельности:

1) Самой важной частью любой джазовой композиции, несомненно, является импровизация, которую можно считать одной из самой математизированных форм музыкальной активности по причине крайне ограниченного времени, которое имеет музыкант для принятия решения о структуре воспроизводимой им импровизации. Анализ существующих методов алгоритмической композиции показывает, что самым подходящим является использование стохастического метода на основе Марковских цепей. Марковские цепи это математическая система, описывающая переход из одного состояния в другое в пространстве конечного или ограниченного числа возможных

состояний. Этот случайный процесс обычно характеризуется как не имеющий памяти: следующее состояние зависит только от текущего. Конечная дискретная цепь определяется:

- Множеством состояний  $S = \{s_1, \dots, s_n\}$ , событием является переход из одного состояния в другое в результате случайного испытания;

- вектором начальных вероятностей (начальным распределением)  $p^{(0)} = \{p^{(0)}(1), \dots, p^{(0)}(n)\}$ , определяющим вероятности  $p^{(0)}(i)$  того, что в начальный момент времени  $t = 0$  процесс находился в состоянии  $s_i$ ;

- матрицей переходных вероятностей  $P = \{p_{ij}\}$ , характеризующей вероятность перехода процесса с текущим состоянием  $s_i$  в следующее состояние  $s_j$ , при этом сумма вероятностей переходов из одного состояния равна 1:

$$\sum_{j=1 \dots n} p_{ij} = 1.$$

В нашем случае состояния  $s_1, \dots, s_n$  Марковской цепи описывают каждый музыкальный параметр импровизации – высоту ноты ( $s_1 = \text{До}$ ,  $s_2 = \text{До\#}$  и т.д.), продолжительность ноты, интервал между нотами. Матрица переходных вероятностей составляется на основе анализа большого массива данных, составленных из классических джазовых импровизаций. Стоит отметить, что у данного метода есть одно ограничение – оперирование только одним состоянием в текущий момент времени, что делает невозможным анализ и последующий синтез полифонических импровизаций. Ограничение снимается путем рассмотрения импровизации монофонических инструментов, таких, как, например, саксофон.

2) Аккордовая последовательность опирается на классическую 32-тактную джазовую форму ААВА, которую имеет большая часть самых известных стандартов этого стиля, такие как *Ain't She Sweet*, *Anything Goes* и многие другие. В соответствии с текущим аккордом на основе составленной матрицы переходных вероятностей генерируется такт импровизации.

3) линия баса и ударных инструментов не существенна в данном исследовании и определяется текущими аккордовыми последовательностями и тактовым размером.

Выделение параметров импровизации для состояний Марковских цепей из стандартных аудио MP3- и WAV-файлов является практически неосуществимой задачей по причине невозможности отбора отдельно звучащих дорожек инструментов и нот для последующего анализа, что обуславливало бы крайнюю ненадежность полученных данных. Единственным форматом, полностью отвечающим поставленным требованиям является формат MIDI.

MIDI (англ. Musical Instrument Digital Interface — цифровой интерфейс музыкальных инструментов) — стандарт цифровой звукозаписи на формат обмена данными между электронными музыкальными инструментами.

Интерфейс позволяет единообразно кодировать в цифровой форме такие данные как нажатие клавиш, настройку громкости и других акустических параметров, выбор тембра, темпа, тональности и др., с точной привязкой во времени.

Разработка системы ведется с помощью программного обеспечения для статистического анализа MIDI-файлов MIDI Toolbox, разработанного Финскими учеными из университета Ювяскюля Томасом Эуролой и Петри Тойваненом. Данный набор инструментов работает в среде математического пакета MATLAB. Это ПО позволяет получить достоверную информацию о вероятностях перехода нота-нота и продолжительность-продолжительность, а также составить матрицу переходных вероятностей Марковской цепи первого порядка. Обратный процесс генерации джазовой импровизации из полученной Марковской цепи также возможен с помощью MIDI Toolbox.

Каждая импровизация должна быть унифицирована для анализа, иными словами, переведена в определенную тональность. Самым эффективным алгоритмом для определения и смены тональности музыкальной композиции является алгоритм нахождения тональности Крумшансла-Кесслера

Данный алгоритм основан на понятии так называемых «тональных профилей» - двенадцатизначных векторах, представляющих каждую из 12 тональностей в минорных и мажорных ладах. Работа метода заключается в том, что для каждого отрывка анализируемого музыкального произведения высчитываются коэффициенты корреляции:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}},$$

где координата  $x$  представляет один из профилей минорной или мажорной тональности, а координата  $y$  – это общие продолжительности каждого высотного класса в анализируемом отрезке. На основании результатов анализа происходит определение текущей тональности и смена на требуемую.

Представленная схема кратко описывает разрабатываемую систему алгоритмической генерации джазовых инструментальных композиций с монофонической соло-импровизацией.