

ЭВОЛЮЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МУЗЫКИ: ПРИНЦИПЫ, ПОДХОДЫ, ПРОБЛЕМЫ

Вдохновляясь впечатляющими достижениями эволюции живых организмов в естественной среде, с конца 60-х годов XX века исследователи начали разрабатывать алгоритмы, призванные помочь в решении тех научных и инженерных проблем, которые обнаруживали недостаточную эффективность традиционных подходов. Весьма скоро эволюционные вычисления стали активно применяться в областях машинного обучения и искусственного интеллекта, а позднее заняли ведущее место в сфере электронного проектирования, систем компьютерного анализа и робототехнике. Вместе с тем, как справедливо подчёркивают некоторые ученые, «существует важное отличие между естественной и искусственной эволюцией. В то время как естественная эволюция не имеет заранее предопределённой цели и, по существу, представляет собой неограниченный временем процесс адаптации, искусственная эволюция – процесс оптимизации, который пытается найти решение заранее определённой проблемы. Следовательно, в то время как в естественной эволюции пригодность особи определяется её успехом в воспроизводстве потомства (т. е. числе потомков), приспособленность особи в искусственной эволюции представляет собой функцию, которая определяет, насколько хорошо индивидуум решает поставленную задачу» [5, р. 1].

Ключевые стороны музыкального исполнения, композиции, создания и трансформации звука всегда предоставляли возможность применения потенциала цифровых технологий. Неудивительно поэтому, что музыканты-исследователи не могли обойти стороной как обширную технологическую область «искусственной жизни» [7], так и не менее значительную компьютерную сферу «искусственного интеллекта» [2]. Творческий процесс, осуществляемый на границе указанных областей и музыкального искусства, открывает новые пути создания и моделирования звука, управления и контроля различных аспектов музыкального исполнения. Взаимодействие музыки и форм искусственной жизни может происходить по

двум магистральным направлениям: компьютерному и электронному. В компьютерном направлении процесс протекает на уровнях формы, гармонии, мелодических структур, а конечной целью является создание нотной партитуры. В электронном направлении акцент делается на видоизменении параметров той или иной технологии звукового синтеза либо на трансформации звукового потока для создания новых звуков и звуковых эффектов. Реализация эволюционных процессов в плоскости музыкального искусства, по сути, рождает новое музыкальное направление – эволюционную музыкальную композицию. Эволюционное моделирование музыки, таким образом, представляет собой систему создания и/или трансформации музыкальной ткани с использованием принципов естественной эволюции.

Первое использование эволюционных принципов в аспекте художественной культуры мы встречаем у Ричарда Докинза, создавшего в 1987 году программу *Biomorphs*, которая позволяла визуализировать генетический алгоритм путём последовательного видоизменения графических фигур (автор использовал управляемую эволюцию, подобно тому, как человек производит селекцию домашних животных) [4].

Другим исследователем-первопроходцем в этой области был Карл Симс, который применил интерактивную эволюцию к компьютерной графике. Программа *Genetic Images*, реализующая генетическое программирование, позволяет создавать запоминающиеся, часто весьма красивые образы из двухмерной, трёхмерной графики и анимации [18]. Несколько позднее П. Мачадо и А. Кардосо создали систему *NEvAr*, позволяющую создавать цветные изображения с использованием генетического программирования [9]. Проект *Picbreeder* [17] демонстрирует возможности использования эволюционных алгоритмов с привлечением сети Интернет. *Picbreeder* также позволяет обмениваться изображениями и корректировать характеристики функции приспособленности. Как нетрудно заметить, все упомянутые проекты используют интерактивность при опре-

делении текущей функции приспособленности, в то же время оставляя за человеком право решения – художественного отбора понравившихся (и, соответственно, используемых в дальнейшей генетической цепочке) образов. Это наглядно демонстрирует возможности и силу эволюционных вычислений применительно к художественной области: интересный художественный результат достигается путём соединения относительно простых правил генетического отбора, сложных функций приспособленности и эстетических критериев человеческого выбора, влияющих на ход эволюции.

Одним из ранних образцов эволюционной музыкальной композиции стала получившая определённую известность программа *GenJam* [6]. В ней генетический алгоритм, в основе которого лежит работа с бинарным геномом с использованием стилистически корректных генетических трансформаций, используется для создания джазовых сольных импровизаций. Программа использует интерактивную функцию приспособленности (подробнее об этом см. ниже): музыкант является экспертом, который в процессе собственного исполнения в дуэте с компьютером слушает и выбирает ту последовательность, которая нравится ему больше всего.

Генетическое видоизменение музыкального материала, в общем случае, состоит из ряда обязательных этапов: *селекции, скрещивания, мутации* и оценки пригодности итога *функцией приспособленности* [5]. Важную роль также играет число особей в популяции: от этого напрямую зависит не только количество поколений, необходимых для достижения требуемого результата, но иногда и сама возможность его получения. Эволюционный алгоритм подразделяется на несколько подвидов в зависимости от типа генетического материала, с которым проводится работа. Наиболее распространёнными в работе с музыкальным материалом являются *генетический алгоритм* и *генетическое программирование*.

В *генетическом алгоритме* геном, как правило, представлен линейно. Другими словами, массив значений или строка, представляющие геном, последовательно описывают соответствующий музыкальный параметр. Геном звуковысотного компонента мелодии чаще всего записывается как последовательность целочисленных величин (например, 60-62-64-64-69-...), соответствующих высоте каждой ноты мелодии согласно протоколу MIDI. При этом возможно записывать звуковысотную составляющую мелодии не только как последо-

вательность абсолютных значений, но и как набор позиций нот относительно друг друга (0-2-2-0-5-...). Кроме того, возможно наличие вспомогательных геномов, которые описывают взаимосвязи между другими геномами. Так, например, кодируется информация в упомянутой выше программе *GenJam*. В двух геномах записываются, соответственно, последовательности нот мелодии и паузы. Третий геном отвечает за хранение информации о времени наступления следующего события (нажатия или отпускания ноты) [3].

При такой линейной системе записи информации, структура генома близка музыкальной партитуре как таковой (во всяком случае, в её MIDI-представлении). Это даёт возможность непосредственно наблюдать всю меняющуюся картину без специальной предварительной подготовки, а также позволяет применять к геномам не только генетические, но и специфически музыкальные способы трансформации (инверсия, ракоход, перестановка мотивов внутри фразы, транспонирование и т. д.).

Эволюционное музыкальное моделирование, основанное на методах *генетического программирования* (в виде т. н. «*дерева принятия решений*» [5, р. 19]), также является популярным способом генетических манипуляций. Музыкальные данные представлены в виде «листов», которые содержат ноты, паузы и т. д. (по сути, те же геномы, что и в линейном подходе). Внутренние узлы содержат функции, выполнение которых определённым образом трансформирует содержимое дочерних «веток» и находящихся на них «листов». Последовательно взращивая «дерево» от «корней» к «вершине» (которая, в стандартном случае, – только вектор движения и принципиально недостижимая точка), мы создаём музыкальную ткань. Разумеется, в процессе «роста» необходимо прибегать к различным музыкальным операциям для объединения разрозненных «листов» в целостную партитуру. Некоторые исследователи [8; 11; 13] считают, что использование генетического программирования вместо генетического алгоритма применительно к музыке является оправданным, поскольку музыка, до известной степени, также строится по иерархическому принципу: малые построения объединяются в более крупные, мотивы объединяются во фразы, периоды – в предложения и т. д.

Таким образом, важнейшим элементом в «дереве» являются функциональные узлы, поскольку именно алгоритмы, заложенные в них, преобразуют совокупность геномов в музыкальную фактуру. Хотя такая структура заметно отличается от генетического алгоритма,

основные эволюционные операции используются и в генетическом программировании. В данном случае, мутации заменяет случайно выбранный узел и случайно генерированная «ветка», процесс скрещивания состоит в обмене геномами двух случайно выбранных «ветвей». В отличие от генетического алгоритма, где число особей в популяции постоянно, эволюционное «дерево» может разрастаться до бесконечности, тем самым создавая проблемы вычислительной системе. Кроме того, если генетический алгоритм предполагает необходимость ограничения используемого количества «эпох», то генетическое программирование связано с подобным же ограничением и количества «ветвей», и высоты «дерева». Очевидно, что генетическое программирование – на музыкальном и программном уровнях – ставит более сложные задачи; при этом соответствующие геномы уже не так просто поддаются «чтению».

Применение эволюционного моделирования в области синтезирования и трансформации звука также весьма обширно. Здесь доминируют два основных направления: физическое моделирование музыкальных инструментов и генерация новых звуков, – чем определяется и число основных подходов к организации генетических алгоритмов. В случае трансформации звука музыкального инструмента оригинальный тембр (записанный с реального инструмента или смоделированный алгоритмически) является эталоном для сравнения и отправной точкой для генетических мутаций. Иными словами, здесь он может быть либо функцией приспособленности (чаще всего), либо геномом первой популяции. Однако и в том, и в другом случае ключевым является вопрос эстетической оценки результата по прошествии очередной «эпохи»; необходимо определить, насколько близко подошло – либо, напротив, насколько далеко ушло – последнее поколение от оригинального звучания. Поскольку задача звуковой трансформации, как правило, часто ограничена областью последующего возможного применения в программах-секвенсорах, модификация звукового материала осуществляется по одному или нескольким отдельным параметрам (звуковысотность, ADSR, реверберация, distortion и т. д.). Это предопределяет возможность более контролируемых видоизменений звучания, однако полноценная модификация звука требует параллельного использования многих параметров, что предъявляет большие требования к вычислительным мощностям компьютера. И в самом деле, звук реального музыкального инструмента состоит из большого числа характеристик, изменяемых

во времени и образующих многомерное параметрическое пространство. В ситуации интерактивного исполнения, как правило, задача эволюционного моделирования пространства оказывается непосильной «ношей» для компьютера, поскольку каждый параметр имеет свой геном, свою популяцию и свою последовательность «эпох». Вместе с тем, если подобная детальность звуковой трансформации не требуется (например, если достаточно, чтобы оригинальный звук дублировался слегка «искажённой» копией), используя малую часть значений из всего параметрического пространства, представляется возможным достичь весьма интересных и неожиданных тембровых эффектов.

Другой распространённый тип применения эволюционного моделирования в области звукового дизайна связан с созданием новых звуков. Здесь конечная цель, по сути, не определена и, соответственно, достаточно остро стоит вопрос определения музыкально «эффективной» функции приспособленности. Некий существующий звуковой элемент может быть использован как стартовая точка эволюционных вычислений, однако дальнейшее определяется двумя ключевыми аспектами: проработанным алгоритмом генетической трансформации и субъективной оценкой эстетического, музыкального качества воспринимаемого звукового материала. Действительно, чрезвычайно трудно (во всяком случае, на данном этапе развития искусственного интеллекта) оценивать полученный результат какими-либо формальными методами, практически неизбежно наличие музыканта-эксперта. Собственно, в этой области субъективный анализ музыкально-художественного итога является совершенно необходимым, что, однако, не устраняет проблему определения эстетических критериев оценивания. Относительно трансформации существующих тембров данный подход оказывается значительно менее требовательным к вычислительным ресурсам; к тому же, в сравнении с генетическими алгоритмами видоизменения нотного материала, достижение заметного эффекта может потребовать меньшего количества «эпох», т. е. времени, обусловленного какой-то творческой целью.

Функция приспособленности, или фитнес-функция, представляет для исследователей и музыкантов, применяющих эволюционное музыкальное моделирование, предмет особого внимания – и немалой сложности в реализации [10]. Действительно, именно выбор конечной музыкальной цели, каковой во многом является фитнес-функция, в итоге определяет весь ход эволюции и музыкального прогресса. Вместе с тем, сам ход эволюцио-

нирования предполагает определённые стилиевые и эстетические рамки, внутри которых должен развиваться музыкальный материал. Однако, в силу отсутствия точного понимания всего, что определяет творческий (в частности, композиторский) процесс, достаточно не просто удержаться в тех или иных музыкальных границах, избегая при этом сильной его формализации.

Вне зависимости от того, используется ли эволюционное моделирование в рамках интерактивной музыки или процесс генетических трансформаций происходит не в реальном времени, можно выделить два подхода к организации фитнес-функции: *интерактивный* и *фиксированный*. Если функция приспособленности неизменна на всём протяжении применения эволюционных вычислений, то подход к её организации можно определить как *фиксированный*, изначально определяющий точку, к которой стремятся генетические преобразования. В случае модификации фитнес-функции в процессе исполнения такой подход можно обозначить как *интерактивный*, поскольку здесь налицо все ключевые признаки интерактивной музыки как явления [1]. Хотя фиксированный и интерактивный подходы чаще применяются в различных исполнительских и композиторских ситуациях, методы формирования самой функции у них общие. В крупном плане можно выделить три таких метода: *оценочный*, *обучающийся* и *нормативный*.

Суть *оценочного метода* (также именуемого в литературе *методом художественного выбора* и *методом интерактивной эволюции* – см.: [14, р. 5]) состоит в том, что музыкальное качество возникающих генетических изменений определяет сам слушатель (он же, как правило, композитор и/или исполнитель). Этот метод выглядит весьма привлекательным, поскольку возлагает основную нагрузку на музыканта, а не на алгоритмическую модель (ведь формализация музыкальных процессов является наиболее сложным компонентом эволюционного моделирования). Встречаются также случаи коллективной оценки музыкального результата генетических трансформаций [15], которые, в силу известной быстротечности музыкального процесса, проще применять в не-интерактивных ситуациях (особенно с учётом того, что оценивание должно проходить «за кадром»). Очевидно, слушатели вряд ли смогут соотносить то, что звучит в настоящий момент, с тем, что будет звучать, – в этом, в частности, состоит одно из качеств профессионального исполнителя/композитора, но не аудитории в целом.

Сам процесс оценивания выглядит достаточно тривиально: эксперт «голосует» за понравившееся ему решение – либо по схеме «да/нет», либо выставляя баллы по заранее определённой шкале. В первом случае метод применим в любой ситуации, во втором – как правило, не-интерактивно. Так, в программе *GenJam* эксперт нажимает одну клавишу для подтверждения «пригодности» прозвучавшей джазовой фразы, другую – для указания на музыкальную «непригодность» сгенерированной мелодии. Результирующая фитнес-функция далее определяется как значение «принятых» соло минус значение «непринятых» [3].

При использовании оценочного метода существуют две основные проблемы. Первая связана с конфликтом между скоростью экспертной оценки и требованиями музыкального процесса к непрерывности, слаженности, ритмичности (в зависимости от стиля). Как правило, для формирования фитнес-функции путём анализа текущего результата, эксперту необходимо просмотреть/прослушать большую часть «особей» популяции (т. е. ритмических и мелодических структур), делая это снова и снова по мере создания новых популяций. По сути, в данной ситуации возникает объективная необходимость в серьёзном ограничении и количества особей, и количества эпох. Время как часть музыкального процесса, таким образом, является своего рода «узким местом» оценочной функции [3], сильно сужая область её возможного применения и значительно увеличивая требования к профессионализму эксперта. Вторая проблема связана с субъективизмом оценивания, ведь эксперт заведомо основывает свой отбор на личных пристрастиях, вкусах, понимании стилистики и т. п. Отчасти вопрос может быть решен привлечением группы экспертов, однако и здесь возможно столкновение «оценок» в силу различного музыкального образования, возраста, настроения, уровня заинтересованности. Кроме того, подобный «много-экспертный» подход не приближает нас к пониманию внутренних музыкальных процессов, будучи малоэффективным в научных исследованиях.

В случае применения *нормативного метода* функция приспособленности основывается на определённых, чётко зафиксированных правилах музыкальной теории либо в своей основе содержит фрагменты существующих музыкальных произведений. В последнем случае суть генетических трансформаций сводится к движению к музыкально осмысленной цели. Однако в простейших случаях, без дополнительной корректировки, у отображенных

«особей» многих поколений будут обнаруживаться те или иные – ритмические, ладовые и т. п. – генетические «дефекты».

Иной подход состоит в формализации правил музыкальной теории с целью создания на их основе алгоритма, который и составит фитнес-функцию. С одной стороны, здесь мы избегаем основных проблем оценочного метода – субъективности и временной ограниченности, – однако, с другой стороны, встаём на путь гораздо более сложный с точки зрения достижения значимого музыкального результата. Очевидно, общий эмпирический характер музыкального искусства (как и искусства в целом) является ключевой преградой на пути подобной «алгоритмизации». Конечно, ряд музыкальных правил может быть весьма легко описан математически, однако этого не скажешь о музыке вообще. Впрочем, существует ряд стилевых направлений (например, отдельные разновидности джаза), которые характеризуются относительно простой организацией основных слагаемых стиля, что позволяет уже сегодня применять эволюционные модели в музыкальном творчестве [3; 16]. «Узкое место» нормативного метода также состоит в его, в буквальном смысле, узкой нише творчества, которой фитнес-функция способна придерживаться. Попытка использования различных стилевых «алгоритмов» внутри одной функции приспособленности неизбежно приведет к существенному ухудшению итогового звукового результата.

Учитывая недостатки оценочного метода (временная ограниченность), равно как и нормативного (сложность формирования музыкально содержательного результата), некоторые исследователи обратились к активно развивающейся в последние десятилетия области научных разработок – системе искусственного интеллекта [12]. Используя различные подходы, например, машинное обучение или нейронные сети, исследователи в этой сфере, как уже отмечалось, добились заметного успеха: речь идёт о распознавании образов, управлении роботизированными устройствами и т. п. Естественно, апробированные в других сферах

алгоритмы оказалось возможным применить и для построения фитнес-функции. Точнее, не «построения», а «обучения» названной функции, обретающей навык сравнения, сопоставления и отбора тех закодированных в геномах фрагментов музыкального произведения, которые наилучшим образом подойдут для последующего музыкального материала. Одно из заметных преимуществ *обучающегося метода* над нормативным – требование к степени формализации (и вообще пониманию) музыкального процесса здесь значительно ниже, ведь фитнес-функция, в определённом смысле, обучается сама. Кроме того, в отличие от оценочного метода, обучающаяся фитнес-функция может раскрыть потенциал музыкального материала с творчески неожиданной стороны, тогда как выбор эксперта во многом предсказуем.

Еще одним немаловажным преимуществом обучающегося алгоритма является его большая гибкость в плане приспособления к различным музыкальным стилям, жанрам, формальным структурам. Однако и в данном методе достаточно своих «узких мест». Ключевая проблема состоит в том, что на данном этапе развития технологии используемая система искусственного интеллекта не в состоянии корректно проанализировать музыкальные данные, выделить главные слагаемые музыкального процесса, отграничить существенное от второстепенного. Другими словами, семантика и синтаксис музыкального языка, не говоря уже о скрытых творческих процессах, ставят непреодолимые на данный момент трудности для самообучающихся систем.

Последнее не означает бесполезность обучающегося метода, однако подчёркивает его ограниченность, его слабые места. Несомненно, для улучшения ситуации фитнес-функцию следует обучать, привлекая большое число музыкальных композиций, по мере необходимости «подсказывая» ей лучшие решения. Безусловно, машинное обучение и нейронные сети имеют большой потенциал и применительно к эволюционному моделированию, однако необходимо признать, что до сих пор художественно интересных результатов достигнуто не было.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красноскулов А. «Mobilis in mobile»: исполнитель в интерактивной музыке // Музыкант-исполнитель в пространстве мировой культуры: образование, творчество, управление карьерой: сб. ст. Ростов н/Д: РГК им. С. В. Рахманинова, 2011. С. 116–124.
2. Artificial Intelligence: An International Journal. URL: <http://www.journals.elsevier.com/artificial-intelligence>.
3. Biles J. GenJam: A Genetic Algorithm for Generating Jazz Solos // Proceedings of the International Computer Music

- Conference. San Francisco: ICMA Press, 1994. P. 131–137.
4. Dawkins R. *The Blind Watchmaker*. New York: W. W. Norton & Company, 1996. 368 p.
 5. Floreano D., Mattiussi C. *Bio-inspired Artificial Intelligence: Theories, Methods, and Technologies*. Cambridge (Massachusetts): MIT Press, 2008. 688 p.
 6. GenJam. URL: <http://games.rit.edu/~jabics/GenJam.html>.
 7. International Society for Artificial Life. URL: <http://www.alife.org>.
 8. Johanson B., Poli R. GP-Music: An Interactive Genetic Programming System for Music Generation with Automated Fitness Raters // *Genetic Programming: Proceedings of the 3rd Annual Conference*. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1998. P. 60–65.
 9. Machado P., Cardoso A. All the Truth about NEvAr // *Applied Intelligence*. 2002. Vol. 16. No. 2. P. 101–119.
 10. Manaris B., Machado P., and oth. Developing Fitness Functions for Pleasant Music: Zipf's Law and Interactive Evolution Systems. URL: <http://fmachado.dei.uc.pt/wp-content/papercite-data/pdf/mmm+05.pdf>.
 11. Manaris B., Roos P., and oth. A Corpus-Based Hybrid Approach to Music Analysis and Composition // *Proceedings of the 22nd National Conference on Artificial Intelligence*. Menlo Park (California): AAAI Press, 2007. P. 839–845.
 12. McCarthy J. What is Artificial Intelligence? URL: <http://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai/whatisai.html>.
 13. Minsky M., Laske O. A conversation with Marvin Minsky // *Artificial Intelligence Magazine*. 1992. No. 13. P. 31–45.
 14. Miranda E., Biles J. *Evolutionary Computer Music*. London: Springer, 2007. 259 p.
 15. Özcan E., Erçal T. A Genetic Algorithm for Generating Improvised Music // *Lecture Notes in Computer Science*. 2008. No. 4926. P. 266–277.
 16. Papadopoulos G., Wiggins G. A genetic algorithm for the generation of jazz melodies // *Proceedings of Suomen Tekoalytutkimuksen Paivat*. 1998. Vol. 98. P. 7–9.
 17. Picbreeder. URL: <http://picbreeder.org>.
 18. Sims K. Artificial Evolution for Computer Graphics // *Computer Graphics*. 1991. No. 25. P. 319–328.

REFERENCES

1. Krasnoskulov A. «Mobilis in mobile»: ispolnitel' v interaktivnoy muzyke [«Mobilis in Mobile»: Interactive Music Performer]. *Muzykant-ispolnitel' v prostanstve mirovoy kul'tury: obrazovanie, tvorchestvo, upravlenie kar'eroy: [Performer in World Cultural Space: Education, Creative Work, Career]: collected articles*. Rostov-on-Don: Rostov State S. Rachmaninov Conservatoire, 2011. P. 116–124.
2. *Artificial Intelligence: An International Journal*. URL: <http://www.journals.elsevier.com/artificial-intelligence>.
3. Biles J. GenJam: A Genetic Algorithm for Generating Jazz Solos. *Proceedings of the International Computer Music Conference*. San Francisco: ICMA Press, 1994. P. 131–137.
4. Dawkins R. *The Blind Watchmaker*. New York: W. W. Norton & Company, 1996. 368 p.
5. Floreano D., Mattiussi C. *Bio-inspired Artificial Intelligence: Theories, Methods, and Technologies*. Cambridge (Massachusetts): MIT Press, 2008. 688 p.
6. GenJam. URL: <http://games.rit.edu/~jabics/GenJam.html>.
7. International Society for Artificial Life. URL: <http://www.alife.org>.
8. Johanson B., Poli R. GP-Music: An Interactive Genetic Programming System for Music Generation with Automated Fitness Raters. *Genetic Programming: Proceedings of the Third Annual Conference*. 1998. P. 60–65.
9. Machado P., Cardoso A. All the Truth about NEvAr. *Applied Intelligence*. 2002. Vol. 16. No. 2. P. 101–119.
10. Manaris B., Machado P., and oth. Developing Fitness Functions for Pleasant Music: Zipf's Law and Interactive Evolution Systems. URL: <http://fmachado.dei.uc.pt/wp-content/papercite-data/pdf/mmm+05.pdf>.
11. Manaris B., Roos P., and oth. A Corpus-Based Hybrid Approach to Music Analysis and Composition. *Proceedings of the 22nd National conference on Artificial intelligence*. Menlo Park (California): AAAI Press, 2007. P. 839–845.
12. McCarthy J. What is Artificial Intelligence? URL: <http://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai/whatisai.html>.
13. Minsky M., Laske O. A Conversation with Marvin Minsky. *Artificial Intelligence Magazine*. 1992. No. 13. P. 31–45.
14. Miranda E., Biles J. *Evolutionary Computer Music*. London: Springer, 2007. 259 p.
15. Özcan E., Erçal T. A Genetic Algorithm for Generating Improvised Music. *Lecture Notes in Computer Science*. 2008. No. 4926. P. 266–277.
16. Papadopoulos G., Wiggins G. A Genetic Algorithm for the Generation of Jazz Melodies. *Proceedings of Suomen Tekoalytutkimuksen Paivat*. 1998. Vol. 98. P. 7–9.
17. Picbreeder. URL: <http://picbreeder.org>.
18. Sims K. Artificial Evolution for Computer Graphics. *Computer Graphics*. 1991. No. 25. P. 319–328.

•—————• ЭВОЛЮЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МУЗЫКИ: —————•
ПРИНЦИПЫ, ПОДХОДЫ, ПРОБЛЕМЫ

В публикуемой статье отмечено, что возникновение и развитие всех известных биологических систем становится возможным благодаря эволюционным процессам. Исходя из этого, устойчивость, гибкость и разнообразие видов многоуровневой организации, присущей упомянутым системам, служат мощным стимулом для использования принципов естественной эволюции в различных областях науки и художественного творчества. К примеру, в музыкальном искусстве применяются методы, характерные для биологической эволюции на генетическом уровне: скрещивание, мутация, отбор; основой для эволюционного моделирования музыки становится геном. Применительно к зародившемуся на рубеже XX–XXI столетий новому направлению музыкального творчества – эволюционной музыкальной композиции, независимо от выбранного способа работы с материалом, определение функции

приспособленности (фитнес-функции), позволяющей достигать художественно привлекательных или хотя бы стилистически корректных результатов, является сложной задачей. Для решения соответствующих проблем используются различные подходы – от интерактивного вычисления функции и методов машинного обучения до применения заранее определённых строгих правил. В настоящей статье, на основе анализа сильных и слабых сторон эволюционного моделирования музыки (сообразно сегодняшнему этапу развития технологий и музыкальной науки), предлагается типологическая характеристика методов формирования и структурной организации фитнес-функции.

Ключевые слова: интерактивная музыка, эволюционное моделирование, функция приспособленности, генетический алгоритм, генетическое программирование.

•—————• EVOLUTIONAL MODELLING OF MUSIC: —————•
PRINCIPLES, APPROACHES, PROBLEMS

In the published article it is mentioned that beginnings and development of all noted biological systems become feasible owing to evolution processes. Hence the robustness, flexibility and diversity of poly-level organization kinds which are inherent in the named systems are the great stimulus for using of natural evolution principles in different areas of science and artistic work. As example some methods typical for biological evolution on a genetic level, such as crossover, mutation and selection, are conformed to musical art; thus, the genome becomes the base of evolution modelling of music. As applied to a new direction of musical art (that was conceived on the boundary of the XX–XXIst centuries) – the evolutionary music composition, irrespective of the work with a ma-

terial ways, the definition of fitness function which favours to achieve the artistically inviting or even if stylistically correct results is a difficult problem. Different approaches have been used to resolve this problem: from interactive computation and machine learning to application of premeditated strict rules. This article is based on analysis of the advantages and disadvantages of evolutionary modelling of music according to the current stage of technologies and musicology development. The article presents a typological description of methods for construction of fitness function and its key structures.

Key words: interactive music, evolution modelling, fitness function, genetic algorithm, genetic programming.

Краснокулов Алексей Владимирович

кандидат искусствоведения, заведующий кафедрой музыкальной звукорежиссуры и информационных технологий, профессор кафедры специального фортепиано
Ростовская государственная консерватория им. С. В. Рахманинова
Россия, 344002, Ростов-на-Дону
e-mail: rostcons@yandex.ru

Krasnoskulov Alexey V.

PhD in Art Studies, Head of the Department of Sound Engineering and Information Technologies,
Professor at the Department of Special Piano
Rostov State S. Rachmaninov Conservatoire
Russia, 344002, Rostov-on-Don
e-mail: rostcons@yandex.ru