РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 872 769**(13) **C1**

(51) МПК
G06F 17/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G06F 17/00 (2026.05); G06F 17/00 (2026.05)

(21)(22) Заявка: **2025126691, 29.09.2025**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.09.2025

Дата регистрации:
27.10.2026

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **29.09.2025**

(45) Опубликовано: **27.10.2026** Бюл. № **30**

Адрес для переписки:
105005, Москва, вн.тер.г. Муниципальный округ Басманный, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Амелина Ксения Евгеньевна

(72) Автор(ы):
Вишневский Андрей Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **US 20060247995 A1, 02.11.2006. US 20190253441 A1, 15.08.2019. US 2024233696 A1, 11.07.2024. US 2007022866 A1, 01.02.2007.**

(54) СПОСОБ И СИСТЕМА МУЗЫКАЛЬНОЙ СОНИФИКАЦИИ ОЦЕНОК СОСТОЯНИЯ МОДУЛЕЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

(57) Реферат:

Изобретение относится к системам сонификации данных и, в частности, к системам и способам музыкальной сонификации данных, характеризующих работу систем искусственного интеллекта (ИИ). Суть изобретения заключается в реализации звукового кода, с помощью которого в ответ на принимаемые от сенсорной подсистемы сигналы о поведении ИИ аппаратная платформа генерирует достаточно информативные звуковые волны, чтобы пользователь мог найти причину неполадок. Пользователь системы сможет предугадать динамику данных, выраженную музыкой, не дослушивая известную ему мелодию до конца, за счёт использования общеизвестной музыки или знакомых пользователю звукозаписей, загруженных в систему самим пользователем, для автоматического создания схемы звукового кодирования, и, кроме того, за счёт использования большего числа распознанных параметров музыки и музыкальных образов сможет воспринять больше характеристик модуля ИИ. Также предложенная система сонификации предусматривает использование загруженных пользователем и хорошо знакомых ему звукозаписей, которые позволяют автоматически создавать схему звукового кодирования. Способ музыкальной сонификации оценок состояния модуля ИИ включает получение входных объектов данных из одного или более источников данных в форматах, пригодных для последующего извлечения характеристик из объектов данных; распознавание характеристик объектов данных, пригодных к музыкальной сонификации и к озвучиванию с помощью синтеза речи; автоматический подбор звукозаписи, соответствующей объектам данных, в ответ на получение данных, пригодных к музыкальной сонификации, причём звукозапись подбирается по похожести нотной записи распознанной мелодии, выявленным закономерностям в объектах данных и/или характеристикам процесса

RU 2872769 C1

RU 2872769 C1

их обработки, причём распознанные в звукозаписях мелодии содержат более трёх нот; генерацию звуковых волн путём воспроизведения звукозаписи, которая выбрана алгоритмически на основе хотя бы одного объекта данных, обрабатываемых модулем ИИ, или хотя бы одной характеристики процесса обработки входных объектов данных моделями машинного обучения внутри модуля ИИ. Технический результат заключается в обеспечении более точной и эффективной корректировки модулей ИИ. 2 н. и 8 з.п. ф-лы, 10 ил.



Рис. 1

RU 2872769 C1

RU 2872769 C1

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 872 769**(13) **C1**

(51) Int. Cl.
G06F 17/00 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC
G06F 17/00 (2026.05); G06F 17/00 (2026.05)

(21)(22) Application: **2025126691, 29.09.2025**

(24) Effective date for property rights:
29.09.2025

Registration date:
27.10.2026

Priority:
(22) Date of filing: **29.09.2025**

(45) Date of publication: **27.10.2026** Bull. № **30**

Mail address:
105005, Moskva, vn.ter.g. Munitsipalnyj okrug Basmannyj, ul. 2-ya Baumanskaya, 5, str. 1, MGTU im. N.E. Baumana, Amelina Kseniya Evgenevna

(72) Inventor(s):
Vishnevskii Andrei Sergeevich (RU)

(73) Proprietor(s):
Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniia «Moskovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet imeni N.E. Baumana (natsionalnyi issledovatelskii universitet)» (RU)

RU 2872769 C1

(54) METHOD AND SYSTEM FOR MUSICAL SONIFICATION OF ASSESSMENTS OF STATE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE MODULES

(57) Abstract:

FIELD: data sonification systems.

SUBSTANCE: data sonification systems, in particular, systems and methods for musical sonification of data characterizing the operation of artificial intelligence (AI) systems. Implementation of a sound code, with the help of which, in response to signals received from the sensor subsystem about the AI's behavior, the hardware platform generates sufficiently informative sound waves so that the user can find the cause of the problem. The system user will be able to predict the dynamics of data expressed by music without listening to the end of a familiar melody, by using well-known music or familiar sound recordings uploaded into the system by the user to automatically generate a sound coding scheme, and, in addition, by using a larger number of recognized music parameters and musical images, will be able to perceive more characteristics of the AI module. The proposed sonification system also provides for the use of user-uploaded and familiar sound recordings, which allow for the automatic creation of an audio coding scheme. A method for musical sonification of state estimates of an AI module includes receiving input data objects from one or more data sources in formats suitable for subsequent extraction of characteristics from the data objects; recognizing characteristics of data objects suitable for musical sonification and for sound production using speech synthesis; automatically selecting a sound recording corresponding to the data objects in response to receiving data suitable for musical sonification, wherein the sound recording is selected based on the similarity of the musical notation of the recognized melody, identified patterns in the data objects and/or characteristics of the process of their processing, wherein the melodies recognized in the sound recordings contain more than three notes; generating sound waves by playing a sound recording that is selected algorithmically based on at least one data object processed by the AI module, or at least one characteristic of the process of processing the input data objects by machine learning models within the AI module.

EFFECT: ensuring more precise and efficient adjustment of AI modules.

RU 2872769 C1

10 cl, 10 dwg

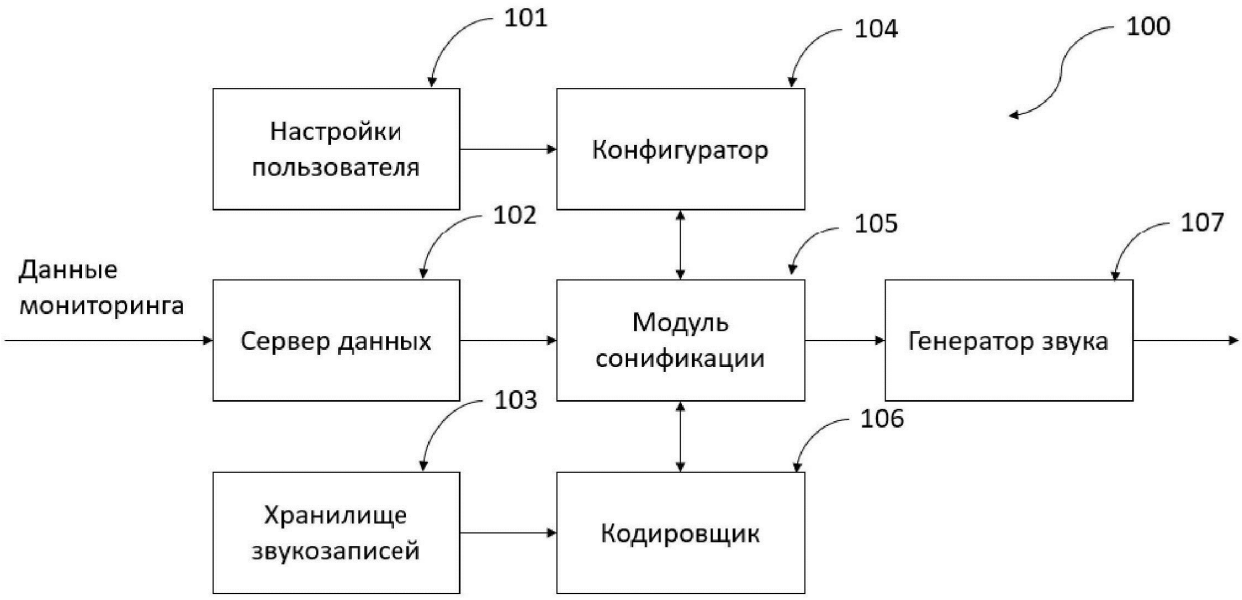


Рис. 1

RU 2872769 C1

RU 2872769 C1

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Изобретение относится к системам сонификации данных и, в частности, к системам и способам музыкальной сонификации данных, характеризующих работу модулей искусственного интеллекта (ИИ).

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Повсеместное распространение получили информационные системы, содержащие модули искусственного интеллекта (ИИ), способные за счёт применения технологий машинного обучения получать такие результаты, которые традиционно порождаются в процессе интеллектуальной творческой деятельности человека. Модули ИИ автоматически совершенствуют свое поведение на основе обработки массива обучающих данных.

Оценка состояния модуля ИИ заключается в проверке состояния процессов машинного обучения с целью выявления неполадок и отклонений от заданных метрик качества. Неполадками модулей ИИ являются нарушения работы программно-аппаратных решений, опирающихся на ИИ. Основным способом выявления неполадок является анализ обратной связи от пользователей модуля ИИ, мониторинг жалоб на неработоспособность, недоступность сервиса или снижение качества работы модуля ИИ.

В настоящее время под сонификацией понимается передача информации с помощью неречевых звуков. Существующие системы сонификации используются в транспортных средствах для озвучивания показаний датчиков, осуществляющих мониторинг неполадок транспортного средства. Сонификация в таких системах основана на коротких звуковых сигналах, которые помогают пользователям (пилотам, водителям) сориентироваться в условиях плохой видимости, например в случае задымления. Примерами реализации сонификации можно считать счётчик Гейгера, сонар, слуховой термометр, медицинские слуховые дисплеи, звуковые иконки в операционной системе. Но использование существующих слуховых дисплеев ограничено возможностями генерации звуковых сигналов, поскольку они не приспособлены к сложным структурам данных.

В изобретении «System and method for musical sonification of data» по патенту США US7511213 (опубл. March 31, 2009) предложен способ генерации музыки на основе данных, поступающих в режиме реального времени. В изобретении раскрыт способ кодирования входных данных на основе предопределенной схемы параметрами генерируемого звукового сигнала, а именно, тоном, громкостью, темпом, длительностями, тембром музыкальных инструментов, звуковыми эффектами, диссонансами, повторениями, аккордовыми последовательностями, стилем, задержками, отдельными нотами, мелодией, ритмом, гармонизацией. Предложенный синтезатор генерирует звук на основе образцов звучания музыкальных инструментов (скрипки, арфы, кларнета, ксилофона, и т. д.) либо с помощью частотной модуляции и генерации колебаний. Предусмотрена возможность сохранения музыкального фрагмента и проигрывания его на различной скорости. С помощью дискретной сонификации предложено озвучивать наблюдаемые события, в предложенной реализации пары из двух нот выражают изменение данных. С помощью непрерывной сонификации предложено озвучивать сходимость данных: потоки данных озвучиваются консонансами, пока данные не сойдутся, и диссонансом в момент, когда данные сошлись. Громкость при непрерывной сонификации выражает, что поток данных достиг заданного пользователем диапазона. Также в патенте предложено использовать многоголосную музыку для выражения отклонения данных от предсказаний модели анализа данных, которая предсказывает соотношения между заданными показателями:

воспроизводится одна музыкальная звукозапись, когда предсказания модели машинного обучения соответствуют регистрируемым данным, а в случае, когда не соответствуют варьируются её мелодия, гармония, оркестровка и ритм.

При таком подходе набор озвучиваемых параметров ограничен заданной схемой звукового кодирования, не предусмотрена возможность использования звукозаписей известных музыкальных произведений, по которым пользователь мог бы извлечь больше полезной информации, чем из синтезированного звука. Дополнительным недостатком работы с синтезированным звуком является повышенная утомляемость пользователей по сравнению с прослушиванием музыки.

В изобретении «Audio matching with semantic audio recognition and report generation» по патенту США US9183849 (опубл. Nov 10, 2015) предложены система анализа звуковых файлов и способ создания семантических сигнатур звукозаписи. Предусмотрено извлечение временных, спектральных, гармонических и ритмических характеристик звука. Теги используются для определения жанра, инструментовки, стиля, акустической динамики и эмоций, выраженных в звукозаписи. Под семантикой в патенте понимается информация, которую получают из временных, ритмических, гармонических, частотных, энергетических, амплитудных, спектральных характеристик звука (гистограмм и диапазонов частот, отклонения энергии, величины изменения диапазона частот, громкости, амплитуды, мощности), и выражающую жанр, музыкальные инструменты, стиль музыки, эмоции (в частности, радость, меланхолию, раздражение). Предусмотрено использование идентификаторов медиаконтента таких как, название альбома, название произведения, имя композитора, имя исполнителя, имя издателя, название лейбла. В изобретении предусмотрен набор сигнатур известных и распознаваемых эмоций, жанров, стилей для разметки музыки, и автоматизированного добавления тегов и аннотаций с помощью алгоритмов классификации, основанных на нейронных сетях, машине опорных векторов, скрытых Марковских моделях и моделях гауссовских смесей.

Предложенный в этом изобретении подход ограничен анализом звуковых файлов, не предназначен для сонификации каких-либо данных и не связан с извлечением мелодии, которая является одним из основных носителей информации в музыкальном произведении.

В изобретении «Singing voice separation method using melody extraction and voice synthesis technology» по патенту Китая CN110600055 (опубл. December 20, 2019) предложен способ извлечения мелодии из звукозаписи. Способ основан на машинном обучении и позволяет убрать звук аккомпанемента из звукозаписи. Предложенная система принимает на вход оцифрованную музыкальную звукозапись, рассчитывает её мел-частотные кепстральные коэффициенты, тренирует скрытую модель Маркова и возвращает звукозапись, в которой присутствует только мелодия, и нотную запись мелодии.

В этом изобретении не предусмотрено извлечение какой-либо информации о музыкальной звукозаписи кроме мелодии и не предусмотрено использование извлеченной мелодии для озвучивания каких-либо данных.

РАСКРЫТИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Предложена система озвучивания процесса работы модуля искусственного интеллекта (ИИ) с помощью структурированных звуков - музыки. Данное решение предназначено для создания слуховых дисплеев к техническим системам, имеющим в своем составе модуль ИИ, основанный на машинном обучении.

Суть предложенного изобретения заключается в реализации звукового кода, с помощью которого в ответ на принимаемые от сенсорной подсистемы сигналы о поведении модуля ИИ аппаратная платформа генерирует достаточно информативные

звуковые волны, чтобы пользователь мог найти причину неполадок.

В отличие от существующих средств сонификации данных (в том числе патентов-аналогов из раздела уровня техники) предложенное решение предусматривает, что пользователь системы сможет предугадать динамику данных, выраженную музыкой, не дослушивая известную ему мелодию до конца, за счёт использования общеизвестной музыки или знакомых пользователю звукозаписей, загруженных в систему самим пользователем, для автоматического создания схемы звукового кодирования, и кроме того, за счёт использования большего числа распознанных параметров музыки и музыкальных образов, сможет воспринять больше характеристик модуля ИИ.

В отличие от существующих слуховых дисплеев, использующих синтезаторы речи, музыкальные синтезаторы и коллекции коротких звуковых сигналов (звуковых иконок), предложенная система сонификации предусматривает использование загруженных пользователем и хорошо знакомых ему звукозаписей, которые позволяют автоматически создавать схему звукового кодирования. Музыкальные образы неявно запоминаются и распознаются всеми людьми (независимо от наличия музыкального слуха и образования) и эстетически легче воспринимаются, чем сигналы, воспроизводимые звуковыми синтезаторами. Способ озвучивания сопоставляет показатели качества работы моделей машинного обучения характеристикам музыкальных звукозаписей.

Предлагаемый способ музыкальной сонификации оценок состояния модуля ИИ включает:

получение входных объектов данных из одного или более источников данных в форматах, пригодных для последующего извлечения характеристик из объектов данных;

распознавание характеристик объектов данных, пригодных к музыкальной сонификации и к озвучиванию с помощью синтеза речи;

автоматический подбор звукозаписи, соответствующей объектам данных, в ответ на получение данных, пригодных к музыкальной сонификации, причём звукозапись подбирается по похожести нотной записи распознанной мелодии, выявленным закономерностям в объектах данных и/или характеристикам процесса их обработки, причём распознанные в звукозаписях мелодии содержат более трёх нот;

генерацию звуковых волн путём воспроизведения звукозаписи, которая выбрана алгоритмически на основе хотя бы одного объекта данных, обрабатываемых модулем ИИ, или хотя бы одной характеристики процесса обработки входных объектов данных моделями машинного обучения внутри модуля ИИ.

Мелодия преимущественно сопоставляется данным, усреднённым по заданным интервалам времени: по годам, по месяцам, по неделям, по дням, по часам, по минутам, по секундам и с более мелкой гранулярностью.

Также мелодия во входной звукозаписи преимущественно распознается с помощью заранее сохраненной нотной записи в машиночитаемом формате, пригодном к сопоставлению с временными рядами, выражающими входные объекты данных или характеристики их обработки. Или мелодия во входной звукозаписи может распознаваться с помощью заранее тренированной модели машинного обучения и переводиться в машиночитаемый формат, пригодный к сопоставлению с временными рядами, выражающими входные объекты данных или характеристики их обработки. Характеристики звукозаписи: название музыкальной композиции, год опубликования партитуры, имя композитора, имя исполнителя, имя издателя, год исполнения, географическая локация, связанная с созданием или исполнением музыкального произведения - сопоставляются метаинформации об источниках входных данных, содержанию входных объектов данных, характеристикам пользователей модуля ИИ

по заданной в файле настроек схеме сонификации.

Распознанная мелодия игры одного музыкального инструмента может быть сопоставлена изменению метрики качества модели машинного обучения: доле правильных ответов, точности, полноте, среднему гармоническому точности и полноты, функции потерь, функции выигрыша или любой другой метрике качества модуля ИИ. Или распознанная мелодия игры одного музыкального инструмента может быть сопоставлена показателям обработки входных объектов данных в единицу времени: количеству обработанных объектов данных, объему данных, количеству принятых данных от одного источника данных.

Распознанные последовательности нот, воспроизведенные несколькими музыкальными инструментами, могут быть сопоставлены активности нескольких источников данных или нескольким потокам обработки данных. Или распознанные последовательности нот, воспроизведенных несколькими музыкальными инструментами, могут быть сопоставлены нескольким метрикам качества модуля ИИ или одной и той же метрике качества нескольких моделей машинного обучения.

Воспроизводимые звуковым пользовательским интерфейсом музыкальные фрагменты могут подбираться автоматически из коллекции звукозаписей заранее сохраненных в базе данных. Или воспроизводимые звуковым пользовательским интерфейсом музыкальные фрагменты могут подбираться автоматически из загруженных пользователем звукозаписей. Пользователь системы ИИ может настраивать схему сонификации, модифицируя файл настроек системы.

Система музыкальной сонификации, в которой реализован способ музыкальной сонификации оценок состояния модуля ИИ, и состоит из электронных модулей: подсистемы сенсоров, вычислительной подсистемы, оцениваемого модуля искусственного интеллекта (ИИ) и подсистемы сонификации, которые расположены последовательно друг относительно друга, в таком случае подсистема сенсоров передает данные мониторинга вычислительной подсистеме на сервере данных, а вычислительная подсистема передает обработанные данные модулю ИИ, который в свою очередь запускает подсистему сонификации, содержащую модуль сонификации, звуковой кодировщик и генератор звука; две дополнительные подсистемы: конфигуратор пользовательских настроек и машиночитаемый носитель информации с хранилищем звукозаписей подключены к модулю сонификации параллельно для асинхронного выполнения своих функций, не дожидаясь завершения работы задач подсистемы сенсоров, вычислительной подсистемы и модуля ИИ.

Машиночитаемый носитель информации в системе музыкальной сонификации может содержать программные библиотеки, в которых алгоритмически реализован способ музыкальной сонификации оценки состояния модуля ИИ.

На машиночитаемом носителе информации в системе музыкальной сонификации звуковой пользовательский интерфейс может быть реализован в форме онлайн сервиса, доступного как со стационарных, так и с мобильных устройств, или в форме локального сервиса, принимающего и обрабатывающего команды, введенные пользователем с помощью клавиатуры для переключения режимов отображения и редактирования данных.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

На рисунке 1 показана общая схема предлагаемой сонифицированной системы 100.

На рисунке 2 показана функциональная схема 200 сонифицированной системы, которая озвучивает состояние модуля ИИ 203.

На рисунке 3 детализирована предложенная сонифицированная система оценки

состояния ИИ 300.

На рисунке 4 показана архитектура 400 программного модуля распознавания мелодии, который на выходе генерирует нотную запись мелодии, распознанной в поданной на вход звукозаписи.

На рисунке 5 показан алгоритм интерактивного взаимодействия звукового интерфейса с пользователем.

На рисунке 6 показан график изменения точности предсказаний модели машинного обучения с течением времени.

На рисунке 7 гистограмме с группировкой по источнику данных сопоставлена звукозапись оркестровой музыки.

На рисунке 8 показан пример музыкальной сонификации графика, приблизительно повторяющего график изменения метрик качества модели машинного обучения.

На рисунке 9 показан пример музыкальной сонификации графика, приблизительно повторяющего график функций выигрыша колесного робота в задачах пространственной навигации.

На рисунке 10 показан пример музыкальной сонификации графика, приблизительно повторяющего график эволюции физической кубитной системы.

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Приведенные схемы и рисунки дополняют следующее детальное описание предлагаемой технологии, показывая её отличительные особенности и сценарии использования.

На рисунке 1 показана общая схема предлагаемой системы 100. На схеме стрелками показаны интерфейс получения входных данных сервером данных 102, выходной звуковой пользовательский интерфейс, получающий звук с генератора 107 и модуль сонификации 105, который запускает кодирование входных данных 106 на основе пользовательских настроек 104. Схема сонификации, задается пользовательскими настройками 101. Выходной звук генерируется на основе звукозаписей, сохраненных пользователем в базе данных со звукозаписями 103.

На рисунке 2 показана функциональная схема сонифицированной системы 200, которая озвучивает состояние модуля ИИ 203. Модель машинного обучения 204, входящая в состав модуля ИИ 203, принимает на вход данные, приведенные в формат пригодный для анализа модулем предобработки данных 202 и управляющие команды от пользователя принятые модулем управления 201. Предсказания модели машинного обучения 204 структурируются и выдаются в виде отчёта модулем вывода 206. Текстовые и нетекстовые фрагменты отчёта озвучиваются звуковым пользовательским интерфейсом 207. Алгоритмы машинного обучения, процедуры создания итогового отчёта и звукового кодирования выполняются в вычислительной подсистеме 205.

На рисунке 3 детализирована предложенная сонифицированная система оценки состояния ИИ 300. Её аппаратная часть 301 принимает данные от сетевого адаптера 306, сохраняет в энергонезависимой памяти 307 и обрабатывает на центральном процессоре 303, графических ускорителях 304, тензорных процессорах 305 с использованием оперативной памяти 308. На низком уровне перечисленной выше аппаратурой управляет операционная система 309, средства виртуализации 310 и драйверы устройств 311. Подсистема сонификации 302 получает данные о состоянии модуля ИИ через набор программных инструментов разработчика 312. Полученные данные структурируются модулем предобработки данных 316, затем визуализируются модулем 320, озвучиваются модулем сонификации 319 на основе базы данных со звукозаписями 318 и модуля машинного обучения 315, задействованного в подборе

музыки для сонификации данных. Пользовательские команды распознаются и запускаются модулем управления 313 и сохраняются в журнал модулем 317 вместе с сообщениями о состоянии модуля 301.

Более детально модуль машинного обучения 315, кодирующий данные через звукозаписи, показан на рисунке 4. На рисунке 4 показана архитектура программного модуля распознавания мелодии 400, который на выходе генерирует нотную запись мелодии, распознанной в поданной на вход звукозаписи. Модуль извлечения характеристик 401 рассчитывает спектрограмму входной звукозаписи 403, его логарифмическую частотную спектрограмму 404, преобразование Фурье 405, автокорреляцию 406, накладывает звуковые фильтры 407, а затем полученные числовые значения передает на вход модуля машинного обучения 402. Обученные модели 410 распознают высоту тона музыки 408, наличие голоса в звукозаписи 412, наличие вокала и высоту голоса певца 413. Предсказания моделей корректируются детектором ложных срабатываний 411 и подаются в скрытую модель Маркова для формирования контура мелодии. Модуль постобработки 414 на основе предсказаний модуля машинного обучения 402 генерирует названия нот и звукозапись, в которой содержится мелодия и отфильтрован аккомпанемент. Под корреляцией здесь и далее понимается статистически выявляемая зависимость между показателями или параметрами, например, когда одна переменная увеличивается, другая уменьшается - или тоже увеличивается. Под автокорреляцией понимается функция, сопоставляющая корреляцию некоторой переменной и её запаздывающего значения с величиной этого запаздывания.

На рисунке 5 показан алгоритм интерактивного взаимодействия звукового интерфейса с пользователем. Команды, введённые пользователем с помощью клавиатуры, проверяются модулем управления 313 на наличие в списке допустимых и переводят работу системы в режим редактирования либо в режим отображения. В режиме редактирования пользователь может добавлять источники и объекты данных, отключать их, менять параметры моделей машинного обучения модуля ИИ 203, включать расчёт дополнительных метрик качества ИИ. В режиме отображения предложенная система с помощью синтезаторов речи озвучивает названия объектов данных и их текстовые свойства, а нетекстовые свойства озвучивает звукозаписями, мелодии которых распознаны модулем 400 и наиболее близки к графикам запрошенных пользователем метрик.

Существующие процедуры и системы, обнаруживающие ошибки и некорректную работу модуля ИИ 203 реализованы в виде программного обеспечения с графическим пользовательским интерфейсом, в котором значения метрик машинного обучения и их отклонение от требуемых показателей, статистика неполадок модуля ИИ 203 и другие характеристики работоспособности модуля ИИ отображаются на графиках, в таблицах и схемах.

Модуль ИИ 203 на основе корреляций в обучающих данных строит прогнозы, группирует и классифицирует объекты, принимает решения о выполнении действий. При такой автоматизации возникает вероятность неверных прогнозов и неверно принятых решений модулем ИИ. Человеческий надзор за модулем ИИ включает в себя анализ матрицы ошибок ИИ, которая содержит информацию о числе ложноположительных срабатываний, ложноотрицательных срабатываний, истинно положительных и истинно отрицательных результатов и включает рассчитанные на их основе метрики эффективности, такие как точность, полнота, доля правильных ответов и т.д.

Неработоспособное состояние модуля ИИ 203 возникает при появлении неполадок,

сбоев и неприемлемых погрешностей в результатах эксплуатации модели машинного обучения, которые делают невозможным или неэффективным использование ИИ-системы. Для поддержания работоспособности модуля ИИ 203 требуется замечать и исправлять неполадки в модуле предобработки данных 202, в моделях машинного обучения 204 и при интерпретации результатов в модуле вывода итогового отчёта 206. В существующих системах такие проверки выполняются визуально с помощью графических пользовательских интерфейсов и включают в себя обнаружение аномалий в поведении ИИ системы, обнаружение аномалий во входных данных, обнаружение смещения во входных данных, обнаружение сбоев в программных и аппаратных модулях вычислительной подсистемы 205, а также мониторинг метрик качества моделей машинного обучения 204. Под аномалией здесь и далее понимается отклонение поведения системы, её параметра или показателя работы от стандартного или ожидаемого.

В зависимости от предназначения модуля ИИ его состояние оценивают по различным метрикам. При оценке модуля ИИ 203 в качестве метрик качества классификации, как правило, используют количество и долю истинно положительных срабатываний, истинно отрицательных, ложно положительных и ложно отрицательных срабатываний, долю правильных ответов, точность, полноту, среднее гармоническое точности и полноты, зависимость верно классифицированных объектов положительного класса от ложно положительно классифицированных объектов негативного класса, и их обобщения на случай много-классовой классификации.

Предложенная сонифицированная система оценки состояния модуля ИИ 300 имеет в своем составе подсистему ввода команд пользователя 313, подсистему сонификации 302, вычислительную подсистему модуля ИИ 301 и программные интерфейсы доступа к информации о его состоянии 312.

При решении модулем ИИ 203 задач кластеризации в качестве метрик качества используют компактность кластеров, отделимость кластеров, индекс Данна, силуэт, индекс Дэвиса-Болдуина, однородность кластеров, полноту кластеров, энтропию, чистоту, меру количества информации, потерянной и полученной при переходе из одного кластера в другой и другие менее распространенные метрики.

Под энтропией здесь подразумевается величина, характеризующая степень неопределенности информации. Энтропию рассчитывают, как взятую с отрицательным знаком сумму вероятностей случайных величин, помноженных на логарифмы их вероятностей.

При решении задачи регрессии с помощью модуля ИИ 203 метриками качества являются: среднеквадратическая ошибка, корень из среднеквадратической ошибки, среднеквадратическая ошибка в процентах, средняя абсолютная ошибка, средняя абсолютная ошибка в процентах, симметричная средняя абсолютная ошибка в процентах, средняя абсолютная масштабированная ошибка, средняя относительная ошибка, среднеквадратическая логарифмическая ошибка, коэффициент детерминации R-квадрат, скорректированный коэффициент детерминации.

При оценке модуля ИИ 203 в задачах обучения с подкреплением метриками качества являются: дисперсия по времени, межквартильный диапазон, краткосрочный риск во времени, мера кратковременного риска, мера долговременного риска, дисперсия по запускам, риск по запускам, дисперсия по зафиксированным политикам принятия решений, риск по зафиксированным политикам принятия решений.

Ритм в музыке - это организация музыкальных звуков (тонов) во времени. Ритмическую структуру в музыке задают соотношения длительностей звучания нот и

пауз. Музыкальный ритм определяют как регулярную, периодическую последовательность акцентов, т.е. более интенсивных звуков по сравнению с другими. Технически ритм, а также связанные с ним значения метра и темпа музыки, можно определить путем считывания определенных полей данных из текстовых файлов, содержащих разметку нот музыкального произведения, либо распознать с помощью моделей машинного обучения 402, обученных на характеристиках 401, извлеченных из звукозаписей с известным ритмом. Программы для чтения текстовых файлов, содержащих разметку нот музыкального произведения, существуют для различных операционных систем, а программные библиотеки для их чтения разработаны как для компилируемых, так и для интерпретируемых языков программирования.

Интонация музыке - это организация музыкальных звуков по высоте тона. Восприятие музыкальных интонаций зависит от лада (упорядоченной интонационной системы), в котором написана музыка. В текстовых файлах, содержащих разметку нот музыкального произведения, лад содержится в заданных для этого полях данных. Интонацию музыки можно распознать с помощью моделей машинного обучения 402, обученных на характеристиках 401, извлеченных из размеченных звукозаписей с заранее известной высотой тона.

В гармонической или полифонической музыке по нотной записи можно проследить мелодические линии отдельных музыкальных инструментов, называемые голосами. Выраженный одним голосом ряд звуков, организованных ритмически и ладово-интонационно, называют мелодией. Музыкальное сопровождение мелодии называется аккомпанементом. В вокальной музыке под голосом подразумевают отдельные партии в хоре, ансамбле, оркестре. Отдельные голоса и мелодии можно извлечь из звукозаписи с помощью моделей машинного обучения 402, обученных на характеристиках 401, извлеченных из звукозаписей, в которых размечены мелодии и ноты игры каждого из инструментов.

Напряженное, не слитное одновременное звучание различных тонов называют диссонансом, а слитное, согласованное звучание - консонансом. Диссонансы и консонансы можно распознать автоматически с помощью моделей машинного обучения 402, обученных на характеристиках 401, извлеченных из размеченных звукозаписей.

Под тональностью в музыке понимают высотное положение лада, задаваемое основным тоном (тоникой) и ладовым наклонением (например, до мажор или ля минор). В текстовых файлах, содержащих разметку нот музыкального произведения, тональность можно определить по соответствующим полям данных. Тональность музыки можно определить автоматически с помощью моделей машинного обучения 402, обученных на характеристиках 401, извлеченных из размеченных звукозаписей с известной тональностью.

Существующие модели машинного обучения: машины опорных векторов, скрытые модели Маркова, и модели гауссовских смесей позволяют получить гармонические и ритмические характеристики музыки: ритмическую структуру, метр, темп музыки, интонации, мелодические линии отдельных музыкальных инструментов (или голоса), мелодию, аккомпанемент, наличие диссонансов и консонансов, - путем обработки спектрограмм звука 403, 406, расчёта высоты тона 404, обнаружения речи 405, применения автокорреляции 408 и звуковых фильтров к звуковому сигналу 407.

Для расчёта векторов характеристик, подаваемых на вход моделям машинного обучения, применяют: цифровое преобразование Фурье, и кратковременное преобразование Фурье - для получения спектральных характеристик, иррегулярности и гармоничности музыки, получения характеристик тембров, содержащихся в звуке;

дискретного косинусного преобразования - для получения мел-частотных кепстральных коэффициентов; спектрограмм - для определения лада музыки; гистограммы сильных долей - для распознавания периодов и ритма музыки; дискретное вейвлет-преобразование.

База данных со звукозаписями 318 может хранить необходимые сведения о размеченных музыкальных фрагментах в виде структурированного текста. Широко распространены ноты в формате текстовой разметки, и звукозаписи - в виде бинарных файлов. Модуль сонификации 319 содержит программные средства для работы с форматами музыкальных файлов и нотами.

Музыкальные звукозаписи могут быть сохранены в базе данных 318 в компьютерных файлах без сжатия, со сжатием без потерь или со сжатием с потерями. Модуль сонификации 319 содержит программные средства для работы с указанными выше форматами звукозаписей.

Подсистема сонификации 302 имеет возможность непрерывного озвучивания показателей надёжности модуля ИИ 301. Уведомления о сбоях генерируются на фоне звукозаписей из базы данных 318, выражающих непрерывные показатели надёжности и производительности, получаемые из набора программных инструментов разработчика 312: среднюю наработку на отказ (время работы до сбоя), среднее время между отказами (сбоями), средние значения точности и полноты модели машинного обучения, среднюю долю правильных ответов модуля ИИ, среднее количество обработанных объектов данных, среднее время обучения модели машинного обучения. Усредненные значения рассчитываются вычислительной подсистемой 310 за интервал времени, выбранный пользователем. Показатели непрерывного мониторинга кодируются автоматически вычисляемыми характеристиками музыки: наличием определенных тембров, количеством музыкальных инструментов, высотой тона, ритмом, темпом, интенсивностью и т.п. С помощью ввода с команд с клавиатуры, обработанных модулем управления 313, пользователь может изменить схему сонификации, сопоставив выбранной характеристике ИИ выбранное свойство музыки (например, "уровень риска - громкость" или "местоположение модуля ИИ - музыкальный инструмент").

Подсистема сонификации 302 хранит классификацию неполадок и уровни значимости каждой из неполадок, а также иерархию звукозаписей, упорядоченных по заданному пользователем параметру. Пользователь может выбрать один из двух режимов воспроизведения звуковых уведомлений: посредством музыки или речи.

Сенсорная подсистема 301 передает сигналы о неполадках со всех уровней, на которых работает модуль ИИ, а именно, сообщает о сбоях электропитания, сетевых неполадках, ошибках уровня операционной системы, неполадках на уровне прикладного программного обеспечения, отклонении метрик модели машинного обучения от заданных показателей, подключении и отключении источников данных, аномалиях во входных данных модуля ИИ, аномалиях в обратной связи от пользователей ИИ системы.

С помощью клавиатурного ввода, принимаемого модуля управления 313, пользователь может сопоставить любой обнаруженной неполадке и аномалии звукозапись, хранящуюся в базе данных 318.

Система воспроизведения звука 319 содержит средства воспроизведения звука с аппаратной платформы 301. В зависимости от комплектации звуковые волны генерируются в персональных наушниках, через внешний динамик.

Пользовательские настройки содержатся в файле настроек, формируемом модулем управления 313, и редактируемом вручную либо с помощью пользовательского интерфейса. Файл настроек формируется во время установки сонифицированной системы

300 и содержит выбранные пользователем параметры сонификации, например, путь к каталогу с коллекцией пользовательских звукозаписей, адрес базы данных со звукозаписями 318, пороговые значения громкости, диапазон озвучиваемых данных по умолчанию, предпочитаемый стиль музыки.

Схема сонификации в модуле 319 может быть выбрана из списка предустановленных схем сонификации. Различные схемы сонификации заранее составляются так, чтобы улучшить восприятие пользователем данных различных типов за счёт ассоциаций между определенными музыкальными характеристиками и категориями данных, получаемыми в ходе их предобработки в модуле 316.

Предложенная техническая система 300 содержит подсистему сенсоров 301, состоящую из устройств регистрирующих наличие и отсутствие электропитания у модуля ИИ, сетевой адаптер 306, проверяющую доступность модуля ИИ в компьютерной сети, подсистему ввода 313, состоящую из компьютерной клавиатуры, подсистему вывода 319, состоящую из персональных наушников или внешних динамиков, вычислительной платформы, содержащий процессор 303, графический ускоритель 304 или тензорный процессор 305 и модуль постоянной памяти 307, и сам модуль ИИ, реализованный в виде компьютерной программы в операционной системе 309 или в аппаратном виде. Модули предложенной технической системы могут быть соединены друг с другом соответствующими кабелями или средствами беспроводной связи.

При инициализации предложенной технической системы центральный процессор 303 считывает схему звукового кодирования из модуля постоянной памяти 307 и начинает циклически опрашивать подключенные сенсоры в ожидании срабатывания датчиков отказа и получения сигналов о статистике обработанных объектов данных. Модуль сонификации 319 генерирует звуковые волны, соответствующие нормальному состоянию модуля ИИ.

Сенсоры в подсистеме 301 могут являются устройствами, преобразующими регистрируемые показатели внешней среды в цифровые сигналы. В качестве сенсора может выступать программное обеспечение, передающее результаты своей работы на вход модулю ИИ.

При получении сигналов от сенсоров из подсистемы 301 центральный процессор 303 вычислительной подсистемы исполняет алгоритм обнаружения аномалий по методу ближайших соседей, с помощью машины опорных векторов, нейросети или любым другим программным методом обнаружения нестандартных объектов данных (отклонений объектов данных от среднего значения). При приеме вычислительной подсистемой объектов данных центральный процессор 303 рассчитывает и сохраняет показатели входных данных и кодирует их с помощью звуков по загруженной в оперативную память схеме сонификации в вычислительную подсистему.

В постоянной памяти 313 на аппаратной платформе сонифицированной системы оценки состояния ИИ хранятся коды команд, которые пользователь может ввести с клавиатуры для вызова функций вычислительной подсистемы.

После приема команды с клавиатуры модуль управления 313 выполняет подпрограмму на центральном процессоре 303 в соответствии с машиночитаемыми инструкциями, хранящимися в исполняемом файле сонифицированной программы 319. Это могут быть команды по перенастройке схемы сонификации, по сохранению или восстановлению модели машинного обучения в модуле ИИ, по блокированию или разблокированию источника данных или объекта данных.

Предложенное решение 300 представляет собой систему компьютерных программ,

принимающую на вход нажатия клавиш клавиатуры, и возвращающую на выходе звуковые волны. В систему программных модулей 300 входят модуль управления 313, подсистема мониторинга модуля ИИ 314, подсистема выбора объектов для озвучивания, набор программных инструментов разработчика 312, и подсистема воспроизведения звука 319.

Для оценки состояния и отладки модуля ИИ на слух модуль сонификации 319 озвучивает тексты с помощью синтезаторов речи. В качестве синтезатора речи может быть использован как онлайн сервис генерации речи по тексту, так и один из синтезаторов речи с открытым исходным кодом. Каждый из упомянутых синтезаторов речи принимает на вход строку текста на одном из естественных языков и генерирует речевой сигнал, соответствующий входному тексту. Синтезаторы речи могут опираться на модели машинного обучения, входящие в состав модуля 315.

Для текстов на незнакомом пользователю естественном языке в предложенной сонифицированной системе назначена комбинация клавиш для перевода текста на другие естественные языки. В качестве программ компьютерного перевода, принимающего на вход текст, язык оригинала и требуемый язык могут быть использованы как онлайн сервисы, так и проекты с открытым исходным кодом. Перечисленные выше программные библиотеки принимают на вход текст на одном естественном языке, а возвращают текст на другом языке по запросу пользователя. Программные переводчики могут опираться на модели машинного обучения, входящие в состав модуля 315.

При наличии в тексте нечитаемых или непроизносимых символов модуль предобработки данных 316 с помощью регулярных выражений находит все произносимые (словарные) подстроки, соединяет их, а затем озвучивает с помощью синтезатора речи, который принимает на вход строку текста и генерирует на выходе соответствующий речевой сигнал, с возможным переводом на язык, заданный пользователем, путем вызова программных библиотек перевода текста с одного естественного языка на другой нажатием назначенной комбинации клавиш. Для извлечения текста могут быть использованы методы поиска по регулярным выражениям из стандартных библиотек существующих языков программирования.

Объекты данных, представляющие собой растровые изображения, модуль сонификации 319 озвучивает путем распознавания текста в модуле предобработки данных 316 и озвучивания меток классов распознанных на изображении объектов. Для распознавания текста могут использоваться компьютерные программы оптического анализа изображений с открытым исходным кодом. Получить названия распознанных на растровом изображении объектов можно с помощью компьютерных программ, в которых реализованы технологии компьютерного зрения и машинного обучения с открытым исходным кодом. Из распознанных текстов и названий распознанных объектов исключаются нечитаемые символы с помощью регулярных выражений, которые находят все произносимые (словарные) подстроки, соединяют их. Распознанные тексты затем озвучиваются с помощью синтезатора речи, с возможным переводом на язык, заданный пользователем. По требованию пользователя распознанные строки текста и названия распознанных графических объектов, которые были классифицированы программными средствами оптического анализа изображений, переводятся на заданный пользователем естественный язык.

Объекты данных, представляющие собой звукозаписи, модуль сонификации 319 воспроизводит непосредственно или путем распознавания текста по записи речи и его рубрицирования. Для непосредственного воспроизведения звука в предложенной

системе могут быть использованы программные проигрыватели с открытым исходным кодом. Распознавание текста в звуковых файлах в предложенной системе возможно с помощью компьютерных программ распознавания речи. Принадлежность текста к определенной теме в предложенной системе осуществляется с помощью компьютерных программ рубрикации текста с открытым исходным кодом. Распознанный текст или список рубрик, к которым он отнесен по итогам решения задачи классификации, озвучиваются пользователю с помощью синтезатора речи. Для переключения режима воспроизведения рубрики, распознанного текста и исходной звукозаписи в предложенной системе назначены отдельные клавиши.

Объекты видео данных в предложенной системе модуль сонификации 319 озвучивает путем их воспроизведения, путем озвучивания извлеченной звуковой дорожки с помощью компьютерных программ распознавания речи и дальнейшей рубрикации распознанного текста. Распознанный текст или список рубрик, к которым он отнесен по итогам решения задачи классификации, озвучиваются пользователю с помощью синтезатора речи. Изображения отдельных кадров озвучиваются путем распознавания текста программными библиотеками оптического анализа и озвучивания названий объектов, распознанных программными библиотеками компьютерного зрения. Из распознанных текстов и названий распознанных объектов исключаются нечитаемые символы, с помощью регулярных выражений. Полученные тексты озвучиваются с помощью речевых синтезаторов. По требованию пользователя распознанные строки текста и названия распознанных графических объектов переводятся на заданный пользователем естественный язык. Предложенная система извлекает звуковую дорожку и отдельные кадры из видеофайлов с помощью компьютерных программ кодирования и декодирования видео с открытым исходным кодом. Распознавание объектов на видео предложенная система выполняет с помощью компьютерных программ анализа видео с открытым исходным кодом. Специальные клавиши назначены для переключения перечисленных выше режимов озвучивания объектов видеоданных.

Объекты данных произвольного формата модуль сонификации 319 озвучивает по идентификатору объекта данных (в частности, по имени файла), по именам отправителя и получателя объекта данных, по имени автора изменений в объекте данных, по дате создания и получения объекта данных, по размеру объекта данных в байтах и по другой метаинформации, т.е. по сведениям об объекте данных, не содержащимся в нем непосредственно.

Также для объектов данных произвольного формата модуль сонификации 319 при обработке определенной введённой пользователем команды модулем управления 313 озвучивает идентификаторы похожих объектов данных. Модуль машинного обучения 315 в предложенной системе применяет меры похожести из компьютерных программ анализа изображений, текстов и бинарных файлов. Модуль машинного обучения 315 вычисляет меру похожести данного объекта данных с другими объектами данных, сортирует объекты данных по убыванию либо возрастанию меры похожести и озвучивает идентификаторы или метаинформацию заданного количества наиболее похожих или наиболее непохожих объектов данных соответственно.

Для озвучивания качества решения модулем ИИ задач классификации модуль сонификации 319 воспроизводит музыку, в которой содержится столько голосов (мелодических линий отдельных музыкальных инструментов), сколько классов обнаружила модель машинного обучения в выборке данных, и тем большее количество диссонансов (напряженного, не слитного одновременного звучания различных тонов), чем больше пересекаются кластеры, состоящие из объектов различных классов. Модуль

машинного обучения 315 распознает количество голосов по нотам в машиночитаемым форматах (в виде структурированного текста, текстовой разметки, или в виде бинарных файлов) с помощью правил, написанных экспертами, с помощью подпрограмм, выделяющих голоса в нотной записи по высотному расстоянию между нотами, или с помощью кластеризации нот с использованием технологий машинного обучения, реализованных в модуле 315. Отношение количества диссонансов к консонансам (слитного, согласованного звучания) предложенная система вычисляет по нотной записи в известных компьютерных форматах путем применения созданных экспертами правил, подпрограмм, оценивающих количество диссонансов в одновременно или последовательно звучащих нотах, или путем решения задачи классификации сочетаний нот с использованием технологий машинного обучения в модуле 315.

В задаче классификации меру разделимости классов модуль машинного обучения 315 вычисляет с использованием площади под графиком зависимости объектов положительного класса, классифицированных верно, от ложно положительно классифицированных объектов негативного класса, а также среднего гармонического точности и полноты для задач бинарной классификации. Дополнительно разделимость классов оценивается с помощью критерия расщепления для моделей машинного обучения, состоящих из деревьев принятия решений. Для оценки разделимости классов в задачах классификации по нескольких классам для каждого из них модуль машинного обучения 315 оценивает его отделимость от всех остальных классов с помощью алгоритмов, реализованных в существующих библиотеках машинного обучения.

Количество голосов (мелодических линий) в нотной записи предложенная система 300 вычисляет по количеству специальных тегов в текстовых файлах, содержащих разметку нот музыкального произведения либо с помощью реализованных в модуле 315 компьютерных программ распознавания звучания музыкальных инструментов на основе машинного обучения.

Количество диссонансов (напряженного, не слитного одновременного звучания различных тонов) в музыке предложенная система 300 оценивает по нотной записи в бинарных файлах с нотами в машиночитаемых форматах (в виде структурированного текста, текстовой разметки, или в виде бинарных файлов), вычисляя количество пар нот, находящихся на заданных экспертами расстояниях друг от друга (например, диссонансы - большие и малые секунды, т.е. ноты с разницей в один или половину тона по высоте, большие и малые септимы, т.е. ноты с разницей в пять с половиной или пять тонов по высоте, и тритоны, т.е. ноты с разницей в три целых тона по высоте звучания). Хранящиеся в базе данных 318 музыкальные звукозаписи упорядочиваются по количеству найденных диссонансов, соответствующих им нотным записям.

Для озвучивания результатов классификации, предложенная система 300 сортирует выполненные задачи классификации по разделимости классов, рассчитанной по нескольких классам, для каждого из которых модуль машинного обучения 315 оценивает его отделимость от всех остальных классов с помощью алгоритмов, реализованных в существующих программных библиотеках машинного обучения, от наиболее разделимых к наименее разделимым и сопоставляет им музыкальные звукозаписи по соответствующим нотам от наиболее гармоничных (с наименьшим количеством диссонансов) до наименее гармоничных (наиболее диссонансным), рассчитываемых по нотной записи путем вычисления количества пар нот, находящихся на заданных экспертами расстояниях друг от друга (диссонансы - большие и малые секунды, т.е. ноты с разницей в один или половину тона по высоте, большие и малые септимы, т.е. ноты с разницей в пять с половиной или пять тонов по высоте, и тритоны, т.е. ноты с

разницей в три целых тона по высоте звучания).

Для озвучивания качества решения модулем ИИ задач регрессии модуль сонификации 319 воспроизводит музыку, в которой содержатся два голоса (мелодические линии), и тем большее количество диссонансов (напряженного, не слитное одновременного звучания различных тонов), чем меньше предсказанные значения коррелируют (совпадают) с реальными значениями, которые требуется предсказать и при этом с тем большим разнообразием (энтропией) нот мелодии, чем выше энтропия целевых значений, которые нужно предсказать, и с тем большим разнообразием (энтропией) нот аккомпанемента, чем выше энтропия предсказанных значений модулем ИИ.

Энтропию последовательностей предсказаний модели машинного обучения 204 в модуле ИИ 203 и энтропию реальных значений, которые от ИИ требуется предсказать, в предложенной системе рассчитывают программные библиотеки теоретико-информационного анализа с открытым исходным кодом. Корреляцию последовательности предсказаний модели машинного обучения 204 реальным значениям, которые требуется предсказать, предложенная система рассчитывает с помощью методов библиотек расчёта корреляции с открытым исходным кодом.

Энтропию последовательностей нот в мелодии музыки и в аккомпанементе в предложенной системе 200 рассчитывают программные библиотеки с открытым исходным кодом. Последовательности нот мелодии и аккомпанемента распознаются как последовательности нот отдельных голосов по элементам внутри специальных тегов в текстовых файлах, содержащих разметку нот музыкального произведения. Также возможна реализация распознавания последовательностей нот мелодии и аккомпанемента в музыкальной звукозаписи с помощью технологий машинного обучения, реализованных в модуле 315. Количество диссонансов в полученных последовательностях нот система вычисляет по количеству пар нот, находящихся на заданных экспертами расстояниях друг от друга (большие и малые секунды, т.е. ноты с разницей в один или половину тона по высоте, большие и малые септимы, т.е. ноты с разницей в пять с половиной или пять тонов по высоте, и тритоны, т.е. ноты с разницей в три целых тона по высоте звучания).

Для озвучивания результатов расчёта регрессии, предложенная система сортирует выполненные задачи регрессии по корреляции предсказаний требуемым значениям, и сопоставляет им музыкальные звукозаписи по соответствующим нотам от наиболее гармоничных (с наименьшим количеством диссонансов) до наименее гармоничных (наиболее диссонансных), вычисляя количество пар нот, находящихся на заданных экспертами расстояниях друг от друга (большие и малые секунды, большие и малые септимы и тритоны). Результаты с одинаковой корреляцией система сортирует по энтропии предсказаний и реальных значений и сопоставляет им музыкальные звукозаписи по соответствующим нотам от имеющих наименьшую энтропию до имеющих наибольшую энтропию, которую, в предложенной системе рассчитывают программные библиотеки теоретико-информационного анализа.

Для оценки состояния модуля ИИ, решающего задачи обучения с подкреплением модуль сонификации 319 воспроизводит музыку с долей диссонансов пропорциональной доле негативных откликов среды (наименьших выигрышей) на действия ИИ, с тем более разнообразной мелодией (с более высокой энтропией нот), чем выше энтропия откликов среды и с тем более разнообразным аккомпанементом (выше энтропия нот в голосе, сопровождающем мелодию) чем выше энтропия действий ИИ в задаче обучения с подкреплением.

В задачах обучения с подкреплением программный агент, реализованный в модуле

315, принимает решения на основе накопленного опыта и выполняет действия, которые предложенная система запоминает в журнале 317 вместе со значениями полученных выигрышей (откликов среды) и с характеристиками текущего состояния модуля ИИ. Энтропию действий, предпринятых модулем ИИ, также как и энтропию откликов среды (выигрышей агента) предложенная система рассчитывает с помощью программных библиотек с открытым исходным кодом.

Модуль сонификации 319 озвучивает последовательности принятых модулем ИИ действий с помощью музыкальных звукозаписей, с определенной энтропией мелодии и аккомпанемента. Энтропию мелодии и аккомпанемента предложенная система рассчитывает с помощью программных библиотек теоретико-информационного анализа. В качестве выигрышей может использоваться одна из метрик качества (точность и полнота в задачах классификации, функция потерь в задаче регрессии, одна из мер разделимости кластеров в задаче кластеризации и др.). Доступные звукозаписи упорядочиваются по доле диссонансов от наиболее диссонансных к наиболее консонансным, и им ставятся в соответствие наблюдаемые системой задачи обучения с подкреплением начиная с тех, в которых чаще наблюдались негативные отклики среды, и заканчивая теми, в которых преобладали положительные выигрыши. Дополнительно задачи обучения с подкреплением сортируются по убыванию энтропии действий агента (ИИ) и энтропии откликов среды (выигрышей); при равной доле положительных откликов среды, им ставятся в соответствие музыкальные звукозаписи отсортированные по убыванию энтропии нот мелодии и аккомпанемента.

Для непрерывного озвучивания динамически изменяющегося состояния модуля ИИ модуль сонификации 319 воспроизводит последовательности музыкальных фрагментов одинаковой тональности (высотного положения лада, заданного основным тоном и ладовым наклонением, например, до мажор или ля минор). Тональность музыки предложенная система определяет по определённым тегам в текстовых файлах, содержащих разметку нот музыкального произведения либо с помощью алгоритмов машинного обучения, реализованных в модуле 315. Музыкальные фрагменты разных тональностей воспроизводятся при переходе от озвучивания одного модуля ИИ к другому (другая модель машинного обучения, другая метрика качества, повышение детализации и т.п.), чтобы пользователь мог на слух распознать такой переход.

ПРИМЕРЫ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

ПРИМЕР 1

На рисунке 6 показан график изменения точности предсказаний модели машинного обучения с течением времени. Предполагается, что модель обучается на поступающих входных данных и точность её работы оценивается на размеченных данных. Графику сопоставлена музыкальная звукозапись, которая выражает динамику изменения точности модели через высоту тона и количество нот мелодии, звучащих в единицу времени. Чем больше прозвучало нот, тем сильнее изменилась точность модели ИИ. Чем выше тон звучащих нот, тем выше значение точности модели на графике.

ПРИМЕР 2

На рисунке 7 гистограмме с группировкой по источнику данных сопоставлена звукозапись оркестровой музыки. Гистограмма показывает скорость обработки объектов данных, приходящих из различных источников. Приходящие данные обрабатываются модулем ИИ. Показатели каждого из источников данных выражены характеристиками каждого из музыкальных инструментов оркестра, игра которого воспроизводится в звукозаписи. Наличие сыгранных инструментом нот показывает получение новых данных. Увеличение количества сыгранных нот и высоты тона,

соответствует повышению скорости получения данных от каждого конкретного источника данных.

ПРИМЕР 3

Предложенная система сонификации может быть использована в технологиях инклюзивного обучения, например, в средствах обеспечения возможности незрячим и слабовидящим людям самостоятельного использования персонального компьютера. Предложенная техническая система позволяет на слух с помощью ввода с клавиатуры управлять персональным компьютером, расширяя возможности популярных экранных считывателей. Уведомления о сбоях и аномалиях в работе модуля ИИ озвучиваются с помощью музыкальных фрагментов (записи музыкальных произведений, сыгранных на музыкальных инструментах), которые подбираются так, чтобы у пользователя возникала ассоциация с той неполадкой или аномалией, которую они выражают.

ПРИМЕР 4

На рисунке 8 показан пример музыкальной сонификации графика, приблизительно повторяющего график изменения метрик качества модели машинного обучения из научной статьи Nikolay O. Nikitin, Ilia Revin, Alexander Hvatov, Pavel Vychuzhanin, Anna V. Kalyuzhnaya. «Hybrid and Automated Machine Learning Approaches for Oil Fields Development: The Case Study of Volve Field, North Sea» (стр. 24). На графике слева красной линией показано изменение функции потерь на обучающей выборке, а синей линией - функция потерь на проверочных данных. На графике справа красной и синей линией показаны энтропия последовательности нот из клавира оперы «Садко» Н. А. Римского-Корсакова и клавира балета «Щелкунчик» П. И. Чайковского соответственно. Энтропия рассчитана по последовательности из первых 210 нот клавира. Поведение энтропии на графиках справа повторяет поведение функции потерь на графиках слева. Клавиры были считаны из текстовых файлов, содержащих разметку нот музыкального произведения. Предполагается, что на слух пользователь может распознать меру «однообразности» мелодии, которую характеризует рассчитанная энтропия.

ПРИМЕР 5

На рисунке 9 показан пример музыкальной сонификации графика, приблизительно повторяющего график функций выигрыша колесного робота в задачах пространственной навигации из научной статьи Aleksei Staroverov, Kirill Muravyev, Konstantin Yakovlev and Aleksandr I. Panov «Skill Fusion in Hybrid Robotic Framework for Visual Object Goal Navigation» (стр. 9). На графике слева синей и чёрной линиями показаны две различные функции выигрыша. На графике справа синей и чёрной линиями показаны энтропии последовательностей октав, к которым принадлежат ноты, из клавира увертюры к/ф «В поисках капитана Гранта» И.О. Дунаевского и увертюры из оперы «Князь Игорь» А.П. Бородина. Энтропия рассчитана по последовательности из первых 48 нот клавира с окном в 16 нот. Поведение энтропии на графиках справа повторяет поведение функции потерь на графиках слева. Клавиры были считаны из текстовых файлов, содержащих разметку нот музыкального произведения. Предполагается, что на слух пользователь может распознать меру «однообразности» мелодии, которую характеризует рассчитанная энтропия.

ПРИМЕР 6

На рисунке 10 показан пример музыкальной сонификации графика, приблизительно повторяющего графика эволюции физической кубитной системы из научной статьи I.A. Luchnikov, S.V. Vintskevich, D.A. Grigoriev, and S.N. Filippov «Machine Learning Non-Markovian Quantum Dynamics». 2020 (стр. 2). На графике справа красной и чёрной линиями показаны энтропии последовательностей октав, к которым принадлежат ноты, из

клавира «Мазурки» М. И. Глинки и клавира оперы «Борис Годунов» М. П. Мусоргского. Поведение энтропии на графиках справа повторяет поведение функций измерений физической системы σ(x) и σ(z) на графиках слева. Клавиры были считаны из текстовых файлов, содержащих разметку нот музыкального произведения. Предполагается, что на слух пользователь может распознать меру «однообразности» мелодии, которую характеризует рассчитанная энтропия.

ПРИМЕР 7

На маломощных вычислительных устройствах предложенная система может быть реализована с помощью компьютерных программ с открытым исходным кодом на компилируемом языке программирования C++. В качестве синтезатора речи может быть использованы написанные на C++ компьютерные программы Piper, RHVoice. В качестве программного переводчика, принимающего на вход текст, язык оригинала и требуемый язык может быть использована написанная на C++ компьютерная программа speech-to-speech-translator. Для распознавания текста может использоваться написанная на C++ программная библиотека с открытым исходным кодом Tesseract. Для воспроизведения аудио в предложенной системе могут быть использованы написанные на C++ программные аудиоплееры с открытым исходным кодом snapcast, musikcube. Распознавание текста в аудиофайлах в предложенной системе возможно с помощью написанных на C++ программных библиотек распознавания речи DeepSpeech, wav2letter. Рубрикация текста в предложенной системе может осуществляться на основе распознанного текста с помощью написанной на C++ программной библиотеки с открытым исходным кодом X-Transformer. Предложенная система может извлекать аудиодорожку из видеофайла с помощью написанной на C++ программной библиотеки с открытым исходным кодом FFmpeg. Предложенная система может извлекать отдельные кадры из видеофайлов с помощью написанной на C++ программной библиотеки с открытым исходным кодом OpenCV. Распознавание объектов на видео предложенная система может выполнять с помощью написанной на C++ программной библиотеки с открытым исходным кодом Yolo. Энтропию данных в предложенной системе может рассчитывать написанная на C++ программная библиотека с открытым исходным кодом infotheory. Корреляцию предложенная система может рассчитывать с помощью методов из написанной на C++ библиотеки с открытым исходным кодом vstat.

ПРИМЕР 8

На обычных персональных компьютерах, ноутбуках и вычислительных серверах предложенная система может быть реализована с помощью компьютерных программ с открытым исходным кодом на интерпретируемом языке программирования Python. В качестве синтезатора речи может быть использованы написанные на Python компьютерные программы pyttsx3, parrons. В качестве программного переводчика, принимающего на вход текст, язык оригинала и требуемый язык могут быть использованы написанные на Python компьютерные программы Argos Translate, Marian Machine Translation. Для распознавания текста могут использоваться написанные на Python программные библиотеки с открытым исходным кодом PaddleOCR, EasyOCR. Для воспроизведения аудио в предложенной системе могут быть использованы написанные на Python программные аудиоплееры с открытым исходным кодом Rainy, mpy3. Распознавание текста в аудиофайлах в предложенной системе возможно с помощью написанных на Python программных библиотек распознавания речи whisper, vosk. Рубрикация текста в предложенной системе может осуществляться на основе распознанного текста с помощью написанной на Python программной библиотеки с

открытым исходным кодом Ask2Transformers. Предложенная система может извлекать аудиодорожку из видеофайла с помощью написанной на Python программной библиотеки с открытым исходным кодом audio-extract. Предложенная система может извлекать отдельные кадры из видеофайлов с помощью написанной на Python программной библиотеки с открытым исходным кодом OpenCV. Распознавание объектов на видео предложенная система может выполнять с помощью написанной на Python программной библиотеки с открытым исходным кодом mmtracking. Энтропию данных в предложенной системе может рассчитывать написанная на Python программная библиотека с открытым исходным кодом NPEET. Корреляцию предложенная система может рассчитывать с помощью методов из написанной на Python библиотеки с открытым исходным кодом korr.

ПРИМЕР 9

В онлайн сервисах и приложениях для мобильных устройств предложенная система может быть реализована с помощью компьютерных программ с открытым исходным кодом на интерпретируемом языке программирования JavaScript, ориентированном на создание веб-приложений. В качестве синтезатора речи может быть использована написанная на JavaScript программная библиотека Web Speech API. В качестве программного переводчика, принимающего на вход текст, язык оригинала и требуемый язык может быть использована написанная на JavaScript компьютерная программа LibreTranslate. Для распознавания текста может использоваться написанная на JavaScript программная библиотека с открытым исходным кодом tesseract.js. Для воспроизведения аудио в предложенной системе могут быть использованы написанные на JavaScript программная библиотека с открытым исходным кодом Web Audio API и объекты HTMLAudioElement. Распознавание текста в аудиофайлах в предложенной системе возможно с помощью написанной на JavaScript программной библиотеки распознавания речи Web Speech API. Рубрикация текста в предложенной системе может осуществляться на основе распознанного текста с помощью написанной на JavaScript программной библиотеки с открытым исходным кодом FastText. Предложенная система может извлекать аудиодорожку из видеофайла с помощью написанной на JavaScript программной библиотеки с открытым исходным кодом Web Audio API. Предложенная система может извлекать отдельные кадры из видеофайлов с помощью написанной на JavaScript программной библиотеки с открытым исходным кодом video-to-frames. Распознавание объектов на видео предложенная система может выполнять с помощью написанной на JavaScript программной библиотеки с открытым исходным кодом DeepCamera. Энтропию данных в предложенной системе может рассчитывать написанная на JavaScript программная библиотека с открытым исходным кодом entropy.js. Корреляцию предложенная система может рассчитывать с помощью методов из написанной на JavaScript библиотеки с открытым исходным кодом calculate-correlation.

Цитируемые источники опубликованной информации:

ПАТЕНТЫ

US7511213, March 31, 2009, «System and method for musical sonification of data»

US9183849, Nov 10, 2015, «Audio matching with semantic audio recognition and report generation»

CN110600055, December 20, 2019, «Singing voice separation method using melody extraction and voice synthesis technology»

US11615331, March 28, 2023, «Explainable artificial intelligence»

US11954112, April 9, 2024, «Systems and methods for data processing and enterprise AI applications»

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Gurunath Reddy M, K. Sreenivasa Rao, Partha Pratim Das. «Melody extraction from polyphonic music by deep learning approaches. A review». 02/02/2022 (https://deepai.org/publication/melody-extraction-from-polyphonic-music-by-deep-learning-approaches-a-review)

Nikolay O. Nikitin, Ilia Revin, Alexander Hvatov, Pavel Vychuzhanin, Anna V. Kalyuzhnaya. «Hybrid and Automated Machine Learning Approaches for Oil Fields Development: The Case Study of Volve Field, North Sea». 2022-04-01 (https://colab.ws/articles/10.1016/j.cageo.2022.105061)

Staroverov A.; Muravyev K.; Yakovlev K.; Panov A.I. Skill Fusion in Hybrid Robotic Framework for Visual Object Goal Navigation // Robotics 2023, 12, 104. https://doi.org/10.3390/robotics12040104

I.A. Luchnikov, S.V. Vintskevich, D.A. Grigoriev and S.N. Filippov «Machine Learning Non-Markovian Quantum Dynamics». 2020, PHYSICAL REVIEW LETTERS DOI: 10.1103/PhysRevLett.124.140502

(57) Формула изобретения

1. Способ музыкальной сонификации оценок состояния модуля искусственного интеллекта (ИИ), включающий:

• получение входных объектов данных из одного или более источников данных в форматах, пригодных для последующего извлечения характеристик из объектов данных;

• распознавание характеристик объектов данных, пригодных к музыкальной сонификации и к озвучиванию с помощью синтеза речи;

• автоматический подбор звукозаписи, соответствующей объектам данных, в ответ на получение данных, пригодных к музыкальной сонификации, причём звукозапись подбирается по похожести нотной записи распознанной мелодии, выявленным закономерностям в объектах данных и/или характеристикам процесса их обработки, причём распознанные в звукозаписях мелодии содержат более трёх нот;

• генерацию звуковых волн путём воспроизведения звукозаписи, которая выбрана алгоритмически на основе хотя бы одного объекта данных, обрабатываемых модулем ИИ, или хотя бы одной характеристики процесса обработки входных объектов данных моделями машинного обучения внутри модуля ИИ.

2. Способ по п. 1, в котором мелодия сопоставляется данным, усреднённым по заданным интервалам времени: по годам, по месяцам, по неделям, по дням, по часам, по минутам, по секундам и с более мелкой гранулярностью.

3. Способ по п. 1, в котором мелодия во входной звукозаписи распознается с помощью заранее сохраненной нотной записи в машиночитаемом формате, пригодном к сопоставлению с временными рядами, выражающими входные объекты данных или характеристики их обработки, или в котором мелодия во входной звукозаписи распознается с помощью заранее тренированной модели машинного обучения и переводится в машиночитаемый формат, пригодный к сопоставлению с временными рядами, выражающими входные объекты данных или характеристики их обработки, или в котором характеристики звукозаписи: название музыкальной композиции, год опубликования партитуры, имя композитора, имя исполнителя, имя издателя, год исполнения, географическая локация, связанная с созданием или исполнением музыкального произведения - сопоставляются метаинформации об источниках входных данных, содержанию входных объектов данных, характеристикам пользователей модуля ИИ по заданной в файле настроек схеме сонификации.

4. Способ по п. 1, или 2, или 3, в котором распознанная мелодия игры одного

музыкального инструмента сопоставлена изменению метрики качества модели машинного обучения: доле правильных ответов, точности, полноте, среднему гармоническому точности и полноты, функции потерь, функции выигрыша или любой другой метрике качества модуля ИИ, или в котором распознанная мелодия игры одного музыкального инструмента сопоставлена показателям обработки входных объектов данных в единицу времени: количеству обработанных объектов данных, объему данных, количеству принятых данных от одного источника данных.

5. Способ по п. 1, или 2, или 3, в котором распознанные последовательности нот, воспроизведенные несколькими музыкальными инструментами, сопоставлены активности нескольких источников данных или нескольким потокам обработки данных, или в котором распознанные последовательности нот, воспроизведенных несколькими музыкальными инструментами, сопоставлены нескольким метрикам качества модуля ИИ или одной и той же метрике качества нескольких моделей машинного обучения.

6. Способ по п. 1, или 2, или 3, в котором воспроизводимые звуковым пользовательским интерфейсом музыкальные фрагменты подбираются автоматически из коллекции звукозаписей, заранее сохраненных администратором системы в базе данных, или из звукозаписей, загруженных пользователем системы.

7. Способ по п. 1, в котором пользователь системы ИИ настраивает схему сонификации, модифицируя файл настроек системы.

8. Система музыкальной сонификации, в которой реализован способ музыкальной сонификации оценок состояния модуля искусственного интеллекта (ИИ) по п. 1 и состоящая из электронных модулей: подсистемы сенсоров, вычислительной подсистемы, оцениваемого модуля ИИ и подсистемы сонификации, которые расположены последовательно относительно друг друга, с возможностью передачи данных мониторинга от подсистемы сенсоров к вычислительной подсистеме на сервер данных, дальнейшей передачи обработанных данных от вычислительной подсистемы к модулю ИИ, запуска модулем ИИ подсистемы сонификации, содержащей модуль сонификации, звуковой кодировщик и генератор звука; две дополнительные подсистемы: конфигуратор пользовательских настроек и машиночитаемый носитель информации с хранилищем звукозаписей - подключенные к модулю сонификации параллельно для асинхронного выполнения своих функций, без ожидания завершения работы подсистемы сенсоров, вычислительной подсистемы и модуля ИИ.

9. Система музыкальной сонификации по п. 8, в которой машиночитаемый носитель информации содержит программные библиотеки, в которых алгоритмически реализован способ музыкальной сонификации оценки состояния модуля ИИ по п. 1.

10. Система музыкальной сонификации по п. 8, в которой на машиночитаемом носителе информации звуковой пользовательский интерфейс реализован в форме онлайн сервиса, доступного как со стационарных, так и с мобильных устройств, или в форме локального сервиса, принимающего и обрабатывающего команды, введенные пользователем с помощью клавиатуры для переключения режимов отображения и редактирования данных.

1

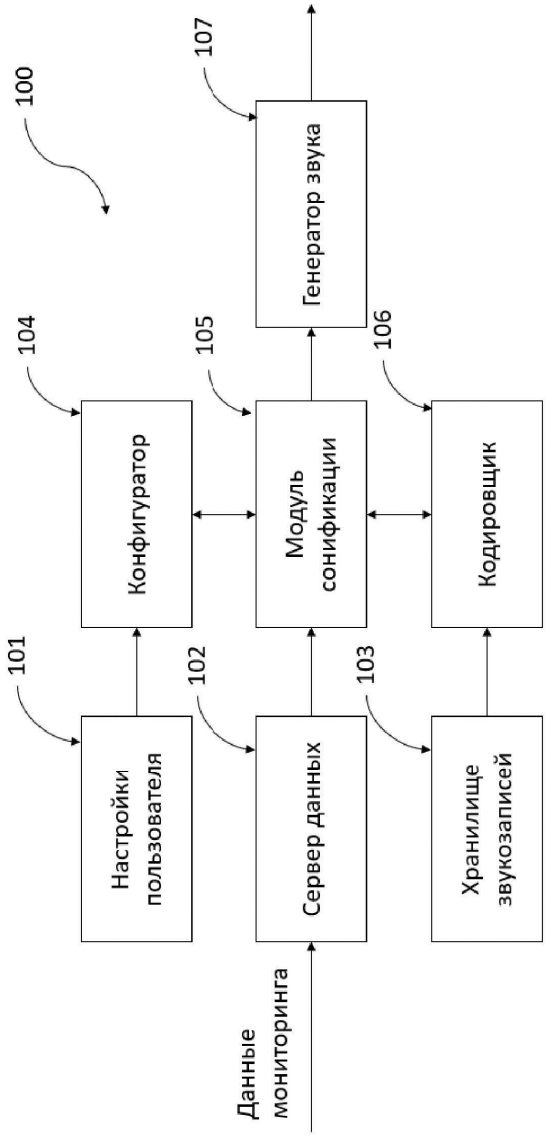

100
107
Генератор звука
104
105
106
Конфигуратор
Модуль сонификации
Кодировщик
101
102
103
Настройки пользователя
Сервер данных
Хранилище звукозаписей
Данные мониторинга

Рис. 1

2

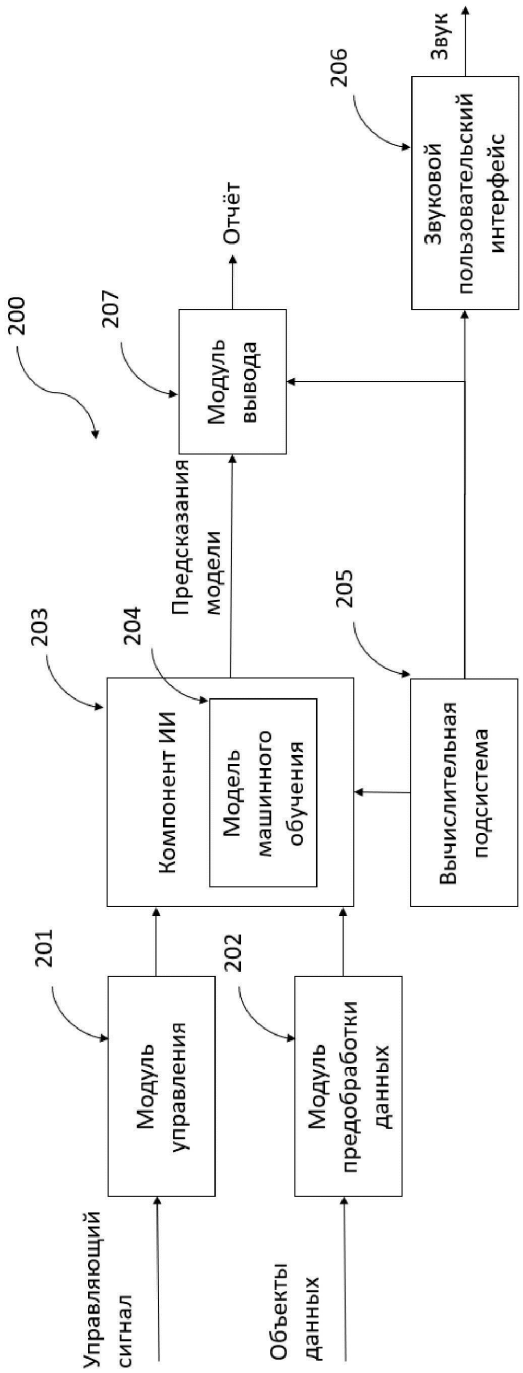

200
201
202
203
204
205
206
207
Управляющий сигнал
Объекты данных
Модуль управления
Модуль предобработки данных
Компонент ИИ
Модель машинного обучения
Вычислительная подсистема
Предсказания модели
Модуль вывода
Отчёт
Звуковой пользовательский интерфейс
Звук

Рис. 2

3

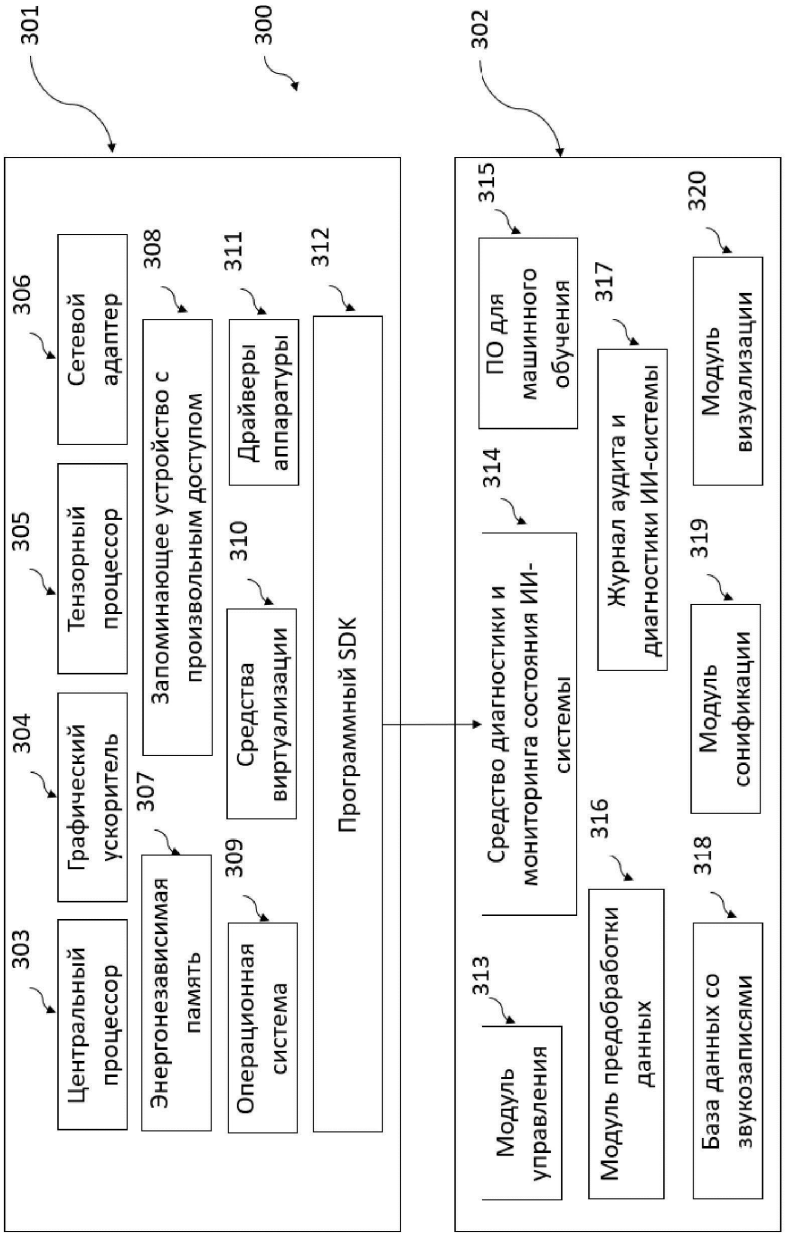

301
300
302
303
Центральный процессор
304
Графический ускоритель
305
Тензорный процессор
306
Сетевой адаптер
307
Энергонезависимая память
308
Запоминающее устройство с произвольным доступом
309
Операционная система
310
Средства виртуализации
311
Драйверы аппаратуры
312
Программный SDK
313
Модуль управления
314
Средство диагностики и мониторинга состояния ИИ-системы
315
ПО для машинного обучения
316
Модуль предобработки данных
317
Журнал аудита и диагностики ИИ-системы
318
База данных со звукозаписями
319
Модуль сонификации
320
Модуль визуализации

Рис. 3

4

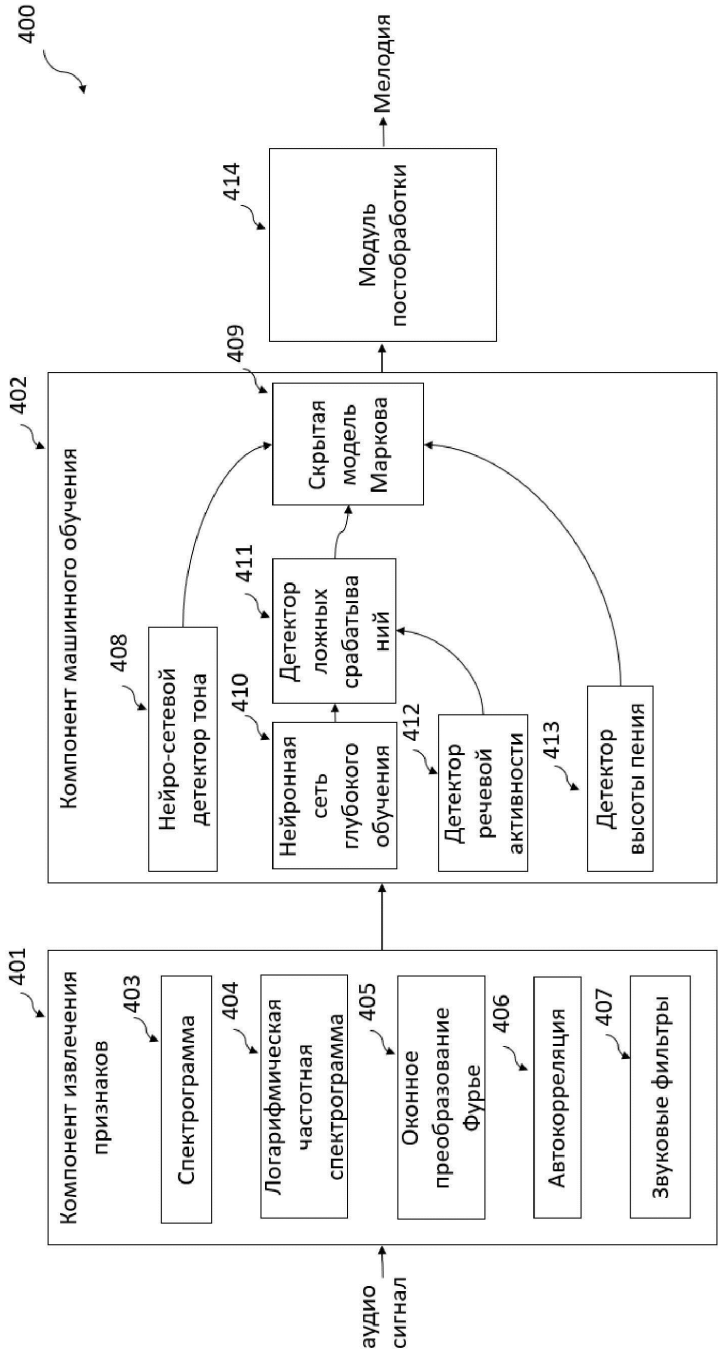

400
Мелодия
414
Модуль постобработки
409
402
Компонент машинного обучения
Скрытая модель Маркова
411
Детектор ложных срабатываний
408
Нейро-сетевой детектор тона
410
Нейронная сеть глубокого обучения
412
Детектор речевой активности
413
Детектор высоты пения
401
Компонент извлечения признаков
403
Спектрограмма
404
Логарифмическая частотная спектрограмма
405
Оконное преобразование Фурье
406
Автокорреляция
407
Звуковые фильтры
аудио сигнал

Рис. 4

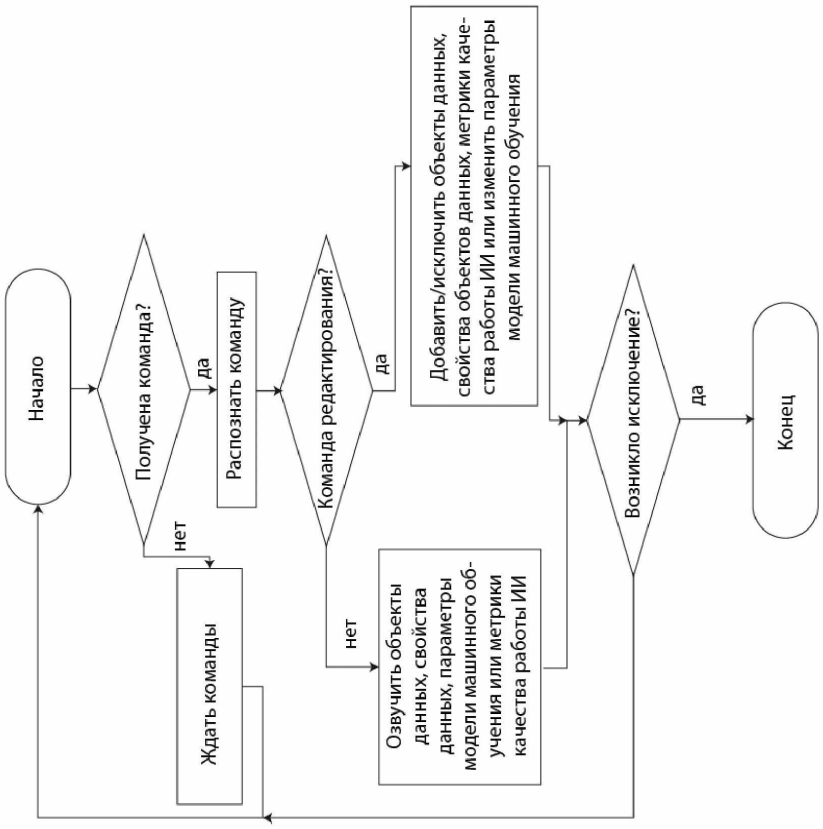

Начало
Получена команда?
да
нет
Распознать команду
Команда редактирования?
да
нет
Добавить/исключить объекты данных, свойства объектов данных, метрики качества работы ИИ или изменить параметры модели машинного обучения
Озвучить объекты данных, свойства данных, параметры модели машинного обучения или метрики качества работы ИИ
Ждать команды
Возникло исключение?
да
Конец

Рис. 5

6

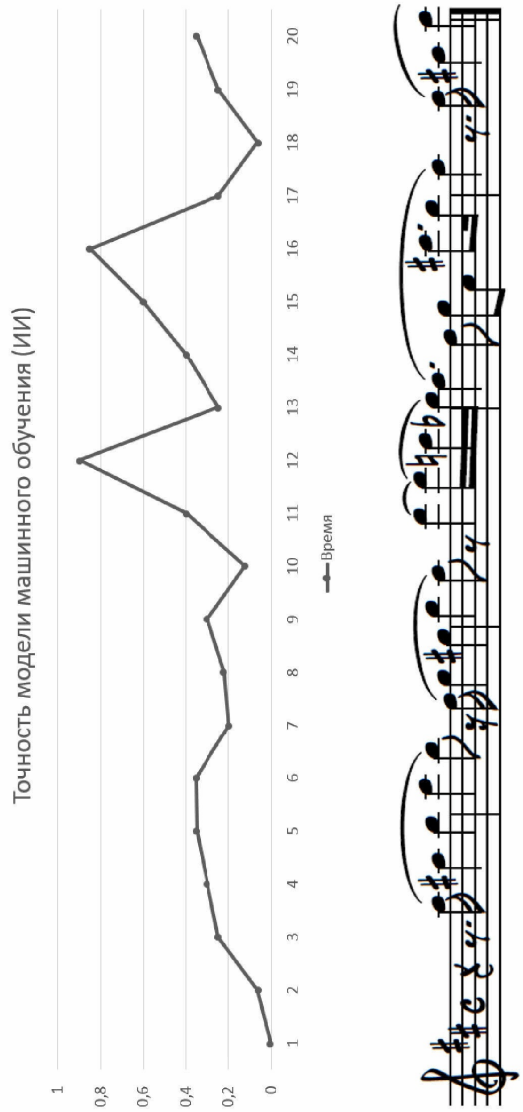
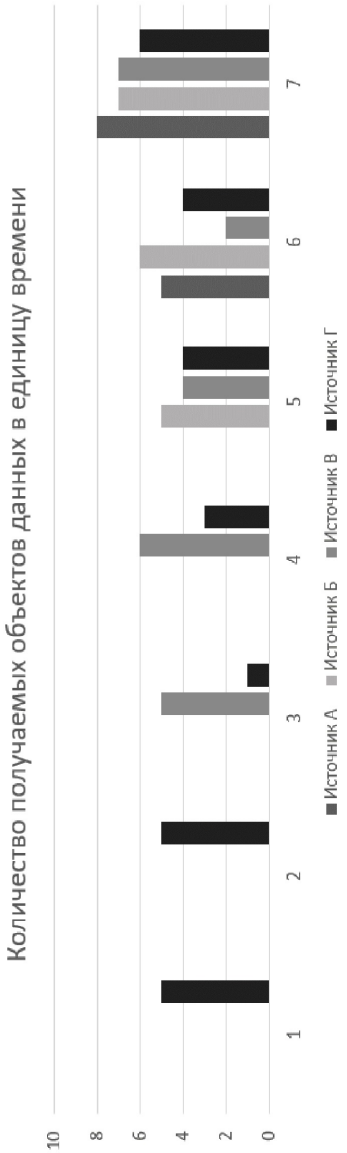

Точность модели машинного обучения (ИИ)
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
Время

Рис. 6

7


Количество получаемых объектов данных в единицу времени
10
8
6
4
2
0
1
2
3
4
5
6
7
Источник А
Источник Б
Источник В
Источник Г

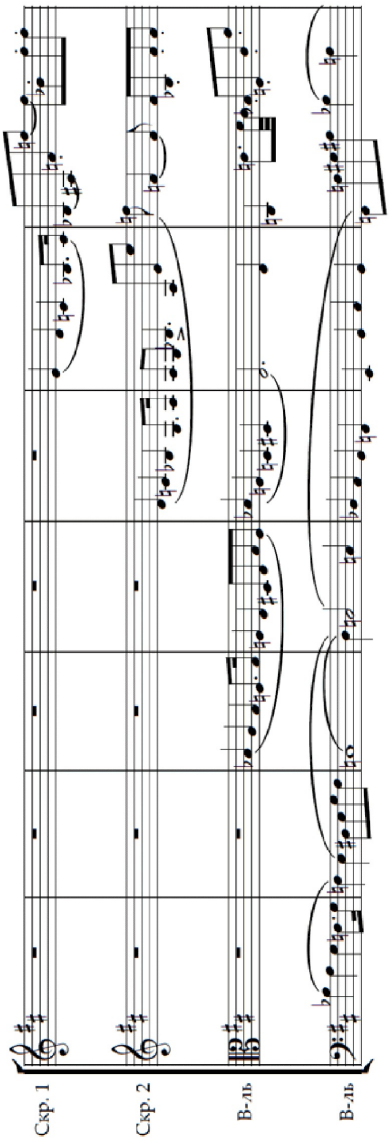

Скр. 1
Скр. 2
В-ль
В-ль

Рис. 7

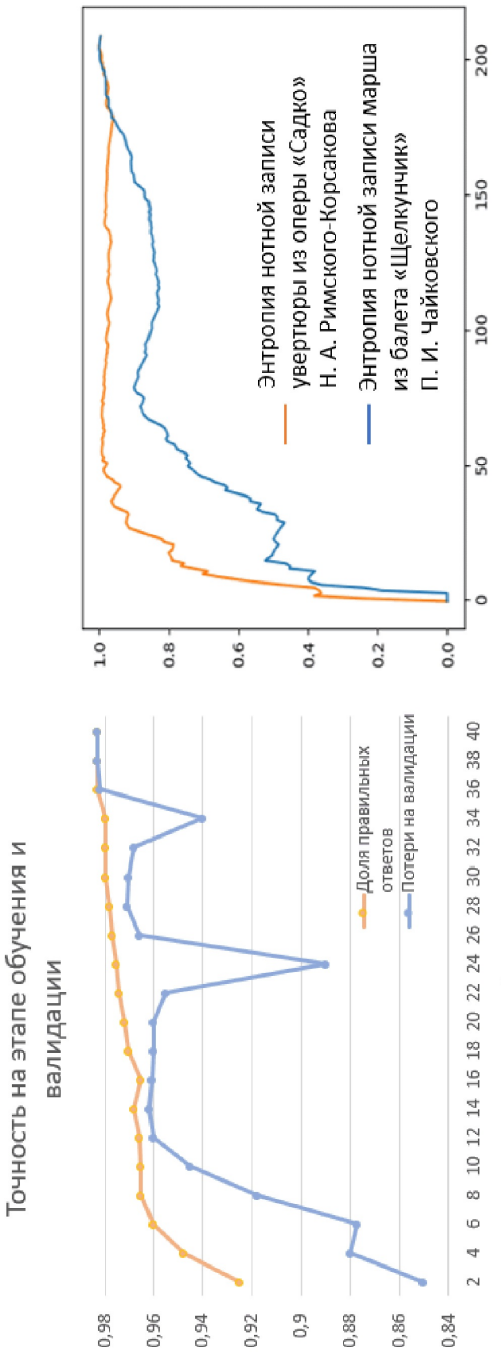

Энтропия нотной записи
увертюры из оперы «Садко»
Н. А. Римского-Корсакова
Энтропия нотной записи марша
из балета «Щелкунчик»
П. И. Чайковского
Точность на этапе обучения и валидации
Доля правильных ответов
Потери на валидации
Эпоха обучения

Рис. 8

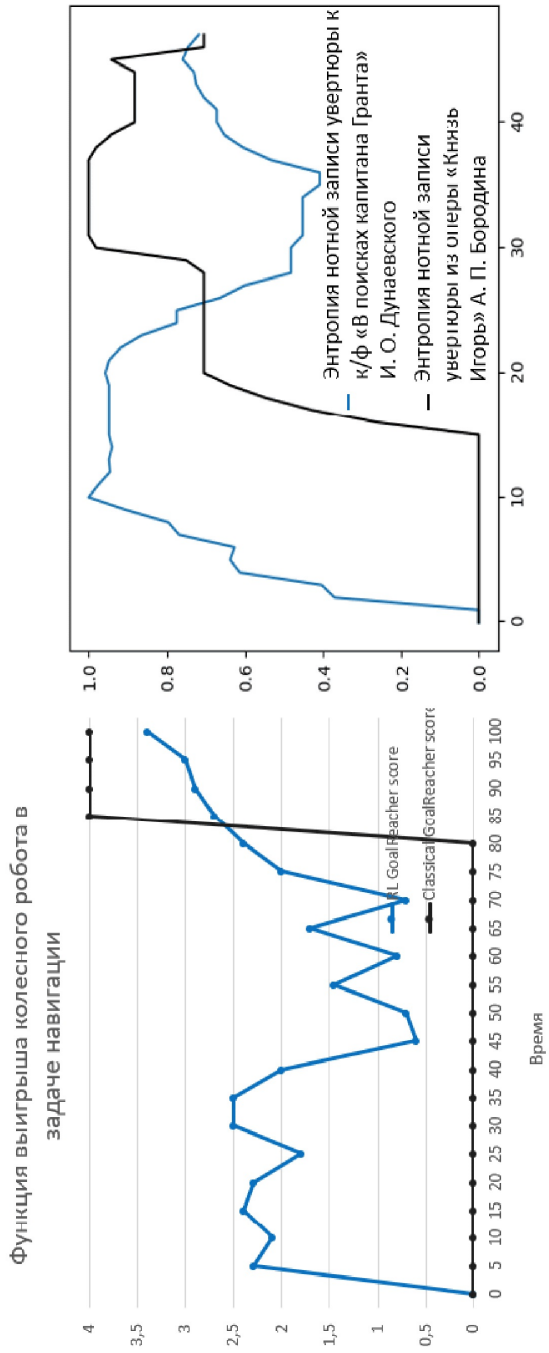

Энтропия нотной записи увертюры к
к/ф «В поисках капитана Гранта»
И. О. Дунаевского
Энтропия нотной записи
увертюры из оперы «Князь
Игорь» А. П. Бородина
Функция выигрыша колесного робота в
задаче навигации
Время
GoalReacher score
ClassicalGoalReacher score

Рис. 9

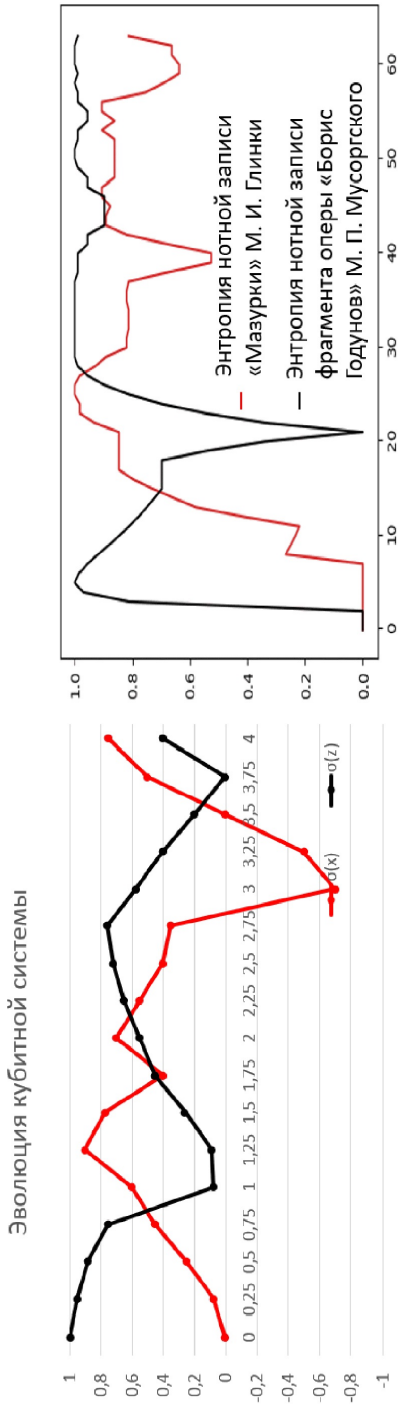

Энтропия нотной записи
«Мазурки» М. И. Глинки
Энтропия нотной записи
фрагмента оперы «Борис
Годунов» М. П. Мусоргского
Эволюция кубитной системы
σ(x)
σ(z)
Время

Рис. 10