

УДК 004.6

DOI:[10.26102/2310-6018/2019.27.4.019](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2019.27.4.019)

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ РЕПОЗИТОРИЯ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ДАННЫХ

О.А. Белякова¹, П.Н. Махнин², С.В. Сапегин³

¹ООО «ЮНИМЕД», Набережные Челны, республика Татарстан,
Российская Федерация

²ОЧУ ДПО «Московская высшая школа инженеринга», Москва, Российская Федерация

³Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация

³e-mail: sapegin@sc.vsu.ru

Резюме: В статье рассматриваются основные особенности проектирования и разработки платформенного решения для организации исследовательской работы, основанной на мультимодальных данных. В условиях кратного увеличения исследовательских данных, собираемых в экспериментах из различных источников, а также повышения интереса к проведению междисциплинарных исследований в последние годы стало актуальным развитие средств, осуществляющих сбор, хранение и обработку мультимодальных данных. При этом, в качестве изначального источника данных рассматривается коммуникативный процесс, включающий в себя аудио-, видео-, семантическую модальность, а также модальности, получаемые от различных датчиков. На основе проведенного исследования в статье сформулированы требования к репозиторию, а также предложена модель его архитектуры. Рассмотрены особенности цифрового представления мультимодальных данных в виде линейной комбинации модальностей, представлен подход к реализации и развитию репозитория, базирующийся на принципах микросервисной архитектуры. Реализуемая платформа предназначена для управления и совместной обработки данных в междисциплинарных коллективных исследованиях, в том числе с использованием удаленных рабочих мест. Построение архитектуры осуществлено с использования парадигмы реактивного взаимодействия компонентов системы, а также принципов асинхронного доступа.

Ключевые слова: мультимодальные данные, репозиторий, организация исследовательской работы, распределенная платформа, междисциплинарные исследования.

Для цитирования: Белякова О.А., Махнин П.Н., Сапегин С.В. Разработка архитектуры репозитория для хранения мультимодальных данных. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2019;7(4):1-10. https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/BelyakovaSoavtors_4_19_1.pdf DOI:10.26102/2310-6018/2019.27.4.019

DEVELOPMENT OF ARCHITECTURE OF REPOSITORY FOR STORING MULTIMODAL DATA

O.A. Belyakova¹, P.N. Makhnin², S.V. Sapegin³

¹ООО «UNIMED», Tatarstan, Russian Federation

²OChU DPO «Moscow Higher School of Engineering», Moscow, Russian Federation

³Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation

Abstract: The article discusses the main features of the design and development of a platform solution for the organization of research work based on multimodal data. In the context of a multiple increase in research data collected in experiments from various sources, as well as an increase in interest in conducting interdisciplinary research in recent years, the development of tools for collecting, storing and processing multimodal data has become urgent. At the same time, the communicative process,

which includes audio, video, semantic modality, as well as modalities received from various sensors, is considered as the initial data source. Based on the study, the article formulated the requirements for the repository, and also proposed a model of its architecture. The features of the digital presentation of multimodal data in the form of a linear combination of modalities are considered, an approach to the implementation and development of the repository based on the principles of microservice architecture is presented. The implemented platform is designed to manage and jointly process data in multidisciplinary collective research, including using remote workstations. The architecture was built using the paradigm of reactive interaction of system components, as well as the principles of asynchronous access.

Keywords: multimodal data, repository, research organization, distributed platform, interdisciplinary research.

For citation: Belyakova O.A., Makhnin P.N., Sapegin S.V. Development of architecture of repository for storing multimodal data. *Modeling, optimization and information technology*. 2019;7(4):1-10. Available by: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/BelyakovaSoavtors_4_19_1.pdf DOI:10.26102/2310-6018/2019.27.4.019 (In Russ.).

Введение

В условиях современных темпов развития цифровых технологий с каждым днем растет число устройств и комплексов, в непрерывном режиме формирующих поток информации, состоящий из нескольких модальностей (средств информационного описания объекта). Информация, получаемая таким образом, обычно предназначена для оперативного хранения, изучения, аналитической обработки с помощью различных инструментов и обеспечения принятия решений, как в реальном режиме времени, так и на основе некоторой временной перспективы. При этом, существенная часть подобной информации является нечетко определенными динамическими объектами, требующими либо ручной, либо полуавтоматической обработки с использованием алгоритмов ИИ. Обеспечение хранения таких мультимодальных данных в общем случае связано с решением целого класса задач, достаточно типичных для большинства схем аналитической обработки мультимодальной информации, поэтому разработка единого, унифицированного репозитория для хранения, обработки и использования мультимодальных данных является актуальной задачей на настоящий момент времени. Это подтверждается Указом президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» – «Основными направлениями повышения доступности и качества данных, необходимых для развития технологий искусственного интеллекта, в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации являются: а) разработка унифицированных и обновляемых методологий описания, сбора и разметки данных, а также механизма контроля за соблюдением указанных методологий; б) создание и развитие информационно-коммуникационной инфраструктуры для обеспечения доступа к наборам данных посредством: создания (модернизации) общедоступных платформ для хранения наборов данных, соответствующих методологиям описания, сбора и разметки данных...»

При этом, в качестве типового источника мультимодальных данных используется коммуникативный процесс, фиксируемый в рамках следующих каналов наблюдения: аудиозапись речи испытуемого, видеозапись сцены коммуникации и лица испытуемого (в т.ч. с нескольких точек), электроэнцефалография, пульсоксиметрия, электронейромиография, импедансометрия, пирометрия и др., а также данные, получаемые с подключенных датчиков. Кроме первичных сигналов, снимаемых с различных устройств, к временному ряду эксперимента могут быть привязаны данные, полученные с помощью различных методов обработки первичных сигналов.

Дополнительные данные обычно генерируются в ходе обработки исходных данных с помощью различных методов ручной, полуавтоматической и автоматической разметки, в том числе с использованием алгоритмов машинного обучения.

Материалы и методы

Рассмотрим подробнее задачу построения репозитория мультимодальных данных. Особенностью проекта является специализация на решении задач систематизированной обработки мультимодальных данных, собираемых в динамической среде, и акцент на организации совместной работы команд, занимающихся организационными и техническими аспектами сбора, обработки и анализа мультимодальных данных. Таким образом, набор прикладных сервисов репозитория должен содержать функциональность, обеспечивающую не только сбор данных в ходе различных экспериментов, но и импорт-экспорт данных и методик из одного эксперимента в другой, их воспроизводимость и быстрое комбинирование данных различных модальностей (от традиционного аудио- и видеоконтента, до биометрических данных). Помимо этого, в соответствии с требованиями, обусловленными предполагаемыми вариантами использования системы, на базе репозитория необходимо реализовать следующие возможности:

- наложение на таймлайн и синхронизация мультимодальных протоколов хранимых данных;
- расширение возможностей для эффективного воспроизведения методик и условий экспериментов, проведенных одними исследовательскими группами, в рамках работы других групп;
- фиксация и привязка дополняющих потоковых и разметочных наборов данных, например, рефлексии испытуемого либо анализирующего эксперта, к любому из первичных датасетов;
- интеграция и вторичное использование загруженных данных.

В целом, разрабатываемый сервис должен позволять фиксацию и анализ коммуникационных актов, как динамических объектов, в отличие от хранилищ датасетов, оперирующих статическими объектами. При этом количество модальностей в одном эксперименте не должно быть ограничено, необходима функциональность, реализующая пополнение модальностей за счет данных, получаемых в результате автоматической, полуавтоматической и ручной обработки данных, полученных в результате эксперимента (в том числе такими дополнительными треками могут быть корреляционные зависимости). Ключевые функции сервиса необходимо сгруппировать в следующих основных интерфейсах: интерфейс исследователя, интерфейс заказчика, интерфейс исполнителя. С точки зрения общей структуры проекта необходимо решить следующий набор задач:

1. Реализовать инфраструктуру решения, обеспечивающего сбор мультимодальных данных, обработку и поддержку принятия решений на основе методов ML, различных подходов к обработке, в том числе ИИ и т.д.
2. Предусмотреть открытую архитектуру и набор возможностей масштабирования решения на основе интеграции с другими системами.
3. Разработать структуру и состав программного средства, обладающего функциями управления и контроля бизнес-процесса в интересах его владельца.
4. Разработать проекты компонентов, формирующих экосистему для функционирования вышеупомянутых программных средств.
5. Разработать общую стратегию создания и компоновки интегрированной ИС.

Рассмотрим формальное представление мультимодального датасета, содержащего данные из различных источников. Пусть есть точка $x = f(z)$ в общем пространстве $z = \{z_1, \dots, z_v\}$, которую мы можем приблизительно представить в виде набора латентных переменных $\{x_1 \dots x_v\}$. При этом, x представляет собой набор хранимых значений какой-либо модальности, z – неизвестен и не может наблюдаться непосредственно, без преобразования f , характер которого в некоторых случаях неизвестен. Наиболее очевидной интерпретацией модели является получение как можно более точных оценок z и f при заданном x . В контексте мультимодальных наборов данных, которые генерируются сложными системами, обычно очень мало известно о базовых отношениях между модальностями, и взаимодействие между наборами данных и типами данных не всегда понятно. Поэтому, целесообразно делать наименьшее количество предположений и использовать для обработки самые простые модели как внутри, так и между модальностями.

В общем случае модель многомодального сигнала может быть представлена в виде матрицы

$$x = \sum_{r=1}^R a_r b_r \quad (1)$$

где R – количество модальностей сигнала, a_r, b_r – составляющие сигнала. В общем случае, модель может быть расширена до вида

$$x_{ij} = \sum_{r=1}^R a_{ir} b_{jr}, \quad (2)$$

где $i = 1 \dots I, j = 1 \dots J$, x является линейной комбинацией R сигналов из источника I с весами a . Если руководствоваться гипотезой $b_{jr} = b(t)$, где t – общий аргумент для элементарных функций, характеризующих мультимодальный датасет (для большинства исследуемых мультимодальных датасетов t – время), то, согласно теореме Котельникова, мультимодальные сигналы исследуемого характера можно подвергнуть дискретизации с частотой $2f$ при условии максимальной спектральной частоты f разложения Фурье для сигнала x . Таким образом, с технической точки зрения любой мультимодальный сигнал можно хранить в цифровом виде, как мультимодальный датасет, преобразованный из сигнала с частотой дискретизации $2f$. В общем случае частота дискретизации может выбираться, исходя из характера задачи, а также предполагаемого объема, предназначенного для хранения мультимодальных данных. Исходя из этого, практически любой мультимодальный датасет может быть представлен в цифровом виде на основе единого базиса с единой частотой дискретизации. Следует заметить, что в некоторых случаях частота дискретизации не будет иметь физического смысла (например, при хранении срезов данных); в иных случаях ее наличие будет использовано для синхронизации различных источников в рамках единого мультимодального датасета.

Рассмотрим основные типы датасетов, хранение которых целесообразно осуществлять в репозитории:

- Аналитические датасеты (набор показателей для анализа данных, с общей временной или иной шкалой);
- Экспериментальные датасеты (набор информации о каком-либо мероприятии, в т.ч. об эксперименте, с каналами мультимедиа-данных, с общей временной шкалой);
- Технические датасеты (набор информации с нескольких датчиков, на общей временной шкале);
- Частичные датасеты (датасеты, выделенные из других путем уменьшения количества модальностей);
- Комбинации вышеперечисленных наборов.

Исходя из этого, характер обрабатываемой и хранимой информации обуславливает следующий набор дополнительных требований к системе:

1. Необходимость удобной реализации «процессного» подхода – целостное управление отдельными процессами в интересах их владельца, включая анализ KPI и BSE.

2. Расширенные возможности доступа через WEB – от браузерных технологий до мобильных приложений

3. Необходимость обработки высокой нагрузки, которая связана и с количеством пользователей\поток запросов, и со скоростью обработки каждого, иногда – достаточно сложного запроса

4. Легкость интеграции и кастомизации систем и их компонентов как для обработки и анализа данных, так и для задач поддержки принятия решений.

Рассмотрим процесс построения общей структуры приложения. Процесс исследования данных можно представить, как последовательную смену состояний мультимодального сета, причем состояние – это агрегированный набор актуальных показателей, на основе которого возможно формирование какого-либо документа, среза данных, решения. Соответственно, в интеграционной среде в общем случае каждый показатель состояния может:

1. Быть зафиксирован для конкретного состояния
2. Храниться в БД приложения
3. Доставаться из интеграционного шлюза

Происхождение и текущее значение каждого показателя или датасета могут быть различны. Соответственно, для каждого набора данных можно посмотреть цепочку его участия в состояниях с указанием места хранения (изменения). Помимо этого, показатель может быть скопирован (создается новый показатель), возвращен обратно в базу и т. д.

Модули приложения, таким образом, решают задачи обработки датасетов: их расчета, изменения, сохранения, отображения, повышения и понижения модальности по иным причинам. Для организации структуры приложения целесообразно использовать принцип микросервисной архитектуры, в котором приложение декомпозировано в набор обособленных сервисов. Взаимодействие между сервисами может осуществляться как синхронно (на основе REST-вызовов), так и асинхронно (через какой-либо менеджер очередей).

Реализация

По результатам анализа для реализации был выбран следующий стек технологий:

- Python/Flask для написания экосистемных сервисов и backend-приложения;
- PostgreSQL для хранения реляционных и серийных данных (с плагином TimescaleDB);
- RabbitMQ для обмена управляющими сообщениями;
- Redis для кэширования данных при работе с пользователями;
- React/Redux для написания Frontend-приложений экосистемы.

Общая структура решения при этом состоит из следующих наборов компонентов (см. рис.1):

1. Frontend-компоненты, написанные с использованием React/Redux – являются точками входа для различных категорий пользователей репозитория.

2. Backend-компоненты, предоставляющие REST-интерфейс Frontend-компонентам приложения, перенаправляющие цепочки запросов внутрь системы,

контролируя общую синхронность пользовательского запроса. Обычно имеют в своем составе точки входа с формами на HTML, с целью реализации отладочных и внутренних задач.

3. Функциональные модули. Каждый представляет собой набор функций, которые можно вызывать при помощи единого API. Для API указывается вариант доступа:

- a. Внутренний – модуль является частью сервера,
- b. REST – REST-приложение с синхронными вызовами через JSON
- c. RMQ – вызовы через механизм сообщений, формат вызовов:JSON.

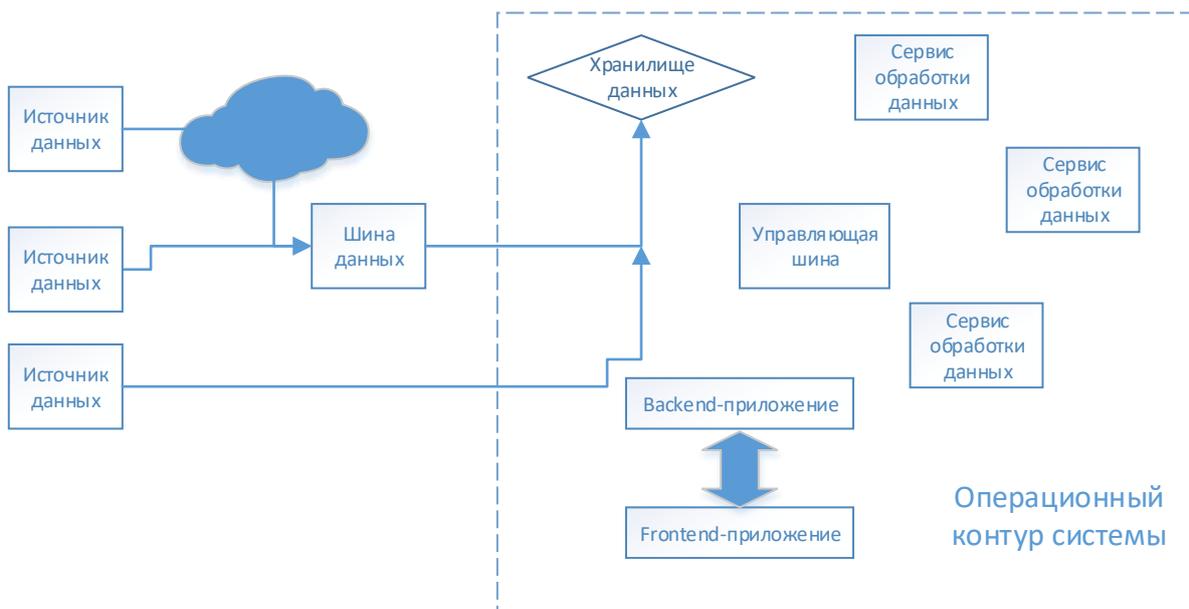


Рисунок – Общая структура решения
Figure – General Structure of Solution

Рассмотрим основные механизмы, входящие в состав репозитория мультимодальных данных:

1. Механизм хранения, обработки и передачи мультимодальных данных (ХОПМД).
2. Механизм организации совместной работы (ОСР).
3. Механизм выборки и дополнения данных из внешних источников (ВДДВИ).
4. Механизм обработки программных запросов к системе (МОМЗ).
5. Механизм логирования операций (МЛО).
6. Репозиторий методов обработки.

Механизм хранения, обработки и передачи мультимодальных данных представляет собой распределенную многокомпонентную систему, развертываемую на различных серверах и объединяемую на основе общей шины сообщений RabbitMQ. При этом, центральная шина используется только для передачи управляющих сообщений. Сервисы по сбору данных могут находиться как в пределах общесетевой доступности – в этом случае они сохраняют данные непосредственно в одну из БД экосистемы. В случае же выключения сервиса из общесетевого контура (по причине территориальной удаленности, соображений безопасности и т. д.) возможно подключение шины

сообщений именно для передачи данных – в этом случае ее контроль осуществляется непосредственно использующими ее сервисами.

Механизм ОСР в рамках системы решает следующие задачи:

1. Организацию ролевого доступа к данным, ведение истории обработки данных с комментариями участников
2. Синхронизацию изменений в ходе обработки данных, контроль траекторий обработки данных
3. Управление экспортируемыми данными, контроль приватности данных

Механизм ВДДВИ является основным способом пополнения данных репозитория и представляет собой, фактически, конструктор процессов на основе запросов к разным БД и процедур выборки данных, использующих онтологическое описание предметной области. Механизм ассоциируется с контекстом запросов на основе метаописания, входящего в состав мультимодального датасета, подключается к вариантам реализации коннекторов и загрузчиков и контролирует получение данных из различных источников данных, как в текущий момент времени, так и в историческом разрезе.

Механизм MOM3 представляет собой API-сервис, предоставляющий пользователям интерфейс для запросов данных в синхронной парадигме. Механизм обрабатывает входящие запросы, контролирует их состояние и отслеживает этапы их выполнения во внутренней асинхронной операционной среде.

Механизм логирования операций (МЛО) предназначен для сохранения информации о всех обработках данных системы, включая ручные. Основное назначение механизма – обеспечение прозрачности методов обработки данных и общей повторяемости хода проводимых экспериментов.

Репозиторий методов обработки данных предназначен для развертывания и хранения различных алгоритмов обработки, реализованных на языках Python и Javascript и используемых как для ручного анализа, так и для построения автоматических последовательностей обработки данных.

Наборы компонентов Backend и Frontend обеспечивают соответствие всей системе парадигме RESTful в рамках следующих критериев:

1. Используется стандартный набор методов (GET, PUT, POST, DELETE) для доступа к объектам. Для исключительных ситуаций используется единая схема кодировки
2. Хранение состояний объектов в промежуточных с точки зрения вызовов компонентах системы не допускается. Для хранения состояний предназначены РБД и иные СУБД на уровне сервера, браузерные структуры памяти на уровне клиента и Redis – на направлениях большого потока запросов (на основе ID каждой сессии и обязательно со временем жизни).

Заключение

Одной из важнейших составляющих успешной разработки цифровых платформ различного назначения является синтез рациональной архитектуры. При этом, использование микросервисной парадигмы, а также использования подхода REST при разработке интерфейсов, а также тщательного контроля за хранением состояний позволяет существенно упростить техническую архитектуру системы.

Разработанная платформа предназначена для совместной обработки данных в междисциплинарных коллективных исследованиях, реализующих сценарии обработки с использованием как локальных, так и удаленных пользователей, что имеет важное значение для исследовательских групп, преподавателей и предпринимателей широкого круга дисциплин и сфер деятельности.

Удобный интерфейс для работы с мультимодальными данными и интеграция инструментов автоматической обработки в совокупности с преимуществами совместной работы над проектом и простого управления доступом к данным позволяет исследователям существенно упростить рутинные манипуляции с данными и сосредоточиться на задачах выработки и проверки гипотез. Помимо этого, платформа может использоваться в качестве составной части крупной корпоративной системы, предоставляя функциональность сбора, обработки и анализа данных из различных источников, как в виде отдельных модальностей, так и в виде мультимодальных пакетов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 19-07-01251, конкурс А (договор от 16.01.2019 г.)

ЛИТЕРАТУРА

1. Басов О.О. Модели и метод синтеза полимодальных инфокоммуникационных систем: дис. док. техн. наук. Орел, 2016:292.
2. Liu H. et al. Deep learning-based multimodal control interface for human-robot collaboration. *Procedia CIRP*. 2018;72:3-8.
3. Casanovas A.L. et al. Blind audiovisual source separation based on sparse redundant representations. *IEEE Transactions on Multimedia*. 2010;12(5):358-371.
4. Shoumy N.J. et al. Multimodal big data affective analytics: A comprehensive survey using text, audio, visual and physiological signals. *Journal of Network and Computer Applications*. 2019:102447.
5. Kendon A. *Gesture: Visible action as utterance*. Cambridge University Press, 2004.
6. Christine C.A. et al. A cyberplatform for sharing scientific research data at DataCenterHub. *Computing in Science & Engineering*. 2018;20(3):49.
7. Parashar M. et al. The Virtual Data Collaboratory. *Computing in Science & Engineering*. 2019.
8. Lahat D., Adali T., Jutten C. Multimodal data fusion: an overview of methods, challenges, and prospects. *Proceedings of the IEEE*. 2015;103(9):1449-1477.
9. Kamaruddin N., Wahab A. Interlaboratory data fusion repository system (InDFuRS) for tocotrienols-based treatment. *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci*. 2019;13(3):1130-1135.
10. Zheng W.L. et al. Emotionmeter: A multimodal framework for recognizing human emotions. *IEEE transactions on cybernetics*. 2018;49(3):1110-1122.
11. Jansen M.P. Communicative Signals and Social Contextual Factors in Multimodal Affect Recognition. *2019 International Conference on Multimodal Interaction*. ACM, 2019:468-472.
12. Mannheimer S. et al. Qualitative data sharing: Data repositories and academic libraries as key partners in addressing challenges. *American Behavioral Scientist*. 2019; 63(5):643-664.
13. Antonio M.G. et al. Qualitative Data Management and Analysis within a Data Repository. *Western journal of nursing research*. 2019:0193945919881706.
14. DuBois J.M., Strait M., Walsh H. Is it time to share qualitative research data? *Qualitative Psychology*. 2018;5(3). С. 380.
15. Wilkinson M.D. et al. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific data*. 2016;3.
16. Perazzo J. et al. Creation of Data Repositories to Advance Nursing Science. *Western journal of nursing research*. 2019;41(1):78-95.

REFERENCES

1. Basov O.O. Models and method for the synthesis of multimodal infocommunication systems: PhD thesis. Orel. 2016:292.
2. Liu H. et al. Deep learning-based multimodal control interface for human-robot collaboration. *Procedia CIRP*. 2018;72:3-8.
3. Casanovas A.L. et al. Blind audiovisual source separation based on sparse redundant representations. *IEEE Transactions on Multimedia*. 2010;12(5):358-371.
4. Shoumy N.J. et al. Multimodal big data affective analytics: A comprehensive survey using text, audio, visual and physiological signals. *Journal of Network and Computer Applications*. 2019:102447.
5. Kendon A. *Gesture: Visible action as utterance*. Cambridge University Press, 2004.
6. Christine C.A. et al. A cyberplatform for sharing scientific research data at DataCenterHub. *Computing in Science & Engineering*. 2018;20(3):49.
7. Parashar M. et al. The Virtual Data Collaboratory. *Computing in Science & Engineering*. 2019.
8. Lahat D., Adali T., Jutten C. Multimodal data fusion: an overview of methods, challenges, and prospects. *Proceedings of the IEEE*. 2015;103(9):1449-1477.
9. Kamaruddin N., Wahab A. Interlaboratory data fusion repository system (InDFuRS) for tocotrienols-based treatment. *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci*. 2019;13(3):1130-1135.
10. Zheng W.L. et al. Emotionmeter: A multimodal framework for recognizing human emotions. *IEEE transactions on cybernetics*. 2018;49(3):1110-1122.
11. Jansen M.P. Communicative Signals and Social Contextual Factors in Multimodal Affect Recognition. 2019 International Conference on Multimodal Interaction. ACM. 2019:468-472.
12. Mannheimer S. et al. Qualitative data sharing: Data repositories and academic libraries as key partners in addressing challenges. *American Behavioral Scientist*. 2019;63(5):643-664.
13. Antonio M.G. et al. Qualitative Data Management and Analysis within a Data Repository. *Western journal of nursing research*. 2019:0193945919881706.
14. DuBois J.M., Strait M., Walsh H. Is it time to share qualitative research data? *Qualitative Psychology*. 2018;5(3):380.
15. Wilkinson M.D. et al. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific data*. 2016:3.
16. Perazzo J. et al. Creation of Data Repositories to Advance Nursing Science *Western journal of nursing research*. 2019;41(1):78-95.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATIONS ABOUT AUTHORS

Белякова Олеся Альбертовна, ООО «ЮНИМЕД», г. Набережные Челны, республика Татарстан, Российская Федерация. **Olesya A. Belyakova**, ООО «UNIMED», Tatarstan, Russian Federation.

Махнин Павел Николаевич, канд. филол. наук, ОЧУ ДПО «Московская высшая школа инжиниринга», г. Москва, Российская Федерация. **Pavel N. Makhnin**, PhD in Philology, OChU DPO «Moscow Higher School of Engineering», Moscow, Russian Federation.

Сапегин Сергей Владимирович, канд. техн. наук, ФБГОУ ВПО Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Российская Федерация. **Sergey V. Sapegin**, PhD in Technical Sciences, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation.