

Перцептивно-когнитивный интерфейс для систем визуальной аналитики

К.В. Рябинин¹, К.И. Белоусов¹, С.И. Чуприна¹, Н.Л. Зелянская¹
kostya.ryabinin@gmail.com|belousovki@gmail.com|chuprinasin@inbox.ru|zelyanskaya@gmail.com

¹Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

Данная работа посвящена вопросам использования технологий Интернета вещей для разработки аппаратных человеко-машинных интерфейсов, позволяющих расширить возможности систем визуальной аналитики путём задействования в процессе анализа дополнительных модальностей: моторных, аудиальных и т. п. Это, в свою очередь, позволяет ускорить семантическую фильтрацию и интерпретацию анализируемых данных, увеличив тем самым производительность труда эксперта. Предложена концепция унификации и автоматизации процессов программирования и подключения аппаратных человеко-машинных интерфейсов на основе методов и средств онтологического инжиниринга. Концепция проверена на практике при решении задач автоматизированного выявления взаимосвязей между психологическими чертами личности носителей языка и их речевого поведения.

Ключевые слова: визуальная аналитика, Интернет вещей, человеко-машинный интерфейс, онтологический инжиниринг.

Perceptive-Cognitive User Interface for Visual Analytics Systems

K.V. Ryabinin¹, K.I. Belousov¹, S.I. Chuprina¹, N.L. Zelyanskaya¹
kostya.ryabinin@gmail.com|belousovki@gmail.com|chuprinasin@inbox.ru|zelyanskaya@gmail.com

¹Perm State University, Perm, Russia

The paper is devoted to using Internet of Things technologies for hardware human-machine interfaces development. Thanks to these technologies, it may be possible to improve the capabilities of visual analytics systems with multiple modalities: movements, audio, etc. It can speed up semantic data filtering and interpretation, increasing the efficiency of analytics. We suggest using ontology engineering methods and tools to automate both the programming of custom hardware human-machine interfaces and connecting them to the third-party software. The proposed concept is tested by solving the real-world tasks of discovering the relationships between the psychological characteristics of the native speakers and their verbal behavior.

Keywords: visual analytics, Internet of Things, human-machine interface, ontology engineering.

1. Введение

Развитие технологий Интернета вещей (англ. Internet of Things, IoT) [12] и сопутствующей им парадигмы «туманных вычислений» (англ. Fog Computing) [20] открывает широкие возможности по созданию т. н. киберфизических систем – (англ. Cyber-Physical Systems) – систем с элементами реального и виртуального миров, которые тесно связывают в себе эти две реальности и обеспечивают интеграцию вычислительных ресурсов в физические сущности [17]. Ключевой парадигмой человеко-машинного взаимодействия в контексте киберфизических систем можно считать т. н. осязаемые интерфейсы (англ. Tangible User Interfaces, TUI), концепция которых была предложена Хироши Ишии (англ. Hiroshi Ishii) ещё в 1997 году [7]. Идея TUI заключается в том, что воздействие на виртуальные объекты и обратная связь с ними происходит через их физические «аватары» – объекты реального мира, которые по своей структуре не являются универсальными для всех виртуальных объектов (как, например, клавиатура или мышь), а близки к своим виртуальным прототипам и при этом зачастую имеют какой-то смысл и за пределами виртуального мира (например, могут являться вполне конкретными инструментами, предметами интерьера и т. п.).

По своей природе TUI предполагают мультимодальное взаимодействие с человеком, выходящее далеко за пределы классических кнопочных интерфейсов. Сюда относится, в первую очередь, активное использование тактильного канала (что, в частности, оказывается весьма актуальным для людей с ограниченными возможностями зрения) наряду с классическим аудиовизуальным. В зависимости от характера решаемых задач, могут потребоваться и другие модальности, например, моторная (пространственные жесты), а также различные их комбинации.

На наш взгляд, мультимодальная природа киберфизических систем открывает для человека широкие возможности в области аналитики сложноструктурированных данных. Использование TUI для взаимодействия с системами визуальной аналитики даёт возможность эксперту более эффективно использовать свои перцептивные и когнитивные механизмы для осмысления особенностей анализируемых объектов, и тем самым ускорить процесс и качество анализа.

Для обозначения средств киберфизического взаимодействия человека с системой визуальной аналитики используется термин «перцептивно-когнитивный интерфейс» (англ. Perceptive-Cognitive Interface, PCI) – эргономичный и адаптированный к конкретной решаемой задаче мультимодальный интерфейс, задей-

ствующий сенсорно-моторную сферу человека и способствующий повышению скорости и качества анализа. Целью данной работы является разработка концепции перцептивно-когнитивного интерфейса для задач мультимодальной аналитики, а также реализация соответствующих программно-аппаратных средств для подтверждения на практике жизнеспособности предлагаемой концепции.

2. Концепция перцептивно-когнитивного интерфейса

Создание перцептивно-когнитивных интерфейсов опирается на особенности человеческой психики, которая приспособлена обрабатывать информацию, транслируемую всеми органами чувственного восприятия, и согласовывать эти разнородные мультимодальные сигналы для формирования целостной картины мира. При этом большая часть понимаемой и сознательно обрабатываемой информации передается в процессе вербальной коммуникации, которая в основном осуществляется с помощью естественного языка по аудиальному или визуальному каналам. Однако способность психики структурировать информацию, полученную по разным каналам восприятия, означает, что остальные доступные человеку модусы чувственного бытия также обладают большим потенциалом для понимания и познания. Языковая семантика тесно связана с сенсомоторной сферой человека. Об этом свидетельствуют исследования в области нейронаук и когнитивной психологии (т. н. теории воплощения, англ. Embodiment Theories – теории, подразумевающие рассмотрение сознания человека во взаимосвязи с физическими факторами окружающей среды) [2, 5, 11]. Примерами могут служить выявленные закономерности между произнесением слов с семантикой пищи и слюноотделением [19], реакциями расширения или сужения зрачка на слова со значениями «темноты» и «яркости» [8], проявлениями двигательной активности как реакции на слова со значением действий [1] и др. Кроме того, было установлено, что слова, связанные с активацией согласованного с семантикой слова сенсомоторного опыта, способствуют пониманию сообщений, а слова с семантикой контрастирующего (не согласованного) сенсомоторного опыта, напротив, препятствуют пониманию вербальной информации.

Слова (рассматриваемые в контексте), имеющие несколько сенсомоторных кодов, легче и быстрее опознаются [6], что находит практическое применение в процессе обучения [9] и в технологиях поиска мультимодального (визуального и аудиального) контента [4]. Связь слов абстрактной семантики с сенсомоторной сферой описывается в контексте теорий воплощения иначе: либо посредством введенной Дж. Лакоффом теории концептуальной метафоры [5], либо посредством идеи более тесной связи абстрактных слов с эмоциональной сферой [10].

Идея перцептивно-когнитивных интерфейсов основывается на «теориях воплощения» и технологических

возможностях использования мультимодальных каналов для передачи естественно-языковой информации (ЕЯ-информации). С технологической точки зрения такая возможность обеспечивается системой сенсоров, используемых для активации текстовых фрагментов определенной чувственной (сенсомоторной) семантики. Для активации семантика сенсоров должна быть связана с семантикой языкового контента с помощью общей формальной модели, в качестве которой может выступать онтология, связывающая уровни: а) возможных типов сенсоров (температура, звук, свет, перемещение в пространстве – моторика – и др.) с б) значений сенсоров (цвет – белый, черный и др.; перемещение в пространстве – вверх, вниз, вправо, влево и т.д.) и в) наименованиями семантических полей, состоящих из значений слов/словосочетаний с перцептивной семантикой. Здесь под семантическим полем понимается «совокупность языковых единиц, объединенных общностью содержания и отражающих понятийное, предметное или функциональное сходство обозначаемых явлений» [21].

Перцептивно-когнитивный интерфейс в системах мультимодальной аналитики позволяет эксперту использовать свой перцептивно-когнитивный опыт для поиска нужной ему информации. Стратегия поиска опирается на генеральную гипотезу, в процессе доказательства которой используются многочисленные операциональные гипотезы (например, «Есть ли в анализируемых данных такие сообщения, в которых <условие>»). Операциональные гипотезы возникают благодаря полученным знаниям о наличии взаимосвязей отдельных модальных значений друг с другом и их регулярному присутствию в текстах, т. е. их семантической шаблонизации. В таком контексте перцептивно-когнитивный опыт эксперта и операциональные гипотезы становятся частью человеко-машинного интерфейса.

На рис. 1 представлен фрагмент онтологической модели РС1 для датчиков перемещения в пространстве (для примера описаны только четыре вида перемещения: вверх, вниз, вправо и влево). Данная онтология используется для онтологически управляемого решения задачи определения типа личности носителя языка в зависимости от использования им слов с определенной перцептивной семантикой в рамках государственного задания ПГНИУ на 2017–2019 гг., проект № 34.1505.2017/4.6 «Речевое и неречевое поведение пользователя социальной сети: социокогнитивное моделирование с использованием методов машинного обучения и геоинформационных технологий».

В приведённом фрагменте категориальная семантика (Category) вербальных сообщений представлена **пространственной** (Spatial) и **темпоральной** (Temporal) субкатегориями. Пространственность, в свою очередь, представлена направлением (Direction) и скоростью (Speed) перемещения. Направление перемещения реализуется посредством антонимических пар: **движение вверх** (Moving Up) и **движение вниз**

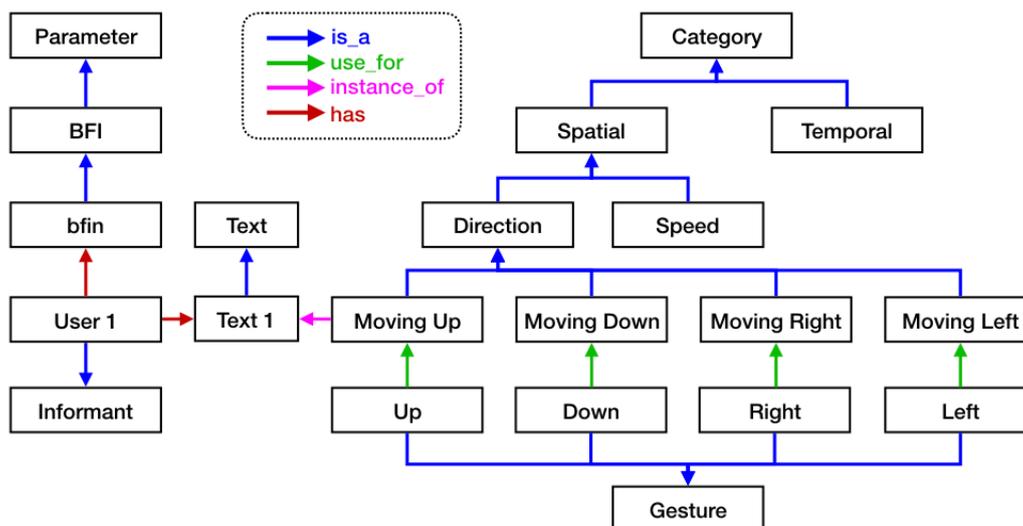


Рис. 1. Фрагмент онтологии перцептивно-когнитивного интерфейса.

(Moving Down), **движение вправо** (Moving Right) и **движение влево** (Moving Left). Заметим, что речь в данном случае идет только о семантике сообщений (например, «он *поднял* руки *над* головой», «*смотри* в *нижнем* левом углу экрана» и т.п.). С семантикой, реализованной в сообщениях, непосредственно связаны детектируемые жесты Up, Down, Left и Right, которые, в свою очередь, могут использоваться для управления процессом визуального анализа семантики сообщений. Например, при осуществлении с помощью РСІ жеста Up должна осуществляться фильтрация контента, в котором есть семантика движения вверх (Moving Up).

Экземпляр Text 1, является с одной стороны представителем класса сообщений (Text), а с другой принадлежит определенному автору (User 1). User 1, в свою очередь, является информантом (Informant), который имеет а) некоторые созданные им тексты и б) набор параметров (Parameter), например, психологических параметров большого пятифакторного опросника личности BFI (и его значений, например, bfin – выраженность нейротизма: черты характера, предрасполагающей к переживанию негативных эмоций) [18].

Таким образом, онтологическая модель позволяет с помощью жеста фильтровать контент в соответствии с семантикой используемого жеста, а далее анализировать статистику параметров личностных характеристик авторов текстов, в которых реализована данная семантика. Представленная онтологическая модель реализована в ИС Семограф [3]. Например, если мы хотим узнать, какой процент информантов с высокими показателями нейротизма, обращается в своих высказываниях к семантике перемещения вверх, нам достаточно в используемом РСІ сделать рукой жест Up.

Аппаратной частью РСІ при решении данной задачи выступает перчатка-манипулятор, детектирующая пространственные жесты человека при помощи электронного гиросtabilизатора (датчика пространственной ориентации) MPU6050 и программируемого мик-

рорконтроллера ESP8266. Программной частью выступает система визуальной аналитики SciVi [16], распознающая жесты и использующая их в качестве семантических фильтров для визуального анализа графа, демонстрирующего выявленные с использованием методов машинного обучения взаимосвязи между языковым поведением людей и их психологическими характеристиками [13, 22, 23].

3. Перцептивно-когнитивный интерфейс в системе визуальной аналитики SciVi

Особенностью РСІ для систем визуальной мультимодальной аналитики по сравнению с традиционными человеко-машинными интерфейсами (такими, например, как клавиатура и мышь) является его специализация относительно решаемых задач. В связи с этим появляется острая необходимость в высокоуровневых инструментах создания таких интерфейсов, чтобы аналитик для адаптации к специфике решаемой задачи мог самостоятельно без обращения к ИТ-специалистам конструировать их из некоторых заранее подготовленных программно-аппаратных блоков. Жизненный цикл РСІ на платформе SciVi включает в себя следующие основные этапы:

1. Проектирование.
2. Сборка аппаратной части.
3. Написание и установка программной части (прошивки для устройства и драйвера для компьютера).
4. Калибровка сенсоров аппаратной части.
5. Тестирование и отладка взаимодействия РСІ и ПО, которым он управляет.
6. Использование РСІ для целей аналитики.

Традиционно для каждого этапа используются отдельные, зачастую не связанные между собой инструменты. В рамках данной работы мы предлагаем унифицированный подход к созданию и использованию РСІ с применением легко адаптируемых к специфике решаемой задачи методов и средств системы визуальной

аналитики SciVi [16]. SciVi включает в себя онтологически управляемые высокоуровневые механизмы настройки как на различные источники данных, так и на средства генерации прошивок для легковесных электронных устройств разного типа, а также на способы декларирования алгоритмов фильтрации и визуализации данных. Благодаря этому SciVi обеспечивает единый инструментарий для реализации перечисленных выше этапов 3–6, делая процесс создания и использования PCI максимально прозрачным.

Этапы проектирования и сборки аппаратной части PCI на данный момент не имеют средств высокоуровневой автоматизации, хотя входящая в состав SciVi онтология электронных компонентов [16] выполняет, среди прочего, и рекомендательную функцию, так как содержит описание разнообразных микроконтроллеров, сенсоров, актуаторов и коммутационных компонентов, а также способов их взаимодействия.

Входящий в состав SciVi механизм генерации прошивок функционирует на основе указанной выше онтологии электронных компонентов [15]. Логика работы PCI, а также алгоритм управления процессом визуализации и анализа, декларируются при помощи диаграммы потоков данных (англ. Data Flow Diagram, DFD), составляемой пользователем посредством встроенного в SciVi высокоуровневого графического редактора. Все это в совокупности позволяет практически полностью автоматизировать процесс разработки программной части PCI. На рис. 2 приведена DFD, используемая в задаче генерации прошивки микроконтроллера ESP8266 для перчатки-манипулятора.

Калибровка сенсоров в значительной степени упрощается за счёт возможности визуального мониторинга генерируемых ими данных. Встроенный в SciVi редактор DFD позволяет легко изменять способ отображения данных, подбирая наиболее наглядный и информативный с точки зрения оценки погрешности измерений [14]. Наличие в SciVi возможностей автоматизированной генерации интерфейса для обратной связи с IoT-устройством позволяют осуществлять калибровку не только на аппаратном уровне, но и на программном (например, вводя настраиваемые фильтры данных, поступающих от сенсора, с целью нивелирования погрешности и/или шума в измерениях) [14].

Отладка взаимодействия PCI с конкретной сценой, которую визуализирует SciVi, также основана на возможности быстрой модификации DFD в части выбора нужного алгоритма визуализации, семантических фильтров и способов их комплексирования, а также описания способов взаимодействия с сенсорами PCI. Тем самым можно быстро проверить, насколько конкретный PCI удобен для тех или иных действий, или же улучшить его эргономику за счёт дополнительных фильтров для сигналов с сенсоров (например, оказывается возможным экспериментально подобрать пороговые значения триггеров, управляемых через PCI и т.п.). Принцип управляемости онтологиями делает систему SciVi легко расширяемой и адаптируемой к широко-

му кругу различных задач, для эффективного решения которых эксперты-аналитики могут использовать как традиционный пользовательский интерфейс, так и PCI, а также, если необходимо, их комбинацию.

На рис. 3а показана DFD, описывающая отображение разных жестов на языковую семантику. Вершина «Glove» описывает точку связи с перчаткой-манипулятором. Эта связь устанавливается автоматически на основе онтологического профиля перчатки-манипулятора. Вершины «Gesture Up», «Gesture Down», «Gesture Left» и «Gesture Right» описывают детекторы соответствующих жестов. Ключевым элементом DFD является вершина «Classifier», задающая генератор фильтров данных в соответствии с оповещениями, поступающими от детекторов жестов. Алгоритм работы этого генератора управляется онтологией, фрагмент которой был представлен на рис. 1. Вершина «BFI Graph» задаёт способ отображения результата – круговой граф, показанный на рис. 3б. В соответствии с приведённой выше DFD, фильтрация данных в круговом графе управляется перчаткой-манипулятором.

Благодаря интеграции методов онтологического инжиниринга и IoT, в рамках данной работы удалось расширить возможности системы визуальной аналитики SciVi перцептивно-когнитивным человеко-машинным интерфейсом. Тем самым в рамках этой системы был осуществлён переход от традиционной визуальной аналитики к мультимодальной, задействующей одновременно визуальный и моторный каналы эксперта. С использованием предложенных методов и средств была решена практическая задача, связанная с выявлением и анализом зависимостей между психологическими параметрами и речевым поведением пользователей социальных сетей. Разработанный в соответствии с предложенным подходом PCI позволяет при помощи пространственных жестов человека автоматизировать поиск в анализируемых данных языковых средств, выражающих определённую пространственную семантику. Жесты детектируются специальной перчаткой-манипулятором, функционирующей на основе датчика пространственной ориентации, по которым генерируются поисковые фильтры. Такой способ поиска ускоряет процесс анализа и делает его более интуитивно понятным.

В дальнейшем планируется расширить набор поддерживаемых PCI модальностей тактильным каналом, используя различные виды сенсоров и различные способы их комплексирования в сенсорные сети на принципах технологий IoT. Кроме того предстоит исследовать, в какой мере перцептивно-когнитивный опыт эксперта является частью PCI, ведь в процессе мультимодальной аналитической деятельности использование такого типа интерфейса может качественно трансформировать перцептивно-когнитивный опыт самого эксперта вследствие возможного образования дополнительных нейронных связей между зрительными, слуховыми, моторными и др. центрами. Исследования подобного рода будут проводиться с использовани-

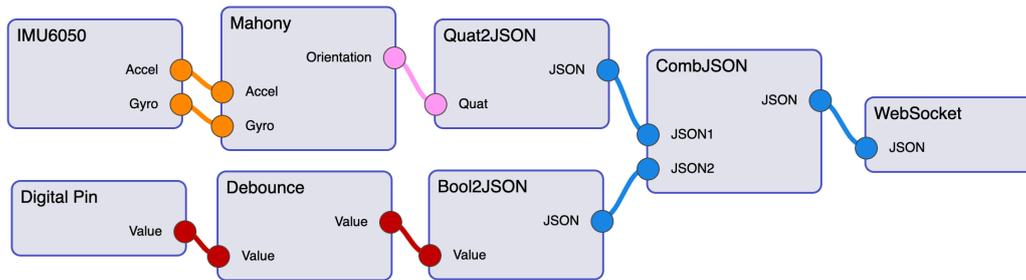


Рис. 2. Диаграмма потока данных для задачи генерации прошивки.

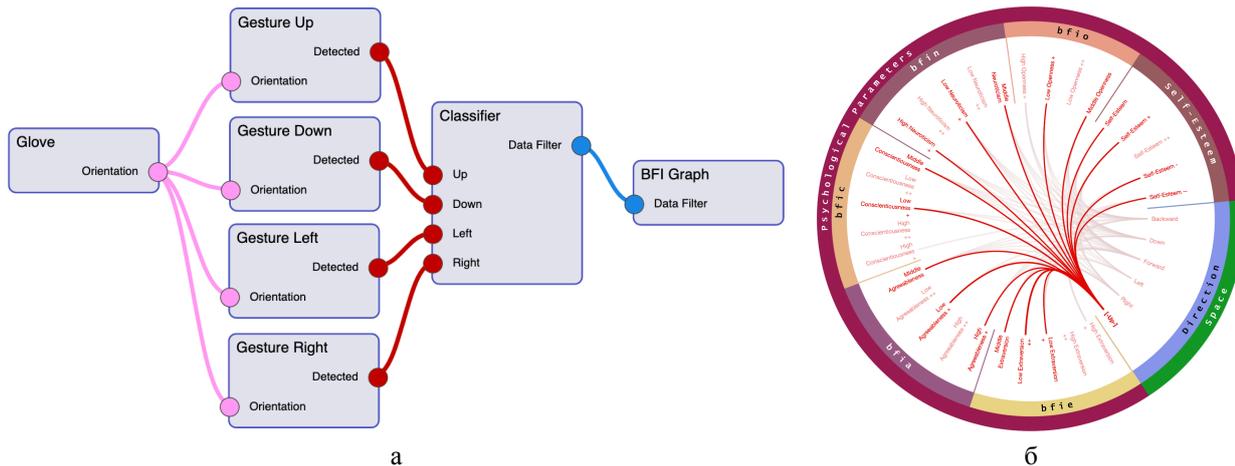


Рис. 3. Диаграмма потока данных (а) и построенный на её основе круговой граф (б) в среде системы SciVi

ем возможностей 128-канального нейровизора BE Plus LTM. В перспективе это может позволить значительно усовершенствовать методы и средства автоматизированной трансформации IoT-систем класса машинно-машинного взаимодействия в человеко-центричные.

4. Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (проект 34.1505.2017/4.6).

5. Литература

- [1] Aravena P., Delevoeye-Turrell Y., Deprez V., Cheylus A., Paulignan Y., Frak V., Nazir T. Grip Force Reveals the Context Sensitivity of Language-Induced Motor Activity during «Action Words» Processing: Evidence from Sentential Negation // PLoS ONE. – 2012. – V. 7, I. 12. DOI: 10.1371/journal.pone.0050287
- [2] Barsalou L. Perceptual Symbol Systems // Behavioral and Brain Sciences. – 1999. – V. 22. – PP. 577–609.
- [3] Belousov K., Erofeeva E., Leshchenko Y., Baranov D. «Semograph» Information System as a Framework for Network-Based Science and Education // Smart Education and e-Learning. – Springer, 2017. – PP. 263–272. DOI: 10.1007/978-3-319-59451-4_26.
- [4] Chang Sh.-F., Ellis D., Jiang W., Lee K., Yanagawa A., Loui A., Luo J. Large-Scale Multimodal Semantic Concept Detection for Consumer Video // Multimedia Information Retrieval. – 2007. – P. 255–264. DOI: 10.1145/1290082.1290118.
- [5] Gallese V., Lakoff G. The Brain Concepts: the Role of the Sensorymotor System in Conceptual Structure // Cognitive Neuropsychology. – 2005. – V. 22, I. 3. – PP. 455–479. DOI: 10.1080/02643290442000310.
- [6] Hoffman P., Lambon Ralph M. Shapes, Scents and Sounds: Quantifying the Full Multi-Sensory Basis of Conceptual Knowledge // Neuropsychologia. – Elsevier, 2013. – V. 51, I. 1. – PP. 14–25. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2012.11.009.
- [7] Ishii H., Ullmer B. Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces Between People, Bits and Atoms // CHI '97 Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. – ACM, 1997. – PP. 234–241. DOI: 10.1145/258549.258715.
- [8] Laeng B., Sulutvedt U. The Eye Pupil Adjusts to Imaginary Light // Psychological Science. – 2013. – V. 25, I. 1. – PP. 188–197. DOI: 10.1177/0956797613503556.
- [9] Lockwood G., Hagoort P., Dingemans M. How Iconicity Helps People Learn New Words: Neural Correlates and Individual Differences in Sound-Symbolic Bootstrapping // Collabra: Psychology. – 2016. – V. 2, I. 1. – PP. 1–15.

DOI: 10.1525/collabra.42.

- [10] Meteyard L., Cuadrado S., Bahrami B., Vigliocco G. Coming of Age: a Review of Embodiment and the Neuroscience of Semantics // *Cortex*. – Elsevier, 2012. – V. 48, I. 7. – PP. 788–804. DOI: 10.1016/j.cortex.2010.11.002.
- [11] Pulvermüller F. Words in the Brain's Language // *Behavioral and Brain Sciences*. – 1999. – V. 22. – PP. 253–279.
- [12] Rose K., Eldridge S., Chapin L. The Internet of Things: an Overview // *The Internet Society (ISOC)*. – 2015 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.internetsociety.org/resources/doc/2015/iot-overview> (Дата обращения 17.07.2019).
- [13] Ryabinin K.V., Belousov K.I., Chuprina S.I., Shchebetenko S.A., Permyakov S.S. Visual Analytics Tools for Systematic Exploration of Multi-Parameter Data of Social Web-Based Service Users // *Scientific Visualization*. – M.: National Research Nuclear University “MEPhI”, 2018. – Q. 3, V. 10, No. 4. – PP. 82–99. DOI: 10.26583/sv.10.4.07.
- [14] Ryabinin K., Chuprina S. High-Level Toolset For Comprehensive Visual Data Analysis and Model Validation // *Procedia Computer Science*. – Elsevier, 2017. – V. 108. – PP. 2090–2099. DOI: 10.1016/j.procs.2017.05.050.
- [15] Ryabinin K., Chuprina S., Belousov K. Ontology-Driven Automation of IoT-Based Human-Machine Interfaces Development // *Lecture Notes in Computer Science*. – Springer, 2019. – V. 11540. – PP. 110–124. DOI: 10.1007/978-3-030-22750-0_9.
- [16] Ryabinin K., Chuprina S., Kolesnik M. Calibration and Monitoring of IoT Devices by Means of Embedded Scientific Visualization Tools // *Lecture Notes in Computer Science*. – Springer, 2018. – V. 10861. – PP. 655–668. DOI: 10.1007/978-3-319-93701-4_52.
- [17] Sanfelice R. Analysis and Design of Cyber-Physical Systems. A Hybrid Control Systems Approach // *Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice* / Rawat D., Rodrigues J., Stojmenovic I. – CRC Press, 2015. – PP. 3–31. DOI: 10.1201/b19290-3.
- [18] Shchebetenko S. Reflexive Characteristic Adaptations Explain Sex Differences in the Big Five: but not in Neuroticism // *Personality and Individual Differences*. – 2017. – V. 111. – PP. 153–156. DOI: 10.1016/j.paid.2017.02.013.
- [19] Staats A., Hammond O. Natural Words as Physiological Conditioned Stimuli: Food-Word-Elicited Salivation and Deprivation Effects // *Journal of Experimental Psychology*. – 1972. – V. 96, I. 1. – PP. 206–208. DOI: 10.1037/h0033508.
- [20] Zhang P., Zhou M., Fortino G. Security and trust issues in Fog computing: A survey // *Future Generation Computer Systems*. – Elsevier, 2018. – V. 88. – PP. 16–27. DOI: 10.1016/j.future.2018.05.008.

- [21] Дуров А.В. Конспект лекций по курсу «Теоретическая и прикладная лингвистика» / А. В. Дуров. – 2018 [Электронный ресурс]. – URL: www.durov.com/study/bilety-1718.docx (Дата обращения 17.07.2019).
- [22] Рябинин К.В., Баранов Д.А., Белоусов К.И. Интеграция инструментария научной визуализации SciVi с информационной системой Семограф // *Труды 27-й Международной конференции GraphiCon 2017*. – Пермь, 2017. – С. 138–141.
- [23] Рябинин К.В., Чуприна С.И., Белоусов К.И., Пермяков С.С. Методы визуальной аналитики вариативности речевого поведения пользователей социальных сетей в зависимости от психологических черт личности // *Труды 28-й Международной конференции GraphiCon 2018*. – Томск, 2018. – С. 163–167.

Об авторах

Рябинин Константин Валентинович, к.ф.-м.н., доцент кафедры математического обеспечения вычислительных систем Пермского государственного национального исследовательского университета. E-mail: kostya.gyabinin@gmail.com.

Белоусов Константин Игоревич, д.ф.н., профессор кафедры теоретического и прикладного языкознания Пермского государственного национального исследовательского университета. E-mail: belousovki@gmail.com.

Чуприна Светлана Игоревна, к.ф.-м.н., доцент кафедры математического обеспечения вычислительных систем Пермского государственного национального исследовательского университета. E-mail: chuprinas@inbox.ru.

Зелянская Наталья Львовна, д.ф.н., доцент кафедры журналистики и массовых коммуникаций Пермского государственного национального исследовательского университета. E-mail: zelyanskaya@gmail.com.