

УДК 004.82+004.9

АНТРОПОМОРФНЫЙ СОЦИАЛЬНЫЙ АГЕНТ С СИМУЛЯЦИЕЙ ЭМОЦИЙ И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ

В.В. Кугуракова¹, М.О. Таланов², Н.Р. Манахов³, Д.С. Иванов⁴

^{1,2,3,4}Казанский (Приволжский) федеральный университет

¹vlada.kugurakova@gmail.com, ²max.talanov@gmail.com,

³nadirmanakhov@gmail.com@gmail.com, ⁴denis.999.ivanov@gmail.com

Аннотация

Рассмотрены эмоциональные человеко-машинные интерфейсы, а именно, антропоморфные социальные агенты. Описана кросс-дисциплинарная задача создания антропоморфного агента, который «чувствует» и «реагирует» на эмоциональные стимулы. Предложена нейробиологически инспирированная реализация, основанная на механике химических и физических процессов, происходящих в человеческом мозге. Проектирование и разработка эмоциональной модели осуществлены симуляцией нейромодуляторов: дофамина, серотонина, нор-адреналина. Отображение эмоций достигается за счёт комбинации данных нейромодуляторов в различных пропорциях. Для этого используется гипотеза Хьюго Лёфхейма («куб эмоций»), которая в свою очередь базируется на теории аффектов Сильвиана Томпкинса. Описаны преодоление феномена “uncanny valley” и подходы к пониманию взаимосвязей мимики и мотивации индивидуума. Построена реалистичная вычислительная модель, которая позволяет адекватно визуализировать мимику виртуального агента синхронизировано с производимой им речью. На основе трехмерной модели человеческой головы создан антропоморфный эмоциональный агент, способный на мимические реакции в связи с эмоциональным контекстом.

Ключевые слова: *антропоморфный социальный агент, искусственный интеллект*

“... you just can't differentiate between a robot and the very best of humans”

— Isaac Asimov, I, Robot

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день IT-индустрия испытывает острую потребность в новых человеко-машинных интерфейсах, которые должны облегчить взаимодействие между компьютером и человеком. Необходимыми аспектами таких интерфейсов являются поддержание диалога и запоминание контекста, а также наличие эмоциональной реакции на фразы и действия собеседника. Такие интерфейсы необходимы для построения системы, способной к обучению в процессе общения и «рефлексии» (если этот термин позволительно применить к вычислительной модели), в реальных условиях сложной социальной среды, требуемой современными IT-инфраструктурами.

К возможным сферам применения эмоционального человеко-машинного интерфейса следует отнести эмуляцию живого собеседника, «создание дружелюбной глобальной техногенной среды и эргатических систем, усиливающих и увеличивающих возможности человека, его безопасность и эффективность при реализации трудовой деятельности» [12]. Из ярких примеров, уже вошедших в повседневность, можно упомянуть интеллектуальные программы-помощники, распознающие звуковые команды и чат-боты, использующие базу пользовательских сообщений для генерации ответов. Однако эти разработки нельзя отнести к настоящему эмоциональному искусственному интеллекту ввиду отсутствия у них сложной эмоциональной внутренней структуры, определяющей ответ и сохраняющей в памяти контекст диалога.

ПРОБЛЕМА

На сегодняшний день не существует агентов, учитывающих и использующих нейropsихологические эмоциональные модели, несмотря на то, что эмоции несут очень важную роль в человеческой жизни от принятия решений до включения инстинкта самосохранения. Однако существует множество систем выражения человеческих эмоций, которые не влияют на внутреннее состояние системы. Перед

нами стоит кросс-дисциплинарная задача создания антропоморфного агента, который «чувствует» и «реагирует» на эмоциональные стимулы, такие, как выражение симпатии или агрессии со стороны собеседника.

ОПИСАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ

Мы предлагаем нейробиологически инспирированную реализацию агентов, основанных на химических и физических процессах, происходящих в человеческом мозге. Проведённое исследование этих процессов сделало возможным построение формальной модели, регулирующей внутреннее состояние интеллектуального агента. Модель регистрирует и распознаёт внешние воздействия и изменяет внутреннее состояние агента соответствующим образом, после чего формируется ответ [9].

Проектирование и разработка эмоциональной модели осуществляются симуляцией нейромодуляторов: дофамина, серотонина, нор-адреналина [13], [14]. Отображение эмоций достигается за счёт комбинации данных нейромодуляторов в различных пропорциях. Для этого используется гипотеза Хьюго Лёфхейма, см. «куб эмоций» [5], которая в свою очередь базируется на теории аффектов Сильвиана Томкинса (Silvan Tomkins) [16–19]. Томкинс называет аффектами врожденные эмоциональные реакции, которые наблюдаются у младенцев с рождения: злость, стыд, грусть, страх, интерес, счастье, удивление, отвращение. Плюсом также могло бы быть, кроме базовых эмоций, принимать во внимание и воспроизвести в вычислительной модели социальные эмоции, такие, как эмпатия, зависть, любовь, агрессия, восхищение, уважение и т. д.

Мы считаем обязательным также включение в модель агента некоторого подмножества когнитивных функций, по крайней мере, таких, как знания, убеждения и цели [2–4].

Наше решение подразумевает построение вычислительной модели необходимого и достаточного множества функций, включающих базовые и социальные эмоции и иные когнитивные функции (память, обучение, принятие решений, восприятие, вынесение суждений, понимание, и даже язык).

Нельзя не упомянуть о важной задаче в построении адекватного человеко-машинного интерфейса при реализации именно антропоморфного агента – пре-

одоление феномена “uncanny valley”. Современные разработки в области социальных агентов не справляются с требованиями, которые люди предъявляют к своим виртуальным собеседникам. В результате между человеком и виртуальным агентом возникает «преграда»: человек не доверяет и даже боится общения с человекоподобным агентом. Подходы к классификации сложностей и методов их преодоления, связанных с влиянием феномена “uncanny valley”, рассмотрены, например, в психологических работах японских исследователей [21].

РЕАЛИЗАЦИЯ

В результате работы над реализацией кросс-дисциплинарной задачи были выполнены следующие шаги:

1. Использована трехмерная модель, связывающая человеческие эмоции и вычислительные процессы на основе нейромодуляторов: дофамина, серотонина, нор-адреналина [13].

2. Разработаны подходы к построению диалоговой системы, способной общаться с пользователем на естественном языке.

3. Разработаны подходы к пониманию взаимосвязей мимики и мотивации индивидуума.

4. Построена реалистичная вычислительная модель, которая позволяет адекватно визуализировать мимику виртуального агента синхронизировано с производимой им речью. Использовались технологии Text To Speech, которые позволяют воспроизвести входной текст виртуального агента в виде вербального сообщения. С использованием технологии Microsoft Kinect для фотограмметрии мимики при произнесении разных звуков, слогов и разных эмоциональных реакциях были получены базовые мимические состояния виртуального агента.

Создан первый прототип виртуального антропоморфного агента, способного к произнесению сложного текста на двух языках, сопровождающегося адекватной человеческой мимикой. В ходе реализации прототипа было использовано программное обеспечение для распознавания мимики лица человека Faceshift, при помощи которого были сняты «маски» базовых эмоций для воспроизведения основных эмоциональных состояний и «мимические маски», синхронизируемые с аудио-дорожками соответствующих морфем, выделяемых из потока речи, генерируемой от лица агента. С помощью технологии blendshape при произношении

эмоционально тегированной речи, тональности эмоционального состояния были смешаны с базовыми мимическими масками морфем. На основе трехмерной модели человеческой головы создан антропоморфный эмоциональный агент, способный на мимические реакции в связи с эмоциональным контекстом. Основой для трёхмерной визуализации агента послужил инструмент для разработки приложений и игр Unity. Также был задействован интерфейс программирования приложений Microsoft speech library, основанный на технологии COM и предназначенный для распознавания и синтеза речи.

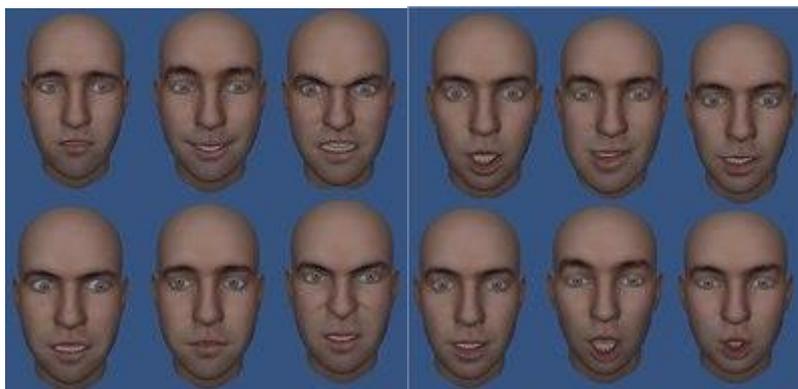


Рис. Различные мимические маски, отражающие основные эмоциональные состояния

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РАЗРАБОТОК

Исследования на тему создания и обучения социальных агентов-собеседников человека ведутся длительное время. С каждым годом появляются новые программы и совершенствуются старые. Можно выделить основные отрасли исследований:

- распознавание человеческой речи;
- анализ человеческой речи;
- симуляция речи человека;
- симуляция мимики, движений человека;
- симуляция психоэмоциональных состояний и реакций;
- рассуждения на основе здравого смысла;
- поддержание контекста;
- диалоговый режим.

В частности, виртуальный собеседник Женя Густман (Eugene Goostman) [1] впервые сумел пройти тест Тьюринга [8] на испытаниях, организованных в 2014 году университетом Рединга (Великобритания).

Развиваются системы перевода текста в речь и речи в текст, например, Skype Translator. Активно развивается направление интеллектуальных агентов, стали промышленными приложениями такие агенты, как Siri – персональный помощник и вопросно-ответная система, разработанная для iOS, использует обработку естественной речи, чтобы отвечать на вопросы и давать рекомендации; Amazon Echo (Alexa) – устройство голосового управления с вопросно-ответной системой и с функциями воспроизведения музыки.

Некоторые компании движутся в направлении развития антропоморфных роботов-андроидов. Среди созданных антропоморфных роботов-андроидов стоит отметить Aiko, ASIMO, Einstein Robot, Repliee R-1, Ибн-Сина.

К решениям в области вопросно-ответных систем можно отнести:

- IBM Watson – суперкомпьютер фирмы IBM, способный понимать вопросы, сформулированные на естественном языке, и находить на них ответы в базе; в области перевода из текста в речь – MicrosoftTTS, GoogleTTS, Ivona, Acapela;
- в области синхронизации губ с речью – FaceFX, CrazyTalk, Magpie;
- среди антропоморфных социальных агентов необходимо выделить Зое, проект Кембриджского университета [20], умеющего распознавать и синтезировать речь, а также имеющий визуализацию в форме женского лица, способного отображать различные эмоции.

Чрезвычайно востребованы на данный момент и исследования в области нейробиологии и функционирования человеческого мозга. Стоит отметить такие проекты, как Connectome [15], Blue Brain, Human Brain Project. Всё ещё не решена фундаментальная проблема человеческого познания, мышления, сознания, самосознания (эго). Другими словами, остается загадкой, каким образом из элементарных действий нейронов, кортикальных колонок, зон Бродмана, долей головного мозга складываются феномены, такие, как мотивация, воображение, творческое мышление, сон и т. д.

ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ

Развитие искусственного общего интеллекта не может быть возможно исключительно через алгоритмы, созданные человеком. Многие аспекты человеческого мозга до сих пор не ясны ни ученым, ни инженерам. Вместо этого можно создать машины, которые создают собственные алгоритмы, т. е., машины, которые учатся учиться. Данко Николич [7] выдвинул гипотезу о том, что это может быть достигнуто через создание ИИ-детского сада.

Итак, после реализации первого рабочего прототипа нами были поставлены следующие задачи.

Механизм эмоциональных реакций на базе врожденных эмоциональных аффектов

Человек с самого рождения демонстрирует базовые эмоциональные реакции, как-то плач, улыбка, отвращение (выплевывание пищи) и т. д. – это врожденные реакции. В терминах Марвина-Мински, это Критик, селектор и образ мышления (Critic, Selector and the way to think) [6]; при срабатывании элементарного аналитического механизма (critic) возникает некоторая эмоциональная реакция, например, страх, которая тесно связана с физиологическим возбуждением и вызывает врожденное поведение. На основе этого триплета (анализ–реакция–поведение) с возрастом у человека возникает гамма стратегий поведения в связи с эмоциональными реакциями. Дальше развиваются аналитические механизмы, которые становятся всё более сложными, с пониманием подтекста и смысла изменений в окружающей среде, так же, как социальных взаимодействий. Описание формальной модели этих механизмов в терминах вычислительных систем позволит построить адекватное решение для отображения эмоций и самого эмоционального поведения виртуального агента.

Методология обучения («детский сад») агента

- подходы к развитию способности обучения;
- подходы к развитию логического мышления в рамках методологии обучения;
- подходы к симуляции процессов рефлексии в рамках методологии обучения.

Развитие существующего аппарата запроса к базе знаний на основе естественных языков

- механизм генерации множественных представлений имеющихся знаний;
- обучение системы на основе естественного языка;
- механизмы поддержания диалога, включая механизмы поддержания контекста.

Механизм рассуждений на основе здравого смысла

Для реализации адекватного человеческого механизма логического вывода необходимо применить альтернативный традиционному подход на основе здравого смысла, описанный в литературе Марвином Мински.

Математическая модель влияния эмоций на вычислительные процессы

На основе философской модели Марвина Мински “Model of Six”, психологической модели Томкинса и нейробиологической модели Лёвхейма планируется реализовать математическую модель эмоционального принятия решений на основе ряда исследований влияния нейромодуляторов и переключения ритмов мозга так же, как и психологических исследований в области.

Генерация психологического отношения с агрегацией эмоциональной окраски в ответе

Необходимо включить когнитивными функции: распознавание взаимодействующей с агентом личности, ее идентификацию, как по избыточным, так и по недостаточным данным, в условиях различной освещенности/угла поворота изображения (алгоритм OpenCV, метод Виолы–Джонса), формирование поведенческих матриц в зависимости от мотивации, степени готовности и прошлого опыта, с поддержанием контекста в диалоговом режиме:

- сканирование мимики, эмоционального типа и распознавание интонации респондента;
- генерация психологического отношения антропоморфного социального агента к респонденту;
- генерация ответа с агрегацией эмоциональной окраски антропоморфного социального агента на основе сентименто-анализа.

Вычислительные эксперименты

Для валидации построенной формальной модели необходимо провести ряд вычислительных экспериментов, таких, как:

- эксперимент субъективного отношения респондентов на общение с прототипом антропоморфного виртуального агента с исследованием феномена “uncanny valley”;
- анализ социо-психологического исследования социальных взаимодействий людей с антропоморфным социальным агентом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на большое количество существующих технологий искусственного интеллекта и виртуальных собеседников, на данный момент времени концепция эмоционального искусственного интеллекта всё ещё не реализована.

В нашей работе описаны вычислительная модель, связывающая человеческие эмоции и вычислительные процессы на основе нейромодуляторов, и реализация эмоционального антропоморфного агента, способного на мимические реакции в связи с эмоциональным контекстом, разработанного на основе 3D модели человеческой головы. Описаны дальнейшие этапы решения поставленной кросс-дисциплинарной задачи создания социального агента, который «чувствует» и «реагирует» на эмоциональные стимулы, самообучается, рефлексировывает, так, что у его респондентов не должно возникать негативной реакции, свойственной феномену “uncanny valley”.

Благодарности

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Aaronson S.* My conversation with "Eugene Goostman", the Chatbot that's all over the news for allegedly passing the turing test". Shtetl-Optimized// The Blog of Scott Aaronson. Archived from the original on 2014-08-07. Retrieved 2014-09-12.

2. *Bratman M.E.* Intention, plans, and practical reason. CSLI Publications, 1999. ISBN 1-57586-192-5.
3. *Rao S., Georgeff M.P.* modeling rational agents within a BDI-Architecture// Proceedings of the 2nd International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning, 1991. P. 473-484.
4. *Rao S., Georgeff M.P.* BDI-agents: from theory to practice// Proceedings of the First International Conference on Multiagent Systems (ICMAS'95), San Francisco, 2012.
5. *Løvheim H.* A new three-dimensional model for emotions and monoamine neurotransmitters// Medical Hypotheses. 2012. V. 78 (2). P. 341-348.
6. *Minsky M.* The emotion machine and the society of mind. NY: Simon & Schuster, 2006. ISBN-10: 0743276647.
7. *Nikolić D.* Machines that dream: a brief introduction into developing artificial general intelligence through AI-Kindergarten. 2015.
8. *Oppy G., Dowe D.* The turing test. Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2011.
9. *Plutchik R.* Emotions and life: perspectives from psychology, biology, and evolution. Washington, DC: American Psychological Association, 2002.
10. *Plutchik R., Conte R., Hope J.* Circumplex models of personality and emotions. Washington, DC: American Psychological Association, 1997.
11. *Plutchik R.* Emotion: theory, research, and experience: Vol. 1. Theories of emotion 1. New York: Academic, 1980.
12. *Сергеев С.Ф.* Методологические аспекты проектирования сложных авиационных технических сред / С. Ф. Сергеев, А. П. Захаревич // 7-я Международная конференция «Авиация и космонавтика–2008»: Тезисы докладов. М.: Изд-во МАИ-Принт, 2008. С. 73-74.
13. *Talanov M., Vallverdu J., Distefano S., Mazzara M., Radhakrishnan D.* Neuro-modulating cognitive architecture: towards biomimetic emotional AI. AINA 2015, P. 587-592.
14. *Talanov M., Toshev A.* Computational emotional thinking and virtual neurotransmitters// IJSE. 2014. V. 5 (1). P. 1-8.
15. The Human Connectome Project. NIH Blueprint for Neuroscience Research (National Institutes of Health), 2013.
16. *Tomkins S.* Affect imagery consciousness volume III the negative affects anger and fear. New York: Springer Publishing Company, 1991.

17. *Tomkins S.* The quest for primary motives: biography and autobiography of an idea// *J. Pers. Soc. Psychol*, 1981.

18. *Tomkins S.* Affect imagery consciousness: V. II. The negative affects. New York: Springer Publishing Company, 1963.

19. *Tomkins S.* Affect imagery consciousness: V. I. The positive affects. New York: Springer Publishing Company, 1962.

20. *Wan V., Anderson R., Blokland A., Braunschweiler N., Chen L., Kolluru B., Latorre J., Maia R., Stenger B., Yanagisawa K., Stylianou Y., Akamine M., Gales M.J.F., Cipolla R.* Photo-realistic expressive text to talking head synthesis// *Source of the Document Proceedings of the Annual Conference of the International Speech Communication Association, INTERSPEECH*, 2013. P. 2667-2669.

21. *Yamada Y., Kawabe T., Ihaya K.* (2013). Categorization difficulty is associated with negative evaluation in the “uncanny valley” phenomenon// *Japanese Psychological Research*, 2013. V. 55 (1). P. 20-32.

ANTHROPOMORPHIC ARTIFICIAL SOCIAL AGENT WITH SIMULATED EMOTIONS AND ITS IMPLEMENTATION

Vlada Kugurakova¹, Max Talanov², Nadir Manakhov³, Denis Ivanov⁴

^{1,2,3,4}*Higher School ITIS. Kazan Federal University*

¹*vlada.kugurakova@gmail.com*, ²*max.talanov@gmail.com*, ³*nadirmanakhov@gmail.com*, ⁴*denis.999.ivanov@gmail.com*

Abstract

In this paper we describe an emotional human-machine interface as an anthropomorphic social agent which is able to comprehend emotions and react to emotional stimuli. We propose a neurobiologically inspired agent implementation that is based on mechanics of chemical and physiological processes within human brain. Implementation of model features simulation of neuromodulators such as dopamine, serotonin, and noradrenaline. Demonstration of emotions is achieved via combining aforementioned neuromodulators in different proportions. The Lövheim cube of emotions is

used for this purpose. We also cover the topic of "uncanny valley" phenomenon. In conclusion of this paper we reached understanding of connection between mimics and motivation of individual. We have constructed realistic computation model which allows us to visualize agent's mimics in sync with his speech.

Keywords: *intelligent agents, visualization, emotional artificial intelligence, neuromodulators, visual speech synthesis, expressive and controllable speech synthesis*

REFERENCES

1. Aaronson S. My conversation with "Eugene Goostman", the Chatbot that's all over the news for allegedly passing the turing test". Shtetl-Optimized// The Blog of Scott Aaronson. Archived from the original on 2014-08-07. Retrieved 2014-09-12.
2. Bratman M.E. Intention, plans, and practical reason. CSLI Publications, 1999. ISBN 1-57586-192-5.
3. Rao S., Georgeff M.P. modeling rational agents within a BDI-Architecture// Proceedings of the 2nd International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning, 1991. P. 473-484.
4. Rao S., Georgeff M.P. BDI-agents: from theory to practice// Proceedings of the First International Conference on Multiagent Systems (ICMAS'95), San Francisco, 2012.
5. Løvheim H. A new three-dimensional model for emotions and monoamine neurotransmitters// Medical Hypotheses, 2012. V. 78 (2). P. 341-348.
6. Minsky M. The emotion machine and the society of mind. NY: Simon & Schuster, 2006. ISBN-10: 0743276647.
7. Nikolić D. Machines that dream: a brief introduction into developing artificial general intelligence through AI-Kindergarten. 2015.
8. Oppy G., Dowe D. The turing test. Stanford encyclopedia of philosophy, 2011.
9. Plutchik R. Emotions and life: perspectives from psychology, biology, and evolution. Washington, DC: American Psychological Association, 2002.
10. Plutchik R., Conte R., Hope J. Circumplex models of personality and emotions. Washington, DC: American Psychological Association, 1997.
11. Plutchik R. Emotion: theory, research, and experience: Vol. 1. Theories of emotion 1. New York: Academic, 1980.

12. *Sergeev S.F. Metodologicheskie aspekty proektirovaniya slognykh tekhnicheskikh sred // VII International conference «Aviatiya i kosmonavtika-2008». M.: MAI-Print, 2008. S. 73-74.*

13. *Talanov M., Vallverdu J., Distefano S., Mazzara M., Radhakrishnan D. Neuro-modulating cognitive architecture: towards biomimetic emotional AI. AINA 2015, P. 587-592.*

14. *Talanov M., Toshev A. Computational emotional thinking and virtual neurotransmitters// IJSE. 2014. V. 5 (1). P. 1-8.*

15. *The Human Connectome Project. NIH Blueprint for Neuroscience Research (National Institutes of Health), 2013.*

16. *Tomkins S. Affect imagery consciousness volume III the negative affects anger and fear. New York: Springer Publishing Company, 1991.*

17. *Tomkins S. The quest for primary motives: biography and autobiography of an idea// J. Pers. Soc. Psychol, 1981.*

18. *Tomkins S. Affect imagery consciousness: V. II. The negative affects. New York: Springer Publishing Company, 1963.*

19. *Tomkins S. Affect imagery consciousness: V. I. The positive affects. New York: Springer Publishing Company, 1962.*

20. *Wan V., Anderson R., Blokland A., Braunschweiler N., Chen L., Kolluru B., Latorre J., Maia R., Stenger B., Yanagisawa K., Stylianou Y., Akamine M., Gales M.J.F., Cipolla R. Photo-realistic expressive text to talking head synthesis// Source of the Document Proceedings of the Annual Conference of the International Speech Communication Association, INTERSPEECH, 2013. P. 2667-2669.*

21. *Yamada Y., Kawabe T., Ihaya K. (2013). Categorization difficulty is associated with negative evaluation in the “uncanny valley” phenomenon// Japanese Psychological Research, 2013. V. 55 (1). P. 20-32.*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



КУГУРАКОВА Влада Владимировна – старший преподаватель Высшей школы информационных технологий и информационных систем, руководитель лаборатории “ИТ и неразрушающие методы исследования объектов культурного наследия”.

Vlada Vladimirovna KUGURAKOVA, Senior Lecturer of Higher School of Information Technology and Information Systems, Head of Laboratory "IT and non-destructive methods of investigation of cultural heritage".

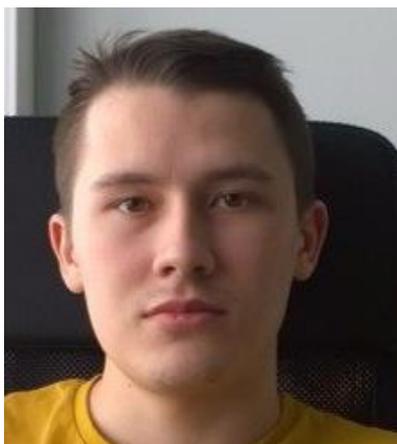
email: vlada.kugurakova@gmail.com



ТАЛАНОВ Максим Олегович – к.т.н., и.о. зав. каф. интеллектуальной робототехники Казанского (Приволжского) федерального университета. Сфера научных интересов: нейробиологически инспирированные подходы, когнитивные архитектуры, машинное понимание.

Maxim Olegovich TALANOV – Ph.D., Head of intelligent robotics Department, Kazan Federal University. Research interests: neurobiologically inspired approaches, cognitive architecture, machine cognition.

email: max.talanov@gmail.com



МАНАХОВ Надир Ринатович – лаборант-исследователь лаборатории «ИТ и неразрушающие методы исследования объектов культурного наследия».

Nadir Rinatovich MANAKHOV, researcher of Laboratory "IT and non-destructive methods of investigation of cultural heritage".

email: nadirmanakhov@gmail.com



ИВАНОВ Денис Сергеевич – лаборант-исследователь лаборатории «ИТ и неразрушающие методы исследования объектов культурного наследия».

Denis Sergeevich IVANOV, researcher of Laboratory "IT and non-destructive methods of investigation of cultural heritage".

email: denis.999.ivanov@gmail.com

Материал поступил в редакцию 2 октября 2015 года