

УДК 004.514+004.928

## МЕХАНИЗМЫ РЕАЛИСТИЧНОЙ МИМИКИ ДЛЯ АНТРОПОМОРФНЫХ СОЦИАЛЬНЫХ АГЕНТОВ

А. А. Зиннатов<sup>1</sup>, В. В. Кугуракова<sup>2</sup>

<sup>1-2</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет

<sup>1</sup>ayratzinnat@gmail.com, <sup>2</sup>vlada.kugurakova@gmail.com

### **Аннотация**

Звуковая трехмерная анимация лица довольно тщательно изучена, но достижение реалистичного, похожего на человека исполнения еще не найдено.

В статье рассмотрены различные подходы к созданию анимированных выражений лица, контролируемых речью. Комбинируя рассмотренные подходы как для анимации лица, так и для идентификации эмоций и создания выражений микро-мимики в одной системе, мы получаем решение, подходящее для таких задач, как игровое видео, аватары виртуальной реальности или любой другой сценарий, в которых текст говорящего и его речь не известны заранее.

**Ключевые слова:** визуализация, реалистичная анимация, лицевая мимика, социальный агент, разработка игр.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Реалистичная анимация лица необходима для многих приложений, таких, как компьютерные игры, анимационные фильмы, телеконференции, антропоморфные социальные агенты и другие. Традиционные методы захвата мимики лица (см., например, [1–3]) уже достигли огромных успехов, показывая высокий уровень реализма. Тем не менее, системы для захвата лица, использующие датчики или маркеры, дороги и трудоемки в использовании. Альтернативными являются системы, использующие обычные камеры и обрабатывающие изображения. Методы захвата мимики лиц с изображений хотя и являются менее точными, но достигли очень впечатляющих результатов. Однако существует проблема с генерацией анимаций, когда на вход подаются только аудиопоток или вовсе текст. Социальные агенты [4] могут генерировать текст и синтезировать звук, когда выдают

ответ пользователю, но генерация реалистичной мимики является ещё не решенной задачей. Также решение этой задачи важно для разработки компьютерных игр, так как на создание лицевой анимации уходит много времени и ресурсов. В случаях, когда в игре задействовано очень много персонажей с разной озвучкой, аниматоры используют процедурную анимацию, но такие анимации всё ещё выглядят неестественно или однообразно и обычно требуют ручной настройки. Механизмы генерации реалистичной лицевой анимации можно было бы использовать при разработке игр или социальных агентов. Данная работа является продолжением выпускной квалификационной работы [5].

### **РАННИЕ РАБОТЫ**

Рассмотрим различные исследования, затрагивающие тему анимации мимики для антропоморфного агента.

Один из подходов для генерации реалистичной мимики лица – это обработка речи. Звуковые сигналы обеспечивают более богатые возможности для создания естественных говорящих лиц.

Существует несколько подходов к генерации анимированной мимики, контролируемых речью. В ранних работах в этой области в основном использовались скрытые марковские модели (НММ) для моделирования соответствия речи и движений лица [6], [7]. Одна из ранних исследовательских работ Кардиффского университета [8] предлагает создание иерархической структуры, синтезируя из речи разные области лица и объединяя их в одно «говорящее» лицо.

Microsoft Research [7] использовали глубоко обученную нейросеть (DNN) для синтезатора движения губ на основе НММ. В последние годы также было предложено несколько иных подходов, основанных на DNN: так, в работе [9] представлена модель, обученная на видеозаписях говорящих людей и на основе аудио, возвращающая нормализованные координаты 68 ориентиров лица человека в 2D-пространстве, в дальнейшем она была улучшена и для 3D-пространства [10]. Nvidia представила исследование [11], где предлагает технологию, которая обучается на 3–5 минутных 3D-анимационных данных и аудио: получая на вход аудио-поток, на выходе возвращается анимированная 3D-голова. Похожую модель (VOCA) предложил в [12] Институт интеллектуальных систем Макса Планка.

У всех вышеперечисленных исследований есть одна общая проблема: модели не могут автоматически определить микромимику и эмоции, которые невозможно определить по аудио. В основном модели возвращают анимацию только с нейтральным выражением лица, а дальнейшие эмоции предлагается определять вручную, смешивая различные векторы эмоций.

### **ВЫЯВЛЕНИЕ ЭМОЦИЙ**

Существует 6 категорий для описания основных эмоций человека, основанных на выражении лица [13]: гнев, отвращение, страх, счастье, печаль и удивление. В основном они связаны с негативными чувствами, причем «удивление» является наиболее неоднозначным, поскольку оно может быть связано как с положительными, так и с отрицательными чувствами. Эмоции играют огромную роль в формировании социальных взаимодействий человека.

Много исследовательских работ посвящено способам распознавания эмоций, например:

1. Автоматическое распознавание эмоций из речи с использованием **машинного обучения** [14–16] – точность распознавания достигает 60–85%, в зависимости от различий разных языков и культур;
2. Распознавание, основанное на **анализе текста** (см., например, [17–19], где стоит отметить, что малорешенной проблемой остаётся контекст-зависимость эмоций внутри текста: фраза может иметь элемент гнева без использования слова «гнев» или любого из его синонимов. Существуют следующие основные методы обнаружения эмоций из текста:
  - а. обнаружение на основе ключевых слов,
  - б. обнаружение на основе машинного обучения,
  - с. метод лексического сродства, или гибридное обнаружение [14].

На данный момент в основном используется машинное обучение для распознавания эмоций. Точность обнаружения составляет лишь 40–50%.

3. Нужно отметить ещё один способ выявления эмоций, который основан на **эмуляции биохимических процессов**, происходящих в мозге [4], – для этого метода используется гипотеза Хьюго Лёфхейма («куб эмоций»), которая в свою очередь базируется на теории аффектов Сильвиана Томпкинса.

## **ДВИЖЕНИЕ ГЛАЗ**

Эмоции и душевное состояние человека проявляются на его лице и глазах. Движение глаз представляет огромную проблему для воспроизведения движения и вида человеческого глаза, что так важно для реализации человеко-машинных интерфейсов.

Так, в исследовании [20] содержится обзор движений глазных яблок, век и головы с физиологической точки зрения и того, как эти движения можно моделировать, визуализировать и анимировать в приложениях компьютерной графики.

Некоторые психологические и социологические исследования пытаются описать поведение более высокого уровня, такое, как внимание и взгляд, во время выражения эмоций или во время разговора и то, как они синтезируются в компьютерной графике и робототехнике. Исследователи Университета Южной Австралии представили исследование [21], в котором описано использование алгоритмов машинного обучения для демонстрации связи между личностью и движениями глаз – движения глаз показывают, являются ли люди общительными, добросовестными или любопытными. С помощью разработанных алгоритмов надежно распознаются четыре из пяти больших личностных черт: нейротизм, экстраверсия, приятность и добросовестность. Стоит отметить, что реалистичное поведение агента невозможно без симуляции реалистичного движения глаз, иначе возникает проблема uncanny valley.

## **НАША РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АНИМАЦИИ**

Мы предлагаем объединить вышеперечисленные системы анимации лица, выявления эмоций и микромимики в одну систему для создания максимально реалистичного и живого антропоморфного агента. Реализация системы выполнена в игровом движке Unreal Engine 4 (или UE4).

**Нейронная сеть.** Для предварительных тестов были использованы исходный код и заранее обученная модель из результатов исследования, выполненного в Университете Рочестера [9]. В нем предложена генерация лицевых ориентиров с помощью обученной нейронной сети долгой краткосрочной памяти (LSTM). Модель обучалась на 3-секундных видеоданных, а определение лица

происходило с помощью библиотеки компьютерного зрения Dlib [22], которая возвращает 68 ориентиров на лице. Во время обучения извлеченные ориентиры лица выравниваются и преобразуются в среднюю нормализованную форму [23], чтобы удалить информацию об идентичности. Модель выдает приемлемые результаты как на записанной, так и на синтезированной речи, причем на любом языке.

**Анимация мимики в движении.** Для анимации лица 3D-модели используют мимические маски (англ. Blendshapes). Сначала создается модель головы с нейтральным выражением лица, потом для каждого выражения создается своя мимическая маска, и каждая маска имеет свой вес. Методом смешивания масок создается итоговая анимация мимики. В этой работе используется модель персонажа из технического демо UE4, так как она имеет все нужные маски (рис. 1).



Рисунок 1. Пример мимических масок UE4

После того как нейросеть обработала звук, возвращаются ориентиры лица пользователя в виде 68 лицевых точек (англ. landmarks). Выражение лица может быть параметризовано как вектор весов. Чтобы получить веса каждой мимической маски, которые можно использовать для управления лицевой анимацией аватара, сначала измеряется смещение лицевых ориентиров для каждого  $k$ -го выражения  $D_k$ . Достигается это по следующей формуле:

$$D_k = \left| \frac{s_k^c - s_k^n}{N_k} \right|, \quad (1)$$

где  $S_k^c$  – это состояние  $k$ -х лицевых ориентиров в текущем выражении,  $S_k^n$  – это состояние  $k$ -х лицевых ориентиров в нейтральном выражении, а  $N_k$  – коэффициент нормализации для  $k$ -го выражения. Состояния  $S_k^c$  и  $S_k^n$  измеряются в расстояний между соответствующими 2D ориентирами [24].

У разных пользователей разные геометрия лица и пропорции. Таким образом, нормализация необходима для того, чтобы смещение маски, извлеченное у двух пользователей, имело приблизительно одинаковую величину, когда оба находятся в одном выражении. Но так как лицевые ориентиры приводятся в среднюю форму и нормализуются во время обучения, то наша система не требует изначальной калибровки.

В нормализованном пространстве выражений мы можем определить область действия для каждого смещения мимической маски. Вес маски рассчитывается по формуле

$$w_k = \begin{cases} 1, & D_k^{\max} \leq D_k \\ \frac{D_k}{D_k^{\max}}, & 0 \leq D_k < D_k^{\max} \end{cases} \quad (2)$$

где  $D_k^{\max}$  – максимум смещения  $k$ -го выражения.

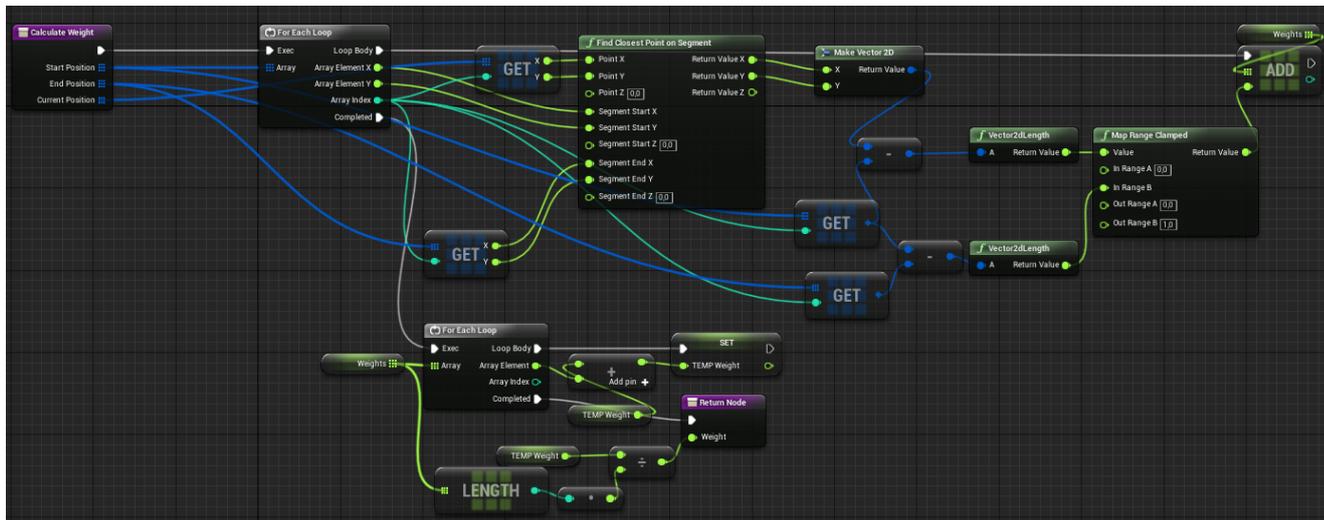


Рисунок 2. Расчет весов для мимических масок.

На основе формул (1) и (2) была написана функция расчета весов (см. рис. 2). На вход она получает нейтральное положение точек и конечное положение этих же точек, определяющих конкретную эмоцию и положение точек в данном кадре, а на выходе выдает средний вес этих точек. Таким образом определяется вес каждой мимической маски.

Несмотря на то, что система уже показывает хороший результат, в ней по-прежнему отсутствуют некоторые детали, необходимые для реалистичной анимации. Анимация глаз и бровей не сильно связана с аудио [11]. Причиной является зависимость анимации от набора обучаемых данных модели и сложности захвата эмоциональной речи. Поэтому наибольшую точность система показывает именно при анимации рта (см. рис. 3), что можно хорошо наблюдать в видео [24], демонстрирующем работу алгоритма.

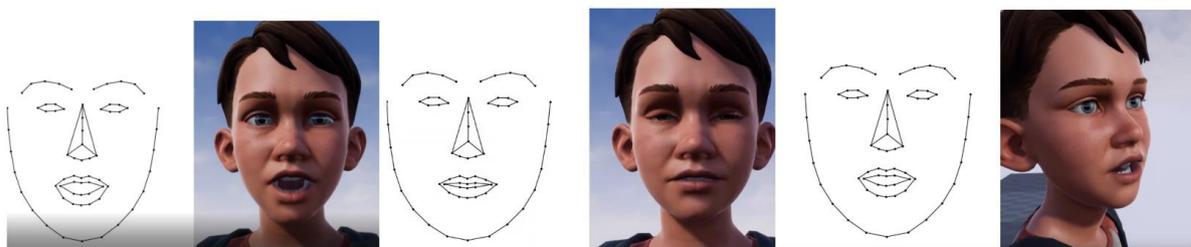


Рисунок 3. Лицевые ориентиры и соответствующая анимация.

Мы предлагаем использовать дополнительную информацию эмоционального состояния дополнительным анализом текста и аудио или из реакций ИИ на внешние раздражители.

### **ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ**

Дальнейшая работа будет нацелена на обработку и выявление разных эмоций, таких, как гнев, отвращение, страх, счастье, печаль и удивление. Также необходимы разработка алгоритма корректных движений глаз, улучшение модели генерации лицевых ориентиров и поиск новых способов анимации, используя машинное обучение.

Результат работы системы [25] и её исходный код [26] доступны для исследовательских целей и участия в развитии системы.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Нами были рассмотрены различные подходы к созданию анимированных выражений лица, контролируемых речью. Мы предлагаем комплексную систему анимации, комбинирующую алгоритмы анимации лица, глаз, и движений головы, управляемую через аудио, которая работает с широким спектром моделей лиц. При вводе аудиофайла записанной или сгенерированной речи система автоматически выводит реалистичную анимацию трёхмерного персонажа.

Система хорошо работает с различными источниками речи, языками и трёхмерными моделями лица. Также система имеет дополнительные параметры управления анимацией, чтобы варьировать стиль речи, изменять эмоции и позу головы во время анимации.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Bednarski R., Pszczoła P. Comparison of face animation methods // *Computer Game Innovations*. 2017. P. 29–40.

2. Zoss G., Beeler T., Gross M., Bradley D. Accurate markerless jaw tracking for facial performance capture // *ACM Transactions on Graphics*. 2019. Vol. 38. No. 4. Article 50.

3. Zollhöfer M., Thies J., Garrido P., Bradley D., Beeler T., Pérez P., Stamminger M., Nießner M., Theobalt C. State of the art on monocular 3D face reconstruction, tracking, and applications // *Computer Graphics Forum*. 2018. Vol. 37. No. 2. P. 523–550.

4. Kugurakova V.V., Talanov M.O., Manakhov N.R. Anthropomorphic artificial social agent with simulated emotions and its implementation // *6th Annual International Conference on Biologically Inspired Cognitive Architectures (BICA 2015)*. 2015. Vol. 71. P. 112–118.

5. Зиннатов А.А. Разработка алгоритмов автозахвата мимики лиц с real-time наложением на аватары в реализации на Unreal Engine 4 / Выпускная квалификационная работа // Казанский федеральный университет. Высшая школа информационных технологий и интеллектуальных систем. 2018. 41 с. URL: [https://kpfu.ru/student\\_diplom/10.160.178.20\\_5299872\\_F\\_zinnatov.pdf](https://kpfu.ru/student_diplom/10.160.178.20_5299872_F_zinnatov.pdf)

6. 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 // Proceedings of the Annual Conference of the International Speech Communication Association, INTERSPEECH. 2013. P. 2667.

7. Zhang X., Wang L., Li G., Seide F., Soong F.K. A new language independent, photo-realistic talking head driven by voice only // Proceedings of the Annual Conference of the International Speech Communication Association, INTERSPEECH. 2013. P. 2743.

8. Cosker D., Marshall D., Rosin P.L., Hicks Y. Speech driven facial animation using a hidden Markov coarticulation model // Proceedings – International Conference on Pattern Recognition. 2004. P. 128.

9. Eskimez S.E., Maddox R.K., Xu C., Duan Z. Generating talking face landmarks from speech. Vol. 10891 LNCS. 2018. P. 372–381.

10. Eskimez S.E., Maddox R.K., Xu C., Duan Z. Noise-resilient training method for face landmark generation from speech // IEEE/ACM Transactions on Audio Speech and Language Processing. 2020. Vol. 28. P. 27–38.

11. Karras T., Aila T., Laine S., Herva A., Lehtinen J. Audio-driven facial animation by joint end-to-end learning of pose and emotion // ACM Transactions on Graphics. 2017. Vol. 36. Is. 4. Article 94.

12. Cudeiro D., Bolkart T., Laidlaw C., Ranjan A., Black M.J. Capture, learning, and synthesis of 3D speaking styles // Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2019. P. 10093.

13. Ekman P. Facial expression and emotion // American Psychologist. 1993. Vol. 48. No. 4. P. 384–392.

14. Kerkeni L., Serrestou Y., Raouf K., Cleder C., Mahjoub M., Mbarki M. Automatic Speech Emotion Recognition Using Machine Learning. In book: Social Media and Machine Learning // IntechOpen. 2019. URL: <https://www.intechopen.com/books/social-media-and-machine-learning/automatic-speech-emotion-recognition-using-machine-learning>

15. Venkataramanan K., Rajamohan H.R. Emotion Recognition from Speech // Arxiv.org. 2019. P. 1–14. URL: <https://arxiv.org/pdf/1912.10458.pdf>

16. Nithya Roopa S., Prabhakaran M., Betty P. Speech emotion recognition using deep learning // International Journal of Recent Technology and Engineering. 2019. Vol. 7. No. 4S. P. 247–250.

17. Chatterjee A., Gupta U., Chinnakotla M.K., Srikanth R., Galley M., Agrawal P. Understanding Emotions in Text Using Deep Learning and Big Data // Computers in Human Behavior. 2019. Vol. 93. P. 309–317.

18. Ramalingam V.V., Pandian A., Jaiswal A., Bhatia N. Emotion detection from text // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1000. No. 1. Article 012027.

19. Алексеев А.А., Кугуракова В.В., Иванов Д.С. Выявление психологического портрета на основе определения тональности сообщений для антропоморфного социального агента // Электронные библиотеки. 2016. Т. 19. № 3. С. 149–165.

20. Ruhland K., Peters C.E., Andrist S., Badler J.B., Badler N.I., Gleicher M., Mutlu B., McDonnell R. A Review of Eye Gaze in Virtual Agents, Social Robotics and HCI: Behaviour Generation, User Interaction and Perception // Computer Graphics Forum. 2015. Vol. 34. No. 6. P. 299–326.

21. Hoppe S., Loetscher T., Morey S.A., Bulling A. Eye movements during everyday behavior predict personality traits // Frontiers in Human Neuroscience. 2018. Vol. 12, 13. Article 105.

22. King D.E. DLib / OpenSource библиотека // URL: <http://dlib.net>

23. Mallick S. Face morph using OpenCV C++/Python / OpenSource библиотека // 2016. URL: <http://www.learnopencv.com/face-morph-using-opencv-cpp-python/>

24. Sheng G., Kai, W. SDK-Based Real-Time Face Tracking and Animation / Archived // Intel. RealSense. 2016. URL: <https://software.intel.com/en-us/articles/intel-realsense-sdk-based-real-time-face-tracking-and-animation>

25. Зиннатов А.А. Механизмы реалистичной мимики для антропоморфных социальных агентов / Демонстрационное видео // YouTube. 2020. URL: <https://youtu.be/vlJrw9R5Yuc?list=PLIY6UcIDS7wKyVAWBkl sESdA0fteFLOY->

26. Зиннатов А.А. FaceAnimation\_UE4. / Исходный код // GitHub. 2020. URL: [https://github.com/ainur-zinnatov/FaceAnimation\\_UE4.git](https://github.com/ainur-zinnatov/FaceAnimation_UE4.git)

---

## **MECHANISMS OF REALISTIC FACIAL EXPRESSIONS FOR ANTHROPO-MORPHIC SOCIAL AGENTS**

---

A. A. Zinnatov<sup>1</sup>, V. V. Kugurakova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Higher School ITIS. Kazan Federal University

<sup>1</sup>ayratzinnat@gmail.com, <sup>2</sup>vlada.kugurakova@gmail.com

### **Abstract**

Three-dimensional facial animation has been extensively studied, but the achievement of realistic, human-like performance has not yet been decided. This article discusses various approaches for generating animated facial expressions controlled by speech. Combining the considered approaches for both facial animation, and the identification of emotions and the creation of micro-facial expressions in one system, we get a solution suitable for tasks such as game video, avatars of virtual reality or any scenario in which a speaker, speech or language is not known in advance.

**Keywords:** *visualization, realistic animation, facial expressions, social agent, game development.*

### **REFERENCES**

1. Bednarski R., Pszczoła P. Comparison of face animation methods // Computer Game Innovations. 2017. P. 29–40.
2. Zoss G., Beeler T., Gross M., Bradley D. Accurate markerless jaw tracking for facial performance capture // ACM Transactions on Graphics. 2019. Vol. 38. No. 4. Article 50.
3. Zollhöfer M., Thies J., Garrido P., Bradley D., Beeler T., Pérez P., Stamminger M., Nießner M., Theobalt C. State of the art on monocular 3D face reconstruction, tracking, and applications // Computer Graphics Forum. 2018. Vol. 37. No. 2. P. 523–550.
4. Kugurakova V.V., Talanov M.O., Manakhov N.R. Anthropomorphic artificial social agent with simulated emotions and its implementation // 6th Annual International Conference on Biologically Inspired Cognitive Architectures (BICA 2015). 2015. Vol. 71. P. 112–118.
5. Zinnatov A.A. Razrabotka algoritmov avtozahvata mimiki lic s real-time nalozheniem na avatary v realizacii na Unreal Engine 4 / Bachelor qualification work //

Kazan federal university. Higher School of Information Technology and Intelligent Systems. 2018. 41 p. URL: [https://kpfu.ru/student\\_diplom/10.160.178.20\\_5299872\\_F\\_zinnatov.pdf](https://kpfu.ru/student_diplom/10.160.178.20_5299872_F_zinnatov.pdf)

6. 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 // Proceedings of the Annual Conference of the International Speech Communication Association, INTERSPEECH. 2013. P. 2667.

7. Zhang X., Wang L., Li G., Seide F., Soong F.K. A new language independent, photo-realistic talking head driven by voice only // Proceedings of the Annual Conference of the International Speech Communication Association, INTERSPEECH. 2013. P. 2743.

8. Cosker D., Marshall D., Rosin P.L., Hicks Y. Speech driven facial animation using a hidden Markov coarticulation model // Proceedings – International Conference on Pattern Recognition. 2004. P. 128.

9. Eskimez S.E., Maddox R.K., Xu C., Duan Z. Generating talking face landmarks from speech. Vol. 10891 LNCS. 2018. P. 372–381.

10. Eskimez S.E., Maddox R.K., Xu C., Duan Z. Noise-resilient training method for face landmark generation from speech // IEEE/ACM Transactions on Audio Speech and Language Processing. 2020. Vol. 28. P. 27–38.

11. Karras T., Aila T., Laine S., Herva A., Lehtinen J. Audio-driven facial animation by joint end-to-end learning of pose and emotion // ACM Transactions on Graphics. 2017. Vol. 36. Is. 4. Article 94.

12. Cudeiro D., Bolkart T., Laidlaw C., Ranjan A., Black M.J. Capture, learning, and synthesis of 3D speaking styles // Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2019. P. 10093.

13. Ekman P. Facial expression and emotion // American Psychologist. 1993. Vol. 48. No. 4. P. 384–392.

14. Kerkeni L., Serrestou Y., Raouf K., Cleder C., Mahjoub M., Mbarki M. Automatic Speech Emotion Recognition Using Machine Learning. In book: Social Media and

Machine Learning // IntechOpen. 2019. URL: <https://www.intechopen.com/books/social-media-and-machine-learning/automatic-speech-emotion-recognition-using-machine-learning>

15. Venkataramanan K., Rajamohan H.R. Emotion Recognition from Speech // Arxiv.org. 2019. P. 1–14. URL: <https://arxiv.org/pdf/1912.10458.pdf>

16. Nithya Roopa S., Prabhakaran M., Betty P. Speech emotion recognition using deep learning // International Journal of Recent Technology and Engineering. 2019. Vol. 7. No. 4S. P. 247–250.

17. Chatterjee A., Gupta U., Chinnakotla M.K., Srikanth R., Galley M., Agrawal P. Understanding Emotions in Text Using Deep Learning and Big Data // Computers in Human Behavior. 2019. Vol. 93. P. 309–317.

18. Ramalingam V.V., Pandian A., Jaiswal A., Bhatia N. Emotion detection from text // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1000. No. 1. Article 012027.

19. Alexeev A.A., Kugurakova, V.V., Ivanov, D.S. Evaluation of interlocutors emotional state through sentiment analysis of messages for the anthropomorphic social agent // Russian Digital Libraries Journal. 2016. Vol. 19. No. 3. P. 149–165.

20. Ruhland K., Peters C.E., Andrist S., Badler J.B., Badler N.I., Gleicher M., Mutlu B., McDonnell R. A Review of Eye Gaze in Virtual Agents, Social Robotics and HCI: Behaviour Generation, User Interaction and Perception // Computer Graphics Forum. 2015. Vol. 34. No. 6. P. 299–326.

21. Hoppe S., Loetscher T., Morey S.A., Bulling A. Eye movements during everyday behavior predict personality traits // Frontiers in Human Neuroscience. 2018. Vol. 12, 13. Article 105.

22. King D.E. DLib / OpenSource библиотека // URL: <http://dlib.net>

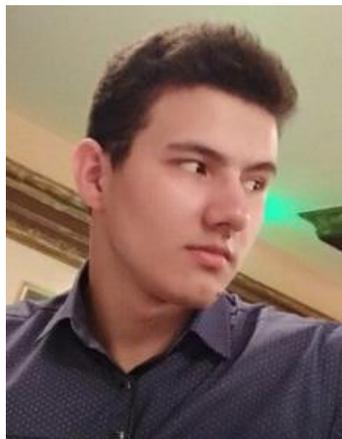
23. Mallick S. Face morph using OpenCV C++/Python / OpenSource библиотека // 2016. URL: <http://www.learnopencv.com/face-morph-using-opencv-cpp-python/>

24. Sheng G., Kai, W. SDK-Based Real-Time Face Tracking and Animation / Archived // Intel. RealSense. 2016. URL: <https://software.intel.com/en-us/articles/intel-realsense-sdk-based-real-time-face-tracking-and-animation>

25. Zinnatov A.A. Mekhanizmy realistichnoj mimiki dlya antropomorfnyh social'nyh agentov / Demo video // YouTube. 2020. URL: <https://youtu.be/vlJrw9R5Yuc?list=PLIY6UcIDS7wKyVAWBkIsESdA0fteFLOY->

26. Zinnatov A.A. FaceAnimation\_UE4 / Source code // GitHub. 2020. URL:  
[https://github.com/ainur-zinnatov/FaceAnimation\\_UE4.git](https://github.com/ainur-zinnatov/FaceAnimation_UE4.git)

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



**ЗИННАТОВ Айнур Айратович** – магистрант Высшей школы информационных технологий и интеллектуальных систем Казанского федерального университета. Сфера научных интересов – высокореалистичная лицевая мимика.

**Aynur Ayratovich ZINNATOV** – Higher School of Information Technologies and Intelligent Systems of Kazan Federal University. His research interests include developing of algorithms for high realistic facial expressions.

email: ayratzinnat@gmail.com



**КУГУРАКОВА Влада Владимировна** – к.т.н., доцент кафедры программной инженерии Высшей школы информационных технологий и интеллектуальных систем Казанского федерального университета, руководитель НИЛ SIM. Сфера научных интересов – реалистичность визуализации и симуляций, иммерсивность VR.

**Vlada Vladimirovna KUGURAKOVA**, docent of Higher School of Information Technology and Intelligent Systems, Head of Laboratory «Virtual and simulation technologies in biomedicine». Research interests include realism of simulation, immersion VR.

email: vlada.kugurakova@gmail.com.

*Материал поступил в редакцию 2 апреля 2020 года*