

# КОГНИТИВНАЯ НАУКА

В МОСКВЕ



НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

МАТЕРИАЛЫ  
КОНФЕРЕНЦИИ  
2019

Под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман

УДК 159.9  
ББК 88.25  
К57

Когнитивная наука в Москве: новые исследования. Материалы конференции 19 июня 2019 г. Под ред. Е. В. Печенковой, М. В. Фаликман. – М.: ООО «Буки Веди», ИППиП. 2019 г. – 656 стр.

ISBN 978-5-4465-2346-7

УДК 159.9  
ББК 88.25

ISBN 978-5-4465-2346-7

©Авторы статей, 2019

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДИНАМИКИ АФФЕКТИВНЫХ СОСТОЯНИЙ В СОЦИАЛЬНОЙ ВИДЕОИГРЕ

Д. В. Тихомирова\*, Х. Л. Шемшединов, А. А. Чубаров, А. В. Самсонович\*\*

\* – [dvsulim@mail.ru](mailto:dvsulim@mail.ru), \*\* – [avsamsonovich@mephi.ru](mailto:avsamsonovich@mephi.ru)

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

**Аннотация.** Задачей настоящей работы является исследование динамики аффективных состояний человека в процессе социального взаимодействия в виртуальном окружении. Разработанные ранее прототипы Виртуального Актора (NPC) и симулятора его виртуального окружения «Телепорт» подверглись существенной переработке и модификации. Экспериментальная платформа была воплощена заново и изучена в экспериментах с участием испытуемых с использованием электромиографии. В работе также сформулирована гипотеза о необходимом расширении модели eVICA (Samsonovich, 2013, 2018), учитывающей эффект настроения на динамику аффективных оценок действий акторов. Наблюдения аффективной динамики испытуемого, выявленной путем анализа миограмм, качественно соответствуют предлагаемому расширению модели. Действительно, ухудшение настроения вследствие поражения в одном раунде снижает амплитуду положительной реакции на победу в последующих раундах, и, наоборот, улучшение настроения вследствие серии побед приводит к нарастанию амплитуды. Результаты позволяют сделать вывод о разумности предложенной гипотезы, требующей дальнейшей проверки.

**Ключевые слова:** человеко-машинный интерфейс, аффективные вычисления, искусственный эмоциональный интеллект, виртуальные персонажи, интеллектуальные агенты, семантические корреляты, когнитивные архитектуры, электромиография

Данная работа финансировалась грантом РФФИ № 18-11-00336.

### Введение

Разработка средств искусственного интеллекта следующих поколений подразумевает обеспечение естественного взаимодействия человека с интеллектуальными агентами на социальном уровне, включающем эмоциональный контакт. Поэтому неудивительно, что сегодня распознаванию и выражению аффектов артефактами уделяется все большее внимание. При этом вопрос выбора адекватной эмоциональной реакции остается в тени, несмотря на его первостепенное значение. Для того чтобы виртуальный персонаж или робот мог быть психологически правдоподобным, социально приемлемым и эффективным в сотрудничестве с пользователем, он должен адекватно реагировать на эмоционально значимые действия других агентов. Законы же естественного аффективного поведения на сегодня изучены недо-

статочно для их широкого воплощения в артефактах, о чем свидетельствует достигнутый уровень (Симонов, 1982; Фоминых, 2006; Gratch, Marsella, 2004).

Задачей настоящей работы является исследование динамики аффективных состояний человека в процессе социального взаимодействия в виртуальном окружении. Для этого мы использовали созданную нами ранее платформу – игру «Телепорт» (Azarnov et al., 2018), допускающую анонимное социальное взаимодействие акторов различной природы – как людей, так и автоматов – при их неразличимости, благодаря чему испытуемый ведет себя естественно. Платформа была существенно переработана и воплощена заново. Парадигма данной игры требует коллаборативного взаимодействия между актерами-участниками, которыми в данном случае являлись человек и два автомата. Данные о динамике аффективных состояний испытуемого в выбранной парадигме позволяют измерить семантические корреляты аффектов участников эксперимента и подтвердить либо уточнить модель, сформулированную ранее на основе когнитивной архитектуры eVICA (Samsonovich, 2013, 2018), см. ниже. Знак и интенсивность эмоционального переживания испытуемого можно установить на основе анализа активности двух мышц: большой скуловой (*M. Zygomaticus Major*) и мышцы, сморщивающей бровь (*M. Corrugator Supercilii*). Правомерность такого анализа и разумность конкретного выбора мышц подтверждают как классические, так и недавние работы (Fridlund, Cacioppo, 1986; Golland et al., 2018; Philip et al., 2018; Rohr et al., 2018), указывая, что активность первой мышцы положительно коррелирует с интенсивностью переживания радости (и сигнализирует положительную валентность), а второй – гнева (и сигнализирует отрицательную валентность). Для регистрации активности данных мышц и, следовательно, эмоционального переживания использовался метод электромиограммы.

### **Методика экспериментов**

Запись электромиограммы производилась с помощью компьютерного электроэнцефалографа «Нейро-КМ» и программы Brainsys. Использовались электроды фирм Covidien и FIAV. В эксперименте принимали участие 20 добровольцев – студенты магистратуры НИЯУ МИФИ в возрасте от 22 до 24 лет.

Перед началом эксперимента участники проходили обучение игре «Телепорт» и приобретали практику игры. Далее осуществлялось крепление электродов на участнике эксперимента – к мышце *M. Zygomaticus Major* и мышце *M. Corrugator Supercilii* – по два электрода на мышцу для регистрации разности потенциалов. Электроды располагались по схеме (Fridlund, Cacioppo, 1986), которая обеспечила наилучшее отношение сигнал/шум. Электроды крепились следующим образом. *M. Zygomaticus Major*: один электрод размещался посередине воображаемой линии, соединяющей хейлион (точка угла рта) и костную ямку над скуловой дугой, а второй электрод крепился на 1 см ниже и медиальнее первого (ближе ко рту) на той же воображаемой линии. *M. Corrugator Supercilii*: один электрод крепился непосредственно над бровью на воображаемой вертикальной линии, которая проходит через эндокантион (точка у внутренней смычки глазной щели); второй электрод располагался

на 1 см латеральнее и немного выше первого на границе брови. «Земляной» электрод располагался по средней линии примерно на 3–4 см выше верхней границы бровей, а «ушной» электрод крепился на лоб отдельно в соседнюю точку, чтобы минимизировать влияние входной паразитной емкости «земляного» электрода (Fridlund, Cacioppo, 1986).

Эксперимент по записи ЭМГ проводился по следующей парадигме: вначале во время игры «Телепорт», затем во время просмотра серии клипов видеозаписи игры. По окончании записи проводился опрос участников с целью получения обратной связи. На записях миограмм можно было уверенно различить момент проявления эмоции испытуемым, а также оценить интенсивность переживания эмоции и ее характер, что подтверждалось сравнением с результатами опроса испытуемого и анализом видеозаписи лица. Так, миограмма позволяла отличить широкую продолжительную улыбку от быстрой, открытую улыбку от едва заметной.

При обработке данных проводилась их очистка от артефактов, таких как моргание. Все события в виртуальном окружении игры логировались и впоследствии обрабатывались с целью поиска семантических коррелятов миограмм.

**Расширение математической модели социально-эмоционального контакта акторов в коллаборативной парадигме.** Коллаборативное взаимодействие двух акторов подразумевает оценку конкретных действий партнера, а также наличие его совокупной оценки. Последнюю можно разделить на объективную и субъективную компоненты. При этом за основу берется когнитивная архитектура eVICA (Samsonovich, 2013, 2018), которая определяет динамику объективной оценки актора  $A$  следующим образом (без учета затухания):

$$A_{t+1} = A_t + \delta, \quad (1)$$

где  $\delta$  обозначает изменение оценки актора, пропорциональное оценке совершенного действия,  $t$  — время. В модели eVICA величина  $\delta$  для каждого данного типа действия является константой.

Предлагаемое дополнение к модели eVICA формулируется ниже на уровне гипотезы. Идея состоит в том, чтобы учесть влияние эмоционального состояния актора в данный момент времени на его оценки действий других акторов. В качестве параметра, отражающего эмоциональное состояние актора, вводится настроение актора. При этом настроение может влиять на величину смещения оценки  $\delta$  другого актора, вызванного его действиями. Например, в используемой парадигме игры «Телепорт» при негативных действиях одного из акторов смещение его оценки другим актором в область отрицательных значений будет меньше при хорошем настроении и больше при плохом настроении. Введем переменную *mood*, которая описывает значение настроения. Пусть областью определения данной переменной будет интервал (0, 1). Также введем  $mood_0 = .5$  как значение, соответствующее нейтральному настроению. Снова текущую оценку взаимодействующего актора в данный момент времени  $t$  обозначим как  $A_t$ . Тогда оценка в момент времени  $t+1$  будет иметь следующее значение:

$$A_{t+1} = A_t + \delta \cdot \left(1 + \frac{\delta}{|\delta|} \cdot \frac{mood - mood_0}{mood_0}\right) \quad (2)$$

Соотношение (2) выражает математически нашу гипотезу. При  $mood = mood_0$  (то есть при «нейтральном» настроении) изменение оценки согласно (2) будет соответствовать изменению оценки без учета эмоционального состояния согласно (1), что соответствует модели eVICA.

## Результаты

С помощью электромиограммы были зарегистрированы характеристики эмоционального отклика испытуемого в процессе игры. Параметры сигналов (амплитуда, частотный спектр) зависят от индивидуальных особенностей участников. В частотном спектре сигналов ЭМГ можно условно выделить две полосы: низкочастотную и высокочастотную. Наибольшей информативностью обладал высокочастотный сигнал в полосе частот 7–70 Гц. Именно сигналы в этом частотном диапазоне использовались для поиска семантических коррелятов. Мощность сигнала вычислялась посредством вейвлет-анализа с использованием соответствующего пакета в MATLAB. В диапазоне 20–40 Гц было сосредоточено примерно 80% мощности сигнала. По результатам качественного анализа корреляций был установлен фильтр на диапазон частот 24–43 Гц. Полученная кривая мощности подвергалась сглаживанию.

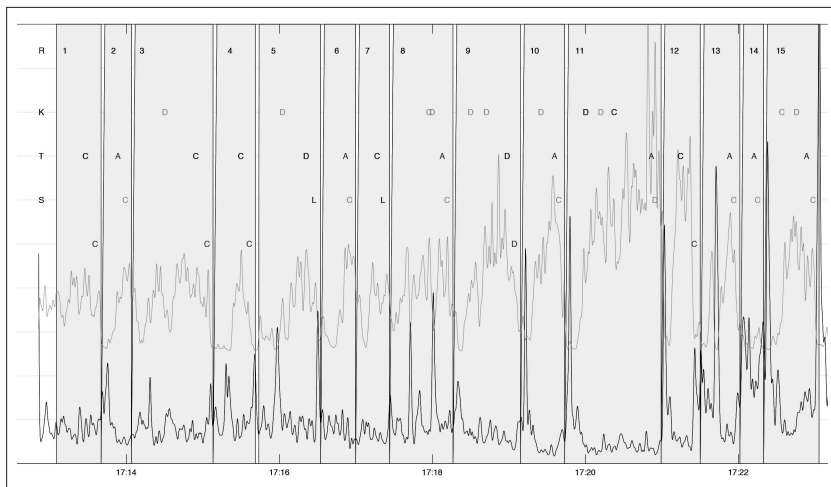
На рис. 1 представлены временные диаграммы активности мышц *M. Corrugator Supercilii* и *M. Zygomaticus Major* красным (светлым) и черным (темным) цветом соответственно. Было замечено, что эмоциональная реакция участника эксперимента на завершение раунда часто возникала с задержкой, в начале следующего раунда, что может свидетельствовать о существовании временного лага между совершением действий при взаимодействии с персонажами игры и экспрессией эмоций.

Обнаруженные семантические корреляты миограмм включают всплески валентности, проявляющиеся как «микроулыбки», в первые секунды после смены раундов игры (пики на черной кривой, рис. 1). При этом всплески (пики) отсутствуют после тех раундов, в которых произошло поражение. Интересно, что эффект отсутствия пиков переносится и на следующий раунд, даже если в нем была достигнута победа. В последующих раундах амплитуда пика плавно нарастает, что иллюстрирует рис. 1.

## Обсуждение и выводы

Можно говорить о том, что электромиография является хорошим инструментом для эмпирической валидации математических моделей виртуальных акторов, обладающих социально-эмоциональным интеллектом. Временная диаграмма активности мышц лица отражает моменты проявления интерпретируемых эмоций у участника эксперимента, интенсивность переживаемой эмоции и ее характер.

Наблюдения динамики аффективной реакции испытуемого на успех в игре качественно соответствуют предлагаемой поправке к модели. Действительно,



**Рисунок 1.** Временные диаграммы активности мышц *M. Zygomaticus Major* и *M. Corrugator Supercilii*: примеры миограмм, полученных для сессий игры «Телепорт» (данные после вейвлет-анализа, спектральной фильтрации и сглаживания). Черная кривая – *M. Zygomaticus Major*, красная кривая – *M. Corrugator Supercilii*. Буквы соответствуют событиям игры (R: номер раунда, K: удар, T: телепортация, S: спасение, A, C, D соответствуют трем игрокам, L: поражение). Вертикальные линии разделяют раунды. В данном примере поражение произошло в пятом и в седьмом раундах; с этим связано отсутствие всплеска на черной кривой в начале шестого, седьмого и восьмого раундов. Амплитуда всплеска нарастает начиная с девятого раунда

ухудшение настроения вследствие поражения в одном раунде снижает амплитуду положительной реакции на победу в последующих раундах, и, наоборот, улучшение настроения вследствие серии побед приводит к нарастанию амплитуды. Было также обнаружено, что живая игра вызывает гораздо больше эмоций у участников эксперимента, чем просмотр клипов видеозаписи игры.

Суммируя результаты, можно сказать, что разработанные ранее прототип «Виртуального Актора» и симулятора его виртуального окружения (Azarnov et al., 2018) подверглись существенной переработке и модификации. Экспериментальные данные свидетельствуют об эффективности созданной методики. Результаты экспериментов позволяют сделать вывод о разумности предложенной здесь гипотезы о расширении модели eVICA (Samsonovich, 2013, 2018), учитывающем эффект настроения на динамику оценок.

## Литература

- Симонов П. В. Потребностно-информационная теория эмоций // Вопросы психологии. 1982. Т. 6. С. 44 – 56.
- Фоминых И. Б. Эмоции как аппарат оценок поведения интеллектуальных систем // Труды 10-й Национальной конференции по искусственному интеллекту КИИ-2006. М.: Физматлит, 2006. <http://www.raai.org/resurs/papers/kii-2006/doklad/Fominykh.doc>

Azarnov D.A., Chubarov A.A., Samsonovich A.V. Virtual actor with social-emotional intelligence // *Procedia Computer Science*. 2018. Vol. 123. P. 76–85. [doi:10.1016/j.procs.2018.01.013](https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.01.013)

Fridlund A.J., Cacioppo J.T. Guidelines for human electromyographic research // *Psychophysiology*. 1986. Vol. 23. No. 5. P. 567–589. [doi:10.1111/j.1469-8986.1986.tb00676.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1986.tb00676.x)

Golland Y., Hakim A., Aloni T., Schaefer S., Binnun N.L. Affect dynamics of facial EMG during continuous emotional experiences // *Biological Psychology*. 2018. Vol. 139. P. 47–58. [doi:10.1016/j.biopsycho.2018.10.003](https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2018.10.003)

Gratch J., Marsella S. A domain-independent framework for modeling emotion // *Cognitive Systems Research*. 2004. Vol. 5. No. 4. P. 269–306. [doi:10.1016/j.cogsys.2004.02.002](https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2004.02.002)

Philip L., Martin J.-C., Clavel C. Rapid facial reactions in response to facial expressions of emotion displayed by real versus virtual faces // *i-Perception*. 2018. Vol. 9. No. 4. P. 1–18. [doi:10.1177/2041669518786527](https://doi.org/10.1177/2041669518786527)

Rohr M., Folyi T., Wentura D. Emotional misattribution: Facial muscle responses partially mediate behavioral responses in the emotion misattribution procedure // *Psychophysiology*. 2018. Vol. 55. No. 10. P. e13202. [doi:10.1111/psyp.13202](https://doi.org/10.1111/psyp.13202)

Samsonovich A.V. Emotionally biologically inspired cognitive architecture // *Biologically Inspired Cognitive Architectures*. 2013. Vol. 6. P. 109–125. [doi:10.1016/j.bica.2013.07.009](https://doi.org/10.1016/j.bica.2013.07.009)

Samsonovich A.V. Schema formalism for the common model of cognition // *Biologically Inspired Cognitive Architectures*. 2018. Vol. 26. P. 1–19. [doi:10.1016/j.bica.2018.10.008](https://doi.org/10.1016/j.bica.2018.10.008)

## PATTERNS OF AFFECTIVE STATE DYNAMICS IN A SOCIAL VIDEO GAME

D. V. Tikhomirova\*, Kh. L. Shemshedinov, A. A. Chubarov, A. V. Samsonovich\*\*

\* [dvsulim@mail.ru](mailto:dvsulim@mail.ru), \*\* [avsamsonovich@mephi.ru](mailto:avsamsonovich@mephi.ru)

National Research Nuclear University “MEPhI”, Moscow

**Abstract.** The objective of this work is to study the dynamics of human affective states in the process of social interaction in a virtual environment. The prototypes previously developed for this purpose, Virtual Actor (NPC) and its virtual environment simulator “Teleport”, have undergone significant re-design and modification. The experimental platform was re-implemented and studied in experiments with human participants using electromyography. In this work we tested a hypothesis formulated as an extension to the eBICA model (Samsonovich, 2013, 2018), which takes into account the effect of mood on the dynamics of affective appraisals of the actors’ actions. Our observations of the participants’ affective state dynamics based on myograms qualitatively correspond to the proposed extension of the model. Indeed, mood deterioration due to a defeat in one round of the game reduces the positive reaction to a victory in subsequent rounds. And vice versa, mood improvement due to a series of victories enhances positive responses. These results suggest that the proposed hypothesis is reasonable and deserves further quantitative study.

**Keywords:** human-computer interface, affective computing, artificial emotional intelligence, virtual characters, intelligent agents, semantic correlates, cognitive architectures, electromyography