УДК 004.89

МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ КВАНТОВЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ СЛОЖНОГО ЭМОЦИОНАЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТА С АНСАМБЛЕВОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ

С.В. Горбачев¹, В.Ф. Кузин²,
Н.А. Милостная³,
Цзиньде Цао⁴, Цзяньлун Цю⁵,
С. Бхаттачарья⁶

¹Национальный исследовательский
Томский государственный
университет

²Российская академия естественных
наук,

³Юго-Западный государственный уни-
верситет, Курск, Россия

⁴Юго-Восточный университет, Нанкин
(Китай) и университет Йонсей, Сеул
(Корея)

⁵Университет Линьи, Линьи, Китай

⁶Раджнагар Махавидьялая, Бирбхум,
Индия

В статье описывается квантовый подход к моделированию сложных эмоций на основе комплексирования парных базовых эмоций в 4-мерном пространстве признаков, выделенных в психоэволюционной теории эмоций Р. Плутчика. Предложена модификация колеса эмоций Р. Плутчика с целью его формализации в виде двух моделей агентов сложных эмоций – модели с реактивной архитектурой на основе базы правил и ансамблевой гибридной модели на основе различных классов архитектур нейро-нечетких сетей, позволяющей на 20–30% увеличить точность распознавания в мультиагентных системах.

Ключевые слова: базовые эмоции, сложный интеллект, колесо эмоций, квантовый нейроэмоциональный агент, мультиагентные системы, гибридные ансамбли.

MULTI-AGENT QUANTUM APPROACH TO MODELING OF COMPLEX EMOTIONAL INTELLIGENCE WITH AN ENSEMBLE ORGANIZATION

S.V. GORBACHEV¹, V.F. KUZIN²,
N.A. MILOSTNAYA³, JINDE CAO⁴,
JIANLONG QIU⁵, S. BHATTACHARYYA⁶

¹NATIONAL RESEARCH TOMSK STATE
UNIVERSITY,

²RUSSIAN ACADEMY OF NATURAL SCIENCES

³SOUTHWEST STATE UNIVERSITY, KURSK,

⁴SOUTHEAST UNIVERSITY, NANJING (CHINA)
AND YONSEI UNIVERSITY, SEOUL (KOREA)

⁵UNIVERSITY LINYI, LINYI, CHINA

⁶RAJNAGAR MAHAVIDYALAYA, BIRBHUM,
INDIA

The paper describes a quantum approach to the modeling of complex emotions based on the integration of paired basic emotions in a 4-dimensional space of signs identified in the psycho-evolutionary theory of emotions by R. Plutchik. A modification of the wheel of emotions of R. Plutchik is proposed in order to formalize it in the form of two models of agents of complex emotions – a model with a reactive architecture based on a rule base and an ensemble hybrid model based on various classes of neuro-fuzzy network architectures, which makes it possible to increase the recognition accuracy by 20–30% in multi-agent systems.

Ключевые слова: basic emotions, complex intelligence, wheel of emotions, quantum neuroemotional agent, multi-agent systems, hybrid ensembles.

DOI : 10.52531/1682-1696-2021-21-1-123-129

ВВЕДЕНИЕ

В мультиагентных системах для изучения коллективного поведения агентов и координации их поведения используются различные модели [8]:

- модели коллективного поведения автоматов исследованы в [9] и ряде более поздних работ, основаны на самоорганизации и распределении, используются в задачах с большим количеством простых взаимодействий;

- модели на основе логического вывода решают задачи путем согласования результатов логического вывода в базах знаний отдельных агентов в процессе моделирования, что приводит к высокой сложности моделей и вычислительным трудностям;
- модели на основе конкуренции используют механизм проведения аукционов;
- модели на основе нейро-нечеткого моделирования эмоций [12].

Коллективное поведение агентов в мультиагентных системах предполагает возникновение конфликтов следующих основных типов:

- при коллективном принятии решения;
- в связи с естественной ограниченностью ресурсов и средств.

Под групповым принятием решения обычно понимается осуществляемый группой выбор из ряда альтернатив (согласование) в условиях взаимного обмена информацией при решении общей для всех членов группы задачи. Исследованию проблемной области согласованного группового принятия решений посвящены работы А.Г. Костинской, А.В. Петровского [7] и др.

Экспериментальное изучение процесса группового принятия решения было начато К. Левиным, приведшему к выводу о том, что групповые решения не могут сводиться к сумме индивидуальных, а являются специфическим продуктом группового взаимодействия. В итоге в различных ситуациях качество группового решения может быть как выше качества индивидуального, так и ниже. Это связано с уровнем группового и индивидуального развития.

В области распознавания эмоций коллективный мультиагентный подход является одним из наиболее важных направлений исследований, поскольку позволяет комплексировать автоматическую идентификацию образов (текст, звук, лицо, персона, предметы и т.д.) с помощью технологий искусственного интеллекта, что дает понимание особенностей работы человеческого интеллекта. Методы автоматического распознавания эмоций в мультиагентных системах позволяют использовать нейроэмоциональных агентов в диалоговых системах «человек-машина».

Известно, что выражение эмоций может быть весьма разнообразным и различаться как в зависимости от индивидуальных особенностей, так и от ситуативного контекста. Культурный контекст играет важную роль, если речь идет об эмоциях, не относящихся к категории базовых, поскольку принятые в определенной общности способы выражения сложных эмоциональных состояний различаются. Кроме того, проявления, соответствующие «смешанным» эмоциям, трудны для распознавания, поскольку за ними скрывается целый комплекс испытываемых человеком чувств. Еще один фактор, влияющий на эффективность распознавания эмоций, – возможность фальсифицировать эмоциональное поведение.

В 1872 г. Чарльз Дарвин опубликовал свою новаторскую работу «Выражение эмоций у человека и животных», в которой он перечислил более 30 эмоций, разбитых на семь групп. Позднее ученые предложили различные наборы базовых эмоций, хотя окончательного консенсуса относительно точного количества базовых эмоций или того, какие эмоции являются основными, еще не достигнуто. Фактически, ученые

С.В. ГОРБАЧЕВ, В.Ф. КУЗИН, Н.А. МИЛОСТНАЯ,
ЦЗИНЬДЕ ЦАО, ЦЗЯНЬЛУН ЦЮ, С. БХАТТАЧАРЬЯ
МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ КВАНТОВЫЙ ПОДХОД
К МОДЕЛИРОВАНИЮ СЛОЖНОГО ЭМОЦИОНАЛЬНОГО
ИНТЕЛЛЕКТА С АНСАМБЛЕВОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ

долго спорили о том, существует ли вообще какое-то количество основных эмоций. Тем не менее, среди тех, кто придерживается теории основных эмоций, похоже, есть достаточное согласие с тем, что количество основных эмоций находится где-то в диапазоне 5–10.

Основные эмоции можно рассматривать как крайности эмоционального выражения. Все сложные эмоции, таким образом, являются квантовой суперпозицией этих основных эмоций.

В 2002 г. P. Ekman, W. V. Friesen и J. C. Hager разработали систему кодирования лицевых движений для классификации выражений лица человека [11], на ее основе X. Zhou разработал модель нейроэмоционального агента обнаружения и генерирования одной из 6 базовых эмоций (гнев, отвращение, радость, любовь, печаль, страх). В 2017 г. X. Zhou и W.Y. Wang предложили модель MojiTalk и исследовали идею изучения смайлов данных Twitter, которые естественно помечаются во время разговора [23]. Авторы предположили, что смайлики передают базовые эмоции, лежащие в основе предложения.

Отметим, что сложный эмоциональный интеллект должен распознавать основные эмоции и эмоциональный потенциал события для последующего прогнозирования его поведения и затем обеспечивать обмен эмоциональными состояниями между агентом и пользователем. Таким образом, фактор обнаружения и генерации сложных эмоций не учитывался в существующих нейросетевых моделях генерации разговора.

Целью данной статьи является разработка квантово-инспирированного подхода к моделированию сложных эмоций на основе психоэволюционной теории базовых эмоций Р. Плутчика.

ПСИХОЭВОЛЮЦИОННАЯ ТЕОРИЯ БАЗОВЫХ ЭМОЦИЙ ПЛУТЧИКА

Американский ученый R. Plutchik (Плутчик) предложил психоэволюционный классификационный подход к общим эмоциональным реакциям [16]. Он считал, что существует 8 основных эмоций – гнев, страх, радость, печаль, доверие, брезгливость, ожидание, удивление. Плутчик доказывает первичность этих эмоций, показывая, что каждая из них является триггером поведения с высокой ценностью выживания, например, страх порождает действие «дерись или беги».

Психоэволюционная теория базовых эмоций Плутчика имеет десять постулатов.

1. Понятие эмоции применимо ко всем эволюционным уровням и применимо ко всем животным, включая человека.

2. Эмоции имеют эволюционную историю и развили различные формы выражения у различных видов.

3. Эмоции играли адаптивную роль, помогая организмам справляться с ключевыми проблемами выживания, создаваемыми окружающей средой.

4. Несмотря на различные формы выражения эмоций у разных видов, существуют определенные общие элементы или прототипные паттерны, которые могут быть идентифицированы.

5. Существует небольшое количество базовых, первичных или прототипных эмоций.

6. Все остальные эмоции являются смешанными или производными состояниями, то есть они возникают как комбинации, смеси или соединения первичных эмоций.

7. Первичные эмоции – это гипотетические конструкции или идеализированные состояния, свойства и характеристики которых могут быть выведены только из различных видов доказательств.

8. Первичные эмоции могут быть концептуализированы в терминах пар полярных противоположностей.

9. Все эмоции различаются по степени сходства друг с другом.

10. Каждая эмоция может существовать в разной степени интенсивности или степени возбуждения.

Р. Плутчик создал колесо эмоций, чтобы проиллюстрировать различные эмоции. Он предложил 8 основных биполярных эмоций: радость против печали; гнев против страха; доверие против брезгливости; удивление против ожидания. Кроме того, его модель устанавливает связь между идеей эмоционального круга и цветового колеса, чтобы описать, как связаны эмоции.

Подобно цветам, первичные эмоции могут быть выражены с различной интенсивностью и могут смешиваться друг с другом, образуя различные сложные эмоции. В итоге получилась яркая наглядная схема, напоминающая цветок (рис. 1).

Рис. 1.

Колесо эмоций (Р. Плутчик)

Колесо эмоций Роберта Плутчика включает в себя 8 лепестков и область между лепестками. Лепестки образуют 3 круга:

- центральный круг – эмоции-аффекты.
- средний круг – базовые (простые) эмоции.
- внешний круг – простые эмоции меньшей интенсивности.

Область между лепестками – сложные эмоции, как комбинация простых в определенном порядке.

Чем дальше эмоция удалена от центральной оси, тем слабее переживание и ниже эмоциональный интеллект. С помощью колеса эмоций Р. Плутчика удастся лучше разглядеть свои или чужие чувства, понять их и научиться вызывать нужные, а при необходимости – корректировать поведение. Колесо дает возможность спрогнозировать не только действия конкретных людей (агентов), но и результаты работы команд (системы).

РЕАКТИВНАЯ МОДЕЛЬ АГЕНТА СЛОЖНЫХ ЭМОЦИЙ

Типы архитектур агентов подробно исследованы в отечественной и зарубежной литературе, отметим следующую классификацию архитектур [10]:

- делиберативная (deliberative);
- реактивная (reactive);
- гибридная (hybrid) [6].

Реактивные агенты, в отличие от агентов с делиберативной архитектурой, не имеют какой-либо символической внутренней модели мира, а содержат в своей базе знаний правила типа «ситуация–действие», выбирая из них наиболее подходящие действия для конкретной ситуации. Таким образом, реактивная архитектура позволяет использовать множество образцов поведения для реакции агента на определенные стимулы для конкретной предметной области.

Для формализации представления базовых эмоций в реактивной модели агента будем использовать 8-й постулат теории Р. Плутчика: «Первичные эмоции могут быть концептуализированы в терминах пар полярных противоположностей», т.е. радость–печаль, ожидание–удивление, страх–гнев, доверие–брезгливость. Таким образом, у нас есть 4-мерное пространство биполярных векторов базовых эмоциональных состояний. Теперь для того, чтобы в нижней точке смыкания лепестков колеса эмоций был эмоциональный ноль (точка равновесия, полное спокойствие) поменяем местами его центральный и внешний круг, при этом средний круг с базовыми эмоциями останется на месте. В этом случае интенсивность эмоций будет повышаться по мере удаления от точки равновесия.

Нашу модель сложных эмоций, отображаемых на колесе Р. Плутчика, можно представить как комбинацию базовых эмоций, или вектор в 4-мерном пространстве биполярных признаков-состояний с помощью векторного квантования эмоций с числом

С.В. ГОРБАЧЕВ, В.Ф. КУЗИН, Н.А. МИЛОСТНАЯ,
ЦЗИНЬДЕ ЦАО, ЦЗЯНЬЛУН ЦЮ, С. БХАТТАЧАРЬЯ
МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ КВАНТОВЫЙ ПОДХОД
К МОДЕЛИРОВАНИЮ СЛОЖНОГО ЭМОЦИОНАЛЬНОГО
ИНТЕЛЛЕКТА С АНСАМБЛЕВОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ

уровней квантования 3, соответствующих значениям интенсивностями 1, 0 или -1, например, любовь = радость ($x_1=1$) + доверие ($x_4=1$), агрессия = ожидание ($x_2=1$) + гнев ($x_3=-1$) и т.д.

В биологических нейронных сетях такие триарные векторы, или сигнальные пакеты импульсов, соответствуют группам действующих одновременно (в пределах заданного временного окна) нервных импульсов (спайков), а их компоненты моделируют отсутствие (0) или наличие (± 1) спайков, воздействующих на возбуждаемые (+1) или замедлительные (-1) синапсы целевых нейронов (т.е. знак ненулевой проекции вектора определяет дальнейшее функциональное предназначение соответствующего ему конкретного спайка).

Для классификации каждой сложной эмоции мы можем составить свое диагностическое решающее правило:

Если ($x_1=1$) И ($x_2=0$) И ($x_3=0$) И ($x_4=1$), ТО $k =$ «любовь»

Если ($x_1=1$) И ($x_2=1$) И ($x_3=0$) И ($x_4=0$), ТО $k =$ «оптимизм»

Если ($x_1=0$) И ($x_2=1$) И ($x_3=-1$) И ($x_4=0$), ТО $k =$ «агрессия»

Если ($x_1=0$) И ($x_2=0$) И ($x_3=-1$) И ($x_4=-1$), ТО $k =$ «презрение»

Если ($x_1=-1$) И ($x_2=0$) И ($x_3=0$) И ($x_4=-1$), ТО $k =$ «сожаление»

Если ($x_1=-1$) И ($x_2=-1$) И ($x_3=0$) И ($x_4=0$), ТО $k =$ «неодобрение»

Если ($x_1=0$) И ($x_2=-1$) И ($x_3=1$) И ($x_4=0$), ТО $k =$ «трепет»

Если ($x_1=0$) И ($x_2=0$) И ($x_3=1$) И ($x_4=1$), ТО $k =$ «подчинение»

Базовая архитектура реактивной модели агента сложных эмоций показана на рис. 2.

В данной архитектуре выбор действия агентом полностью определяется заданными продукционными правилами. Полученную базу правил можно записать в виде таблицы истинности для парных комбинаций переменных x_i (табл. 1).

Таблицу 1 можно в дальнейшем использовать как переходную матрицу для распознавания и классификации сложных эмоций.

Многие вычислительные задачи решаются простым перебором вариантов, поэтому большинство представленных публикаций в области вычислений

РИС. 2.

Архитектура реактивной модели агента сложных эмоций

ТАБЛИЦА 1.

Таблица истинности для парных комбинаций биполярных базовых эмоций в 4-мерном пространстве признаков

Сложная эмоция (к)	Радость-Печаль (x_1)	Ожидание-Удивление (x_2)	Страх-Гнев (x_3)	Доверие-Брезгливость (x_4)
Любовь	1	0	0	1
Оптимизм	1	1	0	0
Агрессия	0	1	-1	0
Презрение	0	0	-1	-1
Сожаление	-1	0	0	-1
Неодобрение	-1	-1	0	0
Трепет	0	-1	1	0
Подчинение	0	0	1	1

эмоционального пространства [15, 19–21] основаны на традиционных вычислениях, опирающихся исключительно на использование математических выражений.

Полученная таблица истинности основана на 3-значной логике ($n=3$), а полное число переборных решений составляет C_{n+m-1}^n , где m – число переменных. При увеличении размерности исходных данных пространство решений растет по степенному закону.

АНСАМБЛЕВАЯ НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ АГЕНТА СЛОЖНЫХ ЭМОЦИЙ

В качестве альтернативного подхода можно предложить нейросетевой метод распознавания сложных эмоций, рассматривая эту задачу как обучение в 4-мерном пространстве признаков. Для формирования входных признаков могут использоваться разнородные данные (текст, речь, изображения). Благодаря широкому кругу приложений, автоматический анализ выражения лица привлекает большое внимание исследователей в последние годы. В частности, в работах под руководством А.В. Заболевской-Зотовой рассматривается возможность построения системы определения эмоциональных реакций человека по мимике, голосу и невербальным движениям [4, 17]. В работах А.Н. Алфимцева и В.В. Девяткова рассматривается задача распознавания динамических жестов человека [2]. В докторской диссертации В.В. Дементенко представлена автоматизированная система предугадывания засыпания водителя по частоте моргания и саккадам [3]. В работе С. Shan и др. рассматривается алгоритм детектирования эмоций на основе локальных бинарных паттернов [18]. В последнее время для решения классификации эмоций стали часто применяться сверточные нейронные сети [5, 13, 14, 22].

Для повышения точности и надежности распознавания сложных эмоций мы разработали ансамблевые гибридные анализаторы многомерных данных с распределением вычислительного процесса на гетеро-

генных архитектурах нейро-нечетких сетей (Горбачев С.В., Ц. Цао, Ц. Цю, С. Бхаттачарья и др. [1, 12]).

С целью объединения гетерогенных нейроэкспертов в ансамбль и согласованного принятия коллективного решения используются различные методы и их модификации (стекинг, бустинг, бэггинг). В частности, в случае бинарной классификации ансамблями, состоящими из трех нейросетей (рис.3), метод бустинга фильтрацией позволяет улучшать качество классификации на тестовой выборке даже после достижения безошибочного распознавания обучающей выборки.

Алгоритм

1. Первая нейронная сеть обучается на множестве из m примеров.

РИС.3.

Схема бустинга фильтрацией для ансамбля из трех нейросетей

2. Вторая сеть также обучается на m примерах, выбираемых так, что первая сеть ровно на половине из них дает точный ответ.

3. Наконец, третья сеть обучается на таких m примерах, на которых ответы первой и второй сетей расходятся.

4. Прогнозом ансамбля является ответ первых двух сетей, если он одинаков, и ответ третьей сети, если ответы первой и второй сетей разошлись.

Доказано, что если каждый из трех нейроэкспертов имеет ошибку $e < 0.5$, то коллективное решение трех нейроэкспертов имеет ошибку не выше $3e^2 - 2e^3$ (рис. 4).

Как показывают вычислительные эксперименты, использование гибридных ансамблей нейроэкспертов способно на 20–30% увеличить точность распознавания базовых классов.

РИС. 4.

Сравнительные графики индивидуальной ошибки e и коллективной ошибки $3e^2 - 2e^3$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основе колеса эмоций Р. Плутчика предложена модель сложных эмоций как вектор в 4-мерном пространстве биполярных признаков-состояний с помощью векторного квантования базовых эмоций с числом уровней квантования 3, соответствующих значениям интенсивности 1,0 или -1. Предложена модификация колеса эмоций Р. Плутчика с целью его формализации в виде двух моделей агентов сложных эмоций – модели с реактивной архитектурой агента на основе базы правил и ансамблевой гибридной модели на основе различных классов архитектур нейро-нечетких сетей, позволяющей на 20–30% увеличить точность распознавания. Предложенный подход может применяться для создания гетерогенных нейроэмоциональных агентов в мультиагентных системах. Значимость прикладного характера исследований определяется возможностью их использования

С.В. ГОРБАЧЕВ, В.Ф. КУЗИН, Н.А. МИЛОСТНАЯ, ЦЗИНЬДЕ ЦАО, ЦЗЯНЬЛУН ЦЮ, С. БХАТТАЧАРЬЯ
МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ КВАНТОВЫЙ ПОДХОД
К МОДЕЛИРОВАНИЮ СЛОЖНОГО ЭМОЦИОНАЛЬНОГО
ИНТЕЛЛЕКТА С АНСАМБЛЕВОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ

в мультиагентных робототехнических системах для изучения коллективного поведения агентов (роботов) в составе группы роботов и координации их поведения.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОРБАЧЕВ С.В., КОЙНОВ С.А., СЫРЯМКИН В.И. Повышение точности распознавания многомерных пересекающихся объектов на основе нечеткого кластерно-конструктивного анализа обобщенных образов // Телекомм, 2014. №8. С. 44–48.
2. ДЕВЯТКОВ В.В., АЛФИМЦЕВ А.Н. Распознавание манипулятивных жестов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер.: Приборостр., 2007. Т. 68. Вып. 3. С. 56–75.
3. ДЕМЕНТИЕНКО В.В. Физические принципы построения систем безопасного мониторинга состояния человека-оператора : автореф. дисс. ... д-ра техн. наук, М., 2010.
4. ЗАБОЛЕЕВА-ЗОТОВА А.В. Задача создания системы автоматизированного распознавания эмоций // Открыт. сем. техн. проектир. интел. систем : мат. Междунар. науч.-техн. конф. OSTIS-2012, 16–18 февраля 2012. Минск : БГУИР, 2012. С. 347–350.
5. КОРОЛЬКОВА О.А. Перцептивное пространство и предикторы различения эмоциональных экспрессий лица // Рос. журн. когн. науки, 2014. № 1 (4). С. 82–97.
6. МАСЛОВЕВ А.В. Гибридная архитектура интеллектуального агента с имитационным аппаратом // Вестн. МГТУ, Мурманск: МГТУ, 2009. Т. 12. №1. С. 113–124.
7. ПЕТРОВСКИЙ А.Б. Поддержка принятия решений // Труды Инст. сист. анализа РАН, М.: ИСА РАН. 2008. Т. 35. 128 с.
8. ПОСПЕЛОВ Д.А. Многоагентные системы – настоящее и будущее // Инф. техн. и выч. сист., 1998. №1. С. 49–56.
9. ЦЕТЛИН М.А. Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем, М.: Наука. 1969. 347 с.
10. ШВЕЦОВ А.Н. Агентно-ориентированные системы: от формальных моделей к промышленным приложениям // Всерос.конк. отбор обзорно анал. статей по приоритет. напр. «Инф.- телеком. сист.», 2008. 101 с.
11. ЕКМАН Р., FRIESEN W.V., HAGER J.C. Facial Action Coding System // A Human Face, 2002. 256 p.
12. GORBACHEV S., GORBACHEVA N., KOYNOV S. A synergistic effect in the measurement of neuro-fuzzy system // MATEC Web of Conferences, 2016. Vol. 79. Article number 01065. 6 p.
13. LECUN Y., BENGIO Y. Convolutional Networks for Images, Speech, and Time Series. The Handb. of Brain Theory and Neural Networks, MIT Press. 2002. P. 276–279.

14. **LEIBIN B.M.** Expression of a person as an object of psychoanalytic research // The person's face as a means of comm. Interdisc. approach, 2012. P. 57.
15. **MAEDA Y., TANABE N.** Basic study on interactive emotional communication by pet-type robot // Trans. of the Soc. of Instr. Control Engineers, 2006. Vol. 42. № 4. P. 359–366.
16. **PLUTCHIK R., KELLERMAN H.** Emotion: Theory, research and experience, Theories of emotion, New York: Academic Press. 1980. Vol. 1. P. 3–33.
17. **ROZALIEV V.L., ORLOVA YU.A.** Recognizing and Analyzing Emotional expressions in Movements // E-Learn. Syst., Environm. and Approaches. Theory and Implem, Springer. 2015. P. 117–131.
18. **SHAN C., GONG SH., MCOWAN PETER W.** Facial expression recognition based on Local Binary Patterns: A comprehensive study // Image and Vis. Comp., 2009. № 27. P. 803–816.
19. **TAKI R., MAEDA Y., TAKAHASHI Y.** Effective emotional model of pettype robot in interactive emotion communication // Proc. of Joint 5th Int. Conf. on Soft Comp. and Intel. Syst. and 11th Int. Symp. on Advanced Intel. Syst., 2010. P. 199–204.
20. **TERADA K., YAMAUCHI A. ITO A.** Artificial emotion expression for a robot by dynamic color change // The 21st IEEE Int. Symp. on Robot and Human Interactive Comm., 2012. P. 9–13.
21. **YAMAUCHI A., TERADA K., ITO A.** An emotion expression model for a robot by dynamic illuminated color change // Hum. Interf., 2011. Vol. 13. № 1. P. 41–52.
22. **YI J., MAO X., CHEN L., XUE Y., COMPARE A.** Facial expression recognition considering individual differences in facial structure and texture // IET Comp. Vision, 2014. Vol. 8. P. 429–440.
23. **ZHOU X., WANG W.Y.** MojiTalk: Generating Emotional Responses at Scale // In Proc. of the 56th Annual Meeting of the Assoc. for Comp. Ling., 2017. Vol. 1. P. 1128–1137.

Горбачев Сергей Викторович,
к.т.н., с.н.с. международной лаборатории «Системы технического зрения» факультета инновационных технологий НИ Томского государственного университета

☎ 634050, г.Томск, пр.Ленина, 36
Lenina Street, 36, Tomsk, Russia
тел.: +7(3822) 52-94-98, e-mail: spp03@sibmail.com

Кузин Виктор Федорович,
д.т.н., профессор

☎ тел.: +7(925) 156-13-00, e-mail: vfkuzin@mail.ru

Милостная Наталья Анатольевна
к.т.н., ведущий научный сотрудник кафедры «Вычислительная техника» Юго-Западного государственного университета

☎ 305004, г. Курск, ул. Челюскинцев, д. 19/2
Cheluskincev Street, 19/2 Kursk, Russia
тел.: +7(4712) 22-25-51, e-mail: nat_mil@mail.ru

Цзиньде Цао

доктор наук, профессор Университета Йонсей, Корея, декан математической школы Юго-Восточного университета Китая, директор Лаборатории сетевого коллективного интеллекта провинции Цзянсу Китая

☎ № 2, SEU Road, Jiangning District, Nanjing 211189, China
тел.: +86-25-52090588 (O), e-mail: jdcao@seu.edu.cn

Цзяньлун Цю

доктор наук по прикладной математике, профессор Университета Линьи, Китай

☎ The middle part of Shuangling Road, Linyi City, Shandong Province, 276005, China
тел.: +86 (539) 7258861, e-mail: qiuqianlong@lyu.edu.cn

Сиддхарта Бхаттачарья

доктор наук, профессор, департамент компьютерных наук и инженерии, Университет Христа, Бангалор, Индия

☎ Block IV, Room No. 487, Hosur Rd Nagar, S. G. Palya, Bengaluru Karnataka 560 029, India
тел.: (91) 9830354195,
e-mail: dr.siddhartha.bhattacharyya@gmail.com