

# Оптический журнал

Нейроиконика

DOI: 10.17586/1023-5086-2022-89-08-33-42

УДК 612.84; 528.854

## Аппаратно-программный комплекс для поиска и выделения информативных признаков в изображениях средств невербальной коммуникации

Ольга Викторовна Жукова<sup>1</sup>✉, Юрий Евгеньевич Шелепин<sup>2</sup>,  
Нариса Нан Чу<sup>3</sup>, По-Лей Ли<sup>4</sup>, Хао-Тенг Суй<sup>5</sup>,  
Сергей Вадимович Пронин<sup>6</sup>, Евгений Юрьевич Шелепин<sup>7</sup>,  
Петр Павлович Васильев<sup>8</sup>, Владислав Сергеевич Лебедев<sup>9</sup>,  
Галина Александровна Моисеенко<sup>10</sup>, Станислав Алексеевич Морозов<sup>11</sup>

<sup>1, 2, 6, 7, 8, 9, 10, 11</sup>Институт физиологии им. И.П. Павлова Российской академии наук,  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>CWLab International, Лос-Анджелес, США

<sup>4, 5</sup>Национальный центральный университет Тайваня, Тайвань, Китай

### Аннотация

Предметом исследования являются технологии выделения информативных признаков в динамических изображениях (видео) средств невербальной коммуникации операторов в процессе совместной конструктивной деятельности. Цель данной работы — разработать методы поиска и выделения значимых признаков неверbalного общения в принимаемых динамических (видео) изображениях лиц партнёров, признаков, являющихся ключевыми в совместной деятельности партнёров, при выключенном вербальном канале связи. Метод. Разработана технология взаимодействия и создан аппаратно-программный комплекс для выделения «маркеров общения» в изображениях мимики и движений глаз партнёров в процессе совместной игровой деятельности, в которой невербальная коммуникация играет ключевую роль, а речевой канал связи выключен. Суть совместной деятельности заключалась в поиске одним из партнёров в наблюдаемом им изображении скрытой цели при помощи невербальной подсказки от второго партнёра, который видит положение цели на своем экране. Партнёры были подобраны из представителей двух удалённых территориально культур — русской и китайской. Взаимодействия партнёров в процессе работы с изображениями объекта деятельности, получаемыми по видеосвязи одновременно в двух исследовательских центрах на западе и востоке Евразии, оценивали по физиологическим параметрам, регистрируемым одновременно. Основные результаты. Создан новый алгоритм исследования изображений — средств невербального взаимодействия, обеспечивающих достижение совместной цели без речевого канала связи. На примере движений глаз партнёров, общезвестных ключевых признаков невербальной коммуникации, показали их эффективность в процессе конструктивной совместной деятельности. Постановка задачи была задана обеим группам испытуемых, как китайской, так и русской в виде (английского) текста. На основании проведённых нами измерений невербальное взаимодействие в задаче поиска положения цели работает одинаково для представителей обеих культур и зависит от роли партнёров и типа выполняемой задачи. Установлены корреляционные связи между активностью различных нейронных сетей головного мозга, обеспечивающие распознавание изображений в процессе поиска цели невербального общения. Анализ изображений движений глаз выделил «классический» паттерн «захвата глаз» в процессе общения как ведомым, так и ведущим партнёром. Происходит постоянное переключение от оценки изображений глаз партнёра на поиск цели во всем изображении. Полученные результаты позволяют утверждать, что, во-первых, когнитивный процесс распознавания мимики, вероятно,

самый сложный зрительный когнитивный процесс, а, во-вторых, то, что при выполнении общей и понятной обоим партнёрам совместной деятельности существуют единые алгоритмы поведения. **Практическая значимость.** Создан аппаратно-программный комплекс для поиска значимых признаков невербальной коммуникации в изображениях лиц. На примере явных базовых сигналов невербальной коммуникации показана работоспособность предлагаемой технологии поиска признаков, что открывает новые пути обучения искусственных нейронных сетей в обеспечении «интуитивного» неверbalного общения машины и человека в распознавании скрытых признаков невербальной коммуникации.

**Ключевые слова:** обработка и синтез изображений, восприятие изображений, видеосвязь, невербальная коммуникация, распознавание изображений, мимика, нейронные сети, движения глаз

**Благодарность:** исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Министерства по науке и технологиям Тайваня в рамках научного проекта № 21-515-52004.

**Ссылка для цитирования:** Жукова О.В., Шелепин Ю.Е., Нариса Нан Чу, По-Лей Ли, Хао-Тенг Сюй, Пронин С.В., Шелепин Е.Ю., Васильев П.П., Лебедев В.С., Моисеенко Г.А., Морозов С.А. Аппаратно-программный комплекс для поиска и выделения информативных признаков в изображениях средств невербальной коммуникации // Оптический журнал. 2022. Т. 89. № 8. С. 33–42. DOI: 10.17586/1023-5086-2022-89-08-33-42

**Коды OCIS:** 100.4996, 330.2210, 330.6110.

## ВВЕДЕНИЕ

Технологии видеосвязи широко применяются в повседневной и научной жизни. Они способны передать всю полноту и разнообразие невербальной информации (зрительный контакт, мимику, жесты, позы, осанку), передаваемой от человека к человеку во время общения. Более ранние попытки облегчить и сделать более эффективным коммуникацию с помощью технологий, синтезирующих вырожденные изображения лиц, например, путём создания эмодзи, наоборот, не улучшили, а ограничили человеческое общение, так как их возможности были ограничены и практически идентичны возможностям пишущих механических машинок 19–20 веков, двоеточий, тире и скобок. Эти технологии резко контрастировали с объёмом получаемой зрительной информации человеком, приблизительно составляющим  $4,56 \times 10^6$  бит в секунду [1]. Отметим, что большая часть этой информации неосознаваемая [2].

Быстрое развитие оптико-электронных средств видеосвязи и обработки изображений открыло уникальные возможности для облегчения взаимопонимания собеседников. Во время обмена изображениями между собеседниками происходит передача неосознаваемой информации. Эта информация может кардинально менять принятие решения собеседниками. Однако содержание в передаваемых изображениях ключевой информации,

передаваемой неосознанно, трудно для формализации, обработки и выделения как искусственными системами распознавания, так и человеком.

Одновременно с развитием технологий видеосвязи появились возможности обработки изображений лиц собеседников на основании нейронных сетей и устройств контроля неосознанных движений глаз. Так, в работе Малаховой и её соавторов разработана технология определения направления взора на экране монитора посредством анализа снимков, получаемых с видеокамеры, направленной на пользователя, без использования дополнительного оборудования [3]. Эти технологии облегчают решение задачи — выделить в наблюдаемом изображении ключевые признаки невербального общения.

Среди явных перспектив развития данных технологий следует отметить создание многоцелевых виртуальных агентов. Агенты Greta, Max, Ellie, Tinker, Ludens [4] — только некоторые примеры эффективного взаимодействия между технологиями и людьми посредством транслирования вербальной и невербальной информации. Однако эффективность таких агентов резко снижается в ситуации отключения верbalного канала, например, при общении двух коммуникантов, представителей разных культур, когда использование верbalного канала становится бессмысленно.

Цель данной работы — разработать методы поиска и выделения значимых признаков неверbalного общения в принимаемых динамических (видео) изображениях лиц партнёров, признаков, являющихся ключевыми в совместной деятельности партнёров. Поиск именно базовых признаков (архетипов) невербальной коммуникации, свободной от поздних наследий, обусловленных образом жизни и культурными традициями, решили провести на примере взаимодействия русских и китайцев в процессе их конструктивной деятельности в достижении совместной цели. Планировали эту работу как предтечу в развитии средств «интуитивного» невербального общения человека и искусственного интеллекта.

## МЕТОДИКА

### Оборудование

Разработана технология взаимодействия и создан аппаратно-программный комплекс для выделения «маркеров общения» в изображениях мимики и движений глаз партнёров в процессе невербального общения в случае совместной игровой деятельности, в которой невербальная коммуникация играет ключевую роль, а речевой канал связи выключен. Взаимодействия партнёров в процессе работы с изображениями, получаемыми по видеосвязи одновременно в двух крайне удалённых исследовательских центрах на западе и востоке Евразии, оценивали по физиологическим параметрам, регистрируемым одновременно. В ИФ РАН в состав комплекса вошли два регистрирующих компьютера с мониторами, два игровых компьютера с мониторами, два трекера (Gazepoint GP3, Канада), два усилителя (NVX52, Медицинские Компьютерные Системы), комплектующие (электроды для ЭЭГ и миограммы, кабели, мыши и т.д.). Синхронизация всех компьютеров организована через com-порты.

### Дистанционная совместная деятельность

Для обеспечения контролируемого физиологическими методами невербального диалога по интернету в реальном масштабе времени разработана специальная игра в Интернете, требующая достижение цели за минималь-

ное время (разработчик — Пронин С.В., научный сотрудник Института физиологии им. Н.И. Павлова РАН). Трансконтинентальная задержка около 200–300 мс не влияла на ход работы.

Разработаны две программы для двух партнёров. Первая из них — ведущая — в ней задаются все параметры, из неё осуществляется управление экспериментом, и в ней же отображаются результаты. Вторая программа — ведомая — она получает команды от первой программы. В ведущей программе открывается игровое поле, разбитое на прямоугольные ячейки. Если установлена связь с ведомой программой, то в ней тоже открывается точно такое же поле.

Смысл игры заключается в следующем. В одной из ячеек находится спрятанный объект — зелёный прямоугольник. Один из участников (ведомый) не видит этот объект, другой (ведущий) — видит. Задача первого, ведомого партнёра, перебирая ячейки, найти ту, в которой спрятан объект. Если какая-либо дополнительная информация отсутствует, он будет перебирать ячейки в случайном порядке. Но если ему, кроме игрового поля, демонстрировать на экране изображение лица второго партнёра (ведущего), который видит, насколько он близок к цели, то, наблюдая его эмоциональную реакцию, ведомый может корректировать свой выбор и находить объект в среднем быстрее, чем «вслепую». Дополнительно в программе продумана возможность организации игры, в процессе которой спрятанный объект не предъявляется на экран ведущего партнёра. Соответственно, данный партнёр, так как не видит цель, то и не может подсказать мимикой другому партнёру местоположение скрытой цели. Программа сохраняет результаты проведённых игр по следующим параметрам: длительность каждой игры и количество «пройденных» ячеек в процессе каждой игры, а также средние значения за весь цикл проведённых игр.

В ходе тестирования программы (при проведении игр в режиме человек–компьютер) был подобран оптимальный размер игрового поля (8 на 8 ячеек), что соответствует размерам стандартной шахматной доски. При данных параметрах быстро найти скрытую цель без мимической подсказки другого партнёра становится затруднительно.

## Испытуемые

В исследовании приняли участие 6 пар участников (мужчины) из России и 9 пар из России и Тайваня (мужчины). Возрастной диапазон — от 22 до 29 лет. В основном русскую выборку составили студенты и аспиранты СПбГУ, ИФ РАН и ИТМО, китайскую — студенты Национального центрального университета Тайвания. Критериями включения участников в выборку являлось отсутствие неврологических и психиатрических заболеваний, травм головы, судорожной и пароксизмальной активности в анамнезе, отсутствие хронических заболеваний, нормальное или скорректированное зрение, нормальный слух. Все добровольцы дали письменное согласие на участие в исследовании после ознакомления с сущностью процедуры.

## Процедура исследования

Все участники последовательно проходили две экспериментальные серии по 48 игр в каждой. После первой серии происходила смена ролей партнёров. В состав 48 игр в случайном порядке входили игры, во время которых скрытая цель выводилась на экран ведущего партнёра, и игры, во время которых скрытая цель отсутствовала. Инструкция ведомого партнёра заключалась в том, чтобы как можно быстрее найти скрытую цель при наличии или отсутствии мимической подсказки со стороны ведущего партнёра. Инструкция ведущего партнёра заключалась в том, чтобы мимикой сообщить ведомому, где находится скрытая цель, при этом стараться не делать сильных телодвижений. При отсутствии цели на своем мониторе ведущий партнёр должен был просто наблюдать за действиями другого партнёра.

## Регистрация электроэнцефалограммы

Проведена одновременная регистрация биоэлектрической активности мозга — снята электроэнцефалограмма (ЭЭГ) во время игры двух участников. Регистрацию и обработку ЭЭГ проводили с помощью двух 48-канальных анализаторов «NVX 52» (частота дискретизации — 2000 Гц) и программами WinEEG, разработанной в Институте мозга человека РАН им. Н.П. Бехтеревой. Электроды располагали в соответствии с международной системой 10–20 в отведениях Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, T3, C3, Cz, C4, T4, T5, P3, Pz,

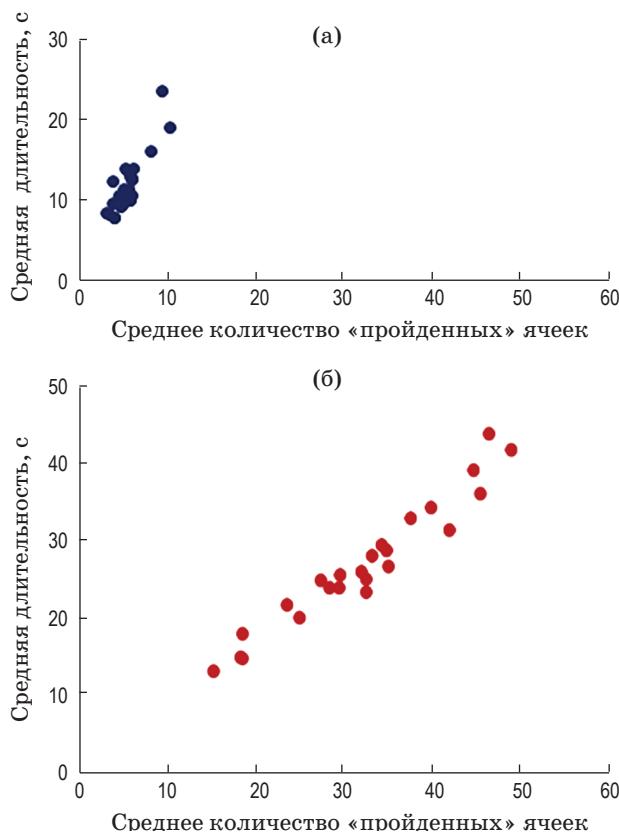
P4, T6, O1, O2. Референтные электроды располагали на мочках ушей. В работе использовали монтаж отведений ЭЭГ относительно объединённого ушного референта. Сопротивление электродов не превышало 5 кОм. Коррекцию артефактов морганий глаз провели с помощью метода независимых компонент. Оценку спектральной плотности осуществляли с помощью дискретного преобразования Фурье. При расчёте спектральной плотности весь анализируемый интервал разбивали на эпохи длительностью 4 с, перекрывающиеся на 50%. Для сглаживания спектров использовали окно Ханна. Регистрировали ЭЭГ, движения глаз и миограмму каждого партнёра. Для регистрации миограммы использовали два электрода, которые симметрично крепили на мышцу zygomaticus.

Для регистрации движений глаз в исследовании было использовано оборудование GazePoint GP3 и GP3HD, включенные в режиме частоты 60 Гц. Запись осуществлялась через программное обеспечение GazePoint Analysis (GazePoint, 2021). Был выбран режим Screen Capture. Стимульный дизайн представлен следующим образом: после процесса калибровки начиналась запись экрана (Screen Capture), которая останавливалась по кнопке по завершении серии игр для каждого участника. Для анализа данных по каждой игре экспортировался файл с фиксациями для BPOGX, BPOGY, SACCADEMAG, SACCADE\_DIR, обозначающие координаты фиксации по осям X, Y соответственно, а также магнитуду (путь сakkады) и направление. Также были экспортированы тепловые карты и карты перемещения взора.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Поиск цели в совмещённых изображениях лиц собеседников и рабочего поля — психофизические исследования.

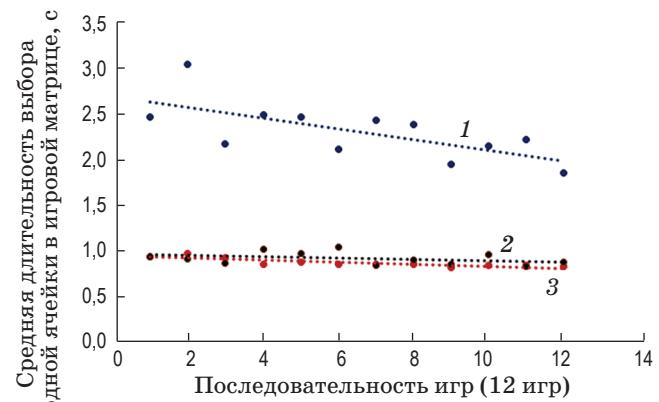
На рис. 1 в качестве примера приведены результаты игр в русских парах, представителей одной культуры — графики зависимостей длительности игр от количества «пройденных» ячеек в первой серии исследования. Видно, что экспериментальная парадигма с отсутствием на экране монитора у ведущего партнёра скрытого объекта, а, соответственно, и отсутствие самой возможности неверbalной подсказки,



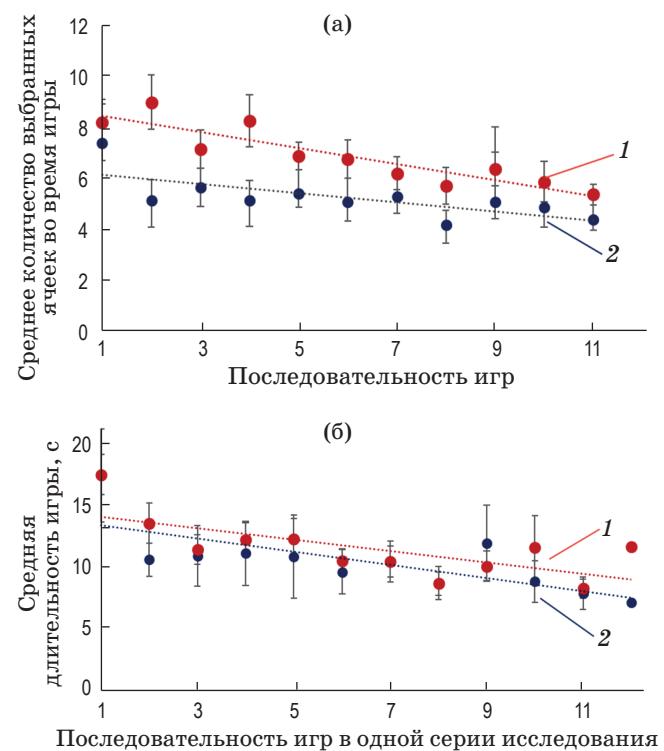
**Рис. 1.** Графики зависимостей длительности игр от количества «пройденных» ячеек в первой серии исследования (общее количество — 48 игр) в условиях предъявления (а) и отсутствия (б) скрытого объекта на экране ведущего партнёра. Данные представлены на выборке из 6 пар испытуемых (русский-русский)

приводила к тому, что игра по поиску скрытой цели занимала более длительное время в сравнении с условием, когда скрытая цель предъявлялась на экране. Таким образом, мимическая подсказка в игре выполняла важную роль, которая существенным образом влияла на эффективность выполнения игры. Это характерно и для первой, и для второй серии исследования. Во второй половине исследования длительность выполнения игры сокращается, что, вероятно, связано с эффектом обучения правилам игры и адаптацией партнёров друг к другу. Все выявленные различия являлись статистически значимыми (в соответствии с дисперсионным анализом,  $p < 0,001$ ).

Важно подчеркнуть, что эффект адаптации наглядно представлен именно в условии, когда ведущий мог мимикой подсказывать ведомому партнёру, где находится цель (рис. 2).



**Рис. 2.** Средняя длительность выбора ячеек на игровом поле ведомым партнёром при условии, когда цель была видна (1) и когда отсутствовала (3) на мониторе ведущего партнёра. Данные представлены на выборке из 6 пар испытуемых (русский-русский). Для примера, кривая игры с компьютером (2) представлена на данных одного испытуемого. Представлена последовательность из 12 игр в первой серии исследования



**Рис. 3.** Сравнение психофизических параметров в русских (2) и русско-китайских группах (1). а — среднее количество «пройденных» ячеек, б — средняя длительность игры. Результаты представлены на группе 12 (русский-русский) и 18 (русский-китаец) испытуемых. В качестве разброса использована ошибка среднего значения. Данные получены в условиях, когда скрытая цель была предъявлена на экран ведущего партнёра

Так, средняя длительность выбора одной ячейки на поле снижается с 2,5 до 1,8 с в условии, когда цель была видна на мониторе ведущего и остаётся практически неизменной, в среднем 1 с, когда ведомый партнёр не использовал мимику ведущего партнёра как подсказку.

Важно подчеркнуть, что не выявлено значимых отличий в группах испытуемых «русский-русский» и «русский-китаец» (рис. 3). Зависимость кривых и по количеству «пройденных» ячеек и по средней длительности игры практически одинакова (в соответствии с дисперсионным анализом,  $p > 0,05$ ). Небольшое увеличение параметров в «русско-китайских» парах, вероятно, можно объяснить небольшой экспериментальной выборкой.

Важно подчеркнуть, что представленные данные демонстрируют отличия в мимике, но поиск идёт одинаково. Таким образом, установлено наличие невербального взаимодействия между партнёрами в обеспечении совместной конструктивной деятельности, заключающейся в поиске объекта. На основании проведённых нами измерений невербальное взаимодействие для решения данной задачи работает одинаково для представителей обеих культур и зависит от роли и типа выполняемой задачи.

### Обработка изображений лиц собеседников по данным ЭЭГ серии исследования в процессе видеосвязи

Известно, что ритмы мозга отражают процессы функциональной модуляции активности крупномасштабных нейронных сетей головного мозга человека, и, вероятно, связаны со многими аспектами человеческой деятельности [5]. Следовательно, можно предположить, что ритмы связаны и с различными аспектами общения. Нейронные механизмы вербальной коммуникации изучены достаточно подробно [6]. Речь по своей сути организована ритмично. Например, временные шкалы фонем и слогов, а также формальные просодические аспекты, такие как интонация и ударение, попадают в отдельные полосы частот. В мощности ритмов отражаются процессы сегментации, кодирования и производства речи в разных временных масштабах. Роль же ритмов в процессе невербальной коммуникации гораздо менее понятна.

Проанализированы 6 русских пар при выполнении партнёрами роли ведущего и ве-

домого. Наблюдается увеличение мощности сигналов при выполнении партнёрами роли ведущего в диапазоне 1,5–4 Гц и 30 Гц в ритмах ЭЭГ. Значимое увеличение мощности сигналов при выполнении роли ведущего наблюдается в диапазоне 1,5–4 Гц во фронтальных (Multivariate Tests of Significance, Fp2, F7, F4, F8), центральных (C3, Cz) и височных (T3) областях ( $p < 0,05$ ), а в диапазоне 30 Гц — в височных (Multivariate Tests of Significanc, T3, T4, T5, T6) областях головного мозга ( $p < 0,05$ ). Проведено сравнение двух условий: при наличии «скрытой цели» на экране ведущего партнёра или при её отсутствии. Выявлено, что мощность сигнала во всех частотных диапазонах выше в условиях игры с мимической подсказкой ( $p < 0,05$ ).

Таким образом, при сравнении максимальных значений спектральной мощности по всем играм в русских парах было установлено увеличение мощности в медленно- и высокочастотных диапазонах ЭЭГ при выполнении роли ведущего партнёра. При выполнении различных ролей условия игры с мимической подсказкой оказывали существенное влияние на перераспределение мощностей сигнала в различных частотных диапазонах.

Следует напомнить, что партнёры активно взаимодействовали между собой с помощью движений глаз, поэтому можно предположить, что в медленночастотном диапазоне наблюдается, как сам дельта-ритм, так и артефакты, связанные с движениями глаз. В пользу данного предположения служит тот факт, что частота саккады составляет 1,6–5 Гц, что соответствует дельта-диапазону частот (1,5–4 Гц). При обработке каждой записи ЭЭГ была применена стандартная рутинная обработка для удаления артефактов движения. При записи был использован фильтр удаления движения глаз. Но невербальная коммуникация в наших условиях основана на движениях глазодвигательных мышц, проявление которых мы видим в дельта-частотном диапазоне. Зарегистрированная активность в высокочастотном диапазоне 14–30 Гц, особенно в височных отведениях, связана с движением мимических мышц. В пользу данного предположения служит тот факт, что активность гамма-ритмов имеет очень низкую амплитуду (5–7 мкВ) и её очень трудно отделить от артефактов ЭМГ.

## Результаты анализа корреляции двух сигналов ЭЭГ при распознавании мимики в изображениях собеседников

На следующем шаге выполнен анализ корреляции двух сигналов ЭЭГ (у партнёров, играющих в паре). Для этого разработана программа Correlation (разработчик — Пронин С.В., ИФ РАН). Для оценки уровня корреляции использован коэффициент корреляции Пирсона.

Для оценки уровня корреляции все данные были отфильтрованы в шести частотных диапазонах. Корреляцию оценивали по динамике мощности двух сигналов ЭЭГ в процессе совместной дистанционной работы. В среднем, уровень корреляции между двумя одинаковыми отведениями у партнёров находится на низком уровне (0,1–0,3%). Это характерно для всех частотных диапазонов и отведений головного мозга. Низкий уровень корреляции вполне ожидаем, так как каждый из партнёров выполнял свою инструкцию и роль, которые существенным образом отличались друг от друга. Необходимо отметить, что данная тенденция характерна как для электродов (ЭЭГ), так и для биоканалов, регистрирующих активность с мышцы zygomaticus (ЭМГ). В тоже время при выполнении серии игр достаточно часто встречаются отдельные игры со средним или высоким (0,8–0,9%) уровнем корреляции между партнёрами. Чаще всего эти «выбросы» наблюдаются в дельта- и гамма-частотных диапазонах. Это характерно как для ЭЭГ, так и для ЭМГ. В один момент времени уровень корреляции между партнёрами может значительно возрасти, в других случаях, наоборот, уменьшиться. Вероятно, при высоких уровнях корреляции в дельта- и гамма-частотных диапазонах мы видим синхронные движения лицевых и глазодвигательных мышц у партнёров во время игры. Но так как эти невербальные сигналы крайне важны для осуществления эффективной коммуникации между людьми, то на данном этапе не так важно разделять полученные эффекты от ЭЭГ и ЭМГ, но важнее их рассматривать как единое целое, как маркер неверbalной коммуникации.

Важно подчеркнуть, что установлено наличие корреляционных связей не только между одинаковыми отведениями у ведущего и ведомого партнёров, но и между активностью различных нейронных сетей в процессе невербального общения. Это представляет интерес,

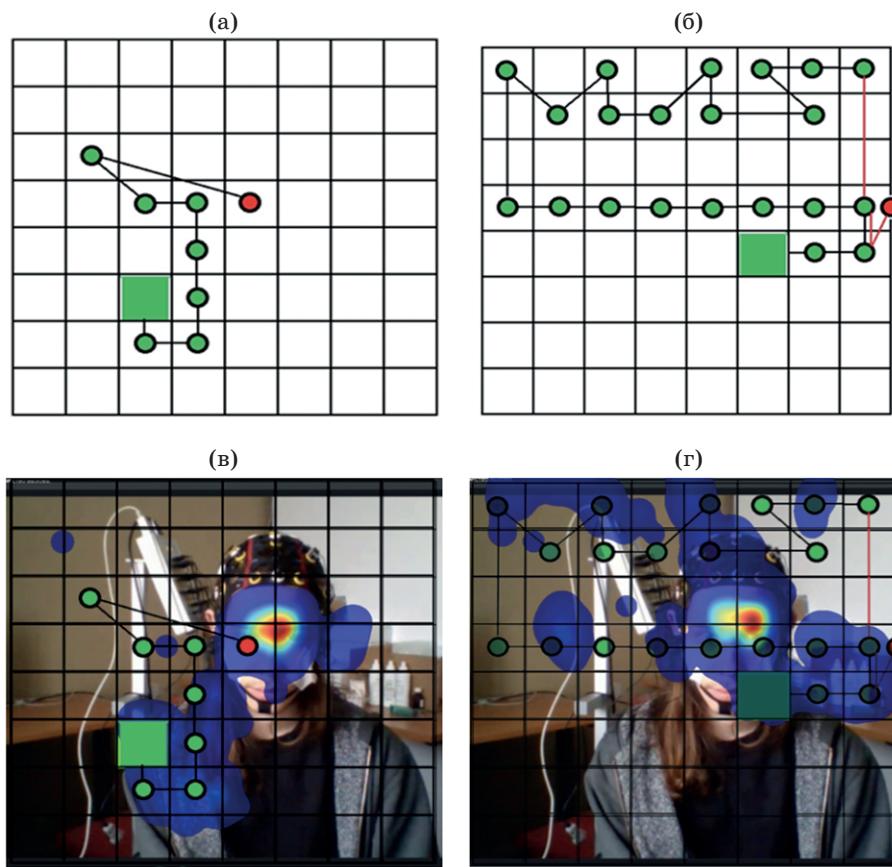
так как одна и та же область мозга, например, зрительная, может быть синхронизирована с целым рядом других областей, играющих важную роль в невербальной коммуникации. Ведётся обработка данных по группе испытуемых.

Таким образом, установлены корреляционные связи между активностью различных нейронных сетей головного мозга, обеспечивающих различный тип обработки наблюдавших партнёрами изображений в процессе невербального целенаправленного общения. Показано, что уровень корреляции между одинаковыми отведениями ЭЭГ (ЭМГ) у двух партнёров носит неравномерный характер в процессе игры.

## Результаты анализа движений глаз по изображениям лиц собеседников

Карты движений глаз во время одной игры (18 с) представлены на рис. 4. В одном условии игры ведущий партнёр видел цель и мог мимикой подсказать ведомому партнёру её местоположение. По анализу карт видно, что ведомый партнёр фиксируется на глазах ведущего партнёра и текущем положении курсора, а между этими областями интереса происходит постоянное переключение (рис. 4в). Внимание ведущего партнёра более распределено, но также наблюдается область интереса между текущим положением курсора и глазами второго партнёра. В другом условии ведущий партнёр не видел цель и не мог, соответственно, мимикой подсказать ведомому партнёру её местоположение. В данном случае происходит переключение внимания ведущего партнёра между текущим лицом ведомого партнёра и отвлекающими элементами на экране. На экране ведомого партнёра также наблюдается всего одна фиксация на искомом поле (ввиду отсутствия подсказки на экране до момента окончания игры), но большое количество фиксаций совершаются на лице ведущего партнёра (рис. 4г). То есть, даже если ведомый партнёр знал, что скрытый объект не виден для ведущего партнёра, он все равно искал подсказку на его лице. В обоих случаях видно, что фиксации происходили преимущественно в областях, где осуществлялся выбор ячейки.

Полученные результаты соотносятся с ранее опубликованными данными [7]. В наших условиях более выражен линейный паттерн



**Рис. 4.** Траектории выбора ячеек ведомым партнёром (первый отмечен красным диском, последующие — зелёным). а) — в условиях наличия подсказки (цель выводили на экран ведущего партнёра) и б) – отсутствия подсказки (цель не выводили на экран ведущего партнёра). в) и г) — представленные в (а) и (б) траектории выбора ячеек (движения курсора мыши) совмещены с тепловыми картами ведомого партнёра, отражающие фиксации взора ведомого партнёра на лице ведущего партнёра. Скриншот снят в момент окончания игры, когда скрытая цель найдена

осмотра лица, что, возможно, связано с индивидуальными предпочтениями этой пары партнёров или с самой экспериментальной парадигмой. Для оценки групповых предпочтений необходимо провести усреднение параметров движения глаз на выборке испытуемых.

Таким образом, в ходе работы показан принцип конструктивного взаимодействия партнёров в оптическом пространстве без использования верbalного канала связи и построение зрительной картины игровой ситуации. Полученные результаты позволяют утверждать, что, во-первых, когнитивный процесс распознавания мимики, вероятно, — самый сложный зрительный когнитивный процесс, а, во-вторых, то, что при выполнении общей и понятной обоим партнёрам совместной деятельности существуют единые алго-

ритмы поведения. Делается предположение, что эти алгоритмы распознавания будут работать и при невербальном общении человека и интеллектуальных систем.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном исследовании разработана технология взаимодействия и создан аппаратно-программный комплекс для выделения «маркеров общения» в изображениях мимики и движений глаз партнёров, представителей разных культур, в процессе совместной игровой деятельности. Создана программа, в которой невербальная коммуникация в пространстве изображений играет ключевую роль, а речевой канал связи выключен. Показано, что адаптация и обучение партнёров активно

проявляются во всех видах проведённого анализа, начиная с психофизических данных и заканчивая движениями глаз. При этом, взаимодействие между партнёрами работает одинаково для представителей обеих культур и зависит от типа выполняемой задачи.

В дальнейшем конструктивное взаимодействие может быть осуществлено с помощью разработанного алгоритма контроля движений глаз для повседневных средств связи [4]. Таким образом, достигнута цель, поставленная при планировании данной работы. Нами разработана технология исследования взаимодействия партнёров и выделения в передаваемых динамических (видео) изображениях лиц игроков значимых элементов невербаль-

ного общения. Поиск именно базовых признаков (архетипов) невербальной коммуникации, свободной от поздних наслойений, обусловленных образом жизни и культурными традициями, провели на примере взаимодействия русских и китайцев в процессе их конструктивной деятельности в достижении совместной цели.

Основная практическая значимость выполненной работы заключается именно в создании технологии поиска базовых признаков в динамических изображениях невербальной коммуникации у представителей различных культур. Этот результат важен для создания новых технологий «интуитивного» невербального общения человека и искусственного интеллекта.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Schober H. Informationstheorie in optik und fernsehen // Optik. 1956. V. 13. P. 350–364.
2. Shelepin Yu.E., Kharauzov A.K., Zhukova O.V., Pronin S.V., Kupriyanov M.S., Tsvetkov O.V. Masking and detection of hidden signals in dynamic images // Journal of Optical Technology. 2021. V. 87(10). P. 624–632.
3. Malakhova E.Yu., Shelepin E.Yu., Malashin R.O. Temporal data processing from webcam eye tracking using artificial neural networks // J. Opt. Technol. 2018. V. 85. Iss. 3. P. 186–188.
4. Wang I., Ruiz J. Examining the use of nonverbal communication in virtual agents // International Journal of Human–Computer Interaction. 2021. V. 37 (17). P. 1648–1673.
5. Buzsaki G. Rhythms of the brain. Oxford, New York: Oxford University Press, 2006. 448 p.
6. Rimmele J., Gross J., Molholm S., Keitel A. Brain oscillations in human communication. Lausanne: Frontiers Media, 2018. P. 1–4. DOI: 10.3389/978-2-88945-458-7.
7. Барабанщиков В.А. Экспрессии лица и их восприятие. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2012. 341 с.

## АВТОРЫ

Петр Павлович Васильев — инженер, Институт физиологии им. И.П. Павлова Российской академии наук, 199034, Санкт-Петербург, Россия, <http://orcid.org/0000-0002-0953-0660>, petrovich-com@mail.ru

Ольга Викторовна Жукова — канд. псих. наук, научный сотрудник, Институт физиологии им. И.П. Павлова Российской академии наук, 199034, Санкт-Петербург, Россия, Scopus ID: 57194340334, <http://orcid.org/0000-0002-6534-9276>, volgazhukova@gmail.com

Владислав Сергеевич Лебедев — старший лаборант, Институт физиологии им. И.П. Павлова Российской академии наук, 199034, Санкт-Петербург, Россия, <http://orcid.org/0000-0002-6715-4552>, vlad840708@yandex.ru

По-Лей Ли — доктор наук (электротехника), профессор, Национальный центральный университет, 32001, Таюань, Тайвань, <http://orcid.org/0000-0002-3590-4507>, pllee@ee.ncu.edu.tw

## AUTHORS

Petr P. Vasiljev — engineer, Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, 199034, Saint-Petersburg, Russia, <http://orcid.org/0000-0002-0953-0660>, petrovich-com@mail.ru

Olga V. Zhukova — PhD in Psychology, Researcher, Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, 199034, Saint-Petersburg, Russia, Scopus ID: 57194340334, <http://orcid.org/0000-0002-6534-9276>, volgazhukova@gmail.com

Vladislav S. Lebedev — Senior Assistant, Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, 199034, Saint-Petersburg, Russia, <http://orcid.org/0000-0002-6715-4552>, vlad840708@yandex.ru

Po-Lei Lee — PhD, Professor, National Central University, 32001, Taoyuan City, Taiwan, <http://orcid.org/0000-0002-3590-4507>, pllee@ee.ncu.edu.tw

**Галина Александровна Моисеенко** — младший научный сотрудник, Институт физиологии им. И.П. Павлова Российской академии наук, 199034, Санкт-Петербург, Россия, <http://orcid.org/0000-0003-1099-1664>, galina\_pbox@mail.ru

**Станислав Алексеевич Морозов** — стажёр, Институт физиологии им. И.П. Павлова Российской академии наук, 199034, Санкт-Петербург, Россия, <http://orcid.org/0000-0003-2711-6946>, stanislavmorozov2001@yandex.ru

**Сергей Вадимович Пронин** — научный сотрудник, Институт физиологии им. И.П. Павлова Российской академии наук, 199034, Санкт-Петербург, Россия, <http://orcid.org/0000-0003-3890-4198>, pronins@sbor.net

**Xao-Teng Cui** — доктор наук (электротехника), Национальный центральный университет, 32001, Таоюань, Тайвань, <http://orcid.org/0000-0002-7705-2787>, fifaworld91@g.ncu.edu.tw

**Нариса Нан Чу** — доктор философии в области ядерной инженерии, профессор, соучредитель, CWLab International, 91320, Лос-Анджелес, США, <http://orcid.org/0000-0002-4316-3673>, nchu@cwlab.com

**Евгений Юрьевич Шелепин** — младший научный сотрудник, Институт физиологии им. И.П. Павлова Российской академии наук, 199034, Санкт-Петербург, Россия, <http://orcid.org/0000-0002-3124-5540>, sey2@yandex.ru

**Юрий Евгеньевич Шелепин** — доктор мед. наук, заведующий лабораторией физиологии зрения, Институт физиологии им. И.П. Павлова Российской академии наук, 199034, Санкт-Петербург, Россия, Scopus ID: 6701651700, <http://orcid.org/0000-0002-8090-8996>, yshelepin@yandex.ru

**Galina A. Moiseenko** - junior researcher, Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, 199034, Saint-Petersburg, Russia, <http://orcid.org/0000-0003-1099-1664>, galina\_pbox@mail.ru

**Stanislav A. Morozov** — Trainee, Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, 199034, Saint-Petersburg, Russia, <http://orcid.org/0000-0003-2711-6946>, stanislavmorozov2001@yandex.ru

**Sergey V. Pronin** — researcher, Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, 199034, Saint-Petersburg, Russia, <http://orcid.org/0000-0003-3890-4198>, pronins@sbor.net

**Hao-Teng Hsu** — PhD, National Central University, 32001, Taoyuan City, Taiwan, <http://orcid.org/0000-0002-7705-2787>, fifaworld91@g.ncu.edu.tw

**Narisa Nan Chu** — PhD (Doctorate of Philosophy in Nuclear Engineering), Professor, Co-Founder, CWLab International, 91320, Thousand Oaks, near Los Angles, California, USA, <http://orcid.org/0000-0002-4316-3673>, nchu@cwlab.com

**Eugene Yu. Shelepin** — junior researcher, Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, 199034, Saint-Petersburg, Russia, <http://orcid.org/0000-0002-3124-5540>, sey2@yandex.ru

**Yuri E. Shelepin** — Dr.Sc.in Medicine, Head of the Vision Laboratory of Physiology, Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, 199034, Saint-Petersburg, Russia, Scopus ID: 6701651700, <http://orcid.org/0000-0002-8090-8996>, yshelepin@yandex.ru