

К. Ш. Курбанова, главный специалист, e-mail: kemalewamil@gmail.com,
Учебно-инновационный центр, Институт Информационных Технологий
Министерства науки и образования Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

Обзор технологий управления жестами

Динамичное развитие и быстрое обновление информационно-коммуникационных технологий создали благоприятную среду для жестового управления современными компьютерными и робототехническими системами. Отмечается, что жесты являются необходимым компонентом процесса общения. При этом управлять оборудованием можно бесконтактно благодаря поддержке методов, позволяющих выбирать и распознавать жесты рук. Отмечается, что проделана большая работа и достигнуты успехи в направлении автоматизации технологий и управления жестами, позволяющие делать системы более гибкие и легко адаптирующиеся к меняющимся потребностям людей. Построение человеко-машинного интерфейса ускоряет процесс общения и расширяет возможности пользователя. Технологии управления жестами для компьютерных и робототехнических систем имеют большой потенциал. Представлен сравнительный анализ параметров технологий управления жестами.

Ключевые слова: язык жестов, интеллектуальные системы управления, человеко-машинный интерфейс, робототехника, "умный дом", технологии управления жестами

Введение

Роль информации незаменима в современном обществе, где динамично развивается процесс глобализации. В современную эпоху информация и знания являются наиболее ценными продуктами. С развитием науки и техники постепенно совершенствуются процессы производства, хранения, обработки и передачи информации. Люди привыкли получать новые знания, используя новейшие информационные технологии. Потребность людей в знаниях, полученных в результате обработки информации, растет с каждым днем.

Быстрое внедрение информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) расширило коммуникационные связи людей. Продукты ИКТ, проникающие во все сферы, повысили роль информации в обществе, и появилось информационное изобилие. Изобилие информации и продуктов ИКТ должно быть доступно каждому, кто живет на Земле, независимо от возраста, пола, языка, расы, вероисповедания, религии, мировоззрения, политических взглядов, экономического статуса, культурного уровня, физического состояния или здоровья [1].

Существуют разные способы передачи и получения информации. Одним из них, причем очень важным, являются жесты. Люди с нарушениями слуха и речи регулярно используют жесты.

Более 5 % людей, живущих на Земле, имеют проблемы со слухом и не могут выразить свои мысли вербально. Язык жестов — единственное средство общения для людей с нарушениями слуха и речи. Жесты — это способ передачи эмоциональных сигналов естественными средствами [2].

Жесты — не единственное средство общения для людей с нарушениями слуха и речи. Все люди независимо от состояния здоровья в процессе общения используют жесты. Способ передачи информации без слов и с помощью жестов привлек внимание специалистов различных областей науки, и был сделан вывод, что жесты являются необходимым компонентом любой формы общения [3].

Метод передачи информации жестами успешно применяется в нескольких сферах. В целом диапазон использования жестов очень широк. Например, метод передачи информации жестами также используется в случаях, когда звук не доходит на большие расстояния или в целях доведения информации до потребителя в соответствии со спецификой работы. Например, сотрудники ГИБДД передают информацию водителям с помощью специальных знаков для обеспечения организации движения (защиты безопасности транспортных средств или пешеходов, обеспечения бесперебойного и комфортного движения, создания порядка на дорогах, предотвращения дорожно-транспорт-

ных происшествий) или судья регулирует игру, показывая спортсменам специальные знаки на спортивных соревнованиях и т. п.

В современную эпоху динамичное развитие робототехники, компьютеров и интернета выдвигает на первый план проблему распознавания языка жестов и облегчения общения пользователей. Самый распространенный метод распознавания жестов — использование специальных датчиков, прикрепленных к телу человека. Однако эти устройства неприемлемы для регулярного использования.

Более целесообразным является бесконтактное построение человеко-машинных интерфейсов, иными словами, обеспечение определенного расстояния между датчиком и человеком. В связи с большим потенциалом технологий управления жестами на основе компьютерных и роботизированных систем постоянное совершенствование человеко-машинного интерфейса является актуальной проблемой. Спрос на более продуктивные виды ИКТ растет с каждым днем.

В статье приведены сведения о принципе работы устройств управления с автоматическим распознаванием жестов, а также проведено сравнение параметров устройств, основанных на методах компьютерного зрения для анализа и распознавания изображения руки, показывающего жест. Более совершенного результата можно добиться, построив единую систему управления, обеспечивающую параллельный ввод жестов разными способами в целях повышения точности и надежности распознавания.

Технологии управления жестами

Накопленный опыт работы с Big Data, искусственным интеллектом и машинным обучением стал толчком к развитию компьютерного зрения, развитие которого позволяет в настоящее время различать не только различные объекты и людей, но и насыщенные информацией сигналы человеческого тела.

Достижения ИКТ создали среду для разработки более эффективных технологий и программного обеспечения в области управления человеко-машинным интерфейсом с помощью жестов. Сюда входит добавление систем управления жестами к традиционным системам передачи информации (использующим клавиатуру, мышь и манипуляторы) или подачи команд человеко-машинным системам.

Технологии управления беспроводными системами позволяют удаленно управлять устройством. Иногда один жест может заменить несколько команд. Это существенно увеличивает скорость работы. Процесс управления человеко-машинным интерфейсом с помощью жестов представляет собой обмен информацией между двумя сторонами — управляющим объектом и объектом управления (рис. 1) [4].



Рис. 1. Схема управления

В направлении управления устройствами с помощью жестов проведено немало исследований. Было обнаружено, что такие системы гибки и могут легко адаптироваться к меняющимся потребностям людей. Эти технологии не только расширяют пользовательские возможности людей с нарушениями слуха и речи, но и улучшают качество жизни всех пользователей ("умный дом" и т. д.). Другими словами, жестовые интерфейсы более удобны с точки зрения точности и скорости распознавания.

Для системы компьютерного зрения рука, показывающая жест, является сложным объектом. При совершении жеста руки активно двигаются, накладываются друг на друга, меняют форму (от раскрытой ладони до кулака) и скрещивают пальцы. Технология распознавания жестов работает в режиме реального времени. Задача, состоящая в том, чтобы система увидела движущийся объект руки и выделила его на изображении, решается поэтапно: система видит изображение через камеру, считывает его, обрабатывает и преобразует в цифровую матрицу; полученное изображение анализируется с помощью нейросети — модель выделяет пиксели, контуры, определяет ключевые точки, сравнивает объекты с шаблонами и делит их на сегменты [5].

В последние годы управление человеко-машинным интерфейсом с помощью жестов проникло во все сферы человеческой деятельности и успешно применяется в различных технологиях. В качестве примера рассмотрим следующие устройства:

- **Контроллер Kinect.** Одной из самых передовых технологий отслеживания движения является Microsoft Kinect. В конце 2010 г. был представлен интерактивный контроллер Kinect. Устройство имеет два датчика: первый инфракрасный датчик изучает окружающее пространство; второй датчик преобразует полученные данные в 3D-проекцию и обеспечивает отслеживание движений человека, которые записывает как набор движущихся точек и считывает данные за десятые доли секунды (рис. 2) [6].

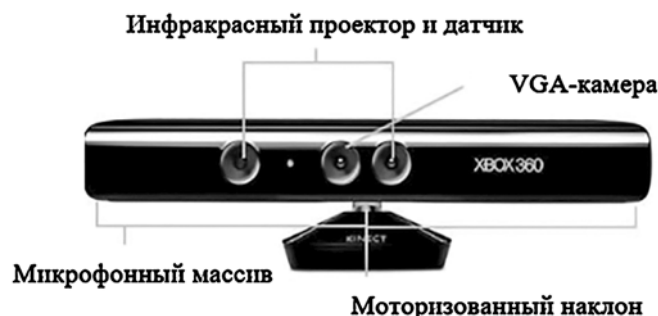


Рис. 2. Контроллер Microsoft Kinect

- **Система Атанор.** Система, разработанная компанией "Атанор", позволяет ведущему управлять слайд-шоу жестами рук. Система также обеспечивает жестовое управление набором оборудования (включение и выключение оборудования, интенсивность звука и т. д.) [7].
- **Система nTobeBox.** Устройство предназначено для дистанционного управления телевизором, использует технологию распознавания жестов и работает под управлением операционной системы Android. Устройство имеет поддержку Skype, модуль Wi-Fi, возможность работы с Full HD-видео, QWERTY-панель управления и другие преимущества [8].
- **Контроллер Leap Motion.** Технология Leap Motion, позволяющая управлять компьютером с помощью жестов, способна точно отслеживать движения пользователя. Leap Motion — одна из лучших технологий для дистанционного отслеживания и управления движением. Устройство управления жестами называется Leap и подключается к компьютеру через USB-кабель, оно с высокой точностью распознает все десять пальцев и может отслеживать жесты. Постоянно развивающийся модуль Leap Motion был разработан специально для интеграции

в мобильные устройства и в настоящее время уже на 70 % меньше своей первой версии (рис. 3, см. вторую сторону обложки) [9].

- **Контроллер iMotion.** Универсальное устройство iMotion способно точно распознавать жесты рук и обеспечивать обратную связь. Позволяет превратить старые телевизоры в смарт-телевизоры, заменив пульт дистанционного управления телевизором на управление жестами. Благодаря небольшому размеру устройство умещается на ладони и удобно в использовании [10, 11].
- **Контроллер Kai.** Устройство позволяет управлять смарт-телевизорами, дронами и другими устройствами с помощью жестов. Устройство находится на ладони пользователя, за исключением большого пальца. Устройство компактно и подходит для ежедневного использования. При показе жеста (это может быть сгибание запястья, поворот ладони, движение руки вверх и вниз, сгибание пальцев, чтобы закрыть экран, вращение руки и т. д.) такие действия не мешают устройству распознавать жест. Контроллер Kai успешно применяется при управлении дронами [12–14].
- **Arrm.io.** Технология Arrm.io обеспечивает автоматический сурдоперевод. Для распознавания жестов требуется ПК или ноутбук с камерой RGB. Процесс распознавания реализован с использованием Deep Sign Language и технологии нейронных сетей. Устройство предназначено для распознавания наиболее распространенных жестов, используемых слабослышащими людьми при общении с людьми, говорящими устно (запись на прием в больницу, обращение в банк, страховую компанию и т. д.) [15].
- **Gest.** Контроллер жестов подключен к ладони и остальным четырем пальцам, кроме большого. Устройство в основном используется в управлении "умным домом". Устройство подключается к компьютеру через Bluetooth и быстрее выполняет команду. Устройство подключается к смартфонам, планшетам и ПК через Bluetooth Low Energy (BLE). Устройство можно заряжать через порт Micro USB (рис. 4, см. вторую сторону обложки) [16, 17].
- **MediaPipe.** Технология Google MediaPipe может отслеживать и распознавать жесты с помощью камеры компьютера или мобильного телефона в режиме реального времени на основе технологий искусственного интеллекта. Для распознавания жестов используется метод искусственной нейронной

сети. Может последовательно распознавать жесты, динамически отслеживая 21 точку руки. Точность обнаружения руки/ладони модели в реальном времени составляет 95,7 % (рис. 5, см. вторую сторону обложки). Преимущество модели MediaPipe заключается в том, что база данных знаков обширна и поэтому может применяться к различным языкам жестов. Данная модель успешно применяется для автоматизации управления робототехникой "умных домов" и других сфер [18].

- *Gestonurse*. Устройство Gestonurse действует как медсестра во время операции и выполняет указания хирурга. При традиционных хирургических операциях имеется риск совершения ошибки медсестрой. Устройство Gestonurse обещает высокую точность и меньший риск, оно помогает первичному хирургу, передавая хирургические инструменты. Такая роботизированная система потенциально может сократить ненужное общение и компенсировать нехватку персонала. Робот понимает жесты рук с точностью распознавания более 97 %, быстро и точно выполняет команды. Устройство Gestonurse повышает эффективность хирургической операции и улучшает результаты (рис. 6, см. третью сторону обложки). Для распознавания жестов используется ансамблевый метод, включающий в себя шесть методов: Linear Discriminant Analysis (LDA), Quadratic Discriminant Analysis (QDA), k-Nearest Neighbour (KNN), Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), and Multilayer Perceptron (MLP) neural network. [19, 20].

- *Air Gesture*. Программно-аппаратный комплекс Air Gesture предназначен для управления оборудованием компании с помощью жестов. Air Gesture — это новый способ взаимодействия человека и устройства, позволяющий пользователю управлять устройствами, не прикасаясь к ним [21].

Как видно из примеров, управлять оборудованием можно бесконтактно при поддержке методов, позволяющих распознавать жесты, показываемые рукой. Сфера применения систем на основе технологий управления жестами расширилась от персональных компьютеров до хирургических роботов. Другими словами, технологии управления жестами для компьютерных и робототехнических систем имеют большой потенциал.

Технологии управления жестами для компьютерных и робототехнических систем положительно влияют на решение различных задач [22]:

- замена проводных технологий технологиями, использующими жесты;
- обеспечение взаимодействия системы и пользователя в нестандартной среде;
- управление смарт-устройствами;
- эффективное использование энергопотребления;
- экономия времени, средств пользователя.

Схема работы интеллектуальной системы управления

В последнее время увеличился спрос на построение систем управления на основе жестовых команд. В настоящее время существуют программные платформы, графические интерфейсы, модули обработки информации, базы данных, используемые для построения системы управления жестами. В условиях, когда вмешательство человека невозможно, высокая надежность управления достигается за счет жестового управления человеко-машинным интерфейсом.

Сегодня для распознавания жестов не требуется сложное и дорогое оборудование, достаточно современного мобильного телефона или камеры компьютера. Однако длительность хранения электрической энергии, области применения, оптимальность, скорость, рабочий диаметр, объем и другие показатели устройств разные. В таблице представлен сравнительный анализ параметров нескольких технологий управления жестами [23, 24].

Основная цель ИКТ-проектов, реализующих автоматическое распознавание жестов, — создать максимальные возможности для развития технологий связи и бесконтактного управления посредством аппаратного и программного обеспечения. Главным принципом работы человеко-машинной системы управления является техническое совершенство аппаратного и программного обеспечения и минимум ошибок отслеживания интерфейса. В последнее время научные исследования, посвященные методу управления жестами, показывают, что для достижения высокой надежности бесконтактного управления целесообразно объединить несколько методов. Для создания интегрированных систем бесконтактного управления необходима разработка устройств, использующих и голос и жесты (изображение или видеопоток).

Процесс интеллектуального управления характеризуется пятью основными этапами, выполняемыми последовательно [25]: 1) команды,

Сравнительный анализ параметров технологий управления жестами

Технологии	Метод распознавания жестов	Точность распознавания, %	Радиус работы	Время накопления энергии, ч	Размер устройства, см	Операционные системы	Области применения
Контроллер iMotion	Искусственная нейронная сеть	≈98	0,3...4,9 м	8	≈12	Windows, Mac OS, Linux	Управление дронами, "умным домом" и т. д.
Контроллер Kai	Скрытый метод Маркова	≈84,4	0,3...60 м	8	≈7,7	Windows, Mac OS, Linux	Smart TV
Контроллер Gest	Искусственная нейронная сеть	≈93,72	0,3...60 м	12	≈7	Windows, Mac OS X	Мобильное устройство Android, дрон и т. д.
Робот Gestonurs	Метод ансамбля	≈100	1...1,5 м	Зависит от источника питания	1,5...2		Хирургическое вмешательство
Система MediaPipe	Искусственная нейронная сеть	≈95,7					Мобильное устройство Android, компьютер и т. д.

выражаемые жестами и записываемые камерой, вводятся в базу данных; 2) данные в базе данных обрабатываются отдельно (выбирается целевой объект); 3) выявлены признаки информации; 4) проводится обучение методом распознавания (искусственные нейронные сети, цепи Маркова и т. п.), проверяется надежность распознавания и принимается решение; 5) распознанная команда выполняется. Схема работы бесконтактных робототехнических комплексов, управляемых речевыми (микрофон) или жестовыми (камера) командами, представлена на рис. 7 (см. третью сторону обложки).

Форматы представления и методы обработки имеют определенные характеристики в зависимости от способа ввода команд, отображаемых рукой (жестом) или передаваемых голосом. Команда, введенная обоими способами, передается в один и тот же центр. Сообщение, отправленное пользователем голосом и жестом, записывается и передается на сервер с интегратором и собирается в том же центре. За счет того, что информация поступает из двух разных источников, снижается риск возникновения ошибок в системе [26].

Заключение

Человеко-машинный интерфейс эволюционировал в последние годы благодаря развитию цифровых технологий. Развитие бесконтактного взаимодействия с устройствами проникло во все сферы человеческой деятельности. Помимо расширения пользовательских воз-

можностей людей с нарушениями слуха и речи эти технологии нашли применение и в других областях: в шумных или больших пространствах; для обеспечения мультимодальности связи; для повышения точности, качества передаваемой информации и т. д.

Отправка команды в человеко-машинную систему управления параллельно с жестом и голосом положительно влияет на работу системы и делает процесс распознавания более точным.

Список литературы

1. Mahmudova R. Sh., Gurbanova K. Sh. The opportunities of technologies application of automatic recognition of gestures shown by the movement of hands // Problems of Information Technology journal. 2020. N. 2. P. 102—110.
2. Farooq U., MohdRahim S., Abid A. A multi-stack RNN-based neural machine translation model for English to Pakistan sign language translation // Neural Computing and Applications. 2023. P. 1—14.
3. Mahmudova R. Sh., Gurbanova K. Sh. Azerbaijani sign language and problems of its automatic recognition // National scientific-practical conference "ICT problems of the Azerbaijani language, ICT problems of the Azerbaijani language" dedicated to the 100th anniversary of the national leader Heydar Aliyev and the International Mother Language Day. Baku, Institute of Information Technologies, 21 february 22. 2023. P. 105—112.
4. Рюмин Д. А., Кагиров И. А. Подходы к автоматическому распознаванию жестовой информации: аппаратное обеспечение и методы // Пилотируемые полеты в космос. 2021. № 3. С. 40.
5. Технологии распознавания жестов. URL: <https://developers.sber.ru/help/ar-vr/gesture-recognition-technologies> (дата обращения: 16/10/2023).
6. Технологии управления устройствами взглядом и жестами. URL: <https://fotokomok.ru/tehnologii-upravleniya->

ustrojstvami-vzglyadom-i-zhestami/ (дата обращения: 16/10/2023).

7. **Chistyakov I. S., Chepin E. V.** Gesture recognition system based on Convolutional neural networks // IOP Conference Series. Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2019. Vol. 498, N. 1. P. 1–7.

8. **Будик А.** nTobeBox: первая ТВ-приставка, управляемая жестами. URL: <http://mediapure.ru/onlajn-servisy/chto-takoe-stb-set-top-box-iptv-pristavka-ili-resiver-cifrovogo-televideniya/> (date of access: 21/07/2023). <https://3dnews.ru/635468> (date of access: 03/08/2023).

9. **Сивак Т. А., Кваша П. Ю.** Интеграция технологии датчиков отслеживания в информационное моделирование зданий и сооружений // Строительство: наука и образование. 2019. № 4. С. 1–1.

10. **Zheng W.** Human grasp mechanism understanding, human-inspired grasp control and robotic grasping planning for agricultural robots // Sensors. 2022. Vol. 22, N. 14. P. 5240.

11. **Izountar Y.** VR-PEER: A personalized exer-game platform based on emotion recognition // Electronics. 2022. Vol. 11, N. 3. P. 455.

12. **Putra H. G. P.** Designing Machine Learning Model for Predictive Maintenance of Railway Vehicle // 2021 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS) IEEE, 2–4 August 2021. P. 1–5.

13. **Booker D. A.** The future of fashion & human gesture control: exploration of a wearable communication device for sign language speakers. Massachusetts Institute of Technology, 2020. 75 p.

14. **Chao F.** Use of automatic Chinese character decomposition and human gestures for Chinese calligraphy robots // IEEE Transactions on Human-Machine Systems. 2018. Vol. 49, N. 1. P. 47–58.

15. **Шакиров Р. И., Артемов М. Д., Воронова Л. И.** Подсистема подготовки данных для программно-аппаратного комплекса распознавания жестового языка // Телекоммуникации и информационные технологии. 2021. Т. 8, № 2. С. 101.

16. **Challenor J., White D., Murphy D.** Hand-Controlled User Interfacing for Head-Mounted Augmented Reality Learning

Environments // Multimodal Technologies and Interaction. 2023. Vol. 7, N. 6. P. 55.

17. **Heinrich A.** Gest glove has gesture control on hand. URL: <https://newatlas.com/gest-gesture-controller-glove/40174/> (date of access: 27/07/2023).

18. **Varghese R.** Automatic Voice Synthesis System using Long Short-Term Memory and Google Mediapipe // 12th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT) IEEE. 6–8 July 2021. P. 1–5.

19. **Yu C.** End-Side Gesture Recognition Method for UAV Control // IEEE Sensors Journal. 2022. Vol. 22, N. 24. P. 24526–24540.

20. **Freitas M. L. B.** Surgical Instrument Signaling Gesture Recognition Using Surface Electromyography Signals // Sensors. 2023. Vol. 23, N. 13. P. 6233.

21. **Kavitha B. C.** Mid-Air Gesture for Hand Control System Using Leap Motion Robot // Information and Communication Technology for Competitive Strategies (ICTCS 2022) Intelligent Strategies for ICT. Singapore. Springer Nature Singapore. 2023. P. 259–265.

22. **Курбанова К. Ш.** Исследование этапов, типов моделирования и методов распознавания жестов // Информационные технологии. 2024. Т. 30, № 2. С. 85–90.

23. **Катаев М. Ю., Широков Л. В.** Методика определения жестов руки // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2013. № 1(27). С. 45–49.

24. **Овчарова Б. С., Барашко Е. Н.** Технологии использования жестов для управления компьютерными и робототехническими системами // Форум молодых ученых. 2018. № 12-3(28). С. 578–584.

25. **Карпов А. А., Юсупов Р. М.** Многомодальные интерфейсы человеко-машинного взаимодействия // Вестник Российской академии наук. 2018. Т. 88, № 2. С. 146–155.

26. **Акимов А. А., Мустафина С. А.** Обзор современных методов искусственного интеллекта по распознаванию девиантного поведения индивида // Вестник Технологического университета. 2020. Т. 23, № 8. С. 69–79.

K. Sh. Gurbanova, Chief Specialist, e-mail: kemalewamil@gmail.com,
Training-Innovation Centre, Institute of Information Technology of The Ministry of Science and Education
of the Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan

Overview of Gesture Control Technologies

The dynamic development and rapid updating of information and communication technologies (ICT) has created a suitable environment for gesture control of modern computer and robot systems. It is noted that gestures are a necessary component in the communication process. At the same time, it is possible to control the equipment without contact with the support of methods that allow to select and recognize hand gestures. Sufficient work has been done and achievements have been made in the direction of automation and gesture control of technology. The study notes that such systems are more flexible and can easily adapt to people's changing needs. Building a human-machine interface speeds up the communication process and expands the user's capabilities. Gesture control technologies for computer and robotic systems have great potential. A comparative analysis of the parameters of gesture-controlled technologies is shown in the table.

Keywords: sign language, intelligent control systems, human-machine interface, robotics, smart home, gesture control technologies

DOI: 10.17587/it.30.300-306

References

1. **Mahmudova R. Sh., Gurbanova K. Sh.** The opportunities of technologies application of automatic recognition of gestures shown by the movement of hands, *Problems of Information Technology journal*, 2020, no. 2, pp. 102–110.
2. **Farooq U., MohdRahim S., Abid A.** A multi-stack RNN-based neural machine translation model for English to Pakistan sign language translation, *Neural Computing and Applications*, 2023, pp. 1–14.
3. **Mahmudova R. Sh., Gurbanova K. Sh.** Azerbaijani sign language and problems of its automatic recognition, *National scientific-practical conference "ICT problems of the Azerbaijani language, ICT problems of the Azerbaijani language" dedicated to the 100th anniversary of the national leader Heydar Aliyev and the International Mother Language Day*, Baku, Institute of Information Technologies, 21 February 22, 2023, pp. 105–112.
4. **Ryumin D. A., Kagirov I. A.** Approaches to automatic recognition of gesture information: hardware and methods, *Manned flights into space*, 2021, no. 3, pp. 40.
5. **Gesture** recognition technologies, available at: <https://developers.sber.ru/help/ar-vr/gesture-recognition-technologies> (access date: 10/16/2023).
6. **Technologies** for controlling devices with gaze and gestures, available at: <https://fotokomok.ru/tehnologii-upravleniya-ustroystvami-vzglyadom-i-zhestami/>, (access date: 10/16/2023).
7. **Chistyakov I. S., Chepin E. V.** Gesture recognition system based on Convolutional neural networks, *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 498, no. 1, pp. 1–7.
8. **Budik A.** nTobeBox: the first TV set-top box controlled by gestures, available at: <http://mediapure.ru/onlajn-servisy/chto-takoe-stb-set-top-box-iptv-pristavka-ili-resiver-cifrovogo-televideniya/> (access date: 21/07/2023). <https://3dnews.ru/635468> (access date: 03/08/2023).
9. **Sivak T. A., Kvasha P. Yu.** Integration of tracking sensor technology into information modeling of buildings and structures, *Construction: science and education*, 2019, no. 4, pp. 1–1.
10. **Zheng W.** Human grasp mechanism understanding, human-inspired grasp control and robotic grasping planning for agricultural robots, *Sensors*, 2022, vol. 22, no. 14, pp. 5240.
11. **Izountar Y.** VR-PEER: A personalized exer-game platform based on emotion recognition, *Electronics*, 2022, vol. 11, no. 3, pp. 455.
12. **Putra H. G. P.** Designing Machine Learning Model for Predictive Maintenance of Railway Vehicle, *2021 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS) IEEE*, 2–4 August 2021, pp. 1–5.
13. **Booker D. A.** The future of fashion & human gesture control: exploration of a wearable communication device for sign language speakers, Massachusetts Institute of Technology, 2020, 75 p.
14. **Chao F.** Use of automatic Chinese character decomposition and human gestures for Chinese calligraphy robots, *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 2018, vol. 49, no. 1, pp. 47–58.
15. **Shakirov R. I., Artemov M. D., Voronova L. I.** Data preparation subsystem for the software and hardware complex for sign language recognition, *Telecommunications and Information Technologies*, 2021, vol. 8, no. 2, pp. 101.
16. **Challenor J., White D., Murphy D.** Hand-Controlled User Interfacing for Head-Mounted Augmented Reality Learning Environments, *Multimodal Technologies and Interaction*, 2023, vol. 7, no. 6, pp. 55.
17. **Heinrich A.** Gest glove has gesture control on hand, available at: <https://newatlas.com/gest-gesture-controller-glove/40174/> (date of access: 27/07/2023).
18. **Varghese R.** Automatic Voice Synthesis System using Long Short-Term Memory and Google Mediapipe, *12th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT) IEEE*, 6–8 July 2021, pp. 1–5.
19. **Yu C.** End-Side Gesture Recognition Method for UAV Control, *IEEE Sensors Journal*, 2022, vol. 22, no. 24, pp. 24526–24540.
20. **Freitas M. L. B.** Surgical Instrument Signaling Gesture Recognition Using Surface Electromyography Signals, *Sensors*, 2023, vol. 23, no. 13, pp. 6233.
21. **Kavitha B. C.** Mid-Air Gesture for Hand Control System Using Leap Motion Robot, *Information and Communication Technology for Competitive Strategies (ICTCS 2022) Intelligent Strategies for ICT*, Singapore, Springer Nature Singapore, 2023, pp. 259–265.
22. **Gurbanova K. Sh.** Research of Stages, Types of Modeling and Methods of Gesture Recognition, *Informacionnye Tehnologii*, 2024, vol. 30, no. 2, pp. 85–90.
23. **Kataev M. Yu., Shirokov L. V.** Methodology for determining hand gestures, *Reports of the Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics*, March 2013, no. 1 (27), pp. 45–49.
24. **Ovcharova B. S., Barashko E. N.** Technologies for using gestures to control computer and robotic systems, *Forum of young scientists*, 2018, no. 12-3(28), pp. 578–584.
25. **Karpov A. A., Yusupov R. M.** Multimodal interfaces of human-machine interaction, *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 2018, vol. 88, no. 2, pp. 146–155.
26. **Akimov A. A., Mustafina S. A.** Review of modern artificial intelligence methods for recognizing deviant behavior of an individual, *Bulletin of the Technological University*, 2020, vol. 23, no. 8, pp. 69–79.