

КОТЛЯРОВ Д.И., ПАНАСЕНКО С.И., БУРЛАКОВ А.П.

## СИСТЕМА МАШИННОГО ЗРЕНИЯ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ ВИРТУАЛЬНОГО 3D ПРОСТРАНСТВА С ДАЛЬНЕЙШЕЙ РЕАЛИЗАЦИЕЙ В НЕЙ ЗАХВАТА И ЗАПИСИ ИЗМЕНИВШИХСЯ РЕГИСТРИРУЕМЫХ ТОЧЕК ОПРЕДЕЛЕННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ КОНЕЧНОСТЕЙ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ИХ ПЕРЕДАЧЕЙ. УПРАВЛЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ТРЁХПОЗИЦИОННОЙ РУКОЙ MRs

Учреждение образования «Слуцкий государственный колледж»,  
г. Слуцк, Республика Беларусь

В статье подробно описан поэтапный процесс разработки и работы системы машинного зрения с применением современных подходов к разработке программного обеспечения и последующим созданием и реализацией управления роботизированной конечностью на расстоянии с использованием микроконтроллерных средств реализующих высокоскоростной обмен информации в сети интернет, а также подробно описаны перспективы и проблематики работы и разработки современных систем машинного зрения адаптированные под серверные и мобильные платформы с их последующей реализацией в сфере робототехники.

**Ключевые слова:** 3D карта пространства; машинное зрение; двойная инфракрасная камера; роботизированный.

### Введение

Система машинного зрения была спроектирована и создана с целью создания виртуального 3D пространства с последующей регистрацией и записью в нем изменений точек создаваемых виртуально бесконтактной физической конечностью человека регистрируемой с помощью специальной двойной инфракрасной камерой с последующей обработкой потока данных в режиме реального времени с помощью компьютерных мощностей и дополнительной передачей с конечной

реализацией управления посредством сети интернет роботизированной трёхпозиционной рукой. При проектировании системы был сделан большой упор на простоту реализации готового устройства и доступность к покупке определенных механических решений способных имитировать работу человеческой руки в пространстве, а также было уделено особое внимание к подборке высокопроизводительных и доступных контроллеров с аппаратной реализацией беспроводной передачи информации по сети WI-FI.

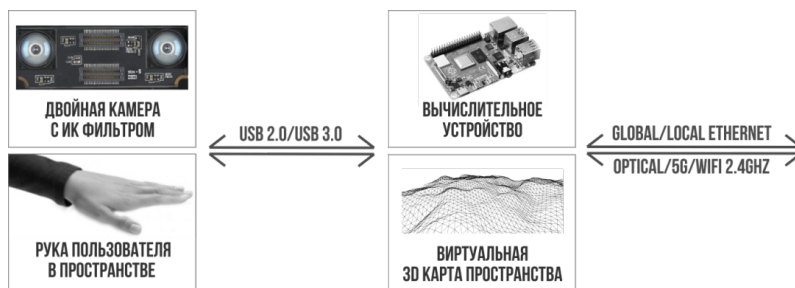


Рисунок 1 – Теоретическая организация шин данных работы системы машинного зрения (серверная сторона)



Рисунок 2 – Теоретическая организация шин данных работы исполнительной системы машинного зрения (клиентская сторона)

Основная задача комплекса серверной стороны системы машинного зрения в работе и организации высокопроизводительного серверного программного обеспечения, обслуживающего не только одно удаленное устройство, но также и целый комплекс роботизированных имитаций человеческих конечностей на расстоянии. Для работы комплекса было разработано основное программного обеспечение, написанное на языке системного программирования Rust адаптированного под операционные системы построенные на базе ядра Linux с задействованием открытой библиотеки компьютерного зрения OpenCV. Выбор языка программирования и данных компонентов платформы обуславливается высокими требованиями к качеству и надежности итогового продукта в особенно требовательных и высоконагруженных уникальных машинных платформах. Серверная система машинного зрения способна обрабатывать около 25-30 кадров в секунду потока сжатых данных изображений рук в режиме реального времени при подключении инфракрасной камеры к порту USB 2.0 и работе от особенно энергоэффективного оборудования построенного на базе архитектуры ARM, а в случае использования подключения инфракрасной камеры к порту USB 3.0 и более производительного вычислительного оборудования построенного на базе платформы Intel i3 обеспечивается производительность обработки в 50-60 кадров в секунду позволяющее более точно и быстро реагировать на изменения позиционирования пальцев пользователя в пространстве на серверной стороне.

В момент проектирования комплекса систем были тщательно изучены готовые коммерческие и открытые решения, реализующие частично или полностью требуемый запланированный функционал, в процессе изучения данных решений были выявлены следующие проблемы данных решений:

1. Нерациональность использования дорогих вычислительных мощностей с целью реализации простого клиентского дистанционного управления сервоприводов механической руки, влекущие заметное повышение стоимости итогового продукта.

2. Невозможность использования энергоэффективных мобильных решений, построенных на базе мобильной платформы ARM.

3. Особенно слабое обращение внимания к

проектированию систем влекущее малую надежность и малую производительность.

4. Затруднительная возможность последующей модернизации и особенной дороговизны комплекса систем с целью использования проекта в космической промышленности

5. Отсутствие систем защит, контроля, а также сжатия передающей информации между серверным комплексом и клиентским.

6. Отсутствие целостности комплекса системы так как итоговые решения лишь частично приближались к требуемому итоговому функционалу.

7. Отсутствие особого требования к качеству и производительности итогового продукта.

8. Невозможность использования платформ с отсутствующими сопроцессорами компьютерного зрения.

9. Невозможность наращивания количества клиентских удаленных устройств.

10. Требование к установке дополнительного курирующего устройства на клиентской стороне.

Для обязательной работы серверной части комплекса требуется специально разработанное устройство двойной камеры с дополнительно установленными инфракрасными светодиодами, а также специальными светофильтрами исключающие не требуемый к инфракрасному диапазону части потока фотографий создаваемых в определенный момент времени. Во время интервальной съемки камеры свет, излучаемый инфракрасными светодиодами, отражается от рук пользователя и воспринимается каждой из камер как видимое и улавливаемое излучение гарантирующее высокую точность итогового определения рук пользователя в физическом пространстве, в дальнейшем получившиеся фотографии отправляются средствами высокопроизводительных шин данных в вычислительное устройство с целью дальнейшей обработки данных. Устройство дополнительно может использоваться для автоматического определения расстояния приближения рук пользователя к устройству с целью увеличения точности итогового результата. В дальнейшем устройство может быть дополнено дополнительными Lidar системами с целью уменьшения требования к вычислительным мощностям, а также увеличению точности определения точек в пространстве, но заметно повышает итоговую стоимость системы.

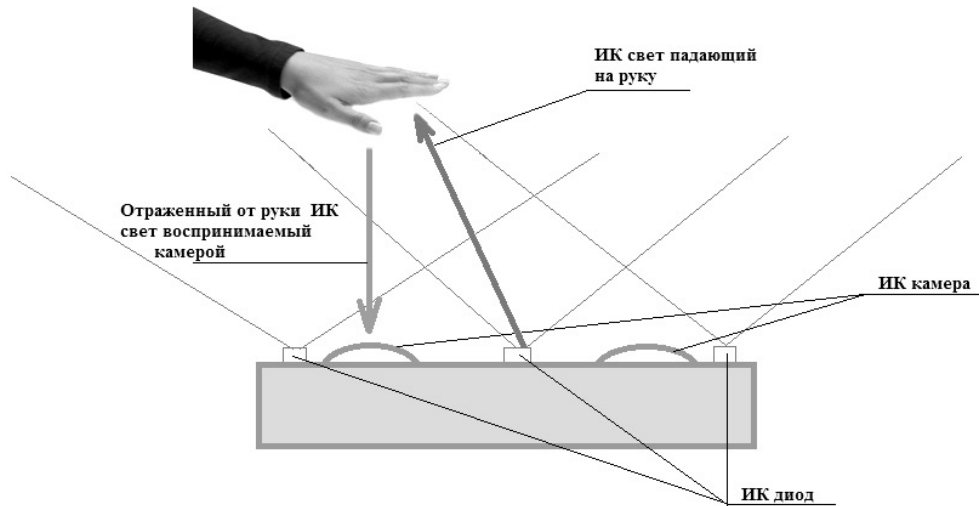


Рисунок 3 – Схематическое представление работы двойной инфракрасной камеры

В дальнейшем, после того как данные двойной инфракрасной камеры будут переданы вычислительному устройству посредством высокопроизводительных шин данных выполняемое серверное программное обеспечение с помощью открытой библиотеки компьютерного зрения OpenCV интервально циклически обрабатывает поток данных фотографий в несколько этапов:

1. Поиск и сопоставление рук в пространстве с заранее определенной высотой до объекта.
2. Отсечение лишнего потока данных на фотографии, оставив лишь подсвеченные руки пользователя в инфракрасном диапазоне.
3. Применение дополнительных фильтров к фотографии с целью корректной работы алгоритма.
4. Поиск и определение левой и правой руки пользователя по определенно заданным критериям.
5. Определение, сопоставление с картой и отделения каждого определенного пальца пользователя с возможной дальнейшей детальной обработки малой карты.
6. Создание небольших активных карт изо-

бражений пользовательских конечностей с определенным выравниванием и сохранением градусных мер.

7. Поиск и возможное сопоставление карт точек с предполагаемой малой картой изображения пальца.
8. Регистрация точек рук пальцев в виртуальном 3D пространстве.
9. Сравнение и вычисление разницы текущего виртуального 3D пространства и предыдущего.
10. Регистрация изменений.

Процесс регистрации изменений прошлой карты виртуального 3D пространства с текущей картой довольно быстрый и прежде всего требуется для получения только изменяемых в пространстве данных с возможностью сохранения градусных мер и дополнительной информации с дальнейшей их оптимизацией и сжатием потока данных записанных с помощью разработанного для этих целей специализированного способа формирования данных потока с последующей их передачей с помощью протокола UDP в локальные и удаленные сети клиентской стороны.

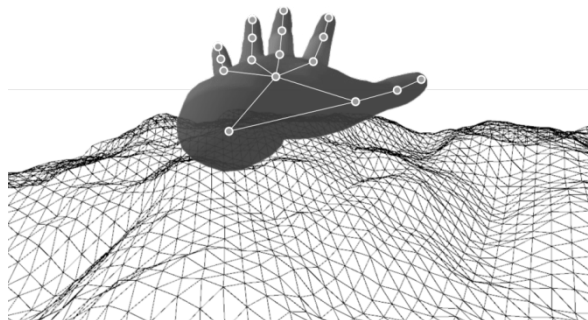


Рисунок 4 – Наглядное и экспериментальное 3D визуализирование

### Виртуальная 3D карта пространства

Для реализации клиентской стороны комплекса требуется прежде всего устройство, организующее и предоставляющее на высоких скоростях с низким уровнем задержки на дальние расстояния данные, а также дополнительно организующее локальную сеть устройств с целью дальнейшей их коммуникации. На этапе тестирования прототипов были задействованы только оптические сети с целью удаленной доставки и получения трафика данных протокола, а для реализации локальной сети механических устройств были задействованы только сети 2.4Ghz Wi-Fi реализованные контроллерами аппаратно в дальнейшем это позволило создать механическое устройство с достаточно но не идеально низким уровнем задержек передачи и обработки данных, в дальнейшем данные устройства из-за отсутствия физического контакта могут обзавестись автономным питанием которое по-

зволят реализовать передвигаемые в физическом пространстве механические устройства позволяющие реализовать удаленный физический контакт человека в опасном для него пространстве.

В дальнейшем, для реализации клиентской системы контроллера ESP с целью имитации человеческой конечности и ее полноценного осуществления движения в физическом пространстве была разработана и распечатана на 3D принтере роборука созданная по размерам среднестатистического человека. Так как система разрабатывалась с особым уклоном на регистрацию и фиксацию особых точек пальцев рук в виртуальном 3D пространстве, на прототипе роборуки были напечатаны дополнительные сгибаемые фаланги, реализованные посредством передачи электрических сигналов, генерируемых ESP контроллером на сервоприводы с целью реализации поступательных движений нитей в требуемые стороны имитируя работу настоящего человеческого сухожилия.

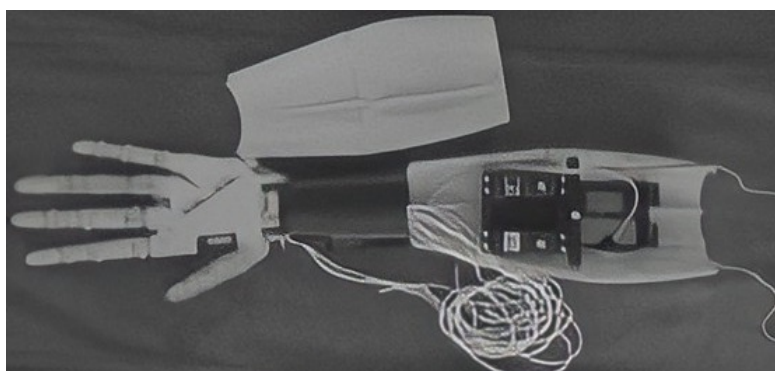
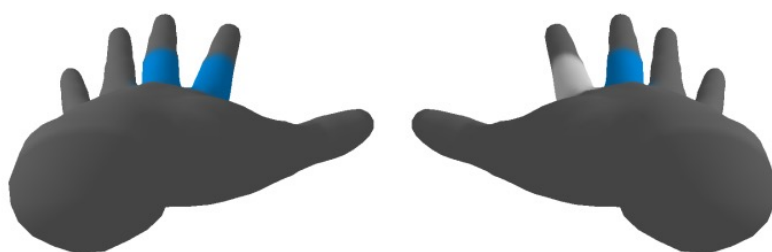
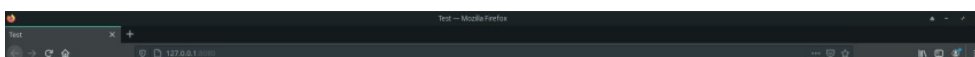


Рисунок 5 - Прототип настоящей роборуки с сервоприводами



24FPS

Рисунок 6 - Открытая на стороне клиента в браузере визуализация 3D карты пространства рук

### Заключение

В дальнейшем проект будет развиваться с применением все более сложных многофункциональных и дополнительных физических устройств клиентской, а также серверной стороны. Плани-

руется улучшение производительности кодовой базы серверного и клиентского программного обеспечения, тестирование и реализации более сложного слоя обширной базы комплекса сетевого и радио соединения с целью возможности применения проекта в космической промышленности.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Ключевые моменты языка программирования Rust** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rust-lang.org> – Дата доступа: 15.10.2021.
2. **Документация OpenCV** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.opencv.org/4.5.4> – Дата доступа: 16.10.2021.
3. **Документация ESP8266** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ESP8266> – Дата доступа: 18.10.2021.
4. **Документация ESP32** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ESP32> – Дата доступа: 19.10.2021.
5. **Искусственный интеллект** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/AI> – Дата доступа: 20.10.2021.
6. **Краткая терминология компьютерного зрения** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/CAIR> – Дата доступа: 22.10.2021.
7. **Актуальный рынок инфракрасных камер** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elec.ru/files/2020/03/04/ik-kamera-pi.pdf> – Дата доступа: 24.10.2021.
8. **Краткий курс введения «ИК-Камеры»** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/ruvds/blog/514366/> – Дата доступа: 26.10.2021.
9. **Особенности построения инфракрасной камеры с подсветкой** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.techportal.ru/glossary/kamera-s-ik-podsvetkoi.html> – Дата доступа: 28.10.2021.

### REFERENCES

1. **Key points of the programming language Rust** [Electronic resource]. - Access mode: <https://www.rust-lang.org> - Access date: 15.10.2021.
2. **Documentation OpenCV** [Electronic Resource]. - Access mode: <https://docs.opencv.org/4.5.4> - Access date: 16.10.2021.
3. **Documentation ESP8266** [Electronic Resource]. - Access mode: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ESP8266> - Access date: 18.10.2021.
4. **Documentation ESP32** [Electronic Resource]. - Access mode: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ESP32> - Access date: 19.10.2021.
5. **Artificial intelligence** [Electronic resource]. - Access mode: <https://ru.wikipedia.org/wiki/AI> - Access date: 20.10.2021.
6. **Brief terminology of computer vision** [Electronic resource]. - Access mode: <https://ru.wikipedia.org/wiki/CAIR> - Access date: 22.10.2021.
7. **Current market of infrared cameras** [Electronic resource]. - Access mode: <https://elec.ru/files/2020/03/04/ik-kamera-pi.pdf> - Access date: 24.10.2021.
8. **Short course of introduction “IR-Camera”** [Electronic resource]. - Access mode: <https://habr.com/ru/company/ruvds/blog/514366/> - Access date: 26.10.2021.
9. **Features of building an infrared camera with illumination** [Electronic resource]. - Access mode: <http://www.techportal.ru/glossary/kamera-s-ik-podsvetkoi.html> - Access date: 28.10.2021.



KOTLYAROV D. I., PANASENKO S. I., BURLAKOV A. P.

**MACHINE VISION SYSTEM WITH THE POSSIBILITY OF AUTOMATED 3D VIRTUAL SPACE CONSTRUCTION WITH FURTHER IMPLEMENTATION IN IT OF CAPTURE AND RECORDING OF CHANGED REGISTERED POINTS OF CERTAIN PHYSICAL HUMAN LIMBS WITH THEIR SUBSEQUENT TRANSMISSION. MRs THREE-POSITION ROBOTIC ARM CONTROL**

Educational Institution "Slutsk State College",  
Slutsk, Republic of Belarus

*The article describes in detail the step-by-step process of the development and operation of a machine vision system using modern approaches to software development and the subsequent creation and implementation of control of a robotic limb at a distance using microcontroller tools that implement high-speed information exchange on the Internet, and also describes in detail the prospects and problems of work. and the development of modern machine vision systems adapted for server and mobile platforms with their subsequent implementation in the field of robotics.*

**Keywords:** 3D space map; machine vision; double infrared camera; robotic.



**Котляров Денис Игоревич**, программист, УО «Слуцкий государственный колледж».  
**Kotlyarov D. I.**, programmer, educational institution "Slutsk State College".



**Панасенко Сергей Игоревич**, преподаватель, УО «Слуцкий государственный колледж».  
**Panasenko S. I.**, teacher, educational institution "Slutsk State College".



**Бурлаков Алексей Павлович**, учащийся, УО «Слуцкий государственный колледж».  
**Burlakov A. P.**, student, educational institution "Slutsk State College".