

взгляда. Задержка системы может быть определена как задержка между изменением местоположения взгляда и моментом, когда соответствующее изменение будет зарегистрировано. Сквозная задержка состоит из времени экспозиции камеры айтрекера, времени считывания и передачи изображения, времени обработки изображения, времени передачи данных между драйвером Tobii EyeX Engine и конечным приложением, а также частоты обновления дисплея.

#### **Список использованных источников**

1. Semmelmann, K. Online webcam-based eye tracking in cognitive science : a first look / K. Semmelmann, S. Weigelt // Behavior Research Methods. – Vol. 50. – 2018. – P. 451–465.
2. Titz, J. Comparing eye trackers by correlating their eye-metricdata / J. Titz, A. Scholz, P. Sedlmeier // Behavior Research Methods. – Vol. 50. – 2018. – P. 1853–1863.
3. Дубицкий, А. Применение айтрекеров для юзабилити-исследований ПО в GNU/Linux / А. Дубицкий, Д. Костюк, А. Маркина, С. Фомин // Четырнадцатая конференция разработчиков свободных программ: тезисы докладов – Калуга, 22–24 сентября 2017 г. – М. : Базальт СПО, 2017. – С. 36–41.
4. Arhippainen, L. Empirical evaluation of user experience in two adaptive mobile application prototypes / L. Arhippainen, M. Tähti // Proceedings of the 2nd International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia. Norrköping, Sweden, 10–12 December 2003. – P. 27–34.
5. Mandryk, R. L. Using psychophysiological techniques to measure user experience with entertainment technologies / R. L. Mandryk, K. M. Inkpen, T. W. Calvert // Behaviour & Information Technology, Vol. 25 (2), 2006. – P. 141–158.
6. Костюк, Д. А. Подход к биометрической оценке эргономики графического интерфейса пользователя / Д. А. Костюк, О. О. Латий, А. А. Маркина // Вестник БрГТУ. – № 5 (101) : Физика, математика, информатика. – 2016. – Брест : Издательство БрГТУ. – С. 46–49.
7. Gibaldi, A. Evaluation of the Tobii EyeX Eye tracking controller and Matlab toolkit for research / A. Gibaldi [et al.] // Behavior Research Methods, Vol. 49, 2017. – P. 923–946.
8. Drachen, A. Correlation between heart rate, electrodermal activity and player experience in First-Person Shooter games / A. Drachen [et al.] // Proceedings of the 5th ACM SIGGRAPH Symposium on Video Games. – Los Angeles : CA, 2010. – P. 49–54.
9. Duchowski, A. Eye Tracking Methodology. Theory and practice. Second edition. – London : Springer, 2007. – 334 p.

УДК 004.35

### **КОНЦЕПЦИЯ И РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТИПА «ПЕРЧАТКА» ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ КИСТИ РУКИ В ПРОСТРАНСТВЕ**

И.Д. Козик, Ю.В. Савицкий

Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь,  
zmyhpyh@yandex.ru

*An own concept of a hardware-software complex, consisting of a virtual reality glove, has been developed. This system has the basic functions of tracking, capturing and transmitting information about the flexion of the joints of all five fingers, detecting the position and orientation of the hand in space, and also has wireless communication.*

## **Введение**

В настоящее время наблюдается стремительное увеличение количества разработок в области технологии виртуальной реальности, имеющей большое практическое значение в современных предметных областях – от применения в игровом контенте до создания сложных обучающих систем, манипуляторов в медицине, технике и др. Виртуальная реальность (VR) — созданный техническими средствами мир, передаваемый человеку через его ощущения: зрение, слух, осязание и др. Виртуальная реальность имитирует как воздействие, так и реакции на воздействие. Для создания убедительного комплекса ощущений реальности компьютерный синтез свойств и реакций виртуальной реальности производится в реальном времени.

Объекты VR обычно ведут себя близко к поведению аналогичных объектов материальной реальности. Пользователь может воздействовать на эти объекты в согласии с реальными законами физики (гравитация, свойства воды, столкновение с предметами, отражение и т.п.). Для взаимодействия с виртуальными объектами используются различные устройства, в частности перчатки, которые позволяют определять положение руки и пальцев пользователя и передавать эти данные на вычислительный модуль системы виртуальной реальности.

В данной работе предлагается концепция и реализация устройства типа «VR Перчатка», позволяющего считывать положение кисти руки в пространстве. В контексте предмета исследования и разработки VR Перчатка – это устройство ввода в виде перчатки, которая посредством движений руки и пальцев осуществляет ориентацию в виртуальном пространстве. Современные реализации VR перчатки помимо функции навигации и ориентации в виртуальном пространстве также предлагают возможность тактильной обратной связи.

### **1 Концепция и структура системы**

В результате анализа имеющихся на рынке перчаток, позволяющих отслеживать руки в виртуальной реальности, были выявлены их преимущества и недостатки. Часто встречающиеся недостатки, присущие практически всем рассмотренным системам:

- высокая стоимость;
- значительная часть таких устройств систем недоступна обычному пользователю; их можно приобрести только разработчикам VR приложений и систем;
- сложная настройка и калибровка устройств;
- невозможность использовать их в широкодоступных VR-проектах.

Результаты данного анализа позволили разработать собственную концепцию аппаратно-программного комплекса, состоящего из оптимальной в стоимостном аспекте VR перчатки, которая сочетает в себе базовые функции отслеживания, захвата и передачи информации о сгибания суставов всех пяти пальцев руки, обнаружения положения и ориентацией руки в пространстве, а также беспроводным сопряжением. Таким образом, концептуальная модель должна:

1) иметь перечисленные ниже характеристики:

- компактность, возможность удобного размещения на руке;
- наличие встроенного аккумулятора;
- легкая калибровка;
- небольшая стоимость, в сравнении с конкурентами;

2) выполнять следующие функции:

- считывание положения кисти и пальцев в пространстве;
- фильтрация полученных данных и приведение их к требуемому формату;
- передача данных на обрабатывающий модуль;
- использование протокола Bluetooth для связи с обрабатывающим модулем;
- все модули устройства должны быть расположены на одной печатной плате.

В целом система представляет собой клиент-серверную архитектуру, где в качестве сервера выступает VR-перчатка, а в качестве клиента – обрабатывающий модуль (ЭВМ, VR-гарнитура, смартфон и др.); взаимодействие осуществляется по протоколу Bluetooth. Клиент должен провести сопряжение с устройством для дальнейшего взаимодействия.

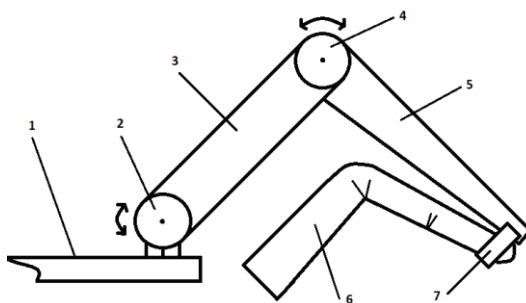
## 2 Характеристика выбранных для реализации системы аппаратных модулей

В качестве управляющего звена программно-аппаратного комплекса выбран микроконтроллер серии ESP32. Данная платформа является наиболее удобной для прототипирования компактных аппаратно-программных комплексов: в зависимости от поставленных задач, используемых датчиков и дополнительных модулей, существует возможность выбирать разные микроконтроллеры серии ESP (платформа ESP имеет собственную IDE, которая облегчает разработку, тестирование, отладку и загрузку программ в микроконтроллер).

Для прототипирования на текущем этапе будет использована версия ESP-WROOM-32S. Данная версия: обладает большим количеством аналоговых и цифровых интерфейсов; имеет встроенный Bluetooth-передатчик; обладает очень низким энергопотреблением, что особенно важно при использовании автономного источника питания; по параметрам процессора и памяти оптимальна в контексте решаемой задачи.

Для отслеживания сгибания пальцев предполагается использовать миниатюрный переменный резистор (потенциометр). В зависимости от угла поворота ручки потенциометра изменяется приходящий на микроконтроллер сигнал, что позволяет сделать выводы об угле поворота пальца. В случае же использования двух и более потенциометров появляется возможность отслеживать даже угол поворота отдельной фаланги пальца, что положительно сказывается на точности измерений.

Для данного проекта было решено использовать схему с двумя потенциометрами, соединенными через гибкое сочленение. Схема модуля отслеживания сгибания пальцев приведена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Схема модуля отслеживания сгибания пальцев: 1-печатная плата устройства, 2 – первый потенциометр, 3 – перемычка, 4 – второй потенциометр, 5 – перемычка, 6 – палец, 7 – силиконовое либо пластиковое кольцо для пальца**

Таким образом, для пяти пальцев имеем 10 потенциометров и 10 аналоговых сигналов, с помощью которых будет происходить эмулирование движения суставов пальцев в виртуальной среде.

Для передачи ориентации в пространстве будет использован инерциальный модуль на 9 степеней свободы (IMU модуль) MPU 9250. Это позволит точно отслеживать перемещение и вращение всей руки в пространстве, а также положение и вращение пальцев относительно руки. В состав данного модуля входит три датчика, каждый из которых отвечает за следующие показатели относительно собственных осей X, Y и Z: трёхосный акселерометр – считывает ускорение; трёхосный гироскоп – считывает скорость вращения; трёхосный магнетометр / компас – считывает напряженность магнитного поля.

Исходя из выбранных решений, функции VR-перчатки можно сформулировать следующим образом:

- 1) считывание аналогового сигнала с потенциометров;
- 2) получение информации о положении устройства в пространстве с IMU-модуля;
- 3) преобразование полученных данных в радианы;
- 4) объединение данных в единый пакет для отправки;
- 5) отправка пакетов данных по протоколу Bluetooth.

### **3 Инструментарий программной разработки**

Для программирования микроконтроллера ESP32 была выбрана свободно распространяемая среда разработки Visual Studio Code, для которой дополнительно установлено расширение PlatformIO, позволяющее использовать Visual Studio Code для разработки программного обеспечения для микроконтроллеров.

Для создания API для взаимодействия с устройством было решено использовать среду Processing. Это графическая библиотека, язык и среда разработки, специализированная на разработку и отладку программного обеспечения для микроконтроллеров. Язык Processing основан на Java, что дает возможность преобразовывать его в байт-код и использовать на любой поддерживаемой ОС. Processing в первую очередь предназначен для работы с графикой, в том числе и трехмерной, что подходит для задач визуализации работы устройства.

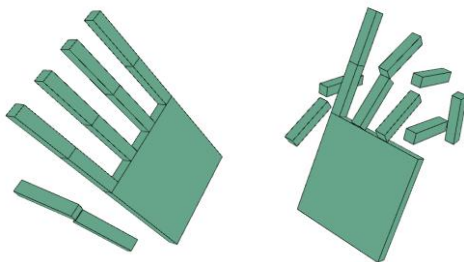
### **4 Результаты**

Самостоятельно изготовленное устройство представляет собой компактный модуль с автономным питанием и разработанным в соответствии с эргономикой руки человека; прошло все необходимые этапы тестирования и отладки аппаратно-программного обеспечения.

Ряд результатов (в виде скриншотов визуализации) приведен на рисунке 2. При физическом воздействии на устройство – поворот и изменение положения пальцев – меняется и положение компьютерной модели (см. рисунок 2). В приведенном примере первоначально (слева) показано состояние устройства в нейтральном положении с прямыми пальцами, а затем (справа) – устройство, изменившее свое положение в пространстве, в котором при этом были согнуты некоторые пальцы.

Таким образом, предпринята попытка реализовать все этапы построения достаточно сложной системы человеко-машинного интерфейса – от создания концепции до конечной реализации функционирующего образца. Устройство

изготовлено из типовых компонентов; программное обеспечение разработано на основе инструментальных средств, имеющих открытый доступ. Эти факторы обусловили небольшую стоимость системы, особенно в сравнении со стоимостью коммерческих разработок.

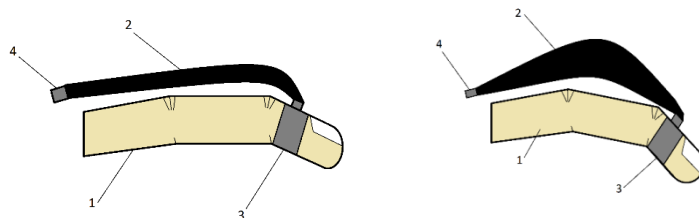


*Рисунок 2 – Построенная трехмерная модель кисти (слева); изменение положения пальцев и кисти при воздействии на устройство (справа)*

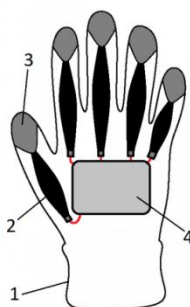
### 5 Дальнейшие перспективы

В качестве перспективы данного направления авторы считают организацию силовой обратной связи в системах виртуальной реальности, в частности, применение для этой цели синтетических мускулов [1].

Современные исследования в этой сфере позволили открыть новые типы материалов, с которыми синтетические мускулы могут быть использованы в системах обратной связи, поскольку обладают следующими свойствами: возможность отливки или 3D печати любых форм, низкая себестоимость. На рисунках 3, 4 представлена примерная схема функционирования перчатки с силовой обратной связью.



*Рисунок 3 – Схематичное изображение пальца с прикрепленной синтетическим мускулом в неактивном состоянии (слева), активном состоянии (справа): 1 – палец, 2 – пассивный синтетический мускул, 3 – крепление для пальца, 4 – крепление к перчатке*



*Рисунок 4 – Схематичное изображение перчатки с силовой обратной связью: 1 – перчатка, 2 – синтетический мускул, 3 – крепление для пальца, 4 – управляющий модуль*

### Список использованных источников

1. Aslan Miriyev , Kenneth Stack, Hod Lipson, Soft material for soft actuators [Электронный документ] / Демонстрационное видео // Youtube. – 2020. – Режим доступа: <https://www.nature.com/articles/s41467-017-00685-3>, свободный (дата обращения 26.10.2022).