

## Метод захвата движений как средство естественного интерфейса

Гайниyarов И.М.<sup>1</sup>, Обабков И.Н.<sup>1</sup>, Хлебников Н.А.<sup>1</sup>

i.m.gainiarov@urfu.ru|i.n.obabkov@urfu.ru|na.khlebnikov@urfu.ru

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*В данной работе представлена модульная архитектура мобильной системы захвата движений человека для работы в режиме реального времени. Техническую основу технологии составляет специальная сеть микроэлектромеханических датчиков (трехосевые акселерометры и гироскопы), закрепленных на теле человека. Каждый модуль датчиков подключается к одному микроконтроллеру для дальнейшей передачи данных на сервер хранения и обработки в клиент-серверной парадигме. Предполагаемая обшая конструкция имеет мобильное и свободное ношение датчиков в виде особого костюма. Такой подход помогает расширить сферу применения технологии захвата движений со стационарных подготовленных мест с видеоканерами к захвату движений конкретных людей без привязки к их местоположению. Так же это позволяет снизить хранимый поток информации, так как оцифровка каркаса движения производится датчиками на местах без передачи видеопотока. Все это делает возможным реализацию естественного интерфейса на основе костюма как для здоровых людей, так и для пациентов, нуждающихся в реабилитации.*

**Ключевые слова:** Система захвата движений, Естественный интерфейс, Микроэлектромеханический гироскоп, Микроэлектромеханический акселерометр.

## Motion capture method as a tool for natural interface

Gajniyarov I.M.<sup>1</sup>, Obabkov I.N.<sup>1</sup>, Khlebnikov N.A.<sup>1</sup>

i.m.gainiarov@urfu.ru|i.n.obabkov@urfu.ru|na.khlebnikov@urfu.ru

<sup>1</sup>Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

*This paper presents a modular architecture of mobile motion capture system to work in real-time. The technical basis of technology is network of micro electro-mechanical sensors placed on human body. Each sensor module is connected to one microcontroller for further data transmission to server storage and processing. The design has free carrying sensors in a special suit. This approach helps to broad the scope of movements capture technology from stationary prepared places with video cameras to capture without reference to their location. Also it allows to reduce the stored information, because digitization of the frame movement is performed by sensors. All this makes possible the realization of natural interface based on the suit as for healthy people and for patients who need rehabilitation.*

**Keywords:** Motion capture, Wearable wireless system, MEMS sensor.

### 1. Введение

В настоящее время основной интерес технологии захвата движений находится в следующих областях: медицина, игровая индустрия, компьютерная анимация, охранные системы, робототехника [23].

В медицине это связано с повышением качества процесса реабилитационной терапии [5]. Например, в качестве съема показателей вне стационарных пунктов наблюдения при нарушениях опорно-двигательного или вестибулярного аппаратов. Или в качестве профессионального инструмента, как естественный интерфейс для проведения операции хирургом [1].

В игровой индустрии — это возможность получения естественных контроллеров для максимального погружения в виртуальную реальность.

В робототехнике — это управление промышленными манипуляторами, робототехническими средствами передвижения, экзоскелетами. Так же существует вариант с образовательными роботами. Один человек выступает в качестве эталона движения, с него только снимаются показания. Второй человек выступает в качестве приемника данных, с него не только снимаются показания, но и сравниваются с эталоном и сообщаются в виде стимулирующей обратной связи [3]. Большой интерес к антропоморфным робототехническим системам проявлен и в космической отрасли [8]. Например, стоят задачи дистанционного исполнения роботом сложных двигательных паттернов, скопированных с оператора [7].

В компьютерной анимации — это создание модели движения персонажей, мимики.

В охранных системах — это фиксация как самого факта движения в намеченных областях, так и распознавание паттерна движения отдельных людей в общем потоке.

Есть два принципиальных подхода к захвату движений [11]: анализ видеопотока [2] и подготовка данных о движении датчиками на местах крепления.

Плюсы первого подхода заключаются в простоте внедрения способа. Можно быстро подготовить пространство для получения сырых данных.

Минусами является повышающиеся требования к числу кадров в секунду у камеры для более детального захвата движений, большой объем хранения данных, сложность переноса камеры как оборудования для получения данных.

Плюсами второго подхода являются: мобильность, легкость оборудования и относительно малое число передаваемых данных.

Минусами является сложность интерпретации данных.

### 2. Постановка задачи

Основная цель создания костюма захвата движений — это создание единой платформы для создания разнообразных естественных интерфейсов. Это возможно по причине модульности системы. Получая весь объем данных можно выявлять зависимости отдельно на каждой руке или ноге, в зависимости между друг другом или во всем каркасе человека в целом [19].

Для этого необходимо создать электронную схему генерации необработанных данных, соответствующую следующим требованиям:

1. Автономное питание системы минимум на 24 часа беспрерывной работы.
2. Беспроводной способ передачи данных на сервер.

Соответствовать ГОСТ 12.2.025-76 ССБТ по классу электробезопасности.

4. Содержать датчики на большинстве суставных сочленениях человека (это более 45 MEMS датчиков).

5. Скрытое монтирование датчиков для предотвращения механическим повреждениям.

6. Размер площадки крепления каждого датчика не более 50 мм<sup>2</sup>.

7. Предоставлять гарантию о расположении точек генерации данных через процедуру внутренней сертификации с помощью аппаратного криптоключа.

8. Состоять из 5 модулей [12] в базовой комплектации для всего тела человека.

Также необходимо разработать программный модуль для приема и обработки сырых данных. Работа для пользователя системы должна выглядеть как “черный ящик”, куда можно отправить данные и получить результат обработки. Такой подход с одной стороны решает вопрос безопасности интеллектуальной собственности, а с другой помогает работать системе на маломощных компьютерах.

### 3. Техническая реализация

#### 3.1 Архитектура системы

В этом разделе особое внимание будет уделено вопросу мобильности, модульности и автономности системы.

Сбор данных осуществляется на плате NodeMCU на базе микроконтроллера ESP8266. Далее по сети WiFi укомплектованные данные [15] передаются на сервер, что позволяет не хранить данные на самом костюме. Общая схема представлена на Рисунке 1. Также возможна передача по Bluetooth и радиоканалу.

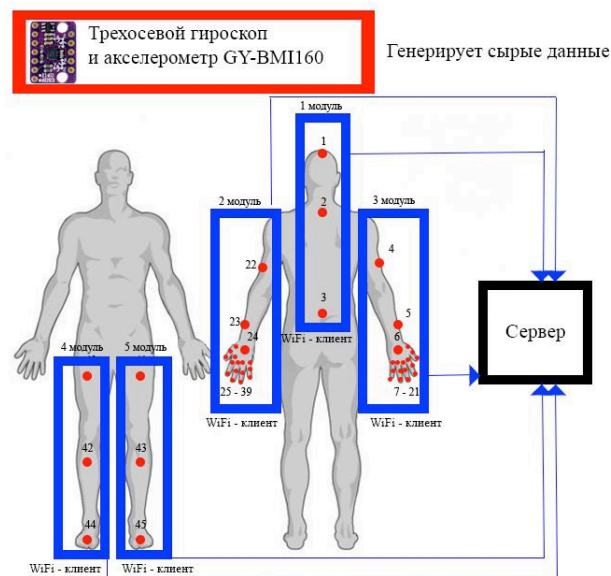


Рис. 1. Общая схема генерации и отправки данных.

Точками обозначены датчики. Прямоугольниками показано расположение модулей.

#### 3.2 Архитектура модуля

Каждый модуль [10] в отдельности выполнен по схожей схеме, представленной на рисунке 2.

Все датчики подключены по SPI протоколу. Название и назначение каналов:

1. MISO – master input slave output. Сигнал от ведомого устройства ведущему.

2. MOSI – master output slave input. Сигнал от ведущего устройства ведомому.

3. SCL – канал синхронизации.

4. GDN – земля.

5. VCC – питание.

6. CS – chip select. Канал выбора устройства для снятия данных.

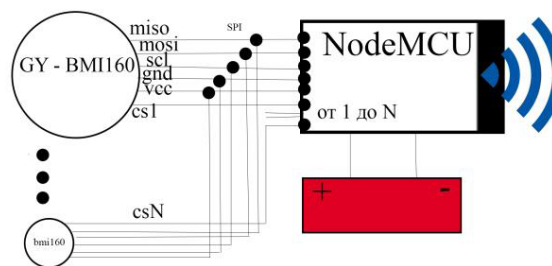


Рис. 2. Общая схема работы модуля. NodeMCU имеет одно питание. К нему по 5 общим шинам и N (по числу датчиков) подключены MEMS-устройства.

#### 3.3 Программная реализация

Для проверки адекватности полученных данных реализованы две идеи. Первая заключается в начальных условиях, при которых после закрепления костюма на человеке и перед запуском питания необходимо, чтобы человек начал с исходной позиции. Таким образом происходит синхронизация последующих изменений в движениях модели и реального человека. Вторая заключается в создании визуального отладчика, который позволяет в режиме реального времени смотреть движения модели в соответствии с человеком.

Инструментом для реализации идеи послужил Blender 3D. Программный продукт позволяет создать не только необходимые модели, но и позволяет прописывать для них свою физическую модель на Python 3.

Были проведено тестирование для одиночных датчиков BMI160 на соответствие модели гироскопа реальным поворотам. Результаты положительные.

Также возник вопрос интерпретации полученных данных. Интегрированная калибровка датчика рассчитана на горизонтальное положение датчика во время запуска. Однако в условиях костюма это невозможно. В связи с этим необходимо при запуске генерировать матрицу корректирующих коэффициентов.

Сами показания датчиков нуждаются в учете их взаимосвязи [13]. Например, если рука поднимается – то данные со всех датчиков будут меняться, однако это будет линейная зависимость и означать она будет поднятие лишь предплечья, а не разнообразное движение руки.

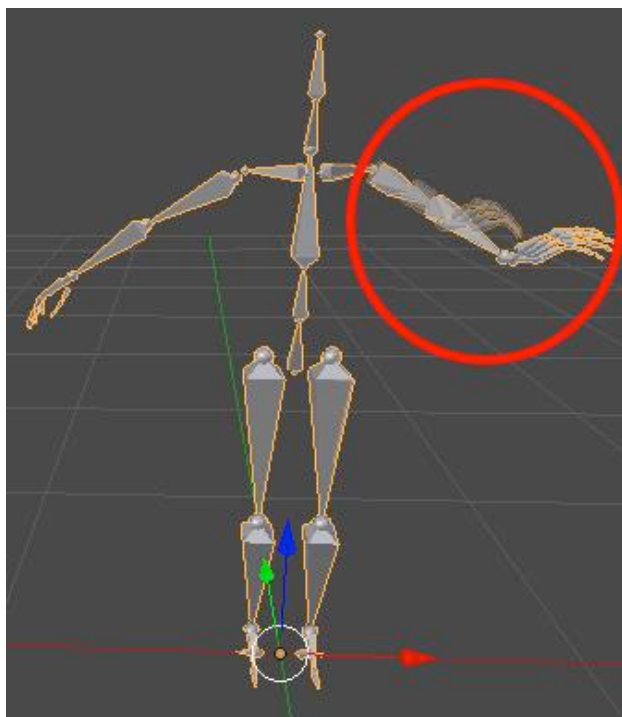
На рисунке 3 представлено изменение положения руки модели человека через 1 секунду после запуска оборудования на реальном человеке. Генерируемые данные получаются корректными, однако существует проблема с нулевым дрейфом гироскопа. Эта проблема решается добавлением магнитометра к существующим акселерометру и гироскопу. Также для реализации автокалибровки данных тестируется возможность добавления датчика положения на кисть руки в единичном экземпляре и добавления датчиков Холла для фиксации прохождения руки через калибровочные магнитные точки на костюме во время движения человека.

Необходимо также решить вопрос зашумленности входящие данных. В данный момент рассматриваются следующие варианты постобработки на сервере (ввиду большой ресурсозатратности операций для микроконтроллера):

1. Фильтр Калмана.

2. Фильтр Маджвика [16].

3. Комплементарный фильтр [9].
4. Интегрирование данных по гироскопу [4].
5. Компенсация данных по акселерометру.
6. Дополнение данными с магнитометра.



**Рис. 3.** Изменение положение руки модели с учетом поступивших с оборудования данных. Наложение двух снимков.

Еще одной программной задачей является выявление структуры в данных. Это необходимо решать с помощью инструментов машинного обучения.

Были проведены тесты быстрого действия системы. Сами датчики по документации способны работать на частоте до 3200 Гц для гироскопа и 1600 для акселерометра. Далее где идет узкое место – это протокол передачи. Используется стек TCP/IP для передачи по локальной сети через роутер. Если постоянно перед передачей пакета данных открывать соединение с сервером, а потом его закрывать, то частота составляет 1.8 Гц. Если при запуске оборудования открывать соединение один раз и закрывать по окончанию работы, то частота составляет от 54 до 76 Гц для 18 датчиков в одном модуле. Частота зависит от способа формирования пакета. С помощью POST запроса можно передать максимум 100 переменных за раз (это ограничение технологии). В дальнейшем на один модуль будет не более 16 датчиков данного типа, т.к.  $6 \cdot 18 = 108$  значений, что больше 100. Поэтому реализовано два способа формирования пакета:

1. Склеивать значения одного датчика в одну строку, тогда передается пакет с 18 подразделами.
2. Склеивать значения пакетов только для двух последних датчиков, тогда число подразделов составляет 98.

Для первого случая частота ниже, т.к. необходимо работать с разбиением строки, второй способ быстрее ввиду меньшей вычислительной нагрузки.

#### 4. Предварительный результат

В данный момент удалось создать модуль для захвата движений левой руки. Было реализовано два прототипа генерации данных. Первый включал Arduino MEGA 2560 в качестве микроконтроллера и Bluetooth HC-05 в качестве

передатчика. Прием осуществлялся по COM порту. Вторым прототип был спроектирован на базе NodeMCU с интегрированным микроконтроллером ESP8266, который поддерживает передачу по WiFi.

Предпочтение было отдано в пользу второго варианта, потому что в таком случае габариты устройства уменьшались в несколько раз, общая длина проводов также значительно сокращается, что приводит к меньшему энергопотреблению, снижению различного рода наводок на провода, больший радиус контакта с принимающим сервером увеличивает более, чем в два раза число датчиков. Помимо этого, WiFi протокол позволяет открыть возможность реализации множества других полезных функций в будущем.

В модуле левой руки работают 18 датчиков, одна литий-ионная батарея 2200 мАч и реализована беспроводная передача через Bluetooth или WiFi.

Со стороны сервера реализован прием данных и настроена среда для визуализации данных (Blender 2.78c и Unity 3D).

Обработка данных в данный момент реализуется с использованием фильтра Маджвика с магнитометром. Для проверки адекватности модели сначала были записаны исторические данные по простым движениям руки, пальцев, а также более сложные движения без перемещения всего тела в пространстве. После этого была натурная проверка на живом человеке. В данный момент еще модернизируется фильтр Маджвика для множественного использования гироскопов, акселерометров и магнитометров, т.к. классический вариант предполагает наличие только одного 9 (или 6) осевого датчика.

В дальнейшем планируется дальнейшее уменьшение носимого оборудования [14]. При малых существующих размерах собранное оборудование не носит промышленный характер. Возможна распайка датчиков в более компактную форму. Конечный вид микроконтроллера также будет претерпевать изменения. В конечном итоге при ношении костюма будут заметны только элементы крепления (перчатки, стяжки) и батарея питания. Однако эти вопросы относятся к области дизайна вещей и эргономичности.

В дальнейшем планируется расширить систему в плане разнообразия датчиков [17]. В ближайшее время возможно расширение за счет датчиков кожно-гальванической реакции и электроэнцефалографических датчиков (32 канальная система).

Помимо этого, планируется серия экспериментов для распознавания простейших движений человека для проверки базовой гипотезы о распознавании жестов. После этого будут эксперименты по распознаванию сложных движений вне рамок лабораторных условий [6].

Все это позволит в конечном итоге составить характерный портрет человека, основанный на индивидуальных особенностях движений человека. Что уже может применяться для количественной оценки изменений в человеке. Например, перед операцией человек носит подобный костюм в течение месяца. Сервер сохраняет все данные и выделяет характерные особенности человека. После проведения инвазивной операции можно будет оценить на сколько изменился человек и выработать индивидуальную программу по восстановлению в привычную форму.

Еще одной важной особенностью работы является возможность создания виртуального тела с обратной связью.

## 5. Благодарности

Работа была выполнена при поддержке ООО ИК "Энергософт" и ООО "Ведущая Утилизирующая Компания".

## 6. Ссылки

- [1] Авербух В.Л., Авербух Н.В., Стародубцев И.С., Тоболин Д.Ю. Использование жестовых интерфейсов при взаимодействии с объектами // Научная перспектива. № 10 (56) / 2014. Стр. 57-66.
- [2] Алфимцев А. Н., Демин Н. А. Захват и отслеживание удаленных объектов в видеопотоке //Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – №. 11. – С. 23.
- [3] Гаврилова И. В. Перспективы применения робототехники в образовании //Новые информационные технологии в образовании и науке: НИТО-2017: материалы X международной научно-практической конференции. – РГПУ, 2017. – №. 10. – С. 458-460.
- [4] Иванов Д. С., Овчинников М. Ю. Использование одноосного гироскопа для определения ориентации макета в лабораторных условиях //Препринты Института прикладной математики им. МВ Келдыша РАН. – 2008. – №. 0. – С. 11-32.
- [5] Крак Ю. и др. Компьютерная система виртуального общения людей с проблемами слуха //16th International Conference «Knowledge-Dialogue-Solution» KDS. – 2008. – С. 161-165.
- [6] Кривonos Ю. Г., Крак Ю. В. Моделирование движений рук, мимики и артикуляции лица человека для синтеза и визуализации жестовой информации //Кибернетика и системный анализ. – 2011.
- [7] Крючков Б. И., Усов В. М. Создание моделей виртуальной реальности, как способ обучения космонавтов взаимодействию с роботом-помощником экипажа и как условие определение потенциальных областей его полезного применения //Труды международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника», СПб: Политехника-сервис. – 2013. – С. 230-244.
- [8] Крючков Б.И., Усов В.М., Михайлюк М.В. Применение методов захвата движений в космической робототехнике при инженерно-психологическом проектировании человеко-машинного взаимодействия // Пилотируемые полеты в космос. N 4 (21), 2016. Стр. 57-78.
- [9] Мансур М., Степанов О. А. Комплементарный фильтр в задачах комплексной обработки избыточных измерений //всероссийская научная конференция по проблемам управления в технических системах. – Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина)(Санкт-Петербург), 2015. – №. 1. – С. 380-384.
- [10] Москвичёв Д. В., Суков С. Ф. Использование трехосевого mems гироскопа и акселерометра для задач определения пространственной ориентации объектов. – 2016.
- [11] Стародубцев И.С. Захват движения на основе иерархического гибкого скелета // Научно-технический вестник Поволжья. Направления: физико-математические науки, химические науки, технические науки. N 1. 2014. Стр. 159-162.
- [12] Стародубцев И.С. Проект «Виртуальная рука» // XV Международная конференция «Супервычисления и Математическое Моделирование». Тезисы. ФГУП «РФЯЦ ВНИИЭФ». Саров. 2014, стр. 124-125.
- [13] Шадрин, Д.В., Арышева, Г.В. Роботизированная рука с дистанционным управлением / Д.В. Шадрин, Г.В. Арышева

// Инженерия для освоения космоса: сб. науч. тр. / ТПУ. – Томск, 2016. – С. 278-281.

[14] Brigante C. M. N. et al. Towards miniaturization of a MEMS-based wearable motion capture system //IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2011. – Т. 58. – №. 8. – С. 3234-3241.

[15] Di Nisio A. et al. Design of a low cost multipurpose wireless sensor network //Measurements & Networking (M&N), 2015 IEEE International Workshop on. – IEEE, 2015. – С. 1-6.

[16] Ezekwe C. D., Geiger W., Ohms T. A 3-axis open-loop gyroscope with demodulation phase error correction //Solid-State Circuits Conference-(ISSCC), 2015 IEEE International. – IEEE, 2015. – С. 1-3.

[17] Makeig S. et al. Linking brain, mind and behavior //International Journal of Psychophysiology. – 2009. – Т. 73. – №. 2. – С. 95-100.

[18] Moeslund T. B., Granum E. A survey of computer vision-based human motion capture //Computer vision and image understanding. – 2001. – Т. 81. – №. 3. – С. 231-268.

[19] Mohammadzadeh F. F. et al. Feasibility of a wearable, sensor-based motion tracking system //Procedia Manufacturing. – 2015. – Т. 3. – С. 192-199.