

Аниматронная модель руки на базе ESP8266

И.С. Стародубцев^{1,2}, Р.Ф. Самедов², И.М. Гайниyarov², И.Н. Обабков¹, И.В. Антипина¹, Я.В. Золотарева¹,
А.А. Сибогатова¹

starodubtsevis@robolab.tk|rustam.samedov.99@mail.ru|i.m.gainiarov@imm.uran.ru|i.n.obabkov@urfu.ru
irinaant_99@mail.ru|yanazolotereva@gmail.com|as2010alisa@gmail.com

¹ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Россия;

²ИММ УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Технология 3D-печати по-новому ставит вопрос аугментации в сферах реабилитации, предоставления обрат-ной связи и взаимодействия с реальными объектами. Быстрое и доступное производство как прототипов, так и промышленных образцов приводит к тому, что появляются новые области массового применения технологии 3D-печати. Так, например, уже существуют ориентированные на детей протезы рук или аниматронные модели для коммуникативного взаимодействия. В каждой из подобных задач встает вопрос об управлении физической конструкции руки. В данной работе представлена антропоморфная кисть, закреплённая на стенде. Основной фокус направлен на программное решение по воспроизведению запрограммированных жестов. Для решения этой задачи был разработан формат описания жестов. В качестве отладочного прототипа была доработана открытая модель руки InMoov. В статье будет представлена оригинальная часть модели в виде схемотехники и 3D модели стенда. Вопрос управления антропоморфных конечностей носит универсальный характер и особенно остро встает в системах с тонким взаимодействием. В данном случае модель покрывает это проблемное поле.

Ключевые слова: аниматроника, 3D-печать, аугментация, обратная связь, жесты.

Animatronic hand using ESP8266

I.S. Starodubtsev^{1,2}, R.F. Samedov², I.M. Gajniyarov², I.V. Antipina¹, Y.V. Zolotareva¹, A.A. Sibogatova¹
starodubtsevis@robolab.tk|rustam.samedov.99@mail.ru|i.m.gainiarov@imm.uran.ru|i.n.obabkov@urfu.ru
irinaant_99@mail.ru|yanazolotereva@gmail.com|as2010alisa@gmail.com

¹Yeltsin UrFU, Yekaterinburg, Russia;

²IMM UB RAS, Yekaterinburg, Russia

3D-printing technology puts the question of augmentation in rehabilitation, feedback providing and real objects interaction fields. Rapid manufacturing of prototypes and industrial designs leads to new fields appearance for 3D-printing technology. For example, there are hand prostheses, which are child-oriented, or animatronic models for communication. It is raises the question of managing physical hand in each of these tasks. This work presents the anthropomorphic hand, which is stand mounted. The main focus is on the software solution for gestures simulation. Special gesture format was developed to solve this problem. Prototype was developed by modifying open hand model "InMoov" as a debug realization. The article presents original model part as a circuitry and 3D stand model. The issue of anthropomorphic limb control is universal. The problem is most acute among systems with accurate interaction. Our model covers this problem field.

Keywords: animatronics, 3D printing, augmentation, feedback, gestures.

1. Введение

3D-печать позволяет посмотреть на вопрос аугментации в сферах реабилитации, предоставления обратной связи в новом ключе.

Под аугментацией в данной работе подразумеваются физические устройства, которые позволяют взаимодействовать большим числом способов с физическим миром, либо получать более разнообразную информацию через симуляцию движений.

В качестве конкретных примеров можно привести следующие разработки по областям. В оперативном вмешательстве это роботы-помощники типа Omnicell M5000 Introduction или робот-хирург da Vinci. Они представляют узкопрофессиональные решения. В протезировании это YouBionic и Моторика [7, 8]. Отличительной особенностью детского протезирования является то, что дети быстро вырастают из своих протезов. При этом время производства протеза и персонализированность являются ключевыми параметрами.

Это решается лучше всего решается технологией 3D-печати. В коммуникации [1] – это разработки для обучения людей методом демонстрации [4, 9] или общения через язык жестов [5, 13]. В промышленности – манипуляторы для перемещения, сборки, сварки, обработки древесины и других работ. Для этих целей существуют решения от компаний KUKA и FANUC.

В открытом доступе имеются открытые модели, которые можно дорабатывать под собственные нужды. Например, LIME, InMoov[11], Brunel Hand, Ada Hand. В данной работе используется модифицированная модель руки InMoov. В отличие от оригинала предлагается дополнение в виде резинок-разгибателей пальцев.

Наш стенд хорошо подходит для образовательных целей так как имеет набор хорошо изученных движений. На его основе можно проводить обучающие занятия в школах, колледжах, университетах и других учебных заведениях для изучения основ мехатроники, аниматроники и алгоритмов, используемых в обработ-

ке данных, полученных из систем захвата движений. В данной работе рассматривается захват движения с использованием микроэлектромеханических сенсоров, однако не ограничивается только этим способом. Каждому методу присущи уникальные погрешности в измерении.

Это выражается следующим образом: при захвате движения есть дрейф нуля гироскопа и дребезг акселерометра, которые компенсируются различными алгоритмами, например, Маджвика. Стенд производит опорные данные, которые можно проверить как визуально, так и программно. Сравнивая визуализацию жеста и опорные данные можно отлаживать сами алгоритмы визуализации жестов с точки зрения точности и скорости работы. Общий принцип применения стенда для визуализации можно посмотреть на рис. 1.

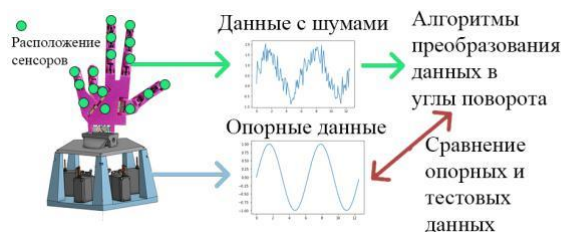


Рис. 1. Схема использования модели руки при обучении алгоритмам преобразования данных гироскопа и акселерометра в углы.

В данный момент большинство отладочных платформ используют только один сенсор. Выглядит это как визуализация поворотов плоских плиток. В работе предлагается расширить подход для многосенсорной визуализации.

Для отладки алгоритмов преобразования сырых данных можно использовать живых людей. Однако выполнение однообразных жестов является монотонной работой, в ходе которой люди быстро устают. Помимо этого страдает и точность выполнения жестов. Данный стенд позволяет выполнять строго запрограммированные жесты в нужной последовательности с точностью в рамках, указанных в характеристиках сервоприводов.

В данный момент реальное выполнение жеста можно увидеть без специальных средств визуализации. Это снижает требования к системе как средству представления жестов.

2. Постановка задачи

Существующие модели рук представлены от моделей, которые максимально точно стараются копировать биомеханику руки до промышленных образцов с нетипичной механикой, но большим числом степеней свободы движений (DoF).

Аниматроника в основном применяется в таких областях как медицина, индустрия развлечений и коммуникации. Если рассматривать подробнее, то можно выделить следующие области применения:

1. Анимация игровых и художественных персонажей.

2. Протезирование человеческих конечностей. В этом пункте можно выделить косметические, тяговые и биоэлектрические разработки.
3. Ассистирование во время реабилитации.
4. Применение промышленных роботов, с разнообразной, сложной и часто сменяющимся профилем деятельности. Возможно использование в агрессивной для человека среде без переоснащения самой линии производства.

Во всех представленных случаях существует ряд проблем, с которыми сталкиваются разработчики антропоморфных роботов:

1. Дефицит управляющей информации. Данная проблема решается разработкой заранее разработанного набора действий, которые может производить конечное устройство. В случае с протезами наиболее популярным вариантом считается снятие информации с остаточных мышц. Однако это только маскирует данную проблему.
2. Несоответствие между реализованной механикой изготовленной модели и биомеханикой руки. В промышленном варианте есть отклонения в пользу более удобного выполнения заданных операций с увеличенным или уменьшенным числом степеней свободы. В случае с протезированием этот вопрос встает более остро, так как конечным пользователям более естественно будет вариант наиболее точно копирующий оригинальную биомеханику руки.
3. Компактность. В случае с промышленным исполнением этот вопрос не отягощает разработчиков значительно, так как здесь мы можем закрепить устройство в стационарном варианте на достаточной площади. Завод проектируется под производственную линию. В случае с протезированием и коммуникацией ситуация обратная. Есть значительные ограничения по весу и объему разработки.
4. Приведение в движение частей устройства. От того как именно приводятся в движение модель конечности многое зависит. Например, от типа двигателей и их числа. От количества приводящих механизмов.
5. Проблема оцувствление в промышленном секторе не стоит вовсе. Однако в случае с протезами от этого зависит точность управления самим протезом. Чем более качественно предоставлять обратную связь от протеза к человеку, тем лучше он её управляет [10].

Каждая из представленных проблем влияет на разработку управляющей логики [2, 3, 15]. Именно на этом сфокусирована существующая разработка.

В качестве прототипа была доработана модель руки InMoov для отладки способов управления жестами антропоморфной руки.

Так же есть проблемы при множественном воспроизведении человеком жестов. Это низкая повторяемость каждого жеста и усталость.

Важно отлаживать алгоритмы совместно со всеми сенсорами, так как односенсорные стенды рассматривают только самый простой случай, не учитывающий взаимосвязей устройств оцифровки движений.

3. Техническая реализация

В качестве набора жестов были выбраны представленные на рис. 2.

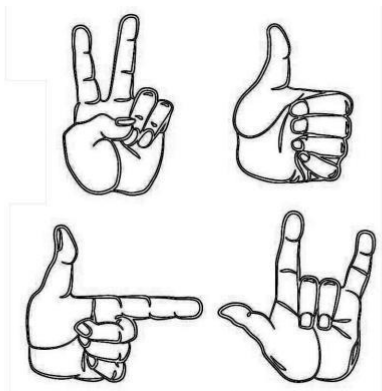


Рис. 2. Воспроизводимые жесты.

Для управления используется 5 сервоприводов MG945 с максимальным вращающим моментом 12 кг/см, плата NodeMCU v3 с Wi-fi модулем ESP8266, блок питания с избыточной мощностью на 300W и приводящие струны. Общая схема включения представлена на рис. 3. Рабочее напряжение 5В.

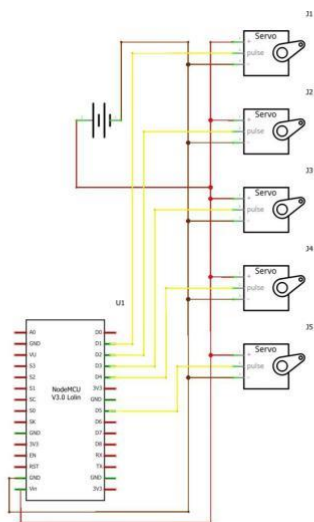


Рис. 3. Схема подключения сервомоторов к NodeMCU.

Сервомоторы и ESP8266 подключены параллельно к блоку питания. Между ними есть согласованные по напряжению управляющие линии связи. Для имитации человеческих мышц сгибателей-разгибателей используются приводящие струны. Материал имеет наименьший коэффициент трения и вес среди аналогов.

После выбора и расчета элементной базы был выполнен этап моделирования. Моделирование производилось в OnShare. Суммарное время печати составило порядка 30 часов. Модель стенда можно посмотреть на рис. 4.

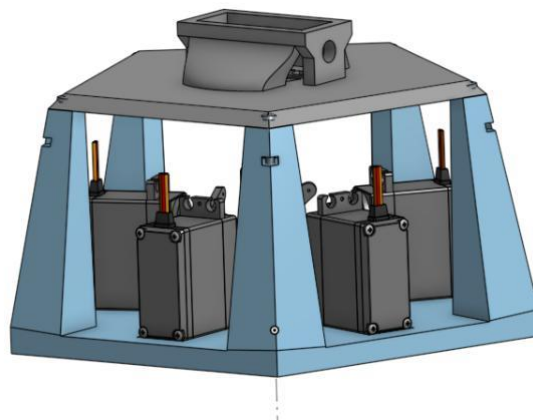


Рис. 4. 3D-модель стенда с сервоприводами.

После выбора и расчета элементной базы был выполнен этап моделирования. Собранный прототип аниматронной руки можно посмотреть на рис. 5. Печать всех элементов производилась по технологии FDM.

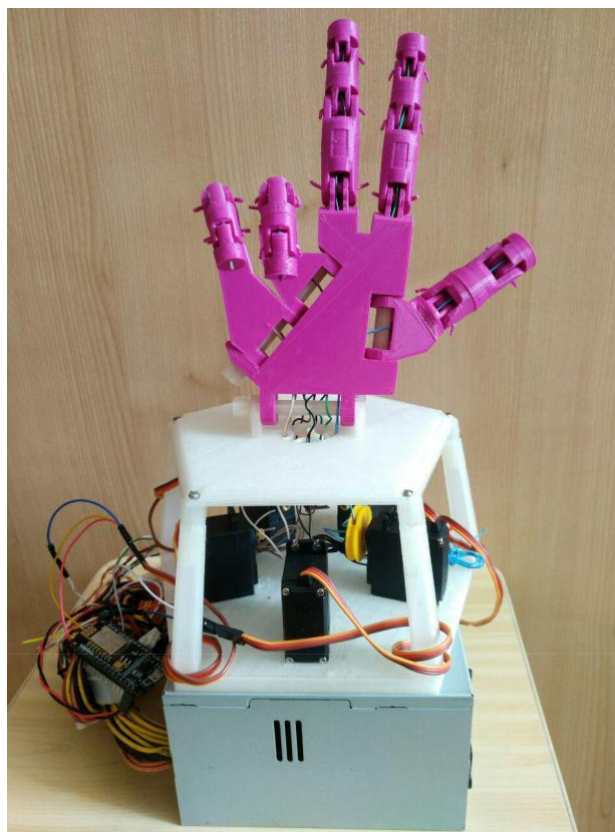


Рис. 5. Аниматронная рука на стенде.

Печать производилась PLA пластиком, так как данный тип пластика обладает достаточной прочностью на изгиб – при 20% заполнении порядка 70-80 Мпа [6], что сопоставимо с породами дерева.

Ниже представлено сравнение аналогов аниматронной руки, которые могут выполнять аналогичные функции в случае их согласования с базовым стендом.

В табл. 1 сравниваются число используемых соединений, количество степеней свободы руки и применяемый механизм, приводящий движения пальцев в движение.

Подробное сравнение можно найти у авторов, также разрабатывающих собственную модель руки [16].

Таблица 1. Сравнение роботизированных кистей рук.

	Число соединений	DoF	Привод
Dextrus Hand	15	5	Трос
InMoov Hand	11	5	Трос
Bebionic Hand	11	6	Шарнирный механизм
iLimb Hand	11	6	Червячная передача
Vincent Hand	11	6	Шарнирный механизм
iCub Hand	19	12	Трос
Athens Hand	4-12	1	Трос
Alaris Hand	6	1	Шарнирный механизм
De Beir Hand	16	5	Трос

В данном случае была выбрана исходная модель руки InMoov для последующей доработки, так как она предоставляет необходимое число степеней свободы для воспроизведения заданного числа жестов, имеет небольшое число соединений и конструкция позволяет доработать модель. В данном случае были добавлены резинки-разгибатели пальцев.

4. Программная реализация

Программирование платы Node MCU v3 производилось в среде разработки Arduino IDE. Для управления сервомоторами применялась стандартная библиотека Servo.h.

Для реализации движения пальцев руки был разработан алгоритм. На вход подаются конечные положения сервоприводов. Каждое значение отвечает за движение определенного пальца. Этот алгоритм работы основан на зависимости разности положений угла сервопривода от фиксированного времени установки конечного положения каждого пальца.

Для имитации плавного движения пальцев необходимо плавно поворачивать вал сервопривода. Осуществление такого поворота происходит за счет быстрой и частой смены угла [14]. На каждой итерации сервопривод поворачивается на заранее рассчитанный угол, который не может быть больше максимального угла. Максимальный угол составляет от 1 до 5 градусов. Количество итераций зависит от общего времени установки конечного положения руки и времени на одну итерацию. Все эти величины являются константами.

Алгоритм работы программы в виде псевдокода можно посмотреть на рис. 6. Были проведены тесты на соответствие поворота сервоприводов сгибанию и раз-

гибанию каждого пальца. Результаты этих тестов дали понять, что необходима поправка угла поворота сервопривода внутри программы выполнения работы. Удалось установить реальный угол поворота сервопривода и сделать поправку внутри программы.

```

1 Function Установка положений пальцев для
   заданного жеста
2   install_position_time
3   rotation_time
4   steps_number =  $\frac{\text{install\_position\_time}}{\text{rotation\_time}}$ 
5   one_step_angle =  $\frac{\text{New\_hand\_angl} - \text{Hand\_angl}}{\text{steps\_number}}$ 
6   for (Anglepinky, Anglering, Anglemiddle,
   Angleindex, Anglethumb) ∈ Hand_angl do
7     for one_step ∈ steps do
8       Servo_rotation =
9         one_step · one_step_angle
10    end
11 end

```

Рис. 6. Псевдокод функции управления положением пальцев аниматронной руки.

Здесь:

1. **install_position_time** – время установки положения руки.
2. **rotation_time** – общее время поворота сервопривода.
3. **steps_number** – количество шагов сервопривода.
4. **one_step_angle** – угол поворота за один шаг сервопривода.
5. **New_hand_angl** – новое положение руки.
6. **Hand_angl** – старое положение руки.
7. **Servo_rotation** – функция поворота сервопривода на указанный угол.

5. Будущие исследования

В перспективе разработки лежат исследования анатомии человеческой руки с точки зрения биомеханики. Например, имитация мышц сгибателей и разгибателей пальцев будет более точной и управляемой [12] или имитация приводящих, отводящих мышц пальцев или червеобразных и межкостных мышц.

Для управления аниматронным протезом планируется реализовать интерактивный интерфейс, который позволит пользователю на виртуальной модели руки создать собственный жест. Также планируется создать удаленное управление с помощью перчатки на инерциальных микро электромеханических сенсорах.

Дополнительной возможностью будет являться организация удаленного доступа к образовательному комплексу. Будет возможность генерировать реальные данные в момент подключения к комплексу. Не надо будет пользоваться историческими или синтетическими данными. Подходящего набора данных может не оказаться. В данном комплексе можно будет генериро-

вать набор данных, который будет соответствовать запрограммированному жесту.

Полученный формат данных позволит помимо реальной демонстрации жеста получить визуальное представление на компьютере. Будет использована поворотная модель кисти.

Планируются дальнейшие работы по использованию результатов проекта в областях человеко-машинного взаимодействия и умного протезирования.

6. Заключение

На данном этапе разработки протеза было реализовано управление аниматронной рукой так, чтобы проверить достижимость различных положений пальцев руки. Для демонстрации протеза были выбраны несложные жесты, которые не требуют действия мышц плеча и предплечья, а также первой тыльной межкостной мышцы.

Также, из-за особенностей распечатанной модели кисти, было учтено, что у пальцев нет возможности сгибаться в «суставах» более чем на 90°. У Мизинца и безымянного пальца за счет имитации пястных костей есть возможность отгибаться назад на 45 градусов. У большого пальца проксимальная фаланга дает возможность сгибаться вперед, во внутрь, на 65 градусов и назад, наружу, на 10 градусов от плоскости руки. Ввод данных о положении каждого пальца осуществляется с помощью клавиатуры, т.е. задаются углы поворота сервоприводов. На каждом итоговом положении известно, на какой угол повернут сервопривод в данный момент за счет обратной связи сервоприводов.

Данный проект рассматривается как первый этап исследований в области захвата движений. Стенд будет представлять из себя контрольное оборудование для оценки качества алгоритмов захвата и распознавания жестов.

7. Благодарности

и Работа выполнена при финансовой поддержке постановления № 211 Правительства Российской Федерации, контракт № 02.А03.21.0006.

8. Литература

- [1] Арутюнян М. Г. Модель антропоморфной роботизированной кисти для коммуникативного взаимодействия //Научные труды Центрального научно-исследовательского института русского жестового языка. – 2018. – С. 133-145.
- [2] Воробьев Е. И., Дорофеев В. О., Михеев А. В. Антропоморфные биороботы и биопротезы //Инженерный вестник. – 2015. – №. 6. – С. 9-9.
- [3] Воробьев Е. И., Скворчевский А. К., Сергеев А. М. Проблемы создания алгоритмов управления антропоморфными биопротезами рук и ног //Медицина и высокие технологии. –2012. –№.1. –С. 7-12.
- [4] Зельдин Л. Развитие движения при различных формах ДЦП. – Litres, 2019.

- [5] Лобанов А. С. Обзор методов распознавания жестов //Южно-Уральские научные чтения. – 2015. – №. 1. – С. 48-53.
- [6] Лысыч М. Н., Шабанов М. Л., Качурин А. А. Обзор современных технологий 3d печати //Современные наукоемкие технологии. – 2015. – №. 6. – С. 26-30.
- [7] Перваков И. В., Семенцова К. Р. Детское протезирование: технология и культурологические аспекты //Культурологический журнал. –2018. –№.4(34).
- [8] Чех Илья Игоревич. Функциональные протезы рук для решения бытовых задач. Режим доступа: <https://motorica.org>. Дата обращения: 12.05.19.
- [9] Alessandro C. et al. Motor control and learning theories //Emerging Therapies in Neurorehabilitation II. – Springer, Cham, 2016. – С. 225-250.
- [10] Belter J. T. et al. Mechanical design and performance specifications of anthropomorphic prosthetic hands: A review //Journal of Rehabilitation Research & Development. – 2013. – Т. 50. – №. 5.
- [11] Gael Langevin. Open source 3D printed life-size robot. Режим доступа: <http://inmoov.fr/hand-and-forarm/>. Дата обращения: 12.05.19.
- [12] Gupta A. et al. Wireless animatronic arm. – 2016.
- [13] Homburg D. et al. RoboTalk-Prototyping a Humanoid Robot as Speech-to-Sign Language Translator //Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences. – 2019.
- [14] Keadr S. F. et al. Development of Zigbee Based Tele Operated Multipurpose Robotic Arm with Hand Gesture Recognition //Technology. – 2017. – Т. 8. – №. 8. – С. 1275-1286.
- [15] Wang X., Zhao J., Yang D., et al. Biomechatronic Approach to a Multi-fingered Hand Prosthesis. Proc. of 2010 3rd IEEE RAS & EMBS Inter. Conf. on Biomedical Robotics and Biomechatronics, Tokyo, Japan. Sep. 26-29, pp. 209—214.
- [16] Krausz, N. E., & Rorrer, R. A. (2015). Design and fabrication of a six degree-of-freedom open source hand. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 24(5), 562-572.

Об авторах

Стародубцев Илья Сергеевич, к.ф.-м.н., доцент УрФУ. Старший научный сотрудник ИММ УрО РАН.

E-mail: starodubtsevis@robotlab.tk.

Самедов Рустам Фирудин оглы, программист ИММ УрО РАН. E-mail: rustam.samedov.99@mail.ru.

Гайниyarов Игорь Мадыхатович, младший научный сотрудник ИММ УрО РАН. E-mail: i.m.gainiarov@imm.uran.ru.

Обабков Илья Николаевич, директор ИРИТ-РтФ УрФУ. E-mail: i.n.obabkov@urfu.ru

Антипина Ирина Владимировна, бакалавр УрФУ. E-mail: irinaant_99@mail.ru.

Золотарева Яна Вячеславовна, бакалавр УрФУ. E-mail: yanazolotereva@gmail.com.

Сибогатова Алиса Альбертовна, бакалавр УрФУ. E-mail: as2010alisa@gmail.com.