

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт машиностроения, материалов и транспорта
Высшая школа автоматизации и робототехники

Работа допущена к защите
Директор ВШАиР
_____ О.Н. Мацко
« ____ » _____ 2022 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

«КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕАЛИЗАЦИИ АНТРОПОМОРФНЫХ СХВАТОВ, АЛГОРИТМЫ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДОБНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ»

по направлению подготовки

15.03.06 Мехатроника и робототехника

код и наименование направления подготовки (специальности)

направленность (профиль)

15.03.06_04 Автономные роботы

код и наименование направленности (профиля) образовательной программы

Выполнил

студент гр. 3331506/80401

Руководитель

доцент ВШАиР,

к.т.н

Консультант

по нормоконтролю

Д.В. Юценко

В.Н. Уланов

А.С. Габриель

Санкт-Петербург

2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт машиностроения, материалов и транспорта
Высшая школа автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ

Директор ВШАиР

О.Н. Мацко

« » 20 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

студенту Ющенко Данил Викторович 3331506/20401
фамилия, имя, отчество (при наличии), номер группы

1. Тема работы:

Конструктивные реализации антропоморфных схватков, алгоритмы и методы управления подобными устройствами

2. Срок сдачи студентом законченной работы:

3. Исходные данные по работе:

Антропоморфные схваты популяризированы и широко распространены в современной, компьютерной отрасли в технике в компьютерных работах. Их использование обусловлено возможностью оперирования предметами различных форм и размеров. Как правило четкой формы подобных схватков нет, так как необходимо обеспечить часть боковой части ступенчатой поверхности, однако встает вопрос о том, как обеспечить целостность оперирования конструктивной и программной реализацией

4. Содержание работы (перечень подлежащих разработке вопросов):

1. Обзор и анализ существующих схватков
2. Обзор и анализ существующих методов управления
3. Определение конструктивной реализации захвата
4. Разработка модели захвата
5. Исследование кинематики захвата
6. Исследование динамики захвата
7. Разработка системы управления

5. Перечень графического материала (с указанием обязательных чертежей):

6. Консультанты по работе:

Варшавин Виктор Витальевич

7. Дата выдачи задания 03 сентября 2016

Руководитель ВКР

(подпись)

В.Н. Ушаков

инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

(дата)

03 сентября 2016

Студент

(подпись)

[подпись]

Юсупов Д.В.

инициалы, фамилия

РЕФЕРАТ

На 57 с., 28 рисунков, 3 таблицы, 3 приложения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: СХВАТ, АНТРОПОМОРФНЫЙ ЗАХВАТ, ЗАХВАТНОЕ УСТРОЙСТВО, УПРАВЛЕНИЕ.

Тема выпускной квалификационной работы: «Конструктивные реализации антропоморфных схватов, алгоритмы и методы управления подобными устройствами».

Данная работа посвящена анализу конструкций и алгоритмов управления антропоморфными схватами, а также разработке антропоморфного схвата с возможностью адаптации к захватываемым объектам.

Задачи, решаемые в ходе выполнения работы:

- а) изучение конструктивных особенностей антропоморфных захватных устройств.
- б) изучение программного управления схватами.
- в) разработка проектного облика антропоморфного схвата.
- г) анализ работоспособности спроектированной модели схвата,
- д) разработка алгоритма управления.

В работе проведен анализ, на основе которого была определена конструктивная реализация антропоморфной кисти с возможностью адаптивного захвата объектов. В рамках работы был поведен кинематический расчет пальцев, показывающий траектории движения пальцев. На основе расчета был определен круг предметов, с которыми может взаимодействовать хват. Также был проведен динамический расчет для определения оптимального привода для управления пальцами кисти. Разработка захватного устройства производилась при помощи программного обеспечения SolidWorks.

В результате разработан проектный облик кисти, которая может быть применена в качестве схвата робота, а также может использоваться в медицинских целях для протезирования верхних конечностей. В том числе был разработан алгоритм управления захватным устройством.

ABSTRACT

57 pages, 28 figures, 3 tables, 3 appendices

KEYWORDS: GRIPPER, ANTHROPOMORPHOUS GRIPPER, GRIPPER, CONTROL.

The subject of the graduate qualification work is “Constructive implementations of anthropomorphic grippers, algorithms and methods of controlling of such devices”.

The given work is devoted to the analysis and development of anthropomorphic gripper based on existing modern analogues.

The research set the following goals:

- a) Study of the constructive features of anthropomorphic grippers,
- б) the study of the program control of grippers,
- в) gripper development,
- г) analysis of the operability of the created gripper model,
- д) algorithm development.

The analysis was carried out, on the basis of which the constructive implementation of an anthropomorphic wrist with the possibility of adaptive object grasp was determined. As part of the work, a dynamic analysis was carried out to determine the optimal drive for controlling the fingers of the wrist. A kinematic analysis of the fingers was also carried out, showing the trajectories of the movement of the fingers. Based on the analysis, the range of objects with which the gripper can interact was determined. The gripper was developed using the SolidWorks software.

As a result, a wrist was created that can be used as a robot gripper and can also be used for medical purposes for upper limb prosthetics. Including the algorithm for controlling the gripping device was developed.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 Аналитический обзор существующих антропоморфных схватов	9
1.1 Схваты роботов	9
1.1.1 Схваты с пневматическим приводом	9
1.1.2 Схваты с электрическим приводом	11
1.2 Протезы	14
1.2.1 Механические протезы	14
1.2.2 Бионические протезы	15
1.3 Основные виды захватов	17
1.4 Выводы по разделу	18
2 Управление антропоморфными схватами	21
2.1 Методы управления схватами робота	21
2.1.1 Адаптивное и интеллектуальное управление	21
2.1.2 Управление человеко-оператором	22
2.1.3 Непрерывное программное управление	24
2.2 Методы управления протезами	24
2.2.1 Управление с помощью электроэнцефалограммы	24
2.2.2 Управление с помощью электромиографии	25
2.2.3 Управление с помощью кожно-гальванической реакции	26
2.3 Выводы по разделу	27
3 Проектирование захватного устройства	29
3.1 Устройство кисти человека	29
3.2 Выбор конструкции захвата	29
3.3 Кинематика пальцев захвата	30

3.4 Динамика пальцев	36
3.5 Вывод по разделу	40
4 Система управления схватом	40
4.1 Принцип управления	40
4.2 Алгоритм управления	41
4.3 Вывод по разделу	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	46
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	47
ПРИЛОЖЕНИЕ А	51
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	53
ПРИЛОЖЕНИЕ В	56

ВВЕДЕНИЕ

Захватное устройство (схват) – устройство, обеспечивающее удержание захватываемого предмета с последующим выполнением манипуляций над этим объектом.

Антропоморфные схваты, как правило, обладают большим числом степеней подвижности, что позволяет добиться больших показателей в адаптивности. Эти устройства способны не только на сжатие и разжатие пальцев, но и на выполнение задач, где требуется применение мелкой моторики, например, подъём мелких предметов, застёгивание замков.

Данный тип схватов не получил широкого распространения в промышленной робототехнике, так как большая часть операций, производимых на производстве, не требует сложно устроенных схватов в связи работы манипулятора с предметами заранее известной формы и размера. Однако своё признание антропоморфные схваты нашли в коллаборативной робототехнике, космической индустрии в медицине в качестве бионических протезов космической индустрии [1].

Целью данной работы является разработка проектного облика антропоморфного схвата, а также создание системы управления схватом.

Задачи, решаемые в ходе исследования:

- а) анализ конструкций и устройств существующих захватных устройств,
- б) изучение методов управления захватными устройствами,
- в) проектирование конструкции схвата,
- г) кинематический анализ,
- д) динамический анализ,
- е) проектирование системы управления.

1 Аналитический обзор существующих антропоморфных схватов

В разделе приведен обзор и анализ на антропоморфные схваты, используемые в качестве захватных устройств роботов. Данные схваты можно разделить на две категории: с пневматическим приводом и с электрическим. Электроприводные схваты, в свою очередь, также можно разделить на две подкатегории по принципу передачи движения с мотора на исполнительный орган.

Помимо схватов роботов в разделе представлен обзор и анализ на медицинские протезы верхних конечностей, представляющие две категории: механические и бионические протезы.

1.1 Схваты роботов

1.1.1 Схваты с пневматическим приводом

C6M Smart Motor Hand [2]. Захватное устройство содержит встроенный блок из сорока искусственных мышц, управляемых пневматическим приводом. Система из датчиков позволяет регулировать силу и степень сжатия, что обеспечивает возможность подъема различных по форме и размеру объектов. Каждый палец обладает четырьмя степенями подвижности, как и пальцы человеческой кисти. На рисунке 1.1 [2] показано внутреннее устройство пальца.



Рисунок 1.1 – Устройство пальца кисти

MiyazakiLab Hand изображена на рисунке 1.2 [3]. Рука приводится в движение искусственными мышцами. В каждом сочленении находится мышца, которая при расширении воздухом, сокращается и сгибает палец.



Рисунок 1.2 – MiyazakiLab Hand

Bionic Hand. Данный схват, представленный на рисунке 1.3 [4] имеет 16 степеней подвижности. Подобная величина достигается за счет 22 воздушных цилиндров, выполняющих роль мышц. Благодаря своим пневматическим приводам Bionic Hand обладает адаптивным захватом предметов.



Рисунок 1.3 – Bionic Hand

1.1.2 Схваты с электрическим приводом

1.1.2.1 Механическая передача посредством гибкой связи

Robonaut hand [5]. Схват, разработанный американской космической компанией NASA для выполнения работ в открытом космосе. Данный схват представляет собой руку, сконструированную подобной человеческой руке.

Рука покрыта синтетической тканью, образуя так называемую кожу. Подобный материал обеспечивает полную защиту от внешнего воздействия экстремальных температур в окружающей среде космоса.

В общей сложности Robonaut Hand имеет четырнадцать степеней подвижности. Схват состоит из предплечья, обеспечивающего две степени подвижности. В нём располагаются приводы и вся электроника для управления рукой. Также составной частью руки являются запястье и пятипалая ладонь с двенадцатью степенями подвижности. Кисть разделена на две части (рис. 1.4 [5]): захватывающая и манипуляционная. Первая часть имеет два захватывающих пальца - безымянный и мизинец, она позволяет удерживать объекты для проведения каких-либо операций над ними. Вторая же часть состоит из трёх пальцев указательный и средний. В общей сложности рука оснащена четырнадцатью моторами и сорока тремя датчиками [5].

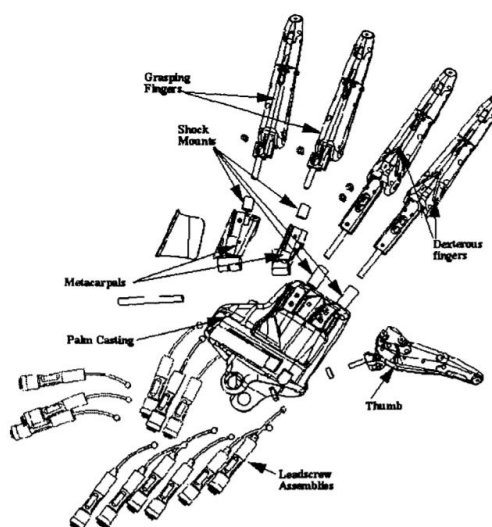


Рисунок 1.4 – Устройство кисти

Narada Hand. Изначально данная рука разработана для использования в медицине в качестве бионического протеза с миоэлектрическим управлением [6]. Однако данный схват, согласно исследованиям разработчиков, может использоваться в открытом космосе в составе телеробота – помощника или же исследовательского робота на Марсе.

Рука имеет пять пальцев и пять моторов, по одному на каждый палец. Двигательное устройство пальцев включает в себя систему шкивов и тросов. Мотор, приводя во вращение шкив, наматывает трос благодаря чему палец сгибается. Для совершения обратного движения каждый палец снабжён пружиной.

Кинематика движения пальцев такова (рис. 1.5 [6]), что сначала в движение приводится первое сочленение пальца, выводя его вперед относительно ладони, после чего поворотное движение совершают остальные сочленения пальцев. Максимальный угол поворота пальцев составляет 90 градусов.

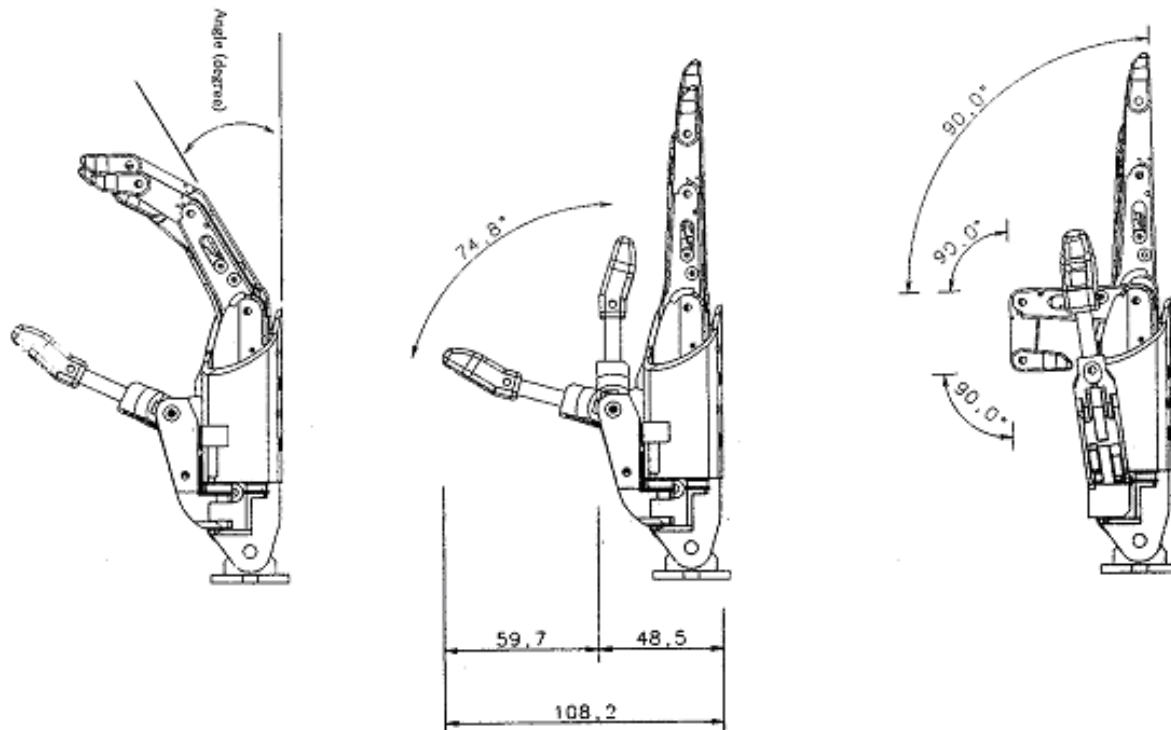


Рисунок 1.5 – Кинематика движения пальцев

Схват EH1 Milano Series. Пальцы подобного схвата состоят из двух фаланг. Приведение их в движение осуществляется при помощи тросиков, выполняющих роль сухожилий. Посредством зубчатой передачи вращение с мотора передаётся на винт. Винт, вращаясь, приводит в движение гайку – ползунок, а которой и закреплен трос. Как только трос окажется в натянутом состоянии мотор после сигналов с датчиков останавливается. Подобная конструкция позволяет добиться адаптивности.

Подобное устройство имеют большинство схватов. К данному виду можно отнести схваты: IH1 Azzurra hand [7], Sandia hand [8], Handroid hand [9].

1.1.2.2 Рычажная механическая передача

MechaTE Robot Hand (рис. 1.6 [10]). MechaTE hand - схват, созданный для выполнения различного рода задач. Кисть состоит из пяти пальцев, каждый из которых имеет независимое управление. Как и у Harada hand у MechaTE Hand четыре пальца состоят из трёх сочленений и трёх суставов, большой палец имеет два сочленения и два сустава.

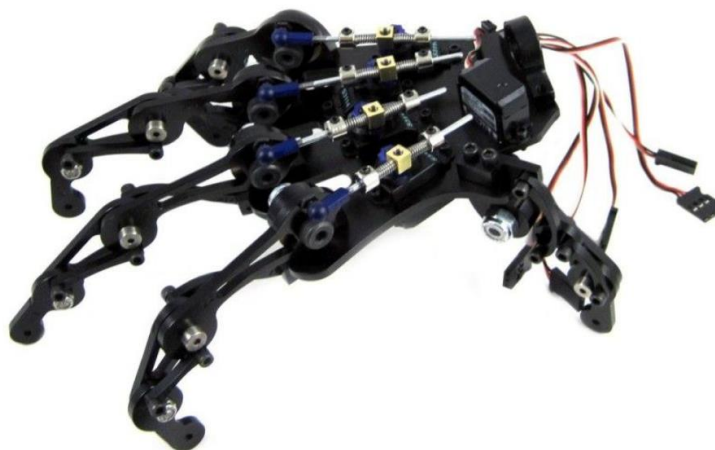


Рисунок 1.6 - MechaTE Hand

Движение осуществляется благодаря пяти приводам, установленным на ладони кисти. Вращение двигателя приводит в движение штифты, соединяющие кривошип и палец. Выдвигая штифт вверх, система рычагов сгибает палец на

определённый угол. С помощью установленных на штифтах хомутов и пружин можно регулировать жёсткость, податливость пальца.

Youbionic hand [11]. Захват имеет шесть степеней подвижности. В каждом пальце, кроме большого, установлено по одному мотору. Большой же палец имеет два, что даёт возможность устанавливать большой палец в два положения: латеральное и противопоставленное.

1.2 Протезы

1.2.1 Механические протезы

Протез «Киби» (рис. 1.7 [12]). Данный протез разработан российской компанией «Моторика». «Киби» имеет одну степень подвижности, то есть он может совершать только сгибательные и разгибательные движения одновременно всеми пальцами.



Рисунок 1.7 – Протез «Киби»

Протез является тяговым, что и объясняет малую функциональность. Движение пальцев осуществляется благодаря сгибанию кисти, за счёт чего с помощью системы тросов пальцы приводятся в движение.

Кончики пальцев покрыты противоскользящим материалом, также в кончик пальца можно встроить напальчник для управления смартфоном, что делает данный протез более удобным.

Becker Lock Grip Hand [13]. Рука имеет всего одну степень свободы, что обеспечивает возможность выполнения только сгибания и разгибания пальцев.

Управляется протез с помощью одного троса, один конец которого крепится к рычагу внутри кисти, а другой к ремням на спине. При натяжении троса пальцы начинают разгибаться, а при ослаблении пружины, установленные на каждом пальце, вытягивают их в начальное положение.

1.2.2 Бионические протезы

Michelangelo. Данный протез (рис. 1.8 [14]) относится к категории бионических протезов. Управление движением происходит за счёт биоэлектрического потенциала мышц. Кисть обладает двумя степенями подвижности – сгибание/разгибание кисти, ротация кисти.



Рисунок 1.8 – Michelangelo

В данном протезе активными захватывающими пальцами являются большой, указательный и средний пальцы [14]. Безымянный и мизинец при помощи приводящего механизма совершают пассивные движения вместе с остальными пальцами. Но несмотря на вышеописанные конструктивные особенности кисти, протез может совершать семь различных движений.

Bebionic hand. Разработанный немецкой компанией Ottobock протез кисти (рис. 1.9 [15]) обладает шестью степенями подвижности: по одной на каждый палец, кроме большого – он имеет две степени подвижности, так как может

устанавливаться в два положения: противопоставленное и латеральное положения пальцев. Данная конструктивная особенность позволяет кисти совершать большое количество типов захвата.



Рисунок 1.9 – BeBionic hand

В каждом из пальцев установлены приводы, благодаря чему обеспечивается максимальная скоординированность и естественность движения пальцев [15]. Сила захвата предметов определяется автоматически, так как протез обладает обратной связью по усилию.

Fluidhand III. Движение пальцев данного протеза осуществляется при помощи гидравлических приводов. В каждом суставе (рис. 1.10) установлен гибкий гофрированный цилиндр, который при наполнении удлиняется и сгибает палец.



Рисунок 1.10 – Сустав пальца

1.3 Основные виды захватов

Все движения кистью можно разделить на две большие категории: хватательные и нехватательные [16]. К нехватательным видам можно отнести движения, при которых на объект оказывается толкающее, сдвигающее или постукивающее воздействие. Примерами подобных операций могут служить: печатание на клавиатуре, игра на струнных или клавишных инструментах или же протирание поверхностей.

Хватательные движения, в свою очередь, делятся на следующие виды захватов (рис. 1.11):

- а) схватывающие,
- б) кончиковые,
- в) боковые.

Схватывающий захват характеризуется тем, что удерживаемый предмет охватывается полностью всей ладонью, пальцы, кроме большого равномерно располагаются на поверхности предмета, а большой находится в противостоящем положении. В свою очередь схватывающие захваты можно классифицировать на сферический (а), цилиндрический (б), крючковой (г), кулачный (в).

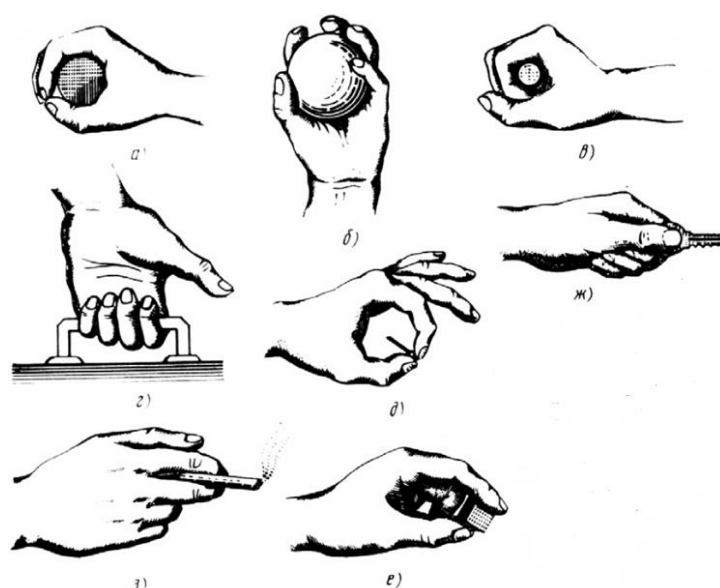


Рисунок 1.11 – Виды захватов

Кончиковый захват (д) осуществляется благодаря кончикам пальцев. Подобный вид захвата, как правило, используется там, где требуется выполнение мелких и точных действий, например, продевание нитки в ушко иглы, развязывание узлов.

Реализация кончикового захвата может быть произведена в том числе и пальмарным захватом (е). Он используется тогда, когда необходимо наличие силы, например, при пользовании пинцетом. Большой палец противостоит остальным, при этом контакт пальцев осуществляется не в точке, а по поверхности дистальной фаланги пальцев.

Боковой захват (ж) выполняется двумя пальцами: большой прижимает предмет к боковой поверхности указательного пальца. Он используется, например, при открывании двери ключом. Также к боковому захвату относится и ножничный захват, при выполнении которого, два пальца своей внутренней стороной обжимают предмет.

1.4 Выводы по разделу

В данном разделе рассмотрены антропоморфные схваты, представленные в исследовательских работах, а также коммерческие варианты схватов. Ниже представлена сравнительная таблица (табл. 1.1) рассмотренных в данном разделе антропоморфных схватов.

Для осуществления различных видов захвата, таких как кончиковый, схватывающий, боковой требуется не менее шести степеней подвижности, так как при разных видах захватов большой палец находится в различных позициях, поэтому на большой палец должно приходиться не менее двух степеней подвижности. В повседневной жизни человек использует чаще всего схватывающий захват, для которого требуется не менее трёх степеней подвижности.

Исходя из анализа представленных в разделе схватов можно сделать вывод о том, что основными критериями, накладываемыми на антропоморфное захватное устройство, являются:

- а) независимое движение пальцев,
- б) возможность подъема и удержания как крупных, так и мелких объектов,
- в) возможность воспроизведения видов схвата, рассмотренных в предыдущем разделе,
- г) антропоморфный вид.

Большинству схватов не хватает обратной связи по усилию или же датчиков положения пальцев, что является существенным минусом, так как за счет этих элементов можно автоматически регулировать силу захвата. Адаптивность сжатия это одна из важнейших составляющих при разработке антропоморфных схватов, данное свойство позволяет подстраиваться захватному устройству под формы и размеры захватываемого предмета. При ее отсутствии, например, невозможен подъём большинства хрупких предметов без их разрушения. В представленных захватах адаптивность достигалась благодаря наличию датчиков положения пальцев, внутреннему устройству, например, при помощи искусственных мышц или же при использовании системы рычагов и гибкой механической передачи.

Таблица 1.1 – Сравнительная таблица

Название	Область применения	Количество приводов	Количество степеней подвижности	Тип привода	Адаптивное сжатие
Robonaut hand	Робот	14	14	Электрический	Да
Harada hand	Робот	5	5	Электрический	Нет
MechaTE Robot Hand	Робот	5	5	Электрический	Да
Киби	Протез	0	1	Механический	Нет
Michelangelo	Протез	2	2	Электрический	Нет
Bebionic hand	Протез	5	6	Электрический	Да
Fluidhand III	Протез	-	5	Гидравлический	Да
Becker Lock Grip Hand	Протез	0	1	Механический	Нет
Youbionic hand	Робот	6	6	Электрический	Да
IH1 Azzurra hand	Робот	4	16	Электрический	Да
Sandia hand	Робот	12	12	Электрический	Да
Handroid hand	Робот	5	5	Электрический	Да
EH1 Milano Series	Робот	6	6	Электрический	Да
Bionic Hand	Робот	22	16	Пневматический	Да
MiyazakiLab Hand	Робот	-	-	Пневматический	Да
C6M Smart Motor Hand	Робот	20	17	Пневматический	Да

2 Управление антропоморфными схватами

В разделе обобщаются методы, предназначенные для управления схватами роботов и протезами. Как правило, управляющим сигналом протеза является снимаемый с человеческих мышц, мозга или же кожи биоэлектрический сигнал, который в последствии обрабатывается и передается на устройство. В свою очередь управление схватами роботов может осуществляться как в полностью автономном режиме, используя лишь информацию об окружающей робота среде, так и при помощи телеуправления, где в качестве управляющего органа выступает человек.

2.1 Методы управления схватом робота

2.1.1 Адаптивное и интеллектуальное управление

Системы адаптивного управления применяются в случае полного отсутствия информации о внешней среде. Вся получаемая информация в ходе работы робота обрабатывается, и на ее основе строится управление рабочим органом. Для использования данного типа управления очень важно наличие сенсорных систем, которые позволяли бы определять состояние внешней среды. Ниже представлены задачи, для выполнения которых требуется адаптивное управление захватным устройством.

Решаемые задачи:

- а) подъем предметов различной формы и размера,
- б) завинчивание гаек или винтов,
- в) подъем перемещающихся предметов.

Интеллектуальное управление – управление, основанное на применении методов искусственного интеллекта. Как правило, интеллектуальное управление применяется в случаях, где необходима обработка сенсорной информации, формирование моделей внешней среды, управление перемещением. Однако, если происходит управление не целым контуром управления, а его отдельной, локальной частью, то такое управление уже не является интеллектуальным.

На рисунке 2.1 [17] представлена схема системы интеллектуального управления.

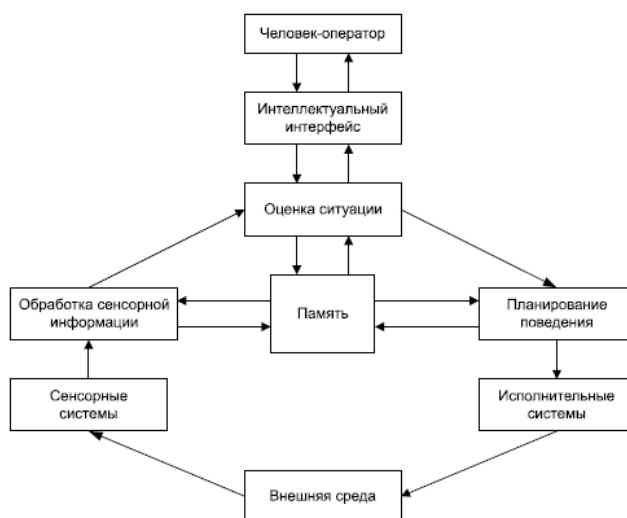


Рисунок 2.1 – Система интеллектуального управления

Одной из самых главных и важных частей системы является память. Этот узел содержит в себе всю информацию о внешней среде. Этот блок получает как априорную, ту, которая была заложена в систему изначально для обучения, так и апостериорную, ту, которая приобретается в ходе работы робота. Это может быть информация о местоположении объекта, о его форме, о его взаимосвязи с другими объектами.

2.1.2 Управление человеком-оператором

Управление системой человеком относится уже не к автоматической, а к автоматизированной системе управления или же по-другому человеко-машинными системами. В данном случае человек выступает в качестве управляющего устройства. Он самостоятельно формирует задающее воздействие на основе данных о внешней среде.

Управление может быть осуществлено при помощи различных джойстиков, тумблеров, устройств взаимодействия с компьютером [18], также используется метод копирующего управления.

Рассмотрим принцип управления в копирующем режиме на примере антропоморфного манипулятора с захватом [19]. Ниже представлены схемы управления ведущей (рис. 2.2) и ведомой (рис. 2.3) систем. Ведомой системой является сам манипулятор, а ведущей – человеко-машинный интерфейс (ЧМИ).

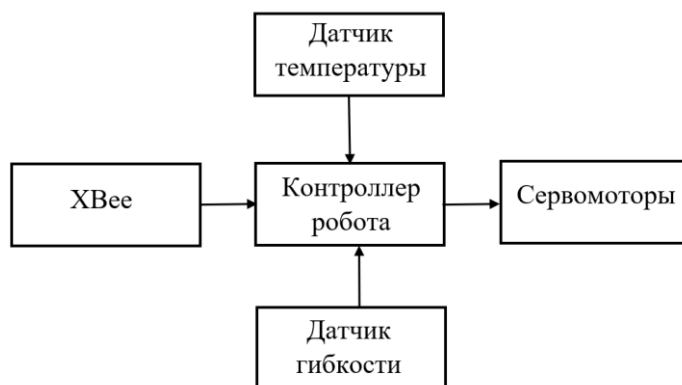


Рисунок 2.2 – Схема управления рукой робота



Рисунок 2.3 – Схема управления ЧМИ

Управление может быть ручным или полуавтономным. В ручном режиме движение руки робота полностью копируется с телеоператора. На руку человека одевается управляющая система с установленными в ней потенциометрами, расположенными в точках сгиба манипулятора. Движение руки телеоператора приводит к изменению напряжения, после чего этот управляющий сигнал передается в интерфейс XBee, где он дальше посылается на микроконтроллер руки робота, приводя ее в движение. В полуавтономном режиме робот может,

анализируя внешнюю среду, делать вывод об опасности выполнения посылаемой человеком команды и «отказывать» в ее выполнении.

2.1.3 Непрерывное программное управление

Непрерывное программное управление или же по-другому контурное – это вид управления с цикличным выполнением однотипных действий, например, захват одинаковых предметов и последующее проведение операций над ними [18]. Чаще всего подобный тип управления используется в промышленной робототехнике, где роботы, установленные на производственной линии, производят одни и те же манипуляции.

2.2 Методы управления протезами

В данном разделе представлены основные способы управления протезами. Главное отличие этих способов – это физический принцип получения управляющего протезом сигнала.

2.2.1 Управление с помощью электроэнцефалограммы

Электроэнцефалография (ЭЭГ) – неинвазивный наиболее информативный метод определения биоэлектрической активности мозга. Множество исследований показали [19], [20], [21], что использование данного метода в совокупности с компьютером позволяет достаточно успешно управлять различными устройствами. Данная технология имеет название мозг-компьютер интерфейс (МКИ). Системы, основанные на МКИ, управляются непосредственно мозгом, используя мозговые волны в качестве управляющего сигнала.

В статье [23] представлена схема управления протезом с помощью электроэнцефалографии. Вся работу по управлению протезом можно разделить на четыре этапа: обнаружение, сбор, передача и вывод сигнала в протез.

Для выполнения каких-либо действий наш мозг генерирует отправляет электрические сигналы между нейронами [24]. Эти электрические сигналы

образуют ионный ток, из-за которого возникает разность потенциалов. Установленные на коже головы электроды и регистрируют возникающее напряжение, которое характеризует общую электрическую активность мозга. За определение двигательной активности отвечают мю-волны. При движении определённой конечности или же при мысли о ее движении эти волны появляются в той области мозга, которая отвечает за перемещаемую часть тела. Именно эти волны и используются для управления протезом [22].

В работе [23] снятие ЭЭГ производится с помощью системы Neurosky Mindwave, которая представляет из себя гарнитуру с электродами. Гарнитура обнаруживает сигналы, а затем передаёт их по Bluetooth в компьютер, после чего полученные данные обрабатываются в Matlab и также по беспроводной связи отправляются в протез.

Управляющий сигнал зависит от уровня концентрации, то есть от того, насколько сильно человек сосредоточен на конкретной мысли. Высокий уровень концентрации заставляет протез сделать щипок, среднее значение уровня полностью открывает руку, а низкое закрывает.

2.2.2 Управление с помощью электромиографии

Электромиография (ЭМГ) – это способ измерения электрического сигнала, генерируемого мышцами при их сокращении. Возможны два варианта установки электродов: инвазивный и неинвазивный. Чаще всего миодатчики устанавливают неинвазивным способом: на поверхности кожи, что существенно упрощает ношение бионического протеза, а также повышает безопасность ее использования [25]. Существует множество факторов, влияющих на наличие помех, например, чистота поверхности кожи, смещение датчиков при движении, качество самих датчиков. Однако главной проблемой при считывании сигналов с помощью ЭМГ датчиков является наличие сердечных артефактов, или же по-другому сигнала электрокардиографии. В особенности влияние сердечных ритмов на чистоту сигнала проявляется при установке электродов в область плечевых мышц или же мышц верхней части туловища [26].

Миодатчики анализируют мышечную активность, измеряя разность потенциалов на коже. Чем сильнее напряжена мышца, тем выше напряжение, снимаемое датчиками. Управление протезом осуществляется благодаря комбинации таких сокращений. В зависимости от силы, длительности напряжения, будет выполнен протезом тот или иной жест или определённое движение.

Миоэлектрические протезы имеют ряд ограничений, например сбор хрупких мелких предметов, чувствительность. Первое в особенности служит существенным недостатком. Тем не менее этот недостаток можно нивелировать путём добавления обратной связи. Представленный в статье способ добавления обратной связи по усилию с помощью электрической стимуляции или вибрации позволяет отрегулировать силу захвата, сделав таким образом захват предмета более стабильным. Однако в связи с большой задержкой в обратной связи (50–70 мс) может приводить к некорректным результатам [27]. Миоэлектрические протезы имеют ещё один недостаток – задержку в контуре управления. Время, за которое сигнал проходит путь от мозга до протеза достаточно велико, что также может вызывать трудности при его использовании [28].

2.2.3 Управление с помощью кожно-гальванической реакции

Кожно-гальваническая реакция, которая также имеет название электродермальная активность (ЭДА) представляет собой изменение разности потенциалов и уменьшение электрического сопротивления между двумя участками поверхности кожи, под воздействием внешних или внутренних раздражителей. Величина сопротивления зависит от влажности кожи, которая варьируется в зависимости от уровня потоотделения, которое в свою очередь вызывается путём раздражения вегетативной нервной системы [29].

В статье [29] предлагается вариант протеза, основанный на данном типе управления. Установка электродов для определения сигналов производится в область груди. Сигнал, снимаемый с груди, проходит несколько стадий преобразований. Он снимается с электродов, далее он обрабатывается путём

усиления и фильтрации, проходя несколько каскадов обработки, после чего с помощью аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) сигнал оцифровывается и передаётся на микроконтроллер, который посредством алгоритмов для обработки сигналов, передаёт его двигателям, приводя протез в движение [27].

2.3 Выводы по разделу

В данном разделе рассмотрены различные виды управления протезами и схватами роботов.

Исходя из специфики применения антропоморфных захватов, использование непрерывного программного управления нерационально, так как в большинстве своем задачи, выполняемые подобными захватами, требуют наличия такого показателя, как адаптивность.

Интеллектуальное и адаптивное управление наиболее целесообразный метод. Его применение обеспечивает возможность автономной работы для схватов. В особенности, там, где необходима постоянная работа с объектами заранее неизвестной формы при неизвестных условиях внешней среды, например, выполнение ремонтных задач в открытом космосе.

Управление с использованием задающих устройств (приспособлений, обеспечивающих наиболее простое управление захватом) является методом, где, как правило, не требуется наличия сложных навыков у телеоператоров. Благодаря подобному способу управления роботов с манипулятором можно использовать в труднодоступных и опасных для человека местах.

Управление с помощью ЭЭГ достаточно точный метод. Однако на данный момент он является не очень удобным, так как для осуществления контроля протеза необходимо постоянное ношение «шапочки», состоящей из датчиков. К тому же этот метод является весьма умственно затратным, и сложным в управлении. Необходимо уметь концентрироваться на определённой мысли так, чтобы протез совершил движение, что в повседневном использовании может быть проблематичным.

Электромиографический способ в настоящее время самый популярный метод управления протезами. Он обеспечивает привычные движения протеза за счёт большого количества степеней свободы. К недостаткам протезов с подобным типом управления можно отнести высокую стоимость, а также невозможность установки протеза при повреждении мышечного нерва, так как именно благодаря нему сигналы из мозга передаются к датчику.

Управление с использованием кожно-гальванической реакции является доступным, относительно дешёвым и простым методом, однако вегетативные реакции, на основе которых строится управление протезом достаточно медлительны, к тому же они тесно связаны с изменением настроения человека, его эмоциями, что не может не оказывать достаточно большого влияния на результат измерения показаний, снимаемых с датчиков [31]. В связи с этим использование данной технологии не снискало популярности среди разработчиков протезов.

Основываясь на представленной выше информации, определено, что для проектирования исполнительного устройства необходима система управления, состоящая из нескольких уровней:

- а) управление отдельными пальцами,
- б) одновременное управление всеми пальцами,
- в) выработка управляющих воздействий на основании источника информации.

3 Проектирование захватного устройства

3.1 Устройство кисти человека

Кисть человека имеет сложную костную структуру. Кости кистей классифицируются на кости запястья, пястные кости и фаланги. Все они соединены суставами и связками [31].

Человеческий палец состоит из трёх фаланг: проксимальной, средней и дистальной (рис. 3.1). Они соединены между собой межфаланговыми суставами: дистальным и проксимальным. Такая сложная структура обеспечивает ловкость и подвижность кисти.



Рисунок 3.1 – Структура пальца человека

3.2 Выбор конструкции захвата

Исходя из предыдущих глав было определено, что для выполнения манипуляций над объектами – удержание, перенос, подъем антропоморфные захваты роботов и протезы должны обладать схожей конструкцией, которая могла бы обеспечить достаточное количество степеней свободы, позволяющее оперировать предметами разных размеров и форм.

Для реализации захватного устройства, было решено взять за основу кисть от компании youbionic [32], так как она удовлетворяет представленным в подразделе 1.4 критериям.

Конструкция устройства такова, что его большой палец может совершать движения в двух плоскостях: сагиттальной и фронтальной, что в свою очередь позволяет схвату выполнять большинство видов захватов, требуемых для человека в повседневной жизни. На каждом пальце установлен упругий элемент – пружина. Пружина делает данный протез адаптивным. Когда первая (нижняя) фаланга упирается в предмет, вторая фаланга продолжает свое движение до тех пор, пока сама не достигнет поверхности удерживаемого объекта.

Каждый палец захвата имеет по две фаланги, когда как человеческая кисть имеет по три. Несмотря на это наличие упругого элемента в сочетании с размером второй (верхней) фаланги также могут обеспечить возможность подъема предметов с использованием различных видов захватов. Пальцы могут совершать независимое друг от друга движение, что достигается путем установки моторов в каждый палец, таким образом кисть может обладать одиннадцатью степенями подвижности.

Конструкция разрабатываемого антропоморфного схвата предполагает возможность изготовления его деталей путем 3D печати, что делает его изготовление более простым и доступным, так как в случае поломки каких-либо деталей их можно будет очень легко восстановить.

3.3 Кинематика пальцев захвата

При проектировании антропоморфных захватов необходимо учитывать движение пальцев для создания правильных, более приближенных к человеческим, движений.

Структурная схема изображена на рисунке 3.2. Движение пальца происходит посредством линейного актуатора, который передает усилие на шатун АВ, после чего движение передается на четырехзвенник и палец сгибается.

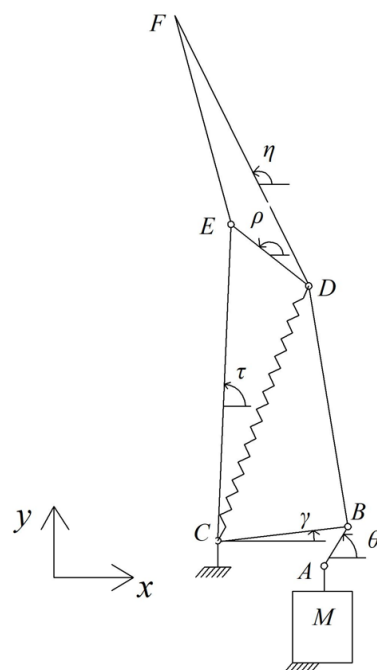


Рисунок 3.2 – Структурная схема пальца

Сила упругости в пружине CD удерживает палец в прямом положении. Но как только предмет упирается в проксимальную фалангу, пружина начинает растягиваться за счет вращения звена ED вокруг шарнира E.

На рисунке 3.3 показаны положения пальца в зависимости от положения проксимальной фаланги.

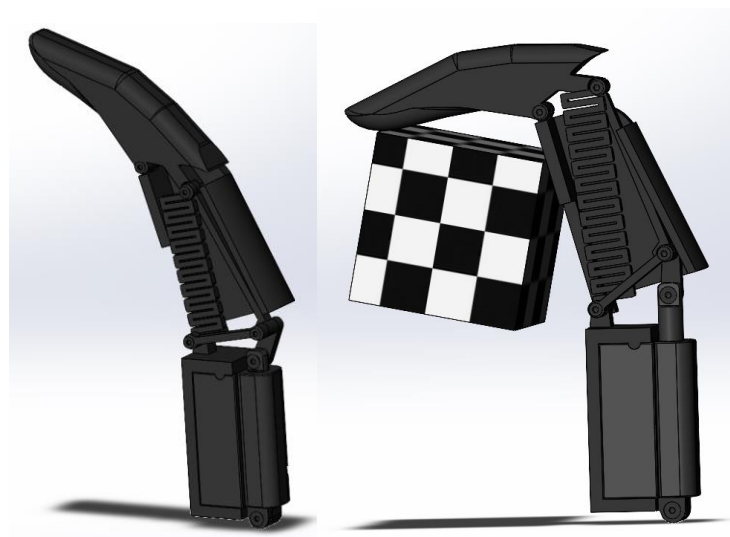


Рисунок 3.3 – Положения пальца

Несмотря на адаптивность проектируемого захвата он может удерживать не все предметы, причиной этому является размер и расположение его пальцев. Для определения максимального размера предмета, удерживаемого захватом необходимо произвести кинематический расчет пальцев.

Рассмотрим два случая: когда движение проксимальной фаланги не ограничено предметом и, когда ограничено. Для начала определим углы γ и θ через координаты точки B :

$$\begin{cases} y_C + CB\sin(\gamma) = y_A + AB\sin(\theta) \\ x_C + CB\cos(\gamma) = x_A + AB\cos(\theta) \end{cases} \quad (1)$$

Взаимосвязь углов γ и θ :

$$\theta = \gamma + \angle CBA \quad (2)$$

Отсюда получаем:

$$\begin{cases} CB\cos(\gamma) - AB\cos(\angle CBA)\cos(\gamma) + AB\sin(\angle CBA)\sin(\gamma) = x_A - x_C \\ CB\sin(\gamma) - AB\cos(\angle CBA)\sin(\gamma) - AB\sin(\angle CBA)\cos(\gamma) = y_A - y_C \end{cases} \quad (3)$$

После чего методом Крамера находим угол γ .

Определим положение точки D . В первом и во втором случая ее положение описывается уравнениями, представленными ниже, однако угол DBC при свободном вращении проксимальной фаланги является фиксированным, так как четырехзвенник $BCED$ не меняет свою форму при приложении к нему силы.

$$\begin{cases} x_D = x_C + CB\cos(\gamma) + BD\cos(\varphi) \\ y_D = y_C + CB\sin(\gamma) + BD\sin(\varphi) \end{cases} \quad (4)$$

Где угол φ :

$$\varphi = \gamma + \pi - \angle DBC \quad (5)$$

Для второго случая угол DBC определяется следующим уравнением:

$$\angle DBC = \angle EBD + \angle EBC, \quad (6)$$

$$\angle EBD = \arcsin\left(\frac{ED * \sin(\angle EDB)}{EB}\right), \quad (7)$$

$$\angle EBC = \arcsin\left(\frac{EC * \sin(\angle ECB)}{EB}\right), \quad (8)$$

$$\angle ECB = \tau - \gamma \quad (9)$$

Положение точки E:

$$\begin{cases} x_E = x_C + CD \cos(\beta) + DE \cos(\rho) \\ y_E = y_C + CD \sin(\beta) + DE \sin(\rho) \end{cases} \quad (10)$$

$$\beta = \gamma + \angle ECD, \quad (11)$$

$$\rho = \beta + \pi - \angle DBC \quad (12)$$

Положение точки F:

$$\begin{cases} x_F = x_E + ED \cos(\rho + \pi) + DF \cos(\eta) \\ y_F = y_E + ED \sin(\rho + \pi) + DF \sin(\eta) \end{cases} \quad (13)$$

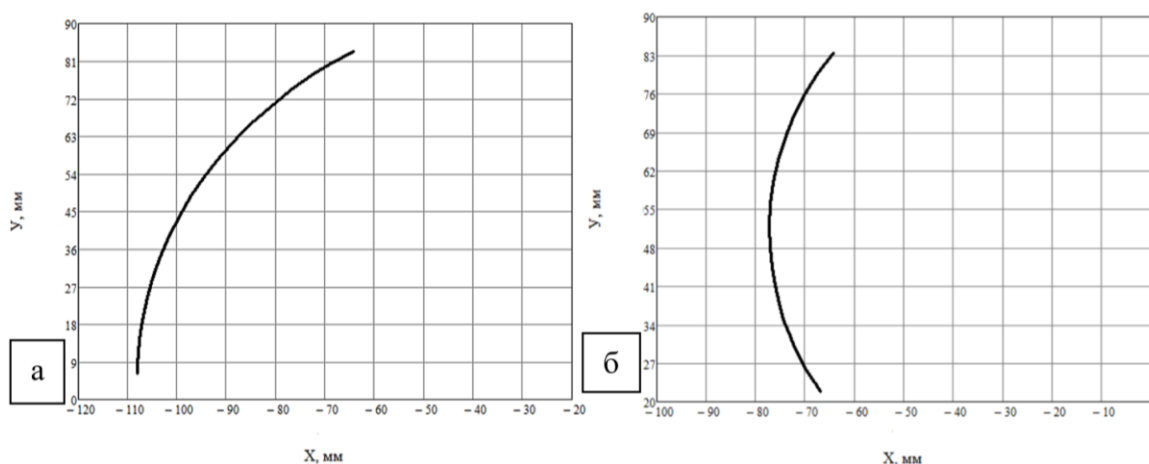
$$\eta = \rho - \angle EDF \quad (14)$$

В таблице 3.1 приведены значения параметров уравнений.

Таблица 3.1 – Значения параметров

y_c , мм	x_c , мм	τ , °	AB , мм	CB , мм	BD , мм	EC , мм	CD , мм	DBC , °	ED , мм	DF , мм	EDF , °
5,3	-16,5	108,0	10,0	21,0	42,0	48,0	40,3	70,8	15,0	60,8	16,7

Исходя из уравнений, получаем графики траектории движения кончика пальца или же точки F (рис. 3.3), представленные на рисунке 3.4, в зависимости от входной координаты, которая изменяется в пределах от 0 до 20 мм.



а – проксимальная фаланга свободна, б – проксимальная фаланга зафиксирована

Рисунок 3.4 – Траектории движения пальца

Учитывая взаимное расположение пальцев кисти, определено, что максимальный диаметр предмета, который может поднять схват составляет 75мм (рис. 3.5).

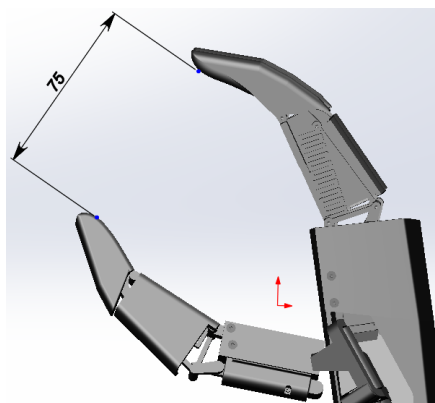
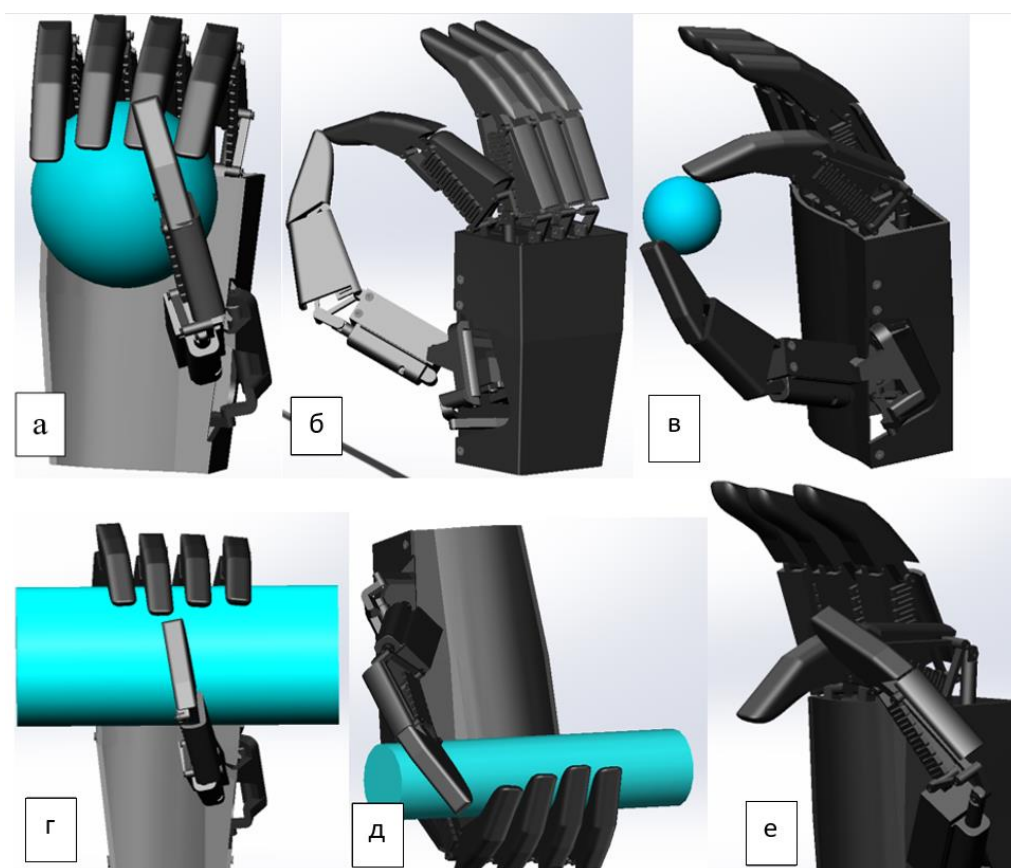


Рисунок 3.5 – Максимальный размер объекта

На рисунке 3.6 представлены виды захватов, которые может совершать схват.



а – сферический; б – кончиковый; в – пальмарный; г – цилиндрический; д – крючковой; е – боковой

Рисунок 3.6 – Виды захватов

3.4 Динамика пальцев

Одним из важнейших параметров захвата является развиваемое им усилие, так как это влияет на разнообразие предметов, которыми может оперировать захват. Наиболее нагруженным считается случай, когда точка приложения силы находится на кончике выпрямленного пальца. Рассмотрим данный случай.

Выполним силовой расчет плоского рычажного механизма. Для этого разобьем палец на отдельные элементы и найдем реакции, возникающие в шарнирах. Для их поиска необходимо составим систему уравнений равновесия звена. Равновесие достигается путем равенства суммы сил по оси y нулю, равенства суммы сил по оси x нулю, и равенства суммы моментов вращения нулю. Так как необходимо определить силу, которую может развивать палец, то начнем расчет с первого звена – шатуна AB (рис.3.7).

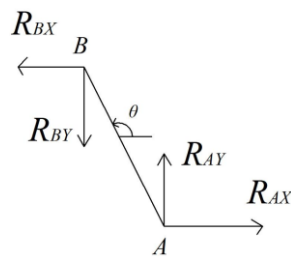


Рисунок 3.7 – Звено AB

Составим систему уравнений равновесия:

$$\begin{cases} R_{AX} - R_{BX} = 0 \\ R_{AY} - R_{BY} = 0 \\ R_{BY} * AB \cos(\pi - \theta) + R_{BX} * AB \sin(\pi - \theta) = 0 \end{cases} \quad (16)$$

где R_{AX} – реакция в точке A по оси x ,

R_{AY} – реакция в точке A по оси y ,

R_{BX} – реакция в точке B по оси x ,

R_{BY} – реакция в точке B по оси y ,

AB – расстояние до точки приложения реакций.

Рассмотрим второй элемент пальца (рис. 3.8). Так как пружина удерживает палец в распрямленном положении, и при изменении входной координаты палец в суставе, соединяющем две фаланги, сгибаться не будет, то две фаланги будут рассматриваться как единое целое.

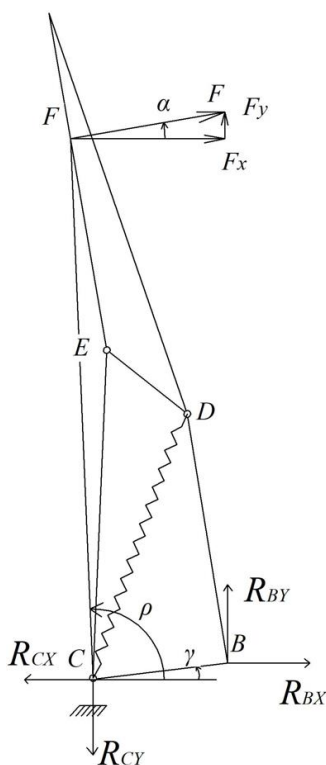


Рисунок 3.8 – Действие реакций на палец

Система уравнений равновесия:

$$\begin{cases} R_{BX} - R_{CX} + F * \cos(\alpha) = 0 \\ R_{BY} - R_{CY} + F * \sin(\alpha) = 0 \\ R_{BY} * CB \cos(\gamma) - R_{BX} * CB \sin(\gamma) - \\ - F_X * CF \sin(\pi - \rho) - F_Y * CF \cos(\pi - \rho) = 0 \end{cases}, \quad (17)$$

$$F_X = F * \cos(\alpha), \quad (18)$$

$$F_Y = F * \sin(\alpha), \quad (19)$$

$$\rho = \angle FCB + \gamma, \quad (20)$$

$$\alpha = \rho - \frac{\pi}{2} \quad (21)$$

где R_{CX} – реакция в точке С по оси х,

R_{CY} – реакция в точке С по оси у,

R_{BX} – реакция в точке В по оси х,

F – сила воздействия пальца,

F_X – проекция силы на ось х,

F_Y – проекция силы на ось у,

CB – расстояние до точки приложения реакций,

CF – расстояние до точки приложения силы F .

Из (22) получаем, что:

$$R_{BX} = R_{BY} * ctg(\theta) \quad (22)$$

Подставляя (22), (18), (19) в (17) получаем усилие, создаваемое пальцем:

$$F = \frac{R_{BY} * CB \cos(\gamma) - R_{BX} * CB \sin(\gamma)}{\cos(\alpha) * CF \sin(\pi - \rho) + \sin(\alpha) * CF \cos(\pi - \rho)} \quad (31)$$

В ходе разработки модели были выбраны линейные актуаторы actuonix P12-Q [33]. Максимальное усилие, которое может развивать данный привод в зависимости от модификации 18; 45; 50 Н. На рисунке 3.9 представлены графики зависимости силы пальца от входной координаты при различных конфигурациях привода (а) 50; (b) 45; (с) 18 Н.

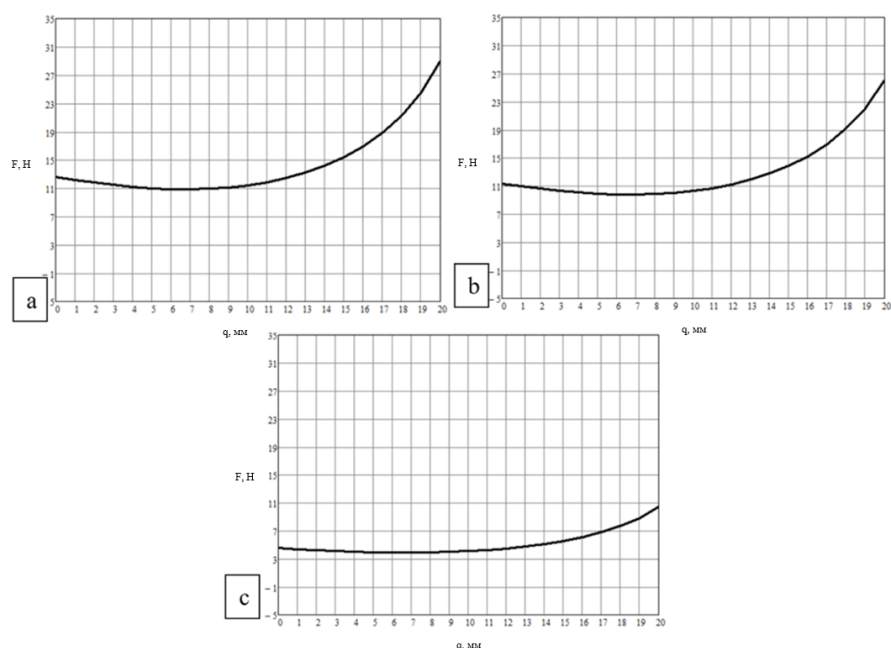


Рисунок 3.9 – Усилия пальца при различных конфигурациях привода

Из полученных выше графиков видно, что максимальная нагрузка, создаваемая пальцем достигается при усилении двигателя в 50 Н и она составляет 28 Н, но усилие, оказываемое пальцем на предмет составляет 1,1 кг, так как это усилие, которое может быть оказано пальцем при любом значении входной координаты, однако максимальная скорость сгибания пальца при такой конфигурации двигателя = 10 мм/с, что делает пальцы довольно медленными, так как на полное сгибание потребуется 2 секунды. Оптимальным вариантом будет являться актуатор с максимальным усилием в 45 Н и скоростью подъема 15 мм/с, усилие пальца будет составлять 1 кг, а на полное сгибание потребуется 1,3 секунды. В таблице 3.2 представлено сравнение приводов.

Таблица 3.2 – Сравнение приводов

Усилие привода, Н	Скорость, мм/с	Масса предмета, кг	Время полного сгибания, с
18	28	0,4	0,7
45	15	1	1,3
50	10	1,1	2

3.5 Вывод по разделу

В данном разделе рассмотрена кинематика и динамика кисти, определен ряд движений, которые может выполнять захват. Из восьми представленных в разделе видов движений схват может осуществлять шесть (рис. 3.5).

Также определена конфигурация привода для управления пальцами. Исходя из полученных результатов следует, что захват может оказывать усилие в 1,1 кг. Для увеличения этого усилия необходимо использовать более мощные приводы, однако это повлияет на размер кисти, так как его необходимо будет увеличить.

4 Система управления схватом

4.1 Принцип управления

На рисунке 4.1 изображена схема подключения компонентов. В качестве управляющей платы выбрана Arduino uno [34]. Данная плата способна обмениваться информацией через последовательный COM порт. Для получения сигналов управления приводами к Arduino подключен Bluetooth модуль HC-05 [35]. Команды, отправленные из пользовательского приложения, поступают на цифровой порт ввода RX, после чего через I2C интерфейс сигнал передается на драйвер PCA9685 [36], который, в свою очередь, с помощью ШИМ (широтно-импульсная модуляция) выставляет привод или приводы в требуемое положение.

Положение привода зависит от ширины управляющего импульса. Для используемых линейных приводов Actuonix PQ-12 положению, когда шток привода полностью задвинут, соответствует ширина импульса в 2 мс. Когда шток выдвинут на полную длину в 20 мм, ширина импульса составляет 1 мс.

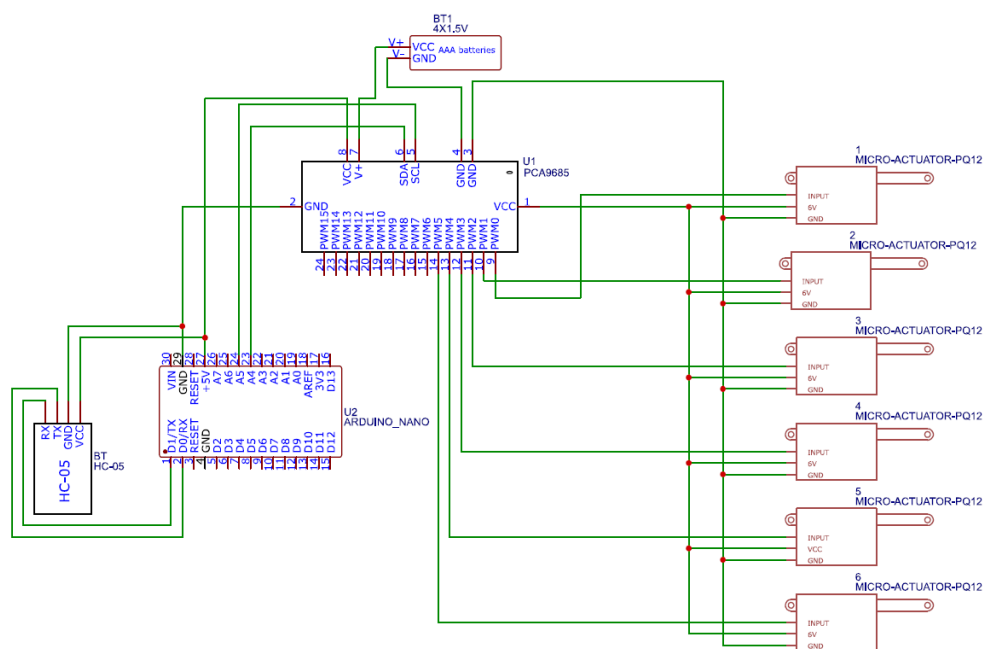


Рисунок 4.1 – Схема подключения

4.2 Алгоритм управления

Для управления создан протокол управления, представляющий из себя пользовательское приложение и прошивку для платы Arduino. На рисунке ниже представлена блок – схема (рис. 4.2) алгоритма управления схватом.

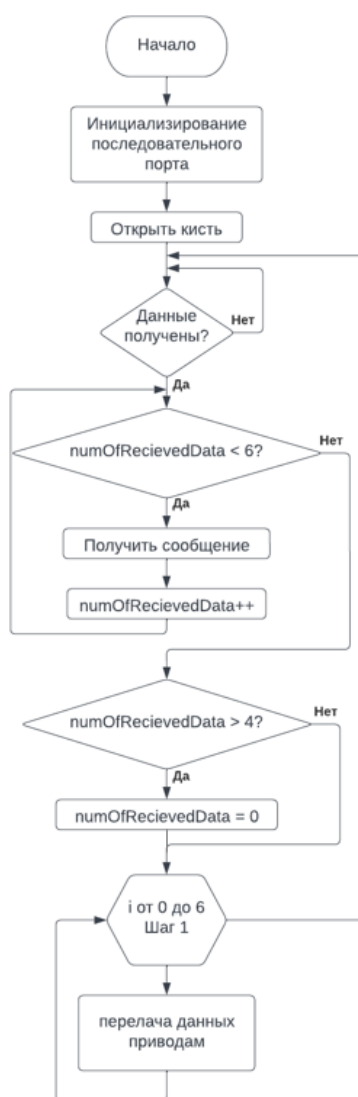


Рисунок 4.2 – Блок – схема алгоритма управления

Для осуществления управления приводами используется библиотека hsrca9685 [37]. Она создана специально для используемого в схвате драйвера PCA9685. При запуске программы, код которой представлен в приложении Б, кисть устанавливается в изначальное положение, в котором пальцы схвата полностью открыты. Далее захватное устройство принимает массив данных, содержащий в себе значения длин, которые должны принять приводы. После получения всех данных приводы встают в указанные положения, и цикл начинается заново.

Пользовательское приложение (рис.4.3) было выполнено на языке C++ с помощью фреймворка QT, позволяющего создавать программное обеспечение.

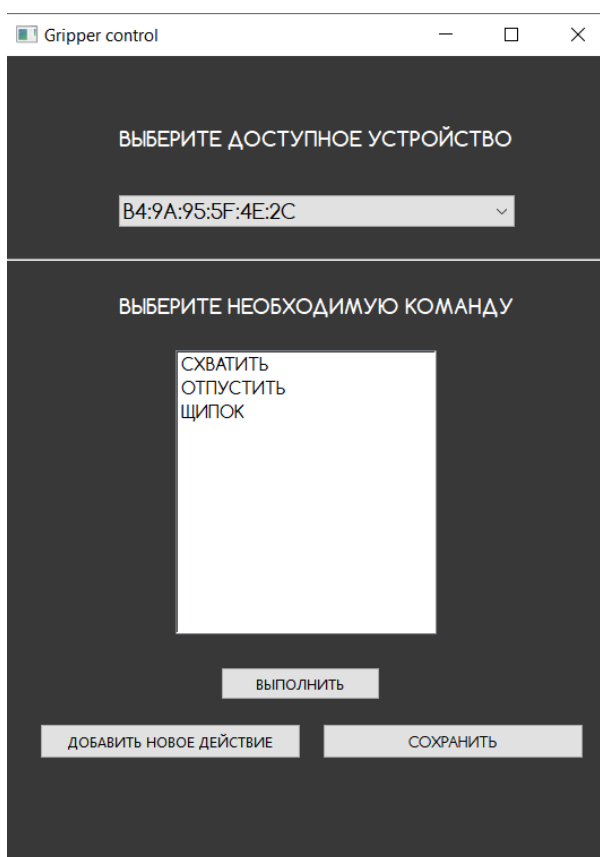


Рисунок 4.3 – Пользовательское приложение

Исходный код программы представлен в приложениях Б и В. Данное приложение позволяет подключиться через Bluetooth к захватному устройству и с помощью команд управлять им.

Сначала необходимо выбрать из выпадающего списка доступных устройств нужное. После чего пользователю будут доступны три предустановленные команды для управления схватом. Также в приложении доступна функция добавления нового жеста. Для этого пользователю требуется нажать на кнопку «добавить новое действие», после чего на экране появляется новое окно (рис. 4.4), в котором можно ввести название действия и положения для каждого пальца.

Новое движение

НАЗВАНИЕ	Привет
УКАЗАТЕЛЬНЫЙ	0
СРЕДНИЙ	0
БЕЗЫМЯНЫЙ	0
МЫШИНЕЦ	0
БОЛЬШОЙ	0
ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ БОЛЬШОГО ПАЛЬЦА	5

OK

Рисунок 4.4 – Окно для введения данных

Для сохранения данных пользователь должен нажать кнопку «ок» и следом «сохранить», после этого в списке будет доступно новое движение (рис. 4.5).

ВЫБЕРИТЕ НЕОБХОДИМУЮ КОМАНДУ

- СХВАТИТЬ
- ОТПУСТИТЬ
- ЩИПОК
- Привет

ВЫПОЛНИТЬ

Рисунок 4.5 – Добавленное действие

Если пользователь выбрал, например, команду «схватить», после чего еще раз нажал на нее, приложение уведомит пользователя о том, что данная команда уже была выполнена (рис. 4.6).

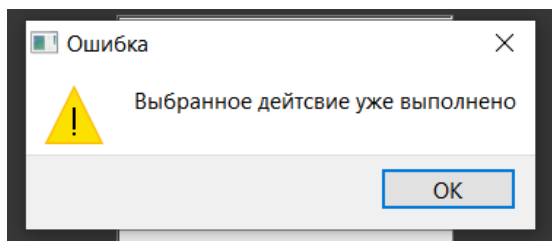


Рисунок 4.6 – Пример окна, оповещающего об ошибке

4.3 Вывод по разделу

В разделе представлен принцип управления захватным устройством, который позволяет выполнять предустановленные заранее действия. Управление выполняется посредством приложения через Bluetooth. При тестировании работоспособности алгоритма ошибок в отправке и получении данных выявлено не было. Предложенный в работе способ управления позволяет пользователю легко выполнять требуемые ему действия. Также при необходимости есть возможность расширения набора выполняемых движений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной работы были рассмотрены современные протезы, а также захваты роботов. Также были выделены основные способы управления протезами и захватами роботов. Был проведен анализ рассмотренных захватных устройств, на основе которого было определено, какими свойствами должен обладать антропоморфный захват для использования его в качестве протеза и в качестве захвата робота.

Для создания модели изучена анатомия и возможности человеческой кисти, после чего на основе полученных данных и существующих захватов была разработана модернизированная модель антропоморфного схвата с одиннадцатью степенями подвижности.

Проведен анализ движений схвата путем расчета его кинематики. Исходя из результатов расчета, получено, что захват может работать с предметами до 75 мм, что ограничивает круг возможных объектов взаимодействия, однако это может быть решено изменением размеров фаланг, а также изменением положения большого пальца относительно ладони.

Разработана система управления захватным устройством. Реализовано программное управление приводами схвата через пользовательское приложение посредством соединения устройств по Bluetooth. Алгоритм требует доработок в области обмена данными ввиду отсутствия проверок на правильность получения полученной информации. Проблема может быть решена отправкой и проверкой контрольных байтов, обозначающих, например, начало и конец сообщения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Использование дифференциальных механизмов в конструкциях антропоморфных захватов / А. А. Богданов, И. Г. Жиденко, И. М. Кутлубаев, А. Ф. Пермяков // Решетневские чтения. – 2016. – Т. 1. – С. 393-395.
- 2 C6M Smart Motor Hand [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.azorobotics.com/equipment-details.aspx?EquipID=41>.
- 3 MiyazakiLab Hand [Электронный ресурс]. – (Дата обращения 24.01.2022). URL: <http://mindtrans.narod.ru/hands/hands.htm>.
- 4 Bionic Hand [Электронный ресурс]. – (Дата обращения 24.01.2022). URL: http://mindtrans.narod.ru/pdfs/Bionic_Hand.pdf.
- 5 C. S. Lovchik and M. A. Diftler, "The Robonaut hand: a dexterous robot hand for space," Proceedings 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No.99CH36288C), 1999, pp. 907-912 vol.2, doi: 10.1109/ROBOT.1999.772420.
- 6 Harada Hand [Электронный ресурс]. – (Дата обращения 24.01.2022). URL: http://www.h-e-i.co.jp/Products/e_m_g/ph_sh_2_004.html.
- 7 IH1 Azzurra hand [Электронный ресурс]. – (Дата обращения 24.01.2022). URL: <https://www.prensilia.com/wp-content/uploads/support/doc/DS-IH1-v01.pdf>.
- 8 Sandia hand [Электронный ресурс]. – (Дата обращения 24.01.2022). URL: https://www.sandia.gov/research/robotics/assets/documents/SandiaHand_Handout_Final.pdf.
- 9 Handroid hand [Электронный ресурс]. – (Дата обращения 24.01.2022). URL: <https://www.itk-pro.com/en/pro/kindengisyu.htm>.
- 10 MechaTE Robot Hand [Электронный ресурс]. – (Дата обращения 24.01.2022). URL: <http://mindtrans.narod.ru/pdfs/mechate-le-instructions-ceshnd01-le.pdf>.
- 11 Avatar Arm [Электронный ресурс]. – (Дата обращения 24.01.2022). URL: <https://www.youbionic.com/avatarhand>.

12 Протез Киби [Электронный ресурс]. – (Дата обращения 24.01.2022).
URL: <https://motorica.org/prosthetics/upper-limb/cybi-fingers>.

13 Becker Lock Grip Hand [Электронный ресурс]. – (Дата обращения 24.01.2022). URL: <http://fillauer.fillauercompanies.com/Upper-Extremity-prosthetics/bodypowered-systems/hands-and-gloves/male-hands/male-becker-lock-grip-hand.php>

14 Протез Michelangelo [Электронный ресурс]. – (Дата обращения 24.01.2022). URL: https://www.ottobock.ru/media/local-media/for-specialists/prosthetics/646d501-michelangelo_for_technicians.pdf.

15 Протез Bebionic hand [Электронный ресурс]. – (Дата обращения 24.01.2022). URL: <https://www.ottobock.ru/prosthetics/upper-limb-prosthetics/solution-overview/bebionic-hand/>.

16 L. D. Dunai, M. Novak and I. L. Lengua, "Development of a prosthetic hand based on human hand anatomy," IECON 2020 The 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2020, pp. 600-605, doi: 10.1109/IECON43393.2020.9254216.

17 Юревич Е. И. Ю68 Основы робототехники: учеб. пособие. — 4-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2017. — 304 с.: ил. — (Учебная литература для вузов) ISBN 978-5-9775-3851-0

18 Сычков, В. Б. Анализ способов взаимодействия оператора с антропоморфным манипулятором / В. Б. Сычков // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений (ITIDS'2019) : Труды VII Всероссийской научной конференции (с приглашением зарубежных ученых): в 3 томах, Уфа, 28–30 мая 2019 года. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2019. – С. 190-195.

19 X. Zhang, R. Li and Y. Li, "Research on brain control prosthetic hand," 2014 11th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI), 2014, pp. 554-557, doi: 10.1109/URAI.2014.7057389.

20 D. Bright, A. Nair, D. Salvekar and S. Bhisikar, "EEG-based brain controlled prosthetic arm," 2016 Conference on Advances in Signal Processing (CASP), 2016, pp. 479-483, doi: 10.1109/CASP.2016.7746219.

21 S. Sequeira, C. Diogo and F. J. T. E. Ferreira, "EEG-signals based control strategy for prosthetic drive systems," 2013 IEEE 3rd Portuguese Meeting in Bioengineering (ENBENG), 2013, pp. 1-4, doi: 10.1109/ENBENG.2013.6518399.

22 S. Kumra, R. Saxena and S. Mehta, "Design and development of 6-DOF robotic arm controlled by Man Machine Interface," 2012 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research, 2012, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICCIC.2012.6510243.

23 D. Bright, A. Nair, D. Salvekar and S. Bhisikar, "EEG-based brain controlled prosthetic arm," 2016 Conference on Advances in Signal Processing (CASP), 2016, pp. 479-483, doi: 10.1109/CASP.2016.7746219.

24 L. Zhan Hong, A. Zourmand, J. Victor Patricks and G. T. Thing, "EEG-Based Brain Wave Controlled Intelligent Prosthetic Arm," 2020 IEEE 8th Conference on Systems, Process and Control (ICSPC), 2020, pp. 52-57, doi: 10.1109/ICSPC50992.2020.9305784.

25 K. E. Pramudita, F. B. Setiawan and Siswanto, "Interface and display of Electromyography signal wireless measurements," 2014 The 1st International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering, 2014, pp. 58-62, doi: 10.1109/ICITACEE.2014.7065714.

26 B. S. Darak and S. M. Hambarde, "A review of techniques for extraction of cardiac artifacts in surface EMG signals and results for simulation of ECG-EMG mixture signal," 2015 International Conference on Pervasive Computing (ICPC), 2015, pp. 1-5, doi: 10.1109/PERVASIVE.2015.7087067.

27 L. Osborn, R. R. Kaliki, A. B. Soares and N. V. Thakor, "Neuromimetic Event-Based Detection for Closed-Loop Tactile Feedback Control of Upper Limb Prostheses," in IEEE Transactions on Haptics, vol. 9, no. 2, pp. 196-206, 1 April-June 2016, doi: 10.1109/TOH.2016.2564965.

28 Бионические протезы: достижения и перспективы развития // Вестник современных исследований. – 2019. – № 1.3(28). – С. 49-52.

29 J. Kim, S. Kwon, S. Seo and K. Park, "Highly wearable galvanic skin response sensor using flexible and conductive polymer foam," 2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2014, pp. 6631-6634, doi: 10.1109/EMBC.2014.6945148.

30 A. Saravanan, N. K. Jangir and S. chakki, "A method to control bionic arm using Galvanic skin response," 2016 8th International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS), 2016, pp. 1-2, doi: 10.1109/COMSNETS.2016.7440030.

31 Зависимость кожно-гальванической реакции от эмоционального состояния у юношей и девушек / Н. А. Костычев, Е. Ю. Баторова, А. В. Макушкин, А. В. Перепелов // Тенденции развития науки и образования. – 2019. – № 51-6. – С. 34-36. – DOI 10.18411/lj-06-2019-130.

32 Youbionic hand [Электронный ресурс]. – (Дата обращения 15.04.2022). URL: <https://www.youbionic.com/avatarhand>.

33. Actuonix PQ12 datasheet [Электронный ресурс]. – (Дата обращения 5.06.2022). URL: <https://docs.rs-online.com/8a8e/0900766b81682dc4.pdf>

34 Arduino Uno datasheet [Электронный ресурс]. – (Дата обращения 5.06.2022). URL: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>.

35 HC-05 datasheet [Электронный ресурс]. – (Дата обращения 5.06.2022). URL: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/HC-05%20Datasheet.pdf.

36 pca9685 datasheet [Электронный ресурс]. – (Дата обращения 5.06.2022). URL: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/PCA9685.pdf>.

37 hcPCA9685 documentation [Электронный ресурс]. – (Дата обращения 5.06.2022). URL: <https://forum.hobbycomponents.com/viewtopic.php?t=2034>.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Код управления платой Arduino

```
#include "HCPA9685.h"

#define I2CAdd 0x40

HCPA9685 HCPA9685(I2CAdd);

int length2servVal(int length) { //преобразование мм в
минимальную длину импульса привода
    int lenMin = 0;
    int lenMax = 20;
    int servoMin = 205;
    int servoMax = 405;
    int value = (length - lenMin) * (servoMax - servoMin) /
(lenMax - lenMin) + servoMin;
    return value;
}

char receivedData[6] = {0};
int numOfRecievedData = 0;

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    HCPA9685.Init(SERVO_MODE);
    HCPA9685.Sleep(false);
    int initPos = length2servVal(20);

    HCPA9685.Servo(0, initPos); //установка схвата в
стартовое положение
    HCPA9685.Servo(1, initPos); //кисть раскрыта
    HCPA9685.Servo(2, initPos);
    HCPA9685.Servo(3, initPos);
}
```

```

    HCPCA9685.Servo(4, initPos);
    HCPCA9685.Servo(5, initPos);
}

void loop() {

    if(Serial.available()) { //если данные пришли
        while(numOfRecievedData < 6) {
            receivedData[numOfRecievedData] = Serial.read();
//считываем данные
            numOfRecievedData++;
        }
        if (numOfRecievedData > 4) numOfRecievedData = 0;
    }
    for(int i = 0; i < 6; i++) {
        HCPCA9685.Servo(i,
length2servVal(receivedData[i])); //передаем данные
        приводам

    }
}

```

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Код класса **MainWindow**

```
#include "mainwindow.h"
#include "ui_mainwindow.h"
#include <QMessageBox>
#include <QtBluetooth>

MainWindow::MainWindow(QWidget *parent) :
    QMainWindow(parent), ui(new Ui::MainWindow) {
    ui->setupUi(this);

    connect(discoveryAgent,
        SIGNAL(deviceDiscovered(QBluetoothDeviceInfo)),
            this,
            SLOT(deviceDiscovered(QBluetoothDeviceInfo)));
    discoveryAgent->start();

    ui->actList->addItem("СХВАТИТЬ");
    ui->actList->addItem("ОТПУСТИТЬ");
    ui->actList->addItem("ЩИПОК");
    dataMap["СХВАТИТЬ"] = {20,20,20,20,20,20};
    dataMap["ОТПУСТИТЬ"] = {0,0,0,0,0,0};
    dataMap["ЩИПОК"] = {17,0,0,0,14,3};
}

MainWindow::~MainWindow() {
    delete ui;
}
```

```

void MainWindow::deviceDiscovered(const
QBluetoothDeviceInfo &device) { //при обнаружении
устройства
    ui->comboBox->addItem(device.address().toString());
//оно добавляется в comboBox
}

void MainWindow::on_comboBox_activated(int index) {
//подключение к устройству
    deviceName = ui->comboBox->QComboBox::itemText(index);
    static const QString
serviceUuid(QStringLiteral("00001101-0000-1000-8000-
00805F9B34FB"));
    socket->connectToService(QBluetoothAddress(deviceName),
                             QBluetoothUuid(serviceUuid),
QIODevice::ReadWrite);
}

void MainWindow::sendData(std::vector<char> data) {
    for(auto bytes: data) {
        socket->write(&bytes, sizeof(char));
    }
}

void MainWindow::on_actList_itemClicked(QListWidgetItem
*item) { //получение имени элемента
    int lineNum = ui->actList->currentRow();

```

```

        actItem = ui->actList->item(lineNum)->text();
    }

void MainWindow::on_addNewMove_clicked() {
    newAction->show();
}

void MainWindow::on_sendBtn_clicked() { //отправка данных
    if(actItem == currentActItem) {
        QMessageBox::warning(this, "Ошибка", "Выбранное
действие уже выполнено");
    } else sendData(dataMap[actItem]);
    currentActItem = actItem;
}

void      MainWindow::addToActionMap(QString      key,
std::vector<char>  data) { //добавление элемента в
контейнер
    dataMap[key] = data;
}

void MainWindow::on_saveBtn_clicked() { //при сохранении
    ui->actList->addItem(newAction->getNamePose()); // в
список добавляется новое действие
    newAction->close();
}

```

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Код класса **AddAction**

```
#include "addaction.h"
#include "ui_addaction.h"
#include "mainwindow.h"

AddAction::AddAction(QWidget *parent) :
    QMainWindow(parent),
    ui(new Ui::AddAction) {
    ui->setupUi(this);
}

AddAction::~AddAction() {
    delete ui;
}

std::vector<char> AddAction::getFingerPose() { //получение
данных нового действия для приводов
    return fingerPos;
}

QString AddAction::getNamePose() { //получение названия
нового действия
    return actionName;
}

void AddAction::on_pushButton_clicked() {

    fingerPos.push_back(ui->motorLine1->text().toInt());
    //получение данных
```



```
        fingerPos.push_back(ui->motorLine2->text().toInt());
//из пользовательских полей
        fingerPos.push_back(ui->motorLine3->text().toInt());
        fingerPos.push_back(ui->motorLine4->text().toInt());
        fingerPos.push_back(ui->motorLine5->text().toInt());
        fingerPos.push_back(ui->motorLine6->text().toInt());

        actionName = ui->nameLine->text();
        MainWindow *mainWindow = new MainWindow;
        mainWindow->addToActionMap(actionName, fingerPos);
//передача данных в контейнер
    }
```