

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматизации»



Құралбеков Ақылбек Жанибекұлы

Разработка робота-манипулятора для видеосъемки местности

Дипломная работа

Специальность 5В071600 – Приборостроение

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева

Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой РТиТСА
кандидат техн.наук
К. А. Ожикенов
«26» мая 2022 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

На тему: «Разработка робота-манипулятора для видеосъемки местности»
по специальности 5В071600 – Приборостроение

Выполнил

Құралбеков Ақылбек

Рецензент

Балбаев Г. К.

Научный руководитель

Магистр техн.наук,

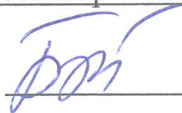
сениор-лектор

РНД(звание, науч степент)

Ассоциированный профессор

подпись  ФИО

«25» май 2022 ж.

 Бигалиева Ж.С.

«26» май 2022 ж.

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматизации»

5B071600 – Приборостроение

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой РТиТСА
кандидат техн. наук

К. А. Ожикенов

« 26 » мая 2022 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Куралбекову Ақылбеку Жанибекұлы

Тема: Разработка робота-манипулятора для видеосъемки местности

Утверждена приказом Ректора Университета № 489-П/Ө от «24» декабря 2021 г.

Срок сдачи законченной работы «15» мая 2022 г.

Исходные данные к дипломному проекту: Arduino IDE, MIT app inventor

Перечень подлежащих разработке вопросов в дипломном проекте:

- а) Изучение принципа работы робота-манипулятора для видеосъемки местности;
- б) Анализ и сравнение характеристик камер и шагающих роботов;
- в) Оценка эффективности существующих аналогов шагающих роботов с камерой и используемых технологий;
- г) Изучение возможности создания усовершенствованного шагающего робота.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

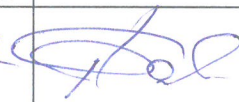
представлены 15 слайдов презентации работы

Рекомендуемая основная литература: 20 из наименований 20

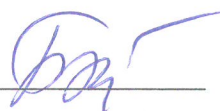
ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Технологическая часть	24.02.2022	Выполнено
Программная часть	29.03.2022	Выполнено
Исследовательская часть	18.04.2022	Выполнено

Подписи
консультантов и нормоконтролера на законченный проект с указанием
относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Баянбай Н.А., магистр технических наук, сениор - лектор	26.05.22	

Научный руководитель



Бигалиева Ж.С.

Задание принял к исполнению
обучающийся



Куралбеков А.Ж.

Дата

«__» май 2022 г.

АҢДАТПА

Дипломдық жобаның мақсаты-ұялы телефонның прототипін жасау, видео түсіруге арналған төрт квадропод роботы және оның үстінде зерттеу жүргізу. Дипломдық жобада жалпы жаяу және мобильді роботтарға шолу жасалды. Құрылғының артықшылықтары мен кемшіліктері ескерілді. квадроподты қолдану принциптері мен ауқымы қарастырылады.

Бірінші бөлімде Робот ұғымдары, оны қалай пайдалану керек, Роботтар қандай жіктеулерді ажыратады және олар не үшін ұйымдастырылған туралы жазылды.

Екінші бөлімде біз мобильді робот квадроподтың өзгеруін, роботтың мүмкін құрылымы мен аяқтарының құрылымын қарастырамыз, Робот кинематикасын талдаймыз және тікелей кинематиканың математикалық есептеулерін жүргіземіз.

Практикалық бөлімде роботты басқаруға арналған қосымшаның дамуы сипатталған, роботты жасау үшін қандай технология және электронды техника қолданылған.

АННОТАЦИЯ

Цель дипломного проекта состоит в том, чтобы создать прототип мобильного, четырех шагающего – робота квадропода для видеосъемки и провести над ним исследования. В дипломном проекте был проведен обзор общих шагающих и мобильных роботов. Были учтены преимущества и недостатки устройства. Рассмотрены принципы и масштабы применения квадропода.

В первой части описано понятия робот, как его эксплуатировать, каких классификации различаются роботы и для чего устроены.

Во второй части рассматриваем вариации мобильного робота квадропода, возможные строение робота и строение ножек, проводим анализ кинематики робота и математические расчет прямой кинематики.

В практической части описано разработка приложение для управление роботом, какую технологию и использовали электронную технику для создания робота.

ANNOTATION

The goal of the thesis project is to prototype a mobile, four-step - quadruped robot for video shooting and conduct research on it. The thesis project reviewed common walking and mobile robots. The advantages and disadvantages of the device were considered. The principles and scope of the quadruped were reviewed.

The first part describes the concept of a robot, how to operate it, what classifications robots have and what they are built for.

In the second part we consider variations of the mobile robot quadruped, the possible structure of the robot and the structure of the legs, we analyze the kinematics of the robot and the mathematical calculation of the direct kinematics.

In the practical part we describe the development of the application to control the robot, what technology and used electronic equipment to create the robot.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Основные понятия о роботах	10
1.1 История и работа с роботами	10
1.2 Типы роботов	11
1.3 Шагающие роботы, последние разработки	13
2 Разработка Квадропода	16
2.1 Создание квадропода	16
2.2 Архитектура тела и ножек робота	18
2.3 Система контроля робота	19
2.4 Кинематика Робота	21
2.5 Анализ движения	21
2.6 Математический анализ	23
3 Описание используемых технологии	29
3.1 Платы Arduino	29
3.1.1 Среда разработки Arduino IDE	30
3.2 ESP32-CAM	31
3.1 Сервоприводы SG90	31
3.4 Ультразвуковой датчик HC-SR04	32
3.5 Bluetooth модуль HC-06	33
4 Практическая часть	34
4.1 Разработка приложения	34
4.2 Конструкторская часть	38
Заключение	43
Список литературы	44
Приложение А	46
Приложение Б	47

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении многих лет человек все чаще прибегает к помощи роботов в разных сферах деятельности. В наше время роботы выполняют большинство сложных работ: на производстве, в медицине, в военных целях и в сфере развлечения. Например, для разведки местности военные используют небольшие роботы, которые передвигаются на любой поверхности. Такие роботы оснащаются датчиками для оценки возможности переезда преграды, камерой, подвижными механизмами и компьютером для управления.

Пауки, по сравнению с большинством других животных, обладают способностью получать доступ к таким типам среды, куда другие животные или даже люди не могут попасть. Эти качества пауков учитываются в данном проекте для того, чтобы спроектировать и разработать четвероногого робота-паука, способного передвигаться во всех направлениях и выполнять такие движения, как подъем или спуск. В работе представлена кинематическая модель с целью понять, как, математически, как ходят четвероногие животные и паук. В данном случае мы изучили движение реального паука, чтобы мы могли определить подходящую биометрическую модель для нашего робота.

Целью данной дипломной работы является разработки модели мобильного четырехногого робота для видеосъемки местности, создание 3D модели и разработка программного обеспечения для робота. Задачей было изучение различных моделей робота-квадропода, понятия архитектуры строения робота, так же изучение архитектуры движения роботов и способах контроля, произведение анализа движения, вычисление прямой кинематики робота.

1 Основные понятия о роботах

1.1 История и работа с роботами

История робототехники сильно связана с огромным количеством изобретений, сделанным за все время. Его невозможно отделить от общей истории развития науки, техники, а также от истории развития компьютерных технологий

Само название “robot” было придумана чешским писателем Карел Чапек, значение которого является “Принудительная работа или труд” [1]

Для каких целей используется робот сейчас можно продемонстрировать на примере работы. Предположим, например, что ваша работа заключается в затягивании болтов детали автомобиля. И вы затягиваете эти болты каждый день, каждую неделю, каждый год. Такую работу, когда вы выполняете только определенные действия над одной деталью автомобиля, мог бы выполнять робот. Большинство роботов сегодня выполняют определенные действия в циклических или опасных для жизни условиях, это их работа.

В зависимости от классификации роботов, они могут использоваться практически в любой отрасли промышленности или повседневной жизни.

Промышленные роботы все чаще используются на заводах и фабриках. Они используются для выполнения функций управления, движения и перемещения в различных производственных процессах. Главная особенность этих роботов заключается в том, что они могут работать 24 часа в сутки без помощи человека, поскольку им нужно только двигаться в соответствии с заранее запрограммированными действиями. Они эффективны и могут обеспечить высокую производительность и выдавать хорошие результаты. Наиболее распространенное применение - автомобильная промышленность, где роботы используются практически для всех задач, связанных со сборкой машин. Роботы выполняют задачи почти с абсолютной точностью и могут полностью заменить человеческий контроль и поддержку.

В аэрокосмическом секторе роботы используются для освоения космоса. Космические роботы и беспилотные космические аппараты играют важную роль в освоении космоса. Использование роботов в исследовании космоса считается более безопасным, поскольку исключает риск потери жизни персонала исследовательских экспедиций в космосе.

Так же роботов используют в предоставлении медицинской помощи. На сегодняшний день идет продвижение в здравоохранении использование роботов для хирургии. Благодаря технологическому прогрессу появилась возможность проведение операции дистанционно если пациент находится в отдаленных районах. С надлежащими инструментами и настройкой, нужное медицинское обслуживание может быть предоставлено пациенту отдаленных районов до прибытия кареты скорой помощи.

Еще одна возможность применения роботов – военные цели. Несмотря на благие намерения тех, кто создает этих безобидных на первый взгляд

безобидных созданий, всегда найдутся те, кто сможет использовать их для создания боевых машин. Существует бесчисленное количество книг и фильмов на эту тему, но если задуматься, то это не просто фантазия. Солдаты, которым не нужно спать или есть, у которых нет хрупких человеческих тел и которые не зависят от окружающей среды, вызывают ужас.

1.2 Типы роботов

На сегодняшний день существует огромное количество различных роботов. Это связано с тем, что большинство гаджетов и устройств, действующих автономно, называют роботом. Однако термин робот используется, в тех случаях, когда самого робота можно перепрограммировать на определенное действие или на траекторию движения. Количество существующих роботов также допускает классификацию по кинематической структуре.[2]

Роботы могут различаться по кинематической структуре. К примеру, роботы, основанные на их системе координат:

Декартовы роботы — промышленный робот, где исходя из своего названия имеет три оси X, Y, Z ортогонально расположенные друг к другу. Выполняют функцию скоординированные движения через общий контроллер движения. Декартовы роботы также называются линейными или XYZ-роботами, поскольку они имеют три вращающихся шарнира для сборки осей XYZ, показанных на рисунке 1.2.1.

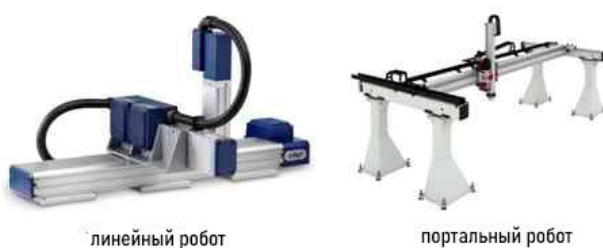


Рисунок 1.2.1 – а) Линейный робот б) порталный робот

Области применения:

Декартовы роботы наиболее известное их применение это 3D принтеры, кроме этого, их используют для герметизации, при литье пластмасс, и в станке с числовым программным управлением. Плоттеры имеют схожий принцип декартовых роботов. Они могут работать с тяжелыми грузами с высокой точностью позиционирования.

Следующий тип робота SCARA. SCARA – это аббревиатура, означающая Selective Compliance Assembly/Articulated Robot Arm. Робот SCARA могут двигаться по 3 осям координат, и имеет возможность вращательного движения. Данный робот лучше справляется с боковым перемещением нежели декартовый робот. Этот робот используется для различных видов сборочных операций,

например, с его помощью можно вставить круглый штифт в круглое отверстие без сцепления, а также его используют в биомедицине для проведения операций.

Шарнирный робот механические движение и конфигурация шарнирных роботов очень схожа на человеческую руку. Где основание крепится с помощью шарнира, и сама рука может иметь от двух до десяти поворотных шарниров. Каждый шарнир служит в качестве осей и при каждом дополнительном шарнире ось обеспечивает большую степень свободы.

Область применения шарнирных роботов за счет его гибкости является сборка, дуговая сварка, обработка материалов, обслуживания машин и упаковка.

Следующая тип очереди дельта роботы имеют три руки, присоединенные к одному основанию, где само основание устанавливается над рабочим пространством. Робот имеет куполообразную форму и могут двигаться очень плавно так и очень точно и на высоких скоростях. Высокую скорость имеет за счет того, что каждый шарнир концевой эффектора напрямую контролируется тремя руками. Применяют Дельта роботы для быстро сбора и размещения продукции в пищевой, фармацевтической и электронной промышленности.

Кроме по классификации по кинематической структуры различаются по типу движения.

Неподвижные: к неподвижным больше всего соотносят промышленных роботов, которые выполняют свою функцию в определенных для него условиях. Эти роботы устанавливаются устойчивом поверхности и подстраивают конфигурацию под определенное положение.

Мобильные: данные роботы имеют возможность перемещаться свободно. Способом передвижения может быть построен на ножках или на колесах

Колесные: такие роботы похожи на транспортные средства, и большинство роботов используют дифференциальное управление, при котором движения приводят отдельные колеса. Таким образом могут менять направления, распределяя разную скорость на колесах.

Одноколесный: состоит из одного колеса для балансировки и навигации. Практический пример - девушка Мурато (Seiko).

Двухколесный: состоит он из двух колес и датчиком наклона. Работает по принципу балансировки при наклонении робота он совершает подает сигналы на движения для балансировки. Практическим примером является двухколесный NBOT.

Трехколесный: имеет 3 колеса треугольной формы и, следовательно, сбалансирован. Обычно переднее колесо является рулевым, а задние обеспечивают движение.

Четырехколесный: это самый эффективный робот в списке. Движение совершается всеми 4 колесами, где передние играют роль рулевого. Примером может служить марсоход NASA - Scarab.

Многоколесный: Конструирование таких роботов наиболее сложно из-за того, что каждое колесо должно иметь одинаковую скорость, когда робот движется вперед.

Ногастые: такой робот использует ноги похожие по строению как у насекомых, пауков, и животных. Основным преимуществом такого типа робота перед колесными является проходимость.

Двуногие: данные роботы строят на подобие человеческих ног. В основном они имитируют людей. Передвигается такой робот с помощью расчета каждого шага.

Триподал: такие роботы имеют три точки опоры которая не дает ему упасть и считается более устойчивы, но при статичном положении

Четырехногие: отличительной чертой является что количество 4 и имеет походку схожу на животных. Устойчивы, хорошо сбалансированы, передвигаются на по одной ноге и имеет альтернативный способ передвижение.

Гексапод: робот, имеющий 6 ног, передвижение похожа на походку паука. Передвигаются они либо последовательным движением каждой пары ног, либо поочередным движением каждой пары ног.



Рисунок 1.2.3 – Гексапод

1.3 Шагающие роботы, последние разработки

Новая технология появляется быстрее, адаптируя новую идею для разработки нового дизайна, прототипа и новой системы управления. Одна из технологий, которая развивается высокими темпами, например, технология шестиногих роботов, которая выросла от простой функции, размера и веса до различных функций, большего размера и веса. В качестве примера можно привести шестиногого робота LAURON, разработанного в Forschungszentrum Informatik Karlsruhe (FZI) в Германии. [5] Первый проект LAURON был начат в начале 90-х годов и постоянно совершенствовался до последнего проекта, названного. Роботы-квадроподы имеют различные типы и функции. Некоторые из них имеют довольно простую конструкцию и контроллер, в то время как некоторые обладают сложной конструкцией и контроллером. Например, в системе телеоперации робот способен выполнять различные задачи с помощью дистанционного управления в опасной и узкой зоне, которую не может охватить

человек. К таким операциям относятся поиск и спасение, мониторинг радиационной опасности и исследование планет.



Рисунок 1.3.1 – Шестиногий Lauro V из Исследовательского центра информационных технологий FZI

Робот RHex разработанный DARPA (Агентство перспективных исследовательских проектов в области обороны) совместно с Boston Dynamics находится на пике развития уже много лет.[4] Особенности данного робота являются его способность ориентироваться на любой местности покорять ямы, ловушки и болота. Так же его скорость перемещения составляет около 2 метров в секунду. Имеет запас хода на 3,7 км без подзарядки. Робот может контролироваться оператором на расстоянии до 600 метров. Есть видеокамера и GPS-приемник. Основная его задача является разведка.



Рисунок 1.3.2 – Робот RHex от DARPA совместно с Boston Dynamic

Робот-скалолаз LEMUR-3 разработанной в лаборатории реактивного движения NASA изначально разрабатывался для обслуживания орбитальных космических аппаратов, в том числе и Международной Космической Станции

(МКС). [6] Данный робот оснащен четырьмя конечностями с крючками, и на каждой из ног имеется лидар для выявления неровностей на скале и определяет расстояния до них, а также установлен инфракрасный спектрометр и рентгеновский флуоресцентный прибор для поиска следов органики. Используется сейчас для выявления древних окаменелостей на горных породах.



Рисунок 1.3.3 – Робот LEMUR III от Лаборатории реактивного движения NASA

2 Разработка квадропода

2.1 Создание квадропода

Робот - квадропода в наше время имеет большой и довольно широкий спектр возможностей для разработки самого робота. Есть ряд решений которые должны быть приняты, имеет влияние на работу и технические характеристики.[7]

Есть так же наиболее важные проблемы в проектировании и ограничения такие как:

- Архитектура ног
- Источник питания
- Архитектура управления
- Автономия
- Полезная нагрузка
- Структура корпуса
- Положение скорость
- Особенности работы
- Стоимость

Вышеперечисленные проблемы и ограничения проектирования можно использовать как входные данные проектирования и выходные данные проектирования (или основные характеристики проектирования), как показано на схеме рисунка 2.1.1



Рисунок 2.1.1 – схема проектирование робота

Как показывает практика и анализ существующих роботов каждый созданный четырехногий робот создается уникальным. Quadruped может быть разработан в разных структур, каждый имеет свои особые критерии проектирования, формы, преимущества и недостатки. Отсюда следует что каждый четырехногий робот по-своему уникален в техническом плане. На рисунке 2.1.1 показана блок схема проектирования робота при учете вышеперечисленных нюансов с целью выявления основных характеристик конструкции

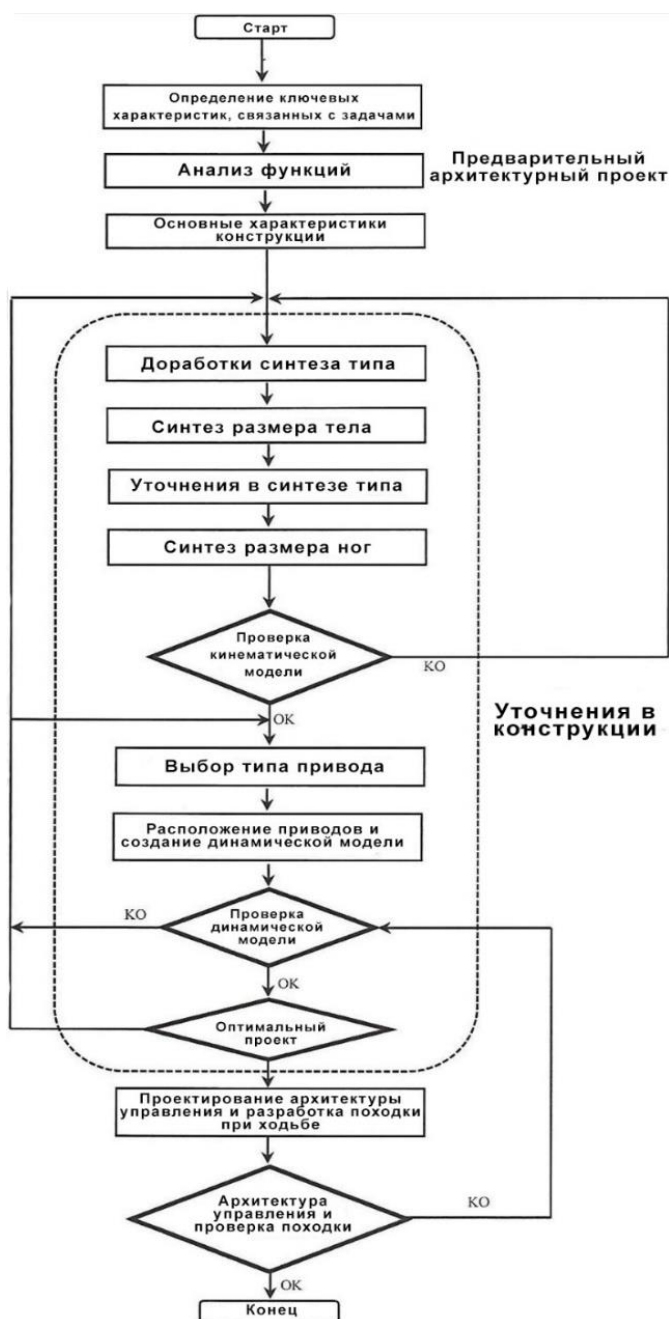


Рисунок 2.1.2 – Блок схема создание модели квадропода

На рисунке 2.1.2 показано блок схема, где используется основные характеристики проекта, рассматривая проблемы моделирования, чтобы показать, как можно создать модель робота. При этом в данной блок схеме стоит учесть другие полезные характеристики, и для каких целей могут быть применены и рассмотрены дополнительные функции. Наиболее хорошие характеристики конструкции были добавлены как примеры для заполнения данных матрице причин и следствии.

2.2 Архитектура тела и ножек квадропода

Основных архитектур робота квадропода существует двух типов прямоугольные и шестиугольные. И по количеству ног есть несколько типов такие как:

1. Biped 2 ноги представитель
2. Quadruped оснащен 4 ножками
3. Нехарод имеет 6 ножек и по строению напоминает насекомого
4. Ostopod имеет 8 ножек и по строению похож на паука

Прямоугольный тип квадропода в основном оснащаются 6 ножками распределенные симметрично вдоль двух сторон. На шестиугольные ноги распределены аксиально-симметрично вокруг тела. Отличие в данных типов строения робота что в прямоугольной форме лучше всего ходит по прямой, а в повороте совершает больше шагов чем шестиугольный.

Из всех квадроподов лучше всего по характеристикам шестиугольные формой роботы. Например, шестиугольные роботы могут иметь разных видов походок и довольно быстро сменяют направления. Фактически идеальная радиальная симметрия подразумевает, что все ноги равны и нет таких понятии как «передние» или «задние» ноги, то есть нет у него преимущество в одном направлении для движения. Проводилось много исследований и пришли к такому мнению в работе [10] Прумонта что гексагональные квадроподы могут легко поворачиваться во всех направлениях и имеют большой запас устойчивости. [11] А Такахаши и еще несколько ученых обнаружили что шестиугольные роботы вращаются и двигаются во всем направлении лучше, чем прямоугольные.

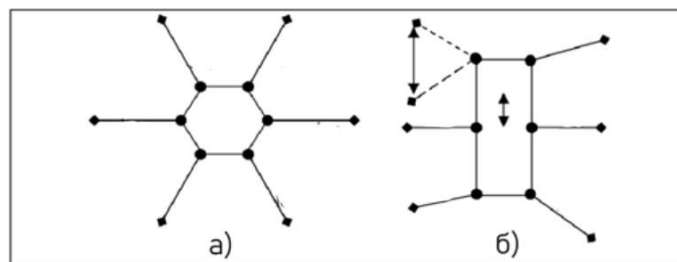


Рисунок 2.2.1 – а) Шестиугольный квадропод, б) четырехугольный

Кинематическая архитектура робота зависит от многих факторов, связанных с применением, для которого требуется данный робот, к примеру, от местности, где будет ходить робот, рабочей зоны и полезной нагрузки. И в зависимости от ситуации есть множество типов ног, которые используются для робота. У каждой есть свои преимущества и недостатки. На рисунке 2.2.2 показана схематическая классификация типов ног квадропода.[8]

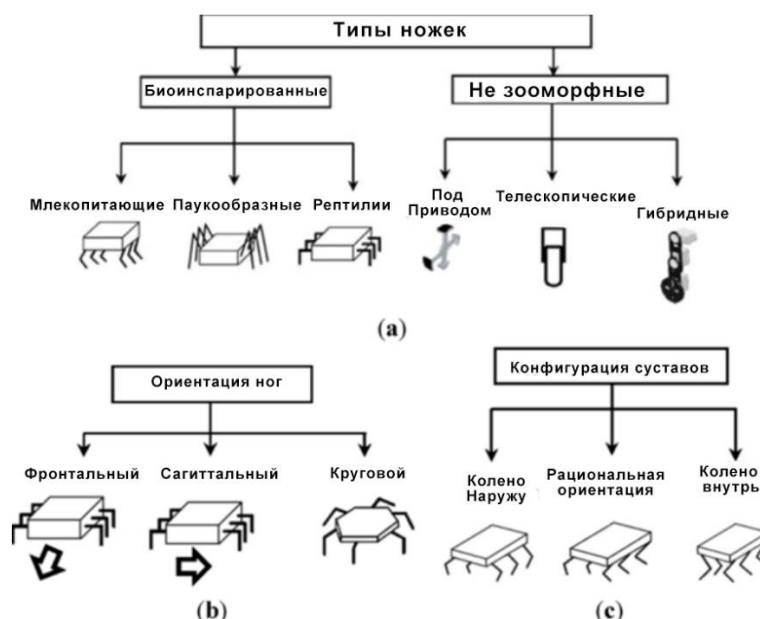


Рисунок 2.2.2 – а) типы ножек б) ориентация ножек с) конфигурация суставов

Для начала выберем тип ножек, который будет взят за основу построения. Биоинспирированные или био-вдохновленные из самого названия можно понять, что берут за основу строение ног и походку как у животных, рептилии, насекомых. Данный тип может перемещаться по неровной поверхности. У рептиливидного типа ног основная характеристика ног то, что они расположены на обоих концах выступающего тела и расположение колен на одном уровне с телом. [8] Тело млекопитающих стоят выше ног, такие обычно требуют меньшего энергопотребления для поддержки тела, но они менее устойчивы чем у других типов строения.[9] Арахнид у такого типа расположение колен находится выше своего тела и сами ноги расположены по бокам тела. Такой тип ножек может быть сделано в трех версиях: фронтальная, сагиттальная, круговая. В первом типе движение совершается перпендикулярно ногам, второй же тип двигается параллельно ногам. Третий тип круговой его форма позволяет передвигаться в любом направлении.[13] У конфигурации млекопитающих колени могут быть направлены в любом положении в зависимости от положения тела.

2.3 Система контроля робота

Системы управления последних квадроподных роботов представляют собой распределенные иерархические системы. Состоит это система из главного компьютера, бортового контроллера и различных исполнительных механизмов, и датчиков. На рисунке 2.3.1 показано блок схема иерархической системы

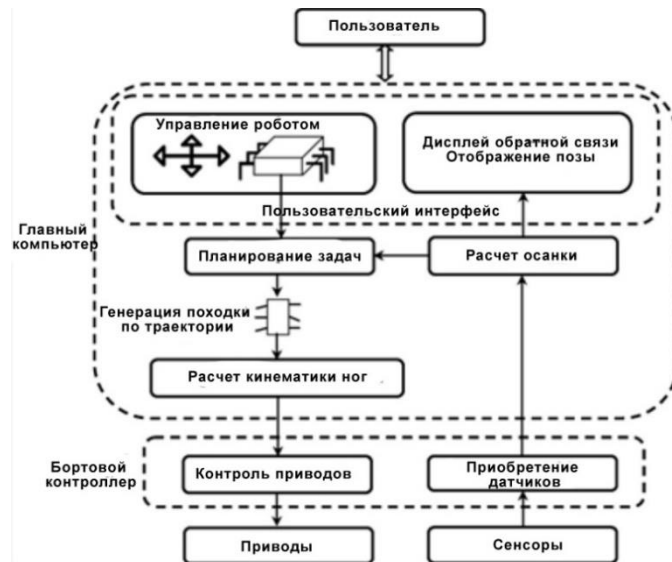


Рисунок 2.3.1 – Схема архитектуры управления для робота

Схема базового управления локомоцией квадропода показана на рисунке 2.3.2 Пользователь задает желаемую позицию и походку, что является входом для генератора траектории. Генератор траектории посылает координаты ног в инверсную кинематическую модель для каждой ноги. Инверсная кинематическая модель пересчитывает эти координаты в угловые координаты для всех суставов. Результатом работы инверсной кинематической модели являются угловые координаты суставов, которые затем поступают в контур управления. Управление на уровне суставов почти всегда осуществляется с помощью ПИД-регулирования.[14] К не зооморфным ногам относятся гибридные[15], телескопические[16]. Как пример может показать робот Roller-Walker передвигающийся на колесах с принципом движения как у конькобежцев.[17]

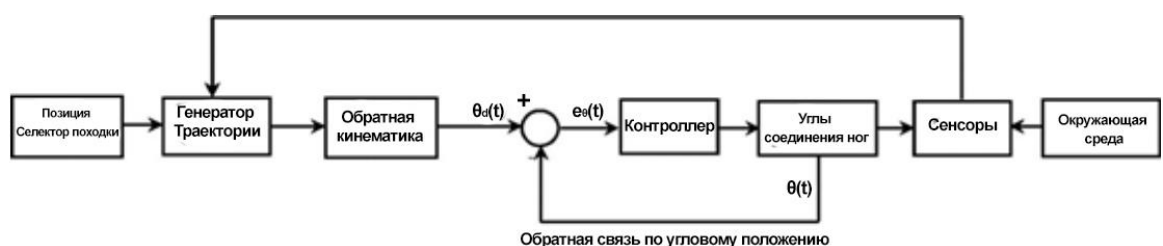


Рисунок 2.3.2 – Схема базового управление движения робота

2.4 Кинематика работа

Для создания миниатюрной модели робота – квадропода, необходимо точные размеры всей системы. Основная походка робота имитирует четвероногих млекопитающих. В этом типе походке, диагональные ноги движутся в тандеме. В то время как одна пара ног прикреплена к опорной поверхности и толкает робота вперед, другая пара находится в воздухе, ища новую точку опоры.

Согласно этому описанию, существуют две основные стадии работы ног, которые будут названы: "нога в воздухе", чтобы представить ногу, ищущую новую точку опоры, и "стадия отталкивания", когда нога зафиксирована и толкает тело в заданном направлении. Для того чтобы робот переместился в определенное положение, необходимо сначала определить местоположение центра его тела относительно базы должно быть установлено в первую очередь. Некоторые авторы называют это проблемой анализа положения.

Существует два типа задач анализа положения: прямая кинематика и обратная проблемы кинематики. В первом случае задаются совместные переменные, и задача состоит в том, чтобы найти местоположение тела робота; для обратной кинематики местоположение тела и задача заключается в нахождении соответствующих ему суставных переменных. Для полного моделирования робота в соответствии с его топологией в данном случае будут использоваться два подхода с его топологией. Во-первых, для робота на стадии толкания модель будет представлять собой параллельный робот с замкнутой цепью между двумя ногами, поддерживающими платформу. Затем, когда нога находится "в воздухе", модель будет представлять собой последовательный манипулятор, прикрепленный к одному из углов платформы.

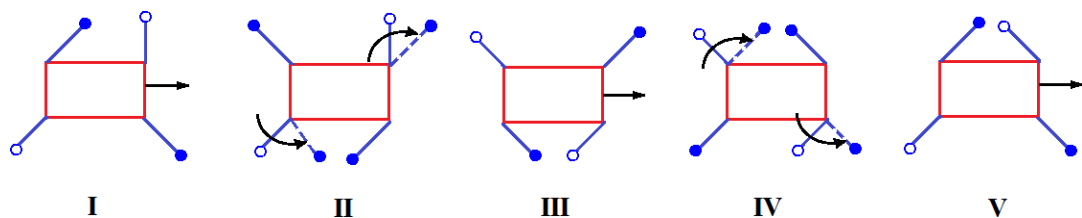


Рисунок 2.4 – Графики походки для робота. Нога в воздухе – °, нога, прикрепленная к поверхности

2.5 Анализ движения

Вначале важно знать, что паук состоит из 7 частей по ног (рисунок 2.5.1). Эти части следующие: Таз, вертел, бедро, коленная чашечка, большеберцовая кость, плюсневая кость и предплюсна. Из анатомии ножки паука мы исключили лишние части. Причина этого в том, что мы хотели упростить всю систему. Так, вместо того чтобы использовать коленную чашечку. Мы соединили бедренную

и большеберцовую кости прямым суставом. На стороне плюсны и голень были объединены как одно звено или часть.

Аналогично, мы удалили предплюсну. Все эти удаления были выполнены в работе, но для кинематики мы учитывали полностью систему для реалистичного подхода и потому, что мы хотели знать, что именно мы удаляем.

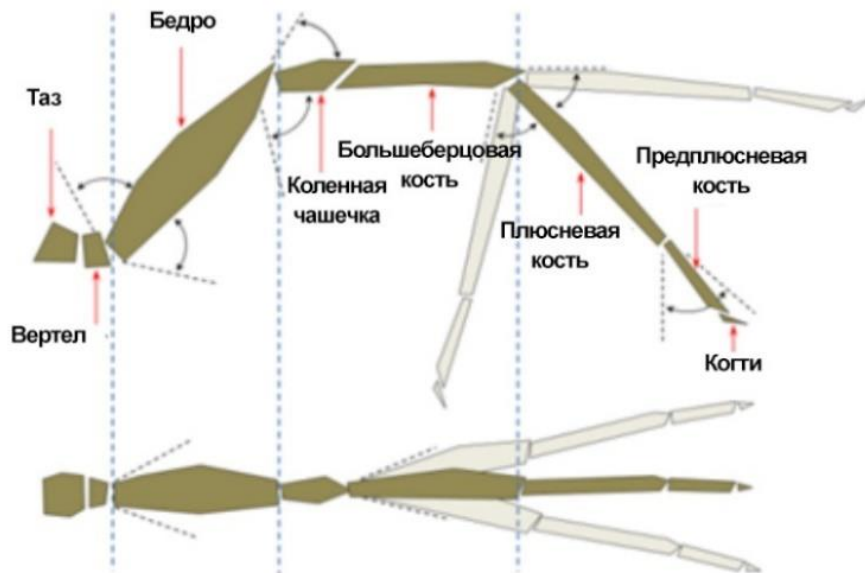


Рисунок 2.5.1 – Строение ножки паука

Одним из важных аспектов является амплитуда, которую имеет каждая часть

паучьей ноги. Это означает, например, что тазовая кость имеет амплитуду 35 градусов, в то время как голень имеет подвижность 70 градусов. Кроме того, каждый из семи компонентов конечности имеет различные оси движения; например, вертел имеет движение по оси X-Y, в то время как бедренная кость - по оси X-Z. Этот вид связи и движения объясняется графически на рисунке 2.5.2.

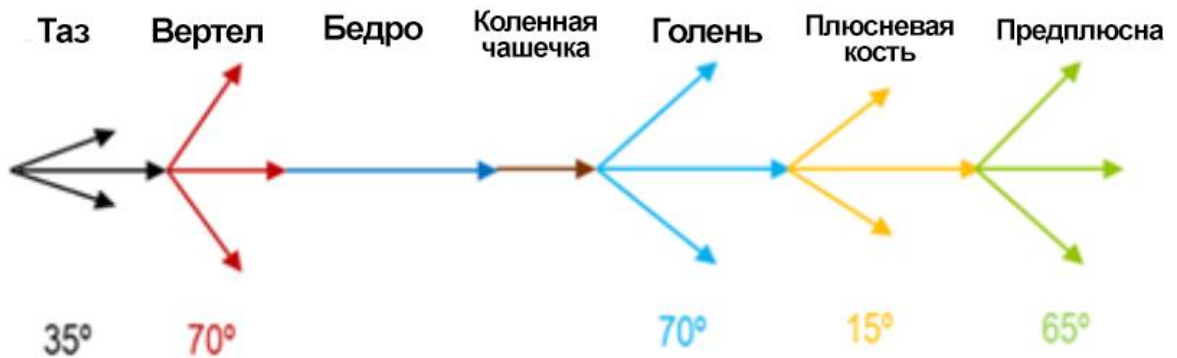


Рисунок 2.5.2 – Диапазон движения паука.

2.6 Математический анализ

Существуют некоторые ограничения, которые мы применили в анатомической разработке. Мы применили эти модификации в математической разработке, и мы решили задействовать все возможные переменные, основываясь на следующей таблице, чтобы создать наиболее точную модель и прототип.

Таблица 2.1- Характеристики ног робота

Часть ноги	Движение	Расположение
Тазовая кость	75°	Поперечная
Бедро	140°	Продольная
Голень	40°	Продольная

Прямая кинематика

Для того чтобы изучить прямую кинематику робота, сначала с помощью суставных переменных конечностей, положение и ориентация платформы на основе неподвижной рамы определены.

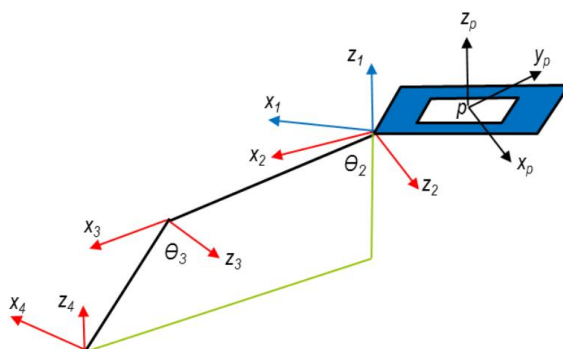


Рисунок 2.6.1 – Координатная сетка робота

Принимая во внимание рисунок 2.6.1 и зная векторы OA_i , которые являются конечными точками контактных ножек, мы можем определить следующее выражение:

$$rBi = rAi + \frac{rMi}{Ai} + \frac{rBi}{Mi}, \quad (2.1)$$

В этом выражении rBi и rAi представляют собой вектор положения Bi . Таким же образом нам нужно было определить все параметры системы в графическом виде. На рисунке 2.6.2 показаны эти параметры.

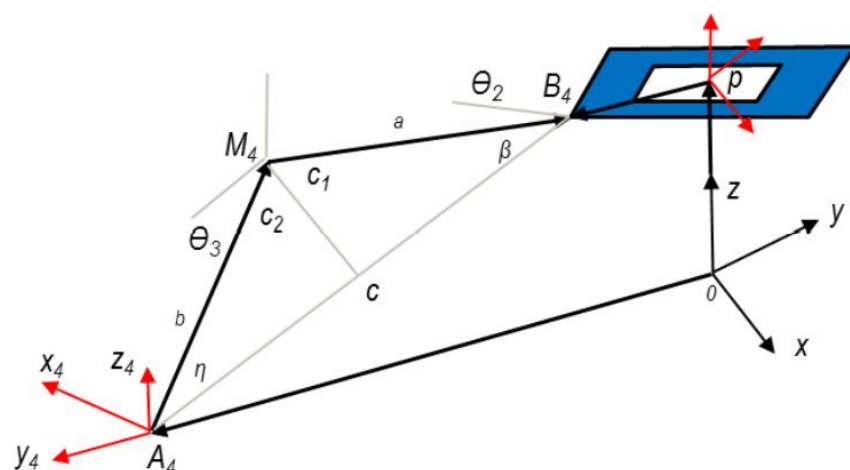


Рисунок 2.6.2 – Параметры системы

Одним из очень важных аспектов в нашем роботе было движение и последовательность, которую должен соблюдать четвероногий робот для того, чтобы правильно ходить. Этим элементом является походка четвероногих, которая показана на рисунке 2.6.3.

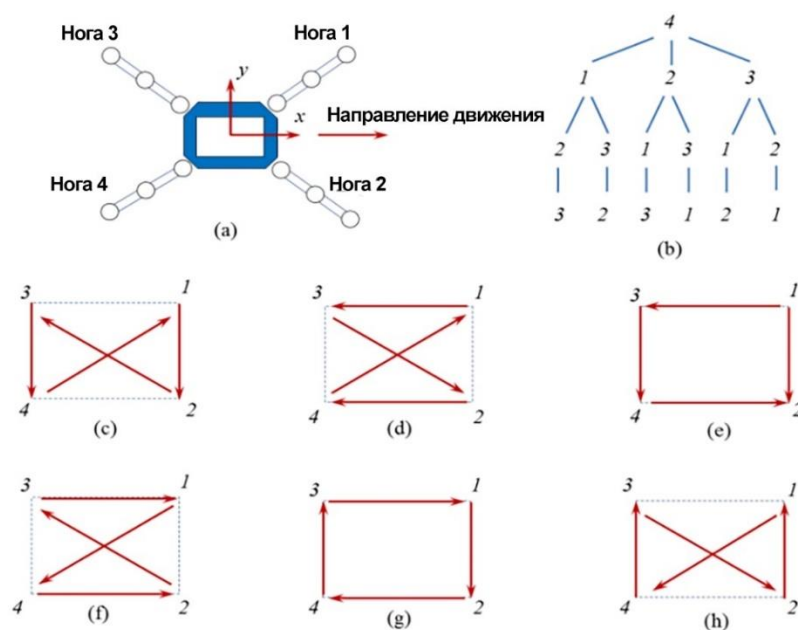


Рисунок 2.6.3 – Траектория движения робота

Предположим, что ноги 1, 2 и 3 стоят на земле. По соотношению (2.1) определяется расположение точек V_i относительно фиксированной координаты, а так как направление оси x системы координат P прямое к вектору V_3V_1 , то можно определить направление единичного вектора оси x :

$$Ex = \frac{B3B1}{\|B3B1\|}, \quad (2.2)$$

Таким же образом мы можем определить вектор B3B2

$$Em = \frac{B3B2}{\|B3B2\|}, \quad (2.3)$$

Имея эту информацию, мы можем определить направление единичного вектора, нормального к плоскости платформы. Чтобы сделать это, нам сначала нужно было реализовать перекрестное произведение двух предыдущих векторов:

$$Ez = Em \times Ex, \quad (2.4)$$

Таким же образом, имея векторы Ex и Ez, можно определить Ey тем же методом:

$$Ey = Ex \times Ez, \quad (2.5)$$

Эти три вектора необходимы, потому что мы можем установить матрицу платформы по отношению к фиксированным координатам с помощью следующего выражение:

$${}^P_B R = [Ex Ey Ez], \quad (2.6)$$

Для того чтобы указать начало системы координат, мы можем использовать уравнение окружности таким образом:

$$(Xb1 - Xp)^2 + (Yb1 - Yp)^2 + (Zb1 - Zp)^2 = r^2, \quad (2.7)$$

$$(Xb2 - Xp)^2 + (Yb2 - Yp)^2 + (Zb2 - Zp)^2 = r^2, \quad (2.8)$$

$$(Xb3 - Xp)^2 + (Yb2 - Yp)^2 + (Zb2 - Zp)^2 = r^2, \quad (2.9)$$

Если мы решим систему уравнений, установленную выше, мы сможем определить положение тела в системе координат системы.

Следующая мы определим скорость платформы. Для определения скорости движения платформы робота необходимо определить скорость и угловую скорость платформы робота, используя положение и скорость суставных переменных. Для определения прямой кинематики скорости платформы можно использовать (2.10):

$$\overrightarrow{OA_i} + \overrightarrow{A_iM_i} + \overrightarrow{M_iB_i} + \overrightarrow{B_iP} = \overrightarrow{OP}, \quad (2.10)$$

В предыдущем выражении OA_i представляет собой вектор, проведенный из начала координат в точку "А" от ноги № i. Можно определить связь между скоростью переменных суставов и скоростью платформы путем дифференцирования из (2.10).

В результате получается (2.11):

$$\overrightarrow{Vp} = {}^{B \rightarrow \text{Голень}}_{\omega_i} \times \overrightarrow{A_iM_i} + {}^{B \rightarrow \text{Бедро}}_{\omega_i} \times \overrightarrow{M_iB_i} + {}^{B \rightarrow P}_{\omega} \times \overrightarrow{B_iP}, \quad (2.11)$$

В (2.11) первый и третий элементы равенства представляют собой абсолютную угловую скорость бедра и голени конечности No i соответственно. Если мы примем во внимание симметрию нашего робота, (2.11) можно использовать для трех других контактных ног. По адресу используя пятый элемент (2.11), можно установить Vp . На основании рисунка 2.6.2:

$${}^{1 \rightarrow \text{Голень}}_{\omega} = \theta_1 {}^i\overrightarrow{K_1} + \delta {}^i\overrightarrow{K_2}, \quad (2.12)$$

$${}^{1 \rightarrow \text{Бедро}}_{\omega} = \theta_1 {}^i\overrightarrow{K_1} + \delta {}^i\overrightarrow{K_3}, \quad (2.13)$$

Что касается рисунка 2.6.2:

$$\delta = \frac{\pi}{2} - \theta_2 - \theta_3 \rightarrow (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3), \quad (2.14)$$

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - \theta_2 \rightarrow \dot{\gamma} = -\dot{\theta}_2, \quad (2.15)$$

В выражениях (2.12) и (2.13) первый множитель в обоих выражениях, обозначает единичный вектор, направленный к оси z первой координатной системы рамки координат конечности No i различных координатных рамок каждой ноги, определяется в функции рисунка 2.6.2 следующим образом:

$$\overrightarrow{l_{K_3}} = \overrightarrow{l_{K_2}}, \quad (2.16)$$

$$\overrightarrow{l_{K_2}} = -\sin(\theta_1)\overrightarrow{l_{I_1}} + \cos(\theta_1)\overrightarrow{l_{J_1}}, \quad (2.17)$$

$$\overrightarrow{l_{J_4}} = -\overrightarrow{l_{K_3}}, \quad (2.18)$$

Используя выражения из (2.12) - (2.18), мы можем определить значения ω_i следующим образом:

$${}^{1 \rightarrow \text{Бедро}}_{\omega_i} = \theta_i \overrightarrow{{}^i K_1} - (\theta_2 + \theta_3)(-S(\theta_1) \overrightarrow{{}^i l_1} + C(\theta_1) \overrightarrow{{}^i j_1}), \quad (2.19)$$

$${}^{1 \rightarrow \text{Голень}}_{\omega_i} = \theta_1 \overrightarrow{{}^i K_1} - \theta_2(-S(\theta_1) \overrightarrow{{}^i l_1} + C(\theta_1) \overrightarrow{{}^i j_1}), \quad (2.20)$$

В (2.19) и (2.20) S's и C's означают косинусы и синусы.

В этом случае, для математической простоты, все предыдущие уравнения можно выразить в виде вращательных матриц следующим образом предыдущие уравнения в виде вращательных матриц следующим образом:

$${}^{B \rightarrow \text{Голень}}_{\omega_i} = {}^P R_P {}^1 R_i {}^{1 \rightarrow \text{Голень}}_{\omega_i}, \quad (2.21)$$

$${}^{B \rightarrow \text{Голень}}_{\omega_i} = {}^1 R_i {}^{1 \rightarrow \text{Голень}}_{\omega_i}, \quad (2.22)$$

$${}^{B \rightarrow \text{Бедро}}_{\omega_i} = {}^1 R_i {}^{1 \rightarrow \text{Бедро}}_{\omega_i}, \quad (2.23)$$

Как мы уже упоминали ранее, 'R' представляет собой вращательную матрицу вращения платформы относительно фиксированной системы координат. В этом R_{1p} — это матрица вращения первой координатной рамки конечности №i относительно системы Р-координатных рамок. Эта последняя матрица вращения определяется следующим образом:

$$R = \begin{bmatrix} \cos \left[(i-1) \frac{\pi}{3} + \frac{\pi}{6} \right] & -\sin \left[(i-1) \frac{\pi}{3} + \frac{\pi}{6} \right] & 0 \\ \sin \left[(i-1) \frac{\pi}{3} + \frac{\pi}{6} \right] & \cos \left[(i-1) \frac{\pi}{3} + \frac{\pi}{6} \right] & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2.24)$$

В (2.24) — это количество конечностей.

Прямая кинематика положения для бесконтактной конечности это аналогична прямой кинематике для серийного робота. Как показано на Рис. 2.6.2 можно записать:

$$OA_i = OP + PB_i + BiMi + MiAi, \quad (2.25)$$

$$PB_i = {}^P R {}^P B_i, \quad (2.26)$$

$$BiMi = {}^P R {}^1 R {}^1 BiMi, \quad (2.27)$$

$$MiAi = {}^P_B R {}^1_P R MiAi, \quad (2.28)$$

Исходя из предыдущих выражений, PBi можно определить следующим образом следующим образом:

$$PBi = \begin{bmatrix} r \cos(\frac{\pi}{6} + (i-1)\frac{\pi}{6}) \\ r \sin(\frac{\pi}{6} + (i-1)\frac{\pi}{6}) \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (2.29)$$

Как и в случае с контактными ногами, мы хотели определить скорость бесконтактных конечностей, поэтому процедура аналогична. Сначала нам нужно продифференцировать (2.25) следующим образом:

$$\overrightarrow{V_{Ai}} = \overrightarrow{V_P} + \frac{B \rightarrow P}{\omega} \times \overrightarrow{B_i P} + \frac{B \rightarrow \text{Голень}}{\omega_i} \times \overrightarrow{B_i M_i} + \frac{B \rightarrow \text{Бедро}}{\omega_i} \times \overrightarrow{M_i A_i}, \quad (2.30)$$

Используя данные из (2.11):

$$\frac{B \rightarrow \text{Голень}}{\omega_i} = \theta_1 {}^i \vec{K}_1 + \theta_2 {}^i \vec{K}_2 + \frac{B \rightarrow P}{\omega}, \quad (2.31)$$

$$\frac{B \rightarrow \text{Бедро}}{\omega_i} = \theta_3 {}^i \vec{K}_3 + \theta_1 {}^i \vec{K}_1 + \theta_2 {}^i \vec{K}_2 + \frac{B \rightarrow P}{\omega}, \quad (2.32)$$

С помощью (2.30) - (2.32) мы можем определить скорость конечной точки ноги в воздухе.

3 Описание используемой технологии

3.1 Платы Arduino

Начать хочу с «мозгом» моего дипломного проекта которая служит плата серии Arduino на основе которого собрал прототип квадропода.

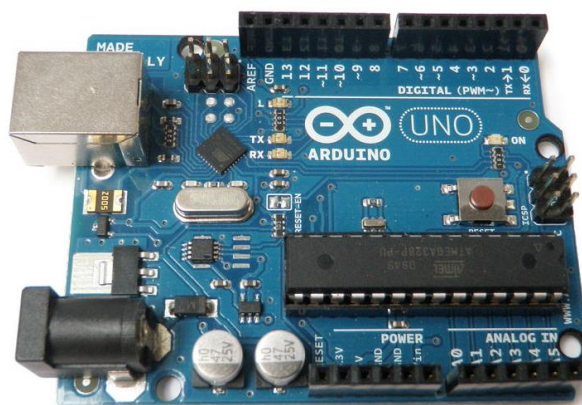


Рисунок 3.1.1 – Плата Arduino Uno R3

Arduino примечателен тем что имеет доступный софт, на его основе было создано десятки тысяч проектов. Программируется с помощью софта основанный на C++ и доработана, и слегка упрощена что позволяет любому пользователю будь это школьник или опытный программист понять его и составить собственный проект и написать на нем код. Работает данный софт на MAC, Windows, Linux так что по системным требованиям он не сильно бьет.

Есть множество разных других микроконтроллеров доступных для физических вычислений. И он не чуть не превосходит от микроконтроллера Arduino которая имеет ряд преимуществ такие как:

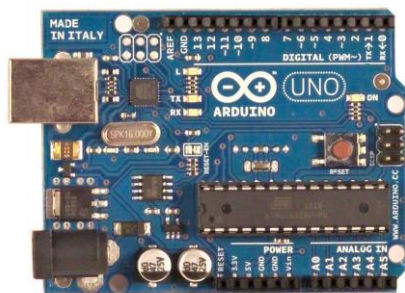
Цена – платы Arduino недорогие по сравнению с его аналогичными платформами. Самый дешевый модуль Arduino может стоит не больше 40 долларов.

Межплатформенность. П.О. Arduino IDE работает на операционных системах MAC OS, Windows и Linux. Большинство микроконтроллеры ограничены в Windows.

Среда Arduino IDE очень понятная ей легче освоится начинающим программистам. Так же может быть расширенны возможности библиотека C++

Платы Ардуино можно будет создать свою версию платы для определенных целей доработать под себя.

Платы Arduino из вышеперечисленного показывает, что он идеально подходит для создания роботов, контроллеров и приборов. Теперь расскажу о самой плате Arduino Uno



а)



б)

Рисунок 3.1.2 – а) плата Arduino Uno R3 вид сверху б) плата Arduino вид снизу

Таблица 3.1 – Характеристики Arduino Uno

Микроконтроллер	ATmega328
Тактовая частота контроллера	16 МГц
Флеш-память программ	32 Кб из которых 512 байт используются для загрузчика (bootloader)
Оперативная память ОЗУ(RAM)	2 Кб
Энергонезависимая память	EEPROM 1 Кб
Цифровые Входы/Выходы:	20 шт., 6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ (PWM) и 6 как Аналоговые входы(АЦП)
Рабочее напряжение	4,5 В - 5,5 В
Постоянный ток на один выход не более	40 мА
Постоянный ток на выводе при питании от 3.3 В	50 мА
Входное рабочее напряжение на Vin	7-15 В
Входное напряжение максимальное	6-20 В

3.1.1 Среда разработки Arduino IDE

Arduino IDE — это программное обеспечение для пользователей, позволяющее писать собственные программы (скетчи) для платформы Arduino. Эта платформа в первую очередь ориентирована на конструкторов-любителей, которые используют Arduino для создания простых систем автоматизации и робототехники.

Язык программирования Arduino — это стандартный C++ (с использованием компилятора AVR-GCC) с некоторыми особенностями, облегчающими написание программ для новичков.

3.2 ESP32-CAM

ESP32-CAM это Wi-Fi модуль на базе чипа ESP32 которая имеет еще камеру с разрешением 640*480 пикселей и так же имеет слот для памяти microSD карты.

Камера на плате можно использовать в качестве камеры для наблюдения, имеет систему распознавания лиц и жестов, считывает QR коды и используются для многих других целей.



Рис 3.2 – плата ESP32-CAM

Таблица 3.2 – Характеристики ESP32-CAM

Модуль беспроводной связи	ESP32-S WiFi 802.11 b / g / n + Bluetooth 4.2 LE
Встроенное хранилище	слот для микро SD-карты до 4 Гб
Камера	Поддержка камер OV2640 или OV7670
Формат изображения	JPEG(поддерживает только OV2640), BMP, оттенки серого
Расширение	16х сквозных отверстий с UART, SPI, I2C, PWM
Питание	5 В
Размер	40.5 x 27 x 4.5 мм

3.3 Сервоприводы TP-SG90

Данный сервопривод небольших размеров очень легкий и имеет высокую выходную мощность, данный сервопривод используются для проектов в виде ходячих роботов, квадрокоптеров, квадрокоптеров или других роботов.



Рисунок 3.3 – Сервопривод TP-SG90

Таблица 3.3 – характеристики сервопривода SG90

Скорость вращения	(4.8В без нагрузки): 0.14 сек/60 градусов
Усилие (момент вращения)	(4.8В): 1.98 кг*см
Максимальный угол поворота:	180 градусов
Материал редуктора:	пластик
Рабочая температура:	-30 - +60 °C
Рабочее напряжение:	3.5 - 8.4В
Габариты:	22.6 x 21.8 x 11.4 мм

3.4 Ультразвуковой дальномер HC-SR04



Рисунок 3.4 – Ультразвуковой дальномер HC-SR04

Ультразвуковой дальномер HC-SR04 обеспечивает бесконтактное расчитывание расстояния от 2 до 400 см. Функция измерения, точность измерения дальности может достигать 3 мм. Модули включают в себя

ультразвуковые передатчики, приемник и схему управления. Основной принцип работы:

- Использование триггера ввода-вывода для сигнала высокого уровня не менее 10us
- Модуль автоматически отправляет восемь 40 кГц и определяет, есть ли импульсный сигнал в обратную сторону. 29
- Если сигнал возвращается через высокий уровень, время высокой длительности ввода-вывода – время от отправки ультразвука до его возвращения. Тестовое расстояние = (время высокого уровня × скорость звука (340м/с) / 2

3.5 Bluetooth модуль HC-06

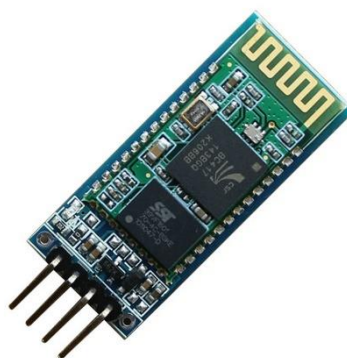


Рисунок 3.5.1 – Bluetooth модуль HC-06

Bluetooth-модуль HC-06 – простой способ беспроводного дистанционного управления вашим устройством с помощью Bluetooth. Со стороны управляемого устройства, такого как Arduino , этот модуль выглядит как обычный последовательный интерфейс. Поэтому вы можете отладить всё общение с устройством на компьютере, а потом просто подключить этот Bluetooth-модуль, и всё заработает как надо.

Таблица 3.5 – характеристик Bluetooth модуля HC-06

Напряжение питания	3.3-6 В
Максимальное входное напряжение	5 В
Выходное напряжение логической единицы	3.3 В
Максимальный ток потребления	45 мА
Скорость передачи данных	1200-1382400 бод
Дальность связи при прямой видимости	30 метров

4 Практическая часть

4.1 Разработка приложения

Исходя из того, что тема моей дипломной работы робот манипулятор для видеосъёмки местности для своего робота была разработан код и приложение для управления на мобильное устройство.

Для разработки мобильного приложения для управления моего робота и подключение к ней камеры использовал сайт от университета MIT под названием MIT App Inventor. На данном сайте можно создавать приложение на операционную систему Android, так же к нему есть приложение на Android благодаря которому можно будет протестировать на работоспособность. Дизайн приложения не требует знания программирования и само программирование приложение основано на блоках. Он хорош тем, что прост в создании простых приложениях и поэтому я использовал его для создания приложения с управлением и доступом к камере.

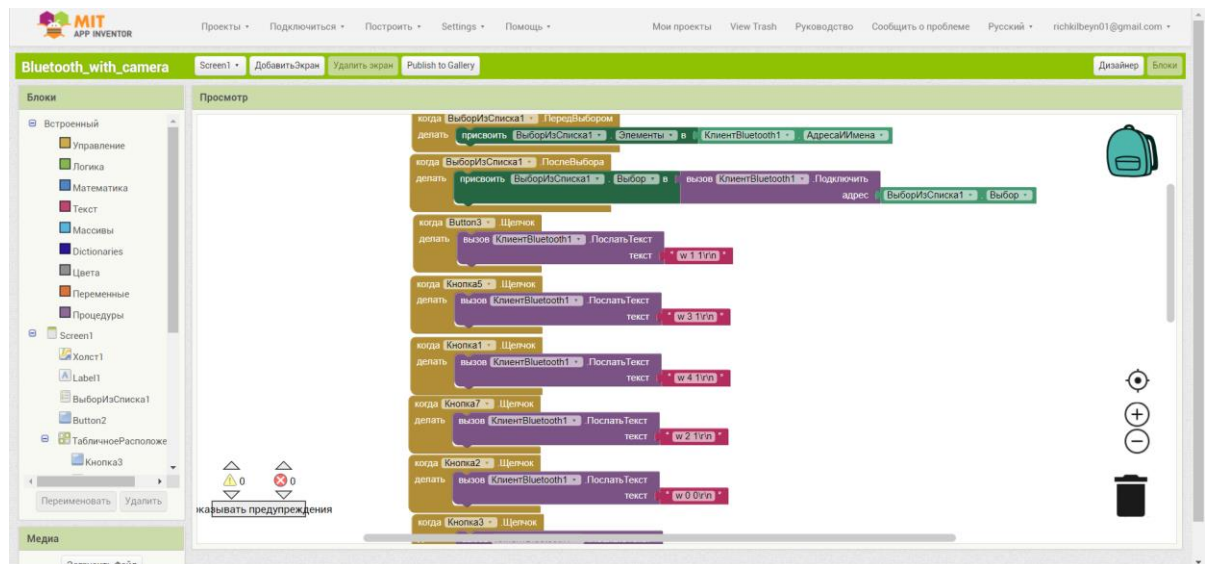


Рисунок 4.1.1 – Сайт MIT App Inventor

Базовые знания программирования и английского языка дают возможность понять, как собрать блоки кодов которые можете увидеть на рисунке 4.1.1. Для данного робота были подключены Bluetooth и вызвана команда для передачи видеопотока IP-адреса камеры.

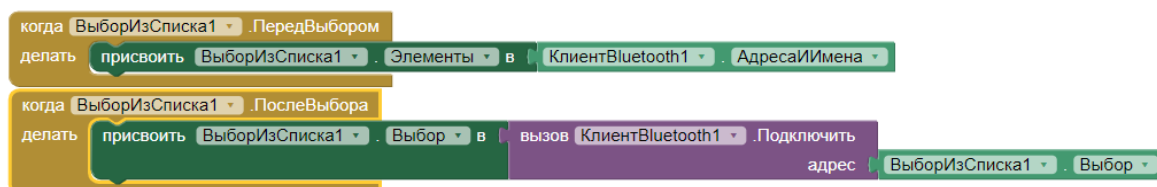


Рисунок 4.1.2 – Подключение Bluetooth в MIT app inventor

На рисунке 4.1.2 показано как подключают Bluetooth чтобы была активной при использовании и имела возможность подключиться к нашему HC-06.

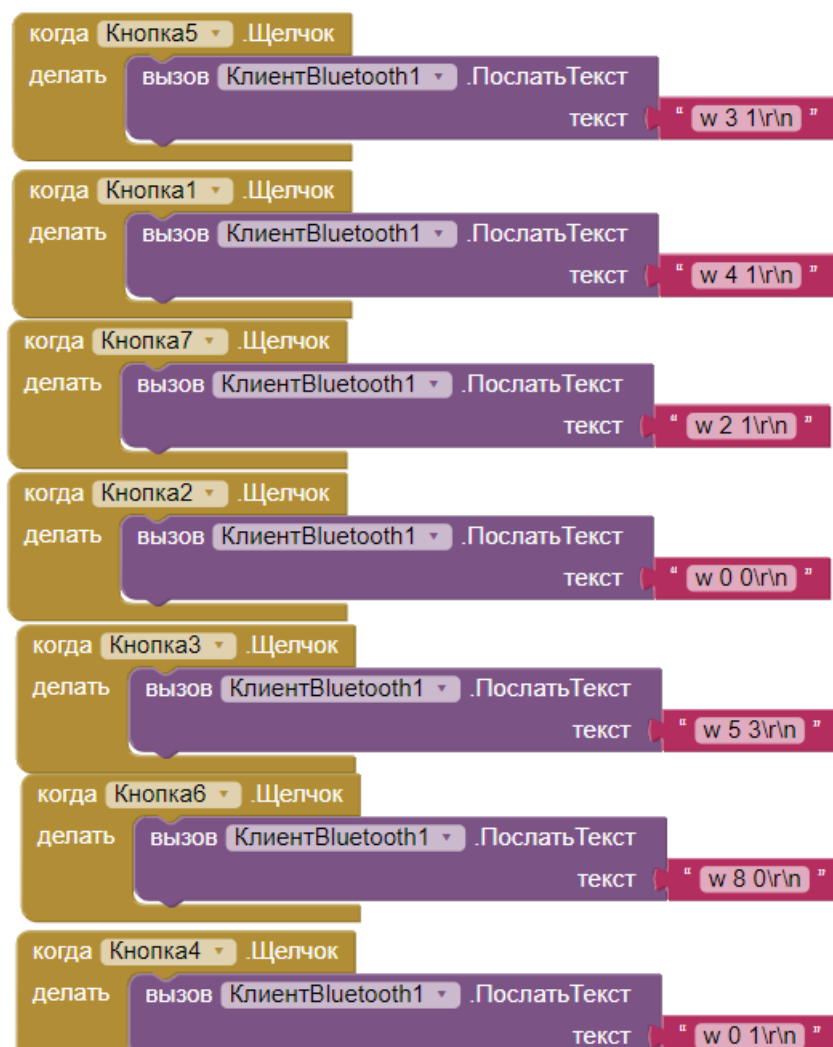


Рисунок 4.1.3 – Программирование кнопок

Программирование кнопок для движение в целом просто так как сам робот будет принимать команды по SPP (Serial Port Profile) и соответственно команды, которые нужно отправить нужно в конце каждой команды добавить `\r\n` чтобы данная команда была прочитана и выполнена как на рисунке 4.1.3.

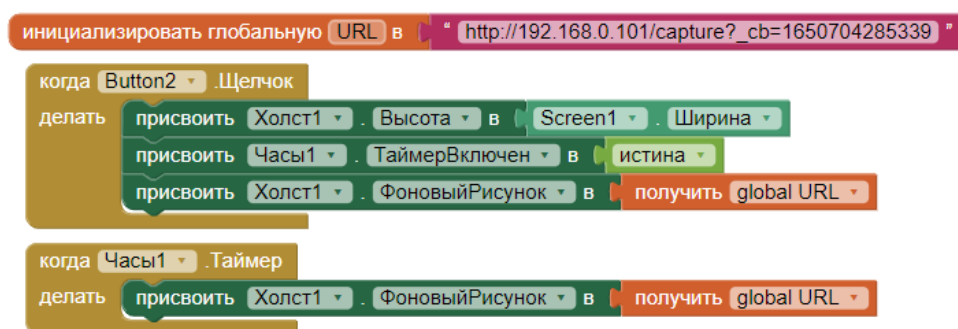


Рисунок 4.1.4 – Подключение камеры

При подключении камеры нам понадобилось IP адрес камеры ESP32 который может взять при его прошивке показано на рисунке 4.1.4. Как мы прошиваем камеру выдается IP адрес подключаем его к компьютеру и появляется интерфейс для настройки камеры к

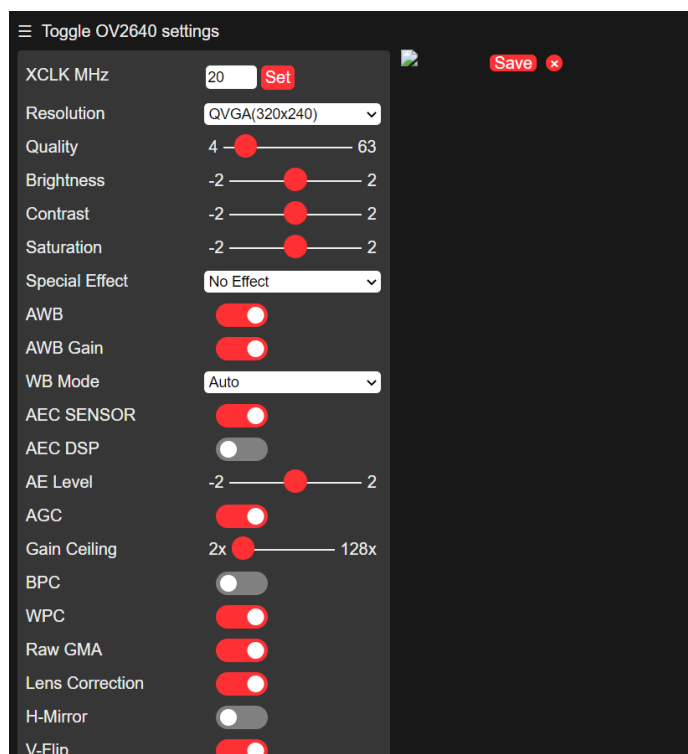


Рисунок 4.1.5 – Интерфейс камеры ESP32

Когда уже все блоки кода собраны, а интерфейс камеры на рисунке 4.1.5 подготовлен со всеми нужными нам кнопками переходим к тому, что мы тестируем само приложение на работоспособность с помощью приложения MIT app inventor

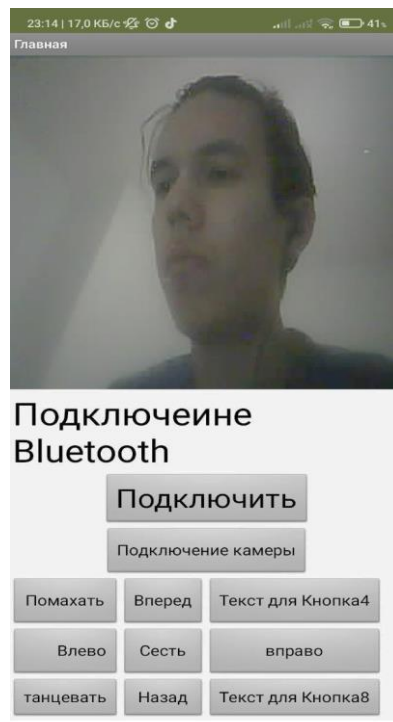


Рисунок 4.1.6 – Тест камеры в приложении

Как показано на рисунке 4.1.6 код для подключения камеры работает и может транслировать видео в режиме реального времени. Следующее что мы протестируем работу кнопок для движения. Каждая кнопка запрограммировано для отправки, сообщения которая, распознавая выполняет движение. На рисунке показано какие отправляются сообщения для выполнения движения, например, команда, запрограммированная на кнопку5 отправляет сообщение w 3 4 где в самой программе есть общая база команд “w” после него число обозначает какое действие выполнить в нашем случае число 3 это в коде запрограммирован на поворот налево и после него число обозначает количество повторении

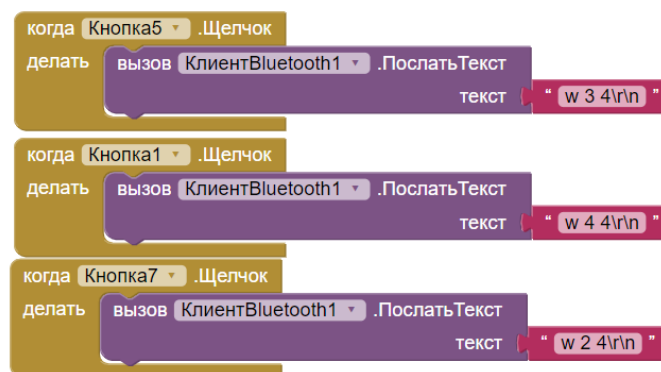
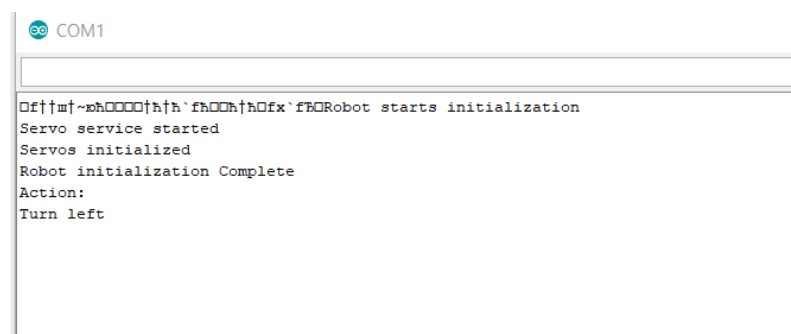


Рисунок 4.1.7 – Команды движения для робота

При подаче питания робота мы в нашем приложении находим Bluetooth модуль HC-06, подключаемся и при нажатии кнопки5 которая

запрограммирована чтобы совершить поворот налево то можно увидеть на SerialMonitor что произошло действие поворот налево



```
COM1
Robot starts initialization
Servo service started
Servos initialized
Robot initialization Complete
Action:
Turn left
```

Рисунок 4.1.7 – Данные с SerialMonitor

И соответственно на другие команды движения он так же реагирует и высылает ответ в serialMonitor. Данное приложение объединяет видеопоток камеры и интерфейс управления роботом.

4.2 Конструкторская часть

Для осуществления сборки робота необходимы детали которые смоделированы для моего типа робота, тоесть четырехногий робот паук как показано на рисунке 4.1.1

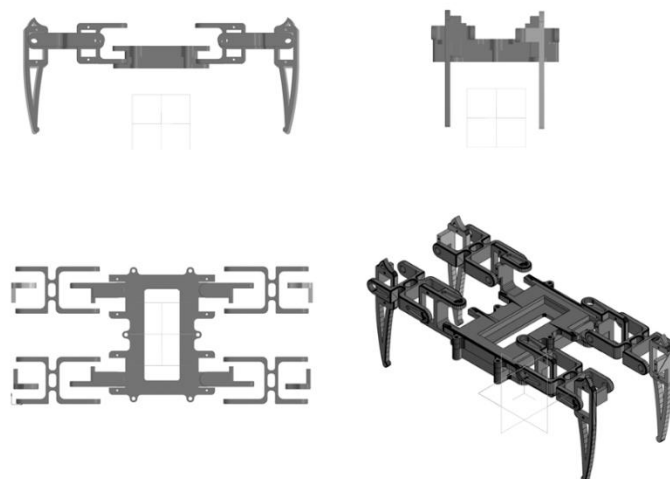


Рисунок 4.2.1 – 3D модель квадропода.

Распечатав детали приступаем к самой сборке робота. У нас имеются несколько составляющих частей это туловище, таз, бедро, голень. Начинаем мы с туловища, где нам понадобятся четыре сервопривода SG90 для самих ножек как показано на рисунке 4.2.2.

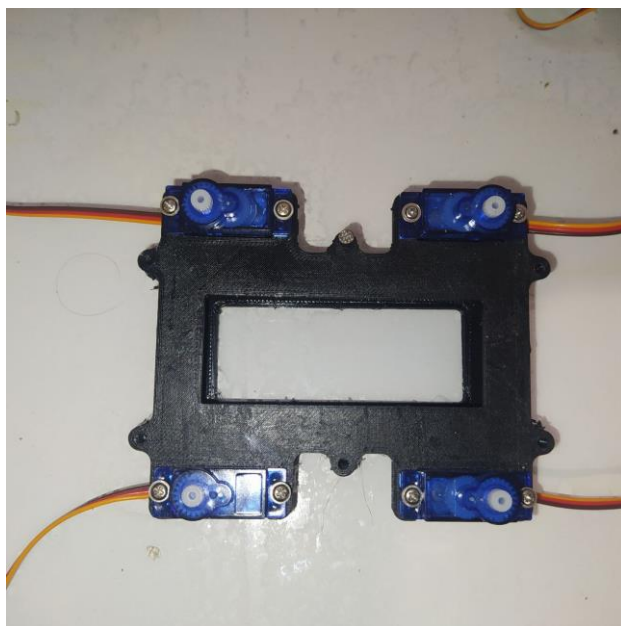


Рисунок 4.2.2 – Закрепление сервоприводов к туловищу

После мы приступаем к закреплению к туловищу тазовую часть ножек совместно с бедром как показано на рисунке 4.2.3.

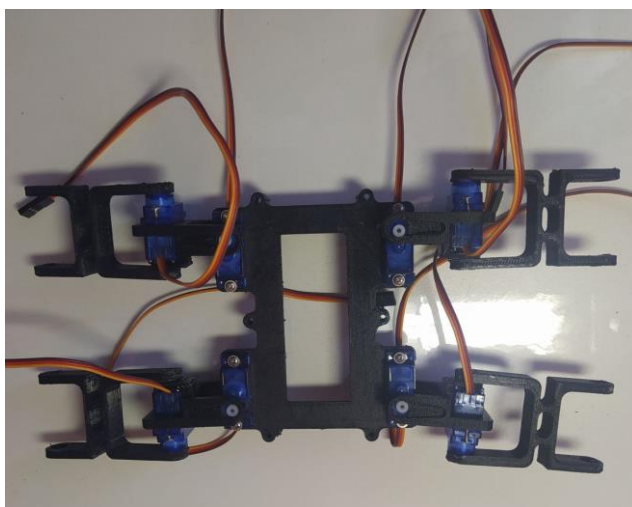


Рисунок 4.2.3 – Соединения таза и бедра к туловищу

К самой бедренной части приклепляем голень, которая должна будет при полной сборке держать робота на своих ногах.

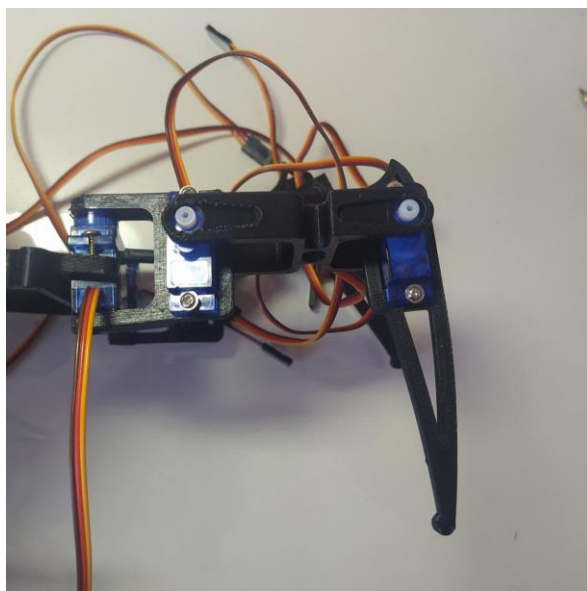


Рисунок 4.2.4 – Полное соединение ног.

После сборки частей ног данный скелет должен будет выглядеть как на показано на 3D модели данного робота.

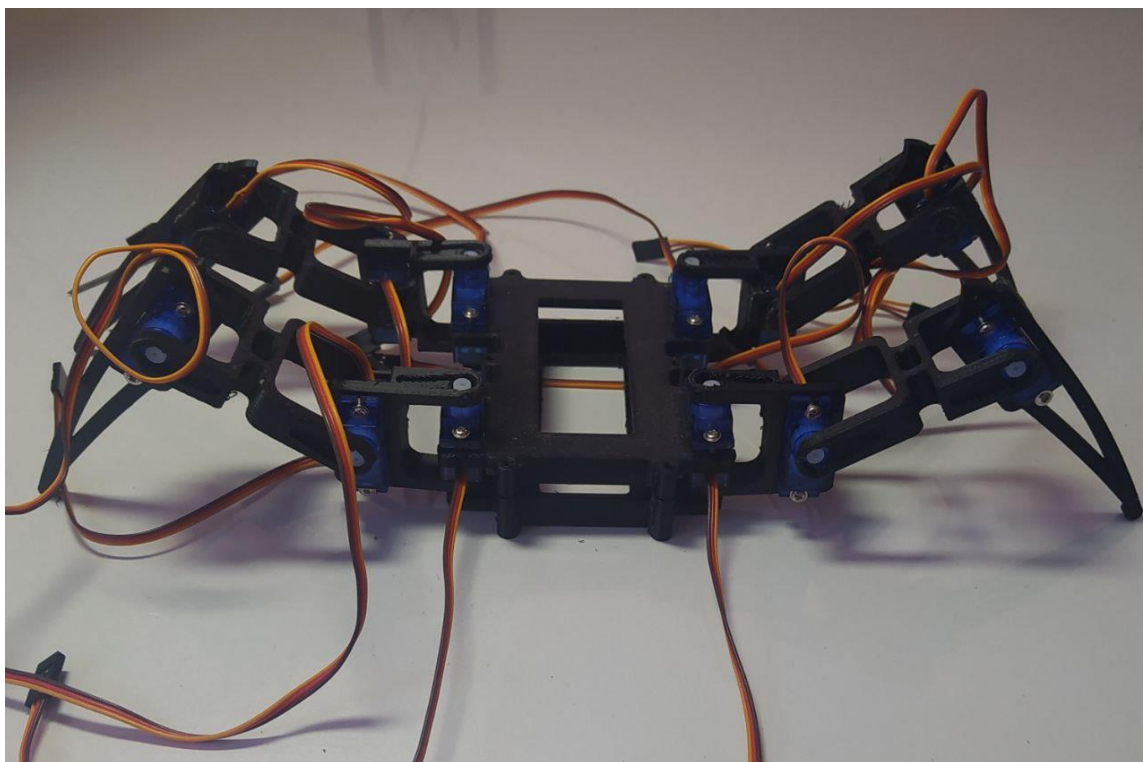


Рисунок 4.2.5 – Собранный скелет робота.

На этот скелет мы устанавливаем Arduino UNO и все остальные комплектующие которые можно увидеть в схеме Fritzing на рисунке 4.2.6

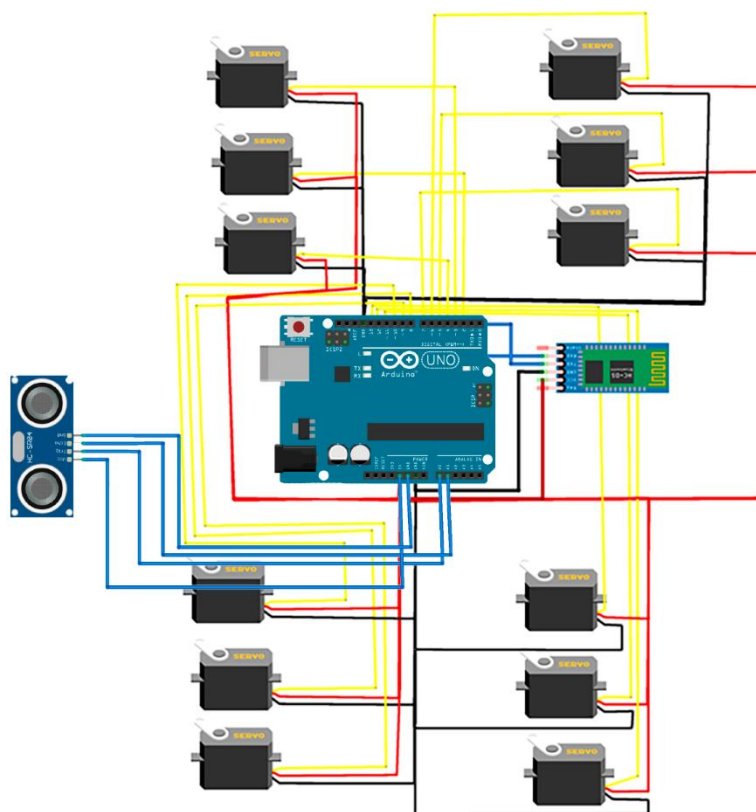


Рисунок 4.2.6 – Электрическая схема соединения деталей

При сборке устанавливается на каждый заданный пин которые запрограммированы в коде и соединяем сервоприводы, ультразвуковой дальномер, блютуз модуль и так же камеру. Окончательная сборка будет выглядеть как показано на рисунке 4.2.7.

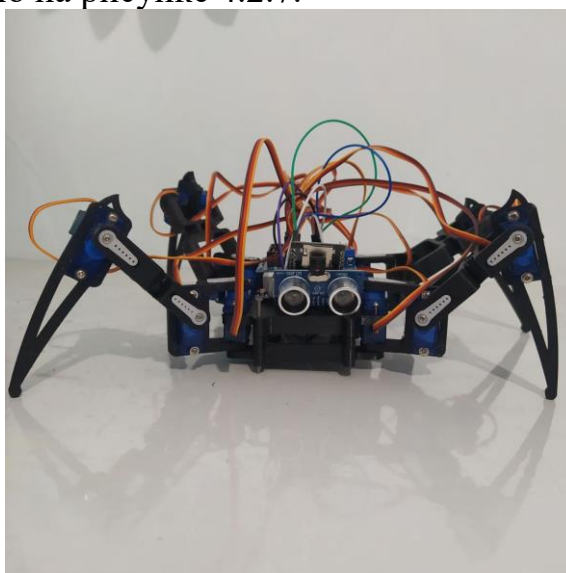


Рисунок 4.2.7 – Завершенная сборка робота.

После этого мы подключаем его к питанию и подключаемся по телефону на блютуз модуль, установленный на робота для управления, и подключаем камеру в том же приложений которую разбирали выше. И имеет доступ к управлению нашего робота. Этим же приложением мы управляем роботом нажимая на кнопки отправляются команды движения, тем самы он передвигается и при передаче картинки с камеры нет помех.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данной дипломной работе был проведен анализ шагающего вида движения, анализ техники ходьбы по количеству точек опоры шагающих роботов, анализ роботов для видеосъемки местности. Был проведен обзор существующих конструкций. На основе сделанного обзора и анализа была предложена конструкция шагающего робота с четырьмя ногами.

Выбрана форма лап схожая с пауком, которые закреплены по бокам туловища, что позволяет увеличить проходимость робота по сравнению с колесными.

Габариты робота были выбраны так, чтобы он был минимальных размеров, но достаточно вместимый для нужного оборудования и имел минимальный радиус разворота.

Построена трехмерная модель робота. Выполнен сборочный чертеж. Произведен расчет основных узлов робота. Спроектирована система управления через мобильное устройство.

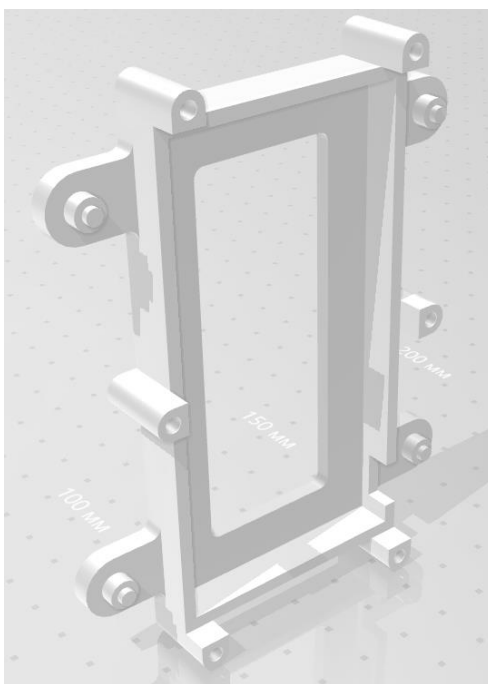
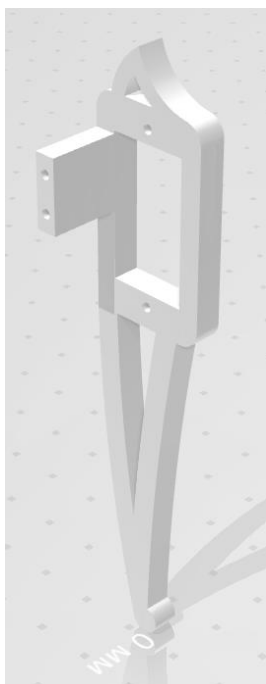
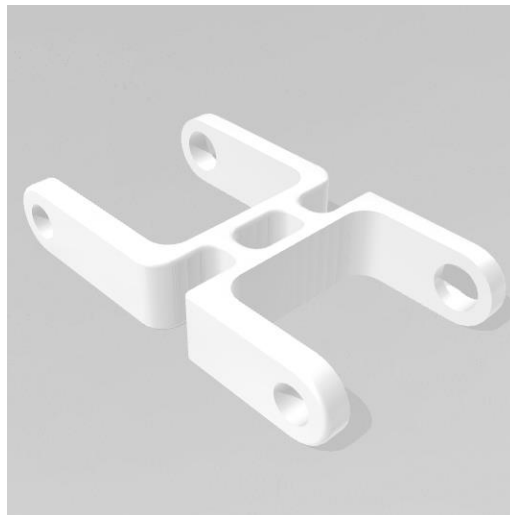
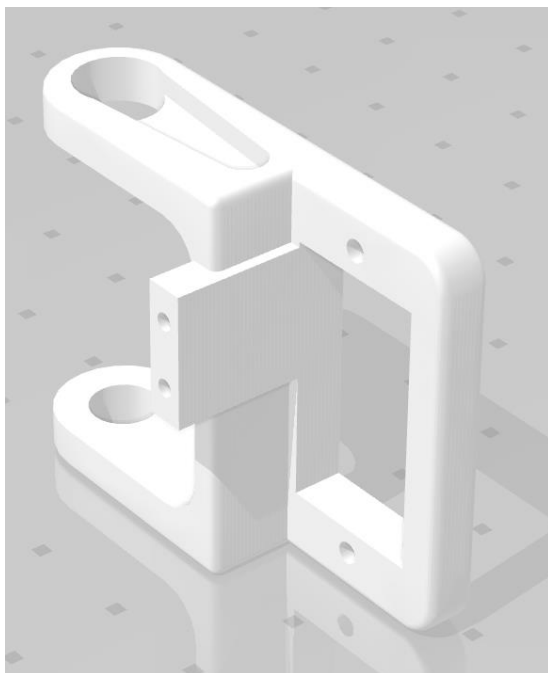
Реализована сборка макета шагающего робота. И проверена на работоспособность программного обеспечения

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Электронный ресурс, URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82>
- 2 Электронный ресурс, URL: <https://www.plantautomation-technology.com/articles/types-of-robots-based-on-configuration>
- 3 Fielding, M.R.; Dunlop, R.; Damaren, C.J. Hamlet: Force/Position controlled hexapod walker—Design and systems. In Proceedings of the IEEE Conference on Control Applications, Mexico City, Mexico, 5–9 September 2001; pp. 984–989.
- 4 Saranlı, U.; Buehler, M.; Koditschek, D.E. RHex—A simple and highly mobile hexapod robot. *Int. J. Robot. Res.* 2001, 20, 616–631.
- 5 Roennau, A.; Heppner, G.; Pfozter, L.; Dillman, R. Lauron V: Optimized leg configuration for the design of a bio-inspired walking robot. In Proceedings of the 16th International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines, Sydney, Australia, 14–17 July 2013; pp. 563–571.
- 6 Kennedy, B.; Okon, A.; Aghazarian, H.; Garrett, M.; Huntsberger, T.; Magnone, L.; Robinson, M.; Townsend, J. The lemur II-Class robots for inspection and maintenance of orbital structures: A system description. In Proceedings of the 8th International Conference on Climbing and Walking Robots (CLAWAR' 2005), London, UK, 13–15 September 2005; pp. 1069–1076.
- 7 Zielinska, T. Autonomous walking machines, discussion of the prototyping problems. Bulletin of the Polish academy of sciences. *Tech. Sci.* 2010, 58, 443–451.
- 8 Silva, M.F.; Tenreiro Machado, J.A. A historical perspective of legged robots. *J. Vib. Control* 2007, 13, 1447–1486.
- 9 Delcomyn, F.; Nelson, M.E. Architectures for a biomimetic hexapod robot. *Robot. Auton. Syst.* 2000, 30, 5–15
- 10 Preumont, A.; Alexandre, P.; Ghuys, D. Gait analysis and implementation of a six leg walking machine. In Proceedings of the Fifth International Conference on Advanced Robotics. Robots in Unstructured Environments (ICAR' 91), Pisa, Italy, 19–22 June 1991; Volume 2, pp. 941–945.
- 11 Takahashi, Y.; Arai, T. Development of multi-limb robot with omnidirectional manipulability and mobility. In Proceedings of the 2000 IEEE-RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Takamatsu, Japan, 31 October–5 November 2000; Volume 3, pp. 2012–2017.
- 12 Franklin, G.F. *Feedback Control of Dynamic Systems*; Addison-Wesley Longman Publishing Co.: Boston, MA, USA, 2002.
- 13 Billah, M.M.; Ahmed, M.; Farhana, S. Walking hexapod robot in disaster recovery developing algorithm for terrain negotiation and navigation. In *New Advanced Technologies*; Lazinica, A., Ed.; In Tech: Rijeka, Croatia, 2010.

- 14 Collins, J.J.; Stewart, I. Hexapodal gaits and coupled nonlinear oscillator models. *Biol. Cybern.* **1993**, *68*, 287–298.
- 15 Nava Rodríguez, N.E.; Carbone, G.; Ceccarelli, M.; Moreno Lorente, L.E. Design evolution of cassino hexapod robot. In Proceedings of the 10th Biennial ASME Conference on Engineering Systems Design and Analysis ESDA2010, Istanbul, Turkey, 12–14 July 2010.
- 16 Pfeiffer, F.; Eltze, J.; Weidemann, H. Six-legged technical walking considering biological principles. *Robot. Autom.* **1995**, *14*, 223–232.
- 17 Endo, G.; Hirose, S. Study on Roller-Walker: System integration and basic experiments. *Robot. Autom.* **1999**, *3*, 2032–2037
- 18 Song, S.M.; Waldron, K.J. An analytical approach for gait study and its applications on wave gaits. *Int. J. Robot. Res.* **1987**, *6*, 60–71.
- 19 Franklin, G.F. *Feedback Control of Dynamic Systems*; Addison-Wesley Longman Publishing Co.: Boston, MA, USA, 2002.
- 20 Collins, J.J.; Stewart, I. Hexapodal gaits and coupled nonlinear oscillator models. *Biol. Cybern.* **1993**, *68*, 287–298.

Приложение А



Приложение Б

```
* Includes -----*/
#include <Servo.h> //to define and control servos
#include <FlexiTimer2.h> //to set a timer to manage all servos

#include <SerialCommand.h>
SerialCommand SCmd; // The demo SerialCommand object

#include <NewPing.h>

/* Servos -----*/
//define 12 servos for 4 legs
Servo servo[4][3];
//define servos' ports
const int servo_pin[4][3] = { {2, 3, 4}, {5, 6, 7}, {8, 9, 10}, {11, 12, 13} };
/* Size of the robot -----*/
const float length_a = 55;
const float length_b = 77.5;
const float length_c = 27.5;
const float length_side = 71;
const float z_absolute = -28;
/* Constants for movement -----*/
const float z_default = -50, z_up = -30, z_boot = z_absolute;
const float x_default = 62, x_offset = 0;
const float y_start = 0, y_step = 40;
const float y_default = x_default;
/* variables for movement -----*/
volatile float site_now[4][3]; //real-time coordinates of the end of each leg
volatile float site_expect[4][3]; //expected coordinates of the end of each leg
float temp_speed[4][3]; //each axis' speed, needs to be recalculated before each movement
float move_speed; //movement speed
float speed_multiple = 1; //movement speed multiple
const float spot_turn_speed = 4;
const float leg_move_speed = 8;
const float body_move_speed = 3;
const float stand_seat_speed = 1;
volatile int rest_counter; //+1/0.02s, for automatic rest
//functions' parameter
const float KEEP = 255;
//define PI for calculation
const float pi = 3.1415926;
/* Constants for turn -----*/
//temp length
const float temp_a = sqrt(pow(2 * x_default + length_side, 2) + pow(y_step, 2));
const float temp_b = 2 * (y_start + y_step) + length_side;
const float temp_c = sqrt(pow(2 * x_default + length_side, 2) + pow(2 * y_start + y_step + length_side, 2));
const float temp_alpha = acos((pow(temp_a, 2) + pow(temp_b, 2) - pow(temp_c, 2)) / 2 / temp_a / temp_b);
//site for turn
const float turn_x1 = (temp_a - length_side) / 2;
const float turn_y1 = y_start + y_step / 2;
const float turn_x0 = turn_x1 - temp_b * cos(temp_alpha);
const float turn_y0 = temp_b * sin(temp_alpha) - turn_y1 - length_side;

/* Constants for Ultrasonic ----- */
#define TRIGGER_PIN A1
#define ECHO_PIN A2
#define MAX_DISTANCE 200
boolean sonar_mode=false;
boolean freewalk_mode=false;
unsigned int avoid_dist=25;
NewPing sonar(TRIGGER_PIN, ECHO_PIN, MAX_DISTANCE);
```

Продолжение приложения Б

```
void setup()
{
  //start serial for debug
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Robot starts initialization");

  SCmd.addCommand("w", action_cmd);

  SCmd.setDefaultHandler(unrecognized);

  //initialize default parameter
  set_site(0, x_default - x_offset, y_start + y_step, z_boot);
  set_site(1, x_default - x_offset, y_start + y_step, z_boot);
  set_site(2, x_default + x_offset, y_start, z_boot);
  set_site(3, x_default + x_offset, y_start, z_boot);
  for (int i = 0; i < 4; i++)
  {
    for (int j = 0; j < 3; j++)
    {
      site_now[i][j] = site_expect[i][j];
    }
  }
  //start servo service
  FlexiTimer2::set(20, servo_service);
  FlexiTimer2::start();
  Serial.println("Servo service started");
  //initialize servos
  servo_attach();
  Serial.println("Servos initialized");
  Serial.println("Robot initialization Complete");

  pinMode(TRIGGER_PIN, OUTPUT); // Sets the trigPin as an Output
  pinMode(ECHO_PIN, INPUT); // Sets the echoPin as an Input
  void servo_attach(void)
  {
    for (int i = 0; i < 4; i++)
    {
      for (int j = 0; j < 3; j++)
      {
        servo[i][j].attach(servo_pin[i][j]);
        delay(100);
      }
    }
  }

  void servo_detach(void)
  {
    for (int i = 0; i < 4; i++)
    {
      for (int j = 0; j < 3; j++)
      {
        servo[i][j].detach();
        delay(100);
      }
    }
  }

  void do_test(void)
  {
    Serial.println("Stand");
  }
}
```

Продолжение приложения Б

```
stand();
delay(2000);
Serial.println("Step forward");
step_forward(5);
delay(2000);
Serial.println("Step back");
step_back(5);
delay(2000);
Serial.println("Turn left");
turn_left(5);
delay(2000);
Serial.println("Turn right");
turn_right(5);
delay(2000);
Serial.println("Hand wave");
hand_wave(3);
delay(2000);
Serial.println("Hand shake");
hand_shake(3);
delay(2000);
Serial.println("Body dance");
body_dance(10);
delay(2000);
Serial.println("Sit");
sit();
delay(5000);
}
```