

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»



**SATBAYEV
UNIVERSITY**

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»

Специальность 6В07111– Робототехника и мехатроника

Сексенбаева Жаннат Кайыпбекқызы

Разработка колесного робота автосопровождения

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту

Специальность 6В07111– Робототехника и мехатроника

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»



SATBAYEV
UNIVERSITY

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»



ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема: «Разработка колесного робота автосопровождения»

по специальности 6В07111 – Робототехника и мехатроника

Выполнила

Сексенбаева Ж.К.

Рецензент

Научный руководитель

Доктор технических наук,
ассоциированный профессор

Магистр технических наук,
старший преподаватель

Джомартов А.А.

Бигалиева Ж.С.

подпись

ФИО

«25» май 2023 ж.

«25» май 2023 ж.

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»



SATBAYEV
UNIVERSITY

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»

6B07111 – Робототехника и мехатроника



ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Сексенбаева Жаннат Кайыпбеккызы

Тема: Разработка колесного робота автосопровождения

Утверждена приказом Ректора Университета № 408 от 23 ноября 2023г.

Срок сдачи законченной работы 26 мая 2023г.

Исходные данные к дипломной работе: Arduino UNO, КОМПАС-3D

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:

- Выбрать элементы для аппаратного обеспечения робота;
- Создать 3D-модель робота в программе КОМПАС-3D;
- Собрать колесный робот автосопровождения;
- Разработать алгоритм и реализовать программное управление мобильным роботом на программе Arduino;

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

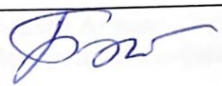
Представлены 17 слайдов презентации работы

Рекомендуемая основная литература: из 20 наименований 20

ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Теоретическая часть	10.01 – 15.03	Выполнено
Программная часть	16.03 – 20.04	Выполнено
Практическая часть	20.04 – 10.05	Выполнено

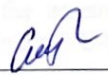
Подписи
консультантов и нормоконтролера на законченный дипломный проект с указанием относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Ж.С. Бигалиева, магистр технических наук, старший преподаватель	26.03.	
Основная часть	Ж.С. Бигалиева, магистр технических наук, старший преподаватель	26.03	
Практическая часть	Ж.С. Бигалиева, магистр технических наук, старший преподаватель	26.03	

Научный руководитель

 Бигалиева Ж.С.

Задание принял к исполнению обучающийся

 Сексенбаева Ж.К.

Дата

"26" май 2023г.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста адамнан кейін жүкпен қозғалатын дөңгелекті роботты дамыту жүзеге асырылды.

Роботты орналастырудың негізгі технологияларына шолу және нарықта жасалған роботтың прототиптерін талдау сипатталған.

Құрастыру кезінде келесі элементтер қолданылды: Arduino Uno микроконтроллері, Ardumoto L298N контроллері, HC-SR ультрадыбыстық қашықтық өлшегіш, E18-D80NK инфрақызыл сенсорлары, редуктор.

Мобильді роботтың жұмыс алгоритмі жасалды және Arduino бағдарламасы арқылы роботты басқарудың бағдарламалық бөлігі енгізілді.

Нәтижесінде қолданыстағы дөңгелекті робот құрастырылды.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе реализована разработка колесного робота автосопровождения, который передвигается с грузом, следуя за человеком.

Был описан обзор основных технологий позиционирования роботов и анализ прототипов разработанного робота на рынке.

При сборке были применены следующие элементы: микроконтроллер Arduino Uno, контроллер Ardumoto L298N, ультразвуковой дальномер HC-SR, инфракрасные датчики E18-D80NK, мотор-редуктор.

Был разработан алгоритм работы мобильного робота и реализовано программная часть управления роботом с помощью программы Arduino.

В результате собран действующий колесный робот автосопровождения.

ANNOTATION

In this thesis, the development of a wheeled auto-guiding robot, which moves with a load, following a person, was implemented.

An overview of the main robot positioning technologies and an analysis of prototypes of the developed robot on the market were described.

The following elements were used in the assembly: microcontroller Arduino Uno, controller Ardumoto L298N, ultrasonic rangefinder HC-SR, infrared sensors E18-D80NK, geared motor.

An algorithm of the mobile robot was developed and the software part of the robot control with the help of Arduino program was implemented.

As a result, a functioning wheeled auto-guiding robot was assembled.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Основная часть	8
1.1 Колесный робот автосопровождения	8
1.2 Обзор основных технологий позиционирования роботов	9
1.3 Анализ аналогичных систем на рынке	12
2 Конструкторская часть	14
2.1 Плата Arduino Uno	14
2.2 Контроллер Ardumoto L298N	16
2.3 Ультразвуковой дальномер HC-SR	18
2.4 Инфракрасный датчик E18-D80NK	20
2.5 Мотор-редуктор	21
2.6 Литий-ионный аккумулятор	22
3 Разработка системы управления колесного робота автосопровождения	23
3.1 Алгоритм движения системы робота	23
3.2 ПИД-регулятор	25
3.3 Экономические расчеты	27
4 Практическая часть	28
4.1 Реализация колесного робота автосопровождения	28
Заключение	32
Список использованной литературы	33
Приложение А	35
Приложение В	39

ВВЕДЕНИЕ

Сфера применения мобильной робототехники быстро развивается и в последнее время приобретает все большее значение. Благодаря технологическому прогрессу мобильные роботы стали более эффективными, интеллектуальными и адаптивными к окружающей среде. Сегодня мобильные роботы используются в самых разных отраслях, включая промышленную автоматизацию, грузоперевозки, здравоохранение, развлечения и даже освоение космоса.

В данном дипломном проекте рассматривается один из важных направлений использования мобильного робота в логистике и транспортировке, где он может помогать рабочим перемещать грузы.

Создание роботов, которые могут помочь в транспортировке продуктов за человеком, в последние годы вызывает интерес как одна из областей мобильной робототехники. Такие роботы следуют за человеком-оператором во время транспортировки груза, освобождая оператора от тяжелого физического труда по поднятию больших предметов. Эта технология находит применение в различных отраслях, включая здравоохранение, где роботы могут помочь в транспортировке медицинских препаратов и оборудования, а также в розничной торговле, где они могут помочь сотрудникам переносить крупные или тяжелые предметы.

Актуальность роботов-грузоперевозчиков важна во многих аспектах. Они могут повысить эффективность труда за счет сокращения времени и усилий, необходимых для перемещения крупных или тяжелых грузов, а также безопасность на рабочем месте за счет снижения опасности получения травм при подъеме тяжелых предметов. Для небольших фирм, которые не могут позволить себе инвестировать в дорогостоящее транспортное оборудование, они также могут стать более экономичным и рентабельным выбором.

Целью дипломного проекта является разработка колесного робота автосопровождения, который будет следовать за человеком и выполнять роль грузоперевозчика в складах.

Основными задачами проекта являются:

- Выбрать элементы для аппаратного обеспечения робота;
- Создать 3D-модель робота в программе КОМПАС-3D;
- Собрать колесный робот автосопровождения;
- Разработать алгоритм и реализовать программное управление

мобильным роботом на программе Arduino;

1 Основная часть

1.1 Колесный робот автосопровождения

Колесный робот автосопровождения - это робот, способный передвигаться на колесах и автономно перемещаться, следуя за человеком. Она разработана для автоматического сопровождения людей в различных средах, включая, но не ограничиваясь складами, логистическими центрами, заводами, больницами, торговыми центрами, аэропортами и т.д. Такие роботы могут эффективно, интеллектуально, безопасно и надежно перемещаться за людьми, неся определенный груз.

Для определения окружающей обстановки в реальном времени и автономной навигации данное устройство обычно оснащается самыми современными сенсорными технологиями, такими как LIDAR, датчики зрения, ультразвуковые датчики и т.д. Кроме того, он оснащен высокопроизводительными процессорами и алгоритмами для осознания окружающей среды, планирования пути, избегания препятствий и следования. В дополнении, также может общаться и взаимодействовать с людьми или другими устройствами в режиме реального времени с помощью технологии беспроводной связи [1].

Технические особенности колесных роботов

Как особый тип робота, колесный робот имеет несколько существенных технических особенностей в управлении складом и обработке грузов:

1) Возможности автономной навигации: оснащение передовыми системами навигации и позиционирования, которые обеспечивают автономную навигацию и планирование пути в условиях склада.

2) Гибкость и мобильность: Колесные роботы обычно имеют четыре или более колес, что обеспечивает хорошую маневренность и гибкость. Они могут свободно перемещаться в узких складских проходах и сложных условиях, а также достаточно гибки, чтобы справиться с потребностями обработки грузов различных форм, размеров и веса [2].

В данном проекте используется четырехколесная структура, гарантируя мощность и стабильность.

3) Интеллектуальные сенсорные возможности: использование различными датчиками, такими как LIDAR, камеры и ультразвуковые датчики, чтобы чувствовать окружающую обстановку.

4) Возможность совместной работы: способность сотрудничества с людьми, повышая эффективность труда.

Преимущества и недостатки колесных роботов на складах, которые автоматически следуют за человеком при перемещении грузов

Применение колесных роботов на складах, которые автоматически следуют за человеком при перемещении товаров, имеет много преимуществ, включая:

- 1) Повышение эффективности управления складом, а именно сокращая время и стоимость ручных операций;
- 2) Обеспечение безопасной обработки грузов;
- 3) Улучшение работы персонала: снижение рабочей нагрузки на персонал. Тем самым, персонал может сосредоточиться на других задачах с высокой добавленной стоимостью, что повышает его опыт работы и удовлетворенность работой;
- 4) Масштабируемость и гибкость: Количество колесных роботов и их рабочая зона могут гибко регулироваться в зависимости от масштаба и потребностей склада, адаптируясь к различным складским условиям и требованиям бизнеса. Колесные роботы также могут быть интегрированы с другим логистическим оборудованием и системами для достижения более высокого уровня автоматизации и интеллекта.

К недостаткам данного сопровождения относятся:

- 1) Ограничения в технологии зондирования и навигации, то есть адаптация и избегание препятствий в сложных условиях склада;
- 2) Работа с людьми, чтобы следовать за ними и сотрудничать необходимо преодолеть многочисленные сложности, такие как язык, движение и поза;
- 3) Высокая стоимость технологий.

1.2 Обзор основных технологий позиционирования роботов

Приведем ниже обзор на основные технологий позиционирования роботов:

1) Технология ультразвуковой навигации и позиционирования мобильных роботов

Принцип работы основан на излучении передающим зондом ультразвукового датчика. Затем ультразвуковые волны сталкиваются с препятствиями в среде и возвращаются к приемному устройству.

Принимая отраженный сигнал ультразвуковой волны, излучаемой им самим, рассчитывается расстояние распространения S в соответствии с разницей во времени между излучаемой и принимаемой ультразвуковой волной и скоростью распространения, и может быть получено расстояние от препятствия до робота, то есть существует формула: $S = T \cdot v / 2$, где T - разница во времени между излучаемой и принимаемой ультразвуковой волной; v - скорость распространения ультразвуковой волны в среде.

Ультразвуковые датчики уже давно используются в навигации и позиционировании мобильных роботов благодаря своей низкой стоимости, высокой скорости сбора информации и высокому разрешению по расстоянию. Кроме того, при сборе информации об окружающей среде не требуется сложная технология оборудования для обработки изображений, поэтому скорость измерения дальности высокая, а производительность в реальном времени хорошая.

В то же время ультразвуковые датчики не подвержены влиянию внешних условий окружающей среды, таких как погодные условия, окружающий свет и тень от препятствий, шероховатость поверхности и т.д.

2) Технология навигации и позиционирования с использованием инфракрасных датчиков

Технология основана на использовании инфракрасных датчиков для обнаружения и анализа отражающих свойств окружающей робота среды.

Один из распространенных подходов к навигации с помощью инфракрасных датчиков заключается в использовании набора датчиков, расположенных на корпусе робота, например, на передней и боковых сторонах робота. Датчики испускают инфракрасные лучи света и регистрируют отражение света от объектов в окружающей среде. Анализируя интенсивность и распределение отраженного света, робот может определить свое местоположение и ориентацию относительно окружающей среды.

Основными преимуществами являются ее низкая стоимость, простота и доступность. Технология также относительно надежна и хорошо работает в условиях низкой освещенности. Однако инфракрасные датчики имеют свой минус – это ограниченный радиус действия и поэтому они могут плохо работать в средах с сильно отражающими или поглощающими поверхностями. Чтобы преодолеть эти ограничения, данная технология часто сочетается с другими способами измерения, такими как ультразвуковые датчики или компьютерное зрение. Это позволяет мобильным роботам получить более полное представление об окружающей среде и достичь более точной навигации и позиционирования [3].

Робот, разработанный в дипломном проекте, сочетает в себе технологию инфракрасных датчиков с использованием ультразвукового дальномера.

3) Технология визуального позиционирования мобильных роботов

В этом методе навигации управляющее оборудование и датчики устанавливаются на корпусе робота, а решения высокого уровня, такие как распознавание изображений и планирование пути, выполняются бортовым управляющим компьютером.

Основными компонентами являются: камера, оборудование для оцифровки видеосигнала, быстрый сигнальный процессор на базе DSP, компьютер и его периферийные устройства. Во многих робототехнических

системах сейчас используются ПЗС-датчики изображения, базовым элементом которых является ряд кремниевых формирующих элементов, на подложке которых располагаются светочувствительный элемент, и устройство переноса заряда по площади матричный ПЗС-датчик может варьироваться от 32×32 до 1024×1024 пикселей и так далее [4].

Принцип работы: камера нужна для сбора информации об изображении, затем полученное изображение оно сжимается и передается дальше в подсистему обучения. Далее она начинает связывать полученную информацию о изображении с положением робота в реальном времени, чтобы завершить тем самым его автономную функцию навигации робота.

4) Технология SLAM

SLAM с момента своего появления в 1988 году, в основном используется для изучения интеллекта движения роботов. Для полностью неизвестной внутренней среды, при оснащении основными датчиками, такими как LIDAR, технология SLAM может помочь роботам построить карты внутренней среды и помочь им ходить автономно.

Задачу SLAM можно описать так: робот начинает двигаться из неизвестного положения в неизвестной среде, определяет свое местоположение в соответствии с оценкой положения и данными датчиков во время движения и одновременно строит инкрементную карту.

Методы реализации технологии SLAM в основном включают VSLAM, Wi-Fi SLAM и LiDAR SLAM [4].

4.1) VSLAM (визуальный SLAM)

Метод использует видеокamеры, Kinect и других камер глубины для навигации и исследования в помещении.

Его принцип работы: сбор информации о изображении с помощью камеры, затем идет его обработка и дальнейшая связь с фактическим положением робота.

4.2) Wi-Fi SLAM

Использует в смартфонах нескольких сенсорных устройств для определения местоположения, включая Wi-Fi, GPS, гироскоп, акселерометр и магнитометр, и составляет точные карты помещений на основе данных, полученных с помощью таких алгоритмов, как машинное обучение и распознавание образов.

4.3) LiDAR SLAM

Используется в качестве датчика для получения картографических данных, чтобы робот мог осуществлять одновременное позиционирование и построение карты.

Плюсы LiDAR: точность навигации и хорошая адаптация к среде. Главный его минус – высокая цена.

1.3 Анализ аналогичных систем на рынке

В последние годы рынок колесных роботизированных грузовых систем набрал значительную популярность благодаря появлению множества передовых автономных мобильных роботов, предназначенных для обработки материалов, транспортировки и автоматизации задач в различных отраслях промышленности.

Так во время исследования выяснилось, что большинство роботов схожи между собой. В основном они используют 3D камеру и лазерные дальномеры, такие как LIDAR.

В качестве аналогов моего робота были взяты 2 мобильных робота.

Первый робот (рисунок 1.3)- это автономная мобильная база Freight для использования на складах для перевозки материалов из пункта А в пункт Б. В основе лежит встроенная 3D-камера и лидар для обзора и обхода препятствий. Что касается грузоподъемности, оно доходит до 70 кг. Конструкция его такова, что он сверху имеет множество точек крепления, как показано на рисунке [5]. Так что при желании можно установить на него полки или любую другую специфическую систему транспортировки грузов, которая лучше всего подходит для склада.

Главный его недостаток- это высокая стоимость.



Рисунок 1.3 – Робот Freight, США [5]

Второй робот Gita использует компьютерное сенсорное зрение, что позволяет ему с легкостью следовать за пользователями как в помещении, так и на улице [6]. Также выполняет роль грузоперевозчика, но уже в повседневной жизни (рисунок 1.4).

Но минусом является большая цена и приложение с помощью, которого нужно соединиться с данным устройством [7].



Рисунок 1.4 – Робот Gita, США [6]

2 Конструкторская часть

2.1 Плата Arduino Uno

Arduino Uno — это плата микроконтроллера, основанная на 8-битном микроконтроллере ATmega328P. Наряду с ATmega328P он состоит из других компонентов, таких как кварцевый генератор, последовательная связь, регулятор напряжения и т. д. для поддержки микроконтроллера (рисунок 2.1).

Arduino Uno поставляется с интерфейсом USB, 6 аналоговыми входными контактами, 14 цифровыми портами ввода-вывода, которые используются для подключения к внешним электронным схемам. Из 14 портов ввода-вывода 6 контактов можно использовать для выхода ШИМ. Это позволяет разработчикам контролировать и ощущать внешние электронные устройства в реальном мире.

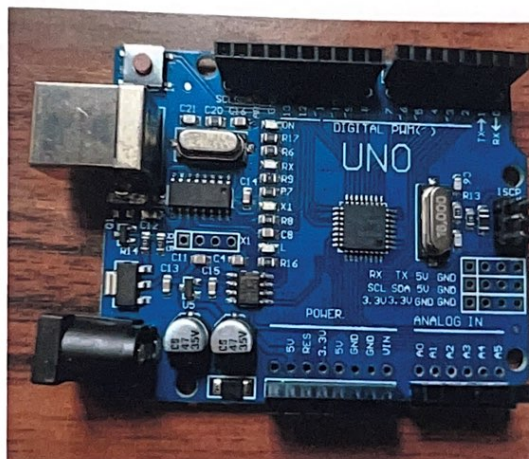


Рисунок 2.1 – Плата Arduino Uno

Технические характеристики Arduino Uno приведены в таблице 2.1 [8].

Таблица 2.1– Технические характеристики Arduino Uno

Микроконтроллер	ATmega38P - 8-битный микроконтроллер семейства AVR
Рабочее напряжение	5В
Рекомендуемое входное напряжение	7-12В
Пределы входного напряжения	6-20В
Аналоговые входные контакты	6 (A0-A5)
Контакты цифрового ввода/вывода	14 (из которых 6 обеспечивают выход ШИМ)

Постоянный ток на контактах ввода/вывода	40 мА
Постоянный ток для вывода 3,3 В	50 мА
Флэш-память	32 КБ (0,5 КБ используется для загрузчика)
ОЗУ	2 кБ
EEPROM	1 кБ
Частота (тактовая частота)	16 МГц

Продолжение таблицы 2.1

Далее приводится информация о контактах Arduino Uno в таблице 2.2 [9].
Таблица 2.2 – Описание контактов Arduino Uno

Категория контактов	Имя контакта	Описание
Power	Vin, 3,3 В, 5 В, GND	Vin: Входное напряжение на Arduino при использовании внешнего источника питания. 5 В: Регулируемый источник питания, используемый для питания микроконтроллера и других компонентов на плате. 3,3 В: питание 3,3 В, генерируемое встроенным регулятором напряжения. Максимальный потребляемый ток 50 мА. GND: контакты заземления.
Reset	Reset	Сбрасывает микроконтроллер.
Аналоговые контакты	A0-A5	Используется для обеспечения аналогового входа в диапазоне 0-5В
Входные/выходные контакты	Входные/выходные контакты	Может использоваться как входные или выходные контакты.
Serial	0 (прием), 1 (передача)	Используется для приема и передачи последовательных данных TTL.
Внешние прерывания	2, 3	Чтобы вызвать прерывание.
ШИМ	3, 5, 6, 9, 11	Обеспечивает 8-битный выход ШИМ.
SPI	10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) и 13 (SCK)	Используется для связи SPI.
Встроенный светодиод	13	Для включения встроенного светодиода.
I2C	A4 (SDA), A5 (SCA)	Используется для связи I2C.
AREF	Аналоговый Ссылка	Для обеспечения опорного напряжения для входного напряжения.

2.2 Контроллер Ardumoto L298N

L298N — это драйвер двигателей с двойным H-мостом, который позволяет одновременно управлять скоростью и направлением двигателей постоянного тока. Модуль может управлять двигателями постоянного тока с напряжением от 5 до 35В и пиковым током до 2А (рисунок 2.2) [10].

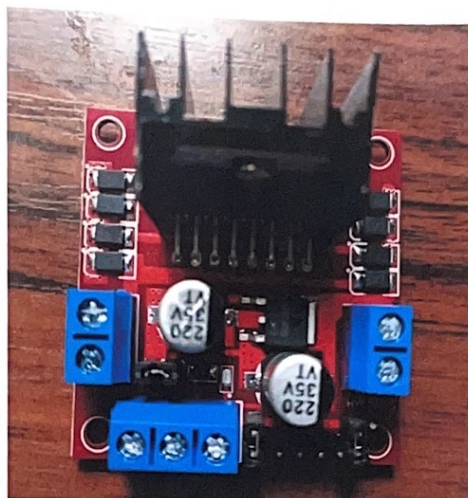


Рисунок 2.2 – Драйвер двигателей Ardumoto L298N

Технические характеристики [10]:

- Логическая часть входного напряжения: 6 ~ 12В;
- Управляемая часть входного напряжения V_s : 4.8 ~ 46V;
- Логическая часть рабочего тока I_c : 36mA;
- Управляемая часть рабочего тока I_o : 2A;
- Максимальная рассеиваемая мощность: 25 Вт ($T = 75$ градусов

Цельсия);

- Рабочая температура: -25 градусов Цельсия ~ +130 градусов

Цельсия;

- Тип привода: Двойной мощный H-мостовой драйвер;
- Размер модуля: 47 мм × 53 мм;
- Вес модуля: около 29 г.

Выводы:

- OUT 1 – вывод двигателя А;
- OUT 2 – вывод двигателя А;
- OUT 3 – Выход двигателя В;
- OUT 4 – Двигатель (5v-35v);
- IN 1 – Включить двигатель А;
- IN 2 – Включить двигатель А;
- IN 3 – Включить двигатель В;

- IN 4 – Включить двигатель В;
- Enable B – Включить сигнал PWM.

Модуль имеет две винтовые клеммные колодки для двигателей А и В и еще одну винтовую клеммную колодку для контакта заземления, VCC для двигателя и контакт 5В, который может быть входом или выходом. Контакты Enable A и Enable B используются для включения и управления скоростью двигателя. Если на этом выводе установлена переключка, двигатель будет включен и будет работать на максимальной скорости, а если мы уберем переключку, то сможем подключить к этому выводу ШИМ-вход и таким образом управлять скоростью двигателя. Если мы подключим этот контакт к земле, двигатель будет отключен.

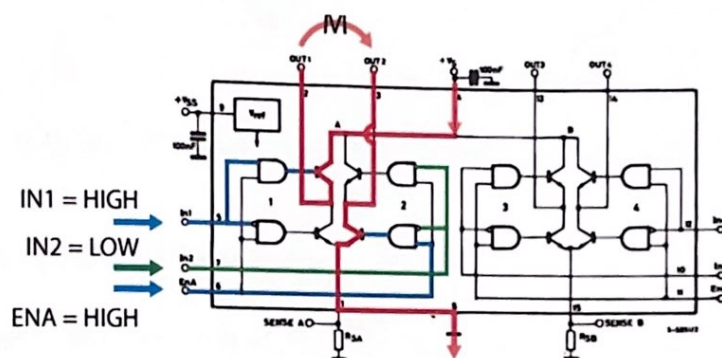


Рисунок 2.3 – Блок-схема L298N

Контакты Input 1 и Input 2 используются для управления направлением вращения двигателя А, а входы 3 и 4 — для двигателя В. С помощью этих контактов мы фактически управляем переключателями Н-моста внутри микросхемы L298N (рисунок 2.3). Если вход 1 НИЗКИЙ, а вход 2 ВЫСОКИЙ, двигатель будет двигаться вперед, и наоборот, если вход 1 ВЫСОКИЙ, а вход 2 НИЗКИЙ, двигатель будет двигаться назад. Если оба входа совпадают, НИЗКИЙ или ВЫСОКИЙ, двигатель остановится. То же самое относится к входам 3 и 4 и двигателю В [11].

Ниже приводится принципиальная схема драйвера двигателей Ardumoto L298N на рисунке 2.4 [12].

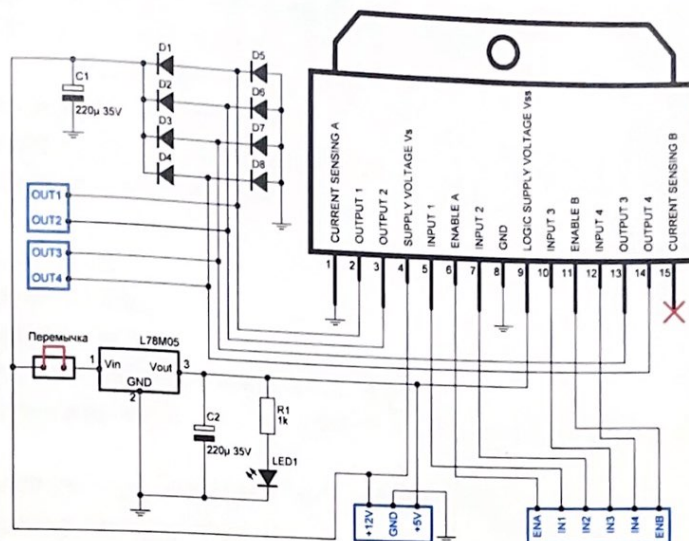


Рисунок 2.4 – Принципиальная схема модуля L298N

2.3 Ультразвуковой дальномер HC-SR

Для измерения расстояния между человеком и роботом выбран ультразвуковой модуль с одним передатчиком и одним приемником (рисунок 2.5).

Ультразвуковой датчик расстояния HC-SR04 — это датчик, используемый для определения расстояния до объекта с помощью сонара.



Рисунок 2.5 – Ультразвуковой дальномер HC-SR04

Характеристики ультразвукового датчика дальности HC-SR04

[13]:

- Входное напряжение: 5 В;
- Потребляемый ток: 20 мА (макс.);
- Цифровой выход: 5 В;

- Цифровой выход: 0 В (низкий);
- Рабочая температура: от -15°C до 70°C;
- Угол обнаружения: конус 30 °;
- Угол действия: конус 15°;
- Ультразвуковая частота: 40 кГц;
- Диапазон: 2 см - 400 см.

Размеры:

- Длина: 43 мм;
- Ширина: 20 мм;
- Высота (с передатчиками): 15 мм;
- Расстояние между отверстиями центрального винта: 40 мм x 15 мм;
- Диаметр отверстия под винт: 1 мм (M1);
- Диаметр передатчика: 8 мм;

НС-SR04 использует бесконтактный ультразвуковой сонар для измерения расстояния до объекта и состоит из двух ультразвуковых передатчиков (в основном динамиков), приемника и схемы управления (рисунок 2.6).

Принцип его работы таков, что передатчики излучают высокочастотный ультразвуковой звук, который отражается от любых близлежащих твердых объектов, а приемник прислушивается к любому отраженному эху. Затем это эхо обрабатывается схемой управления для расчета разницы во времени между передаваемым и принимаемым сигналом.

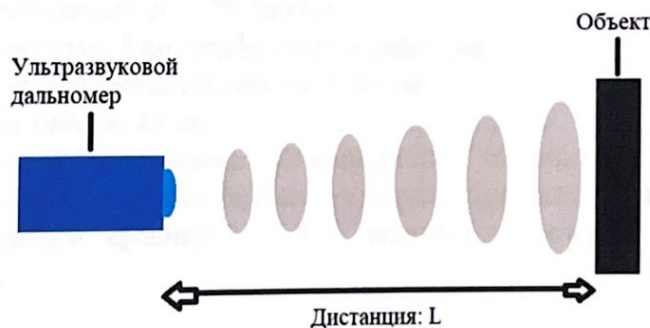


Рисунок 2.6 – Измерение расстояния ультразвукового дальномера НС-SR04

Расстояние можно рассчитать по следующей формуле (2.1):

$$L = \frac{1}{2} * T * C \quad (2.1)$$

где L — расстояние, T — время между излучением и приемом, C — скорость звука. Значение умножается на 1/2, поскольку

T — это время пути туда и обратно [14].

2.4 Инфракрасный датчик E18-D80NK

E18-D80NK — это бесконтактный датчик обнаружения, обеспечивающий цифровой выход, когда объект попадает в определенный диапазон (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Инфракрасный датчик E18-D80NK

Ниже приведены некоторые характеристики инфракрасного датчика приближения E18-D80NK [15]:

- 1) Входное напряжение: 5В;
- 2) Потребляемый ток: 25-100 мА;
- 3) Тип датчика: Тип диффузного отражения;
- 4) Диапазон чувствительности: 3-80 см;
- 5) Длина кабеля: 45 см.

В таблице 2.3 показана конфигурация контактов ИК-датчика приближения. Он имеет 3 выходных провода, которые обычно имеют цветовую маркировку: красный — VCC, зеленый — земля, а желтый — цифровой выход.

Таблица 2.3 – Описание контактов ИК-датчика

Тип контакта/ Цвет провода	Описание контакта
VCC (красный)	Входное напряжение (+ 5 В)
GND (зеленый)	Клемма заземления
Digital pin (желтый)	Выход цифрового сигнала

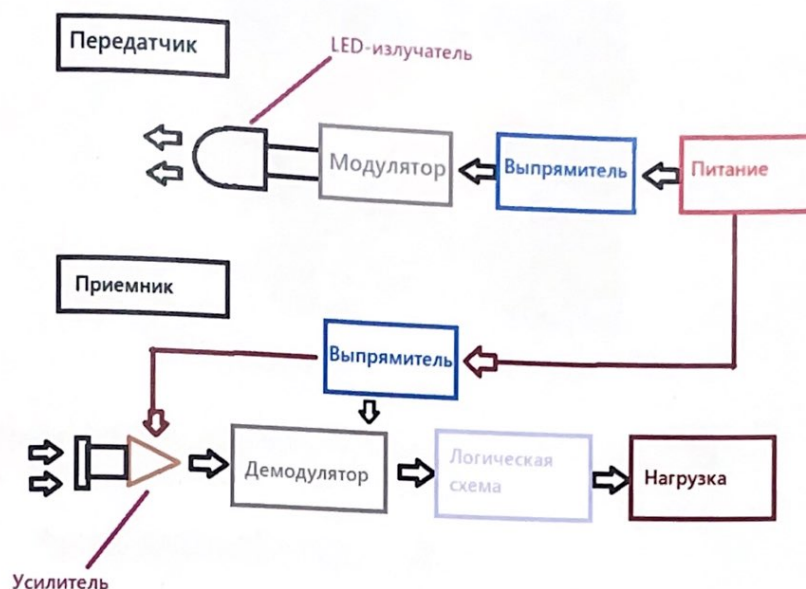


Рисунок 2.8 – Функциональная схема E18-D80NK

Как видно из рисунка 2.8, технология, лежащая в основе этого модуля, использует модуляцию инфракрасного света, а приемная часть обнаруживает инфракрасный свет только тогда, когда собирает правильный сигнал. Таким образом, сокращается сбор помех от окружающего света [15].

2.5 Мотор-редуктор

Редукторный двигатель — это механическое устройство, состоящее из электродвигателя и редуктора, отличающееся от двигателя постоянного тока более низкими оборотами и более высоким крутящим моментом (рисунок 2.9).

Технические характеристики [16]:

- Напряжение питания-12В;
- Скорость холостого хода при 12 В-300 об/мин;
- Ток холостого хода при 12 В-0,06А;
- Ток остановки при 12 В-0,75А;
- Крутящий момент при остановке при 12 В-1,3 кг-см;
- Размер-10 мм × 12 мм × 26 мм.



Рисунок 2.9 –Мотор-редуктор

В данном проекте использованы четыре мотора-редуктора.

2.6 Литий-ионный аккумулятор

Литий-ионный аккумулятор обеспечивает 3,7 В – в режиме хранения и 4,2 В – в режиме полной зарядки. В работе используются две литий-ионные батареи (рисунок 2.10).

Технические характеристики [17]:

- Бренд: LiitoKala;
- Тип аккумулятора: ICR 18500 3,7 В 1600 мАч литий-ионный аккумулятор;
- Модель: Lii-16C;
- Напряжение: 3,7 В;
- Напряжение хранения: 3,7-3,9 В;
- Напряжение отключения зарядки: 4.2V;
- Емкость: 1600 мАч;
- Размер: 18 * 50 ± 1 мм;
- Верх батареи: плоский верх;
- Материал: Литий-ионный аккумулятор ICR;
- Цикл зарядки: не менее 600 циклов.



Рисунок 2.10 – Литий-ионный аккумулятор [17]

3 Разработка системы управления колесного робота автосопровождения

Разработанный робот состоит из таких компонентов, как:

- Платформа Arduino Uno;
- Ультразвуковой дальномер HC-SR04;
- Ardumoto L298N контроллер;
- Инфракрасные датчики E18-D80NK;
- Редукторный двигатель;
- Внешний источник питания.

Схема подключения данных элементов на рисунке 3.1 была реализована на онлайн-программе Tinkercad.

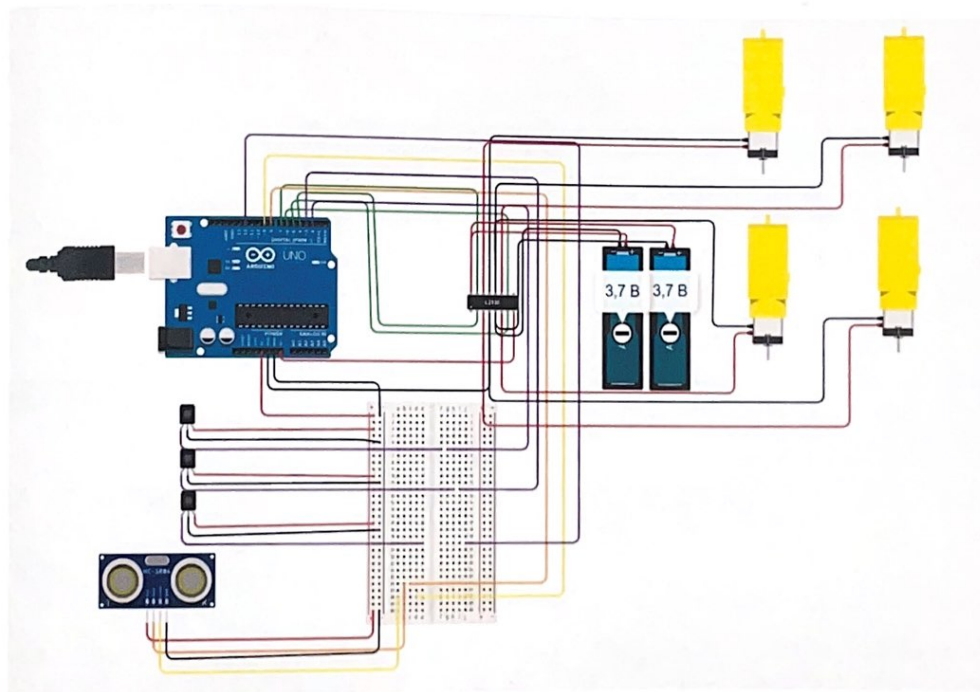


Рисунок 3.1 – Схема подключения системы

3.1 Алгоритм движения системы робота

На рисунке 3.2 приведен алгоритм движения мобильного робота.

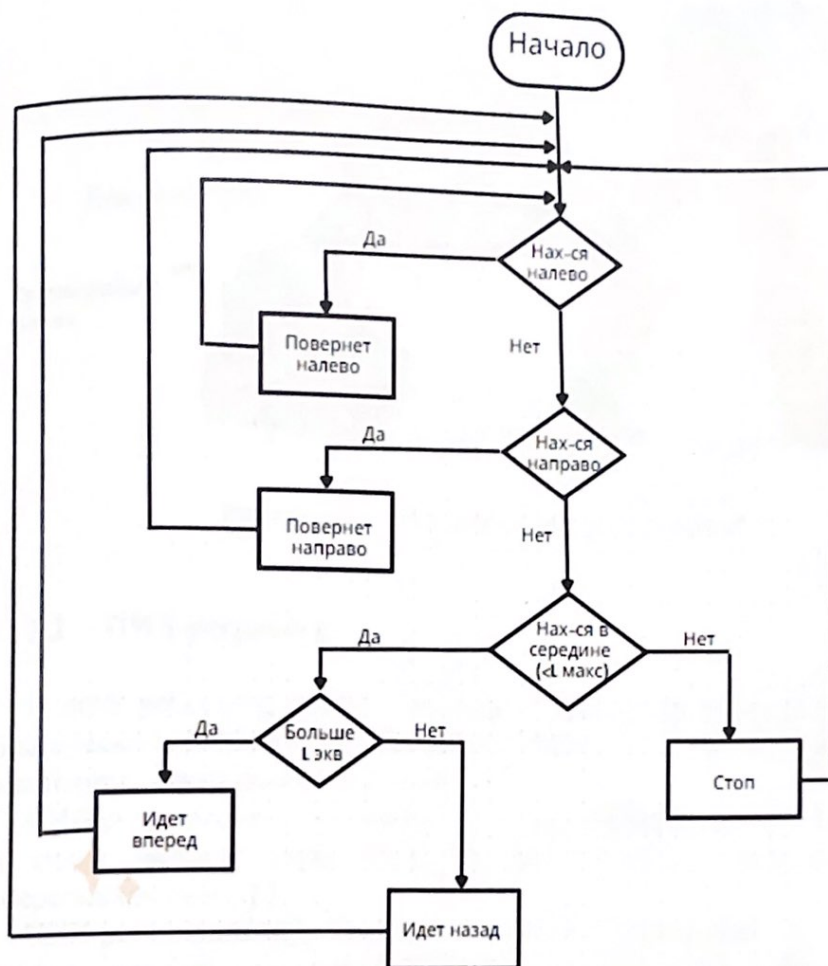


Рисунок 3.2 – Алгоритм движения системы робота

Принцип действия системы робота

Как видно из рисунка 3.3, реализованный мобильный робот состоит из 3 инфракрасных датчиков, которые расположены в башне робота и на его крыльях: посередине, слева и справа. Данный робот использует эти датчики для обнаружения перед ним объекта, тем самым определяя его дальнейшее направление. Но, чтобы измерить расстояние между найденным объектом и самим роботом, используется ультразвуковой дальномер, установленный выше инфракрасного датчика.

Алгоритм движения мобильного робота с участием инфракрасных датчиков и ультразвукового дальномера описан и показан на рисунке 3.2.

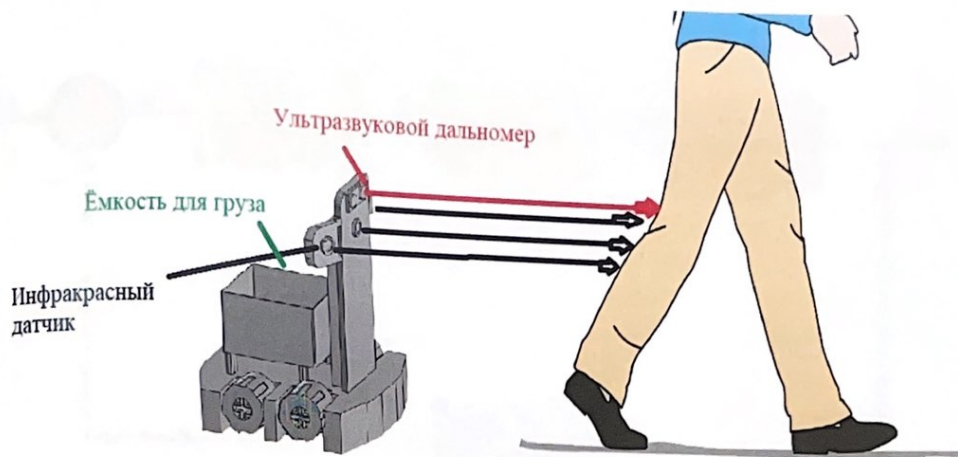


Рисунок 3.3 – Принцип движения робота

3.2 ПИД-регулятор

В этой роботизированной системе используется ПИД-регулятор для автоматического регулирования скорости мобильного робота в зависимости от расстояния между ним и объектом.

ПИД-регулятор-это регулятор, который работает путем объединения трех видов методов управления: пропорционального, интегрального и дифференциального [18].

ПИД-регулирование соотносит выход регулятора с ошибкой, интегралом ошибки и производной ошибки. Это поведение ПИД-регулятора математически иллюстрируется уравнением (3.1) [19] :

$$c(t) = K_c \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de}{dt} \right) + C \quad (3.1)$$

где $c(t)$ = выходной сигнал контроллера;

K_c = коэффициент усиления регулятора;

$e(t)$ = ошибка;

T_i = интегральное время;

T_d = постоянная времени производной;

C = начальное значение регулятора.

Далее на рисунке 3.4 показана структурная схема системы ПИД-регулятора [20]:

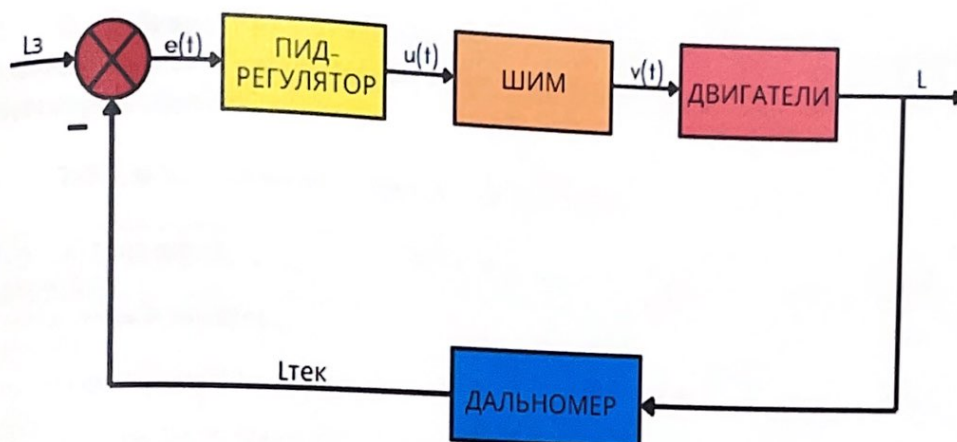


Рисунок 3.4 – Структурная схема системы ПИД-регулятора

где, L_3 – уставка расстояния;
 $e(t)$ – ошибка регулирования по расстоянию;
 $v(t)$ – скорость движения двигателя;
 $L_{тек}$ – текущее расстояние.

3.3 Экономические расчеты

В таблице 3.1 приведена общая стоимость всех компонентов, использованных в разработке прототипа колесного робота автосопровождения.

Таблица 3.1 – Стоимость элементов в разработке прототипа робота

Название компонента	Количество	Цена	Сумма
Arduino Uno	1	8500	8500
Ультразвуковой датчик HC-SR04	1	600	600
Контроллер Ardumoto L298N	1	1200	1200
Инфракрасный датчик E18-D80NK	3	1300	3900
Редукторный двигатель с колесами	4	400	1600
Макетная плата	1	500	500
Батарейка	2	3700	7400
Кнопка	1	20	20
ABS пластик	1	7100	7100
Итого			30820

4 Практическая часть

4.1 Реализация колесного робота автосопровождения

Для реализации данного робота были использованы следующие инструменты:

1. КОМПАС-3D – это программа 3D-проектирования, где создаются детали нашего робота, нужная в конечном итоге для его сборки.
2. UltiMaker Cura 5.2.1 — это бесплатное и простое в использовании программное обеспечение для 3D-печати.
3. В качестве материала был взят пластик.

Первым делом строим 3D- модели деталей в специальной программе КОМПАС-3D как показано на рисунке 4.1, состоящей из башни, 2 крыльев, прикрепляемых к верхней части башни с помощью болтиков, и сам корпус робота. Сборка всех деталей в окончательный вид показан в приложении В.

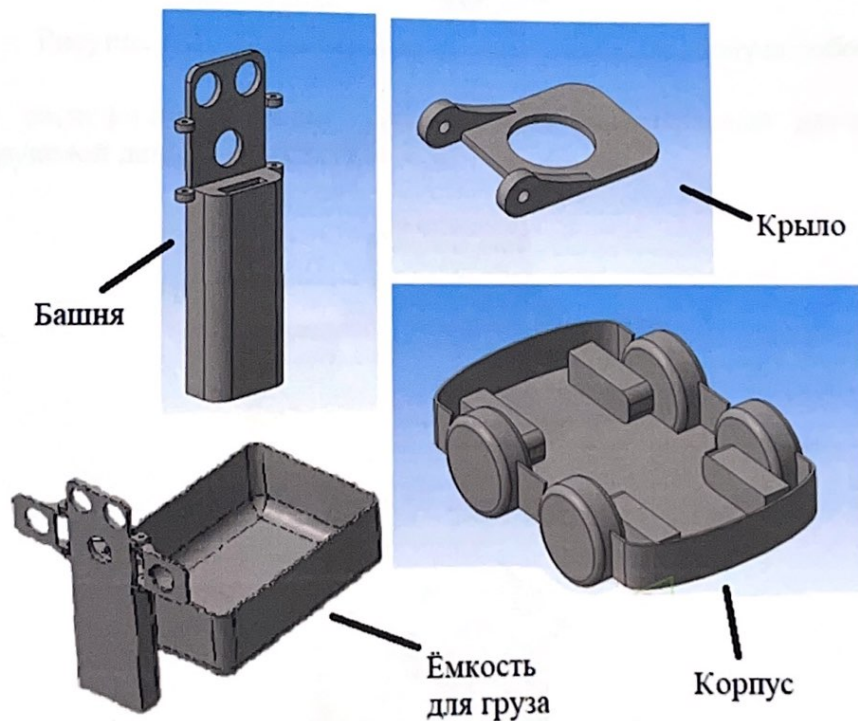


Рисунок 4.1 – 3D- модели деталей в программе КОМПАС-3D

Далее каждую смоделированную деталь помещаем в программное обеспечение UltiMaker Cura 5.2.1 для 3D-печати и выбираем размеры для печати:

1. Башня: высота - 13 см, длина - 5 см, ширина - 4 см;
2. Крылья: высота - 0,5 см, длина - 3 см, ширина - 3 см;
3. Корпус: высота - 5 см, длина - 26 см, ширина - 15 см;

4. Ёмкость для груза: высота - 7 см, длина - 15 см, ширина - 11 см.
Затем в распечатанном корпусе внутри подсоединяем компоненты с помощью проводов (рисунок 4.2): Arduino Uno, драйвер двигателей Ardumoto L298N, моторы-редукторы, литий-ионные аккумуляторы и колёса.

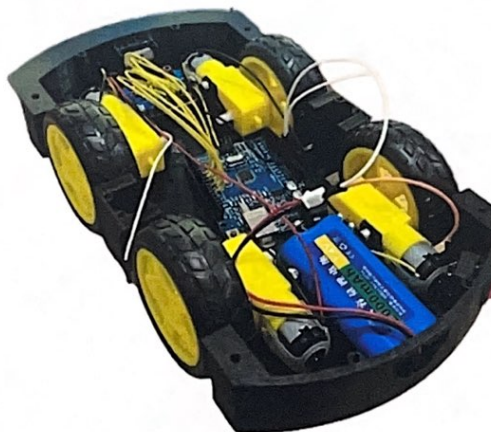


Рисунок 4.2 – Соединение компонентов внутри корпуса робота

В распечатанной башне устанавливаем инфракрасные датчики и ультразвуковой дальномер (рисунок 4.3).



Рисунок 4.3 – Соединение элементов в башне робота

После этого элементов башни соединяем с компонентами корпуса.
Окончательный результат показан на рисунках 4.4, 4.5, 4.6 и 4.7.

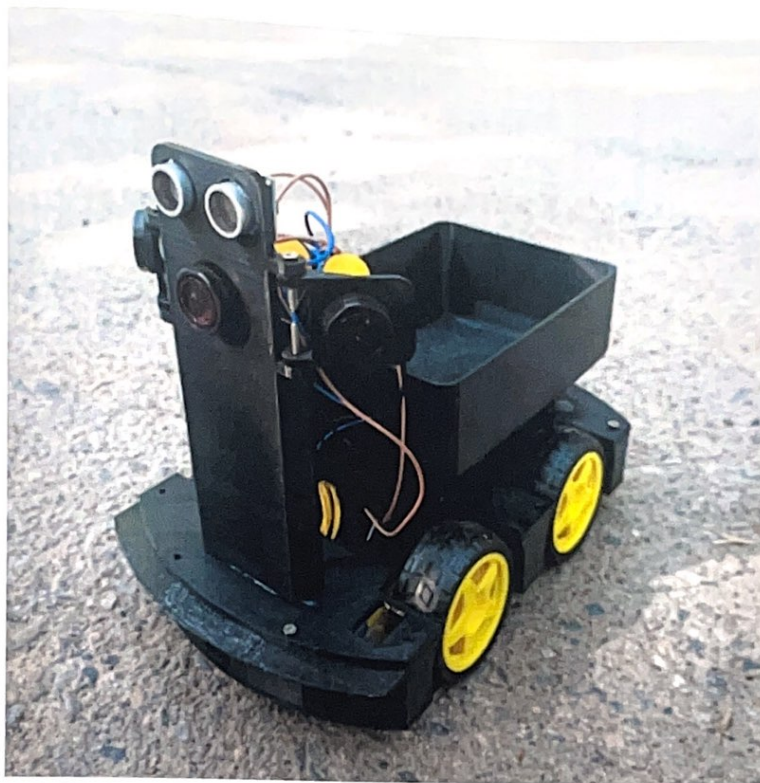


Рисунок 4.4 – Внешний вид робота



Рисунок 4.5 – Вид спереди

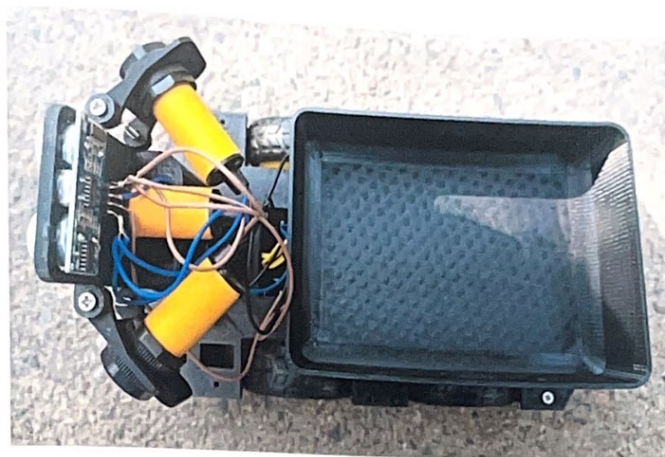


Рисунок 4.6 – Вид сверху



Рисунок 4.7 – Вид сбоку

В итоге масса робота составляет 900 г, а грузоподъёмность до 1 кг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе дипломного проекта были тщательно подобраны и собраны необходимые аппаратные элементы для создания колесного робота автосопровождения на платформе Arduino Uno. Использование трех инфракрасных датчиков и ультразвукового дальномера позволило точно обнаружить и измерить расстояние и направление объекта по отношению к роботу. Для регулирования скорости движения робота использовался ПИД-регулятор. Была построена схема подключения данных элементов в программе Tinkercad и был создан алгоритм движения робота.

Конечным результатом стало разработанное функциональное устройство, обеспечивающее автоматическое следование, с программным кодом, написанный в среде программирования Arduino IDE. В качестве создания 3D-модели робота была применена программа для проектирования КОМПАС-3D.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 G. Klančar, A. Zdešar, S. Blažič, I. Škrjanc-Wheeled mobile robotics from fundamentals towards autonomous systems. Ljubljana, Slovenia, August 2016
- 2 Francisco Rubio, Francisco Valero, Carlos Llopis-Albert-A review of mobile robots: Concepts, methods, theoretical framework, and applications, April 16, 2019. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1729881419839596>
- 3 "Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence" by K. S. Fu, R. C. Gonzalez, and C. S. G. Lee
- 4 Article by Zhihu, May 26, 2021. URL: https://zhuanlan.zhihu.com/p/375321822?utm_id=0
- 5 Автономная мобильная база Freight, США. URL: <https://robots.ieee.org/robots/freight/?gallery=photo3>
- 6 Мобильный робот Gita, США. URL: <https://mygita.com/how-it-works>
- 7 Article written by Rachel "Meet Gita, the R2-D2-like Robot That Will Carry All Your Stuff" on October 15, 2019. URL: <https://robbreport.com/gear/electronics/gita-robot-piaggio-fast-forward-2873310/>
- 8 "Arduino Robotics" written by John-David Warren, Josh Adams, Harald Molle, 15 July 2011, p. 628. <https://doi.org/10.1007/978-1-4302-3184-4>
- 9 Article topic: "What is Arduino Uno?", July 14, 2020. URL: <https://robu.what-is-arduino-uno/in/>
- 10 DC Motor Driver / Controller L298N. URL: <https://circuit.rocks/2a-dual-motor-controller>
- 11 Article by Dejan "L298N Motor Driver – Arduino Interface". URL: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-dc-motor-control-tutorial-l298n-pwm-h-bridge/>
- 12 Принципиальная схема драйвера двигателя L298N. URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/drayver-dvigatelya-l298n/>
- 13 "Investigating the resolution ability of the HC-SRO4 ultrasonic sensor" by Nadhir Ibrahim Abdulkhaleq et al 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 745 012043. URL: https://www.researchgate.net/publication/341359571_Investigating_the_resolution_ability_of_the_HC-SRO4_ultrasonic_sensor
- 14 The "What is a sensor?" section of publications about the ultrasonic rangefinder. URL: <https://www.keyence.com/ss/products/sensor/sensorbasics/ultrasonic/info/#:~:text=Ultrasonic%20Sensors%20measure%20the%20distance,for%20both%20emission%20and%20reception>
- 15 Описание инфракрасного датчика E18-D80NK. URL: <https://components101.com/sensors/e18-d80nk-infrared-proximity-sensor-pinout-features-datasheet-alternative-working>
- 16 Описание мотора-редуктора. URL: <https://www.micromotors.eu/en/what-is-a-gear>

motor/#:~:text=A%20gear%20motor%20is%20a%20mechanical%20system%20co
nsisting%20of%20an,job%20at%20a%20given%20speed

17 Литий-ионный аккумулятор LiitoKala. URL:
https://www.ebay.com/itm/175657512962

18 Article by K.J. Åström, T. Hägglund: "The future of PID control", Lund,
Sweden, 20 November 2001. URL: https://doi.org/10.1016/S0967-0661(01)00062-

4 19 Описание уравнения ПИД-регулятора. URL:
https://elektrovesti.net/energetika/528_pid-regulyator-cto-eto-takoe

20 Структурная схема управления ПИД-регулятора:
http://www.dynsoft.ru/PID.php.

Приложение А

Листинг программы

```
#include <PID_v1.h>
int Leftgo=5;//Влево вперед
int Leftback=4;//Влево назад
int Rightgo=7;//Вправо вперед
int Rightback=6;//Вправо назад
int Lspeed=10;// правый двигатель
int Rspeed=11;// левый двигатель
int go_speed=60;// прямая скорость
int back_speed=40;//обратная скорость
int turning_spd=20;// поворот
int S_L=2;// Задаем вывод левого инфракрасного датчика
int S_R=3;// Задаем вывод правого инфракрасного датчика
int S_C=12;// Задаем вывод среднего инфракрасного датчика
const int TrigPin = 8; //Задаем вывод Trig дальномера
const int EchoPin = 9; // Задаем вывод Echowдальномера
int SL; // Задаем ввод левого инфракрасного датчика
int SR; // Задаем ввод правого инфракрасного датчика
int SC; // Задаем среднего инфракрасного датчика
double Dist;// используется для хранения измеренного расстояния до
цели
double Setpoint=16;// присваивания начального значения,
//используемая в качестве целевого расстояния, которое робот должен
//поддерживать от препятствия или цели
double Output_go;// выходные значения скорости движения робота
double Output_back;
double kp=2, ki= 5, kd=1; // коэффициенты ПИД-регулирования
//Определить ПИД-регулятор
double Dist, Output, SetPoint;
PID PID_go (&Dist, &Output_go, &Setpoint, kp, ki, kd, REVERSE) ;
PID PID_back(&Dist, &Output_back, &Setpoint, kp, ki, kd, DIRECT);
void setup () { // инициализация всех используемых портов ввода/вывода
//и установка скорости передачи данных в серию
pinMode (Leftgo, OUTPUT) ;
pinMode (Leftback, OUTPUT) ;
pinMode (Rightgo, OUTPUT) ;
pinMode (Rightback, OUTPUT) ;
pinMode (Lspeed, OUTPUT) ;
pinMode (Rspeed, OUTPUT) ;
pinMode (S_L, INPUT) ;
pinMode (S_R, INPUT) ;
pinMode (S_C, INPUT) ;
```

Продолжение приложения А

```
pinMode(TrigPin, OUTPUT);  
pinMode (EchoPin, INPUT);  
Serial. begin(9600);  
}
```

```
void run() { // устанавливает направление движения робота вперед  
digitalWrite(Rightgo, HIGH);  
digitalWrite (Rightback, LOW);  
digitalWrite (Leftgo, LOW);  
digitalWrite(Leftback, HIGH);  
analogWrite(Lspeed, go_speed);  
analogWrite(Rspeed, go_speed);  
Serial. println("Run");  
}
```

```
void turn_L () { //Объявление функции поворота влево:  
digitalWrite(Rightgo, LOW);  
digitalWrite (Rightback, HIGH);  
digitalWrite(Leftgo, LOW);  
digitalWrite(Leftback, HIGH);
```

```
analogWrite (Lspeed, turning_spd);  
analogWrite(Rspeed, turning_spd);
```

```
Serial.println("Turn left");  
}
```

```
void turn_R () { //Объявление функции поворота вправо:  
digitalWrite (Rightgo, HIGH);  
digitalWrite(Rightback, LOW);  
digitalWrite (Leftgo, HIGH);  
digitalWrite (Leftback, LOW);  
analogWrite (Lspeed, turning_spd);  
analogWrite(Rspeed, turning_spd);  
Serial.println("Turn right");  
}
```

```
void back() {  
digitalWrite(Rightgo, LOW);  
digitalWrite (Rightback, HIGH);  
digitalWrite(Leftgo, HIGH);  
digitalWrite(Leftback, LOW);
```


Продолжение приложения А

```
analogWrite(Lspeed, back_speed);  
analogWrite(Rspeed, back_speed);  
Serial.println("Back");  
}
```

```
void brake () {  
  digitalWrite(Rightgo, LOW);  
  digitalWrite(Rightback, LOW);  
  digitalWrite(Leftgo, LOW);  
  digitalWrite(Leftback, LOW);  
  Serial.println("Stop");  
}
```

```
void actEcho() { // иницирует измерение расстояния с помощью  
  ультразвукового датчика  
  digitalWrite(TrigPin, LOW);  
  delayMicroseconds(2);  
  digitalWrite(TrigPin, HIGH);  
  delayMicroseconds(10);  
  digitalWrite(TrigPin, LOW);  
}
```

```
void Robot_Following () { // определяет, как робот должен двигаться в  
  зависимости
```

```
  //от измеренного расстояния до цели и положения относительно нее  
  SL=digitalRead(S_L);  
  SR=digitalRead(S_R);  
  Dist=abs(Dist);  
  Serial.println(Dist);  
  if (SR==HIGH&&SL==LOW){  
    turn_R();  
  }else if(SL==HIGH&&SR==LOW) {  
    turn_L();  
  } else if(Dist>30&&SC) {  
    turn_R(); //Если расстояние больше 30 см, то робот поворачивает  
    //направо Serial.println("target lost");  
  } else if(Dist<30&&SC) {  
    run(); // если расстояние меньше 30 см, то он движется прямо  
    Serial.println("following target");  
  } else if(!SC) {  
    if(Dist<10) {  
      back(); //Если цель находится очень близко, робот движется назад
```

Продолжение приложения А

```
}  
else  
  brake () ;// Если робот не видит цель, то он останавливается  
  Serial.println("catch target");  
}  
//Включить ПИД-регулирование  
PID_go.SetMode (AUTOMATIC);  
PID_back.SetMode (AUTOMATIC);  
PID_go.SetOutputLimits (40, 80);  
PID_back.SetOutputLimits (40, 80);  
}  
  
void loop () {  
  while(1) {  
    actEcho ();//измеряет расстояние до цели  
    Dist=pulseIn(EchoPin, HIGH) / 58;  
    PID_go.Compute();  
    PID_back.Compute();  
    go_speed=Output_go;  
    back_speed=Output_back;  
    Robot_Following ();  
  }  
}
```

Приложение В

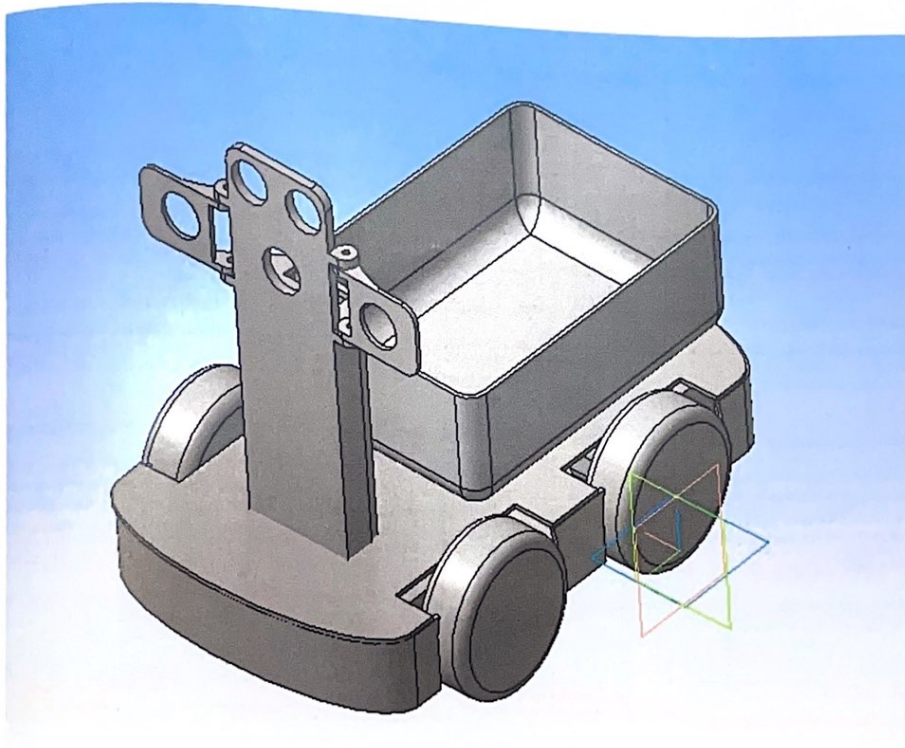


Рисунок В.1 – 3D-модель прототипа в программе КОМПАС-3D