

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Отделение информационных технологий
15.03.06 «Мехатроника и робототехника»

Моделирование роботизированной платформы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

по дисциплине:

Основы проектирования

Выполнил:

студенты

8Е32

Подкорытов Т.В.

05.05.2025

Селин С.А.

Соловьев Е.Д.

Савин В.А.

Шкильно С.С.

Цуркан К.А.

Сорокин И.С.

Проверил:

Ассистент

Шанин К.А.

Задание

В ходе выполнения лабораторной работы необходимо спроектировать роботизированную платформу робта футболиста. Результат работы – отчет.

Теоретическая часть задания:

Игровая область поля для робофутбола (предварительно) имеет длину 2500 мм и ширину 1800 мм. На небольшом удалении от границы игровой области (половина диаметра корпуса робота) начинается барьер, представляющий собой наклонённую под небольшим углом к полю поверхность, для пресечения выкатывания мяча за границы поля. План поля и положение игроков на нём показаны на рисунке 1.

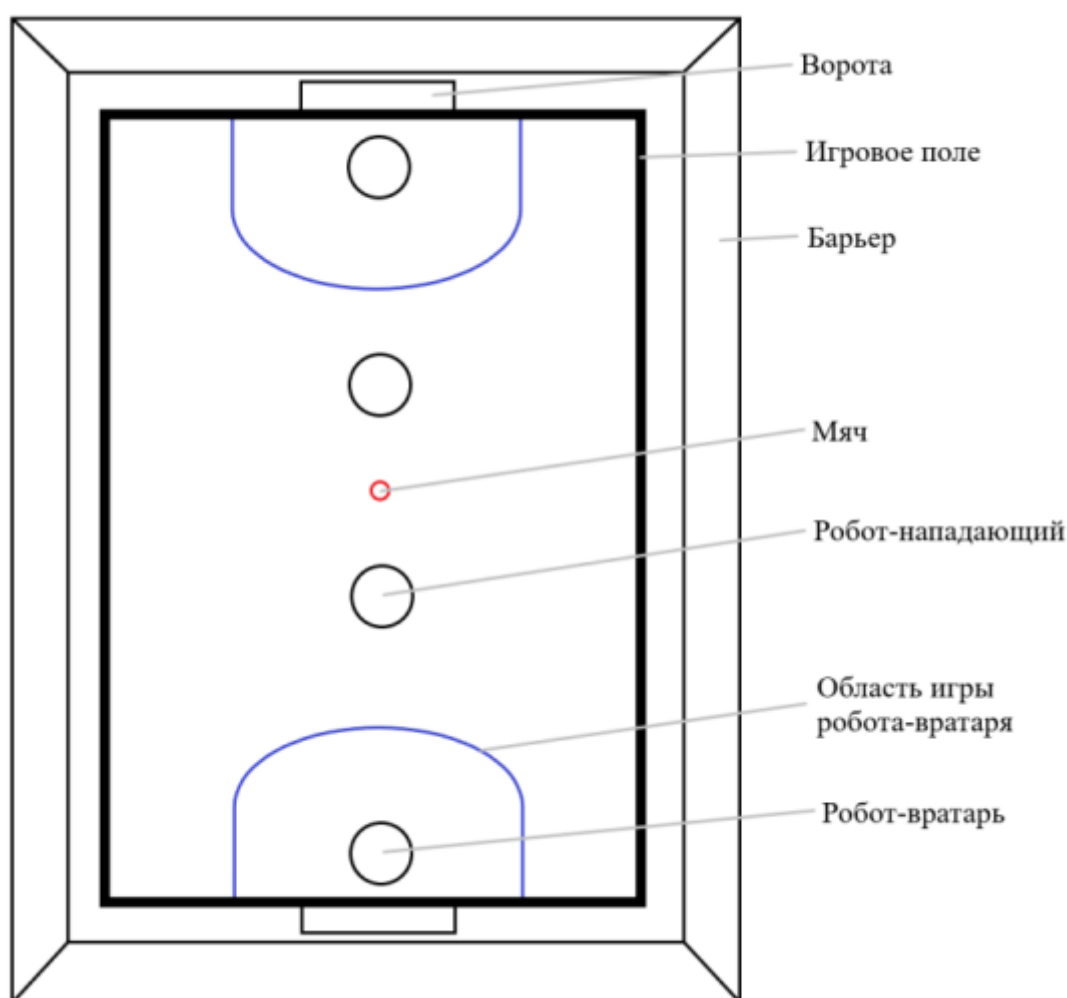


Рисунок 1 – План поля для игры в робофутбол и положение роботов

В момент начала игры Перед началом игры роботы включаются и располагаются на поле, согласно рисунку 1. Роботы начинают работу после

объявления начала игры. Мяч располагается в центре поля. Роботы нападающие могут перемещаться по всему полю, в том числе, не полностью выезжать за границы игровой области. Ауты не учитываются. Перемещение робота вратаря ограничено областью (рисунок 1). Допускается нахождение робота вратаря на границе, не допускается её пересечение. Задача робота нападающего – забить мяч в ворота противника, задача робота вратаря – не дать противнику забить мяч в свои ворота. Корпус робота-нападающего, как и робота-вратаря, должен быть круглым, без значительно выпирающих элементов, которыми робот сможет зацепиться или повредить внутренней электронике другого робота. Для предотвращения повреждений в результате соударений, роботы должны быть оснащены бамперами по всей окружности.

Допускается не закрывать бампером колёса робота.

Для удобства взаимодействия, роботов необходимо оснастить «ручками» для переноса (рисунок 3). Для организации согласованного начала игры, после включения питания робот должен бездействовать. Введение в игру (начало выполнения основной программы робота) осуществляется после нажатия кнопки, которая должна располагаться в верхней части робота. Кнопка должна быть легко заметна, а также должна иметь размер и положение, подходящее для удобного взаимодействия.

для игры будет использоваться инфракрасный мяч модели HIR1006 (IRB1005/1006), показанный на рисунке 4, или мяч RCJ-05 (LEGIB1005), показанный на рисунке 5.



Рисунок 2 – Инфракрасный мяч HiTechnic HIR1006



Рисунок 3 – Инфракрасный мяч ЕК Japan RCJ-05

Для определения положения мяча необходимо использовать оптические датчики. Не допускается использование готовых модулей, например IRSeeker и ему подобных. Для перемещения робота по полю в платформе должны использоваться колёса, разработанные в ходе выполнения лабораторной работы №2. Для выполнения ударов по мячу необходимо использовать пинатель, спроектированный в ходе выполнения лабораторной работы №1. Каждая команда должна выбрать наиболее эффективное исполнение пинателя и колёс, предложенных участниками в лабораторных работах. Способы навигации и ориентирования роботов на поле студенты выбирают самостоятельно, согласуя выбранный концепт с другими командами. Выбранный способ навигации не должен быть нереализуем и не должен мешать другим роботам-участникам матча. Детали, используемые в работе, должны быть доступными для изготовления с применением имеющихся технологических процессов, таких как 3Д печать, лазерная резка, пайка и т.д. Допускается (и приветствуется) использование печатных плат собственной разработки.

Оглавление

1. Поиск и исследование информации, проектирование принципов работы систем навигации и взаимодействия с мячом	6
1.1. Проектирование системы определения положения робота на игровом поле и вектора его направления.....	6
1.2. Проектирование системы определения положения ворот на поле, или относительно робота	10
1.3. Исследование работы режимов свечения мяча	12
1.4. Определение способов нахождения мяча	12
1.5. Проектирование системы обнаружения и контроля положения мяча...	14
1.6. Проектирование системы управления силовыми компонентами.....	16
2. Разработка структурной схемы электрических компонентов.....	18
3. Описание принципиального вида робота.....	21
4. Разработка системы навигации/ориентирования робота.....	23
4.1. Выбор датчиков, их положения на роботе и организация их работы	23
5. Разработка системы определения положения мяча на поле, или относительно робота	25
5.1. Выбор датчиков, их положения на роботе и организация их работы	25
6. Разработка системы управления и контроля работы силовых электрических компонентов робота.....	27
6.1. Выбор драйверов двигателей робота	27
6.2. Разработка системы силового управления пинателем.....	29
7. Выбор управляющей электроники.....	33
8. Разработка системы питания электронных компонентов робота.....	35
8.1. Выбор аккумулятора	35
8.2. Выбор преобразователей/стабилизаторов.....	39
9. Разработка принципиальной и функциональной схем	41
10. Проработка технологических процессов	42
Приложение А	44

1. Поиск и исследование информации, проектирование принципов работы систем навигации и взаимодействия с мячом

1.1. Проектирование системы определения положения робота на игровом поле и вектора его направления

Выбор метода позиционирования

Существует несколько методов, которые можно использовать для определения местоположения робота вратаря на футбольном поле. Однако не все они подходят для этой задачи.

Например, системы визуального позиционирования с использованием камер и инфракрасных маяков не являются оптимальным решением. Визуальное позиционирование требует значительных затрат, а инфракрасные маяки могут мешать другим роботам-участникам искать мяч.

Поэтому для определения местоположения робота на футбольном поле лучше использовать другие методы. Например:

- **Одометрия на энкодерах:** Очень простая и дешевая, хорошо подходит для оценки относительного перемещения, но накапливает ошибку и не учитывает внешние воздействия, например, столкновения или скольжение.
- **Позиционирование по разметке поля:** Дает высокую точность при хорошей разметке, легко реализуется и не требует дорогого оборудования, но полностью зависит от наличия и качества разметки на поле.
- **Ультразвуковая система:** Универсальна, но может давать ложные показания из-за отражений и требует точной настройки. Не всегда подходит для точного позиционирования на большом поле.
- **Навигация по магнитному маяку:** Использует искусственное магнитное поле магнита и датчик магнитного поля. В зависимости от мощности магнитного поля имеет пропорциональную ошибку позиционирования.
- **Гироскопическая навигация:** Позволяет определять угол отклонения робота от начального положения, но имеет свойство накапливать ошибку. Легко в реализации, не требует изменений футбольного поля.

Таблица 1 – Сравнение методов позиционирования для робота вратаря

Системы позиционирования	Одометрия на основе энкодеров	Позиционирование по разметке поля	Ультразвуковая система позиционирования	Навигация по магнитному маяку	Гироскопическая навигация
Основные принципы работы	Измеряет вращение колес для расчета пройденного пути	Робот распознает линии и специальные метки на поле, используя их для определения своего местоположения	Измеряет расстояние до объектов с помощью ультразвуковых датчиков	Измеряет напряженности магнитного поля по трем основным осям	Измеряет угол отклонения робота от стартового угла
Точность	Низкая	Высокая	Средняя	Высокая	Средняя
Тип ошибок	Накапливающиеся, не учитывает внешние воздействия (проскальзывания, неровности)	Ошибки из-за потери линии или плохого освещения	Ошибки из-за отражений, сложных поверхностей	Искажения магнитного поля (soft и hard iron)	Накапливающиеся ошибки, из-за погрешностей измерения

Из сравнения становится, очевидно, что ни одна система по отдельности не обеспечит достаточную точность позиционирования. Поэтому необходима система, объединяющая несколько подходов, которые нивелируют недостатки друг друга.

Объединение систем позиционирования: по разметке поля, по магнитному маяку, по гироскопу и энкодерам позволит точно определять позицию робота на поле.

Описание работы выбранного метода позиционирования

Для реализации предложенного метода позиционирования предлагается использовать следующие компоненты:

1. Мощный постоянный магнит – создает сильное магнитное поле. Находится в воротах союзной команды, за роботом вратарем. Магнит направлен северным полюсом к роботу вратарю.
2. Датчик магнитного поля (компас) – измеряет напряженность магнитного поля по трем осям координат X , Y , Z . Расположен в задней части робота вратаря, то есть как можно ближе к источнику искусственного магнитного поля. Датчик закреплен горизонтально, для правильной проекции напряженности магнитного поля на оси X , Y .
3. Гироскоп – измеряет угол отклонения от начального положения робота.
4. Датчик разметки поля (ИК датчик линии) – фиксирует черную линию, ограничивающую разрешенную область робота вратаря. Устанавливается два датчика, сдвинутые на угол 45 градусов относительно лобовой части робота.
5. Энкодеры установлены на валу каждого двигателя, передают на микроконтроллер информацию о количестве оборотов двигателя.

Используя датчик магнитного поля с магнитом и ИК датчиками для обнаружения и поиска мяча, можно ориентировать робота по направлению к мячу и занимать оптимальную позицию, на основе данных с компаса, для защиты ворот. Использование гироскопа, позволяет определять угол разворота робота и возвращать его в начальное положение. Энкодеры, интегрированные в двигатель, используются для примерной оценки

пройденного расстояния. Использование энкодеров вместе с гироскопом должно уменьшить ошибку позиционирования. При срабатывании датчиков линии робот точно определяет своё положение на границе ($x=0$ или $x=W$, $y=0$ или $y=N$, W и N – размеры разрешенной области) и корректирует одометрические координаты до известного значения, компенсируя накопленную ошибку пробега колёс. Датчик черной линии определяет границу рабочей зоны вратаря, при фиксации черной линии выполняется маневр, возвращающий робота в область. Разрешенная область является прямоугольником с центром перед воротами и с площадью, обеспечивающей нормальную работу датчика напряженности магнитного поля.

Существует всего два варианта обнаружения черной линии:

1. Один датчик черной линии фиксирует черную линию. В этой ситуации, робот должен отъехать влево или вправо в зависимости от расположения датчика, зафиксировавшего границу. Например, если сигнал пришел с левого датчика, то двигаться нужно вправо.
2. Два датчика обнаружили черную линию. В этом случае, нужно переместиться назад, так как линия, зафиксированная двумя датчиками, гарантированно находится перед роботом.

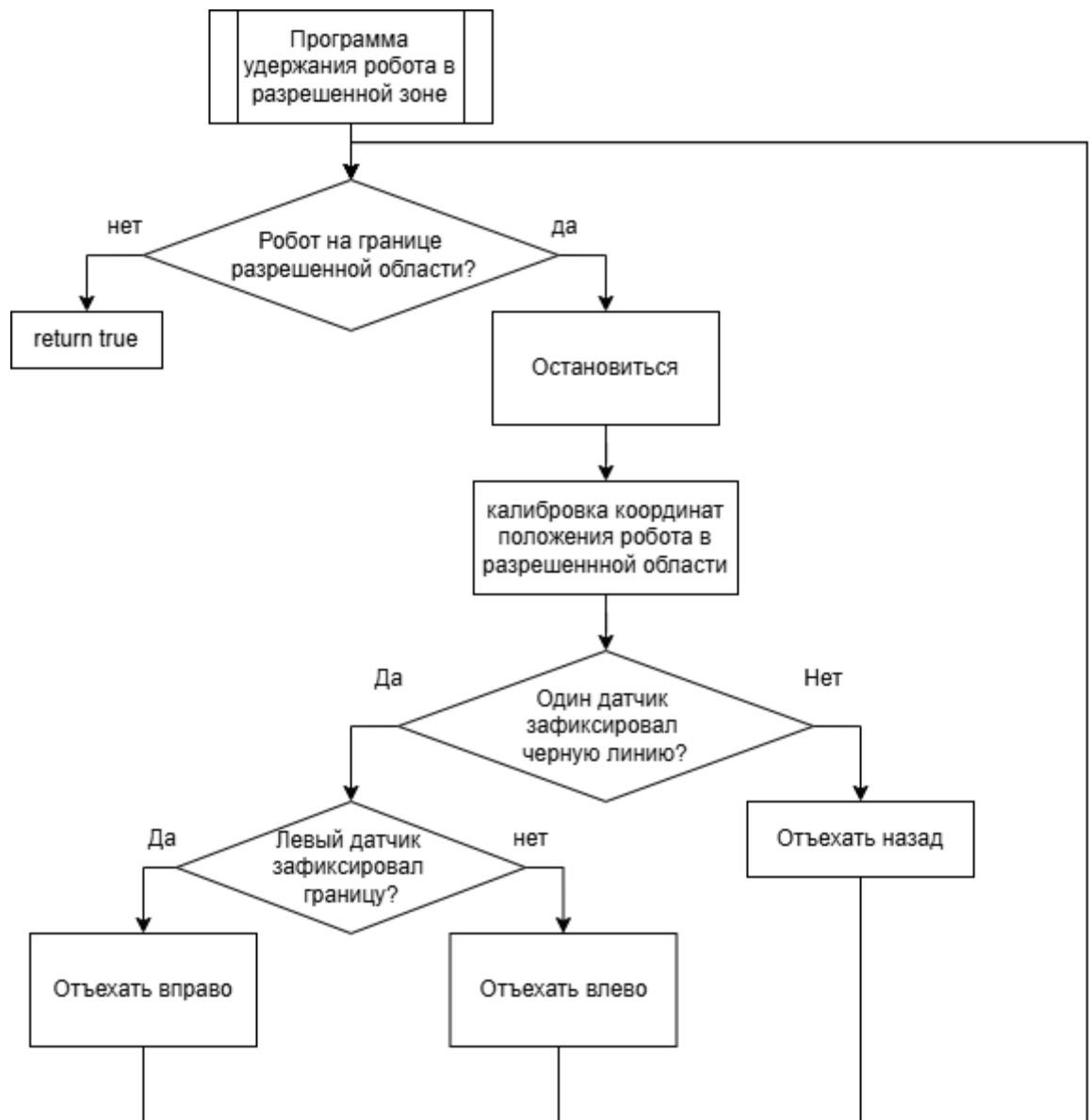


Рисунок 4 – Алгоритм для удержания робота в разрешенной области

1.2. Проектирование системы определения положения ворот на поле, или относительно робота

Задача определения ворот на поле для робота вратаря является первостепенной, так как от точности определения ворот относительно робота напрямую зависит способность защищать ворота.

Именно поэтому в работе используется два датчика для определения относительного положения ворот относительно робота: датчик напряженности магнитного поля и электронный гироскоп.

Датчик магнитного поля измеряет вектор магнитной напряженности по осям X и Y. Угол отклонения робота от северного полюса магнита (азимут) определяется по формуле:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{x}{y},$$

где x, y – компоненты магнитного поля, измеренные датчиком.

Гироскоп измеряет угол отклонения робота от начального положения и используется для возвращения в начальную ориентацию.

В результате, зная местоположение мяча, робот может занять позицию на прямой, которая соединяет инфракрасный мяч и постоянный магнит, расположенный в воротах. Это позволяет роботу заблокировать мяч.

Алгоритм определения положения ворот относительно робота вратаря рисунок 2.

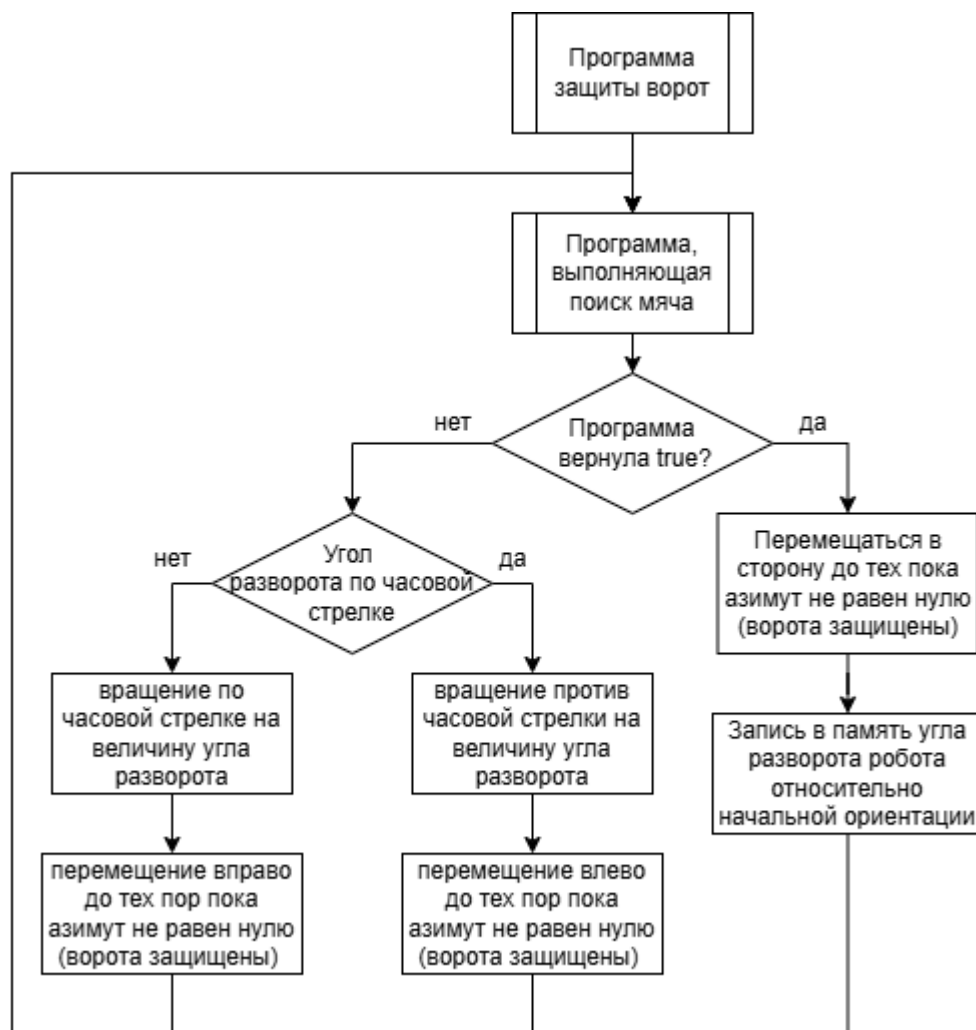


Рисунок 5 – Алгоритм определения положения и защиты ворот

1.3. Исследование работы режимов свечения мяча

HIR1006(IRB1005/1006) и ЕК Japan RCJ-05 способны работать в следующим четырех режимах.

- Генерация модулированного сигнала

При таком режиме работы мяч испускает инфракрасное излучение, которое в процессе может меняться по амплитуде, по частоте и/или по фазе. Данный тип передачи сигнала используется для сообщения какой-либо информации посредством модулируемого сигнала.

- Генерация немодулированного сигнала

При таком режиме работы мяч постоянно испускает инфракрасное излучение. Данный тип подходит для включения, выключения и передачи простейшего сигнала.

- Генерация сигнала с частотой 1200 Гц и 4) 600 Гц

Мяч генерирует излучение с заданной частотой.

В турнирах RoboCup используется режим с модулированным сигналом, имеющим трапецевидную(ступенчатую) форму с несущей частотой 40 КГц. Благодаря этому мяч может менять сигнал в зависимости от своего состояния(положение на поле, текущая скорость). Это позволяет роботам получать расширенную информацию о положении мяча, что положительно сказывается на динамике игры.

1.4. Определение способов нахождения мяча

Далее будут представлены некоторые методы обнаружения мяча роботом на поле:

- 1) Использование камеры, расположенной над полем

В данном случае над полем будет располагаться камера, которая будет фиксировать все объекты на поле, включая робота своей команды, роботов чужой команды и мяча. Для дополнительной точности на поле можно сделать разметку, для увеличения количества ориентиров для расчетов с показаний камеры.

Принцип работы: камера создает изображение поля с определенной частотой, это изображение попадает на обрабатывающее устройство, которое анализирует изображение и на выходе дает данные, поступающие в робота.

Данный метод отличается высокой точностью определения положения любого объекта на поле, однако он требует некоторого оборудования (камеры; блютуз модули, для беспроводной отправки данных). Также, для реализации этого алгоритма потребуются знания в области компьютерного зрения.

2) Использование ИК-датчиков для поиска

Этот метод подразумевает под собой, что поиск мяча на поле будет реализован только за счет инфракрасных датчиков. Для этого можно равномерно расположить датчики по окружности корпуса робота, с одинаковым угловым отклонением. Такой подход позволяет достаточно точно определить направление нахождения мяча, но не расстояние до него. Для определения расстояния до мяча можно использовать только один сонар.

Принцип работы: ИК датчик(датчики) фиксирует направление, в котором расположен мяч, робот совершает поворот(головный робот-вратарь) в направлении мяча, пока датчик, расположенный над пинателем не зафиксировал мяч. Далее включается сонар, который позволит определить расстояние до мяча. В случае, когда ИК-датчик не фиксирует мяч, сонар считать выключенным, во избежание случая, когда робот принимает объект перед собой, не являющийся мячом, за мяч.

Данный метод отличается относительно простой реализацией, но он менее надежный чем первый, и требует подключения большого количества датчиков.

3) Использование ИК-датчиков и поворотных модулей.

Этот подход схож с первым, но он подразумевает использование меньшего количества ИК-датчиков за счет использования элемента, который будет их приводить в движение. Для этого можно использовать серводвигатель.

Принцип работы: поворотный модуль осуществляет вращение ИК-

датчиков вокруг оси их сопряжения. В момент, когда один из датчиков фиксирует ИК-сигнал мяча. Информация о текущем поворота вала поворотного модуля с помощью энкодера подаются на плату, и по этим показаниям осуществляется поворот самой платформы робота. Далее для уточнения расстояния до мяча используется сонар, и ИК-датчик для определения факта нахождения мяча в направлении сонара. В момент, когда «главный» ИК-датчик перестает получать сигнал с мяча, поворотный модуль вновь начинает вращение, для поиска мяча

Данный метод позволит сократить количество используемых ИК-датчиков, однако он увеличит потребление батареи, за счет введения еще одного силового модуля.

В нашем случае наиболее оптимальным решением является вариант с ИК-датчиками расположенными по окружности корпуса колеса. Этот вариант куда легче реализовать как с технической, так и с экономической стороны, в отличие от варианта с камерой, а также он менее энергозатратный, нежели третий вариант. Его основная проблема, связанная с количеством датчиков, которые необходимо присоединить к одной плате, может быть решена с помощью входного сдвигового регистра 74РС165. Необходимо установить три таких регистра, для обеспечения работы 24 датчиков.

1.5. Проектирование системы обнаружения и контроля положения мяча

Умение обнаружить мяч в пространстве и понять когда выполнять удар одна из основополагающих в робо-футболе.

Для определения нахождения мяча строится на поиске направления мяча с помощью ИК-датчиков и последующим поворотом в сторону мяча. Также необходимо учесть использование пинателя и не забывать, что робот не может покидать обозначенной области, так как он вратарь.

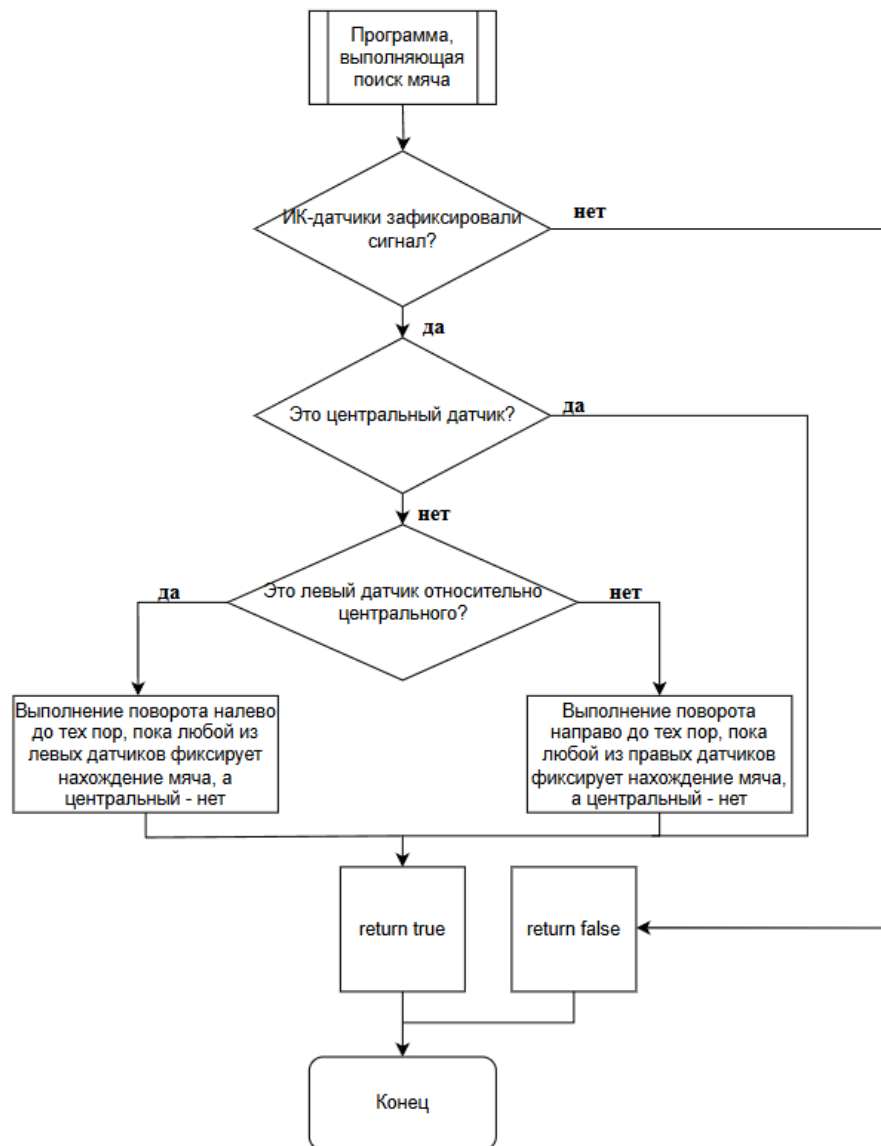


Рисунок 6 - Алгоритм поиска мяча



Рисунок 7 - Алгоритм работы робота

1.6. Проектирование системы управления силовыми компонентами

Робот имеет 2 контроллера Arduino Uno один из которых отвечает за обработку данных с датчиков системы навигации и системы обнаружения мяча, а второй принимает данные с первого контроллера, и управляет двигателями и пинателем. Питание происходит при помощи аккумулятора TCSWORTH на 1500 мА и 11.1 В. Напрямую с аккумулятора питаются пинатель и два устройства коммутации: драйверы L298N, которые в свою очередь отвечают за управление приводами JGB37-520. Также для питания остальных элементов схемы используется преобразователь напряжения

LM25977 DC-DC, который понижает входящее в него напряжение с 11,1 В до 5 В, которые подаются на 2 контроллера и систему навигации.

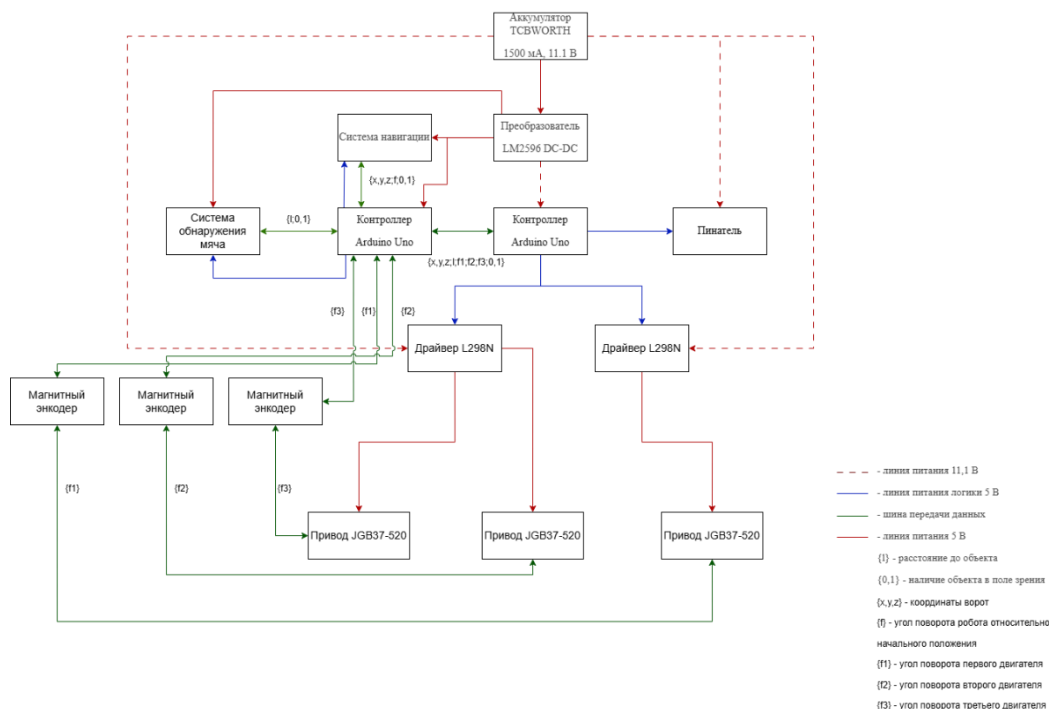


Рисунок 8 – Функциональная схема робота

В основе устройства пинателя лежит принцип возникновения магнитного поля в соленоиде при прохождении через него электрического тока. Питание всей конструкции осуществляется от аккумулятора TCBWORTH 11,1 В, 1500 мА·ч, который подключён к преобразователю LM2596 DC-DC для получения необходимого напряжения питания Arduino Uno.

Управление устройством осуществляет контроллер Arduino Uno, который формирует управляющий сигнал для одноканального релейного модуля с опторазвязкой 12В 10А. Реле служит для коммутации цепи питания соленоида. От аккумулятора напрямую идёт соединение к нормально замкнутому контакту (NC) реле, а нормально разомкнутый контакт (NO) соединён с соленоидом типа "Small push-pull solenoid".

Общий контакт (C) реле соединён с электролитическим конденсатором 220мкФ 16В, который в свою очередь подключен к соленоиду. Конденсатор подключен параллельно соленоиду и служит для накопления заряда для

реализации быстрого удара.

При подаче управляющего сигнала с Arduino Uno реле переключается из положения NC в положение NO, в результате чего питание от аккумулятора поступает напрямую на соленоид. Внутри соленоида возникает магнитное поле, которое приводит в движение ударный механизм, осуществляющий удар по мячу.

Таким образом, логика управления реализована на Arduino Uno, а коммутация силовой цепи осуществляется через релейного модуля с опторазвязкой 12В, которое напрямую подключает соленоид к источнику питания при срабатывании.

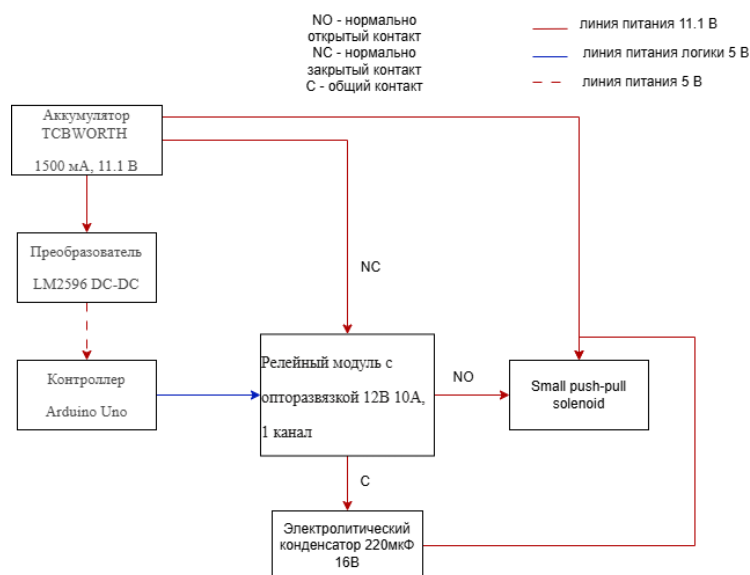


Рисунок 9 – Функциональная схема пинателя

2. Разработка структурной схемы электрических компонентов

Для того, чтобы робот мог выполнять свои задачи ему нужно питание.

В роли питания будет выступать аккумулятор, он будет питать не только контроллер, но и все остальные компоненты, которые требуют электричества.

Одного питания недостаточно, чтобы робот выполнял свои задачи, нужен контроллер. Контроллер – это главная составляющая робота, в котором прописывается вся логика робота, алгоритмы, которые служат для выполнения определенных задач.

Чтобы робот передвигался, используются омни-колеса, которые подсоединены к электродвигателям, а те в свою очередь к драйверам, чтобы регулировать скорость вращения колес.

Чтобы ориентироваться в пространстве, чтобы робот мог себя позиционировать, нужны гироскоп-акселерометр, два ИК датчика линии (чтобы робот не выезжал за пределы поля) и компас (чтобы находить ворота).

Для нахождения мяча нужны 3 сдвиговых регистра, 24 ИК датчика и ультразвуковой датчик. 3 сдвиговых резистора нужны для того, чтобы подключить 24 ИК-датчика, т.к. на МК нет столько пинов. ИК-датчики будут обнаруживать мяч, а ультразвуковой датчик нужен для определения расстояния до мяча.

Чтобы пинать мяч, нам нужен пинатель, который состоит из конденсатора, который заряжается через аккумулятор и реле, сам реле и соленоид.

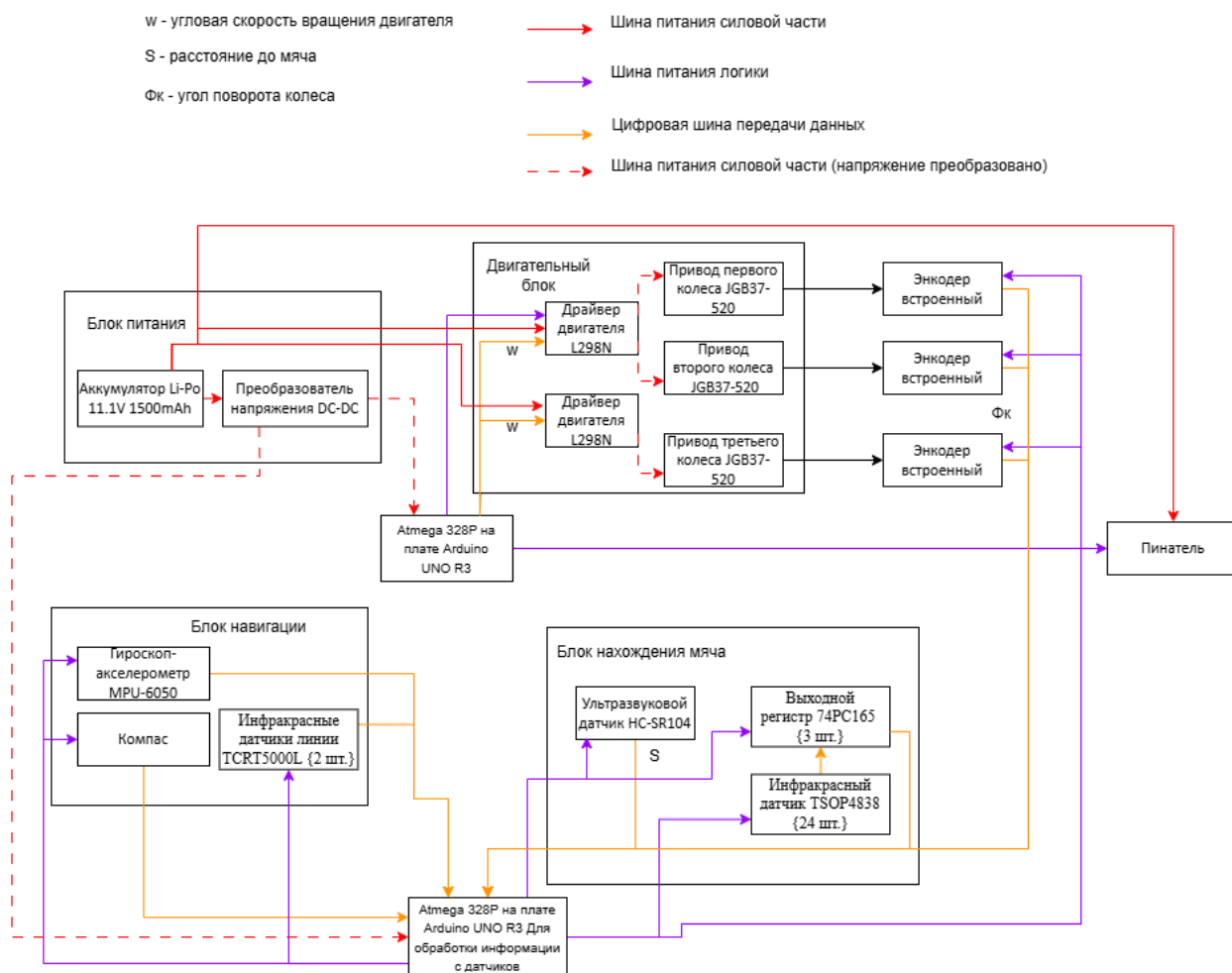


Рисунок 10 - Структурная схема робота

3. Описание принципиального вида робота

Робот представляет собой мобильную платформу в форме цилиндра, с тремя всенаправленными колёсами, расположенными на углах треугольника, центр которого совпадает с центром цилиндра. В нижней лицевой части платформа соединяется с пинателем. Платформа оснащена датчиками, позволяющими определять мяч и примерное положение на поле.

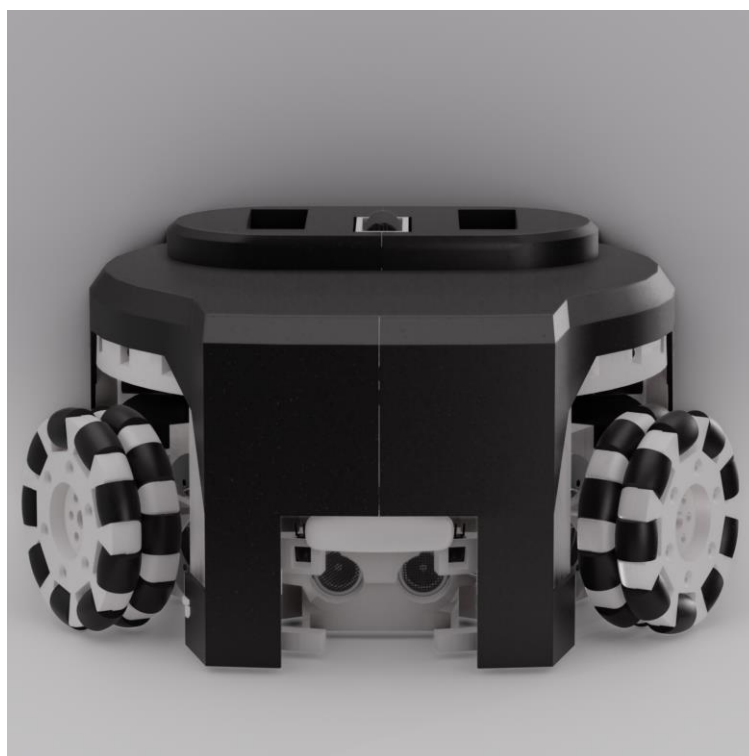


Рисунок - Вид спереди

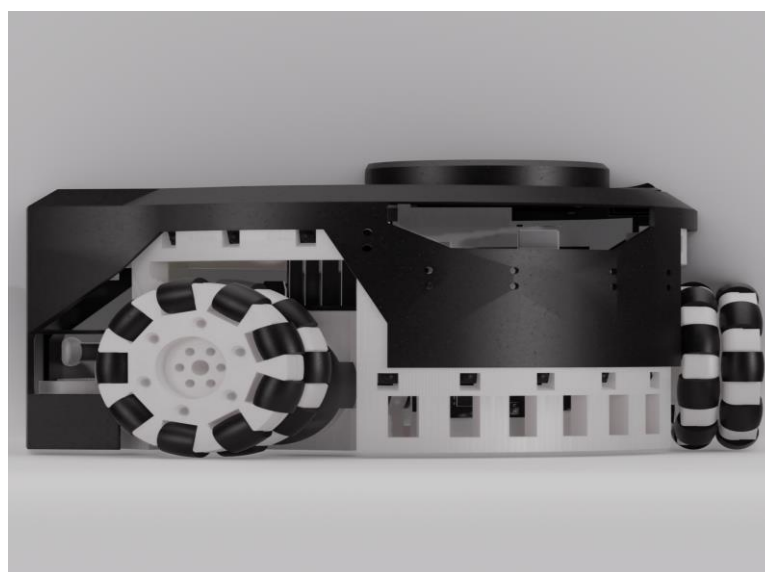


Рисунок — Вид сбоку

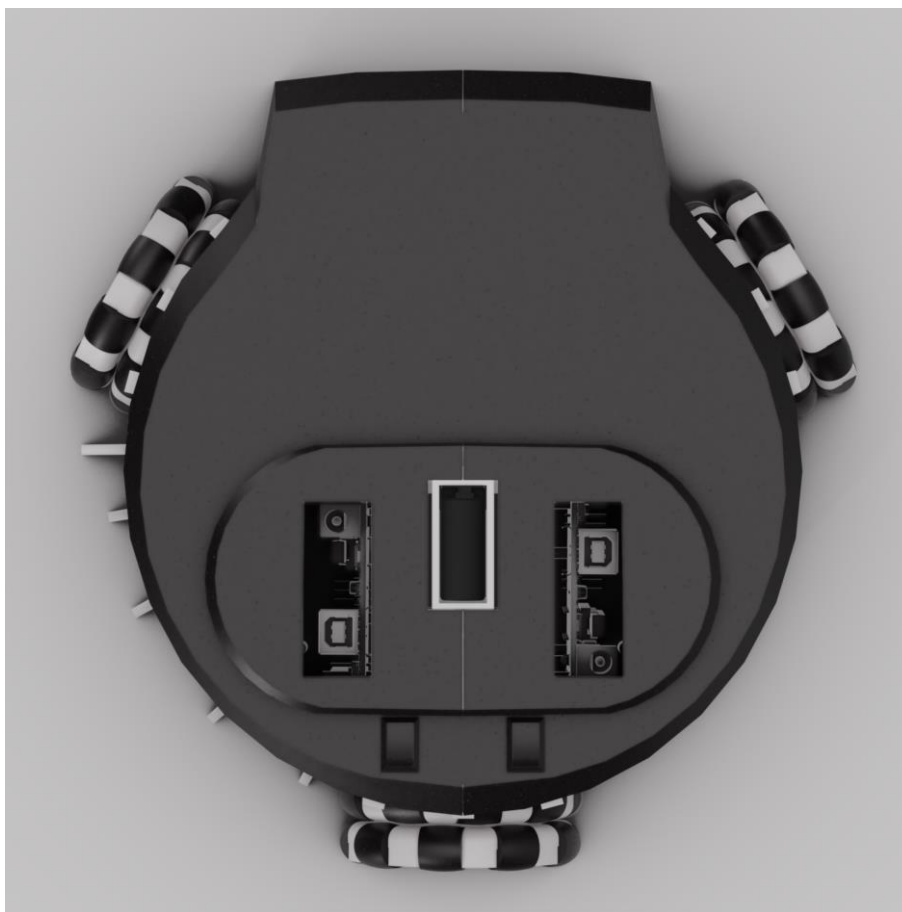


Рисунок — Вид сверху

4. Разработка системы навигации/ориентирования робота

4.1. Выбор датчиков, их положения на роботе и организация их работы

Для реализации алгоритмов управления роботом необходимы разные датчики. Подходящие варианты собраны в таблице 2.

Таблице 2 – датчики для навигации робота

Датчик	Название модуля	Число, шт	Тип подключения	Измеряемые параметры
Датчик черной линии	KY-033	2	Цифровой порт, Логический сигнал, D2, D3..	Интенсивность отраженного света
Гироскоп	MPU6050	1	I2C, SDA (A4), SCL (A5), VCC, GND	Угловая скорость
Датчик напряженности магнитного поля	HMC5883L	1	I2C, SDA (A4), SCL (A5), VCC, GND	Напряженность магнитного поля
Энкодер (интегрированный в мотор JGB37-520)	Датчик холла цифровой 44E (A3144)	6	Цифровой порт, Логический сигнал, D2, D3..	Изменение магнитного потока

KY-033 оптимизирован именно для слежения за чёрной линией: малый рабочий диапазон и встроенный фильтр видимого света обеспечивают надёжное выделение контраста «чёрное/белое».

MPU6050 сочетает в себе сразу два датчика (гироскоп + акселерометр) и термодатчик, имеет высокое разрешение и цифровую обработку сигналов, что превосходит отдельные решения по объёму платы и сложности калибровки.

HMC5883L предлагает готовый цифровой выход по трём осям, в то время как аналоговые датчики Холла требуют внешнего АЦП и дают лишь одноканальные показания.

Таким образом, выбранные модули обеспечивают оптимальный баланс между точностью, компактностью, потребляемой мощностью и простотой.

5. Разработка системы определения положения мяча на поле, или относительно робота

5.1. Выбор датчиков, их положения на роботе и организация их работы

Для определения положения мяча относительно робота будут использоваться 24 ИК-датчика и один сонар.

Вот список рассмотренных ИК-датчиков, которые можно использовать:

1) TSOP4838

Преимущества:

- Высокая частота опроса в 38 кГц
- Низкий уровень потребления энергии
- Обладает небольшими габаритами и легко подключается

Недостатки:

- Чувствительность к помехам
- Не способен демодулировать сигнал

2) VS1838B

Преимущества:

- Большая дальность действия
- Высокая частота опроса 38 кГц

Недостатки:

- Высокая чувствительность к помехам
- Высокое энергопотребление

3) TSOP31236

Преимущества:

- Очень низкое энергопотребление
- Высокая частота опроса 36 кГц

Недостатки:

- Высокая цена

Было принято решение остановиться на TSOP4838, так как в данном случае это оптимальный выбор между ценой и эффективностью

энергопотребления.

Далее следует определиться с сонаром:

1) PING))) ultrasonic distance sensor

Преимущества:

- Прост в использовании
- Высокая точность измерений

Недостатки:

- Высокая цена

2) HC-SR04

Преимущества:

- Наиболее распространен
- Низкая цена

Недостатки:

- Невысокая точность

3) JSN-SR04T

Преимущества:

- Большое расстояние обнаружения
- Приспособлен для работы на улице

Недостатки:

- Высокая цена

Выбор пал на HC-SR04, который легко интегрируется, обладает низкой стоимостью и неплохой надежностью.

6. Разработка системы управления и контроля работы силовых электрических компонентов робота

6.1. Выбор драйверов движителей робота

Для обеспечения перемещения робота первым делом необходимо было выбрать двигатель для этого были проведены расчёты:

Основными параметрами для расчёта послужили : масса робота (m) – 3 кг, радиус колеса (r) – 20 см (0,2 м), ускорение необходимое для плавного старта (a) – предположительно $0,5 \text{ м/с}^2$, и коэффициент трения, необходимый для сцепления колёс с поверхностью (μ) – 0,7. Далее необходимо подставить эти данные в формулу, для нахождения момента M :

$$M = m \cdot r \cdot a \cdot \mu \quad (1)$$

Из уравнения 1 получим:

$$M = 3 \cdot 0,2 \cdot 0,5 \cdot 0,7 = 0,36 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Следовательно, на основе данных расчётов необходимо выбрать мотор, с минимальным моментом $0,36 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Выбор состоял из следующих вариантов:

1. JGB37-520



Рисунок 11 – Двигатель JGB37-520

У данной модели следующие преимущества и недостатки:

Преимущества:

- Может развивать момент до $3,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$;
- Может работать от напряжения от 6 до 15 В;
- Низкая стоимость;

Недостатки:

- Маленькая скорость;
2. Двигатель постоянного тока с редуктором

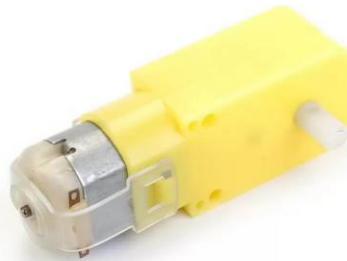


Рисунок 12 - Двигатель постоянного тока с редуктором

У данной модели следующие преимущества и недостатки:

Преимущества:

- Может развивать момент до $0,78 \text{ Н} \cdot \text{м}$;
- Простота управления при помощи Arduino;
- Низкая стоимость;

Недостатки:

- Ограниченный диапазон рабочих скоростей;
- Низкая точность позиционирования;

При сравнении двух этих вариантов было принято решение о выборе двигателя JGB37-520, так как он может выдавать наибольший момент, из-за чего возможно увеличение массы робота в случае необходимости, а также в следствии того, что данные моторы уже имеются в наличии.

Следующим шагом стал выбор средства силовой коммутации. Выбор был между Н-мостом и реле. Но выбран был Н-мост, из-за необходимости подачи ШИМ сигнала на моторы, что реле не может себе позволить.

6.2. Разработка системы силового управления пинателем

Для осуществления работы пинателя, первым делом необходимо было выбрать соленоид с механизмом. Так как создавать соленоид выходит сложнее и дороже, то было принято решение купить готовый соленоид. Для его выбора были подобраны следующие критерии:

- Способность питаться от аккумуляторной батареи с напряжением 12 В;
- Сила удара должна быть не менее 4 Н;
- Низкая стоимость;

К сожалению, под эти критерии подошёл только один готовый соленоид, а именно «Small push-pull solenoid».



Рисунок 13 - Small push-pull solenoid

Для управления соленоидом необходимо использовать средство силовой коммутации.

Были рассмотрены следующие варианты:

1. H-мост

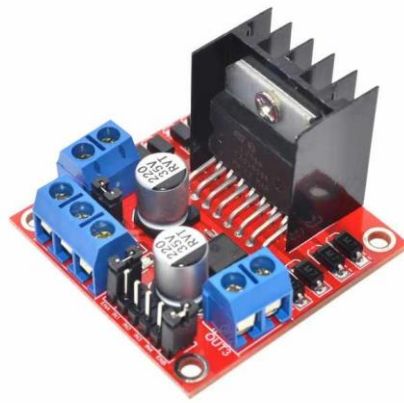


Рисунок 14 – Н-мост

Данное средство силовой коммутации имеет следующие достоинства и недостатки:

Преимущества:

- Доступность;
- Способность принимать и обрабатывать ШИМ-сигнал;
- Возможность питаться от 12 В аккумулятора;

Недостатки:

- Максимальное напряжение, которое он может выдержать это 35 В;
- Большие габариты;

2. Одноканальный релейный модуль постоянного тока 5V 10A

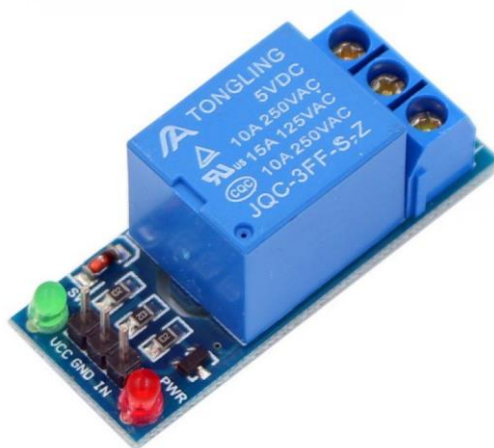


Рисунок 15 - Одноканальный релейный модуль постоянного тока 5V
10A

Данное средство силовой коммутации имеет следующие достоинства и недостатки:

Преимущества:

- Доступность;
- Маленькие размеры;
- Максимальное напряжение, которое он может выдержать это 250 В;

Недостатки:

- Невозможность питаться от 12 В аккумулятора;

3. Одноканальный релейный модуль с опторазвязкой 12В 10А

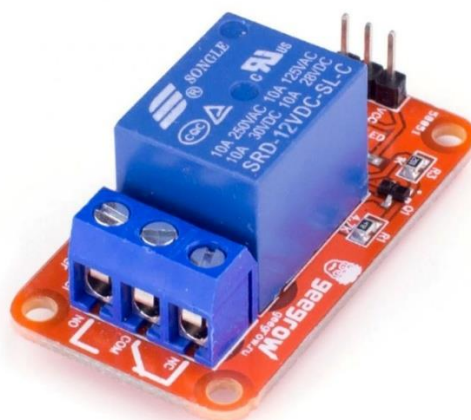


Рисунок 16 - Одноканальный релейный модуль с опторазвязкой
12В 10А

Данное средство силовой коммутации имеет следующие достоинства и недостатки:

Преимущества:

- Доступность;
- Маленькие размеры;
- Максимальное напряжение, которое он может выдержать это 250 В;
- Возможность питаться от 12 В аккумулятора;

Недостатки:

- Необходимость покупки;

Проанализировав все эти варианты был выбран одноканальный

релейный модуль с опторазвязкой 12В 10А, вследствие полной совместимости с остальными элементами схемы и почти полным отсутствием минусов.

Последним шагом необходимо было выбрать конденсатор для схемы пинателя. Задача конденсатора будет заключаться в накоплении заряда и последующей отдачей его соленоиду.

Для этого используем формулу:

$$C \geq \frac{I \cdot \Delta t}{\Delta V} \quad (2)$$

Где I - максимальный ток потребления при нарастании/спаде (пиковый импульс), Δt - длительность этого импульса (или время между компенсационными срабатываниями), ΔV - максимально допустимое отклонение напряжения питания от номинала

Используя формулу (2) получим:

$$C \geq \frac{0,1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{0,5} = 10^{-3} \text{Ф}$$

И выберем самый доступный нам конденсатор, подходящий под эти критерии: электролитический конденсатор 220мкФ 16В.

7. Выбор управляющей электроники

Таблица 3 – Обзор возможных вариантов управляющей электроники

Параметр	Arduino Uno R3	Raspberry Pi	STM32
Архитектура	8-бит ATmega328	64-бит ARM Cortex-A53	32-бит ARM Cortex-M
Рабочее напряжение	3,3 – 5 В	3,3 В	3,3 В
Диапазон входных напряжений	7–12 В	1,8–5,5 В	2–3,6 В
Цифровых входов/выходов	14	17	55
Аналоговые входы	6	Нет (требуется АЦП-модуль)	Зависит от модели (часто ≥ 10)
Максимальный ток через I/O	40 мА	16 мА	25 мА
Тактовая частота	16 МГц	1,2 ГГц	до 72 МГц
Потребление энергии	Низкое	Среднее/высокое	Низкое
Простота использования	Очень высокая	Средняя	Низкая (высокий порог входа)
Сообщество, поддержка	Очень широкая	Широкая	Средняя
Расширяемость	Высокая, много шилдов	Очень высокая	Очень высокая
Наличие IDE/инструментов	Arduino IDE	Raspberry Pi OS, Linux	STM32CubeIDE, Keil, др.
Цена	Низкая	Средняя/высокая	Низкая/средняя
Особенности	Простота, модули plug&play	Мощный ПК, поддержка Linux	Высокая производительность

			, гибкость
Недостатки	8 бит, небольшая память	Высокое энергопотребление	Сложность освоения

Вывод:

Для поставленных задач наиболее подходит **Arduino Uno R3** благодаря простоте, распространённости, достаточному числу портов и поддержке со стороны сообщества. **Raspberry Pi** слишком мощный, сложен для взаимодействия с электроникой и требователен к питанию. **STM32** превосходит **Arduino** по мощности и возможностям, но требует больше опыта и инвестиций во вхождение в платформу.

8. Разработка системы питания электронных компонентов робота

8.1. Выбор аккумулятора

Известно, что для питания логической составляющей робота требуется напряжение 5 В

Для питания робота-вратаря необходимо выбрать подходящий аккумулятор. Выбор будет основан на расчётах потребления тока и мощности, учитывающих как силовую, так и логическую составляющие системы. Известно, что для питания логической составляющей робота требуется напряжение 5 В, а для питания силовой составляющей требуется 9-12 В.

Характеристики компонентов силовой части приведены в таблице 3, а логической части — в таблице 4. Значения характеристик рассматриваемых датчиков взято для работы при пиковой нагрузке системы.

Таблица 4 – Силовая составляющая системы робота

Компонент	Количество	Ток, мА	Суммарный ток, мА	Выходная мощность, Вт (При $U = 5В$)
Привод JGB37-520	3	200	600	$P = 0.6 \cdot 11.1 = 6.66$
Small Push-Pull Solenoid	1	300	300	$P = 0.3 \cdot 11.1 = 3.33$
Драйвер L298N	2	70	140	$P = 0.14 \cdot 11.1 = 1.554$

Таблица 5 – Логическая составляющая системы робота

Компонент	Количество	Ток (мА)	Суммарный ток (мА)	Выходная мощность, Вт (При $U = 5В$)
TSOP4838 (ИК-датчик)	24	5	120	$P = 0.12 \cdot 5 = 0.6$
74НС165 (регистр)	3	0.16	0.48	$P = 0.00048 \cdot 5 = 0.0024$
НС-SR04 (сонар)	1	15	15	$P = 0.015 \cdot 5 = 0.75$
КУ-033 (датчик линии)	2	20	40	$P = 0.04 \cdot 5 = 0.2$
MPU6050 (гироскоп)	1	3.9	3.9	$P = 0.0039 \cdot 5 = 0.0195$
НМС5883L	1	0.1	0.1	$P = 0.0001 \cdot 5 = 0.0005$
Arduino Uno	2	50	100	$P = 0.1 \cdot 5 = 0.5$
Модуль реле 1 канал с опторазвязкой	1	20	20	$P = 0.02 \cdot 5 = 0.1$
44Е (А3144)	6	25	150	$P = 0.15 \cdot 5 = 0.75$

Таким образом, имеем входной ток силовой составляющей робота

$I_{\text{вх.сил}} = 1040\text{мА}$ и входной ток логической составляющей $I_{\text{вх.л}} = 569.48\text{мА}$.

Входная мощность силовой части робота $P_{\text{сил}} = 11.544\text{Вт}$, а входная мощность логической части робота $P_{\text{вх.л}} = 2.2474\text{Вт}$.

Так как для питания логической части системы робота-вратаря требуется 5 В, а аккумулятор будет подавать на вход больше данного значения (так как силовая часть значительно требует больше мощности), требуется использовать преобразователь напряжения. Понижая входное напряжение с изначального значения до 5 В, часть энергии теряется. Поэтому требуется рассчитать входной ток для логической части по формуле (1):

$$I_{\text{вх.л}} = \frac{P_{\text{вых.л}}}{U_{\text{вх}} \cdot \eta} \quad (1)$$

где $P_{\text{вых.л}}$ – мощность на выходе, Вт;

$U_{\text{вх}}$ – входное напряжение, В;

η – КПД преобразователя напряжения.

Следовательно, входной ток для питания логической части:

$$I_{\text{вх.л}} = \frac{2.2474}{11.1 \cdot 0.9} \approx 225 \text{ мА}$$

Общий входной ток, питающий всю систему робота, определяется по следующей формуле:

$$I_{\text{вх.общ}} = I_{\text{вх.сил}} + I_{\text{вх.л}} \quad (2)$$

Где $I_{\text{вх.сил}}$ – входной ток силовой составляющей робота, мА;

$I_{\text{вх.л}}$ – входной ток логической составляющей робота, мА.

Следовательно, общий ток равен:

$$I_{\text{общ}} = 1040 \text{ мА} + 225 \text{ мА} = 1245 \text{ мА}$$

Суммарная мощность рассчитывается по формуле (3):

$$P = P_{\text{вх.сил}} + P_{\text{вх.л}} \quad (3)$$

Где $P_{\text{вх.сил}}$ – входная мощность силовой составляющей робота, Вт;

$P_{\text{вх.л}}$ – входная мощность логической составляющей робота, Вт.

Следовательно, общий ток равен:

$$P = P_{\text{сил}} + P_{\text{логика}} = 11.544 + 2.2474 = 13.7914 \text{ Вт}$$

Одним из ключевых параметров в выборе аккумулятора является расчёт ёмкости аккумулятора в ампер-часах. Расчёт производится по формуле (4):

$$Q = \frac{P \cdot t}{V \cdot k} \quad (4)$$

Где P – суммарная мощность робота, Вт;

t – требуемое время работы, ч;

V – напряжение всей системы, В;

k – коэффициент использования.

Было определено, что требуемое время работы $t = 1$ ч. Коэффициент напряжения $k = 0.8$. Следовательно, ёмкость аккумулятора равна:

$$Q = \frac{P \cdot t}{V \cdot k} = \frac{13.7914 \cdot 1}{11.1 \cdot 0.8} = 1.56 \text{ А} \cdot \text{ч} = 1560 \text{ мА} \cdot \text{ч}$$

На основе расчётных параметров потребления тока и мощности необходимо определить наиболее подходящую модель аккумулятора для питания всей системы робота. Наиболее распространёнными типами аккумуляторов, применяемыми в подобных условиях, являются литий-полимерные (Li-Po) и литий-ионные (Li-Ion) аккумуляторы. В таблице 3 приведены характеристики литий-полимерного и литий-ионного аккумуляторов, отобранных на основе ранее рассчитанных требований к питающему источнику.

Таблица 6 – Характеристики литий-полимерного и литий-ионного аккумуляторов

Параметр	Li-Po	Li-Ion
Номинальное напряжение, В	11.1 В	11.1 В
Ёмкость, мАч	1500	2800
Ток разряда, С	40	13
Масса, кг	0.14	0.2
Габариты, мм	130 · 50 · 50	130 · 111 · 60

Оба типа широко используются в мобильной электронике,

радиоуправляемых моделях и робототехнике благодаря высокой энергоёмкости и компактным габаритам. При этом следует учитывать, что Li-Po аккумуляторы требуют более строгого соблюдения условий эксплуатации, так как чувствительны к перегреву, перезаряду и механическим повреждениям, что может привести к их выходу из строя или возгоранию.

Li-Po аккумуляторы обладают значительно большей способностью к выдаче тока (током разряда), что критически важно при кратковременных и пиковых нагрузках, характерных для силовых систем робота. В свою очередь, Li-Ion аккумуляторы обеспечивают меньший разрядный ток, что может ограничивать их применение в системах с высокими пиковыми потребностями, вплоть до отключения робота в связи с чрезмерно высокой нагрузкой на систему.

С учётом лучшей способности токоотдачи, для обеспечения стабильной и надёжной работы системы был выбран литий-полимерный аккумулятор Li-Po 11.1 V 1500 mAh. Также литий-полимерный аккумулятор компактные размеры и меньшую массу по сравнению с аналогичным по напряжению Li-Ion, что делает его оптимальным вариантом для мобильной робототехнической платформы.

8.2. Выбор преобразователей/стабилизаторов

Таблица 7 – Преобразователи напряжения

Параметр	LM2596	AMS1117	MP1584	XL4015
Входное напряжение	4–40 В	15 В	4.5–28 В	8–36 В
Выходное напряжение	3-35	1.25 - 5	0.8 - 25	1.5 - 32
Выходной ток (макс)	2 А	0.8 А	3 А	5 А
КПД	92%	40-60%	75–90%	96%
Регулировка напряжения	Да	Нет (фиксированный выход)	Да	Да
Наличие термозащиты	Да	Нет	Да	Да

Габариты, мм	48 * 23 * 14	25 * 11 * 3	23 * 17 * 4	22 * 17 * 4
Масса, г	11	0.39	2.1	21

Основываясь на предоставленных характеристиках, стабилизатор LM2596 был выбран как наиболее подходящий вариант для работы с Li-Po аккумулятором 11.1 В благодаря сочетанию надёжности, эффективности и универсальности. Он поддерживает широкий диапазон входного напряжения от 4 до 40 В, что делает его совместимым с текущей конфигурацией питания. LM2596 способен выдавать до 2 А выходного тока, чего достаточно для питания всей системы робота-вратаря. При этом его КПД достигает 92%, что существенно снижает потери энергии и нагрев по сравнению с линейными стабилизаторами. LM2596 безопасен в использовании, так как имеет встроенную термозащиту, которая автоматически отключает модуль при перегреве, предотвращая выход из строя как самого преобразователя, так и питаемых компонентов. В то же время его физические размеры и масса остаются приемлемыми для большинства мобильных и встроенных систем.

9. Разработка принципиальной и функциональной схем

Принципиальная схема для обеих плат ардуино представлена в приложении А.

10. Проработка технологических процессов

Корпус робота предлагается печатать из PETG пластика, поскольку данный пластик обеспечивает достаточную устойчивость к механическим нагрузкам по сравнению с PLA пластиком, а также менее чувствителен к настройкам печатающего оборудования, чем ABS пластик. Корпус робота был разбит на несколько деталей для удобства сборки и обеспечения доступа к деталям, которые будет необходимо заменять в процессе эксплуатации. Корпус состоит из каркаса, крышки и вспомогательных деталей для крепежа колёс.

Этапы сборки робота

1. В специальное гнездо на каркасе вставить двигатель, закрывая его вспомогательной деталью, соединяемой с помощью винтов. Повторить данный шаг для двух других двигателей.
2. Над двигателями расположены площадки монтирования драйверов, на них необходимо закрепить драйверы с помощью винтов.
3. Припаять контакты двигателя к драйверам.
4. Установить пинатель в специальное гнездо на лицевой стороне робота и закрепить его с помощью болта.
5. Над пинателем расположена площадка монтирования реле, на ней необходимо закрепить реле с помощью винтов.
6. Спаять контакты реле и пинателя.
7. Установить гироскоп-акселерометр на площадку в центре робота и закрепить с помощью винтов.
8. Установить отладочную плату Arduino UNO R3 на боковую площадку так, чтобы интерфейсы USB и питания были расположены сверху, и и закрепить с помощью винтов. Повторить то же самое для второй отладочной платы.
9. Установить ультразвуковой датчик в специальное гнездо под пинателем и закрепить с помощью винтов.
10. Установить инфракрасные датчики в количестве двух штук в специальных отверстиях рядом с пинателем и закрепить клеем.

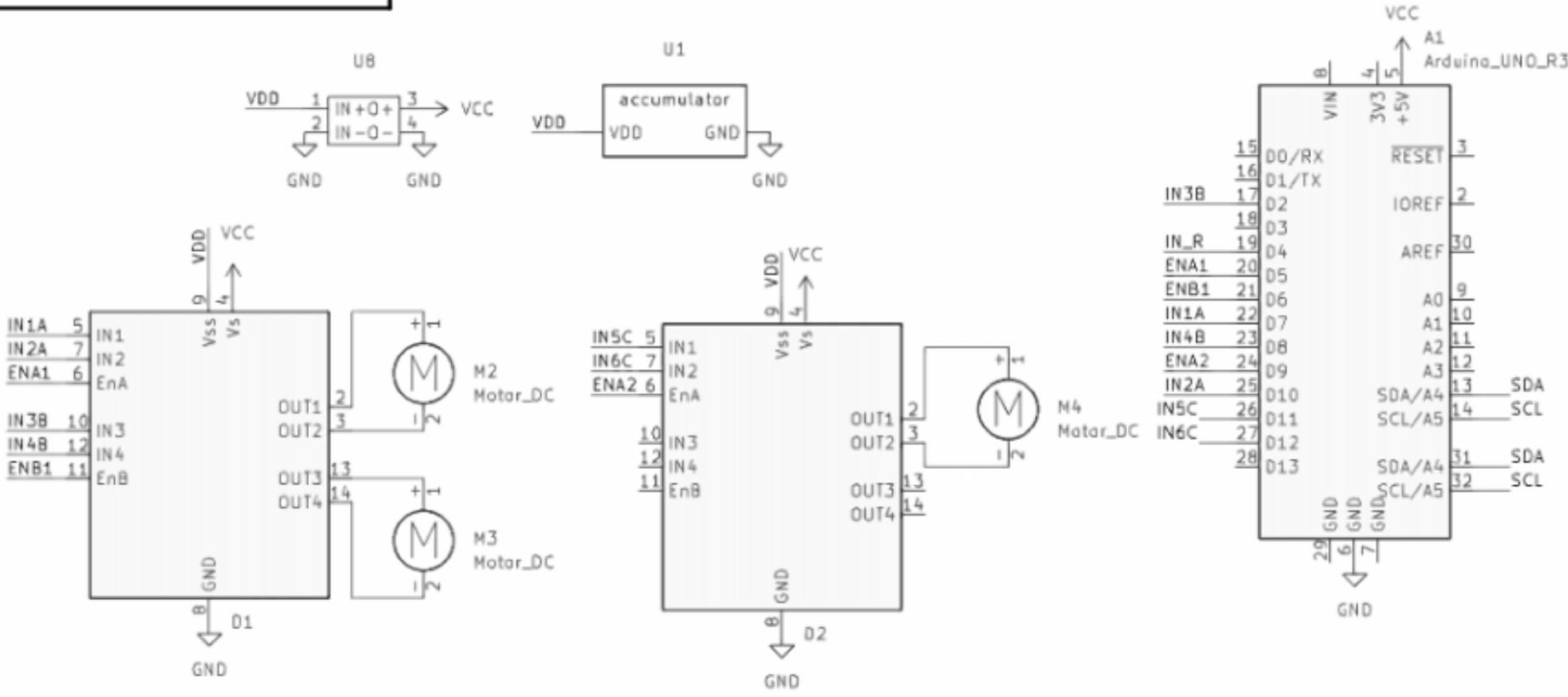
11. Расположить по периметру робота в специальных отверстиях ИК-датчики в количестве 24 штук, закрепить клеем и спаять их контакты со сдвиговыми регистрами.
12. Спаять контакты гироскопа-акселерометра, ультразвукового датчика, инфракрасные датчики у пинателя и сдвиговых регистров с отладочной платой, отвечающей за навигацию и поиск мяча.
13. Установить преобразователь напряжения на площадке в верхней части робота и закрепить винтами.
14. Спаять контакты отвечающие за силовую линию робота.
15. Закрыть крышкой каркас и закрепить её винтами по периметру.
16. Установить аккумулятор через отверстие в крышке.

Приложение А

КОМПАС-3D v23 Учебная версия © 2024 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Справ. №
Инв. № подл.
Взам. инв. №
Подп. и дата

0AP.XXXXXXX.001



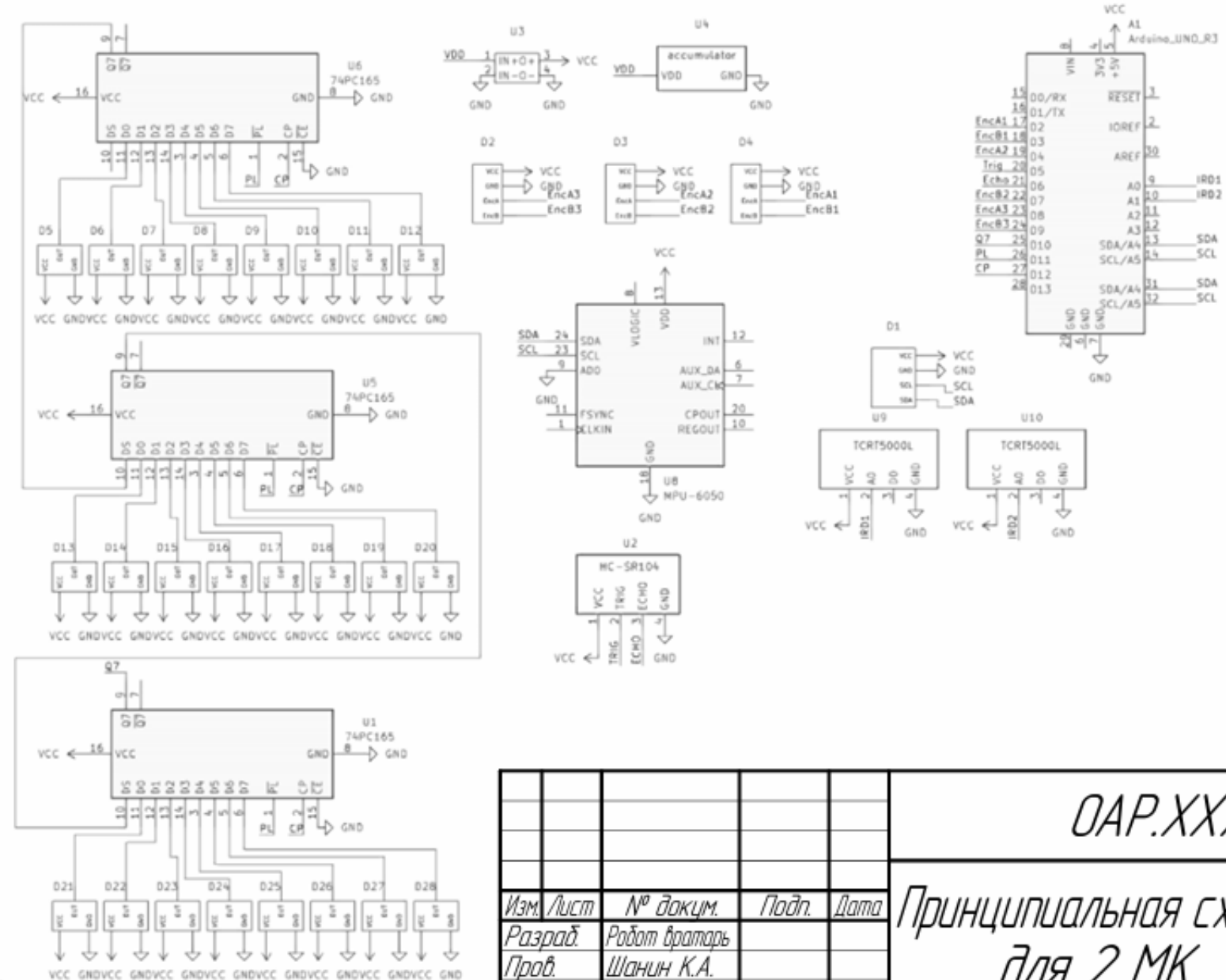
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Робот-брат			
Пров.	Шанин К.А.			
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

0AP.XXXXXXX.001			
Принципиальная схема для 1 МК			
Лист	Масса	Масштаб	1:1
Лист	Листов	1	
ТПУ ИШИТР			
Группа 8Е32			
Формат А4			

КОМПАС-3D v23 учебная версия © 2024 ООО "АКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Справ. № Инв. № подл. и дата Взам. инв. № Инв. № подл. и дата Подп. и дата

0АР.XXXXXXX.001



					0АР.XXXXXXX.001			
					Принципиальная схема для 2 МК	Лит.	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				1:1
Разраб.	Робот вратарь							
Проб.	Шанин К.А.							
Т.контр.						Лист	Листов	1
Н.контр.						ТПУ ИШИТР		
Утв.						Группа 8Е32		

