



Технический журнал

Лига:	RoboCupJunior Soccer Lightweight
Название команды:	срс_lightweight
Участники команды:	Полянский Станислав Одышев Артемий
Тренер команды:	Иванов Сергей Олегович
Организация:	Центр дополнительного образования "Планирование карьеры"
Страна:	Россия
Контакты для связи:	Полянский Станислав: s.o.polyanskiy@gmail.com Одышев Артемий: artemy2007.tmp@gmail.com
Год:	2024

Члены команды

Полное имя	Фото участника	Роль в команде/выполненная работа
Одышев Артемий		<p>Инженер-конструктор/ программист. Разработал и изготовил всенаправленные колеса для новых роботов. Разрабатывает конструкторскую документацию для новых версий роботов. Моделирует печатные платы для роботов.</p>
Полянский Станислав		<p>Инженер-конструктор/ программист. Разработал конструкторскую документацию для нападающего и вратаря и собрал их. Написал программное обеспечение для текущих версий роботов.</p>

Спецификация робота

Дата разработки:	2022 год	2023 год
Габариты (ширина; длина), мм:	200x200	
Общая масса, гр:	1095	1000
Используемые моторы:	Pololu 25Dx48L 12V	
Мотор дриблера:	PULSE 4450KV	SURPASS HOBBY 750KV
Главный контроллер:	ATmega2560	STM32F446RET
Датчики линии:	TCRT500L - 16 штук	Самодельные датчики на фоторезисторах - 16 штук
Способ определения положения мяча	HiTechnic IRSeeker NXT	Плата собственной разработки с датчиками TSSP4038 в количестве 32 штук
Дополнительные датчики:	WT901, датчики для определения наличия мяча в лунке	
Элементы питания:	2 элемента форм-фактора 18650	1 Li-Pol аккумулятор, напряжение 11.1В

Таблица 1. Сравнение спецификаций роботов 2023 и 2022 года разработки

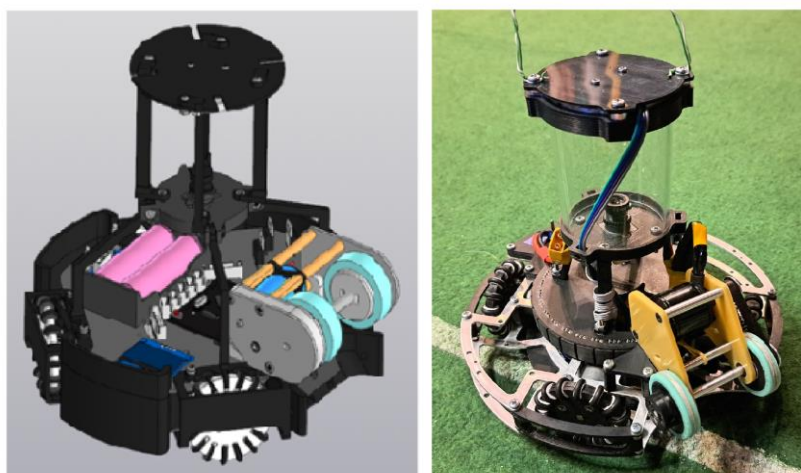


Рисунок 1, 2. Электронная модель робота 2022 года (слева) и фотография робота 2023 года (справа)

Конструкционные особенности

Робот представляет из себя омниплатформу, благодаря этому реализуется передвижения по игровому полю в любом направлении без необходимости изменения курса. В конструкции омниплатформы присутствует четыре двигателя с самодельными колесами (см. рисунок 3). Конструкция робота включает в себя две печатные платы, которые крепятся на алюминиевые пластины. Пластины являются основой конструкции робота и соединяются между собой при помощи самодельных стальных стоек.

Контроль мяча на поле осуществляется при помощи дриблера. Наша команда спроектировала и протестировала множество вариантов этого устройства, в процессе было испытано множество прототипов с разной конструкцией и способом передачи вращательного движения с вала мотора на силиконовые валики. В конечном итоге наиболее удачным вариантом оказалась конструкция с расположением роликов за пределами основных прочностных пластин (см. рисунок 3). Использование ременной передачи позволило сделать дриблер намного тише предыдущих прототипов. Ссылка на видео тестирования дриблера: [VK-видео](#).

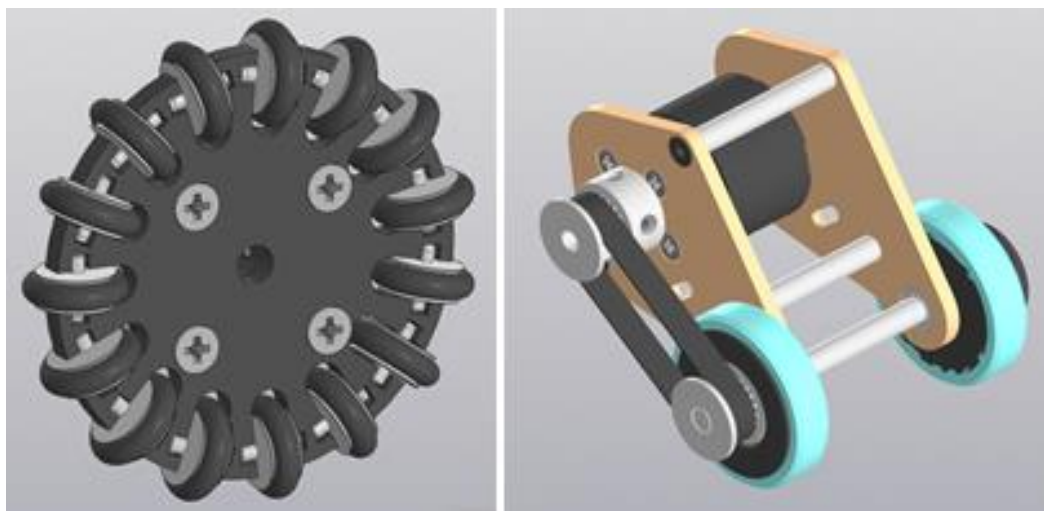


Рисунок 3. Электронные модели колеса без ответной крышки (слева) и дриблера (справа)

Конструкция нашей оптической системы с использованием гиперболического зеркала (см. рисунок 4) позволяет камере охватить все игровое поле, что делает возможным реализацию стабильной локализации робота в любой точке поля.

В нашем роботе, также используется инерционный модуль (датчик совмещает в себе гироскоп, акселерометр, магнитометр). Датчик расположен в полости зеркала, такое решение позволяет ориентировать датчик точно в центре робота и снизить влияние магнитного поля от моторов. Благодаря этому датчику мы можем рассчитать актуальный курс робота. Совмещая данные о курсе с системой оптической навигации можно получить точную информацию о положении робота в пространстве.

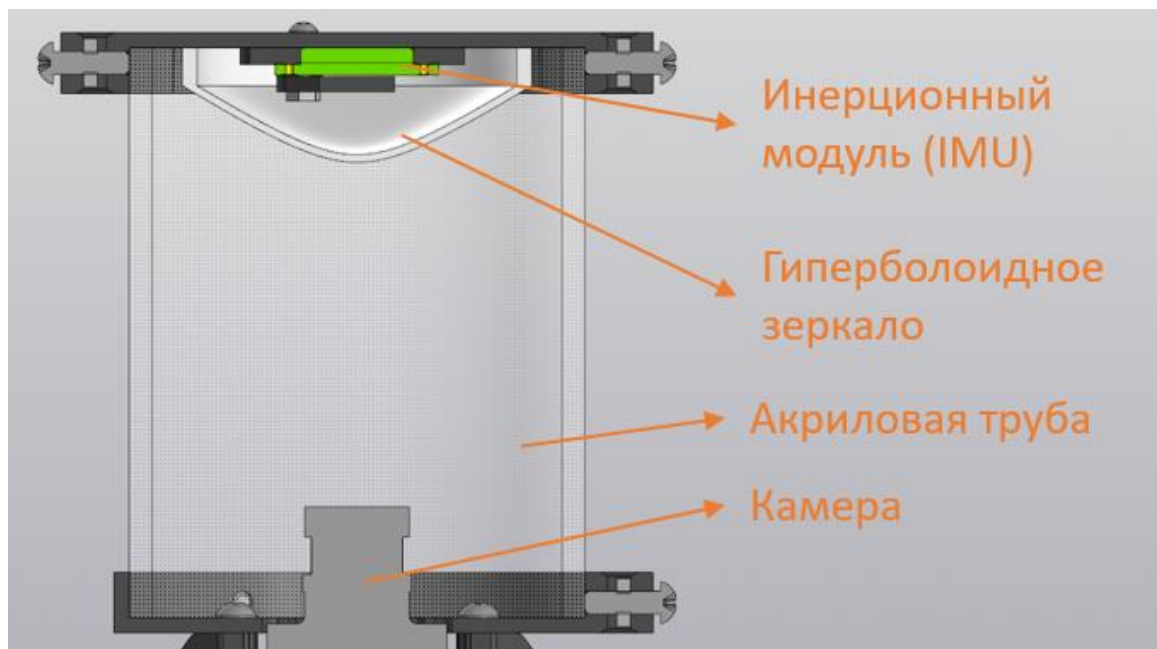


Рисунок 4. Электронная модель оптической системы робота, полученная сечением плоскостью исходной модели

Электроника

В ходе работы над роботом наша команда разработала 2 печатные платы. Основная/материнская плата (см. рисунок 5) включает в себя множество важных цепей, таких как:

- Понижающий стабилизатор напряжения (понижает напряжение с аккумуляторов до 5В и до 3.3В).
- Логическая часть в основе, которой лежит микроконтроллер STM32F446RET.
- Повышающий стабилизатор напряжения (повышает напряжение с аккумуляторов до 48В) для работы пиналки.

- Цепь управления моторами, в основе схемы лежит драйвер DRV8870 (по одному на каждый мотор).

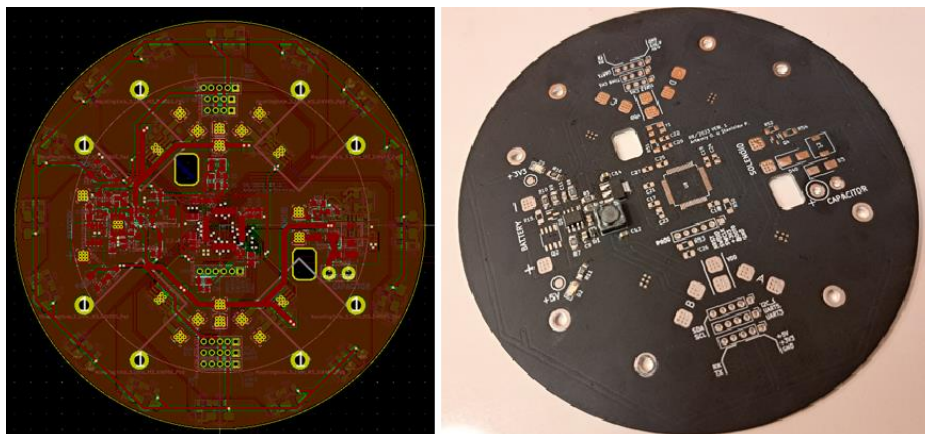


Рисунок 5. Модель материнской платы в программе KiCad (слева) и изготовленная плата (справа)

Также мы разработали плату для определения положения игрового мяча относительно робота (см. рисунок 6), в основе схемы лежит инфракрасные приемники TSSP4038 в количестве 32 штук. Обработкой значений с датчиков занимается микроконтроллер STM32F107RET6. Обработанные данные передаются на материнскую плату посредством интерфейса I2C. Алгоритм определения положения мяча:

- Для каждого инфракрасного датчика определяется длительность импульса и вектор его направления
- Произведения векторов и длительностей импульсов каждого датчика складываются для определение итогового вектора направления мяча

Прошивка платы поиска мяча доступна по ссылке: [Github](#)

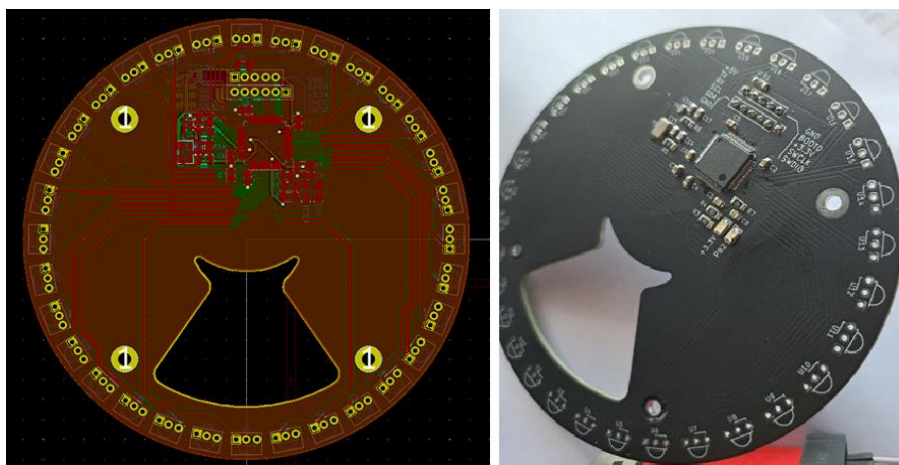


Рисунок 6. Модель платы поиска мяча в программе KiCad (слева) и изготовленная плата (справа)

Программирование

Все микроконтроллеры роботов программируются на языке C++.

В нашей команде используется тактика с разделением ролей: один робот является нападающим, другой - вратарём. В зависимости от роли поведение робота соответственно меняется.

Реализованы следующие алгоритмы:

1. Для нападающего:

- Подъезд к мячу по специальной траектории (см. рисунок ниже), которая рассчитывается на основе положения мяча. Такой подход позволяет быстро подъехать к мячу и захватить его дриблером.

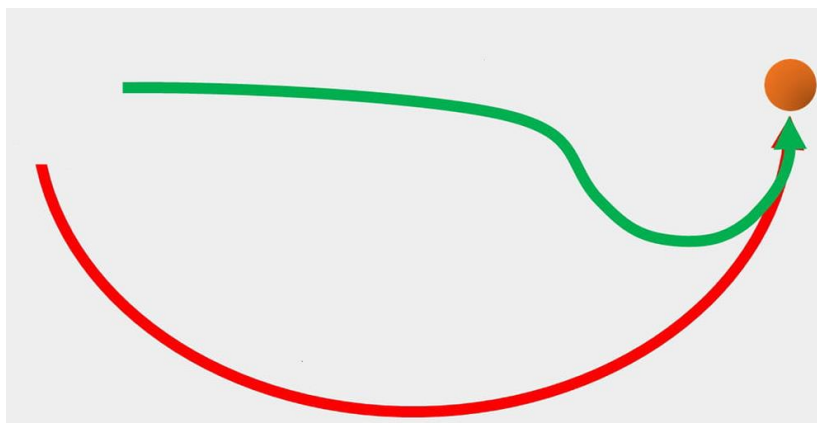


Рисунок. Пример неоптимальной траектории (красная кривая) и используемой оптимальной (зеленая кривая).

- Удар мячом из-за спины, после захвата мяча роботом используется оптическая локализация для наведения на ворота соперника (робот в этот момент смотрит на свои ворота). Последующий резкий рывок робота, позволяет высвободить мяч и направить его в нужные ворота.
- Исправление искажений на изображениях, полученных с использованием гиперболического зеркала. Алгоритм позволяет практически полностью исключить искажения на изображении (см. раздел [Оптическая система](#)).

Оптическая локализация, реализуется за счет настройки камеры TrackingCam на распознавание своих и чужих ворот. Зная положения ворот относительно робота, можно определить актуальную позицию робота на игровом поле.

2. Для вратаря:

- Удержание робота возле штрафной зоны ворот и движение около неё с помощью определения расстояния до своих ворот по камере.
- Отбрасывание мяча при его близком расположении к воротам до середины поля для защиты от гола и возврат робота к зоне защите с помощью оптической системы.
- Отслеживание ситуации на поле: если случается момент, когда вратари остаются одни на поле, то запускается таймер отсутствия движения у мяча, если таймер достигает нужного порога и мяч находится на центральной штрафной точке, то робот выезжает вперед, чтобы забить гол в возможно пустые ворота.

3. Общие:

- Регулятор управления омниплатформой, рассчитывает скорость и направление вращения каждого мотора в зависимости от необходимого направления движения и скорости робота.

При разработке программного кода для роботов мы следуем парадигме ООП для структуризации нашего кода. Такой подход позволяет разделить ответственность в коде и упрощает процесс дальнейшей разработки.

Все датчики подключаются к микроконтроллеру материнской платы посредством интерфейсов UART и I2C.

Полный код материнской платы доступен по ссылке: [Github](#)

Оптическая система

Как было описано в разделе выше, наша команда разработала алгоритм исправления искажений для изображений, полученных с

камеры TrackingCam. Следующий алгоритм включает в себя несколько этапов:

- Указание реперных точек (реперные точки могут быть просто черными кругами, главное, чтобы их было хорошо видно на полученном изображении). Для каждой такой точки указывается расстояние от центра точки до центра робота в мм и расстояние в пикселях на изображении.
- Используется алгоритм интерполяции (интерполяционный многочлен Лагранжа) для получения формулы $f(x) = y$, где f - функция интерполяции, x - расстояние от реперной точки до центра кадра в пикселях, y - расстояние от реперной точки до центра робота в мм. Такое выражение должно выполняться для всех реперов с необходимой точностью (в районе нескольких мм).
- Декартовы координаты каждой точки исходного изображения преобразуются в полярные координаты (r, ϕ) .
- Для каждой новой координаты пересчитывается радиус в соответствии с интерполяционной функцией $f(r) = R$, где R - новый радиус в мм для каждой точки изображения.
- Полярные координаты (R, ϕ) обратно преобразуются в декартовы для каждой точки изображения.

Ниже вы можете наблюдать результат работы нашего алгоритма (см. рисунок 7), также мы разработали программу для быстрого поиска интерполяционного многочлена на основе реперных точек, с примером работы вы можете ознакомиться по ссылке: [VK-видео](#). Обратите внимание, что часть изображения при этом обрезается (по краям, часть изображения в центре можно игнорировать, ведь в этом месте всегда будет находиться робот). Эту проблему можно решить добавив к интерполяции алгоритм экстраполяции, чем наша команда сейчас занимается. В описанном алгоритме преобразуется каждая точка, но в реальных условиях это может занять значительное время. Поэтому преобразуются только точки, являющиеся воротами, преобразовывать остальные точки не имеет смысла (но это необходимо для демонстрации алгоритма).

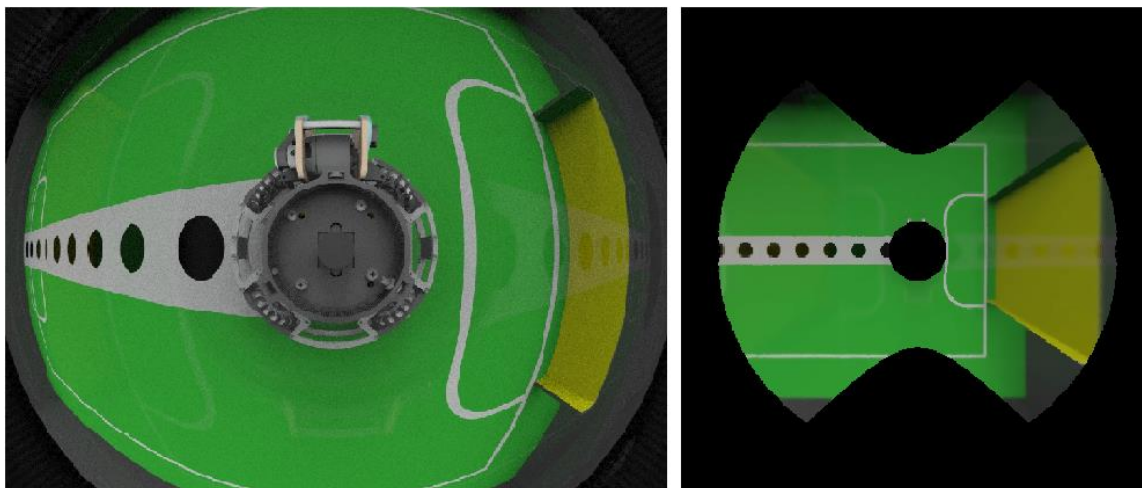


Рисунок 7. Рендер изображения, полученного с камеры робота (слева), при этом реперные точки выглядят как круги на белой полоске. Преобразованное с помощью нашего алгоритма изображение (справа)

Локализация робота в пространстве

Определение роботом своего положения на поле является важной задачей при разработке программного обеспечения. Благодаря локализации возможно реализовать движение робота к определенным точкам на поле, например к штрафным точкам для последующего удара по воротам соперника из-за спины. Кроме того, зачастую на соревнованиях белая линия выглядит блекло на фоне поля, цвет которого может быть очень ярким. В то время, как ворота независимо от их оттенка остаются контрастными, что позволяет дополнительно определять ауты по камере.

Алгоритм локализации заключается в поиске на исправленном от искажений изображении обоих ворот. Расстояние между воротами всегда фиксировано, в то время как на изображении расстояние в пикселях может немного изменяться. Поэтому мы рассматриваем приведенное расстояние, когда расстояние между воротами всегда равно 1, а расстояние от центра робота (центра кадра) до ворот нормализуется. Зная расстояние до обоих ворот не составляет труда определить положение робота в пространстве, приняв эти расстояния за стороны треугольника и далее найдя координаты одной из вершин этого треугольника (остальные две вершины представляют собой ворота). Вы можете ознакомиться с примером локализации и дальнейшей

навигации робота в пространстве по следующей ссылке: [VK-Видео](#) (робот объезжает штрафные точки).

Проблемы и трудности

Наша команда столкнулась с рядом трудностей при разработке актуальной версии робота:

- Мы разработали множество версий омниколес, использовали разный принцип фиксации колеса на моторе, меняли технологию изготовления и материалы, чтобы найти лучший вариант. Во время игр возникали проблемы с тем, что колеса разбалтывались на валу мотора и могли проворачиваться, что влияло на траекторию движения робота. В данный момент нам удалось решить эту проблемы путем изготовления передней пластины колеса на фрезерном станке (используемый материал - стеклотекстолит).
- В нашей конструкции присутствует дополнительная плата, на которой находятся выводы под аккумулятор и кнопки для прошивки основной платы. Но при этом отсутствуют дополнительные кнопки, которые можно использовать для более быстрой настройки робота между таймами игры, например, чтобы поменять ворота, которые робот будет атаковать. Сейчас наша команда уже разработала новую плату и в скором времени установит ее на робота.
- В ходе игр также возникали проблемы с моторами (китайская копия моторов Pololu), основная шестерня редуктора проворачивалась, из-за чего траектория движения искажалась. Сейчас мы заменили моторы на оригинальные от Pololu и данная проблемы больше не возникает.

Заключение

Наша команда продолжает активно развиваться, мы стараемся участвовать во всех соревнованиях своей лиги. На соревнованиях мы не только узнаем опыт и решения других команд, но и делимся своими. Такой подход позволил нам стремительно развивать нашего робота опираясь на свой опыт и опыт других команд.



Наша команда также хочет поблагодарить Центр “Планирования карьеры” и компанию “Резонит”, без них не получилось бы разработать этого робота.



REZONIT