

УДК 004.896

МОБИЛЬНЫЕ РОБОТЫ В МЕЖДУНАРОДНОМ СТАНДАРТЕ ROBOCUP SSL: КОНСТРУКЦИЯ И ЭЛЕКТРОНИКА

Ю.И. Мерзлякова

СПбПУ Петра Великого / Президентский физико-математический лицей № 239
Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29 /
Россия, 191028, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, 8
E-mail: ju.frozenman@ya.ru

И.Д. Устинов

*Национальный исследовательский университет ИТМО / Президентский
физико-математический лицей № 239*
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49 /
Россия, 191028, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, 8
E-mail: ilustr.d@gmail.com

В.Л. Иванов

*Институт проблем машиноведения РАН /
Президентский физико-математический лицей № 239*
Россия, 199178, Санкт-Петербург, Большой проспект В.О., 61 /
Россия, 191028, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, 8
E-mail: kraftvergist@mail.ru

Ключевые слова: робототехника, RoboCup SSL, конструкция, электроника

Аннотация: В докладе дается обзор мобильных роботов для автономной игры в футбол, сделанных по стандарту RoboCup SSL, спроектированных участниками команды SPbUnited, включающей учащихся и преподавателей вузов Санкт-Петербурга и Президентского физико-математического лицея №239. Описаны основные технические решения по механике и электронике, применяющиеся в роботах.

1. Введение

Международная федерация RoboCup ежегодно проводит соревнования по футболу автономных роботов. Цель соревнований – развитие интереса к робототехнике и интеллектуальным роботам и методов управления мультиагентными системами в условиях динамического окружения [1]. Роботы, описанные в данной статье используются для игры в лиге SSL (Small Size League) в дивизионе В, где соревнуются команды из 6 роботов.

По регламенту [2], каждый робот должен соответствовать размерам, указанным в правилах: робот должен помещаться в круг диаметром 180 мм и быть не выше

150 мм. Роботы играют в футбол оранжевым мячом для гольфа на зеленом поле с ковровым покрытием длиной 9 м и шириной 6 м.

2. Механические компоненты робота

Для успешной игры, любой робот в соревнованиях RoboCup SSL должен обладать исключительной мобильностью, качественно взаимодействовать с мячом и соответствовать техническому регламенту. Общий вид робота и его составные части представлены на рис. 1.

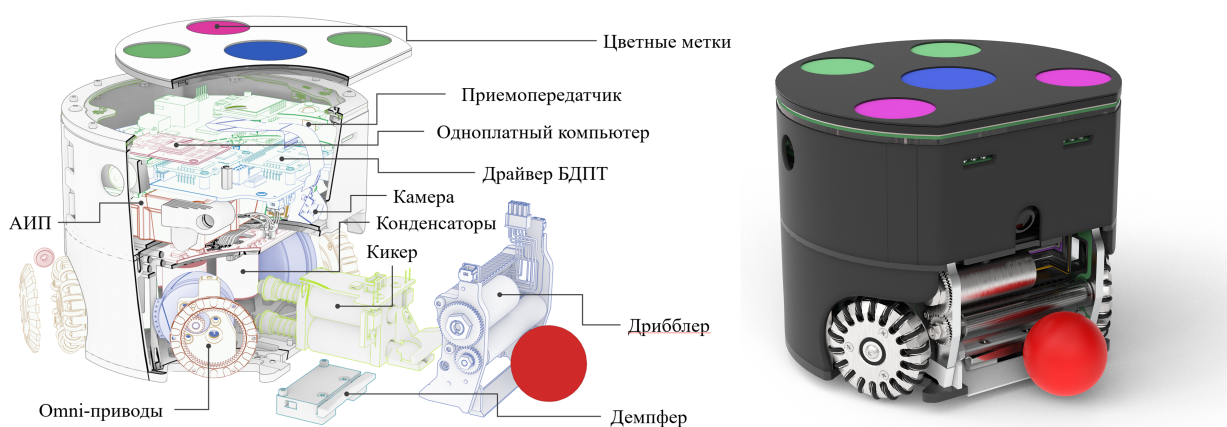


Рис. 1. Составные части и общий вид робота

На первый взгляд роботы разных команд могут показаться практически одинаковыми. Такой эффект складывается из-за строго регламентированной верхней поверхности робота, ограниченных максимальных размеров, а также обмена опытом между командами, приводящему к заимствованию и совершенствованию успешных решений. Тем не менее робот каждой команды является их разработкой со своими особенностями и недостатками. Рассмотрим основные конструктивные особенности, на примере роботов команды SPbUnited.

- Омни-приводы (всенаправленные приводы) – каждый привод состоит из омниколеса и бесколлекторного двигателя постоянного тока (БДПТ), соединенных между собой передачей внутреннего зацепления 3,7:1. Омниколеса содержат свободно вращающиеся ролики, расположенные по их периметру, что обеспечивает всенаправленное перемещение и поворот всей платформы. Моторы оснащены датчиками холла для осуществления управления с обратной связью. Подобные решения применяют практически все команды SSL.
- Цветные метки на верхней поверхности робота. Их расположение и размер строго регламентированы, так как они используются системой машинного зрения для определения положений роботов на поле. Разные комбинации цветов означают разные номера роботов. В реализации SPbUnited крышка выполнена из нескольких магнитных слоев, что позволяет менять цветные

метки практически моментально, идея заимствована у действующих чемпионов мира [3]. Кроме того, роботы обладают возможностью автоматически определять присвоенный им номер. Он выводится на специальный скрытый светодиодный дисплей.

- Кикер (устройство для удара по мячу). Практически все команды для удара по мячу используют электромагнитные кикеры. Энергия запасается в конденсаторах, а удар производится при помощи соленоида, через который, в момент удара, разряжаются конденсаторы. Такая схема исключает сложные механизмы и позволяет точно настроить силу удара, чтобы не превысить максимально допустимую скорость мяча (6.5 м/с). В роботах команды SPbUnited, как и в большинстве других команд [3–5], кроме прямого удара реализовали удар навесом под углом 45°. Для этого устанавливается 2 соленоида друг над другом. Вектор силы нижнего перенаправляется за счет так называемого «ковша», подцепляющего мяч снизу.
- Дрибблер – устройство для удержания мяча за счет придания ему крутящего момента, под действием которого мяч стремится двигаться по направлению к роботу. По регламенту роботы не могут полностью фиксировать мяч, а также при виде сверху закрывать своей проекцией более 20% его площади. Этот узел является самым сложным в роботе. Дрибблер должен быть подвижным для компенсации небольших вибраций мяча, при этом достаточно жестким, для создания достаточного трения мяча о поле, обладать возможностью останавливать пасы с минимальным отскоком мяча, центровать мяч для совершения более точных ударов, а также надежно удерживать мяч при всевозможных движениях робота и требовать минимальной настройки. Проектированию дрибблеров можно посвятить отдельную статью. Ввиду сложности аналитического расчета такого устройства, большинство параметров подбирается эмпирически, опираясь на опыт других команд [3]. Одним из успешных решений команды SPbUnited является силиконовый валик, передающий крутящий момент мячу. В роботах используется усовершенствованный цилиндрический валик. По его центру добавлена канавка для более надежного удержания мяча в среднем положении, а по краям расположены тонкие, спиралевидные элементы, центрирующие мяч. Валик изготавливается из силикона твердостью 30А по Шору. Тонкие спиралевидные элементы дополнительно уменьшают жесткость валика, улучшая его виброгасящие свойства, при этом сохраняя износостойкость более жесткого силикона. Менее полезным нововведением оказался дополнительный демпфер, предназначенный для уменьшения отскока мяча во время приема паса. Судя по испытаниям, оказываемый положительный эффект достаточно мал.

Для удобства разработки и возможности частичного улучшения роботов в будущем, большинство узлов в роботах SPbUnited выполнено в виде отдельных модулей. Самым большим и значимым из них является блок электроники.

3. Электроника робота

Архитектура электроники состоит из двух блоков: блок электроники – управляющая часть, платформа с управляемой электроникой.

Управляющая часть включает в себя: плату датчика определения цвета меток адреса робота, материнскую плату, коммутационную плату подключения двигателей, пять модулей управления БДПТ, приемопередатчик и автономный источник питания.

На платформе с управляемой электроникой находятся: плата повышающего преобразователя напряжения, коммутационная плата подключения соленоидов, светодиодная матрица, датчик наличия мяча в дрибблере, состоящий из платы инфракрасного излучателя и приемника, основанного на фотодиоде. Главный

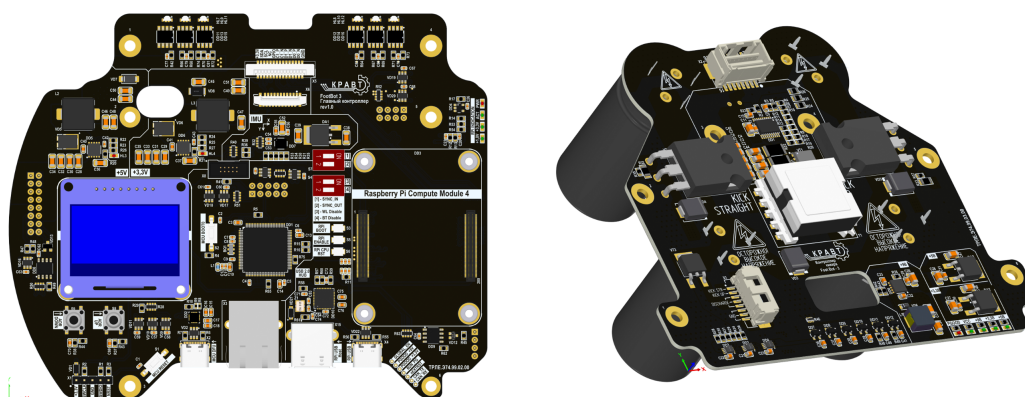


Рис. 2. Контроллер робота и плата повышающего преобразователя напряжения

вычислительный узел – материнская плата (слева рис. 2). Низкоуровневое управление реализовано на микроконтроллере STM32F413. Основной проблемой во время игры является то, что робот не может корректировать свои действия на поле в зависимости от ситуации, а система компьютерного зрения, расположенная сверху над полем не всегда может дать достоверную картину (например: находится ли мяч точно в центре дрибблера, чтобы отбить его максимально предсказуемо). Поэтому на каждом роботе установлена камера MIPI CSI для повышения точности позиционирования относительно мяча и ворот. Для обработки видеопотока на плату добавлен вычислительный модуль Raspberry Pi 4 Compute Module. Этот одноплатный компьютер обладает необходимой вычислительной мощностью для решения задач визуального контроля положения мяча и корректировки направления удара по воротам, имеет относительно низкую стоимость и очень компактен. Сложность его использования заключается в необходимости точной подгонки на этапе монтажа, поскольку его разъемы чувствительны к ошибкам в расположении сопрягаемых деталей.

Решение с размещением камер внутри роботов используется сильными командами [3, 4], поэтому было решено реализовать его и для данных роботов. Были выведены дополнительные интерфейсы, обеспечивающие возможность подключения оборудования, которое может использоваться в образовательных целях.

Модуль управления БДПТ имеет собственный микроконтроллер, все модули

объединены с помощью шины CAN и подключаются в коммутационную плату подключения двигателей. Максимальная допустимая мощность подключаемого двигателя равна 80 Вт.

Номер робота при игре на поле определяется благодаря плате датчика определения цвета меток, на которой установлено пять датчиков цвета. Также на ней реализована круговая подсветка для индикации состояний робота.

Скорость движения мяча при ударе зависит от напряжения заряда конденсаторов на плате повышающего преобразователя напряжения (справа рис. 2), расположенной на платформе робота. Конденсаторы заряжаются благодаря схеме обратного преобразователя, повышающего напряжение с АИП, равного 24 В до 250 В. Сопротивление катушки соленоида составляет 2 Ома. Данная система обеспечивает максимальное значение скорости мяча равное 6,5 м/с при прямом ударе. Помимо соленоидов, на модуле кикера установлены резисторы суммарной мощностью 50 Вт и сопротивлением 200 Ом, необходимые для разрядки конденсаторов при выключении робота, а также быстрой разрядки конденсаторов до нужного напряжения с целью изменить силу удара.

Такой набор электроники позволяет использовать группу роботов, как исполнительные устройства для отладки алгоритмов группового управления, не ограничиваясь первостепенными задачами автономного футбола.

4. Заключение

Проект ведется командой SPbUnited на базе Президентского физико-математического лицея №239 и ИПМаш РАН, при поддержке НПО «СтарЛайн» и ПАО «Газпром нефть». Проектирование и изготовление роботов осуществлялось на базе ООО «КРАВТ». Команда выражает благодарность руководителям проекта: руководителю Центра робототехники Президентского физико-математического лицея №239 С.А.Филипову и зав.лабораторией ИПМаш РАН, профессору кафедры теоретической кибернетики СПбГУ А.Л.Фрадкову. Команда благодарит ООО «КРАВТ» за наставления и осуществление технической поддержки на всех этапах проектирования.

Список литературы

1. RoboCup Small Size League (SSL) Principles and Goals <https://robocup-ssl.github.io/ssl-goals/sslgoals.pdf> (дата обращения 20.01.2024).
2. Rules of the RoboCup Small Size League <https://robocup-ssl.github.io/ssl-rules/sslrules.html> (дата обращения 20.01.2024).
3. Geiger M., Ommer N., Ryll A. (2023). RoboCup 2022 SSL Champion TIGERs Mannheim - Ball-Centric Dynamic Pass-and-Score Patterns // Eguchi A., Lau N., Paetzel-Pr?smann M., Wanichanon T. (Eds.) RoboCup 2022: RoboCup 2022. Lecture Notes in Computer Science. Springer. Vol 13561.
4. Huang Z., Chen L., Li J., et al. ZJUNlict Extended Team Description Paper for RoboCup 2019. Zhejiang University, Zheda Road No.38, Hangzhou, P.R.China <https://zjunlict.cn>, <https://arxiv.org/pdf/1905.09157.pdf> (дата обращения 20.01.2024).
5. Perez B., Lam D., Challa S., Fu K., Gynai H., Sohrab A., Clark C., Srinivasan A., Gordon A. RoboJackets 2022 Team Description Paper. Georgia Institute of Technology, <https://robojackets.org/> (дата обращения 20.01.2024)