

Команда роботов-футболистов для соревнований RoboCup в лиге SSL: система и алгоритмы

П. А. Коновалов^а, студент, orcid.org/0000-0002-4910-9184

А. В. Корнилова^б, инженер-программист, orcid.org/0000-0002-2267-9689

Д. М. Королев^в, инженер, orcid.org/0000-0002-6673-2998

Г. В. Ренева^а, студент, orcid.org/0000-0003-2322-4608

А. Л. Фрадков^{а, г}, доктор техн. наук, профессор, orcid.org/0000-0002-5633-0944, fradkov@mail.ru

И. Ю. Широколов^{б, д}, инженер, orcid.org/0000-0003-4346-5433

Д. С. Ярош^а, студент, orcid.org/0000-0002-2017-8979

^аСанкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб., 7–9, Санкт-Петербург, 199034, РФ

^бООО «Кибертех», Железнодорожная ул., 68, кв. 26, Пушкин, Санкт-Петербург, 196606, РФ

^вЦентральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики, Тихорецкий пр., 21, Санкт-Петербург, 194064, РФ

^гИнститут проблем машиноведения РАН, Большой пр. В. О., 61, Санкт-Петербург, 199178, РФ

^дПрезидентский физико-математический лицей № 239, Кирочная ул., 8, Санкт-Петербург, 191028, РФ

Введение: международные соревнования по футболу роботов RoboCup проводятся с середины 1990-х годов и привлекают внимание университетов всего мира. Их целью является развитие научных и инженерных исследований в областях робототехники, искусственного интеллекта, технического зрения, навигации, группового взаимодействия роботов и мехатронных устройств. **Цель:** создание исследовательского стенда нового поколения, позволяющего разрабатывать, тренировать и оценивать роботов-футболистов для подготовки команд, а также разработка базовых алгоритмов для управления как отдельным роботом-футболистом, так и группой таких роботов. **Результаты:** разработан стенд для создания и исследования алгоритмов управления группой роботов и навигации в высокодинамичной среде при централизованном управлении, организуемом следующим образом: вычислительный центр получает данные от системы видеонаблюдения, использует полученные сведения о положении роботов и мяча и информацию о состоянии их датчиков для вычисления управляющих команд (вектора скорости, угловой скорости, сигнала об ударе), которые затем передаются роботам для исполнения. Базовые алгоритмы управления для роботов-футболистов, такие как движение в точку, поворот на точку, движение по окружности, движение с объездом препятствий, прием паса, поведение вратаря, удар в заданную точку, а также модель игры двух полевых игроков против вратаря были реализованы и использованы для тестирования работоспособности стенда, а также для записи квалификационного видео и подготовки документации при подаче заявки на участие команды Санкт-Петербургского государственного университета в финале RoboCup Small Size League 2019 года в Сиднее, Австралия.

Ключевые слова – групповое взаимодействие, футбол роботов, исследовательский стенд, управление роботами, обход препятствий.

Для цитирования: Коновалов П. А., Корнилова А. В., Королев Д. М., Ренева Г. В., Фрадков А. Л., Широколов И. Ю., Ярош Д. С. Команда роботов-футболистов для соревнований RoboCup в лиге SSL: система и алгоритмы. *Информационно-управляющие системы*, 2019, № 2, с. 19–25. doi:10.31799/1684-8853-2019-2-19-25

For citation: Konovalov P. A., Kornilova A. V., Korolev D. M., Reneva G. V., Fradkov A. L., Shirokolobov I. Yu., Yarosh D. S. A team of soccer robots for RoboCup competitions in SSL league: system and algorithms. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2019, no. 2, pp. 19–25 (In Russian). doi:10.31799/1684-8853-2019-2-19-25

Введение

Международные соревнования по футболу роботов RoboCup проводятся с середины 1990-х годов и привлекают внимание университетов всего мира [1–10]. Их целью является развитие научных и инженерных исследований в областях робототехники, искусственного интеллекта, технического зрения, навигации, группового взаимодействия роботов и мехатронных устройств. Соревнования RoboCup проходят в нескольких лигах, среди которых одной из самых доступных и в то же время зрелищных является Small

Size League (SSL). В начале 2000-х годов исследования в области моделирования виртуального футбола роботов велись и в России [2, 11, 12], но полноценного участия в соревнованиях в физических лигах российские роботы до сих пор не принимали. Следует отметить, что разработанный в 2011–2015 гг. в СПбГУ стенд RoboCup [13–16] успешно использовался для научных исследований и популяризации соревнований управляемого футбола роботов среди школьных команд [17]. В настоящей статье описываются исследовательский стенд нового поколения, позволяющий разрабатывать, тренировать и оценивать робо-

тов-футболистов, а также базовые алгоритмы для управления как отдельным роботом-футболистом, так и группой таких роботов. Разработка алгоритмов велась в соответствии с правилами международных соревнований [18].

Исследовательский стенд для футбола роботов

Стенд состоит из двух основных частей: централизованной системы видеонаблюдения для определения положения роботов и централизованной системы управления для расчета управляющих сигналов для роботов (вектора скорости, угловой скорости, сигнала об ударе).

Централизованная система видеонаблюдения SSL-Vision [19] оценивает текущие позиции роботов с помощью камеры над полем и отправляет эти данные в централизованную систему управления через сеть. Положение роботов определяется по специальной маркировке на крышке робота, которая позволяет установить номер робота, его команду, ориентацию и координаты на поле.

Централизованная система управления получает данные от централизованной системы видеонаблюдения и роботов (например, от их встроенных датчиков) и передает эти данные в систему исполнения алгоритмов MATLAB, где эта информация может использоваться для вычисления сигналов управления роботами. После расчета управляющие сигналы экспортируются из системы MATLAB и отправляются роботам.

Программное обеспечение было разработано с использованием C++ в среде Qt. Этот выбор был мотивирован кроссплатформенностью данного фреймворка. Программная реализация алгоритмов была выполнена на языке MATLAB отчасти из-за его удобства на этапе прототипирования.

Взаимодействие между всеми модулями иллюстрирует рис. 1. Соединение с сервером SSL-Vision устанавливается через модуль SSL-клиента, который распределяет полученные данные среди всех остальных модулей. Передача команд на роботов происходит посредством модуля связи с роботами. Эти команды вычисляются средствами MATLAB в модуле выполнения MATLAB-скриптов. Модуль пользовательского интерфейса (UI-модуль) отвечает за графический интерфейс пользователя, который отображает ситуацию на поле и позволяет оператору запускать некоторые алгоритмы в тестовом режиме или управлять роботами вручную.

С помощью библиотеки алгоритмов MATLAB можно анализировать ситуацию в игровых условиях и назначать текущие роли роботам на основе этого анализа. Эта библиотека также исполь-



■ Рис. 1. Взаимодействие модулей стенда
 ■ Fig. 1. Interaction of framework modules

зуется движком MATLAB для расчета управляющих сигналов для каждого робота с учетом его назначенной роли.

Роботы-футболисты

Основой робота-футболиста является четырехколесная омниплатформа, позволяющая перемещаться в любом направлении (рис. 2). Робот оснащен двумя ударными устройствами (кикерами): для прямого удара и навеса мяча. Для связи с роботом используется Wi-Fi. С торцевой сторо-



■ Рис. 2. Внешний вид робота
 ■ Fig. 2. Robot appearance

ны установлены лазерные датчики для определения мяча перед роботом. Верхняя часть роботов маркирована цветными кругами для идентификации на поле (координаты и направление) с помощью камеры и SSL-Vision. ЖК-экран установлен на материнской плате робота и отображает название текущей сети Wi-Fi и IP-адрес робота в этой сети. Робот оснащен сервисным USB-портом, интерфейсом для изменения внутренних параметров и ограничений. Каждое устройство контролируется отдельной платой, что упрощает процесс диагностики и ремонта.

Основные технические характеристики: диаметр корпуса робота 180 мм, высота 146 мм, вес 3500 г, максимальная линейная скорость 1,5 м/с, максимальная угловая скорость 3 об/с, максимальная скорость удара 3 м/с, высота навеса 250 мм.

Робот оснащен съемным аккумулятором емкостью 3000 мА·ч и средним напряжением 26 В. Время работы без подзарядки 30 мин со средним потреблением тока 6 А. Для того чтобы зарядить аккумулятор, его следует предварительно удалить из робота. Аккумулятор оснащен балансировочным устройством, а также устройством защиты от перегрева, короткого замыкания, переразряда и перезаряда. Он также имеет индикатор уровня заряда на передней панели.

Робот приводится в движение четырьмя бесколлекторными двигателями для омниколес. Реализовано векторное управление двигателем с контролем тока в обмотках и ограничением на максимальный крутящий момент на роторе. Каждый двигатель обслуживается отдельной платой с микроконтроллером. Также на лицевой части робота расположены «дрибблер» — устройство для удержания мяча перед роботом и два кикера — механизмы, выполняющие прямой удар и удар навесом.

Алгоритмы

Приведенные ниже алгоритмы апробированы во время игры по правилам RoboCup SSL.

Алгоритм движения в точку управляет модулем скорости робота при перемещении в направлении цели. Он реализован как П-регулятор, где в качестве регулируемой величины выступает расстояние между роботом и целью, которое поддерживается около нуля.

Алгоритм поворота на точку контролирует модуль угловой скорости робота при повороте на цель. Он реализован как ПД-регулятор, где в качестве регулируемой величины выступает наименьший угол между направлением робота и вектором, соединяющим позицию робота и цель, этот угол поддерживается вблизи нуля.

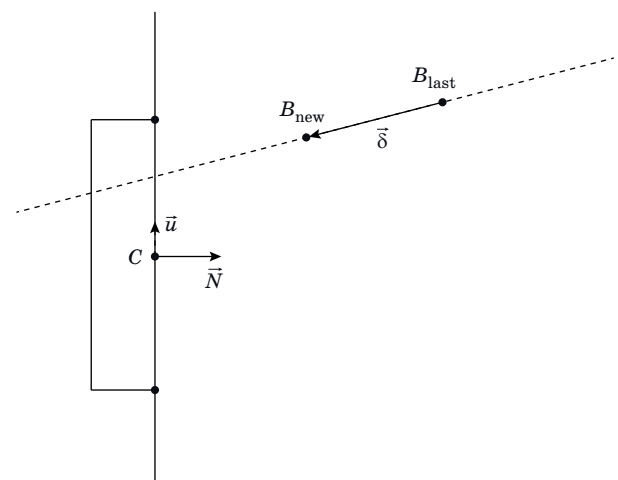
В алгоритме движения по окружности вектор скорости робота складывается из касательного к окружности вектора фиксированной длины и ортогонального ему вектора, модуль которого контролируется алгоритмом движения вокруг точки. Данный алгоритм реализован как П-регулятор, где в качестве регулируемой величины выступает расстояние между позицией робота и центром окружности, которое поддерживается около некоторого заданного значения. Угловая скорость устанавливается при помощи алгоритма поворота на точку таким образом, чтобы робот смотрел на центр окружности. Далее считая, что все перемещения выполняются при помощи этих базовых алгоритмов.

Алгоритм приема паса работает в случае, если мяч движется в сторону робота и траектория движения мяча проходит в некоторой окрестности робота. В такой ситуации робот движется в точку на траектории движения мяча и гасит скорость движения мяча отъездом назад, чтобы мяч не отскочил далеко. С использованием алгоритма построения маршрута, описанного в статье [19], был реализован алгоритм движения с объездом препятствий.

Модели поведения

Вратарь. Вратарь двигается вдоль ворот по прямой. Если прогнозируемая траектория движения мяча пересекает ворота, то робот движется к точке их пересечения, иначе стоит напротив центра ворот. Траектория мяча оценивается по двум точкам B_{new} и B_{last} (рис. 3).

Для перемещения к точке пересечения используется алгоритм движения в точку с ПД-регулятором.



■ Рис. 3. Алгоритм вратаря
■ Fig. 3. Goalkeeper algorithm

Нападающий. В этом алгоритме каждая комбинация положения робота, мяча и целевой позиции принадлежит одному состоянию из четырех возможных. В зависимости от того, какое состояние описывает текущее расположение этих объектов, робот принимает решение о дальнейших действиях.

Состояние 1: робот далеко от мяча. Это означает, что расстояние от него до мяча больше определенной константы. В этом случае робот движется к мячу, используя алгоритм движения в точку, пока не подъедет достаточно близко.

Состояние 2: робот не находится в состоянии 1 и мяч не находится на линии между роботом и целью. В этом случае используется алгоритм движения вокруг точки.

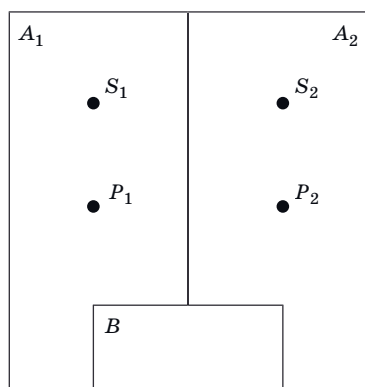
Состояние 3: робот не находится в состоянии 2, мяч находится на линии между роботом и целью, робот находится рядом с мячом. В этом случае робот подъезжает к мячу вплотную. В состоянии 1 робот не приближается плотно к мячу, чтобы не касаться его при прицеливании.

Состояние 4: робот касается мяча и прицеливается. Чтобы проверить, что мяч касается робота, используются данные от датчика наличия мяча. В этом состоянии робот пинает мяч.

Модель игры

Для подачи на квалификацию RoboCup SSL была разработана модель игры двух атакующих против одного вратаря. В данной модели поле делится на несколько зон: A_1 и A_2 — зоны атакующих, B — зона вратаря, S_1 и S_2 — начальные позиции атакующих, P_1 и P_2 — позиции, в которых атакующие принимают пас (рис. 4). Каждому роботу сопоставляется некоторое число — его приоритет (вратарь имеет наибольший приоритет).

Вначале определяется владелец мяча. Им является робот, который находится на расстоянии



■ Рис. 4. Два атакующих против вратаря
 ■ Fig. 4. Two attackers against goalkeeper



■ Рис. 5. Фрагмент игры «Два нападающих против вратаря»
 ■ Fig. 5. Frame from the game “Two attackers against goalkeeper”

от мяча не дальше заданного значения. В случае если на поле несколько таких роботов, то владельцем назначается робот с большим приоритетом. Если все роботы расположены далеко от мяча, то владельцем назначается робот, в зоне которого оказался мяч. Если мяч вылетел за пределы поля, то владелец не определен и роботы ожидают возвращения мяча на поле.

Если владелец вратарь, то он отбивает мяч в ближайшего атакующего робота (для того чтобы игра была циклической), в это время атакующие роботы перемещаются в стартовые позиции своих игровых зон (пока вратарь подъезжает и нацеливается для удара) и ловят мяч (когда он приходит в движение). Если владельцем является атакующий робот, то он либо пасует мяч другому роботу, либо пробивает по воротам — решение принимается случайно равновероятно. В это время другой атакующий робот занимает позицию для приема паса в своей игровой зоне, а вратарь защищает ворота.

В настоящее время проходят тренировки команды и совершенствование алгоритмов игры на тактическом уровне. На рис. 5 изображен фрагмент игры «Два нападающих против вратаря».

Заключение

В ходе исследования был разработан стенд, предназначенный для создания и изучения алгоритмов управления несколькими роботами и навигации в высокодинамичной среде с централизованной системой управления. Стенд был протестирован на алгоритмах для задач RoboCup SSL и продолжает активно тестироваться в целях совершенствования алгоритмов планирования пути и обхода препятствий. Описанные в работе базовые алгоритмы управления роботом-футбо-

листов были использованы для записи квалификационного видео [20] и подготовки квалификационной статьи TDP (Team Description Paper) команды URoboRus при подаче заявки на участие в финале RoboCup SSL, который пройдет в июле 2019 года в Сиднее, Австралия.

Работа выполнена при частичной поддержке ООО «Кибертех» и Центра технологий распре-

деленных реестров СПбГУ. Авторы благодарят Президентский физико-математический лицей № 239 за предоставление набора роботов для проведения совместных исследований. Авторы пользуются случаем выразить признательность Р. М. Лучину и С. А. Филиппову за энтузиазм и поддержку футбола роботов в Санкт-Петербурге, а также А. С. Матвееву за полезные дискуссии.

Литература

1. *Robocup*. <https://robocup.org/> (дата обращения: 29.03.2019).
2. Ронжин А. Л., Станкевич Л. А., Шандаров Е. С. Международные соревнования роботов по футболу RoboCup и перспективы участия в них российских команд. *Робототехника и техническая кибернетика*, 2015, № 2, с. 24–29.
3. Bruce J., Zickler S., Licitra M., Veloso M. CMDragons: Dynamic passing and strategy on a champion robot soccer team. *2008 IEEE Intern. Conf. on Robotics and Automation*, Pasadena, CA, 2008, pp. 4074–4079. doi:10.1109/ROBOT.2008.4543837
4. Fu W., Lin K., Shih C. Key-frame selection for multi-robot simultaneous localization and tracking in robot soccer field. *2018 IEEE/RSJ Intern. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Madrid, 2018, pp. 109–116. doi:10.1109/IROS.2018.8593785
5. Hwang K.-S., Tan S.-W., Chen C.-C. Cooperative strategy based on adaptive Q-learning for robot soccer systems. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Aug. 2004, vol. 12, no. 4, pp. 569–576. doi:10.1109/TFUZZ.2004.832523
6. Kim J.-H., Shim H.-S., Kim H.-S., Jung M.-J., Choi I.-H., Kim J.-O. A cooperative multi-agent system and its real time application to robot soccer. *Proc. of Intern. Conf. on Robotics and Automation*, Albuquerque, NM, USA, 1997, vol. 1, pp. 638–643. doi:10.1109/ROBOT.1997.620108
7. Lee B.-J., Park G.-T. A robot in intelligent environment: soccer robot. *1999 IEEE/ASME Intern. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics (Cat. No.99TH8399)*, Atlanta, GA, USA, 1999, pp. 73–78. doi:10.1109/AIM.1999.803145
8. Li X., Wang M., Zell A. Dribbling control of omnidirectional soccer robots. *Proc. 2007 IEEE Intern. Conf. on Robotics and Automation*, Roma, 2007, pp. 2623–2628. doi:10.1109/ROBOT.2007.363861
9. Shieh M.-Y. Visual servo strategy for robot soccer systems. *Sensors and Materials*, 2018, vol. 30, no. 4, pp. 893–906.
10. Weigel T., Gutmann J.-S., Dietl M., Kleiner A., Nebel B. CS Freiburg: coordinating robots for successful soccer playing. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Oct. 2002, vol. 18, no. 5, pp. 685–699. doi:10.1109/TRA.2002.804041
11. Охочимский Д. Е., Павловский В. Е., Плахов А. Г., Туганов А. Н. Моделирование игры роботов-футболистов в пакете «виртуальный футбол». *Мехатроника*, 2002, № 1, с. 2–5.
12. Котова О. А., Павловский В. Е. *Теоретико-игровые кинематические модели виртуального футбола*. М., ИПМ им. М. В. Келдыша, 2010. 20 с. (Препринт/ ИПМ им. М. В. Келдыша; № 77). <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2010-77> (дата обращения: 29.03.2019)
13. Matveev A. S., Colin Hoy M., Ovchinnikov K. S., Anisimov A., Savkin A. V. Robot navigation for monitoring unsteady environmental boundaries without field gradient estimation. *Automatica*, 2015, vol. 62, pp. 227–235. doi:10.1016/j.automatica.2015.09.003
14. Липкович М. М., Лучин Р. М., Сохарев А. Ю. Учебно-исследовательский стенд для мультиагентных систем управления (на примере футбола роботов). *Theoretical and Applied Aspects of Cybernetics: Proc. of the Intern. Scientific Conf. of Students and Young Scientists*, Киев, Bukrek, 2011, pp. 161–164.
15. Лучин Р. М., Широколов И. Ю., Овчинников К. С. Исследование алгоритмов мультиагентного взаимодействия с помощью робототехнического комплекса. *5-я Российская мультиконференция по проблемам управления*, 2012, с. 213–215.
16. Shirokolobov I., Filippov S., Luchin R., Ovchinnikov K., Fradkov A. *Control engineering at high schools and universities: project-based learning*. In: *Handbook of Research on Estimation and Control Techniques in E-Learning Systems*. IGI Global, 2016, pp. 141–170. doi:10.4018/978-1-4666-9489-7.ch011
17. Фестиваль «Робофинист». *Управляемый футбол 4x4*. <https://robofinist.ru/event/info/competitions/id/213#kind1399> (дата обращения: 29.03.2019).
18. *Robocup SSL Rules*. <https://ssl.robocup.org/rules/> (дата обращения: 29.03.2019).
19. Rodríguez S., Rojas E., Pérez K., López J., Quintero C., Calderón J. *Fast path planning algorithm for the RoboCup small size league*. In: *RoboCup 2014: Robot World Cup XVIII. Lecture Notes in Computer Science / R. Bianchi, H. Akin, S. Ramamoorthy, K. Sugiura (eds.)*, 2015, vol. 8992, pp. 407–418. doi:10.1007/978-3-319-18615-3_33
20. *URoboRus Qualification Video 2019*. <https://www.youtube.com/watch?v=W6JN1aXGRRk> (дата обращения: 29.03.2019)

UDC 621.865

doi:10.31799/1684-8853-2019-2-19-25

A team of soccer robots for RoboCup competitions in SSL league: system and algorithmsP. A. Konovalov^a, Student, orcid.org/0000-0002-4910-9184A. V. Kornilova^b, Programmer Engineer, orcid.org/0000-0002-2267-9689D. M. Korolev^c, Engineer, orcid.org/0000-0002-6673-2998G. V. Reneva^a, Student, orcid.org/0000-0003-2322-4608A. L. Fradkov^{a,d}, Dr. Sc., Tech., Professor, orcid.org/0000-0002-5633-0944, fradkov@mail.ruI. Yu. Shirokolobov^{b,e}, Engineer, orcid.org/0000-0003-4346-5433D. S. Yarosh^a, Student, orcid.org/0000-0002-2017-8979^aSaint-Petersburg State University, 7–9, Universitetskaya Emb., 199034, Saint-Petersburg, Russian Federation^bООО «Cybertech», 68, ap. 26, Zheleznodorozhnaya St., 196606, Pushkin, Saint-Petersburg, Russian Federation^cRussian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics, 21, Tikhoretsky Pr., 194064, Saint-Petersburg, Russian Federation^dInstitute of Problems of Mechanical Engineering of RAS, 61, Bol'shoi Pr. V. O., 191178, Saint-Petersburg, Russian Federation^ePresidential Physics and Mathematics Lyceum No. 239, 8, Kirochnaya St., 191028, Saint-Petersburg, Russian Federation

Introduction: The international RoboCup soccer tournaments for robots have been held since the mid-1990s and have attracted a lot of attention from universities all over the world. Their goal is to develop scientific and engineering research in the areas of robotics, artificial intelligence, computer vision, navigation, group and multi-agent interaction of robots and mechatronic devices. **Purpose:** To create a new generation research bench which assists in developing, training and evaluating soccer robots, as well as developing basic algorithms for managing an individual soccer robot or a group of them. **Results:** A stand was designed to develop and analyze algorithms for control over a group of robots and navigation in a highly dynamic environment with centralized control organized as follows: the computing center receives data from a video surveillance system, uses the obtained information about the positions of the robots and the ball and about the state of their sensors to calculate control commands (velocity vector, angular velocity, impact signal) which are then transmitted to the robots for execution. Basic control algorithms for robot soccer players, such as: moving to a point, turning on a point, movement around a circle, obstacle avoidance, taking a pass, goalkeeper actions, hitting a set point, as well as a game model for two field players acting against a goalkeeper were implemented and used to test the stand performance, to record the qualification video and to prepare documents for the participation of St. Petersburg State University team in the RoboCup Small Size League final, 2019, in Sydney, Australia.

Keywords — group interaction, soccer robots, research stand, robot control, obstacle avoidance.

For citation: Konovalov P. A., Kornilova A. V., Korolev D. M., Reneva G. V., Fradkov A. L., Shirokolobov I. Yu., Yarosh D. S. A team of soccer robots for RoboCup competitions in SSL league: system and algorithms. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2019, no. 2, pp. 19–25 (In Russian). doi:10.31799/1684-8853-2019-2-19-25

References

1. *Robocup*. Available at: <https://robocup.org/> (accessed 29 March 2019).
2. Ronzhin A. L., Stankevich L. A., Shandarov E. S. International competitions of robots football RoboCup and the prospects for participation in them of the Russian teams. *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika*, 2015, no. 2, pp. 24–29 (In Russian).
3. Bruce J., Zickler S., Licitra M., Veloso M. CMDragons: Dynamic passing and strategy on a champion robot soccer team. *2008 IEEE Intern. Conf. on Robotics and Automation*, Pasadena, CA, 2008, pp. 4074–4079. doi:10.1109/ROBOT.2008.4543837
4. Fu W., Lin K., Shih C. Key-frame selection for multi-robot simultaneous localization and tracking in robot soccer field. *2018 IEEE/RSJ Intern. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Madrid, 2018, pp. 109–116. doi:10.1109/IROS.2018.8593785
5. Hwang K.-S., Tan S.-W., Chen C.-C. Cooperative strategy based on adaptive Q-learning for robot soccer systems. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Aug. 2004, vol. 12, no. 4, pp. 569–576. doi:10.1109/TFUZZ.2004.832523
6. Kim J.-H., Shim H.-S., Kim H.-S., Jung M.-J., Choi I.-H., Kim J.-O. A cooperative multi-agent system and its real time application to robot soccer. *Proc. of Intern. Conf. on Robotics and Automation*, Albuquerque, NM, USA, 1997, vol. 1, pp. 638–643. doi:10.1109/ROBOT.1997.620108
7. Lee B.-J., Park G.-T. A robot in intelligent environment: soccer robot. *1999 IEEE/ASME Intern. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics (Cat. No.99TH8399)*, Atlanta, GA, USA, 1999, pp. 73–78. doi:10.1109/AIM.1999.803145
8. Li X., Wang M., Zell A. Dribbling control of omnidirectional soccer robots. *Proc. 2007 IEEE Intern. Conf. on Robotics and Automation*, Roma, 2007, pp. 2623–2628. doi:10.1109/ROBOT.2007.363861
9. Shieh M.-Y. Visual servo strategy for robot soccer systems. *Sensors and Materials*, 2018, vol. 30, no. 4, pp. 893–906.
10. Weigel T., Gutmann J.-S., Dietl M., Kleiner A., Nebel B. CS Freiburg: coordinating robots for successful soccer playing. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Oct. 2002, vol. 18, no. 5, pp. 685–699. doi:10.1109/TRA.2002.804041
11. Ohocimskij D. E., Pavlovskij V. E., Plahov A. G., Tuganov A. N. Simulation of the game of robot soccer players in the “virtual football” package. *Mekhatronika*, 2002, no. 1, pp. 2–5 (In Russian).
12. Kotova O. A., Pavlovskij V. E. *Teoretiko-igrovie kinematicheskie modeli virtual'nogo futbola* [Game-theoretic kinematic models of virtual football]. Moscow, Institut prikladnoj matematiki imeni M. V. Keldysha RAN Publ., 2010. 20 p. (Preprint. Institut prikladnoj matematiki imeni M. V. Keldysha RAN, no. 77). Available at: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2010-77> (accessed 29 March 2019) (In Russian).
13. Matveev A. S., Colin Hoy M., Ovchinnikov K. S., Anisimov A., Savkin A. V. Robot navigation for monitoring unsteady environmental boundaries without field gradient estimation. *Automatica*, 2015, vol. 62, pp. 227–235. doi:10.1016/j.automatica.2015.09.003
14. Lipkovich M. M., Luchin R. M., Soharev A. Yu. Educational and research stand for multi-agent control systems (using the example of robot football). *Proc. of the Intern. Scientific Conf. of Students and Young Scientists “Theoretical and Applied Aspects of Cybernetics”*, Kiev, Bukrek, 2011, pp. 161–164 (In Russian).

15. Luchin R. M., Shirokolobov I. Yu., Ovchinnikov K. S. Investigation of multi-agent interaction algorithms using a robotic complex. *5-ya Rossijskaya mul'tikonferenciya po problemam upravleniya* [5th Russian Multiconference on Control Problems], 2012, pp. 213–215 (In Russian).
16. Shirokolobov I., Filippov S., Luchin R., Ovchinnikov K., Fradkov A. *Control engineering at high schools and universities: project-based learning*. In: *Handbook of Research on Estimation and Control Techniques in E-Learning Systems*. IGI Global, 2016, pp. 141–170. doi:10.4018/978-1-4666-9489-7.ch011
17. Festival' "Robofinist". *Upravlyaemyj futbol 4x4* [Festival "robinist". Controlled football 4x4]. Available at: <https://robofinist.ru/event/info/competitions/id/213#kind1399> (accessed 29 March 2019).
18. *Robocup SSL Rules*. Available at: <https://ssl.roboocup.org/rules/> (accessed 29 March 2019).
19. Rodríguez S., Rojas E., Pérez K., López J., Quintero C., Calderón J. *Fast path planning algorithm for the RoboCup small size league*. In: *RoboCup 2014: Robot World Cup XVIII. Lecture Notes in Computer Science*, Bianchi R., Akin H., Ramamoorthy S., Sugiura K. (eds.), 2015, vol. 8992, pp. 407–418. doi:10.1007/978-3-319-18615-3_33
20. *URoboRus Qualification Video 2019*. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=W6JN1aXGRRk> (accessed 29 March 2019).

Научный журнал
«ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ»
выходит каждые два месяца.

Стоимость годовой подписки (6 номеров) для подписчиков России — 6000 рублей, для подписчиков стран СНГ — 6600 рублей, включая НДС 20%, таможенные и почтовые расходы.

Подписку на печатную версию журнала можно оформить в любом отделении связи по каталогу:

«Пресса России»: № 15385 — полугодовой индекс,

а также через посредство подписных агентств:

«Северо-Западное агентство „Прессинформ“»

Санкт-Петербург, тел.: (812) 335-97-51, 337-23-05,

эл. почта: press@crp.spb.ru, zajavka@crp.spb.ru,

сайт: <http://www.pinform.spb.ru>

«МК-Периодика» (РФ + 90 стран)

Москва, тел.: (495) 681-91-37, 681-87-47,

эл. почта: export@periodicals.ru, сайт: <http://www.periodicals.ru>

«Деловая пресса»

Москва, тел.: (495) 962-11-11, эл. почта: podpiska@delpress.ru,

сайт: <http://delpress.ru/contacts.html>

«Коммерсант-Курьер»

Казань, тел.: (843) 291-09-99, 291-09-47, эл. почта: kazan@komcur.ru,

сайт: <http://www.komcur.ru/contacts/kazan/>

«Урал-Пресс» (филиалы в 40 городах РФ)

Сайт: <http://www.ural-press.ru>

«Идея» (Украина)

Сайт: <http://idea.com.ua>

«ВТЛ» (Узбекистан)

Сайт: <http://btl.sk.uz/ru/cat17.html> и др.

На электронную версию нашего журнала (все выпуски, годовая подписка, один выпуск, одна статья)

вы можете подписаться на сайтах НЭБ: <http://elibrary.ru>; РУКОИТ: <http://www.rucont.ru>;

ИВИС: <http://www.ivis.ru>; Некс-Медиа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=news&id=11196>

Полнотекстовые версии журнала за 2002–2017 гг.

в свободном доступе на сайте журнала (<http://www.i-us.ru>),

НЭБ (<http://www.elibrary.ru>)

и Киберленинки (<http://cyberleninka.ru/journal/n/informatsionno-upravlyayuschiesistemy>).