

УДК 004.896

МОБИЛЬНЫЕ РОБОТЫ В МЕЖДУНАРОДНОМ СТАНДАРТЕ ROBOCUP SSL: СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

А.М. Ярмолинский*Институт проблем машиноведения РАН**СПбПУ Петра Великого*

Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, Большой проспект В.О., д.61

Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, дом 29

E-mail: yarmolinskiyam@gmail.com

Б.В. Викторов*Президентский физико-математический лицей №239**СПбГУ*

Россия, 191028, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д.8

Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9

E-mail: boris@victorov.com

А.Д. Мещеряков*Президентский физико-математический лицей №239**Национальный исследовательский университет ИТМО*

Россия, 191028, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д.8

Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А

E-mail: sashamesheryakov919@gmail.com

Ю.С. Глазов*Президентский физико-математический лицей №239*

Россия, 191028, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д.8

E-mail: glazov.y0@gmail.com

Ключевые слова: мобильные роботы, интеллектуальные системы управления, адаптивные системы управления, RoboCup SSL, уровни управления

Аннотация: В докладе дается обзор системы управления роботами команды Санкт-Петербурга SPbUnited в рамках робототехнических соревнований RoboCup SSL

1. Введение

Настоящий доклад является третьим в серии докладов, посвященных устройству и работе роботов команды SPbUnited в рамках соревнований RoboCup SSL. Более подробно с задачей соревнований RoboCup SSL можно познакомиться в докладе [15].

2. Обзор системы управления

В системе управления реализована идея иерархического подхода к управлению роботами и их взаимодействию в игровой среде. Эта идея базируется на разделении задач управления на несколько уровней, каждый из которых отвечает за выполнение локальных задач с учетом предполагаемой производительности уровней ниже. В рамках нашего исследования были выделены четыре ключевых уровня: стратегия (Strategy), маршрутизация (Router), высокоуровневое (RobotHI) и низкоуровневое управление роботами (RobotLO) (рис. 1).

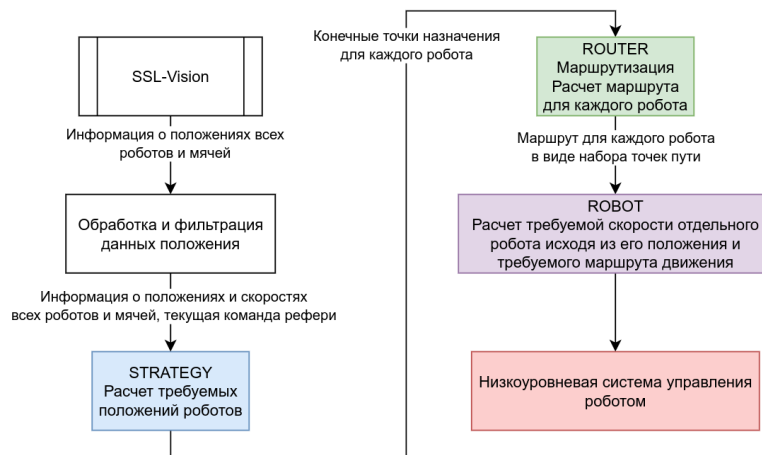


Рис. 1. Архитектура системы управления

2.1. Общее описание уровней

2.1.1. Strategy. На уровне стратегии решаются задачи определения требуемого положения робота в соответствии с текущей ситуацией на поле. Этот уровень включает модули предсказания движений роботов соперника, анализа траекторий полета мяча, учета рисков и формирования команд для передачи на следующий уровень (рис. 2).

2.1.2. Router. Уровень маршрутизации отвечает за построение наилучшего пути для каждого робота на поле. Происходит оценка положения, скорости и препятствий, формируются путевые точки, которые передаются высокоуровневому управлению соответствующим роботом (рис. 3).

2.1.3. RobotHI. Высокоуровневое управление роботами получает необходимое количество точек и определяет требуемые скорости робота в глобальной системе координат и другие сигналы (такие как скорость вращения дрибблера и команды на пинк мяча), которые передаются низкоуровневой системе управления (рис. 4).

2.1.4. RobotLO. Низкоуровневая система управления, в свою очередь, пересчитывает требуемые скорости робота из глобальной системы координат в локальную СК робота и определяет управляющие воздействия на каждый из моторов ходовой части.

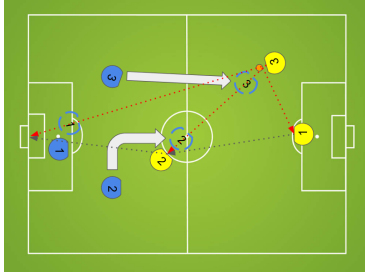


Рис. 2. Иллюстрация работы уровня Strategy – определение требуемых положений союзных роботов на поле

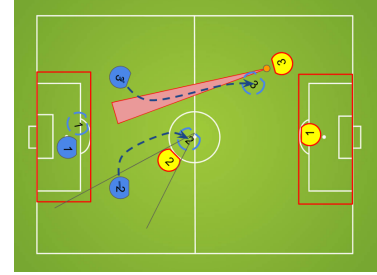


Рис. 3. Иллюстрация работы уровня Router – расчет оптимальных маршрутов для каждого робота на поле

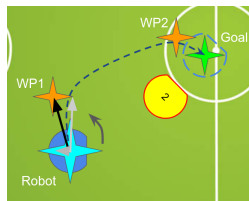


Рис. 4. Иллюстрация работы уровня RobotHI – расчет требуемых скоростей робота в глобальной системе координат, исходя из текущего маршрута

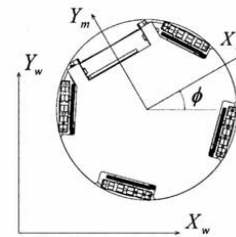


Рис. 5. Глобальная и локальная системы координат робота

2.2. Уровень RobotLO

Уровень RobotLO на вход получает требуемые: вектор поступательной скорости робота в глобальной системе координат и угловую скорость. Вектор скорости пересчитывается в локальную систему координат через поворот на текущий угол поворота робота ϕ (рис. 5). После этого рассчитываются требуемые скорости каждого из моторов согласно кинематике ходовой части [7] и выдаются как задания на драйверы двигателей.

2.3. Уровень RobotHI

Уровень RobotHI на вход получает требуемый маршрут следования робота в виде набора путевых точек. В качестве направления требуемого вектора скорости робота выбирается направление на ближайшую путевую точку.

Желаемая скорость движения робота $v_0(t)$ определяется как функция расстояния $x(t)$ до целевой точки при помощи дискретизованного ПИД-регулятора с переменной структурой, насыщением и защитой от насыщения условным интегрированием. Сигнал для вычисления управляющих воздействий на низкоуровневую систему управления в непрерывном времени имеет вид:

$$v_0(t) = \begin{cases} \text{sat}_1[W_1(p)x(t)], & \text{если } x(t) \geq 1.5\text{м} \\ \text{sat}_2[W_2(p)x(t)], & \text{если } x(t) < 1.5\text{м} \end{cases},$$

где:

$$W_j(p) = K_j \left(1 + K_{ij} \frac{1}{p} + K_{dj} \frac{p}{T_f p + 1} \right), \quad j = \{1, 2\}, \quad p = \frac{d}{dt}$$

$$sat_1[x] = \begin{cases} -1.5\text{м}, & \text{если } x < -1.5\text{м} \\ 1.5\text{м}, & \text{если } x > 1.5\text{м} \\ x, & \text{иначе} \end{cases},$$

$$sat_2[x] = \begin{cases} -1\text{м}, & \text{если } x < -1\text{м} \\ 1\text{м}, & \text{если } x > 1\text{м} \\ x, & \text{иначе} \end{cases},$$

$sat_1[.]$ – функция насыщения на уровне 1.5 м/с, $sat_2[.]$ – функция насыщения на уровне 1.0 м/с. Параметры регулятора подбираются экспериментально и на момент написания доклада составляют:

$$K_1 = 6, \quad K_{i1} = 0, \quad K_{d1} = 0.8; \\ K_2 = 8, \quad K_{i2} = 0, \quad K_{d2} = 0.5.$$

Период квантования системы $T = 0.05$ с. Желаемая угловая скорость корпуса робота вычисляется по аналогичной формуле с единственным набором коэффициентов:

$$K_1 = 4, \quad K_{i1} = 0.1, \quad K_{d1} = 0.1;$$

и пределами по насыщению $sat_1[.]$ – 30 рад/с. Реальное расстояние до цели $x(t)$ и реальная скорость робота $v(t)$ вычисляются по сигналам с видеокамер.

2.4. Уровень Router

Алгоритм маршрутизации отвечает за расчет наилучшего маршрута для каждого робота с учетом текущей ситуации на поле. Для этой цели существует большое количество алгоритмов, среди самых интересных в данный момент можно выделить алгоритмы RRT* и DVG+A* [12]. В настоящее же время нами используется вариация алгоритма поиска пути с использованием векторных полей (Vector Field Pathfinding) [8].

Наша реализация алгоритма позволяет в большом числе ситуаций найти кратчайший путь до конечной точки с учетом препятствий на поле. Препятствиями считаются роботы соперника и привратные зоны (для всех роботов, кроме вратарей).

3. Дальнейшее развитие

Команда активно занимается исследованием наработок других команд во всех областях. В частности: алгоритмы с использованием нечеткой логики [9], управление на основе прогнозирующих моделей [10], методы компьютерного зрения [11], алгоритмы маршрутизации RRT* и DVG+A* [12], алгоритмы избегания препятствий [13], алгоритмы искусственного интеллекта [14].

4. Заключение

Команда SPbUnited благодарит за поддержку ПАО «Газпром нефть», ИПМаш РАН, благотворительный фонд «Финист», ООО «НПО «СтарЛайн».

Список литературы

1. About RoboCup Small Size League, <https://ssl.robocup.org/about/> (дата обращения: 26.12.2023)
2. RoboCup Small Size League (SSL) Principles and Goals, <https://robocup-ssl.github.io/ssl-goals/sslgoals.pdf> (дата обращения: 26.12.2023)
3. RoboCup Small Size League (SSL) Rules <https://ssl.robocup.org/rules/> (дата обращения: 26.12.2023)
4. Команда SPbUnited приняла участие в открытом чемпионате по робофутболу в Бразилии, <https://239.ru/robot/tpost/rmrep1iur1-nasha-komanda-prinyala-uchastie-v-otkrit> (дата обращения: 26.12.2023)
5. SPbUnited, CBRobotica, Brazil, 2023, Записи игр, <https://www.youtube.com/playlist?list=PLdtGqMuKqq4xnZ6U0cP74L7y8fWG9zagE> (дата обращения: 26.12.2023)
6. SPbUnited, репозиторий с исходным кодом на GitHub, <https://github.com/SPbUnited/strategy> (дата обращения: 26.12.2023)
7. Omar Yaseen Ismael, John Hedley, Analysis, Design, and Implementation of an Omnidirectional Mobile Robot Platform // American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS). 2016. Vol. 22, No. 1. P. 195-209.
8. P. Ogren, Formations and Obstacle Avoidance in Mobile Robot Control // Royal Institute Of Technology (KTH), Stockholm, Doct. Thesis. 2003.
9. Rahib H. Abiyev, Fuzzy control of omnidirectional robot // 9th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perception, ICSCCW 2017. 22-23 August 2017. Budapest. Hungary.
10. Mahdi Zarghami, Model-based Predictive Control of Wheeled Omni-directional Robots Considering Nonlinear Dynamical Constraints and Input Delay // 13th International Conference on Control, Automation, Robotics & Vision (ICARCV 2014), Marina Bay Sands, Singapore. 10-12th December. 2014.
11. Joao G. Melo, Edna Barros, An Embedded Monocular Vision Approach for Ground-Aware Objects Detection and Position Estimation // Robot Soccer World Cup. 2022.
12. Leonardo da Silva Costa, Flavio Tonidandel, DVG+A* and RRT Path-Planners: A Comparison in a Highly Dynamic Environment // Journal of Intelligent & Robotic Systems. 2021. Vol. 101, No. 58.
13. Yuta Ando, Masahide Ito, Obstacle Avoidance of Omnidirectional Mobile Robots in Consideration of Motion Performance // IEEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization. 2021.
14. Rahib H. Abiyev, Robot Soccer Control Using Behaviour Trees and Fuzzy Logic // 12th International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing, ICAFS 2016, 29-30 August 2016, Vienna, Austria.
15. Ю.И. Мерзлякова, И.Д. Устинов, В.Л. Иванов, Мобильные роботы в международном стандарте RoboCup SSL: конструкция и электроника. ВСПУ-2024.
16. Б.В. Викторов, А.Д. Мещеряков, М.М. Липкович, А.М. Ярмолинский, Мобильные роботы в международном стандарте RoboCup SSL: программное обеспечение. ВСПУ-2024.