

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК

Авад Петер Адел Вахим (Египет)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Мамонова Татьяна Егоровна,

к. т. н., доцент, и. о. заведующего кафедрой – руководитель отделения на правах кафедры

(ОИС, ИШИНЭС)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ НА БАЗЕ ROS

Аннотация: в работе рассматриваются методы управления роботизированным манипулятором Dobot CR3 с использованием TCP/IP. Исследуется разработка программного обеспечения на платформе ROS для точного позиционирования робота. Анализируется точность и эффективность системы, а также преимущества и ограничения предложенного подхода.

Ключевые слова: роботизированный манипулятор, ROS, TCP/IP, управление, Dobot CR3.

Введение

Современные роботизированные системы, такие как манипуляторы, играют ключевую роль в автоматизации промышленных процессов в машиностроении, медицине, космических исследованиях и других областях. Одним из наиболее перспективных инструментов для управления такими системами является Robot Operating System (ROS) – гибкая платформа с открытым исходным кодом, которая предоставляет широкий набор инструментов для разработки, моделирования и управления роботами. Согласно исследованиям, более 60 % современных роботизированных систем используют ROS в качестве основы для разработки программного обеспечения.

Одной из ключевых задач при работе с роботизированными манипуляторами является обеспечение высокой точности управления. Современные промышленные манипуляторы, такие как UR5 или KUKA, требуют точности позиционирования в пределах 0,1 мм, что достигается за счёт использования сложных алгоритмов управления и применения обратной связи от системы датчиков. ROS предоставляет инструменты для реализации таких алгоритмов, включая пакеты для кинематики, планирования траекторий и обработки данных с датчиков.

Целью данной работы является разработка и исследование системы управления роботизированными манипуляторами, в частности роботом Dobot CR3, с использованием TCP/IP для взаимодействия и контроля. В статье рассматриваются методы разработки и интеграции программного обеспечения для управления роботом, а также приводится анализ точности и эффективности системы. Особое внимание уделяется исследованию программного продукта, обеспечивающего управление роботом, и его функциональным возможностям.

Обзор литературы и существующих решений

Анализ современных систем управления роботами показал, что современные системы управления роботами активно развиваются благодаря использованию платформы Robot Operating System (ROS). ROS предоставляет универсальную среду для разработки, моделирования и управления роботами, что делает её популярной в научных и промышленных приложениях. Например, пакет MoveIt позволяет эффективно решать задачи планирования траекторий и управления манипуляторами, обеспечивая высокую точность и адаптивность. Использование TCP/IP в робототехнике, а именно TCP/IP (192.168.5.1), является одним из наиболее распространённых протоколов для передачи данных в робототехнических системах. Он обеспечивает надёжную связь между компонентами системы, что особенно важно для управления роботами в реальном времени. Например, в работе описывается использование TCP/IP для управления промышленными роботами, где протокол обеспечивает передачу команд и данных с минимальными задержками. TCP/IP также активно применяется в системах удалённого управления роботами, где требуется стабильная связь между оператором и устройством.

Роботизированный манипулятор: робот Dobot CR3 представляет собой компактный и высокоточный манипулятор, предназначенный для образовательных, исследовательских и промышленных задач. Он обладает точностью позиционирования до 0,2 мм и поддерживает различные интерфейсы управления, включая TCP/IP [1].

Для описания кинематики Dobot CR3 используются параметры Денавита-Хартенберга (DH), которые представлены в Таблице 1 [2].

Таблица 1

Параметры Денавита-Хартенберга (DH) робота Dobot CR3

(i)	a_i (m)	d_i (m)	α_i (degree)	θ_i (degree)
1	0	0.1328	90	θ_1
2	0.274	0	0	$\theta_2 + 90$
3	0.230	0	0	θ_3
4	0	0.1283	90	$\theta_4 + 90$
5	0	0.116	90	$\theta_5 + 180$
6	0	0.105	0	θ_6

Несмотря на значительные успехи в разработке систем управления роботами, существует ряд проблем и ограничений. Во-первых, интеграция ROS с оборудованием, таким как Dobot CR3, требует значительных усилий по настройке и отладке. Во-вторых, использование TCP/IP, хотя и обеспечивает надёжную связь, может приводить к задержкам в системах с жёсткими временными ограничениями. Кроме того, существующие программные решения часто требуют доработки для адаптации к конкретным задачам, что увеличивает время разработки.

Методы и подходы к разработке системы управления для роботизированного манипулятора с использованием ROS

Архитектура системы управления роботом Dobot CR3 [3, 4]: строится на основе интеграции трёх ключевых компонентов: ROS, TCP/IP и самого робота. ROS выступает в качестве центральной платформы, обеспечивающей управление, планирование и обработку данных. TCP/IP используется для передачи команд и данных между ROS и роботом, обеспечивая надёжное и стабильное взаимодействие. Dobot CR3 подключается к системе через открытый API, что позволяет контролировать его движения и получать данные с датчиков. Такая архитектура обеспечивает модульность и гибкость системы, позволяя легко адаптировать её для различных задач.

Рисунок 1 иллюстрирует архитектуру системы управления роботом на базе ROS. На схеме показаны ключевые компоненты системы и их взаимодействие.

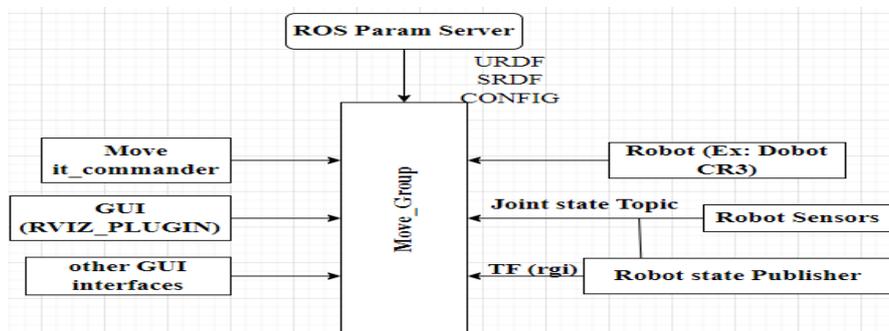


Рис. 1. Архитектура системы управления роботом на базе ROS

URDF-модель: Dobot CR3 была разработана на основе технической документации робота. Она включает следующее.

1. Описание звеньев (links) с указанием их геометрии и массы.
2. Описание суставов (joints) с указанием типа (вращательный, призматический), осей вращения и ограничений.
3. Параметры ДН, интегрированные в модель для корректного расчёта кинематики.

URDF-модель [5] позволяет ROS корректно интерпретировать структуру робота, что необходимо для планирования движений, визуализации и симуляции. Сгенерированная модель робот показана на Рисунке 2.



Рис. 2. URDF-модель Dobot CR3 в среде Move it

MoveIt состоит из набора функциональных пакетов в ROS, включающих планирование движений, управление операциями, 3D-восприятие, кинематику, обнаружение столкновений и другие функции. Это программное обеспечение представляет собой набор инструментов. Его планирование движений основано на традиционных методах, таких как Probabilistic Roadmap (RRT) – быстро исследующие случайные деревья, Probabilistic Roadmap (PRM) – вероятностные дорожные карты.

Эксперименты и результаты

В ходе экспериментов по планированию траекторий для робота Dobot CR3 с использованием пакета MoveIt сравнивались алгоритмы PRM (Probabilistic Roadmap) и RRT (Rapidly-exploring Random Tree). Результаты показали, что RRT находит решение в среднем на 0.2 секунды быстрее из рис. 3, чем PRM, особенно в сложных средах с множеством препятствий. Это связано с тем, что PRM строит вероятностную карту конфигурационного пространства, что требует больше времени и вычислительных ресурсов. На рис. 3 представлен график, иллюстрирующий планирование движения из точки (0, 0, 0, 0, 0, 0) в точку (0, -6, 55, 13, 0, 28).

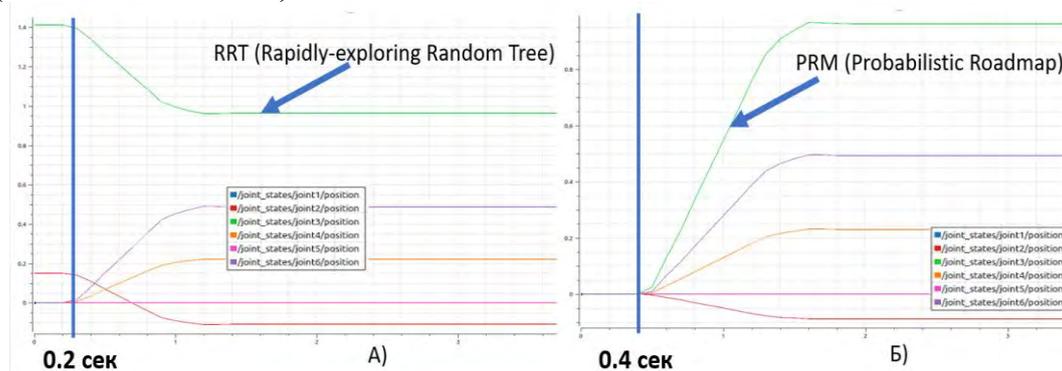


Рис. 3. Сравнительные между двумя основными алгоритмами;
 А) PRM (Probabilistic Roadmap), Б) RRT (Rapidly-exploring Random Tree)

Результаты тестирования: в Таблице 2 представлены результаты фиксирования времени выполнения задач для системы управления на базе ROS (с использованием алгоритмов PRM и RRT) и собственного программного обеспечения Dobot Studio Pro.

Таблица 2

Время выполнения заданий для системы управления на базе (ROS) и собственного программного обеспечения (Dobot Studio Pro)

Углы движения (J1, J2, J3, J4, J5, J6)	Время на базе ROS (PRM) t_1 (сек)	Время на базе ROS(RRT) t_2 (сек)	Время на собствен- ной программе t_3 (сек)
(90, 90, -90, 90, 90,90) до (0,0,0,0,0,0)	23,65	22,41	20,31
(0, -90, 0, 0, 0, 0)	20,98	16,40	14,30
(0, -90, 90, 0, 0, 0)	22,80	21,80	19,79
(0, -90, 90, 90, 0, 0)	24,87	22,00	19,77
(0, -90, 90, 90, 90, 0)	24,98	22,89	19,69
(0, -90, 90, 90, 90, 90)	23,99	21,89	19,38
(90, 90, -90, 90, 90, 90)	24,65	23,00	19,98
Среднее время « t_{cp} »	$\int_{t_7}^{t_1} t_{1n}$ $= \frac{t_{1_1} + \dots + t_{1_7}}{7}$ $= 23,70$	$\int_{t_7}^{t_1} t_{2n}$ $= \frac{t_{2_1} + \dots + t_{2_7}}{7}$ $= 21,48$	$\int_{t_7}^{t_1} t_{3n}$ $= \frac{t_{3_1} + \dots + t_{3_7}}{7}$ $= 19,03$
	$t_{cp} = \int_{t_7}^{t_1} t_{1n} - \int_{t_7}^{t_1} t_{2n} = 23,70 - 21,48 = 2,22$		

Экспериментальные результаты демонстрируют, что собственное ПО Dobot Studio Pro выполняет задачи быстрее, чем системы на базе ROS. Среднее время выполнения составляет Dobot Studio Pro $\int_{t_7}^{t_1} t_{3n} = 19.03$, ROS RRT $\int_{t_7}^{t_1} t_{2n} = 21.48$, ROS PRM $\int_{t_7}^{t_1} t_{1n} = 23.70$.

Результаты, показанные в таблице 1 и продемонстрированные на рисунке 4, позволяют сделать вывод о том, что RRT быстрее PRM на $t_{cp} = 2,22$ сек., подтверждая его эффективность для планирования траекторий.

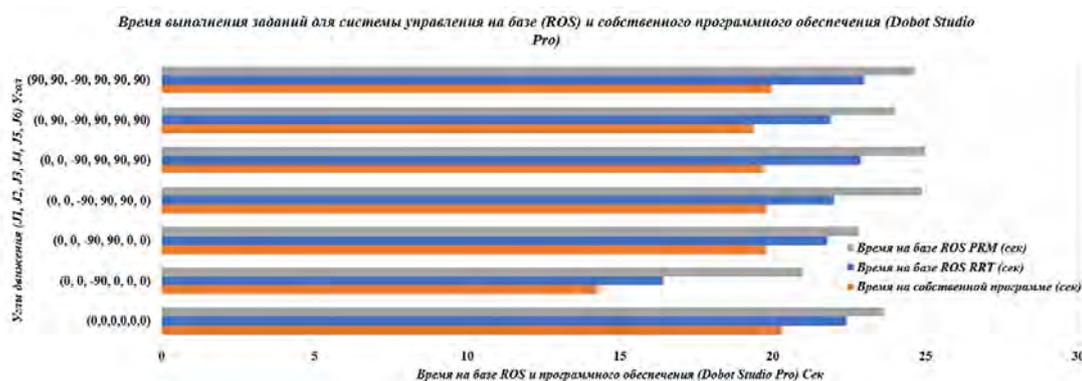


Рис. 4. Сравнение времени выполнения задач управления Dobot CR3 в ROS и Dobo Studio Pro

Заключение

В данной работе исследована система управления роботом Dobot CR3 на базе ROS с использованием TCP/IP. Основное внимание было уделено разработке программного обеспечения, анализу точности и эффективности управления. ROS продемонстрировал свою эффективность благодаря широкому набору инструментов, таким как MoveIt, а протокол TCP/IP обеспечил надёжную связь компонентов системы. В ходе экспериментов алгоритм RRT показал преимущество, выполняя поиск пути на 2,22 секунды быстрее (см. Таблица 1), чем PRM, что делает его предпочтительным для задач, требующих быстрого реагирования.

В дальнейшем планируется применить методы машинного обучения для оптимизации движения и обучения робота новым задачам, а также с использованием компьютерного зрения разработать систему визуального слежения и адаптации траекторий движения.

Список литературы

1. Smith J. и др. TCP/IP-based control of industrial robots. – 2020 [Электронный ресурс] // Официальная документация. – Режим доступа: Telecontrol system based on the Smith predictor using the TCP/IP protocol | Robotica | Cambridge Core (дата обращения: 12.02.2025).
2. Dobot CR3 Technical Specifications [Электронный ресурс] // Официальная документация. – Режим доступа: <https://www.dobot.cc> (дата обращения: 12.02.2025).
3. Mamonova T.E., Vasilyeva T.N., «Artificial intelligence in problems of leak definition from the oil pipeline» in Proc. 2014 Int. Conf. Mech. Eng., Autom. Control Syst. (MEACS). – 2014. – P. 6986846, DOI: 10.1109/MEACS.2014.6986846, ISBN: 978-1-4799-6221-1.
4. Awad P.A.V., Mamonova T.E., “Control of a custom URDF robotic arm in ROS,” in Proc. 2024 IEEE 3rd Int. Conf. Probl. Inform., Electron. Radio Eng.

(PIERE), 2024, DOI: 10.1109/PIERE62470.2024.10805061, Electronic ISBN: 979-8-3315-1632-1, Print on Demand (PoD) ISBN: 979-8-3315-1633-8.

5. Avad A.V.P., Mamonova T.E., “Digital twins in the control and optimization of manipulators,” (in Russian), in Proc. II All-Russian Sci. Pract. Conf. «Intellect. Energy» [Intellektual'naya Energetika]. – 2024. – P. 177–180.

Аганя Давид Делали (Гана), Новикова Анастасия Викторовна (Россия)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Новикова Анастасия Викторовна, канд. филол. наук, доцент

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ В ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ВЕТРО-СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Аннотация: Гибридные энергетические системы, объединяющие солнечную и ветровую генерацию, играют ключевую роль в переходе к устойчивой энергетике. Однако их эффективность зависит от изменчивости погодных условий, что требует интеллектуального управления энергопотоками. В данной статье рассматриваются методы искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО), применяемые для оптимизации энергопотребления и повышения эффективности гибридных систем. Анализируются алгоритмы прогнозирования генерации, динамического распределения нагрузки и адаптивного управления накопителями энергии. Приводятся примеры успешного внедрения ИИ в реальных энергосистемах, а также обсуждаются перспективы дальнейшего развития технологий оптимизации энергопотребления.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, гибридные энергетические системы, ветровая энергия, солнечная энергия.

Введение

Современные энергетические системы сталкиваются с рядом проблем при интеграции возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как солнечные панели и ветрогенераторы. Основные сложности связаны с их нестабильностью: колебания мощности из-за изменения погодных условий, трудности с прогнозированием выработки, а также необходимость балансировки нагрузки в реальном времени для предотвращения сбоев в энергоснабжении.

Гибридные энергетические системы, сочетающие несколько видов генерации и накопителей энергии, позволяют частично снизить зависимость от погодных факторов и повысить надежность электроснабжения. Однако для эффективной работы таких систем требуются сложные алгоритмы прогнозирова-