

УДК 621.01

Русских Мария Дмитриевна, Сафина Лилия Наилевна,
Тимершин Булат Айратович, Пашин Дмитрий Михайлович
Чикрин Дмитрий Евгеньевич

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ШАХМАТНОГО МАНИПУЛЯТОРА

В данном исследовании рассматривается процесс разработки и функционирования шахматного робота-манипулятора. В докладе детально излагаются все этапы создания робота, от проектного решения до реализации, включая аспекты кинематики, электронной схемы и конструкции. На основе проектной документации был разработан цифровой двойник в симуляционной среде Gazebo, что позволило провести всесторонний анализ и оптимизацию работы манипулятора до начала его физического производства.

Шахматный робот, робот-манипулятор, цифровой двойник.

Russkikh Maria Dmitrievna, Safina Lilia Nailevna,
Timershin Bulat Airatovich, Pashin Dmitry Mikhailovich,
Chikrin Dmitry Evgen'evich

DEVELOPMENT OF A DIGITAL CHESS DOUBLE MANIPULATOR

This study examines the process of developing and functioning a chess robot manipulator. The report describes in detail all the stages of creating a robot, from design to implementation, including aspects of kinematics, electronic circuit and design. Based on the design documentation, a digital twin was developed in the Gazebo simulation environment, which allowed for a comprehensive analysis and optimization of the manipulator's operation before its physical production began.

Chess robot, manipulator robot, digital double.

Введение

Шахматы, сочетающие искусство и науку, продолжают привлекать внимание благодаря технологическому прогрессу. На данный момент у шахматных программ появились различные аппаратные решения, включая электронные доски и наборы. Интерактивные шахматные доски, оснащенные специальными чипами и системами считывания, автоматизируют процесс

фиксации ходов и их преобразование в цифровой формат, что позволяет игрокам анализировать партии и вести игру в режиме онлайн. Роботизированные манипуляторы, такие как российская Chesska и немецкая Kuka Monster, интегрируют шахматные алгоритмы для анализа партий и манипулирования фигурами, расширяя возможности взаимодействия с игрой.

Но в связи с тем, что робот Chesska построен на базе промышленного манипулятора, он обладает определёнными ограничениями. Это послужило стимулом для разработки собственного робота с нуля, чтобы преодолеть эти ограничения и расширить функциональные возможности.

Основная часть

(1) Моделирование

На сегодняшний день существует множество конструкторских решений [1,2] созданных для манипуляторов. В данной работе была разработана конструкция манипулятора исходя из структурного аналога, созданного под определенные размеры для того, чтобы этот робот мог играть в шахматы при этом дотягиваясь до любой фигуры на доске. Для понимания работы шахматного манипулятора составим кинематическую схему передвижения манипулятора.

1.1. Кинематическая схема.

При разработке решено было взять структурный аналог с пятью степенями свободы [3], позволяющий с лёгкостью достать до любой точки шахматной доски. Задача шахматного манипулятора будет по очереди поднимать плечи в зависимости от половины шахматной доски.

Четыре степени свободы состоят из шаговых двигателей и будут отвечать за положение робота, пятая степень свободы отвечает за захват манипулятора и состоит из серводвигателя (рис. 1).

Кинематическая схема позволяет понять каким образом шахматный манипулятор будет двигаться и захватывать фигуру, что позволит создать оптимальную конструкцию с учетом оборудования

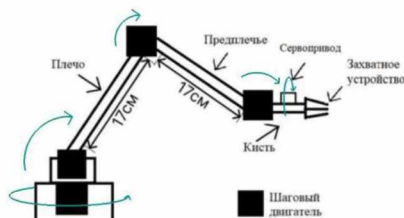


Рис.1. Кинематическая схема

1.2. Конструкция робота

Исходя из кинематики передвижения и комплектующих робота была разработана следующая конструкция манипулятора, в который есть несколько основных частей: крепление к столу, подвижное основание, предплечье, плечо, кисть (Рис. 1).

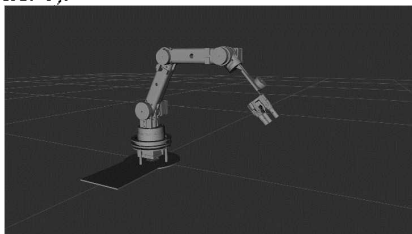


Рис. 2. 3D модель манипулятора

1.3. Создание цифрового двойника и сборка робота

Перед началом сборки манипулятора было принято решение разработать его цифровой аналог [4.5] для оценки функциональности и последующей корректировки проекта.

1.3.1. Создание цифрового двойник

Было принято решение моделировать цифрового двойника с использованием Gazebo и ROS2 [6.7]. Конструкция робота была сделана с использованием программного обеспечения RViz, что дало возможность наблюдать за его движениями в реальном времени. Разработка проходила в два этапа: первый заключался в создании базового каркаса с использованием геометрических форм и определении всех сочленений, второй этап включал в себя применение готовых трехмерных моделей компонентов робота к ранее созданному каркасу и последующую работу в программе Gazebo (рис. 3).

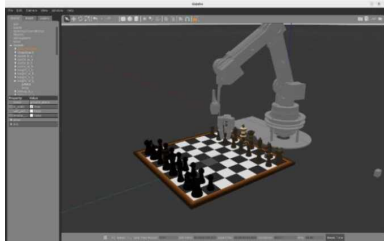


Рис. 3. Цифровой двойник манипулятора в программе Gazebo

1.3.2. Сборка робота манипулятора и тестирование управляющей программы

Перед тем как приступить к реальным испытаниям все спроектированные детали манипулятора были напечатаны на 3D принтере Picasso из PETG пластика. Затем была проведена сборка всей конструкции.

После подключения и проверки всей электроники была написана управляющая программа, которая реализовывалась с помощью платы Arduino UNO. Программа получала пакет данных о положениях углов энкодеров для определенной клетки. Чтобы манипулятор встал в нужную клетку нам понадобилось откалибровать положение робота для каждой клетки и в итоге мы получили матрицу координат клетки. Так же когда фигура съездалась она выкладывалась за пределы поля в определенную точку.

Для удобства игры был создан сайт, на котором можно было сыграть шахматную партию между двумя игроками. Такой манипулятор позволил перемещать и позиционировать руку над определенной точкой.

4. Испытание

Испытания шахматного робота манипулятора и его цифрового двойника проводились в разное время, но используя один сценарий функционирования.

4.1. Виртуальное испытание в Gazebo

В ходе испытания цифрового двойника робототехнической системы был разработан сценарий, имитирующий выполнение роботом-манипулятором определенной последовательности действий. Положительные результаты испытаний цифрового двойника подтвердили, что сценарий и параметры, заданные для симуляции, соответствуют требованиям и могут быть использованы для испытаний физического робота-манипулятора.

В процессе испытания, робот-манипулятор демонстрировал выполнение серии из четырех шагов, моделируя игровой процесс за обе стороны на шахматной доске.

В ходе проведения испытаний цифрового двойника было установлено, что он с высокой точностью отработал предусмотренный сценарий. На основе полученных данных была выполнена тщательная калибровка шаговых двигателей реального робота-манипулятора, что позволило приступить к испытаниям робота-манипулятора.

4.2. Реальное испытание

Реальное испытание манипулятором проводилось с подключенным работающим сайтом, на котором два игрока в реальном времени проводили партию. Тестовое испытание было решено проводить на примере распространенной шахматной партии – детский мат в 4 хода (рис.4).



Рис.4. Испытание шахматного манипулятора

В ходе испытания было принято решение добавить магнитные для точного позиционирования шахматных фигур, что позволило ставить ее по центру клетки и не ронять при небольшом задевании манипулятором фигуру. В дальнейшем можно усовершенствовать разработанный манипулятор путем добавления нового оборудования – видеокамеры [8], датчиков давления [9], более мощных двигателей, датчиков расстояния [10] и прочего, для расширения области его использования.

Выводы

В рамках проведения двух экспериментов, включающих цифровой двойник и физический манипулятор, была проведена тщательная проверка параметров работы систем. Результаты показали, что отклонения от заданных характеристик отсутствуют, что свидетельствует о корректной работе обоих компонентов.

В процессе разработки цифрового двойника были применены виртуальные методики проведения симуляции, что позволило достичь высокой точности воспроизведения работы физического манипулятора. Эффективность применения цифрового двойника подтверждена его положительным влиянием на функционирование манипулятора, что обеспечило его работу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Md. Hazrat Ali, Yernar Kuralbay, Aidos Aitmagambet, M.A.S. Kamal. Design of a 6-DOF robot manipulator for 3D printed construction. Materials Today: Proceedings, Volume 49, Part 5, 2022, Pages 1462-1468. ISSN 2214-7853. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321050872> (дата обращения: 28.01.2024).*

2. *P. Franceschi, S. Mutti, N. Pedrocchi*, Optimal design of robotic work-cell through hierarchical manipulability maximization, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume 78, 2022, 102401, ISSN 0736-5845, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584522000886> (дата обращения: 28.01.2024).
3. *V.N. Iliukhin, K.B. Mitkovskii, D.A. Bizyanova, A.A. Akopyan*, The Modeling of Inverse Kinematics for 5 DOF Manipulator, *Procedia Engineering*, Volume 176, 2017, Pages 498-505, ISSN 1877-7058, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817308652> (дата обращения: 28.01.2024).
4. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review / D. Jones, C. Snider, A. Nassehi [et al.] // *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. – 2020. – Vol. 28.
5. Digital Twin as Industrial Robots Manipulation Validation Tool / V. Kuts, J. A. Marvel, M. Aksu [et al.] // *Robotics*. – 2022. – Vol. 11, No. 5. – P. 113.
6. *J. Chen, H. Deng, W. Chai, J. Xiong and Z. Xia*, "Manipulation Task Simulation of a Soft Pneumatic Gripper Using ROS and Gazebo," 2018 IEEE International Conference on Real-time Computing and Robotics (RCAR), Kandima, Maldives, 2018, pp. 378-383.
7. *F. Tao, H. Zhang, A. Liu and A. Y. C. Nee*, "Digital Twin in Industry: State-of-the-Art," in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 15, no. 4, pp. 2405-2415, April 2019.
8. *Long Luo*, Research and analysis of manipulator control method based on deep learning, *Journal of Engineering Research*, 2023, ISSN 2307-1877, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2307187723003061>) (дата обращения: 30.01.2024).
9. *Levente Sajó, Zsófia Ruttkay, Attila Fazekas*, Turk-2, a multi-modal chess player, *International Journal of Human-Computer Studies*, Volume 69, Issues 7–8, 2011, Pages 483-495, ISSN 1071-5819 (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581911000474>) (дата обращения: 30.01.2024).
10. *Freyja Yeatman Ómarsdóttir, Róbert Bjarnar Ólafsson, Joseph Timothy Foley*, The Axiomatic Design of Chessmate: A Chess-playing Robot, *Procedia CIRP*, Volume 53, 2016, Pages 231-236, ISSN 2212-8271, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116307235>) (дата обращения: 30.01.2024).

Русских Мария Дмитриевна, студентка КФУ ИВМиИТ, Казань. Email: 5021702001@mail.ru

Сафина Лилия Наилевна, студентка КФУ ИИРСИ, Казань. Email: safinalilia406@gmail.com

Тимершин Булат Айратович, без степени, аспирант ИВМиИТ, КФУ, Казань. Email: btimershin99@gmail.com

Пашин Дмитрий Михайлович, доктор технических наук, проректор по цифровой трансформации и инновационной деятельности, КФУ, Казань, ул. Кремлевская д.18. Email: dmitry.m.pashin@gmail.com

Чикрин Дмитрий Евгеньевич, доктор технических наук, директор института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии, КФУ, Казань, ул. Сайлиха Сайдашева д.12 к.3, Email: dmitry.kfu@ya.ru.

Russkikh Maria Dmitrievna, a student of KFU ISMaIT, Kazan. Email: 5021702001@mail.ru

Safina Lilia Nailевна, a student of KFU AIRSI, Kazan. Email: safinalilia406@gmail.com

Timershin Bulat Airatovich, no degree, graduate student, Institute of Computational Mathematics and IT, KFU, Kazan. Email: btimershin99@gmail.com

Pashin Dmitry Mikhailovich, Doctor of technical sciences, Vice-Rector for Digital Transformation and Innovation, KFU, Kazan, Kremlevskaya st. 18. Email: dmitry.kfu@ya.ru.

Chikrin Dmitry Evgen'evich, Doctor of technical sciences, Director of Institute of Artificial Intelligence, Robotics and System Engineering, KFU, Kazan, Salikha Saidasheva st. 12, 3 enc. Email: dmitry.m.pashin@gmail.com.