

Министерство образования Республики Беларусь
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.М. МАШЕРОВА»
(ВГУ ИМЕНИ П.М. МАШЕРОВА)

УДК 004.896:007.52 (047.31)
Рег. № 20210830



УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор университета

Д.А. Антонович

10 декабря 2021 г.


Отчет

о научно - исследовательской работе
Разработка демонстрационного комплекса 6R робота-манипулятора

(заключительный)

Грант аспирантов, докторантов и студентов
Министерства образования Республики Беларусь

Ответственный исполнитель,
магистр

 10.12.21 А.В. Шидловский

Нормоконтроль

 10.12.2021 Т.В. Харкевич

РЕФЕРАТ

Отчет 50 с., 1 кн., 26 рис., 25 источников, 2 прил.

РОБОТ-МАНИПУЛЯТОР, 3D МОДЕЛИРОВАНИЕ, МОДЕЛЬ, ЗВЕНО, ОСЬ, ПРОГРАММНЫЙ-КОМПЛЕКС, КОНТРОЛЛЕР, СЕРВИС, ПРОТОКОЛ, ПОСТПРОЦЕССОР, ПЛАГИН, СЕРВЕР, КЛИЕНТ

Объект исследования – Робот-манипулятор.

Предмет исследования – Автоматическая система позиционирования 6R робота - манипулятора.

Цель работы – разработать аппаратно-программный комплекс демонстрационного 6R робота-манипулятора для эффективного обучения робототехнике и программированию на реальных устройствах.

Методы исследования: обще логические и общепризнанные методы научного познания, методы 3D моделирования и визуализации, линейный итерационный метод разработки программного обеспечения.

Теоретическая и практическая значимость:

Робот-манипулятор может быть полезен в большом количестве отраслей, поэтому знание и управление таким устройством позволяет автоматизировать рутинные процессы, как на производстве, так и в жизни. 3D модель робота позволяет обучиться принципам автоматизации, не имея реального оборудования, проектировать и моделировать реальные процессы. Процесс управления и программирования такого робота включает знания из различных областей математики, позволяет использовать современные технологии и подходы в современном программировании. Мета-операционная система ROS позволяет создать собственную инфраструктуру роботу или уже управлять готовыми решениями, за счет разработки собственных сервисов. Данная разработка может быть использована для обучения студентов или школьников при разработке и автоматизации роботизированных решений.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ	2
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
1 Разработка виртуального робота - манипулятора	8
1.1 Выбор и обоснование средств разработки	8
1.2 Выбор кинематической схемы.....	10
1.3 Создание 3D модели робота манипулятора	13
1.4 Создание URDF модели робота манипулятора.....	17
2 Программно - вычислительный комплекс для управления роботом манипулятором	20
2.1 Планирование движения робота - манипулятора	20
2.2 Расчет прямой кинематики робота.....	23
2.3 Использование средств Rviz для визуальной симуляции движения	27
2.4 Экосистема структурных пакетов управления робота.....	29
3 Система управления движениями робота-манипулятора	32
3.1 Постпроцессор для формирования программ	32
3.2 Система плагинов для разных алгоритмов движения	33
3.3 Протокол удаленного взаимодействия	34
3.4 Клиентская часть генерации и запуска программ	37
3.5 Сборка и развертывание проекта	38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	42
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	45
ПРИЛОЖЕНИЕ А	48
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	62

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день такие понятия как автоматизация и роботизация идут неразрывно бок о бок и вместе являются одними из ключевых тематик в процессе перехода к четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0». Поэтому важность понимания этого процесса требует точного определения понятий автоматизация и роботизация.

Автоматизация - широкое понятие, которое нацелено на решение комплексных проблем и в общем является процессом развития машинного производства, где функции контроля и управления передаются приборам и автоматическим устройствам, которые ранее выполнял человек [1].

Роботизация - это использование различного вида роботов для повышения эффективности технологических процессов, является составной частью комплексной автоматизации [1]. Она охватывает лишь ту часть практики, когда на замену людям приходят физические механизмы.

Четвертая промышленная революция включает в себя набор технологий и концепций, связанных с автоматизацией, обменом данными и производства. Она объединяет «Киберфизические системы» CPS, «Интернет вещей» IoT и «Интернет сервисов» IoS. Киберфизические системы контролируют физические процессы, создавая своеобразную виртуальную копию реального мира, и принимают децентрализованные решения [2]. Посредством Интернета вещей киберфизические системы соединяются и взаимодействуют друг с другом и людьми в реальном времени. Интернет сервисов позволяет располагать решения на удаленных серверах и обращаться к ним при необходимости, сервисы позволяют организовать хранение и обработку данных.

На фоне этого, каждый день появляются разработки новых технологий и решений, внедрение которых позволяет увеличить производительность и эффективность уже имеющегося производства [3]. Благодаря этому роботизация постепенно все больше и больше становится доступной для среднего и малого бизнеса. Актуальность данного направления растет и поэтому для управления такими системами требуются базовые знания по процессам управления роботизированных систем и их программной автоматизации.

Рынок представлен различными видами роботов-манипуляторов, которые позволяют решать широкий спектр специфических задач. Каждый производитель оснащает свои устройства рядом определенных программных интерфейсов, посредством которых возможно управление работой робота – манипулятора. Запуск определенного

прохода траектории и управления рабочим инструментом определяется программой, которая представляет собой файл с текстовым описанием команд.

Зачастую подразумевается, что оператор робота-манипулятора вручную или с помощью вспомогательного софта производителя робота напишет данную программу и данная программа будет выполняться большое количество раз в течение продолжительного времени. Проблема возникает при динамической обработке какой-либо траектории, которую нужно сгенерировать по специальным правилам и возможно для манипуляторов разных производителей для выполнения в текущий момент времени [4]. Решением данной проблемы является написание собственной системы генерации программы управления под различные платформы роботов.

Для разработки такой системы требуется специализированная программная среда, возможности которой обеспечивают полноценную разработку и тестирование программного решения. Одной из таких является мета-операционная система Robot Operating System, которая позволяет построить собственную сервисную архитектуру для управления роботизированными механизмами, как в виртуальном окружении, так и в реальности [4]. Так же в возможности инструментов ROS входит визуализация управления механизмами, которые представлены в виде подвижных сборок в 3D моделях и их URDF представления, что позволит запустить и протестировать систему в полном объеме на виртуальном симуляторе.

Гибкость такого решения будет достигаться с помощью предоставления удаленного управления роботом – манипулятором, посредством использования принципов понятия «Интернет вещей», а именно будет рассмотрена разработка серверной части на стороне ПО робота и его интерфейса с предоставлением протокола обмена между клиентом и сервером.

Целью работы является разработка аппаратно-программного комплекса демонстрационного 6R робота-манипулятора для эффективного обучения робототехнике и программированию на реальных устройствах.

Задачи работы:

1. Анализ программного обеспечения для разработки модели робота манипулятора, его тестирования, запуска на реальном оборудовании;
2. Разработка 3D модели робота манипулятора и его URDF представление;
3. Разработка программно – вычислительного комплекса для управления роботом манипулятором;
4. Разработка серверной части для автоматического запуска генерации траектории и ее выполнения роботом манипулятором;

5. Описание и разработка постпроцессора для взаимодействия с различными видами роботов – манипуляторов;
6. Разработка клиентской части, для управления движениями робота-манипулятора.
7. Разработка единого файла развертывания и сборки проекта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация и роботизация производства [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://top3dshop.ru/blog/industry-automatization-with-robots.html> - Дата доступа: 08.10.2019
2. Шидловский А.В. Феномен роботизации жизни человека: социальные риски и угрозы / Д.В. Бирюкова, А.В Шидловский // Молодость. Интеллект. Инициатива: материалы VIII Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов, Витебск, 22 апреля 2020 г. / Витеб. гос. ун-т; редкол.: И.М. Прищепа (гл. ред.) [и др.]. – Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2020. – С. 118-119.
3. Шидловский А.В. Влияние беспроводных технологий связи на процессы глобализации / Д.В. Бирюкова, А.В Шидловский // Молодость. Интеллект. Инициатива: материалы VIII Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов, Витебск, 22 апреля 2020 г. / Витеб. гос. ун-т; редкол.: И.М. Прищепа (гл. ред.) [и др.]. – Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2020. – С. 117-118.
4. Шидловский А.В. Вопросы создания бюджетного роботизированного манипулятора / Д.В. Бирюкова, А.В Шидловский // XIV Машеровские чтения, Витебск, 18 октября 2019 г. / Витеб. гос. ун-т; редкол.: И.М. Прищепа (гл. ред.) [и др.]. – Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2019. – С. 8-9.
5. A. Shidlowsky Development of an affordable robotic arm/ D. Biryukova, A. Shidlowsky // The Youth of the 21st Century: Education, Science, Innovations : Proceedings of VI International Conference for Students, Postgraduates and Young Scientists, Vitebsk, December 12, 2019 / [editorial board: I. M. Prishchepa [and ot.]] ; Ministry of Educational Establishment, Vitebsk State P. M. Masherov University". - Vitebsk : Vitebsk State P. M. Masherov University, 2019. - P. 8-10.
6. Elise Moss, Getting Started with Onshape [2nd Revised Edition], United States, 2016. 388 p.
7. Шидловский А.В. Использование средств визуальной и физической симуляции при разработке робота-манипулятора/ Д.В. Бирюкова, А.В Шидловский // Молодость. Интеллект. Инициатива: материалы VIII Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов, Витебск, 22 апреля 2020 г. / Витеб. гос. ун-т; редкол.: И.М. Прищепа (гл. ред.) [и др.]. – Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2020. – С. 5-7.

8. Enrique Fernández, Learning ROS for Robotics Programming Second Edition //Enrique Fernández, Luis Sánchez, Crespo Anil Mahtani, Aaron Martinez, Published by Packt Publishing Ltd, 2015, 458 p.

9. Visual Studio Code [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://bizzapps.ru/p/vs-code/> - Дата доступа: 16.11.2019

10. Эдриен Моуэт «Использование Docker» ДМК Пресс, 2017 год, 354 стр.

11. Шидловский А.В. Выбор кинетической схемы для демонстрационного учебного робота-манипулятора / Д.В. Бирюкова, А.В Шидловский // XIV Машеровские чтения, Витебск, 21 октября 2020 г. / Витеб. гос. ун-т; редкол.: Е.Я. Аршанский (гл. ред.) [и др.]. – Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2020. – С. 16-17.

12. John J. Craig, Introduction to Robotics. Mechanics and Control [Third Edition], Published by Pearson Education Inc., 2005, 408 p.

13. Шидловский А.В. Использование периферийных устройств в работе демонстрационно-учебного робота-манипулятора/Л.В. Маркова, Д.В. Бирюкова, А.В Шидловский // Наука-образованию, производству, экономике: материалы 73-й региональной научно-практической конференции преподавателей, научных сотрудников и аспирантов, Витебск, 11 марта 2021 г. / Витеб. гос. ун-т; редкол.: Аршанский Е.Я.(гл. ред.) [и др.]. – Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2021. – С. 9-11.

14. URDF. Язык описания роботов [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://revolutejoint.blogspot.com/2018/06/urdf.html> - Дата доступа: 24.01.2020

15. Шидловский А.В. Матричный метод решения задачи планирования положения захвата робота/ Д.В. Бирюкова, А.В Шидловский //Наука – образованию, производству экономике: материалы XXV Региональной научно-практической конференции преподавателей, научных сотрудников и аспирантов, Витебск, 20 февраля 2020 г. / Витеб. гос. ун-т; редкол.: И.М. Прищепа (гл. ред.) [и др.]. - Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2020. - С. 26-27.

16. Шидловский А.В. Моделирование системы управления роботизированного комплекса / Л.В. Маркова, Д.В. Бирюкова, А.В. Шидловский // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя П.М. 2020. – №3(108). – С. 15–22.

17. Использование rviz и rqt [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://clover.coex.tech/ru/rviz.html> - Дата доступа: 05.04.2020

18. Основы работы с Robotic Operating System [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/128024/> - Дата доступа: 20.04.2020

19. Что такое постпроцессор [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://precision-machines.ru/viewtopic.php?t=6> - Дата доступа: 03.05.2020

20. Система плагинов на C++ [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/164699/> - Дата доступа: 21.06.2020

21. Шидловский А.В. Вопросы удаленного управления для робота-манипулятора / Д.В. Бирюкова, А.В Шидловский // Молодость. Интеллект. Инициатива: материалы IX Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов, Витебск, 23 апреля 2020 г. / Витеб. гос. ун-т; редкол.: Аршанский Е.Я. (гл. ред.) [и др.]. – Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2021. – С. 5-7.

22. Индрасири К., Курупу Д., gRPC: запуск и эксплуатация облачных приложений. Go и Java для Docker и Kubernetes, ООО "Питер Мейл". РФ, г. Санкт-Петербург, 2021 г., 224 с.

23. gRPC в качестве протокола межсервисного взаимодействия. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/yandex/blog/484068/> - Дата доступа: 26.08.2020

24. VM или Docker [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/474068/> - Дата доступа: 04.10.2020

25. Парминдер Кочер, Микросервисы и контейнеры Docker, ДМК-Пресс, 2019 г., 240с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Список публикаций

Статьи в научных журналах

1. Шидловский А.В. Моделирование системы управления роботизированного комплекса / Л.В. Маркова, Д.В. Бирюкова, А.В. Шидловский // Веснік Віцебскага дзяржаўнага універсітэта імя П.М. 2020. – №3(108). – С. 15–22.

Тезисы докладов конференций

1. Шидловский А.В. Выбор кинетической схемы для демонстрационного-учебного робота-манипулятора / Д.В. Бирюкова, А.В. Шидловский // XIV Машеровские чтения, Витебск, 21 октября 2020 г. / Витеб. гос. ун-т; редкол.: Е.Я. Аршанский (гл. ред.) [и др.]. – Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2020. – С. 16-17.

2. Шидловский А.В. Использование периферийных устройств в работе демонстрационно-учебного робота-манипулятора/Л.В. Маркова, Д.В. Бирюкова, А.В. Шидловский // Наука-образованию, производству, экономике: материалы 73-й региональной научно-практической конференции преподавателей, научных сотрудников и аспирантов, Витебск, 11 марта 2021 г. / Витеб. гос. ун-т; редкол.: Аршанский Е.Я.(гл. ред.) [и др.]. – Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2021. – С. 9-11.

3. A. Shidlowsky Development of an affordable robotic arm/ D. Biryukova, A. Shidlowsky // The Youth of the 21st Century: Education, Science, Innovations : Proceedings of VI International Conference for Students, Postgraduates and Young Scientists, Vitebsk, December 12, 2019 / [editorial board: I. M. Prishchepa [and ot.]] ; Ministry of Educational Establishment, Vitebsk State P. M. Masherov University". - Vitebsk : Vitebsk State P. M. Masherov University, 2019. - P. 8-10.

4. Шидловский А.В. Матричный метод решения задачи планирования положения захвата робота/ Д.В. Бирюкова, А.В. Шидловский //Наука – образованию, производству экономике: материалы XXV Региональной научно-практической конференции преподавателей, научных сотрудников и аспирантов, Витебск, 20 февраля 2020 г. / Витеб. гос. ун-т; редкол.: И.М. Прищепа (гл. ред.) [и др.]. - Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2020. - С. 26-27.

5. Шидловский А.В. Использование средств визуальной и физической симуляции при разработке робота-манипулятора/ Д.В. Бирюкова, А.В. Шидловский // Молодость. Интеллект. Инициатива: материалы VIII Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов, Витебск, 22 апреля 2020 г. / Витеб. гос. ун-т;

редкол.: И.М. Прищепа (гл. ред.) [и др.]. – Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2020. – С. 5-7.

6. Шидловский А.В. Феномен роботизации жизни человека: социальные риски и угрозы / Д.В. Бирюкова, А.В Шидловский // Молодость. Интеллект. Инициатива: материалы VIII Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов, Витебск, 22 апреля 2020 г. / Витеб. гос. ун-т; редкол.: И.М. Прищепа (гл. ред.) [и др.]. – Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2020. – С. 118-119.

7. Шидловский А.В. Влияние беспроводных технологий связи на процессы глобализации / Д.В. Бирюкова, А.В Шидловский // Молодость. Интеллект. Инициатива: материалы VIII Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов, Витебск, 22 апреля 2020 г. / Витеб. гос. ун-т; редкол.: И.М. Прищепа (гл. ред.) [и др.]. – Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2020. – С. 117-118.

8. Шидловский А.В. Вопросы создания бюджетного роботизированного манипулятора / Д.В. Бирюкова, А.В Шидловский // XIV Машеровские чтения, Витебск, 18 октября 2019 г. / Витеб. гос. ун-т; редкол.: И.М. Прищепа (гл. ред.) [и др.]. – Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2019. – С. 8-9.

9. Шидловский А.В. Вопросы удаленного управления для робота-манипулятора / Д.В. Бирюкова, А.В Шидловский // Молодость. Интеллект. Инициатива: материалы IX Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов, Витебск, 23 апреля 2020 г. / Витеб. гос. ун-т; редкол.: Аршанский Е.Я. (гл. ред.) [и др.]. – Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2021. – С. 5-7.