

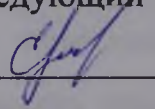
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.М. МАШЕРОВА»

Факультет математики и информационных технологий
Кафедра прикладного и системного программирования

Допущен к защите

« 25 » марта 2021 г.

Заведующий кафедрой

 С.А. Ермоченко

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ГЕНЕРАТОРА КОМАНД ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РОБОТА
МАНИПУЛЯТОРА

Специальность: 1-40 80 04 «Информатика и технологии
программирования»

Шидловский Александр Викторович,
2 курс

Научный руководитель:

Маркова Людмила Васильевна,
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры прикладного и
системного программирования

Витебск, 2021

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация 64 с., 26 рис., 25 источников, 4 прил.

РОБОТ-МАНИПУЛЯТОР, ROS, 3D МОДЕЛИРОВАНИЕ, МОДЕЛЬ, ЗВЕНО, ОСЬ, ПРОГРАММНЫЙ-КОМПЛЕКС, КОНТРОЛЛЕР, СЕРВИС, ПРОТОКОЛ, ПОСТПРОЦЕССОР, ПЛАГИН, СЕРВЕР, КЛИЕНТ, DOCKER, DOCKERFILE, GRPC, PROTOBUF.

Объект исследования – Управление движением робота-манипулятора.

Предмет исследования – Система генерации команд позиционирования робота - манипулятора.

Цель работы – Разработка программного комплекса на базе мета - операционной системы ROS, позволяющая генерировать программы управления, состоящие из команд точного позиционирования, для робота-манипулятора.

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 фактического 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.

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. Разработка виртуального робота манипулятора.....	8
1.1. Выбор и обоснование средств разработки.....	8
1.2. Выбор кинематической схемы.....	11
1.3. Создание 3D модели робота манипулятора.....	15
1.4. Создание URDF модели робота манипулятора.....	18
2. Программно - вычислительный комплекс для управления роботом манипулятором	22
2.1. Планирование движения робота - манипулятора.....	22
2.2. Расчет прямой кинематики робота.....	26
2.3. Использование средств Rviz для визуальной симуляции движения.....	31
2.4. Экосистема структурных пакетов управления робота.....	34
3. Система генерации программ для позиционирования робота манипулятора.....	37
3.1. Постпроцессор для формирования программ.....	37
3.2. Система плагинов для разных алгоритмов движения.....	38
3.3. Протокол удаленного взаимодействия.....	40
3.4. Клиентская часть генерации и запуска программ.....	45
3.5. Сборка и развертывание проекта.....	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	52
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	55
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	59
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	60
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	6 3
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	6 4

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. Она охватывает лишь ту часть практики, когда на замену людям приходят физические механизмы. Роботизация является составной частью комплексной автоматизации [1].

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 обработки 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 программного комплекса на базе мета - операционной системы ROS, позволяющая генерировать программы управления, состоящие из команд точного позиционирования, для робота-манипулятора.

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., Куруппу 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/vandex/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.