

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту
Факультет інформаційно-керуючих систем та технологій
Кафедра інформаційних технологій

До захисту допустити
Завідувач кафедри ІТ,
д.т.н., проф., Каргін А.О.

07.01.2025 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

на тему: Управління рухом складського роботу по маршруту на основі
візуальних маркерів

Здобувач (ка) ступеня магістра
Студент (ка) 2-го курсу,
213-ІТ-Д23 групи
Освітній рівень другий (магістр)
Галузь знань 12 - Інформаційні технології
Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія
Освітньо-професійна програма - Інтелектуальні інформаційні технології (ІІТ)

Грибачов Денис Андрійович
(ПІБ)

Керівник Каргін Анатолій Олексійович
(ПІБ)
д.т.н., професор, завідувач кафедри ІТ УкрДУЗТ
(науковий ступінь, вчене звання, посада)

Рецензент Шергін В.Л.
(ПІБ)
к.т.н., доцент, доцент кафедри ІІІ ХНУРЕ
(науковий ступінь, вчене звання, посада)

Рецензент Ковтун І.В.
(ПІБ)
к.т.н., доцент, доцент кафедри ТЗ УкрДУЗТ
(науковий ступінь, вчене звання, посада)

Національна шкала _____
Кількість балів: _____
Оцінка (ECTS) _____

м. Харків – 2025 рік

Наступні сторінки пояснювальної записки недоступні для перегляду – 2, 4, 5, 13-41, 45-68.

DO NOT COPY

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту
Факультет інформаційно-керуючих систем та технологій
Кафедра інформаційних технологій

Затверджую
Завідувач кафедри ІТ,
д.т.н., проф., Каргін А.О.

06.10.2024 р.

Завдання

На кваліфікаційну роботу здобувача ступеня магістра	<u>Грибачова Дениса Андрійовича</u> (прізвище ім'я по батькові)
Тема кваліфікаційної роботи	Управління рухом складського роботу по маршруту на основі візуальних маркерів
Постановка завдання в стислій формі	Виконати аналіз предметної області та аналіз існуючих підходів до вирішення завдання за темою, аналіз функцій проектуємої системи та аналіз правил керування системою відповідно до теми роботи та за результатами аналізу сформулювати динамічну модель програмно-апаратної системи в середовищі Node-RED
Вихідні дані (2 адреси сайтів, матеріали яких рекомендує керівник кваліфікаційної роботи)	OpenCV. Detection of ArUco Markers. https://docs.opencv.org/4.x/d5/dae/tutorial_aruco_detection.html What is an Autonomous Car? https://www.synopsys.com/glossary/what-is-autonomous-car.html

Календарний план роботи

Дата отримання версії звіту керівником	Етап виконання роботи	Виконання (зазначає керівник)
15.11.2024	Проектування системи (включно в MATLAB)	виконано
01.12.2024	Динамічна модель програмно-апаратного прототипу системи в Node-RED	виконано
09.12.2024	Підготовка та редагування пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи за зауваженнями керівника (за змістом)	виконано
15.12.2024	Редагування пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи (з оформлення)	виконано

Дата видачі завдання 06.10.24
Керівник (ПІБ) Каргін А.О.

РЕФЕРАТ

Грибачов Д. А. Розробка системи керування рухом складського робота на основі візуальних маркерів. - На правах рукопису.

Звіт з магістерської роботи: 68 сторінок, 35 рисунків, 2 таблиці, 20 джерел, 7 додатки.

Об'єкт дослідження — системи керування рухом складського робота. Метою роботи є створення прототипу системи управління рухом складського робота, яка використовує візуальні маркери для навігації в складському середовищі.

Основна мета роботи – розробити рішення, що забезпечить точне і надійне пересування робота за заданим маршрутом.

Методи дослідження включають аналіз вимог до системи, вибір типу візуальних маркерів та їх характеристик, моделювання системи у Mental Modeler і MATLAB, а також створення апаратного прототипу системи в Fritzing.

У роботі сформовано логічну та концептуальну моделі системи за допомогою UML діаграм, створено Fuzzy Cognitive Map для моделювання взаємозв'язків між компонентами системи, та змодельовано поведінку системи у MATLAB. Програмну частину реалізовано у Node-RED, де здійснюється обробка даних з камер, прийняття рішень щодо руху робота та виконання команд. Створено прототип системи з використанням Arduino, камер, ультразвукових датчиків та двигунів. Наведено тестування системи.

СКЛАДСЬКИЙ РОБОТ, ВІЗУАЛЬНІ МАРКЕРИ, НАВІГАЦІЯ, УПРАВЛІННЯ РУХОМ, FCM, MENTAL MODELER, MATLAB, NODE-RED, ARDUINO.

ABSTRACT

Denys Hrybachov. Development of a warehouse robot motion control system based on visual markers. - Manuscript rights.

Master's thesis report: 68 pages, 35 figures, 2 tables, 20 sources, 7 appendices.

The object of the study is a warehouse robot motion control system. The purpose of the work is to create a warehouse robot motion control system that uses visual markers to navigate in a warehouse environment.

The main goal of the work is to develop a solution that will ensure accurate and reliable movement of the robot along a given route.

Research methods include analysis of system requirements, selection of the type of visual markers and their characteristics, system modeling in Mental Modeler and MATLAB, and creation of a hardware prototype of the system in Fritzing.

The work forms a logical and conceptual model of the system using UML diagrams, creates a Fuzzy Cognitive Map to model the relationships between system components, and models the behavior of the system in MATLAB. The software part is implemented in Node-RED, where data from cameras is processed, decisions are made regarding robot movement and commands are executed. A physical model of the system is created using Arduino, cameras, ultrasonic sensors and motors. Testing was carried out and the system's efficiency was confirmed.

WAREHOUSE ROBOT, VISUAL MARKERS, NAVIGATION, MOTION CONTROL, FCM, MENTAL MODELER, MATLAB, NODE-RED, ARDUINO.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	12
РОЗДІЛ 2 ОПИС ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ І ОГЛЯД ПІДХОДІВ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАВДАННЯ	13
2.1 Опис предметної області	13
2.2 Огляд підходів до вирішення завдання	15
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РУХОМ СКЛАДСЬКОГО РОБОТУ ПО МАРШРУТУ НА ОСНОВІ ВІЗУАЛЬНИХ МАРКЕРІВ	19
3.1 Концептуальна модель системи. UML Use case	19
3.2 Логічна модель системи. Моделювання в Mental Modeler	20
3.3 Логічна модель системи. Моделювання в MATLAB	27
3.4 Фізична модель системи. Апаратний прототип системи в Fritzing	34
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ ПРОТОТИП СИСТЕМИ	37
4.1 Архітектура програмної частини прототипу системи	37
4.2 Компоненти програмної частини прототипу системи в Node-RED	38
4.3 Опис даних та бібліотек підтримки компонентів системи	39
4.4 Опис контрольних прикладів і результатів тестування	40
4.5 Опис інструкцій користувачеві	40
ВИСНОВКИ	42
СПИСОК ПОСИЛАНЬ	43
ДОДАТОК А ДІАГРАМИ UML	45
ДОДАТОК Б МОДЕЛЮВАННЯ В MENTAL MODELER	46
ДОДАТОК В МОДЕЛЮВАННЯ В MATLAB	52
ДОДАТОК Г МОДЕЛЮВАННЯ В TINKERCAD	59
ДОДАТОК Ґ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ В NODE-RED	60
ДОДАТОК Д ТЕКСТ ПРОГРАМИ В NODE-RED	61
ДОДАТОК Е РЕЗУЛЬТАТИ ТЕСТУВАННЯ	68

ВСТУП

Актуальність теми пов'язана з необхідністю підвищення ефективності складської логістики через автоматизацію процесів управління рухом складських роботів. Використання візуальних маркерів для навігації робота дозволяє забезпечити точне позиціонування та автономне пересування, що знижує експлуатаційні витрати і мінімізує помилки людського фактору.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи керування рухом складського робота, що використовує візуальні маркери для навігації в складському середовищі. Для досягнення мети сформульовані наступні завдання:

1. Аналіз існуючих підходів до навігації складських роботів;
 2. Вибір типу візуальних маркерів і розробка вимог до системи;
 3. Створення логічної та фізичної моделей системи;
 4. Моделювання поведінки системи за допомогою Fuzzy Cognitive Map та MATLAB;
 5. Реалізація динамічної моделі системи в Node-RED та її тестування.
- Об'єктом дослідження є управління роботами.

Предметом дослідження є методи та алгоритми управління складськими роботами, що базуються на розпізнаванні візуальних маркерів.

Для вирішення поставлених завдань були використані методи аналізу, моделювання та синтезу систем управління рухом роботів із використанням візуальних маркерів.

Рішення поставлених завдань дозволило отримати автору наступні результати:

- a) Розроблено та протестовано прототип системи керування рухом складського робота;
- b) Створено концептуальну та фізичну моделі системи;
- c) Виконано моделювання поведінки системи у Mental Modeler та MATLAB;

d) Здійснено програмну реалізацію прототипу в Node-RED та проведено його тестування.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості використання розробленої системи для автоматизації складських операцій, що підвищує їх ефективність.

Особистий внесок здобувача включає розробку алгоритмів, створення програмно-апаратного прототипу та його тестування.

Основні положення і результати кваліфікаційної роботи були представлені і обговорювалися на 84-й студентській науково-технічній конференції (Харків, УкрДУЗТ, 11-12 грудня 2024 р.).

По темі кваліфікаційної роботи виконано одну науково-технічну публікацію у збірнику тез 84-ої студентської науково-технічної конференції.

Звіт по кваліфікаційній роботі складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку посилань з 20 найменувань і 7 додатків. Звіт містить 35 малюнків, 2 таблиці. Повний обсяг звіту становить 68 сторінок, в тому числі 33 сторінки основного тексту.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і завдання дослідження, а також охарактеризовано особистий внесок здобувача, практичне значення і новизна отриманих результатів.

У першому розділі сформульована загальна постановка задачі та стисло описані етапи вирішення завдань управління рухом складського робота на основі візуальних маркерів. Висновки за розділом підтверджують виділення основних етапів створення системи.

У другому розділі виконано огляд і аналіз підходів до вирішення задачі навігації та точного позиціонування складського робота з використанням візуальних маркерів. За результатами огляду та аналізу зроблені висновки: візуальні маркери є ефективним та економічно вигідним рішенням для задач складської навігації. Висновки за розділом підтверджують виділення найбільш суттєвих характеристик системи, що потребують втілення в прототипі.

У третьому розділі побудований проект та виконано моделювання системи керування рухом складського робота за допомогою Mental Modeler, MATLAB та Fritzing. Висновки за розділом підтверджують формування моделей системи, що описують функціональність з точки зору користувача та розробника.

У четвертому розділі описана реалізація системи у вигляді динамічної моделі в Node-RED, її апаратний прототип, та результати тестування системи. Висновки за розділом підтверджують результати синтезу програмно-апаратної системи в середовищі Node-RED та ефективність роботи системи.

У висновках роботи представлені теоретичні та практичні результати дослідження, що підтверджують можливість застосування розробленої системи для автоматизації складських операцій.

РОЗДІЛ 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Завданням кваліфікаційної роботи є створення системи управління рухом складського робота, яка використовує візуальні маркери для навігації в складському середовищі. Основна мета роботи – розробити рішення, що забезпечить точне і надійне пересування робота за заданим маршрутом. Для досягнення цієї мети спочатку проводиться аналіз вимог до системи, включаючи вибір типу візуальних маркерів та їх характеристик для надійного зчитування і навігації. Далі розробляється концептуальна модель системи, що включає основні компоненти, такі як роботизована платформа, камера, процесорний модуль, система управління приводами та комунікаційний модуль. На основі концептуальної моделі створюється фізична модель, що описує розташування і взаємодію всіх апаратних елементів.

Для забезпечення точного руху робота розробляються алгоритми зчитування і обробки маркерів, зокрема для визначення позиції робота та управління його переміщенням. Після цього здійснюється моделювання системи, починаючи з побудови Fuzzy Cognitive Maps (FCM), які допомагають зрозуміти і дослідити взаємозв'язки між основними компонентами системи. Це забезпечує гнучкість в оцінці впливу різних факторів на роботу системи, допомагає ідентифікувати потенційні обмеження і ризики, а також оптимізувати параметри управління роботом.

Далі, для детальнішого моделювання і вивчення поведінки системи, використовується MATLAB. У цьому середовищі проводиться математичне моделювання та симуляції, що дозволяє точно налаштувати параметри системи управління, оцінити реакцію на різні типи маркерів та оптимізувати алгоритми обробки зображень.

Завершальним етапом є розробка програмно-апаратного прототипу та тестування в середовищі Node-RED, що дозволяє вивчити динамічну поведінку системи та оцінити точність навігації робота.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було створено та реалізовано систему керування рухом складського робота по маршруту на основі візуальних маркерів.

На етапі логічного моделювання було використано Mental Modeler для уточнення та аналізу концептуальної моделі системи. Виявлено основні фактори якості розпізнавання маркерів, що впливають на роботу системи, такі як освітленість, запиленість, точність місцезнаходження. Моделювання дозволило сформулювати основу для розробки алгоритмів і підвищити розуміння динамічних взаємозв'язків у системі.

У MATLAB були змодельовані алгоритми керування роботом і перевірена поведінка робота. Це дало змогу протестувати сценарії навігації, оцінити точність розпізнавання маркерів і прийняття рішень, а також оптимізувати ключові параметри системи.

Реалізація динамічної моделі системи у Node-RED стала важливим етапом роботи, що продемонструвала працездатність алгоритмів у вигляді потокової обробки даних. Усі функції, включно з розпізнаванням маркерів, прийняттям рішень і видачею команд руху, успішно протестовані, а система продемонструвала стабільну роботу. У тестовому середовищі робот реагував на різні ситуації при зчитуванні маркерів, в ході чого виконувалися різні логічні дії, такі як рух вперед чи очікування команди.

Отримані результати підтверджують можливість застосування розробленої системи для автоматизації складських операцій. Усі етапи – від моделювання до програмної реалізації – дозволили створити комплексну систему, яка готова до подальшого вдосконалення й інтеграції у реальні умови. Робота відкриває перспективи для розширення функціональності та використання сучасних технологій для підвищення автономності складських роботів.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- 1) Петренко Т.Г. Методичні матеріали до порядку та змісту підготовки, оформлення та захисту пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи магістранта. Харків: УкрДУЗТ, 2024. – 23 с..
- 2) Aruco markers. URL: https://docs.opencv.org/4.x/d5/dae/tutorial_aruco_detection.html (Last accessed: 5.11.2024)
- 3) RoboCup Federation Website. URL: <https://www.robocup.org/> (Last accessed: 5.11.2024)
- 4) Amazon Robotics. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Amazon_Robotics (Last accessed: 6.11.2024)
- 5) Kuka YouBot. URL: <https://robodk.com/> (Last accessed: 10.11.2024)
- 6) Rethink Robotics Baxter. URL: <https://www.rethinkrobotics.com/> (Last accessed: 15.11.2024)
- 7) Clearpath Robotics Jackal UGV. URL: <https://clearpathrobotics.com/jackal-small-unmanned-ground-vehicle/> (Last accessed: 15.11.2024)
- 8) Amazon Robotics and QR Codes. URL: <https://www.amazon.science/latest-news/how-amazon-robotics-is-working-on-new-ways-to-eliminate-the-need-for-barcodes> (Last accessed: 15.11.2024)
- 9) AprilTags. URL: <https://docs.wpilib.org/en/stable/docs/software/vision-processing/apriltag/apriltag-intro.html> (Last accessed: 15.11.2024)
- 10) Data Matrix. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Data_Matrix (Last accessed: 15.11.2024)
- 11) Unified Modeling Language. URL: <https://www.uml.org/> (Last accessed: 16.11.2024)
- 12) Diagrams.net. URL: <https://www.drawio.com/> (Last accessed: 08.12.2024)
- 13) Fuzzy Cognitive Map Mental Modeler URL: <https://www.mentalmodeler.com> (Last accessed: 17.11.2024)
- 14) Getting Started with MATLAB. URL: <https://www.mathworks.com/help/matlab/getting-started-with-matlab.html> (Last accessed: 18.11.2024)

- 15) Fritzing. URL: <https://fritzing.org/> (Last accessed: 05.12.2024)
- 16) PlantText. The expert's design tool. URL: <https://www.planttext.com/> (Last accessed: 05.12.2024)
- 17) Markers and Dictionaries. URL: <https://chev.me/arucogen/> (Last accessed: 29.11.2024)
- 18) Aruco Markers about Tracking. URL: <https://www.hackster.io/William0001/aruco-markers-for-precise-pose-tracking-in-robotics-8963fb> (Last accessed: 30.11.2024)
- 19) Fiducial Based Localization URL: <https://learn.ubiquityrobotics.com/fiducials> (Last accessed: 25.11.2024)
- 20) Investigating the Fiducial Marker Network Characteristics. URL: <https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0002378> (Last accessed: 25.11.2024)