

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.

14 червня 2025 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
бакалавра

на тему: «Система керування оминанням перешкоди на маршруті переміщення
колісного робота що рухається в пересіченій місцевості за даними датчика
КОМПАС»

Здобувач ступеня бакалавра
Студент 4-го курсу,
109-ТШП-Д21 групи
Галузь знань 12 - Інформаційні технології
Спеціальність 126 - Інформаційні системи та технології
Освітньо-професійна програма - Технології штучного інтелекту

Нотченко Дмитро Андрійович
(ПІБ)

Керівник Каргін Анатолій Олексійович
(ПІБ)

д.т.н., професор, завідувач кафедри ІТ УкрДУЗТ
(науковий ступінь, вчене звання, посада)

Рецензент Ковтун Ірина Володимирівна
(ПІБ)

к.т.н., доцент, доцент кафедри «Транспортний зв'язок» 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, 10-40, 46-63.

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.

20 травня 2025 р.

Завдання

На кваліфікаційну роботу здобувача ступеня бакалавра	Нотченка Дмитра Андрійовича (прізвище ім'я по батькові)
Тема кваліфікаційної роботи	Система керування оминанням перешкоди на маршруті переміщення колісного робота що рухається в пересіченій місцевості за даними датчика компас
Постановка завдання в короткій формі	Виконати аналіз предметної області та аналіз існуючих підходів до вирішення завдання керування переміщенням колісного робота що рухається по пересіченій місцевості за даними датчика компас та за результатами аналізу сформулювати та уточнити функції проектуємої системи та правил керування переміщеннями, розробити концептуальну, логічну моделі й прототип апаратно-програмного забезпечення системи.
Вихідні дані (2-3 адреси сайтів, матеріали яких рекомендує керівник кваліфікаційної роботи)	Husky A300 Overview. https://docs.clearpathrobotics.com/docs_robots/outdoor_robots/husky/a300/ 3-Axis Digital Compass IC HMC5883L https://wiki.geekworm.com/images/1/13/Honeywell-HMC5883L.pdf

Календарний план роботи

Дата отримання версії звіту керівником	Етап виконання роботи	Виконання (зазначає керівник)
19.05.2025	Проектування системи в MATLAB	Виконано
23.05.2025	Модель апаратного прототипу в Fritzing або Tinkercad	Виконано
29.05.2025	Підготовка та редагування пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи за зауваженнями керівника (за змістом)	Виконано
06.06.2025	Редагування пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи (з оформлення)	Виконано

Дата видачі завдання 12.05.25
Керівник (П.І.Б) Каргін Анатолій Олексійович

РЕФЕРАТ

Нотченко Д.А. Система керування оминанням перешкоди на маршруті переміщення колісного робота що рухається в пересіченій місцевості за даними датчика компас – На правах рукопису.

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра: 63 сторінка, 56 рисунків, 3 таблиці, 34 джерела, 4 додатка.

Об'єкт дослідження – системи керування процесом оминання перешкод на маршруті руху колісного мобільного робота в умовах пересіченої місцевості.

Мета роботи – проектування системи керування, здатної забезпечити автоматичне оминання перешкод колісним роботом із подальшим коригуванням курсу відповідно до заданої траєкторії. Основним принципом роботи системи є аналіз показників цифрового компаса, що дозволяє підтримувати орієнтацію під час та після виконання маневрів. Система також має забезпечувати дотримання безпечної відстані до навколишніх об'єктів та самостійно відновлювати правильний напрям руху після відхилення.

Методи дослідження – аналіз та синтез моделей поведінки мобільного робота в умовах складного рельєфу та обмеженого простору; побудова UML-діаграм; застосування нечіткої когнітивної карти для виявлення причинно-наслідкових зв'язків між параметрами системи; розробка нечіткого контролера на основі бази правил з використанням інструментів MATLAB.

У процесі роботи було побудовано концептуальну модель системи у вигляді UML-діаграми варіантів використання, яка описує сценарії взаємодії оператора та робота, а також автономні дії робота в процесі навігації. Також створено UML-діаграму розгортання, що відображає структуру апаратного та програмного забезпечення системи, включаючи прототип робота на базі мікроконтролера ESP32 WROOM 32 DevKit v1, цифрового компаса, ультразвукових датчиків та інших функціональних вузлів.

FUZZY COGNITIVE MAP, ARDUINO ROBOT, UML USE CASE, FUZZY CONTROLLER, DIGITAL COMPASS, MATLAB

ABSTRACT

Dmytro Notchenko. Control system for avoiding obstacles on the route of movement of a wheeled robot moving in rough terrain according to the Compass sensor – On the rights of the manuscript.

Explanatory note to the bachelor's qualification work: 63 pages, 56 figures, 3 tables, 34 sources, 4 appendices.

The object of research is control systems for the process of avoiding obstacles on the route of a wheeled mobile robot in rough terrain.

The purpose of the work is to design a control system that can provide automatic avoidance of obstacles by a wheeled robot with subsequent course adjustment in accordance with a given trajectory. The main principle of operation of the system is the analysis of digital compass sensor, which allows robot to maintain orientation during and after maneuvers. The system must also ensure that a safe distance to surrounding objects is maintained and independently restore the correct direction of movement after a deviation.

Research methods are analysis and synthesis of models of behavior of a mobile robot in conditions of complex terrain and limited space; construction of UML diagrams; application of a fuzzy cognitive map to identify cause-and-effect relationships between system parameters; development of a fuzzy controller based on the rule base using MATLAB tools.

In the course of the work, a conceptual model of the system was constructed in the form of a UML Use Case diagram, which describes scenarios of interaction between the operator and the robot, as well as autonomous actions of the robot during navigation. A UML deployment diagram has also been created showing the system's hardware and software structure, including system prototype based on the ESP32 WROOM 32 DevKit v1 microcontroller, digital compass, ultrasonic sensors, and other functional components.

FUZZY COGNITIVE MAP, ARDUINO ROBOT, UML USE CASE, FUZZY CONTROLLER, DIGITAL COMPASS, MATLAB

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	9
2 ОПИС ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ І ОГЛЯД ПІДХОДІВ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАВДАННЯ	10
2.1 Опис предметної області	10
2.2 Огляд підходів до вирішення завдання	13
3 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОМИНАННЯМ ПЕРЕШКОДИ НА МАРШРУТІ ПЕРЕМІЩЕННЯ КОЛІСНОГО РОБОТА ЩО РУХАЄТЬСЯ В ПЕРЕСІЧЕНІЙ МІСЦЕВОСТІ ЗА ДАНИМИ ДАТЧИКА КОМПАС	19
3.1 Концептуальна модель системи	19
3.2 Логічна модель системи. Моделювання в Mental Modeler	20
3.3 Логічна модель системи. Моделювання в MATLAB	22
3.4 Фізична модель системи	32
4 АПАРАТНИЙ ПРОТОТИП СИСТЕМИ	34
4.1 Топологія апаратної частини прототипу системи	34
4.2 Компоненти апаратної частини прототипу системи	35
4.3 Опис даних та бібліотек підтримки компонентів системи	38
ВИСНОВКИ	40
СПИСОК ПОСИЛАНЬ	41
ДОДАТОК А ДІАГРАМИ UML	44
ДОДАТОК Б МОДЕЛЮВАННЯ В MENTAL MODELER	46
ДОДАТОК В МОДЕЛЮВАННЯ В MATLAB	50
ДОДАТОК Г МОДЕЛЮВАННЯ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ ПРОТОТИПУ СИСТЕМИ	60

ВСТУП

У сучасному світі все частіше постає питання автоматизації процесів, а найбільш актуальним воно є в галузі логістики, в тому числі – складської.

Автоматизація логістичних процесів набирає обертів, і роботизовані платформи дедалі частіше використовуються для транспортування вантажів, зменшення людського фактору та оптимізації часу обробки замовлень. У таких умовах здатність мобільного робота орієнтуватися у складному середовищі та ефективно уникати перешкод є критично важливою для забезпечення безперервності логістичного потоку.

Для проектування подібних систем найчастіше використовуються: UML діаграми; когнітивні карти та моделювання сценаріїв; а також MATLAB and Fuzzy Logic Toolbox для створення та моделювання роботи нечітких контролерів на основі бази знань (правил) систем.

UML діаграми дозволяють формалізовано описати архітектуру системи, її складові, а також принципи взаємодії між користувачами системи та самою системою керування. Це полегшує комунікацію між інженерами, розробниками програмного забезпечення та іншими зацікавленими сторонами.

Одним із середовищ для побудови ментальних карт є Mental Modeler. Воно дає змогу моделювати причинно-наслідкові зв'язки між ключовими елементами системи. Завдяки даному середовищу можна формалізувати знання експертів щодо поведінки робота в різних ситуаціях, оцінити вплив окремих параметрів на прийняття рішень та створити основу для побудови логіки автономної навігації.

Моделювання роботи контролера в середовищі MATLAB Fuzzy Logic Toolbox дозволяє не лише побудувати нечітку логіку прийняття рішень, але й візуалізувати та проаналізувати реакцію системи на різні входні сигнали. Це дає змогу швидко виявляти потенційні недоліки логіки управління та виправити їх перед реалізацією апаратного прототипу.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

У ході кваліфікаційної роботи необхідно виконати аналіз предметної області використання колісних роботів у сфері складської логістики та використання в них цифрових компасів, оглянути існуючі приклади, проаналізувати вимоги та за результатами аналізу сформулювати та уточнити апаратну та програмну моделі системи.

Для виконання завдання за темою роботи, необхідно виконати наступні етапи:

1. Ознайомитися зі змістом джерел, що висвітлюють питання побудови систем навігації та оминання перешкод для колісних мобільних роботів, орієнтованих на використання у сфері складської логістики.
2. Обрати приклад колісного мобільного робота, здатного до навігації в складських умовах і на пересіченій місцевості, та подати його опис у звіті разом із аналізом підходів щодо навігації за компасом та сенсорами відстані.
3. Описати топологію апаратної частини прототипу системи: визначити тип мікроконтролера, цифрового компасу, сенсорів відстані.
4. Побудувати концептуальну та фізичну модель системи у вигляді UML діаграм.
5. Визначити значущість обраних концептів і взаємозв'язків між ними шляхом побудови нечіткої когнітивної карти (Fuzzy Cognitive Map, FCM) у середовищі Mental Modeler. Провести моделювання сценаріїв з метою обґрунтування вагів зв'язків.
6. Побудувати нечіткий контролер для системи у середовищі MATLAB Fuzzy Logic Toolbox, а також виконати його моделювання для перевірки адекватності логіки прийняття рішень та оцінки реакції системи на зміни вхідних параметрів.

ВИСНОВКИ

У рамках кваліфікаційної роботи було здійснено дослідження, моделювання та розробку системи керування автономним колісним роботом для навігації в умовах складського середовища і пересіченої місцевості. На основі обраної платформи з мікроконтролером ESP32 спроектовано апаратно-програмний прототип, що забезпечує орієнтацію за допомогою цифрового компаса, визначення перешкод за допомогою ультразвукових сенсорів, а також зчитування положення коліс за допомогою енкодерів.

У ході роботи було спроектовано архітектуру системи керування, включаючи створення UML-діаграми варіантів використання, що формалізує функціональну модель взаємодії робота та оператора з системою керування. Діаграма розгортання дозволила відобразити структуру системи, зокрема взаємозв'язки між середовищами моделювання та прототипом робота.

Було проведено огляд апаратних компонентів, що входять до складу прототипу: енкодери AS5047U, цифровий компас HMC5883L, ультразвукові сенсори HC-SR04, електродвигуни GA12-N20, драйвер L298N. Вивчено технічні характеристики та вимоги до підключення згідно з офіційною документацією. Це дозволило забезпечити коректну інтеграцію модулів у єдину систему.

Було побудовано нечітку когнітивну карту та проведено моделювання в середовищі Mental Modeler з метою дослідження взаємозв'язків між ключовими факторами, що впливають на успішність виконання місії. У MATLAB Fuzzy Logic Toolbox було побудовано нечіткий контролер, який реалізує логіку керування роботом на основі бази правил та проведено моделювання проходження умовного маршруту.

Результати моделювання продемонстрували ефективність розробленого нечіткого контролера. Поведінка робота в змодельованих сценаріях відповідає очікуванням, зокрема спостерігалась плавна реакція на зміну орієнтації, уникнення перешкод та збереження курсу.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- 1) Освітньо-професійна програма «Технології штучного інтелекту» першого (бакалаврського) рівня освіти за спеціальністю 126 Інформаційні системи та технології галузі знань 12 Інформаційні технології. URL: https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2022/08/opp_bak_126_tshi_23-24_pidpisi-1.pdf (Дата звернення: 10.05.25)
- 2) Петренко Т.Г. Методичні матеріали до порядку та змісту підготовки, оформлення та захисту пояснювальної записки кваліфікаційної роботи. Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 15 с.
- 3) Петренко Т.Г. Методичні матеріали до порядку та змісту підготовки, оформлення та захисту курсової роботи з курсу «Основи обчислювального інтелекту». Харків: УкрДУЗТ, 2023. – 14 с.
- 4) Каргін А.О. Розробка засобами Fuzzy tools у середовищі Matlab моделі управління переміщеннями інтелектуальної машини на підставі даних від сенсорів. Методичні вказівки до лабораторної роботи., - Харків: УкрДУЗТ, 2023. – 37 с.
- 5) ДСТУ 3008:2015. Національний Стандарт України. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016, 31 с.
- 6) ДСТУ 8302:2015. Національний Стандарт України. Інформація та документація. Бібліографічне Посилання. Загальні положення та правила складання. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016, 16 с.
- 7) Clearpath Robotics – Husky A300. URL: <https://clearpathrobotics.com/husky-a300-unmanned-ground-vehicle-robot/> (Last accessed: 01.06.2025)
- 8) Husky A300 Overview. URL: https://docs.clearpathrobotics.com/docs_robots/outdoor_robots/husky/a300/ (Last accessed: 01.06.2025)

- 9) Demaitre E. Clearpath Robotics Husky A300 development discussion. URL: <https://www.therobotreport.com/a300-clearpath-robotics-discusses-development/> (Last accessed: 01.06.2025)
- 10) DOIT Esp32 DevKit v1 Datasheet. URL: <https://roboeq.ir/files/id/4034/name/ESP32%20MODULE.pdf/> (Last accessed: 01.06.2025)
- 11) 3-Axis Digital Compass IC HMC5883L. URL: <https://wiki.geekworm.com/images/1/13/Honeywell-HMC5883L.pdf> (Last accessed: 01.06.2025)
- 12) Ams AS5047U - High Resolution Rotary Position Sensor. URL: <https://ams-osram.com/products/sensor-solutions/position-sensors/ams-as5047u-high-resolution-rotary-position-sensor> (Last accessed: 01.06.2025)
- 13) Kargin A., Petrenko T. Feeling Artificial Intelligence for AI-Enabled Autonomous Systems. In Proc. of 2022 IEEE Global Conf. on Artificial Intelligence and Internet of Things (GCAIoT). Alamein New City, Egypt, Dec. 18, 2022, pp. 88–93. DOI: 10.1109/GCAIoT57150.2022.10019235
- 14) Kargin A., Petrenko T. Knowledge Distillation for Autonomous Intelligent Unmanned Systems. In Pedrycz W., Chen S.-M. (Eds). Advancements in Knowledge Distillation: Towards New Horizons of Intelligent Systems. Studies in Comput. Intell., vol. 1100. Springer International Publishing, 2023, pp. 193–230. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-32095-8> (Last accessed: 01.06.2025)
- 15) Kargin A., Petrenko T. Feeling Artificial Intelligence. Cognitive Decision-Making Model Borrowed from Living Beings. In: Proceedings 2024 International Symposium on Networks, Computers and Communications, October 22 - 24, 2024, Washington DC – USA. P. 1-6
- 16) Design and Implementation of Mapping Robot using Digital Magnetic Compass and Ultrasonic Sensor // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). – ESRSA Publications Pvt. Ltd. – 2015. – Vol. 4, Issue 04. – P. 618–620.

- 17) Zahugi E., Shabani A. and Prasad T. Libot: design of a low cost mobile robot for outdoor swarm robotics. IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control and Intelligent Systems, May 27-31, 2012.
- 18) Chenavier F. and J. Crowley J. Position estimation for a mobile robot using vision and odometry. Proc. IEEE Int. Conf. Rob.Autom, Nice, France, 1992, pp. 2588-2593.
- 19) Katsev M. t. al. Mapping and Pursuit-Evasion Strategies For a Simple Wall Following Robot. IEEE Trans. On Robotics, vol. 27, no. 1, Feb. 2011.
- 20) Crowley J. World modeling and position estimation for a mobile robot using ultrasonic ranging. Proceedings of the 1989 IEEE International Conference on Robotics and Automation. – June 1989.
- 21) Crowley J. Control of Translation and Rotation in a Robot Vehicle. Proceedings of the IEEE Conference on Robotics and Automation. – May 1989.
- 22) Diagrams.net. URL: <https://app.diagrams.net> (Last accessed: 01.06.2025)
- 23) Mental Modeler. URL: <https://www.mentalmodeler.com> (Last accessed: 01.06.2025)
- 24) MATLAB. URL: <https://ch.mathworks.com/products/matlab.html> (Last accessed: 01.06.2025)
- 25) ESP32 DevKit V1. URL: <https://einstronic.com/product/esp32-devkit-v1/> (Last accessed: 01.06.2025)
- 26) L298N DUAL FULL-BRIDGE DRIVER. URL: <https://www.alldatasheet.com/html-pdf/22440/STMICROELECTRONICS/L298N/1619/1/L298N.html> (Last accessed: 01.06.2025)
- 27) Double H-Bridge DC Motor Controller Board Module AZ-L298N | compatible with Arduino. URL: <https://www.az-delivery.de/en/products/dual-h-bridge-dc-motor-controller> (Last accessed: 01.06.2025)
- 28) HCSR04 Datasheet. URL: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Hcsr04&gad_source=1&g

ad_campaignid=1434060638&gclid=EAIaIQobChMIkNGd6qHbjQMVVCCiAx3hcCaHEAAYASAAEgJUA_D_BwE (Last accessed: 01.06.2025)

- 29) Ультразвуковий датчик відстані HC-SR04. URL: https://arduino.ua/prod182-yltrazvykovoi-datchik-rasstoyaniya-hc-sr04?srsltid=AfmBOoqVQywA057kPi2ZXrVGZ_gHSnpJkJLZSPm3yikMSWXUNit5TERo (Last accessed: 01.06.2025)
- 30) Arduino Gy-273 HMC5883L 3 Axis Compass Sensor Module. URL: <https://www.n11.com/urun/arduino-gy-273-hmc5883l-3-eksen-pusula-sensor-modul-14739333?magaza=hatfon> (Last accessed: 01.06.2025)
- 31) Bring Your Projects to Life with Arduino Software. URL: <https://www.arduino.cc/en/software/> (Last accessed: 01.06.2022)
- 32) Adafruit HMC5883L Driver (3-Axis Magnetometer). URL: https://github.com/adafruit/Adafruit_HMC5883_Unified (Last accessed: 01.06.2025)
- 33) Adafruit Unified Sensor Driver. URL: https://github.com/adafruit/Adafruit_Sensor (Last accessed: 01.06.2025)
- 34) SPI Library for Teensy. URL: <https://github.com/PaulStoffregen/SPI> (Last accessed: 01.06.2025)