

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.

17 червня 2025 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
бакалавра

на тему Система керування переміщенням колісного робота по маршруту в
пересіченій місцевості за даними датчика акселерометра й гіроскопа

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

Калиниченко Олена Костянтинівна
(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, 10-46, 53-66.

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.

12 травня 2025 р.

Завдання

На кваліфікаційну роботу здобувачки ступеня бакалавра	Калиниченко Олени Костянтинівни (прізвище ім'я по батькові)
Тема кваліфікаційної роботи	Система керування переміщенням колісного робота по маршруту в пересіченій місцевості за даними датчика акселерометра й гіроскопа
Постановка завдання в стислій формі	Виконати проектування апаратно-програмного прототипу системи керування переміщенням колісного робота по маршруту в пересіченій місцевості за даними датчика акселерометра й гіроскопа і сформувати концептуальну, логічну та фізичну моделі системи. Виконати моделювання та тестування спроектованої системи. Створити прототип системи
Вихідні дані (2-3 адреси сайтів, матеріали яких рекомендує керівник кваліфікаційної роботи)	Types of Robots. https://robotsguide.com/learn/types-of-robots Algorithms for rough terrain trajectory planning. https://doi.org/10.1163/15685530260425693

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

Калиниченко О.К. Система керування переміщенням колісного робота по маршруту в пересіченій місцевості за даними датчика акселерометра й гіроскопа.
- На правах рукопису.

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи здобувачки ступеня бакалавра: 66 сторінок, 64 рисунки, 2 таблиці, 1 формула, 46 джерел, 4 додатка.

Об'єкт дослідження - системи керування колісним роботом на підставі даних від датчиків акселерометра й гіроскопа.

Метою роботи є проектування, моделювання та тестування системи керування переміщенням колісного робота по маршруту в пересіченій місцевості за допомогою даних прискорення та кутової швидкості.

Методи дослідження - аналіз та синтез моделей систем керування у відповідних типах роботів для руху по пересіченій місцевості, проектування системи за допомогою UML діаграм варіантів використання та розгортання, моделювання і тестування в середовищах Mental Modeler та MATLAB, формування електричної схеми у Fritzing та програмної частини у Arduino C++.

В роботі сформовані концептуальна та фізична моделі системи у вигляді UML діаграм. Апаратний прототип системи включає Arduino UNO R3, KY-033 (3 шт.), HC-SR04, SG90, L298N і DC мотори, червоний світлодіод та MPU-6050.

В роботі сформована та протестована модель керування як нечітка когнітивна карта. Також створені правила керування за допомогою вхідних та вихідних лінгвістичних змінних і протестовано логіку руху на точках з моделі маршруту. На основі апаратного прототипу, сформовано програму опитування датчиків та виконання базових дій відповідно отриманим даним.

РОБОТ, ПЕРЕСІЧЕНА МІСЦЕВІСТЬ, МАРШРУТ, ДІАГРАМИ UML, АКСЕЛЕРОМЕТР, ГІРОСКОП, FSM, ЛІНГВІСТИЧНІ ЗМІННІ

ABSTRACT

Olena Kalynychenko. Control system for moving a wheeled robot along a route in rough terrain using accelerometer and gyroscope sensor data. - Copyright of the manuscript.

Explanatory note of the qualification work of a bachelor's degree applicant: 66 pages, 64 figures, 2 tables, 1 formula, 46 sources, 4 appendices.

The object of the study is control systems using data from accelerometer and gyroscope sensors.

The purpose of the work is to design, simulate and test a control system for moving a wheeled robot along a route in rough terrain using acceleration and angular velocity data.

Research methods - analysis and synthesis of control system models in relevant types of robots for moving over rough terrain, system design using UML diagrams of use cases and deployment, simulation and testing in Mental Modeler and MATLAB environments, formation of an electrical circuit in Fritzing and the software part in Arduino C++.

The work has formed conceptual and physical models of the system in the form of UML diagrams. The hardware prototype of the system includes Arduino UNO R3, KY-033 (3 pcs.), HC-SR04, SG90, L298N and DC motors, red LED and MPU-6050.

The work has formed and tested a control model as a fuzzy cognitive map. Also, control rules have been created using input and output linguistic variables and the logic of movement at points from the route model has been tested. Based on the hardware prototype, a program has been formed for polling sensors and performing basic actions according to the received data.

ROBOT, INTERSECTED TERRAIN, ROUTE, UML DIAGRAMS, ACCELEROMETER, GYROSCOPE, FCM, LINGUISTIC VARIABLES

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	12
3 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПЕРЕМІЩЕННЯМ КОЛІСНОГО РОБОТА ПО МАРШРУТУ В ПЕРЕСІЧЕНІЙ МІСЦЕВОСТІ ЗА ДАНИМИ ДАТЧИКА АКСЕЛЕРОМЕТРА Й ГІРОСКОПА	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	25
3.4 Фізична модель системи	39
4 АПАРАТНИЙ ПРОТОТИП СИСТЕМИ	41
4.1 Топологія апаратної частини прототипу системи	41
4.2 Компоненти апаратної частини прототипу системи	42
4.3 Опис даних та бібліотек підтримки компонентів системи	45
ВИСНОВКИ	47
СПИСОК ПОСИЛАНЬ	48
ДОДАТОК А ДІАГРАМИ UML	53
ДОДАТОК Б МОДЕЛЮВАННЯ В MENTAL MODELER	54
ДОДАТОК В МОДЕЛЮВАННЯ В MATLAB	58
ДОДАТОК Г МОДЕЛЮВАННЯ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ ПРОТОТИПУ СИСТЕМИ	64

ВСТУП

Розумні колісні роботи все більше і більше поширюються в різних сферах діяльності таких як сільське господарство, моніторинг екології, доставка малих або крупних вантажів, військові і рятувальні операції. Окрему увагу варто приділити роботам, які здатні ефективно переміщуватись по різноманітних типах поверхонь, особливо по пересіченій місцевості. Пересічена місцевість, як правило, складається з нерівностей, глибоких ям, крутих схилів, каміння, м'якого ґрунту та ін. Для того, щоб стабільно та безпечно рухатись в таких умовах, є необхідним розробка надійної системи керування, яка дозволить адаптуватися до змін навколишнього середовища в реальному часі.

Важливим аспектом при створенні таких систем є точне визначення положення, швидкості та орієнтації робота у просторі. Для цього широко застосовуються акселерометри, які вимірюють прискорення, та гіроскопи, які вимірюють кутові швидкості. Дані, що отримуються з цих сенсорів, дозволяють оцінювати поведінку робота під час руху та вносити необхідні корективи для стабілізації його маршруту. Такі датчики можуть працювати незалежно від зовнішніх джерел сигналу, що є особливо важливим у тунелях, підземних шахтах, густих лісах, гірських районах або в умовах радіоперешкод.

Актуальність створення системи керування на основі даних акселерометра та гіроскопа зумовлена зростаючою потребою в автономних роботах, які здатні виконувати завдання в екстремальних або обмежених умовах, що особливо важливо у реаліях нинішнього життя. Наприклад, такі системи можуть застосовуватись у рятувальних роботах, що працюють у завалах чи важкодоступних зонах після стихійних лих, або у військових розвідувальних роботах, які пересуваються по нерівній місцевості без участі оператора.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Необхідно виконати проектування апаратно-програмного прототипу системи керування переміщенням колісного робота по маршруту в пересіченій місцевості за даними датчика акселерометра й гіроскопа і сформулювати концептуальну, логічну та фізичну моделі, виконати моделювання і тестування спроектованої системи, а також створити її прототип.

Виходячи з поставленої задачі, потрібно виконати наступні дії:

1. Провести аналіз та сформулювати опис колісного робота, який відповідає завданню слідування по маршруту в пересіченій місцевості, та навести його основні функції;
2. Обґрунтувати й вибрати датчики акселерометра й гіроскопа;
3. Сформулювати основні проблеми, які можуть виникати при подоланні конкретних видів пересіченої місцевості, та приклади їх вирішення;
4. Сформулювати концептуальну модель системи за допомогою діаграми варіантів використання та фізичну модель за допомогою діаграми розгортання;
5. Сформулювати логічну модель системи за допомогою моделювання в Mental Modeler. Сформулювати концепти системи. Створити FCM та оцінити зв'язки між компонентами. Провести моделювання FCM за сценаріями для даних отриманих від акселерометра і гіроскопа;
6. Сформулювати логічну модель системи за допомогою моделювання в MATLAB. Необхідно представити вхідні та вихідні лінгвістичні змінні у вигляді термів, побудувати вербальну модель, визначити базу знань у вигляді множини правил та покроково провести нечітке моделювання часової послідовності поведінки роботу;
7. Створити прототип апаратної частини системи за допомогою середовища Fritzing, описати його топологію та компоненти;
8. Навести опис даних та бібліотек підтримки компонентів системи.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було виконано проектування апаратно-програмного прототипу системи керування переміщенням колісного робота по маршруту в пересіченій місцевості за даними датчика акселерометра й гіроскопа, сформовано концептуальну, логічну та фізичну моделі, виконано моделювання і тестування спроектованої системи, а також модифіковано існуючий апаратний прототип.

Результати виконаної роботи:

1. Сформовано опис колісного робота Starship, який відповідає завданню слідування по маршруту, а також опис необхідної модифікації для його комфортного руху в пересіченій місцевості;
2. Сформовано опис акселерометра й гіроскопа, надано перелік їх існуючих різновидів та обрано MPU-6050 для модифікації;
3. Сформульовано три види ймовірних нерівностей дороги (ями, пагорби й дрібні камінці) та приклади їх подолання;
4. Сформовано діаграму прецедентів та діаграму розгортання;
5. Створено FCM за допомогою середовища Mental Modeler та проведено моделювання для даних від акселерометра і гіроскопа;
6. Сформовано входні та вихідні лінгвістичні змінні у вигляді термів в MATLAB, визначено базу знань у вигляді множини правил та проведено нечітке моделювання часової послідовності поведінки роботу що підтвердило працездатність нечіткої системи керування;
7. Створено прототип апаратної частини системи за допомогою середовища Fritzing, описано топологію апаратного прототипа та компоненти;
8. Наведено опис даних та бібліотек підтримки компонентів системи.

У перспективі реалізацію системи можна доповнити такими діями:

1. Завершити формування програмного забезпечення після наявності всіх компонентів апаратного забезпечення для перевірки працездатності обраного рішення;
2. Виконати модернізацію складу датчиків для визначення маршруту, наприклад, додати GPS, а також відеокамеру для більш детального визначення навколишнього середовища.

DO NOT COPY

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: 10.02.2024)
- 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) Types of Robots. URL: <https://robotsguide.com/learn/types-of-robots> (Last accessed: 15.05.2025)
- 8) Gyroscope Sensors. URL: <https://compileiot.online/gyroscope-sensors-types-working-and-real-world-applications-explained/> (Last accessed: 15.05.2025)
- 9) Accelerometer. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/accelerometer/> (Last accessed: 15.05.2025)

- 10) How to Measure Acceleration? URL: <https://www.dwyeromega.com/en-us/resources/accelerometers> (Last accessed: 15.05.2025)
- 11) Starship. URL: <https://robotsguide.com/robots/starship> (Last accessed: 15.05.2025)
- 12) 7 million deliveries and counting. URL: <https://www.starship.xyz/our-robots/> (Last accessed: 15.05.2025)
- 13) THEMIS. URL: <https://milremrobotics.com/themis-family/> (Last accessed: 16.05.2025)
- 14) THeMIS Hybrid. URL: <https://www.army-technology.com/projects/themis-hybrid-unmanned-ground-vehicle/> (Last accessed: 16.05.2025)
- 15) MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4. URL: <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf> (Last accessed: 30.05.2025)
- 16) Обернені тригонометричні функції. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Обернені_тригонометричні_функції (Дата звернення: 25.05.2025)
- 17) 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. URL: <https://doi.org/10.1109/GCAIoT57150.2022.10019235> (Last accessed: 30.05.2025)
- 18) Kargin A., Petrenko T. Knowledge Distillation for Autonomous Intelligent Unmanned Systems. In Pedrycz W., Chen S.-M. 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: 30.05.2025)
- 19) 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

- 20) Bonnafous D., Lacroix S., Simeon T. Motion generation for a rover on rough terrains. In IEEE/RSJ Conference on Intelligent Robots and Systems. Feb. 2001. Vol. 2. 6 p. URL: <https://doi.org/10.1109/IROS.2001.976264> (Last accessed: 30.05.2025)
- 21) Hait A., Simeon T., Taix M. Algorithms for rough terrain trajectory planning. Journal of Adv. Robotics. 2002. Vol. 16. No. 8. P. 673-699. URL: <https://doi.org/10.1163/15685530260425693> (Last accessed: 30.05.2025)
- 22) Iagnemma K. (Feb. 2001) Rough-Terrain Mobile Robot Planning and Control with Application to Planetary Exploration. Massachusetts Institute of Technology, 146 p.
- 23) Sagita M., Ma'arif A., Furizal F., Rekik C., Caesarendra W., Majdoubi R. Motion System of a Four-Wheeled Robot Using a PID Controller Based on MPU and Rotary Encoder Sensors. Journal of Control Systems and Optimization Letters. Nov. 2024. Vol. 2. No. 2. 257 p. ISSN: 2985-6116. URL: <https://doi.org/10.59247/csol.v2i2.150> (Last accessed: 30.05.2025)
- 24) Halawa O., Maged A., Sabry A., Ramadan A., Gaber A., Tarik E. Mechatronics Project: Two Wheeled Self-Balancing Robot. ResearchGate Access. May 14, 2023. 44 p. URL: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10832.48640> (Last accessed: 30.05.2025)
- 25) Gonzalez C., Alvarado I., Muñoz La Peña D. Low cost two-wheels self-balancing robot for control education. Journal of IFAC-PapersOnLine. July 2017. Vol. 50. Issue 1. P. 9174-9179. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1729> (Last accessed: 30.05.2025)
- 26) Benyeogor M., Olakanmi O., Kumar S. Design of Quad-Wheeled Robot for Multi-Terrain Navigation. Journal of Scientific Review. Feb. 2020. Vol. 6. Issue 2. P: 14-22. ISSN(e): 2412-2599. ISSN(p): 2413-8835. URL: <https://doi.org/10.32861/sr.62.14.22> (Last accessed: 30.05.2025)

- 27) Hsu C.-F., Chen B.-R., Lin Z.-L. Implementation and Control of a Wheeled Bipedal Robot Using a Fuzzy Logic Approach. Journal of Actuators. 2022. No. 11(12), 357 p. URL: <https://doi.org/10.3390/act11120357> (Last accessed: 30.05.2025)
- 28) KUONGSHUN UNO Project Smart Robot Car Kit. URL: <https://arduino.ua/prod4633-kuongshun-uno-project-smart-robot-car-kit> (Дата звернення: 25.05.2025)
- 29) MATLAB. URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html> (Last accessed: 30.05.2025)
- 30) UNO R3. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/#tech-specs> (Last accessed: 4.06.2025)
- 31) Arduino UNO R3. URL: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf> (Last accessed: 4.06.2025)
- 32) L298N Motor Driver Module. URL: <https://components101.com/modules/l293n-motor-driver-module> (Last accessed: 4.06.2025)
- 33) HC-SR04 Ультразвуковий датчик відстані. URL: <https://myproject.com.ua/hc-sr04-ultrazvukovij-datchik-vidstani-ua.html> (Дата звернення: 4.06.2025)
- 34) Серводвигун SG90. URL: <https://arduino.ua/prod416-servoprivod-sg90-2kg> (Дата звернення: 4.06.2025)
- 35) Датчик лінії KY-033. URL: <https://arduino.ua/prod2557-datchik-linii-ky-033-na-tcrt5000> (Дата звернення: 4.06.2025)
- 36) Акселерометр і гіроскоп MPU-6050 GY-521. URL: <https://arduino.ua/prod512-akselerometr-i-giroskop-mpu-6050-modyl-6dof> (Дата звернення: 4.06.2025)
- 37) Світлодіод 5мм червоний. URL: <https://arduino.ua/prod2549-svetodiod-5mm-krasnii-yltrayarkii> (Дата звернення: 4.06.2025)

- 38) Підключення MPU6050 до Arduino. URL:
<https://myproject.com.ua/pidkliuchennia-mpu6050-do-arduino-povnyi-posibnyk.html> (Дата звернення: 6.06.2025)
- 39) Elegoo smart robot car. URL: <https://forum.arduino.cc/t/elegoo-smart-robot-car-combining-line-tracking-and-obstacle-avoidance/565273/18> (Last accessed: 6.06.2025)
- 40) Wire. URL: <https://docs.arduino.cc/language-reference/en/functions/communication/wire/> (Last accessed: 6.06.2025)
- 41) MPU6050. URL: <https://docs.arduino.cc/libraries/mpu6050/> (Last accessed: 6.06.2025)
- 42) Servo. URL: <https://docs.arduino.cc/libraries/servo/> (Last accessed: 6.06.2025)
- 43) diagrams.net. URL: <https://www.diagrams.net/> (Last accessed: 1.06.2025)
- 44) Mental Modeler. URL: <https://www.mentalmodeler.com> (Last accessed: 17.05.2025)
- 45) Fritzing. URL: <http://fritzing.org/home/> (Last accessed: 5.06.2025)
- 46) Arduino IDE 2.3.6. URL: <https://www.arduino.cc/en/software> (Last accessed: 5.06.2025)