

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Львівський національний університет імені Івана Франка**  
**Факультет електроніки та комп'ютерних технологій**  
**Кафедра радіофізики та комп'ютерних технологій**

**Затверджено**

На засіданні кафедри РФКТ  
факультету електроніки та комп'ютерних  
технологій  
Львівського національного університету  
імені Івана Франка  
(протокол № 15/23 від 29.08.23 2023 р.)

Завідувач кафедри



Іван КАРБОВНИК

**Силабус з навчальної дисципліни**  
**«Програмування робототехнічних систем»,**  
**що викладається в межах ОПП «Інженерія програмного**  
**забезпечення» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для**  
**здобувачів з спеціальності**  
**121 «Інженерія програмного забезпечення»**

|  |  |
|--|--|
| <b>Назва дисципліни</b>  | Програмування робототехнічних систем   |
| <b>Адреса викладання дисципліни</b>                              | м. Львів, вул. ген. Тарнавського, 107  |
| <b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>       | Факультет електроніки та комп'ютерних технологій, кафедра радіофізики та комп'ютерних технологій   |
| <b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>                 | 12 Інформаційні технології, 121 Інженерія програмного забезпечення   |
| <b>Викладачі дисципліни</b>                                      | Кушнір Олексій Олександрович, канд. фіз.-мат. наук, доцент   |
| <b>Контактна інформація викладачів</b>                           | oleksiy.kushnir@lnu.edu.ua,<br><a href="https://electronics.lnu.edu.ua/employee/kushnir-o-o">https://electronics.lnu.edu.ua/employee/kushnir-o-o</a>   |
| <b>Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються</b> | Консультації в день проведення лекційних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі онлайн консультації через MS Teams. Для погодження часу онлайн консультацій слід писати на електронну пошту викладача.  |
| <b>Сторінка дисципліни</b>                                       | <a href="https://e-learning.lnu.edu.ua/course/view.php?id=5308">https://e-learning.lnu.edu.ua/course/view.php?id=5308</a>  |
| <b>Інформація про дисципліну</b>                                 | Дисципліна «Програмування робототехнічних систем» є вибірковою дисципліною з спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення для освітньої програми «Інформаційні системи та технології», яка викладається в 7 семестрі в обсязі 4,0 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).   |
| <b>Коротка анотація дисципліни</b>                               | Навчальну дисципліну розроблено таким чином, щоб надати учасникам необхідні знання та навички роботи з технологіями та алгоритмами для роботизації дій та процесів. У дисципліні представлено огляд засобів, технологій та концепцій, що використовуються у сучасних робототехнічних системах, принципи роботи модулів роботів та основи штучного інтелекту.   |
| <b>Мета та цілі дисципліни</b>                                   | Метою вивчення вибіркової дисципліни «Програмування робототехнічних систем» є одержання студентами знань про структуру сучасних роботів та алгоритми штучного інтелекту, що використовуються у робототехнічних пристроях, вмінь створювати та використовувати програмне забезпечення для них.  |
| <b>Література для вивчення дисципліни</b>                        | <p>Основна література:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Springer Handbook of Robotics [Електронний ресурс]: <a href="http://handbookofrobotics.org/">http://handbookofrobotics.org/</a></li> <li>2. Murphy R.R. Introduction to AI Robotics, second edition, 2017. Cambridge: The MIT Press.</li> <li>3. Niku B. Introduction to Robotics: Analysis, Control, Application, 2020. NY: Wiley.</li> <li>4. Robot Operating System documentation [Електронний ресурс]: <a href="http://wiki.ros.org/">http://wiki.ros.org/</a></li> <li>5. Gazebo Robot Simulation Tutorials [Електронний ресурс]: <a href="http://gazebosim.org/tutorials">http://gazebosim.org/tutorials</a></li> </ol> <p>Додаткова література:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>6. Ding Y. Understanding of Kinematic Bicycle Model [Електронний ресурс]: <a href="https://dingyan89.medium.com/simple-understanding-of-kinematic-bicycle-model-81cac6420357">https://dingyan89.medium.com/simple-understanding-of-kinematic-bicycle-model-81cac6420357</a></li> <li>7. Починаємо працювати з Docker [Електронний ресурс]: <a href="https://www.docker.com/get-started">https://www.docker.com/get-started</a></li> </ol> |

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| <b>Обсяг курсу</b>                   | 64 години аудиторних занять. З них 32 години лекцій, 32 години лабораторних робіт та 56 годин самостійної роботи   |
| <b>Очікувані результати навчання</b> | <p>Після завершення цього курсу студент буде:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Знати сучасні тенденції розвитку систем і технологій, що використовуються для програмування робототів</li> <li>- Вміти приймати оптимальні рішення щодо вибору структури роботів та роботизованих пристроїв, а також програмувати алгоритми штучного інтелекту для них.</li> </ul> <p>Після вивчення даного курсу здобувачі набувають таких Загальних та Фахових компетентностей та Програмних результатів навчання:</p> <p>ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.<br/> ЗК02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.<br/> ЗК04. Здатність спілкуватися іноземною мовою як усно, так і письмово.<br/> ЗК05. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.<br/> ЗК06. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.<br/> ЗК12. Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.</p> <p>ФК14. Здатність брати участь у проектуванні програмного забезпечення, включаючи проведення моделювання (формальний опис) його структури, поведінки та процесів функціонування.<br/> ФК15. Здатність розробляти архітектури, модулі та компоненти програмних систем.<br/> ФК17. Здатність дотримуватися специфікацій, стандартів, правил і рекомендацій в професійній галузі при реалізації процесів життєвого циклу.<br/> ФК25. Здатність обґрунтовано обирати та освоювати інструментарій з розробки та супроводження програмного забезпечення.<br/> ФК26. Здатність до алгоритмічного та логічного мислення.<br/> ФК27. Здатність використовувати для розробки програмного забезпечення перспективні засоби та технології, зокрема, науки про дані, штучного інтелекту, IoT, вбудованих систем тощо.<br/> ФК28. Володіння методами сучасних веб-технологій, хмарних технологій, великих даних та засобами розробки веб-застосунків.<br/> ФК29. Здатність здійснювати розробку програмного забезпечення використовуючи сучасні парадигми програмування</p> <p>ПРН01. Аналізувати, цілеспрямовано шукати і вибирати необхідні для вирішення професійних завдань інформаційно-довідникові ресурси і знання з урахуванням сучасних досягнень науки і техніки.<br/> ПРН04. Знати і застосовувати професійні стандарти і інші нормативно-правові документи в галузі інженерії програмного забезпечення.<br/> ПРН05. Знати і застосовувати відповідні математичні поняття, методи доменного, системного і об'єктно-орієнтованого аналізу та математичного моделювання для розробки програмного забезпечення.<br/> ПРН06. Вміння вибирати та використовувати відповідну задачі методологію створення програмного забезпечення.</p> |

|   |  |
|---|--|
|   | <p>ПРН07. Знати і застосовувати на практиці фундаментальні концепції, парадигми і основні принципи функціонування мовних, інструментальних і обчислювальних засобів інженерії програмного забезпечення</p> <p>ПРН13. Знати і застосовувати методи розробки алгоритмів, конструювання програмного забезпечення та структур даних і знань.</p> <p>ПРН18. Знати та вміти застосовувати інформаційні технології обробки, зберігання та передачі даних.</p> <p>ПРН21. Знати, аналізувати, вибирати, кваліфіковано застосовувати засоби забезпечення інформаційної безпеки (в тому числі кібербезпеки) і цілісності даних відповідно до розв'язуваних прикладних завдань та створюваних програмних систем.</p> <p>ПРН26. Знати та вміти застосовувати засоби інженерії програмного забезпечення для реалізації проєктів з використанням технологій науки про дані та штучного інтелекту.</p> <p>ПРН27. Вміти обирати оптимальні алгоритми та технології розробки програмного забезпечення.</p>       |
| <b>Ключові слова</b>  | роботи, ROS, роботехнічні системи, штучний інтелект, позиціонування, пошук шляху, ПІД-контролери   |
| <b>Формат курсу</b>   | Очний  |
|   | Проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для кращого розуміння тем  |
| <b>Теми</b>   | Див. СХЕМА КУРСУ   |
| <b>Підсумковий контроль, форма</b>  | Залік в кінці семестру   |
| <b>Пререквізити</b>   | Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з дисциплін «Програмування», «Дискретна математика», «Алгоритми та структури даних».  |
| <b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b> | Презентація, лекції, лабораторні роботи, обговорення, дискусія.  |
| <b>Необхідне обладнання</b>   | <p>Мультимедіа, платформа Moodle, комп'ютерне програмне забезпечення</p> <p>Для проведення лекційних занять: комп'ютер (мінімальні характеристики: процесор Intel Core i3(4 ядра/8 потоків), або краще, 8ГБ, або більше оперативної пам'яті, 50ГБ вільного місця на диску, вбудована або дискретна відеокарта), доступ до мережі Internet, засоби мультимедіа (в т.ч. проектор).</p> <p>Для проведення лабораторних занять: Комп'ютер (мінімальні характеристики: процесор з апаратною підтримкою віртуалізації Intel Core i3(4 ядра/8 потоків), або краще, 8ГБ, або більше оперативної пам'яті, 50ГБ вільного місця на диску, вбудована або дискретна відеокарта) доступ до мережі інтернет, доступ до локальної Wi-Fi мережі, макети рухомих роботів TurtleBot3. Необхідне програмне забезпечення включає в себе ОС Linux, середовище розробки VS Code пакети вільного програмного забезпечення ROS/ROS2 (загальне налаштування та ШІ роботів) та Gazebo Sim (симуляція роботи роботів).</p> |
| <b>Критерії оцінювання (окремо для кожного)</b>   | Оцінювання проводиться упродовж семестру за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за такими видами робіт з наступним співвідношенням:   |

**виду навчальної діяльності)**

- лабораторні роботи: 60% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 60.
  - контрольні заміри (2 модулі): 40% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 40.
- Загалом упродовж семестру 100 балів.

**Контрольні заміри проводяться у формі тестових завдань.**

Модульний контроль проводиться у формі багаторівневих тестів на платформі Moodle: перший рівень – відповідь із запропонованих (1 правильна відповідь з 4), 2 рівень – відповідь цілим числом (номер рядку у якому помилка, або виконується певна дія), 3 рівень – відповідь словом, фразою, або числом, 4 рівень – есе із довільним текстом (програмний код або опис).

**Академічна доброчесність:** Очікується, що лабораторні та контрольні роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.

**Відвідання занять** є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і лабораторні заняття курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. Студенти зобов'язані дотримуватися усіх термінів визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом.

**Література.** Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.

**Політика виставлення балів.** Враховуються бали набрані на поточному тестуванні, самостійній роботі та бали підсумкового тестування. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час лабораторного заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.

Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.

**Оцінювання лабораторних робіт** (12 лабораторних робіт, максимальна кількість балів: 60) відбувається шляхом оцінки роботи студента під час проведення лабораторної роботи в аудиторії (0-5 балів за одну роботу) та захисту звіту по виконаній лабораторній роботі (0-5 балів за одну роботу). У підсумку, всі набрані бали множаться на коефіцієнт (0.5) для переведення у 60-ти бальну шкалу.

Бали оцінювання лабораторних робіт нараховуються за наступним співвідношенням:

5 – студент в повному обсязі володіє навчальним матеріалом, має повне розуміння розглянутої теми, надає правильні відповіді на запитання по темі, код програми функціонує відповідно до завдання;

|  |  |
|--|--|
|  | <p>4 – студент достатньо розуміє розглянутий матеріал та принципи написаного ним коду програми, присутні неточності та незначні помилки у відповідях на запитання по темі, код програми функціонує відповідно до завдання (або з несуттєвими недоліками);</p> <p>3 – студент не досить добре розуміє розглянутий матеріал та написаний ним код програми, вагається та надає неточні/не конкретні відповіді на запитання по темі, код програми функціонує неточно, або з помірними недоліками;</p> <p>2 – студент погано розуміє розглянутий матеріал та написаний ним код програми, студент в більшості надає помилкові відповіді на питання по темі, код програми функціонує з суттєвими недоліками;</p> <p>1 - студент погано розуміє розглянутий матеріал та написаний ним код програми, код програми не функціонує належним чином;</p> <p>0 - студент зовсім не засвоїв розглянутий матеріал, написаний ним код програми не відповідає темі/не функціонує взагалі.</p> <p><b>Оцінювання змістових модулів</b> (2 змістових модулів, 20 балів за кожний) — за результатами написаних студентом есе, тестів, програм, тощо.</p> <p>Бали оцінювання змістових модулів нараховуються за результатами тестування та нормується до 20 балів.</p> <p><b>Критерії оцінювання результатів неформальної освіти:</b><br/> Нарахування балів відбувається за написання студентом тез доповідей на конференціях, наукових статей, участь у діяльності наукових гуртків, участь у наукових семінарах та круглих столах, конкурсах, участь у заходах неформальної освіти за отримання сертифікатів про проходження навчання на різних освітніх платформах (Coursera, Prometheus тощо), курсах на провідних ІТ компаніях за тематикою навчальної дисципліни. Кількість балів визначається відсотком покриття результатів відповідної активності до вимог результатів навчання з навчальної дисципліни.</p> |
| <p><b>Питання до контрольних робіт</b></p> | <p>Орієнтовний перелік питань та завдань для проведення підсумкової оцінки знань:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Що таке робот?</li> <li>2. Історія робототехніки.</li> <li>3. Архітектура робота: еволюція.</li> <li>4. Сучасні підходи до побудови архітектури роботів.</li> <li>5. Нестандартні спеціалізовані типи роботів.</li> <li>6. Орієнтація робота на місцевості. Основні підходи.</li> <li>7. Фільтр гістограми.</li> <li>8. Знаходження шляху до мети.</li> <li>9. Евристичні алгоритми пошуку.</li> <li>10. Неперервний рівномірний рух робота. PID-контролер.</li> <li>11. Основні характеристики ROS.</li> <li>12. Структура ROS.</li> <li>13. Пакунки ROS.</li> <li>14. Типи повідомлень у ROS.</li> <li>15. Робоча область у ROS. Створення та налаштування під обрану мову програмування.</li> <li>16. Пакунки ROS.</li> <li>17. Принципи симуляції у Gazebo.</li> <li>18. Модель світу у Gazebo.</li> <li>19. Основні примітиви у симуляторі Gazebo.</li> </ol>   |

|                   |   |
|-------------------|---|
|                   | <p>20. Потоки даних у симуляторі Gazebo.</p> <p>21. Принципи побудови робота у симуляторі Gazebo.</p> <p>22. Візуальні та фізичні характеристики об'єктів у симуляторі Gazebo.</p> <p>23. Основні характеристики макетів TurtleBot3.</p> <p>24. Налаштування на стороні робота TurtleBot3 та з'єднання із ведучим ПК.</p> <p>25. Налаштування TurtleBot3 на стороні клієнта.</p> <p>26. Інсталяція складних пакетів та виконання сценаріїв у ROS та TurtleBot3.</p> <p>27. Поняття SLAM. Різні види та підходи.</p> |
| <b>Опитування</b> | Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.  |

### СХЕМА КУРСУ

| Тиж. | Тема, план, короткі тези  | Форма діяльності (заняття) | Література. Ресурси в Інтернеті | Завдання (лабораторна робота), год | Термін виконання  |
|------|---|----------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| 1    | <b>Що таке робот, історія робототехніки.</b><br>Перші роботи: механічні роботи, аналогові роботи. Парадигми сучасної робототехніки. Структура простого робота.            | Лекція                     | 1, 4, Сайт курсу                | 2                                  | 1 тиж. семестру   |
| 1    | Вступне заняття. Інструкція з техніки безпеки.  | Лабораторна робота         | Сайт курсу                      | 2                                  | 1 тиж. семестру   |
| 2-3  | <b>Орієнтація робота на карті і у просторі.</b><br>Як робот бачить світ? Давачі, що використовуються у робототехніці, навіщо вони потрібні.                               | Лекція                     | 1, 3, 4, Сайт курсу             | 4                                  | 2-3 тиж. семестру |
| 2-4  | Розробка власної архітектури робота   | Лабораторна робота         | Сайт курсу                      | 6                                  | 2-4 тиж. семестру |
| 4    | <b>Алгоритми позиціонування робота.</b><br>Закон Баєса. Основи теорії ймовірності. Фільтр гістограми ймовірності. Реалізація для 1D випадку. Оцінка складності обчислень. | Лекція                     | 1, 2, 3, 4, Сайт курсу          | 2                                  | 4 тиж. семестру   |
|      | Реалізація 2D випадку фільтру гістограми  | Лабораторна робота         | Сайт курсу                      | 2                                  | 5 тиж. семестру   |
| 5    | <b>Пошук шляху.</b><br>Алгоритми пошуку вшир та вглиб. Алгоритм A*. Алгоритм динамічного програмування. Компенсація невизначеності карти.                                 | Лекція                     | 2, 3, Сайт курсу                | 2                                  | 5 тиж. семестру   |
| 6    | Реалізація алгоритму A*   | Лабораторна робота         | Сайт курсу                      | 2                                  | 6 тиж. семестру   |
| 6    | <b>Рух робота до цілі.</b><br>Керування рухом робота, P-, PD- та PID-контролери. Осциляції руху. Параметри PID-контролера. Стійкість системи керування.                   | Лекція                     | 3, Сайт курсу                   | 2                                  | 6 тиж. семестру   |

|       |   |                    |                     |   |                   |
|-------|---|--------------------|---------------------|---|-------------------|
| 7     | Реалізація PID-контролера для робота, який рухається по лінії   | Лабораторна робота | Сайт курсу          | 2 | 7 тиж. семестру   |
| 7     | <b>Що таке Docker?</b><br>Принципи роботи Docker. Контейнер, як працювати з контейнерами. Основні команди Docker. Особливість контейнерів ROS   | Лекція             | 7, Сайт курсу       | 2 | 7 тиж. семестру   |
| 8     | Інсталяція та робота з контейнерами Docker  | Лабораторна робота | Сайт курсу          | 2 | 8 тиж. семестру   |
| 8-9   | <b>Програмні засоби робототехніки, їх особливості. ROS.</b><br>Особливості програмного забезпечення для роботів, різні концепції та підходи. Сучасні                                    | Лекція             | 2, Сайт курсу       | 4 | 8-9 тиж. семестру |
| 9     | Структура пакетів ROS, стандартні збірки  | Лабораторна робота | Сайт курсу          | 2 | 9 тиж. семестру   |
| 10    | <b>Структура та компоненти ROS.</b><br>Основні принципи розробки ROS. Масштабованість ROS. Стандартний набір бібліотек. Додаткові та користувацькі бібліотеки.                          | Лекція             | 4, 5, Сайт курсу    | 2 | 10 тиж. семестру  |
| 10    | Створення Workspace-ів. Власний пакунок   | Лабораторна робота | Сайт курсу          | 2 | 10 тиж. семестру  |
| 11    | <b>Gazebo.</b><br>Конструювання моделі світу та його фізики у Gazebo  | Лекція             | 5, Сайт курсу       |   | 11 тиж. семестру  |
| 11    | Ноди у ROS. Публікація та отримання даних.  | Лабораторна робота | Сайт курсу          | 2 | 11 тиж. семестру  |
| 12    | <b>Активні елементи у Gazebo, побудова власної моделі робота.</b>   | Лекція             | 2, 3, Сайт курсу    | 2 | 12 тиж. семестру  |
| 12    | Створення простих моделей у Gazebo  | Лабораторна робота | Сайт курсу          | 2 | 12 тиж. семестру  |
| 13    | <b>Редактор світу у Gazebo</b><br>Особливості роботи із редактором світу  | Лекція             | 3, Сайт курсу       | 2 | 13 тиж. семестру  |
| 14    | Модель світу у Gazebo   | Лабораторна робота | Сайт курсу          | 2 | 14 тиж. семестру  |
| 14    | <b>Макети TurtleBot3.</b><br>Налаштування, під'єднання та робота із макетами  | Лекція             | 4, Сайт курсу       | 2 | 14 тиж. семестру  |
| 15    | Дослідження макетів роботів TurtleBot   | Лабораторна робота | Сайт курсу          | 2 | 15 тиж. семестру  |
| 15-16 | <b>Локалізація робота. Реалізація SLAM у ROS.</b><br>Принципи локалізації. Готові варіанти локалізації у ROS. Побудова карти. Gmapping. Засоби Gmapping у ROS. Інші реалізації Gmapping | Лекція             | 1, 2, 3, Сайт курсу | 4 | 16 тиж. семестру  |



|    |                               |                    |            |   |                  |
|----|-------------------------------|--------------------|------------|---|------------------|
| 16 | Запуск Gmapping на TurtleBot3 | Лабораторна работа | Сайт курсу | 2 | 16 тиж. семестру |
|----|-------------------------------|--------------------|------------|---|------------------|