**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Львівський національний університет імені Івана Франка**

**Факультет електроніки та комп’ютерних технологій**

**Кафедра радіоелектронних і комп’ютерних систем**

**Затверджено**

На засіданні кафедри РКС

факультету електроніки та комп’ютерних технологій

Львівського національного університету імені Івана Франка

(протокол № \_\_\_\_ від 31 серпня 2020 р.)

В.о. завідувача кафедри Оленич І .Б. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Силабус з навчальної дисципліни**

**«Кіберфізичні системи»,**

**що викладається в межах ОПП «Інформаційні системи та технології» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для здобувачів з спеціальності**

**126 «Інформаційні системи та технології»**

**Львів 2020**

|  |  |
| --- | --- |
| **Назва дисципліни** | Кіберфізичні системи |
| **Адреса викладання дисципліни** | м. Львів, вул. Драгоманова, 50 |
| **Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна** | Факультет електроніки та комп’ютерних технологій, кафедра радіоелектронних і комп’ютерних систем |
| **Галузь знань, шифр та назва спеціальності** | 12 Інформаційні технології, 126 Інформаційні системи та технології |
| **Викладачі дисципліни** | Сінькевич Олег Олександрович, асистент |
| **Контактна інформація викладачів** | oleh.sinkevych@lnu.edu.ua, <https://electronics.lnu.edu.ua/employee/o_sinkevych> |
| **Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються** | Консультації в день проведення лекційних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через MS Teams та Telegram (у текстовому режимі). Для погодження часу онлайн консультацій слід писати на електронну пошту викладача, або в особистий Telegram. |
| **Сторінка дисципліни** | https://electronics.lnu.edu.ua/course/kiberfizychni-systemy-ist |
| **Інформація про дисципліну** | Дисципліна «Кіберфізичні системи» є вибірковою дисципліною з спеціальності 126 Інформаційні системи та технології для освітньої програми «Інформаційні системи та технології», яка викладається в 6 семестрі в обсязі 6.0 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS). |
| **Коротка анотація дисципліни** | Навчальну дисципліну розроблено таким чином, щоб надати студентам необхідні знання на практичні навички для роботи з простими кіберфізичними системами (КС) на базі мікроконтролера STM32 та хаба на основі Nvidia Jetson Nano чи Raspberry Pi3 Model B+. Такі знання та навички слугують базисом для того, щоб вміти реалізовувати та застосовувати типові алгоритми глибокого навчання та відповідні їм структури даних для вирішення задач прогнозування сенсорних даних та розпізнавання образів. Тому у дисципліні представлено як теоретичні та математичні основи моделей глибокого навчання (рекурентні нейронні мережі, довга короткочасна пам’ять, генетичні алгоритми та ройові метаевристики), так і конкретні реалізації та бібліотеки, володіння якими є необхідним для створення прототипів та розгортання моделей на граничних пристроях. Курс інтегрований з апаратною та програмною базами (на основі Python i Tensorflow 2). |
| **Мета та цілі дисципліни** | Метою вивчення вибіркової дисципліни «Кіберфізичні системи» є одержання студентами знань про види КС та сучасні підходи до програмної розробки таких систем з використанням мови програмування Python 3; опанування навичок проектування КС на базі мікроконтролерної техніки сімейства STM32; ознайомлення з архітектурою нейронних мереж для обробки та моделювання даних для КС; набуття студентами практичних умінь застосування алгоритмів машинного навчання до КС. |
| **Література для вивчення дисципліни** | Основна література:   1. Эндрю Траск. Грокаем глубокое обучение. СПб.: Питер, 2019. — 352 с. 2. Pardeep Kumar, Vasaki Ponnusamy, Vishal Jain. Industrial Internet of Things and Cyber-Physical Systems: Transforming the Conventional to Digital. Advances in Computer and Electrical Engineering. Engineering Science Reference. - 2021. - 458 c. 3. Xun (Brian) Wu, Sudarshan Kadambi, Devram Kandhare, Aaron Ploetz. Seven NoSQL Databases in a Week. Packt Publishing Ltd. -2018. - 308 c. 4. B. V. Vishwas, Ashish Patel. Hands-on Time Series Analysis with Python.Apress. - 2020. - 420 c. 5. Warren Gay. Beginning STM32. Technology in Action. Apress. - 2018. - 432 c. 6. https://machinelearningmastery.com/ 7. Carmine Noviello. Mastering STM32. Lean Publishing. - 2018. - 852 c. 8. Charu C. Aggarwal. Neural Networks and Deep Learning. Textbook. Springer. - 2018. - 512 c. 9. Jason Brownlee. Clever Algorithms. Nature-Inspired Programming Recipes. - 2011. - 437 c. 10. A. Vasuki. Nature-Inspired Optimization Algorithms. CRC Press. - 2020. - 275 c. 11. Himanshu Singh. Practical Machine Learning and Image Processing: For Facial Recognition, Object Detection, and Pattern Recognition Using Python. Apress. - 2019. - 177 c. 12. Umberto Michelucci. Advanced Applied Deep Learning: Convolutional Neural Networks and Object Detection. Apress. - 2019. - 294 c. 13. Agus Kurniawan. IoT Projects with NVIDIA Jetson Nano: AI-Enabled Internet of Things Projects for Beginners. Apress. - 2021. - 127 c. |
| **Обсяг курсу** | 64 години аудиторних занять. З них 32 години лекцій, 32 години лабораторних робіт та 116 годин самостійної роботи. |
| **Очікувані результати навчання** | Після завершення цього курсу студент буде:   * Знати сучасні тенденції розвитку інформаційних систем і технологій, демонструвати практичні навички програмування та використання прикладних і спеціалізованих комп’ютерних систем і комунікаційних технологій у професійній діяльності; процес створення чітко структурованих програм на мові Python під потреби КС; основи рекурентних нейронних мереж; механізм розгортання написаних моделей машинного навчання на мікроконтролері, а також інший теоретичний і практичний матеріал згідно програми курсу. * Вміти застосовувати засвоєний матеріал для створення програмного забезпечення КС; створювати та використовувати сучасні нейромережеві архітектури для потреб моделювання даних КС; демонструвати навички використання інструментальних засобів інформаційних технологій під час проектування інформаційних систем і розроблення ІТ рішень для розвитку та управління бізнесом. |
| **Ключові слова** | Python, кіберфізичні системи, STM32, рекурентні нейронні мережі, довга короткочасна пам’ять, метаевристика, мультиагентні системи. |
| **Формат курсу** | Очний |
|  | Проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для кращого розуміння тем. |
| **Теми** | Див. СХЕМА КУРСУ |
| **Підсумковий контроль, форма** | Залік в кінці семестру |
| **Пререквізити** | Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з дисциплін «Алгоритми та структури даних», «Основи програмування», «Дискретна математика». |
| **Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу** | Презентація, лекції, лабораторні роботи, обговорення, дискусія. |
| **Необхідне обладнання** | Мультимедіа, платформа Microsoft Teams, комп’ютерне та апаратне програмне забезпечення. |
| **Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)** | Оцінювання проводиться упродовж семестру за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за такими видами робіт з наступним співвідношенням:  • лабораторні роботи: 60% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 60.  • контрольні заміри (2 модулі): 30% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 30.  • відвідування занять: 10% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 10.  Загалом упродовж семестру 100 балів.  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.  **Контрольні заміри проводяться у формі тестових завдань. 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 незарахуванння 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 та самостійній роботі. При цьому обов’язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час лабораторного заняття; недопустимість пропусків та запізнень 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.  Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються. |
| **Питання до контрольних робіт** | Перелік питань та завдань для проведення підсумкової оцінки знань певних тем до контрольних робіт розміщені на веб-сторінці. |
| **Опитування** | 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 | **Введення у КС. Машинне навчання у контексті КС. Типові задачі глибокого навчання КС.**  Поняття КС. Види та типи. Типові проблеми КС у співвідношенні до індустріальних рішень. Таксономія КС. Застосування машинного навчання у сучасних КС. Революція глибокого навчання: рекурентні, згорткові нейронні штучні мережі та трансформери. Сучасний стан проблеми застосування нейронних мереж у КС. | Лекція | 1, 2 |  |  |
| 2 | **Системи зберігання даних для edge-пристроїв з використанням апаратно-програмного хабу. InfluxDB.**  Поняття граничного (edge) пристрою. Граничні та туманні (fog) обчислення. Мікроконтролер STM32 та центральний хаб. Проста сенсорна система вимірювання кліматичних параметрів. Raspberry Pi3 Model B+ та база сенсорних даних InfluxDB. | Лекція | 1, 2, 3 | Розгортання InfluxDB на граничному пристрої, 3 год. | 3 тиж. семестру |
| 3 | **Обробка даних та процес підготовки даних для моделей глибокого навчання. Трансформація даних.**  Поняття інтелектуальної обробки даних. Бібліотека pandas та numpy. Бібліотека машинного навчання scikit-learn для Python. Процес підготовки сенсорних даних з InfluxDB для моделювання рекурентною нейронною мережею. Задача регресії та її перетворення до задачі класифікації. Трансформація даних у тривимірні масиви. | Лекція | 1, 4, 6, 8 | Реалізація конвертера для вхідних даних РН, 4 год. | 4 тиж. семестру |
| 4 | **Моделі глибокого навчання для граничних обчислень. Рекурентні нейронні мережі (РН).**  Основи моделей глибокого навчання для даних типу часових послідовностей. Обмеження на нейронні мережі при розгортанні на мікроконтролері сімейства STM32 F/H. Рекурентні нейронні мережі (РН): математична основа. Навчання РН. Клас RNN фреймворку Tensorflow 2. | Лекція | 1, 6, 8 | Реалізація (РН) засобами Python, 2 год. | 5 тиж. семестру |
| 5 | **Вдосконалені моделі РН. Довга короткочасна пам’ять. Основи реалізації.**  Недоліки РН. Проблема зникання градієнту під час навчання РН. Модель довгої короткочасної пам’яті (LSTM). Особливості використання на вибору гіперпараметрів. Процес побудови LSTM з використанням Tensorflow 2. Розгортання на мікрокомп’ютері Nvidia Jetson Nano. | Лекція | 1, 4, 6, 8 | Робота з довгою короткочасною пам’яттю, 3 год. | 6 тиж. семестру |
| 6 | **Стискання та оптимізація РН. Квантування ваг та прийоми зменшення розміру моделей для граничного пристрою.**  Оптимізація гіперпараметрів LSTM. Пошук на сітці, випадковий пошук, баєсовська оптимізація засобами Tensorflow 2 та використання генетичних алгоритмів: пакети TPOT, DEAP. Основи квантування ваг та дистиляції знань. | Лекція | 6 | Оптимізація гіперпараметрів LSTM, 4 год. | 7 тиж. семестру |
| 7 | **Мікроконтролер STM32. Архітектура та особливості. X-CUBE-AI. Розгортання моделі РН.**  Архітектура мікроконтролера STM32 F/H. Пакет розширення X-CUBE-AI та його програмний каркас. Серіалізація моделей та їх конвертація для STM32. Модуль serial. Розгортання LSTM моделі на STM32 та запуск. | Лекція | 7 |  |  |
| 8 | **Поняття ройового інтелекту. Мета-евристика. Штучний бджолиний рій.**  Ройовий інтелект та мультиагентні системи у контексті КС. Мета-евристики та їх застосування у підходах оптимізації РН та LSTM. Алгоритм штучного бджолиного рою (ABC) для підбору архітектури та гіперпараметрів моделей LSTM та машинного навчання. | Лекція | 9, 10 | Реалізація ройової метаевристики, 4 год. | 9 тиж. семестру |
| 9 | **Метод рою часток. Паралелізація та оптимізація РН для edge-пристрою.**  Алгоритм рою часток (PSO) на базі програмного каркасу генетичного алгоритму. Основи паралелізації Python. Паралельний запуск реалізації алгоритму на Nvidia Jetson Nano. Оптимізація LSTM та GRU з використанням PSO. | Лекція | 9, 10 | Робота з паралельним алгоритмом PSO для оптимізації LSTM, 4 год. | 10 тиж. семестру |
| 10 | **Розщеплення оптимізованих РН для edge**-**пристроїв. Комбінація нейроконтролерів.**  Розробка складних нейроних мереж. Розщеплення багатошарової LSTM/GRU для розгортання на декількох мікроконтролерах. Апаратна комбінація STM32. Застосування підходу дистиляції знань засобами Tensorflow 2. | Лекція | 6, 7 |  |  |
| 11 | **Автономні системи комп’ютерного зору. Вступ до згорткових нейронних мереж для edge-пристрою.**  Сучасний стан систем комп’ютерного зору для КС. Коротка історія розвитку. Згорткові нейронні мережі для обробки зображень. Основні поняття та термінологія. Приклад реалізація згорткової нейронної мережі з використанням Tensorflow 2. | Лекція | 11, 12 |  |  |
| 12 | **Класифікація зображень. MobileNet.**  Проблема класифікації зображень згортковими нейронними мережами. Процес підготовки зображень. Зменшені архітектури нейромереж та їх навчання. Введення у MobileNet. Тренування на Nvidia Jetson Nano. | Лекція | 1, 11, 12 | Класифікація об’єктів зображень з використанням архітектури MobileNet, 4 год. | 15 тиж. семестру |
| 13 | **Виявлення та ідентифікація об’єктів. Алгоритм YOLO.**  Виявлення об’єктів на зображеннях. Короткий огляд R-CNN, Fast R-CNN, Faster R-CNN, Mask R-CNN. Швидкі алгоритми виявлення зображень: YOLO. Будівельні блоки YOLO на особливості реалізації. | Лекція | 1, 12, 13 |  |  |
| 14, 15 | ****Реалізація YOLO детектора для edge-пристрою. Розгортання.****  Реалізація алгоритму YOLO засобами Tensorflow 2. Підготовка до розгортання. Docker-контейнеризація. Розгортання на Nvidia Jetson Nano. Основи ML OPS. | Лекція | 1, 12, 13 | Розгортання реалізація алгоритму YOLO на Nvidia Jetson Nano, 4 год. | 16 тиж. семестру |
| 16 | **Підсумкове заняття. Задачі індустрії КС. Подальші кроки самовдосконалення.** | Лекція | 2 |  |  |