

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені ІВАНА ФРАНКА

Кафедра (циклова комісія) _____ системного проектування _____

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан факультету _____

доц. Юрій ФУРГАЛА

“

”

2022 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

EDGE/FOG ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЧИСЛЕННЯ

(шифр і назва навчальної дисципліни)

спеціальність _____ 121 – Інженерія програмного забезпечення _____

(шифр і назва спеціальності)

спеціалізація _____

(назва спеціалізації)

факультет _____ електроніки та комп'ютерних технологій _____

(назва інституту, факультету, відділення)

2022 – 2023 навчальний рік

Робоча програма _____ “Edge/Fog обчислення” _____ для студентів

(назва навчальної дисципліни)

галузі знань _____ “12 – Інформаційні технології” _____
за спеціальністю _____ “121 Інженерія програмного забезпечення” _____

Розробники: _____ Галина КЛИМ (доктор технічних, професор, професор
кафедри радіоелектронних і комп’ютерних систем)
(вказати авторів, їхні посади, наукові ступені та вчені звання)

Робочу програму схвалено на засіданні кафедри (циклової комісії) _____
радіоелектронних і комп’ютерних систем _____

Протокол від “ 31 ” _____ 08 _____ 2022 року № 1/23

Завідувач кафедри _____ радіоелектронних і комп’ютерних систем
_____ (Ігор ОЛЕНИЧ)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Ухвалено Вченою радою _____ факультету електроніки та комп’ютерних технологій _____

Протокол від “ 31 ” _____ 08 _____ 2022 року № 28/22

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів 5	Галузь знань <u>12 Інформаційні технології</u> (шифр і назва)	Нормативна (за вибором)	
Модулів – <i>немає</i>	Спеціальність: <u>121 Інженерія програмного забезпечення</u>	Рік підготовки	
Змістових модулів – 2		4-й	
Індивідуальне науково-дослідне завдання <u>немає</u> (назва)		Семестр	
Загальна кількість годин – 150		7-й	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 самостійної роботи студента – 5,4	Освітній ступінь <u>бакалавр</u>	Лекції	
		32 год.	
		Практичні, семінарські	
		<i>немає</i>	
		Лабораторні	
		32 год.	
		Самостійна робота	
		86 год.	
		Індивідуальні завдання:	
		<i>немає</i>	
Вид контролю:			
<i>залік</i>			

Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить

для денної форми навчання – 0,74

для заочної форми навчання – немає

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: надати студентам основні поняття про методи та засоби Edge/Fog обчислень, які використовуються в сучасних інформаційних технологіях.

Цілі: забезпечити знайомство студентів з загальною теорією методів Edge/Fog обчислень і сформувати навички їх практичного використання; навчити студента аналізувати та вибирати підходи щодо перенесення обчислювальної потужності з хмари на джерело даних у загальній комплекції Інтернету речей.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати: основні поняття, визначення і проблеми курсу; вимоги до постановки основних задач методів Edge/Fog обчислень; призначення й особливості застосування основних методів та засобів цих обчислень.

вміти: володіти медами та засобами математичним Edge/Fog обчислень; застосовувати методи для розв'язування прикладних задач; реалізувати методи обчислень на сучасних системах.

Після вивчення даного курсу “Edge/Fog технології та обчислення” здобувачі набудуть таких Загальних та Фахових компетентностей та Програмних результатів навчання:

ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК06. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ФК14. Здатність брати участь у проектуванні програмного забезпечення, включаючи проведення моделювання (формальний опис) його структури, поведінки та процесів функціонування.

ФК15. Здатність розробляти архітектури, модулі та компоненти програмних систем.

ФК19. Володіння знаннями про інформаційні моделі даних, здатність створювати програмне забезпечення для зберігання, видобування та опрацювання даних.

ФК20. Здатність застосовувати фундаментальні і міждисциплінарні знання для успішного розв'язання завдань інженерії програмного забезпечення.

ФК26. Здатність до алгоритмічного та логічного мислення.

ФК28. Володіння методами сучасних веб-технологій, хмарних технологій, великих даних та засобами розробки веб-застосувань.

ПРН1. Аналізувати, цілеспрямовано шукати і вибирати необхідні для вирішення професійних завдань інформаційно-довідкові ресурси і знання з урахуванням сучасних досягнень науки і техніки.

ПРН5 Знати і застосовувати відповідні математичні поняття, методи доменного, системного і об'єктно-орієнтованого аналізу та математичного моделювання для розробки програмного забезпечення.

ПРН23: Вміти документувати та презентувати результати розробки програмного забезпечення.

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Архітектура, платформи та ресурси Edge/Fog технологій та обчислень.

Тема 1. Вступ. Рівні Edge та Fog обчислень як розширення хмари у концепції IoT.

Вступ до IoT (Internet of Things), його характеристики. Складові компоненти концепції IoT. Хмарні обчислення: основні переваги та недоліки для IoT. Особливості розширення хмари Edge та Fog рівнями. Edge/Fog обчислення: відмінності від хмарних обчислень, переваги для IoT. Ієрархія Edge/Fog обчислень.

Застосування хмарних, Edge та Fog технологій. Аналіз впливу новітніх технологій та інновацій на розвиток мереж Edge/Fog обчислень.

Тема 2. Архітектурний дизайн Edge/Fog обчислень.

Архітектура хмарних обчислень та її взаємозв'язок з IoT. Архітектура та ієрархія Edge/Fog обчислень та її взаємозв'язок з IoT. Визначення оптимального місця для розташування Edge-серверів та шлюзів. Комунікаційна структура між різними рівнями архітектури Edge/Fog обчислень. Принципи проектування Edge/Fog обчислень. Моделі сумісності IoT.

Тема 3. Платформи хмарних та Edge/Fog обчислень для IoT.

Платформи та моделі хмарних обчислень: Microsoft Azure, Amazon Web Services (AWS), Google Cloud Platform (GCP), приклади використання в IoT. Платформи Edge/Fog обчислень: Dell EMC, Cisco IОx, GE Predix. Платформа Linux Foundation. Платформа AggreGate. Платформа Everyware Cloud. Платформа ThingSpeak.

Тема 4. Шлюзи в Edge/Fog обчисленнях.

Важливість шлюзів в Edge/Fog обчисленнях. Характеристики шлюзів для Edge/Fog обчислень. Архітектура шлюзів для Edge/Fog обчислень. Загальна схема роботи шлюзів. Особливості реалізації на різних рівнях. Застосування шлюзів для Edge/Fog обчислень: сенсорні мережі, IoT, промислові мережі, мобільні пристрої. Шлюзи компаній Eurotech, Intel, Huawei, Cisco, NEXCOM, Edge Gateway, Dell, шлюзи Enterprise компанії Hewlett Packard.

Тема 5. Надання ресурсів для Edge/Fog обчислень. Протоколи IoT.

Ресурси для Edge/Fog обчислень. Обладнання для обробки даних на місці (Edge). Хмара для розподіленого обчислення (Fog). Мережеві засоби зв'язку між компонентами розподіленої системи. Інтеграційні засоби для створення та управління розподіленою системою. Характеристики ресурсів для Edge/Fog обчислень. Використання ресурсів для Edge/Fog обчислень. Важливість використання ресурсів для Edge/Fog обчислень. Перспективи розвитку розподілених систем. Протоколи інфраструктури. Протоколи виявлення сервісів. Протоколи рівня додатків.

Тема 6. Edge/Fog обчислення в екосистемі хмарних обчислень для кінцевих інтелектуальних пристроїв.

Інтелектуальні пристрої в Edge/Fog обчисленнях. Види інтелектуальних пристроїв. Можливість обробки даних на місці збору (на пристрої). Підвищення ефективності використання мережі для кінцевих інтелектуальних пристроїв. Стандарти інтелектуальних пристроїв в Edge/Fog обчисленнях.

Тема 7. Технології та протоколи передачі даних.

Технології та протоколи передачі даних на довгі відстані в IoT мережах. Технологія LoRaWAN. Технологія SigFox. Стандарт NB-IoT. Технологія

Weightless-P. Технологія Z – Wave. Технологія NFC, RFID, Bluetooth Low Energy, Wi-Fi HaLow. Сенсорні мережі.

Тема 8. *Мобільні Edge/Fog обчислення: архітектура та реалізація.*

Поєднання 4G LTE, 5G, Fog і хмарних обчислень. Архітектура мобільних Edge/Fog обчислень. Мобільні Edge/Fog обчислення в реальному часі, прогнозне технічне обслуговування та віддалений моніторинг

Змістовий модуль 2. Моделі, алгоритми та топології Edge/Fog обчислень. Застосування, моделювання та симуляція Edge та Fog обчислень.

Тема 9. *Моделі та алгоритми планування мереж для Fog та Edge обчислень.*

Визначення алгоритмів планування мереж та їх роль у забезпеченні ефективної роботи мереж Edge/Fog обчислень. Класифікація алгоритмів планування мереж для Edge/Fog обчислень. Основні алгоритми планування мереж для Edge/Fog обчислень. Алгоритм мінімізації витрат. Алгоритм максимізації продуктивності. Алгоритм збалансованого планування. Алгоритми багатоадресної розсилки з підтримкою NFV у мобільних периферійних обчисленнях. Моделі планування мереж для Edge/Fog обчислень. Класифікація моделей планування мереж для Edge/Fog обчислень. Огляд основних моделей планування мереж для Edge/Fog обчислень: модель «потік задач», модель «час реакції», модель «спільного використання ресурсів».

Тема 10. *Edge та Fog обчислення з машинним навчанням.*

Edge та Fog обчислень у забезпеченні швидкої та ефективної обробки даних в контексті машинного навчання. Приклади використання Edge та Fog обчислень з машинним навчанням. Архітектури та технології Edge та Fog обчислень з машинним навчанням. Моделі та алгоритми для машинного навчання на Edge та Fog пристроях.

Тема 11. *Топології хмарних та Edge/Fog обчислень.*

Моделі хмарних обчислень. Моделі Edge/Fog обчислень. Топології Edge/Fog обчислень. Архітектура OpenFog RA. Amazon Greengrass і лямбда-функції.

Тема 12. *Застосування Edge/Fog обчислень у промисловому IoT, розумному будинку.*

Edge/Fog обчислення та Індустрія 4.0. Промисловий Інтернет. Технології Edge/Fog обчислень у Smart Factory. Edge/Fog обчислення для віртуальної та доповненої реальності. Елементи «розумного будинку». Загрози та атаки «розумного будинку».

Тема 13. *Туманні та Edge/Fog обчислення з підтримкою блокчейну.*

Розподілена архітектура на основі блокчейну для Edge/Fog обчислювальних середовищ. Блокчейн та Fog обчислення для кібер-фізичних систем. Фреймворки блокчейну для промислових мереж IoT. Архітектура децентралізованих

мікросервісів із підтримкою блокчейну для розумної громадської безпеки. FogBus: фреймворк на основі блокчейну для Edge та Fog обчислень.

Тема 14. *Симуляція Edge та Fog обчислень.*

Туманні та граничні обчислення: проблеми моделювання та імітації. Моделювання рівня інфраструктури та мережі. Інструменти для моделювання та симуляції. Симулятори Edge та Fog обчислень: FogNetSim++, iFogSim, FogTorchII, EdgeCloudSim, IOTSim, EmuFog, Fogbed.

Тема 15. *Моделювання та симуляція Edge та Fog обчислень за допомогою інструментарію iFogSim.*

iFogSim симулятор та його компоненти. Створення різних моделей. Розширений симулятор iFogSim для мобільності, кластеризації та керування мікросервісами в граничних і туманних обчислювальних середовищах. Підходи для Інтернету речей із туманними обчисленнями та мобільною хмарною архітектурою за допомогою iFogSim.

Тема 16. *Захист та конфіденційність у блокчейн включених Edge та Fog обчисленнях.*

Безпека в Fog/Edge обчисленнях. Сервіси безпечного пошуку та зберігання в хмарних і Edge/Fog обчисленнях. Уразливості Edge/Fog обчисленнях з точки зору архітектури.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усьо го	у тому числі					усьог о	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с. р.		л	п	лаб	інд	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Змістовий модуль 1. Архітектура, платформи та ресурси Edge/Fog технологій та обчислень												
Тема 1. Вступ. Рівні Edge та Fog обчислень як розширення хмари у концепції IoT.		2		2		5,4						
Тема 2. Архітектурний дизайн Edge/Fog обчислень.		2		2		5,4						
Тема 3. Платформи хмарних та Edge/Fog обчислень для IoT.		2		2		5,4						
Тема 4. Шлюзи в Edge/Fog обчисленнях.		2		2		5,4						
Тема 5. Надання ресурсів для Edge/Fog обчислень. Протоколи IoT.		2		2		5,4						
Тема 6. Edge/Fog обчислення в екосистемі хмарних обчислень для кінцевих інтелектуальних пристроїв.		2		2		5,4						
Тема 7. Технології та протоколи передачі даних.		2		2		5,4						
Тема 8. Мобільні Edge/Fog обчислення: архітектура та реалізація.		2		2		5,4						
Разом за змістовим модулем 1		16		16		43						
Змістовий модуль 2. Моделі, алгоритми та топології Edge/Fog обчислень. Застосування, моделювання та симуляція Edge та Fog обчислень												
Тема 9. Моделі та алгоритми планування мереж для Fog та Edge обчислень.		2		2		5,4						
Тема 10. Edge та Fog обчислення з машинним навчанням.		2		2		5,4						
Тема 11. Топології хмарних та Edge/Fog обчислень.		2		2		5,4						

Тема 12. Застосування <i>Edge/Fog</i> обчислень у промисловому IoT, розумному будинку		2		2		5,4						
Тема 13. Туманні та <i>Edge/Fog</i> обчислення з підтримкою блокчейну.		2		2		5,4						
Тема 14. Симуляція <i>Edge</i> та <i>Fog</i> обчислень.		2		2		5,4						
Тема 15. Моделювання та симуляція <i>Edge</i> та <i>Fog</i> обчислень за допомогою інструментарію <i>iFogSim</i> .		2		2		5,4						
Тема 16. Захист та конфіденційність у блокчейн включених <i>Edge</i> та <i>Fog</i> обчисленнях.		2		2		5,4						
Разом за змістовим модулем 2		16		16		43						
Усього годин		32		32		86						

5. Теми семінарських занять

6. Теми практичних занять

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	<i>Робота в симуляторах Wokwi та iFogSim</i>	2
2	<i>Лаб.1. ESP32 як Edge-модуль: під'єднання до Wi-Fi</i>	2
3	<i>Лаб.2. Реалізація Edge обчислень на ESP32+DHT 22 Sensor</i>	2
4	<i>Лаб.3. Реалізація Edge обчислень на ESP32 NTP Clock</i>	2
5	<i>Лаб.4. Реалізація Edge обчислень на Arduino UNO (Servo+Knob)</i>	2
6	<i>Лаб.5. Детектор руху на Edge модулі</i>	2
7	<i>Лаб. 6. Елементи Edge обчислень: детектор руху та позиціонування сервомотора у відповідь на рух</i>	2
8	<i>Підсумкове заняття ЗМ 1</i>	2
9	<i>Лаб.7. Цифрове опрацювання даних на Edge-модулі</i>	2
10	<i>Лаб.8. Основи роботи з хмарною платформою ThingSpeak</i>	2
11	<i>Лаб.9. Робота з даними на платформі ThingSpeak</i>	2
12	<i>Лаб.10. Елементи Fog-обчислень із застосуванням платформи ThingSpeak</i>	2
13	<i>Лаб.11. Інтегрування Edge-модуля та хмарної платформи</i>	2
14	<i>Лаб.12. Моделювання та симуляція Edge та Fog обчислювальних середовищ за допомогою інструментарію iFogSim</i>	2
15	<i>Підсумкове заняття ЗМ 2</i>	2
16	<i>Підсумкове заняття</i>	2
	Разом	32

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	<i>Рівні Edge та Fog обчислень як розширення хмари у концепції IoT. Робота в симуляторах Wokwi та iFogSim, платформи ThingSpeak.</i>	5,4
2	<i>Архітектурний дизайн Edge/Fog обчислень. ESP32 як Edge-модуль: під'єднання до Wi-Fi</i>	5,4
3	<i>Платформи хмарних та Edge/Fog обчислень для IoT. Реалізація Edge обчислень на ESP32+DHT 22 Sensor</i>	5,4
4	<i>Шлюзи в Edge/Fog обчисленнях. Реалізація Edge обчислень на ESP32 NTP Clock</i>	5,4
5	<i>Надання ресурсів для Edge/Fog обчислень. Протоколи IoT. Реалізація Edge обчислень на Arduino UNO (Servo+Knob)</i>	5,4
6	<i>Edge/Fog обчислення в екосистемі хмарних обчислень для кінцевих інтелектуальних пристроїв. Детектор руху на Edge модулі</i>	5,4
7	<i>Технології та протоколи передачі даних. Елементи Edge обчислень: детектор руху та позиціонування сервомотора у відповідь на рух</i>	5,4
8	<i>Мобільні Edge/Fog обчислення: архітектура та реалізація. Цифрове опрацювання даних на Edge-модулі</i>	5,4
9	<i>Моделі та алгоритми планування мереж для Fog та Edge обчислень</i>	5,4
10	<i>Edge та Fog обчислення з машинним навчанням. Основи роботи з хмарною платформою ThingSpeak</i>	5,4
11	<i>Топології хмарних та Edge/Fog обчислень. Робота з даними на платформі ThingSpeak</i>	5,4
12	<i>Застосування Edge/Fog обчислень у промисловому IoT, розумному будинку. Елементи Fog-обчислень із застосуванням платформи ThingSpeak</i>	5,4
13	<i>Туманні та Edge/Fog обчислення з підтримкою блокчейну. Інтегрування Edge-модуля та хмарної платформи</i>	5,4
14	<i>Симуляція Edge та Fog обчислень.</i>	5,4
15	<i>Моделювання та симуляція Edge та Fog обчислень за допомогою інструментарію iFogSim.</i>	5,4
16	<i>Захист та конфіденційність у блокчейн включених Edge та Fog обчисленнях.</i>	5,4
	Разом	86

9. Індивідуальні завдання

10. Методи навчання

Інформаційні методи (лекція, бесіда, ілюстрація, демонстрація); дедуктивні методи на основі узагальнень; евристичні методи (проблемна лекція); інтерактивні методи (дискусія).

11. Методи контролю

Поточний контроль здійснюється шляхом проведення усного опитування та написання письмових звітів по виконаних лабораторних роботах. У кінці курсу проводиться залік.

12. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточне тестування та самостійна робота																Підсумковий тест (залік)	Сума
Змістовий модуль 1								Змістовий модуль 2								50	100
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16		
2	2	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3		

T1, T2 ... T12 – теми змістових модулів.

Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

Оцінка ЄКТС	Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
A	90 – 100	відмінно	зараховано
B	81-89		
C	71-80		
D	61-70		
E	51-60	задовільно	не зараховано з можливістю повторного складання
FX	21-50	незадовільно з можливістю повторного складання	
F	0-20	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	

* кількість балів для оцінок «незадовільно» (FX і F) визначається Вченими радами факультетів (педагогічними радами коледжів).

13. Методичне забезпечення

- 1) Жураковський Б.Ю., Зенів І.О. Технології інтернету речей. Навчальний посібник. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», спеціалізація «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем». – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 271 с.
- 2) Вступ до Граничних обчислень в ІоТ (Introduction to Edge Computing in ІоТ). Технічна документація ІС– Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 25 с.

14. Рекомендована література

Основна

- 1) Жураковський Б.Ю., Зенів І.О. Технології інтернету речей. Навчальний посібник. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», спеціалізація «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем». – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 271 с.
- 2) Вступ до Граничних обчислень в ІоТ (Introduction to Edge Computing in ІоТ). Технічна документація ІС– Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 25 с.
- 3) Bhambri, P., Rani, S., Gupta, G., & Khang, A. (Eds.). (2022). Cloud and fog computing platforms for internet of things. CRC Press.
- 4) Chang, W., & Wu, J. (Eds.). (2021). Fog/Edge Computing For Security, Privacy, and Applications. Springer.
- 5) Mahmood, Z. (Ed.). (2018). Fog computing: concepts, frameworks and technologies. Springer.
- 6) Mahmood, Z. (Ed.). (2018). Fog computing: concepts, frameworks and technologies. Springer.
- 7) Zhang, D., Haider, F., St-Hilaire, M., & Makaya, C. (2019). Model and algorithms for the planning of fog computing networks. IEEE Internet of Things Journal, 6(2), 3873-3884.
- 8) Singh, S., Chiu, Y. C., Tsai, Y. H., & Yang, J. S. (2016). Mobile edge fog computing in 5G era: Architecture and implementation. 2016 International Computer Symposium (ICS), 731-735.

Допоміжна

- 1) Уривський, Л. О., Осипчук, С. О., Будішевський, О. В. (2022). FOG-мережа з адаптивною системою управління. Інфокомунікаційні та комп'ютерні технології, 1(03), 79-89.
- 2) Гасько, Р.Т., Шаховська, Н.Б. (2019). Навчальна робототехнічна платформа для FOG/EDGE/AIOT. Біоніка інтелекту, 2(93), 34-38.
- 3) Касумов, В. А., Амашов, Я. А., Исмаилов, Д. М. (2021). Інтегрування технологій Інтернету речей і fog computing. Проблеми інформатизації та управління, 1(65), 31-38.

- 4) Bhambri, P., Rani, S., Gupta, G., & Khang, A. (Eds.). (2022). Cloud and fog computing platforms for internet of things. CRC Press.
- 5) Chang, W., & Wu, J. (Eds.). (2021). Fog/Edge Computing For Security, Privacy, and Applications. Springer.
- 6) Singh, S. P., Nayyar, A., Kumar, R., Sharma, A. (2019). Fog computing: from architecture to edge computing and big data processing. *The Journal of Supercomputing*, 75, 2070-2105.
- 7) Buyya, R., & Srirama, S. N. (Eds.). (2019). Fog and edge computing: principles and paradigms. John Wiley & Sons.
- 8) Laroui, M., Nour, B., Mounghla, H., Cherif, M. A., Afifi, H., & Guizani, M. (2021). Edge and fog computing for IoT: A survey on current research activities & future directions. *Computer Communications*, 180, 210-231.
- 9) Gupta, H., Vahid Dastjerdi, A., Ghosh, S. K., Buyya, R. (2017). iFogSim: A toolkit for modeling and simulation of resource management techniques in the Internet of Things, Edge and Fog computing environments. *Software: Practice and Experience*, 47(9), 1275-1296.
- 10) Tuli, S., Mahmud, R., Tuli, S., Buyya, R. (2019). Fogbus: A blockchain-based lightweight framework for edge and fog computing. *Journal of Systems and Software*, 154, 22-36.
- 11) Shakarami, A., Shakarami, H., Ghobaei-Arani, M., Nikougofar, E., & Faraji-Mehmandar, M. (2022). Resource provisioning in edge/fog computing: A comprehensive and systematic review. *Journal of Systems Architecture*, 122, 102362.
- 12) Hong, H. J. (2017). From cloud computing to fog computing: unleash the power of edge and end devices. 2017 IEEE international conference on cloud computing technology and science (CloudCom), 331-334.
- 13) Svorobej, S., Takako Endo, P., Bendeche, M., Filelis-Papadopoulos, C., Giannoutakis, K. M., Gravvanis, G. A., ... & Lynn, T. (2019). Simulating fog and edge computing scenarios: An overview and research challenges. *Future Internet*, 11(3), 55.

15. Інформаційні ресурси

1. <https://wokwi.com/>
2. <https://github.com/Cloudslab/iFogSim>
3. <https://thingspeak.com>