

УДК 004.75

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2025-1-31>

### **Леонід ЦВІРКУН**

кандидат технічних наук, професор кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

ORCID: 0000-0002-5568-5516

Scopus Author ID: 57209003910

### **Іван СОБОЛЕВСЬКИЙ**

аспірант кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

ORCID: 0009-0009-0410-7941

**Бібліографічний опис статті:** Цвіркун, Л., Соболевський, І. (2025). Аналіз особливостей використання туманних комп'ютерних середовищ для побудови IoT інфраструктури. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 238–243, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2025-1-31>

## **АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ТУМАННИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СЕРЕДОВИЩ ДЛЯ ПОБУДОВИ ІОТ ІНФРАСТРУКТУРИ**

Використання туманних комп'ютерних середовищ має важливе значення для оптимізації роботи IoT інфраструктури, особливо в умовах постійного зростання кількості підключених пристроїв та необхідності швидкої обробки великих обсягів даних.

**Мета роботи** полягає в огляді та оцінці особливостей застосування туманних комп'ютерних середовищ для побудови IoT інфраструктури, що дозволить зменшити затримки, покращити безпеку даних та знизити навантаження на центральні сервери.

**Методологія.** У роботі використано методологію теоретичного аналізу для розгляду різних варіантів побудови IoT систем, зокрема з централізованою хмарною архітектурою та децентралізованою архітектурою на базі туманних середовищ. Особлива увага приділена аналізу систем екологічного моніторингу.

**Наукова новизна** полягає в дослідженні особливостей використання туманних середовищ для побудови децентралізованих IoT систем, а також у визначенні ключових переваг, таких як зменшення затримок та покращення стабільності роботи мережі.

**Висновки.** Туманні комп'ютерні середовища значно покращують роботу IoT інфраструктури, зменшуючи затримки передачі даних і розвантажуючи центральні сервери. Це підвищує стабільність та безпеку системи, хоча і потребує додаткових витрат через складнішу архітектуру. Впровадження таких середовищ, несе особливу користь для масштабних систем, де швидкість обробки даних є критично важливою, наприклад у системах, логіка яких ґрунтується на аналізі великих обсягів інформації, задля миттєвої реакції на появу відхилень від заданої норми. Туманні середовища були розглянуті для впровадження у систему екологічного моніторингу з функціоналом сповіщення населення про екологічні загрози. Впровадження такої системи на базі туманних середовищ дозволило децентралізувати систему, що в свою чергу забезпечило систему безперебійністю роботи, пришвидшило виконання критично важливого функціоналу системи, та розвантажило центральний сервер від необхідності обробляти велику кількість запитів від давачів.

**Ключові слова:** IoT, туманні комп'ютерні середовища, децентралізація, обробка даних, екологічний моніторинг, хмарна інфраструктура, затримка передачі даних, безперебійність системи.

### **Leonid TSVIRKUN**

Candidate of Technical Sciences, Professor at the Department of Information Technology and Computer Engineering, Dnipro University of Technology, 19, Dmytra Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005

ORCID: 0000-0002-5568-5516

Scopus Author ID: 57209003910

### **Ivan SOBOLEVSKYI**

Postgraduate Student at the Department of Information Technology and Computer Engineering, Dnipro University of Technology, 19, Dmytra Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005

ORCID: 0009-0009-0410-7941

**To cite this article:** Tsvirkun, L., Sobolevskiy, I. (2025). Analiz osoblyvostei vykorystannia tumannykh kompyuternykh seredovysch dlia pobudovy IoT infrastruktury [Analysis of the features of using foggy computer environments for building IoT infrastructure]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 238–243, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2025-1-31>

## ANALYSIS OF THE FEATURES OF USING FOGGY COMPUTER ENVIRONMENTS FOR BUILDING IOT INFRASTRUCTURE

*The use of fog computing environments is essential for optimizing the performance of IoT infrastructures, especially in the face of a constant increase in the number of connected devices and the need to quickly process large amounts of data.*

**The purpose of the study** is to review and evaluate the features of using fog computing environments to build IoT infrastructure, which will reduce latency, improve data security, and reduce the load on central servers.

**Methodology.** The paper uses the methodology of theoretical analysis to consider various options for building IoT systems, including centralized cloud architecture and decentralized architecture based on fog environments. Particular attention is paid to the analysis of environmental monitoring systems.

**The scientific novelty** is to study the features of using fog environments to build decentralized IoT systems, as well as to identify key advantages, such as reducing delays and improving network stability.

**Conclusions.** Fog computing environments significantly improve the performance of IoT infrastructure by reducing data transmission delays and offloading central servers. This increases the stability and security of the system, although it requires additional costs due to a more complex architecture. The introduction of such environments is especially useful for large-scale systems where data processing speed is critical, for example, in systems whose logic is based on the analysis of large amounts of information to react instantly to deviations from a given norm. Foggy environments were considered for implementation in an environmental monitoring system with the functionality of notifying the population of environmental threats. Implementation of such a system based on foggy environments allowed to decentralize the system, which in turn provided the system with uninterrupted operation, accelerated the execution of critical system functionality, and relieved the central server from the need to process a large number of requests from sensors.

**Key words:** IoT, foggy computing environments, decentralization, data processing, environmental monitoring, cloud infrastructure, data latency, system continuity.

**Актуальність проблеми.** Наразі у світі існує понад 14 мільярдів IoT пристроїв, які щодня виконують різноманітні функції та служать на благо людству. З наростаючими масштабами росту кількості IoT пристроїв у світі, та все більшою інтеграцію їх у повсякденне життя, постає питання можливості оптимізувати методи передачі та обробки інформації в мережах IoT, для того, щоб зменшити ризики втрати важливої інформації та покращити роботу серверів-обробників.

Збільшення кількості IoT пристроїв підключених до мережі ставить нові виклики перед науковцями та розробниками, зокрема збільшується потреба в зниженні затримок при передачі інформації, покращенні безпеки та цілісності даних.

Традиційно, у системах IoT, використовуються централізовані хмарні середовища, а під словом «хмарні» мається на увазі, що вони розташовані фізично далеко від кінцевого мережевого клієнта (IoT пристрою), що може привести до затримок, які можуть бути критичні, у випадку, коли реакція системи на дані повинна бути миттєвою (Atlam та ін., 2018). Така вірогідність може бути особливо критична для таких застосувань IoT, як розумні міста, системи медичного моніторингу, автоматизовані транспортні засоби тощо.

Туманні середовища є гібридним варіантом, між централізованою хмарною системою та децентралізованими локальними обробниками, що дає можливість побудови єдиної IoT системи, яка може приймати рішення без прямого контакту з центральним хмарним обробником. Використання туманних середовищ оптимізує нескінченний потік даних, який генерується IoT пристроями, що дозволяє значно полегшити завантаженість серверів та мереж, а також забезпечити децентралізованість, що в свою чергу дозволяє покращити цілісність інформації, що передається та безперебійність роботи системи за рахунок додавання проміжних вузлів-обробників до централізованої хмарної системи (Н. & V., 2021a).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За останні роки, дослідниками було проаналізовано багато прикладів використання туманних середовищ, їх переваги і недоліки. При проведенні досліджень і було виявлено наступне:

- обробка даних у туманних середовищах виконується швидше через низьку затримку, так як порівняно з хмарною інфраструктурою, мережеві вузли обробки інформації знаходяться фізично ближче до хоста, за рахунок цього знижується час відгуку (Das & Inuwa, 2023);

- туманні середовища забезпечують безперебійність системи, за рахунок використання проміжних ланок, які можуть приймати рішення на рівні з основним центральним обробником (Costa та ін., 2022).

- децентралізована будова туманних середовищ забезпечує кращий рівень безпеки та збереженості інформації, так як ця інформація може зберігатись як мінімум в трьох місцях (локально, на найближчому туманному вузлі-обробнику та в хмарі), що зменшує ризик втрати важливих даних при передачі та мінімізує шанс збереження неправдивої інформації (Das & Inuwa, 2023);

- децентралізація центрів збереження, обробки та керування забезпечує більш ефективно управління ресурсами системи, що включає в себе як більш оптимальне використання енергії, так і розвантаження основних обчислювальних ресурсів (H. & V., 2021a).

Також при цьому зазначені наступні недоліки використання туманних середовищ:

- ускладнення архітектури за рахунок додавання проміжної ланки обробки інформації у вигляді туманних вузлів-обробників, що збільшує фінансові витрати як на необхідне обладнання, для побудови IoT мережі, так і на подальшу підтримку інфраструктури (Lagoui та ін., 2021, Tsvirkun та ін., 2023);

- ресурси, які можуть надати туманні вузли-обробники, є набагато більш обмеженими, порівняно з тими ресурсами, які є у хмарних центрів, що може вплинути на доцільність використання туманних середовищ при плануванні IoT інфраструктури (Nazra та ін., 2023);

- використання туманних середовищ ускладнює процес керування інфраструктурою і потребує більш чіткого планування при здійсненні маніпуляцій з інфраструктурними ланками (J. Singh та ін., 2021);

- впровадження туманного середовища ускладнює узгодження стандартів та протоколів передачі інформації між вузлами (Lagoui та ін., 2021).

**Метою дослідження** є аналіз та визначення переваг, недоліків та доцільності використання туманних комп'ютерних середовищ при побудові IoT інфраструктури.

**Виклад основного матеріалу.** Для подальшого аналізу переваг та недоліків використання туманних комп'ютерних середовищ, буде синтезована прикладна інфраструктура IoT, сферою застосування якої було обрано екологічний моніторинг. Буде розглянуто два варіанти побудови IoT інфраструктури екологічного моніторингу – хмарна та туманна.

При побудові централізованої хмарної системи екологічного моніторингу система буде мати центральне сховище інформації. Дані до нього будуть надходити з численної кількості сенсорів, які знаходяться в різних зонах території моніторингу. Центральний хмарний сервер буде відповідати за обробку отриманих даних, таких як, температура та вологість повітря, рівень пилу у повітрі, рівень радіації у навколишньому середовищі, тощо.

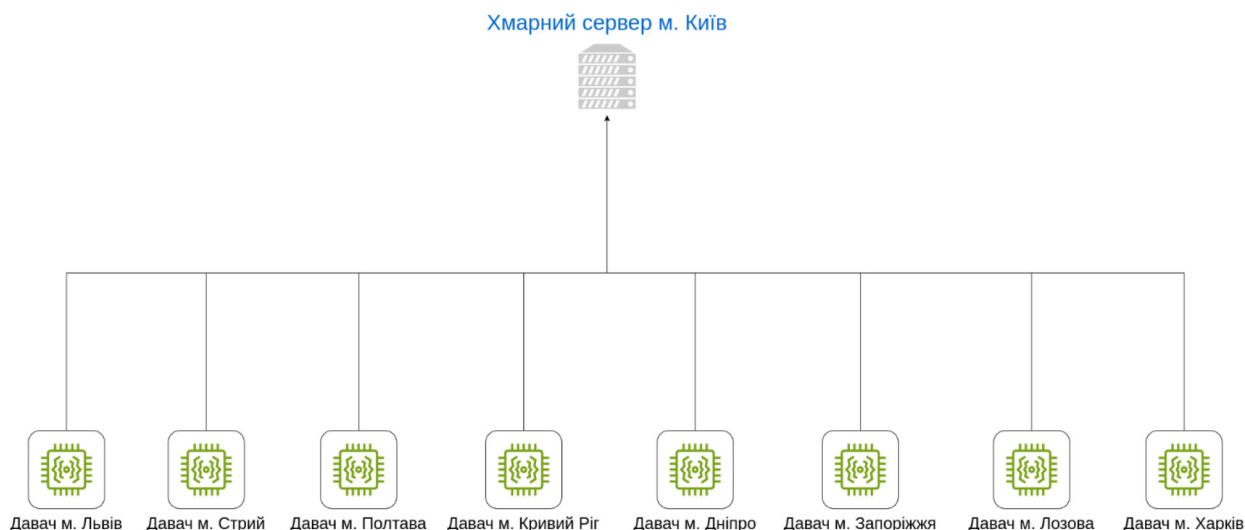
Якщо системі буде достатньо функціонувати тільки для моніторингу та подальшого аналізу зі сторони уповноваженої особи або автоматичного аналізу зі сторони центрального сервера, то централізованої архітектури для побудови системи буде більш ніж достатньо. В такому разі проміжні вузли-обробники будуть лише ускладнювати архітектуру та збільшувати бюджет на побудову за рахунок закупівлі додаткового обладнання. А в подальшому зросте бюджет на підтримку інфраструктури, так як така складна система буде потребувати набагато більшу кількість ресурсів, наприклад людських.

Але розглянемо варіант, що така централізована IoT система буде використовуватись також для сповіщення громадян, які проживають на території, в якій ведеться екологічний моніторинг, про порушення екологічних норм та загрозу їх життю.

Для прикладу уявимо, що така система побудована для моніторингу всієї території України. В такому разі централізована система буде стикатись з труднощами, так як кількість дачив, які потрібно обробляти, кардинально зростає. До того ж, якщо до базового функціоналу моніторингу, також додається такий функціонал як оповіщення населення про екологічні загрози, то централізована система буде вкрай неефективним рішенням (Srividhya & Sankaranarayanan, 2020), бо трафік з різних міст та областей України буде обробляти лише центральний хмарний сервер. Принцип передачі інформації у системі, побудованої на хмарній архітектурі з дачами, розташованими у різних містах України, зображено на рисунку 1.

Такий підхід може значно збільшити затримки як для отримання інформації, так і для її подальшої обробки (Tsipis та ін., 2020). В результаті будемо мати достатньо велику затримку між отриманням інформації про екологічну загрозу центральним сервером та оповіщенням населення певного регіону, про цю загрозу (Dag та ін., 2018).

Натомість, якщо побудувати інфраструктуру, такої системи екологічного моніторингу, за допомогою туманних середовищ, то можливо



**Рис. 1. Принцип передачі інформації у хмарній системі екологічного моніторингу з використанням різних міст України**

додати вузли-обробники, наприклад, по одному на кожну область, а центральне хмарне сховище, розмістити у м. Києві.

Воно буде функціонально відрізнятися від центрального хмарного сервера з централізованої побудови системи, але відмінність полягає у тому, що центральне хмарне сховище буде приймати дані не напряму з давачів, а від обласних вузлів-обробників, та буде приймати меншу роль у функціоналі оповіщення.

В такому разі, трафік, від давачів з м. Кривий-Ріг, буде фізично швидше доходити до вузла-обробника, який базується в м. Дніпро, ніж до центрального сховища у м. Київ, що буде сприяти зменшенню затримки надходження даних. До того ж, усі дані з Дніпропетровської області будуть базуватись на окремому вузлі-обробнику, це зменшить обсяг інформації, що буде потребувати обробки. Це в свою чергу, зменшить затримку від надходження даних до оповіщення місцевого населення про екологічні катастрофи. Принцип передачі інформації у системі, побудованої на туманній архітектурі, зображено на рисунку 2.

Ще окремо можна виділити таку перевагу використання туманного середовища, як безперебійність роботи системи (Costa та ін., 2022), навіть при відмові одного з вузлів-обробників. Мережу давачів можна налаштувати таким чином, щоб давачі змогли надсилати дані на найближчий доступний в регіоні вузол-обробник, а якщо всі вузли-обробники відмовили, посилати дані напряму до центрального хмарного-сховища, який при надходженні даних напряму з давачів, буде приймати рішення про оповіщення.

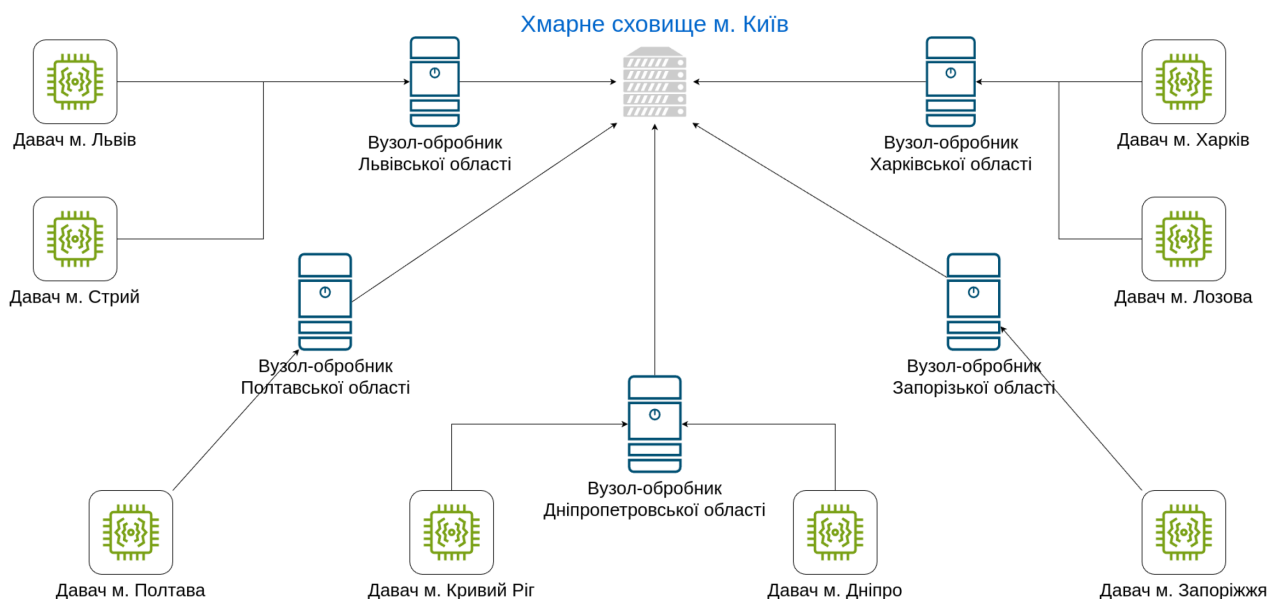
В результаті впровадження туманного середовища у систему екологічного моніторингу зросте бюджет на побудову такої системи, але затримки трафіку будуть значно меншими, значно зросте стабільність та швидкість роботи системи, а децентралізована архітектура дозволить розвантажити центральний сервер, який в свою чергу буде виконувати роль центрального сховища даних.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Туманні комп'ютерні середовища мають значні переваги у побудові IoT інфраструктури, особливо у випадках, коли критично важливо мінімізувати затримки передачі даних та забезпечити децентралізовану обробку. Це дозволяє зменшити навантаження на центральні сервери, підвищити безперебійність та безпеку системи (Costa та ін., 2022). Водночас, впровадження туманних середовищ потребує додаткових фінансових витрат через ускладнення архітектури та обмеженість ресурсів локальних вузлів. Застосування таких технологій виправдано у випадках складних та масштабних IoT систем, де необхідна швидка реакція та обробка даних на локальному рівні.

У результаті аналізу було виявлено, що туманні середовища можна впровадити у вже існуючу централізовану хмарну систему, і це можна назвати етапом розвитку, при збільшенні масштабу IoT інфраструктури, особливо в умовах, коли необхідна висока швидкість обробки даних, мінімальні затримки та підвищена стабільність роботи систем.

Вони забезпечують децентралізовану обробку та управління інформацією, що знижує навантаження на центральні обчислювальні





**Рис. 2. Принцип передачі інформації у туманній системі екологічного моніторингу**

ресурси та підвищує рівень безперебійності роботи системи (Das & Inuwa, 2023). Проте основними викликами залишаються підвищені витрати на впровадження, ускладнення

архітектури та обмеженість ресурсів локальних вузлів-обробників, що є підґрунтям для проведення подальших досліджень туманних середовищ.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. H. S., V. N. A Review on Fog Computing: Architecture, Fog with IoT, Algorithms and Research Challenges. *ICT Express*. 2021. Vol. 7, no. 2. P. 162–176. <https://doi.org/10.1016/j.ict.2021.05.004> (date of access: 12.10.2024).
2. Atlam H., Walters R., Wills G. Fog Computing and the Internet of Things: A Review. *Big Data and Cognitive Computing*. 2018. Vol. 2, no. 2. P. 10. <https://doi.org/10.3390/bdcc2020010> (date of access: 12.10.2024).
3. Das R., Inuwa M.M. A review on Fog Computing: Issues, Characteristics, Challenges, and Potential Applications. *Telematics and Informatics Reports*. 2023. P. 100049. <https://doi.org/10.1016/j.teler.2023.100049> (date of access: 12.10.2024).
4. Orchestration in Fog Computing: A Comprehensive Survey / B. Costa et al. *ACM Computing Surveys*. 2023. Vol. 55, no. 2. P. 1–34. <https://doi.org/10.1145/3486221> (date of access: 10.11.2024).
5. Edge and fog computing for IoT: A survey on current research activities & future directions / M. Laroui et al. *Computer Communications*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2021.09.003> (date of access: 10.11.2024).
6. Tsvirkun L., Myronov Y. Challenges and Specificities of Adopting Continuous Integration within Scalable Cloud Environments. 2023 IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT), Lviv, Ukraine, 19–21 October 2023. 2023. <https://doi.org/10.1109/csit61576.2023.10324010> (date of access: 13.11.2025).
7. Fog computing for next-generation Internet of Things: Fundamental, state-of-the-art and research challenges / A. Hazra et al. *Computer Science Review*. 2023. Vol. 48. P. 100549. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2023.100549> (date of access: 10.11.2024).
8. Singh J., Singh P., Gill S. S. Fog computing: A taxonomy, systematic review, current trends and research challenges. *Journal of Parallel and Distributed Computing*. 2021. Vol. 157. P. 56–85. <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2021.06.005> (date of access: 10.11.2024).
9. Latency-Adjustable Cloud/Fog Computing Architecture for Time-Sensitive Environmental Monitoring in Olive Groves. A. Tspis et al. *AgriEngineering*. 2020. Vol. 2, no. 1. P. 175–205. <https://doi.org/10.3390/agriengineering2010011> (date of access: 10.11.2024).
10. Srividhya S., Sankaranarayanan S. IoT–Fog Enabled Framework for Forest Fire Management System,. Fourth World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability : (WorldS4), London, 27–28 July 2020. 2020. P. 273–276.

11. Fog Computing based Automated Accident Detection and Emergency Response System using Android Smartphone / B.K.Dar et al. 4th International Conference on Emerging Technologies (ICET), Islamabad, 21–22 November 2018. 2018. P. 1–6.

#### REFERENCES:

1. H., S., & V., N. (2021a). A Review on Fog Computing: Architecture, Fog with IoT, Algorithms and Research Challenges. *ICT Express*, 7(2), 162–176. <https://doi.org/10.1016/j.ict.2021.05.004>
2. Atlam, H., Walters, R., & Wills, G. (2018). Fog Computing and the Internet of Things: A Review. *Big Data and Cognitive Computing*, 2(2), 10. <https://doi.org/10.3390/bdcc2020010>
3. Das, R., & Inuwa, M.M. (2023). A review on Fog Computing: Issues, Characteristics, Challenges, and Potential Applications. *Telematics and Informatics Reports*, 100049. <https://doi.org/10.1016/j.teler.2023.100049>
4. Costa, B., Bachiega, J., de Carvalho, L.R., & Araujo, A.P.F. (2023). Orchestration in Fog Computing: A Comprehensive Survey. *ACM Computing Surveys*, 55(2), 1–34. <https://doi.org/10.1145/3486221>
5. Laroui, M., Nour, B., Moun gla, 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*. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2021.09.003>
6. Tsvirkun, L., & Myronov, Y. (2023). Challenges and Specificities of Adopting Continuous Integration within Scalable Cloud Environments. Y 2023 IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT). IEEE. <https://doi.org/10.1109/csit61576.2023.10324010>
7. Hazra, A., Rana, P., Adhikari, M., & Amgoth, T. (2023). Fog computing for next-generation Internet of Things: Fundamental, state-of-the-art and research challenges. *Computer Science Review*, 48, 100549. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2023.100549>
8. Singh, J., Singh, P., & Gill, S.S. (2021). Fog computing: A taxonomy, systematic review, current trends and research challenges. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 157, 56–85. <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2021.06.005>
9. Tsipis, A., Papamichail, A., Koufoudakis, G., Tsoumanis, G., Polykalas, S.E., & Oikonomou, K. (2020). Latency-Adjustable Cloud/Fog Computing Architecture for Time-Sensitive Environmental Monitoring in Olive Groves. *AgriEngineering*, 2(1), 175–205. <https://doi.org/10.3390/agriengineering2010011>
10. Srividhya, S., & Sankaranarayanan, S. (2020). IoT–Fog Enabled Framework for Forest Fire Management System,. Y *Fourth World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4)* (c. 273–276). IEEE.
11. Dar, B.K., Ali Shah, M., Shahid, H., & Naseem, A. (2018). Fog Computing based Automated Accident Detection and Emergency Response System using Android Smartphone. Y 4th International Conference on Emerging Technologies (ICET) (c. 1–6). IEEE.