

УДК 004.75:[004.056.55+004.77+004.82]

РОЗРОБКА ВІДМОВОСТІЙКОЇ АДАПТАЦІЇ ДЛЯ СИСТЕМ НАВЧАННЯ НА БАЗІ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОЇ FOG-АРХІТЕКТУРИ

Горулько О. О.

e-mail: oleksandr.horulko@nure.ua

Науковий керівник - ст. викл. каф. ІСТ Ганшин Д.Г.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІСТ
м. Харків, Україна

This work is devoted to the development of an educational content delivery platform based on fog computing with cryptographic protection. The limitations of existing learning management systems (Moodle, Google Classroom, Microsoft Teams) under unstable Internet conditions were analyzed. A five-level architecture is proposed that combines student devices, intermediary devices, university fog nodes, an inter-university fog network, and a central server. The cryptographic scheme ensures authorship, integrity, and confidentiality of transmitted works. It has been found that the inter-university fog network with multiple delivery channels, including physical transmission of visual codes on paper, significantly increases the reliability of the educational process.

На сьогодні у вищих навчальних закладах широко використовуються системи управління навчанням (LMS - Learning Management System), зокрема Moodle, Google Classroom та Microsoft Teams, які забезпечують дистанційну взаємодію між викладачами та студентами: розподіл навчальних матеріалів, збір та перевірку завдань, проведення тестувань і комунікацію [1]. Водночас усі ці платформи повністю залежать від стабільного інтернет-з'єднання та працюють за класичною клієнт-серверною моделлю. При обриві зв'язку робота зупиняється: студент не може надіслати завдання чи отримати матеріали. Moodle кожного університету існує ізольовано - інфраструктура десятків вузів у місті простоює, поки кожен окремо бореться з проблемами зв'язку. Жодна з цих платформ не використовує факт фізичної близькості студентів, а при передачі файлів через одnogрупників відсутні гарантії цілісності та авторства.

Запропонована платформа відрізняється за чотирма напрямками: міжуніверситетська мережа fog-вузлів різних вузів утворює єдину мережу доставки; передача через пристрої інших студентів із криптографічним захистом від зміни чи привласнення; кілька каналів доставки з автоматичним перемиканням; автономна робота fog-вузлів без зв'язку з центральним сервером.

Серверна частина та fog-вузли реалізовано на Python (asyncio, SQLite, бібліотека cryptography). Клієнт - легкий десктопний або веб-додаток, здатний працювати офлайн. Архітектура містить п'ять рівнів: пристрої студентів,

пристрої-посередники, fog-вузли свого університету, міжуніверситетська fog-мережа та центральний сервер [2].

Криптографічна схема включає підпис автора закритим ключем, шифрування відкритим ключем вузу, транзитний конверт з метаданими маршрутизації та криптографічну мітку часу [3]. Канали доставки за пріоритетом: прямий інтернет (HTTPS), fog-вузол свого університету, пристрій іншого студента (Wi-Fi Direct / Bluetooth), fog-вузол чужого університету, фізична пошта з візуальним кодуванням у вигляді набору QR-кодів на папері.

Механізм гарантованої доставки побудовано за принципом store-and-forward: кожен вузол зберігає пакет локально перед пересиланням, видалення відбувається лише після підтвердження прийому, дублікати відкидаються за унікальним ID пакета [4]. Розгортання не потребує нового обладнання - fog-вузлами слугують наявні комп'ютери університетів, посередниками - телефони та ноутбуки студентів, а стійкість досягається через об'єднання інфраструктури багатьох вузів із різними провайдерами.

Список використаних джерел:

1. Gamage S. H. P. W., Ayres J. R., Behrend M. B. A systematic review on trends in using Moodle for teaching and learning. *International Journal of STEM Education*. 2022. Vol. 9, No. 1. Art. 9. P. 1–24. DOI: 10.1186/s40594-021-00323-x.
2. Bonomi F., Milito R., Zhu J., Addepalli S. Fog computing and its role in the internet of things. *Proceedings of the First Edition of the MCC Workshop on Mobile Cloud Computing*, Helsinki, Finland, 17 August 2012, pp. 13-16. DOI: 10.1145/2342509.2342513
3. Noura H., Salman O., Chehab A., Couturier R. Preserving data security in distributed fog computing. *Ad Hoc Networks*. 2019. Vol. 94. Art. 101937. DOI: 10.1016/j.adhoc.2019.101937.
4. Adel A. Utilizing technologies of fog computing in educational IoT systems: privacy, security, and agility perspective. *Journal of Big Data*. 2020. Vol. 7, No. 1. P. 1-29. DOI: 10.1186/s40537-020-00372-z.