

О. В. Шматко, Д. В. Сафанков

Харківський національний технічний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ХМАРНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ТОКЕНІЗАЦІЇ ПЕРСОНАЛЬНИХ ДАНИХ СТУДЕНТІВ

Анотація. Актуальність. Сучасний світ переживає важливий перехідний період з етапу інформатизації важливих аспектів людської активності до етапу їхньої цифровізації. Інформатизація являє собою процес модернізації різних сфер діяльності за допомогою інформаційно-комунікаційних технологій, в той час як цифрова трансформація означає глибоке переосмислення і переформатування цих сфер на основі цифрових рішень і технологій. Цей процес вимагає не лише підтримки існуючих умов для розвитку передових цифрових платформ і технологій, але й створення нових можливостей для зародження інноваційних рішень. Ключовими технологіями у цій цифровій епісі є великі дані, нейротехнології та штучний інтелект, блокчейн, квантові технології, новітні виробничі методики, промисловий інтернет, елементи робототехніки та сенсорики, технології бездротового зв'язку та інновації у сфері віртуальної та доповненої реальності. У даній роботі, в контексті цифрової трансформації освітньої сфери, проведено дослідження з використання блокчейн-технологій для токенизації освітніх ресурсів та аналізуються потенціал їх застосування у освіті. **Метою даної роботи** є підвищення конфіденційності освітніх даних, їх цілісності та доступності, а також забезпечення надійного обміну цими даними між всіма зацікавленими сторонами за рахунок проектування, розробки та впровадження програмних компонентів хмарної платформи для токенизації персональних даних студентів на основі технології блокчейн. **Об'єкт дослідження** включає в себе системи передачі та обробки освітніх даних, які забезпечують обмін даними між всіма зацікавленими сторонами в освітньому процесі. **Предметом дослідження** є методи та засоби проектування та розробки програмних компонентів, необхідні для створення і підтримки платформ для токенизації персональних даних студентів. Ці компоненти включають в себе програмне забезпечення для шифрування, аутентифікації, авторизації, а також механізми для забезпечення відмовостійкості та відновлення даних. **Результати.** У даній роботі запропоновано модель хмарної децентралізованої системи для токенизації персональних даних студентів. **Висновок.** Інтеграція блокчейн технологій в освітній сектор має великий потенціал для зміцнення довіри та підвищення якості освітніх послуг, а також для створення нової екосистеми освітніх активів, доступних і перевірених на глобальному рівні. Реалізація блокчейн технологій у сфері освіти вимагає розробки спеціалізованого програмного забезпечення для видачі та перевірки цифрових дипломів, заснованих на блокчейні. Впровадження хмарної платформи для токенизації персональних даних студентів обіцяє значне покращення в обробці та зберіганні освітніх документів, сприяючи більшій довірі та прозорості у сфері освіти.

Ключові слова: блокчейн, персональні дані студентів, хмарні сховища даних, смарт-контракти, Ethereum, архітектурна модель хмарної платформи токенизації даних

Вступ

Технологія блокчейн пропонує децентралізовану структуру, що дозволяє здійснювати транзакції між двома сторонами без необхідності посередництва третьої сторони [1]. Ця система використовує загальнодоступну книгу для полегшення транзакцій між сторонами, що не довіряють, при цьому цілісність книги забезпечується алгоритмом консенсусу. Існує багато алгоритмів [2], кожен з яких призначений для підтримки узгодженості записів у книзі, перевірки автентичності права учасників вносити записи чи зміни та захисту від потенційних порушень.

Невід'ємні властивості блокчейна, такі як децентралізація, прозорість та безпека, зробили його дуже привабливим у багатьох секторах, включаючи фінанси [3], управління ланцюгами поставок [4–6], Інтернет речей, охорону здоров'я [7] та освіти [8]. У сфері освіти блокчейн впроваджує інновації в декількох областях, включаючи академічні дослідження, системи репутації, електронні портфоліо, управління інтелектуальною власністю, інтеграцію безперервної освіти з платформами навчальної аналітики і перевірку залікових одиниць, облікових даних і сертифікатів [9–10].

Існує безліч наукових оглядів [11–13], присвячених застосуванню блокчейна в освіті, в яких підкреслюється широкий спектр рішень, що вирішують ключові проблеми в цій галузі. Наприклад, деякі роботи

розглядали роль блокчейна в управлінні академічними сертифікатами та інформацією про акредитацію [14–18], хоча початковий аналіз базувався переважно на теоретичних пропозиціях, а не на практичних реалізаціях. В інших оглядах були виявлені нові проекти, що використовують блокчейн в освіті, і виявлені різні потенційні додатки.

Грунтуючись на попередніх систематичних оглядах освітніх додатків на основі блокчейна, в цій статті пропонується хмарна платформа для токенизації персональних даних студентів. Такий підхід дозволяє більш детально зрозуміти вплив блокчейна і його впровадження в освітніх установах, демонструючи здатність технології впроваджувати інновації та вдосконалювати освітні процеси і системи.

Метою роботи є підвищення конфіденційності освітніх даних, їх цілісності та доступності, а також забезпечення надійного обміну цими даними між всіма зацікавленими сторонами за рахунок проектування, розробки та впровадження програмних компонентів хмарної платформи для токенизації персональних даних студентів на основі технології блокчейн.

Основна частина

Аналізуючи класифікацію застосування блокчейна відповідно [19], можна виділити трьохрівневий підхід: Блокчейн 1.0 фокусується на валютних операціях, Блокчейн 2.0 розширюється до смарт-контрак-

тів та фінансових інструментів, тоді як Блокчейн 3.0 виходить за рамки фінансових транзакцій, адаптуючись до різноманітних секторів, включаючи освіту.

Ця технологія відкриває нові можливості для реформування системи видачі та зберігання освітніх документів, надаючи переваги надійності, прозорості та ефективності. Використання блокчейна дозволяє знизити ризики пов'язані з підробкою документів та забезпечити безпечне зберігання освітніх активів без необхідності втручання третіх сторін.

Розгляд поточної системи видачі та зберігання дипломів (рис. 1) виявляє її недоліки, такі як складність процесу, високі витрати та вразливість до фізичних та юридичних ризиків. Пропонується рішення,

яке полягає у токенизації освітніх активів за допомогою блокчейн, що дозволить цифровізувати процес видачі та зберігання дипломів, забезпечити їх автентичність та надійне зберігання в децентралізованому реєстрі [20]. Це не лише спростить доступ до освітніх документів і їх перевірку, але й забезпечить їх збереження навіть у випадку припинення діяльності навчальних закладів.

Для подолання викликів, пов'язаних із фальсифікацією документів та їхнім збереженням, у даному дослідженні пропонується застосування технології блокчейн для токенизації освітніх матеріалів.

На рис. 2 демонструється метод токенизації освітніх матеріалів.

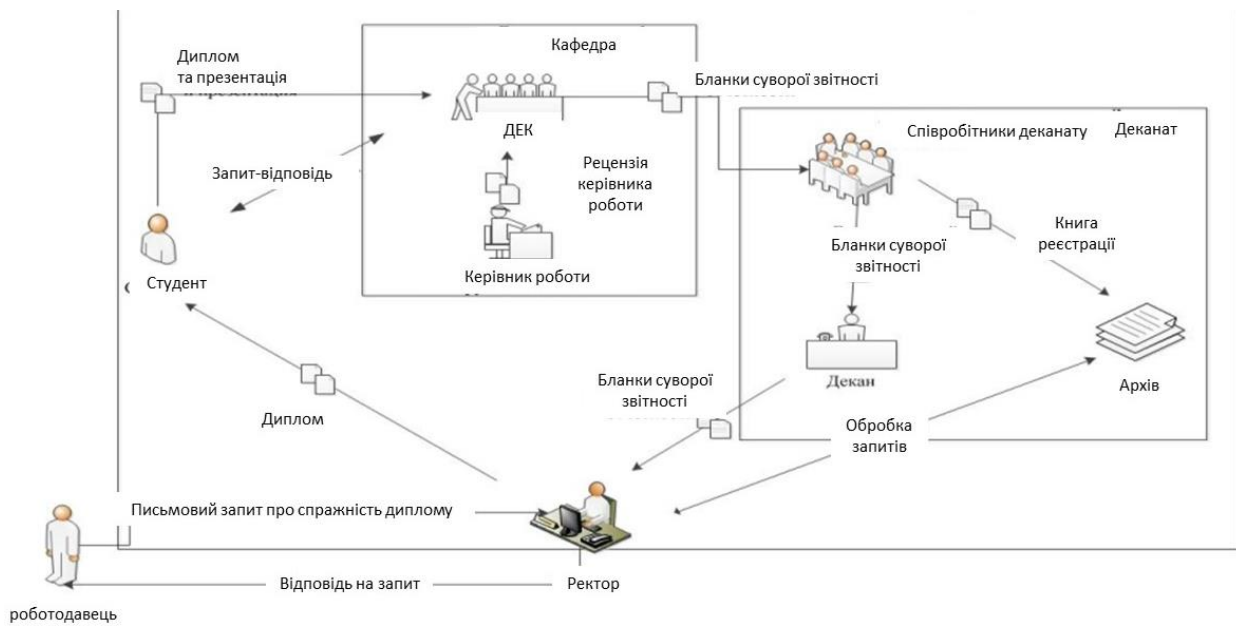


Рис. 1. Існуючий порядок видачі дипломів (джерело: власна розробка)

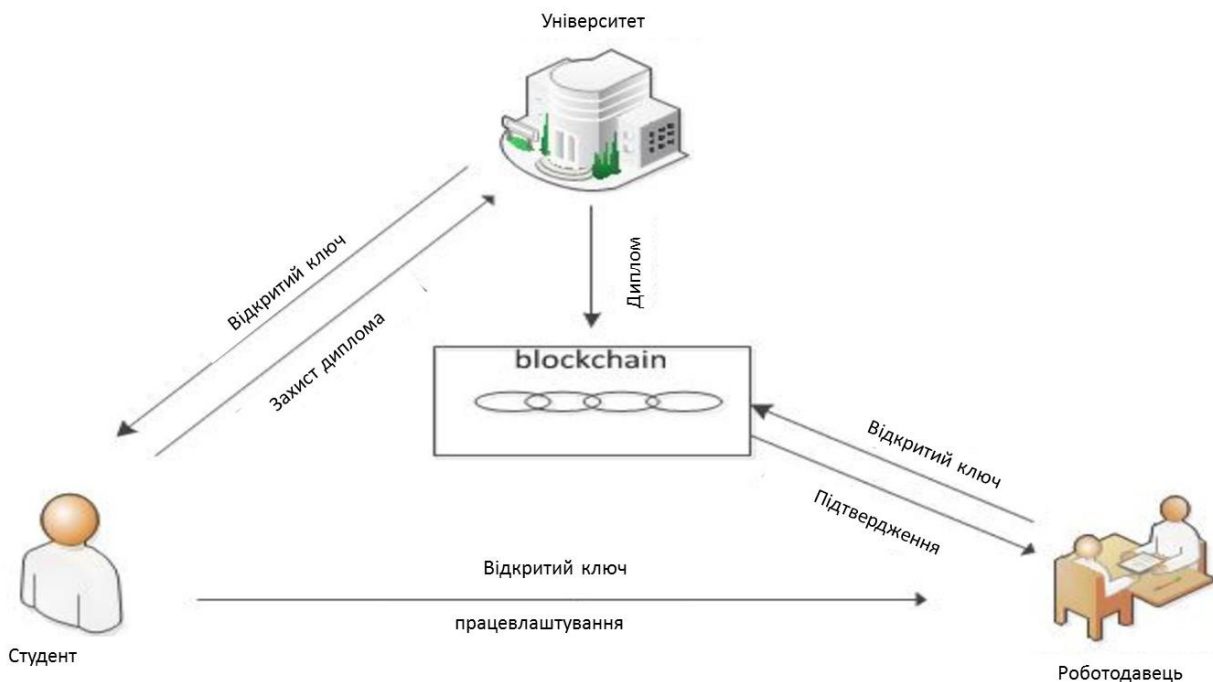


Рис. 2. Модель токенизації освітніх активів (джерело: власна розробка)

За цим підходом, університети, що видають цифрові версії дипломів, використовують спільний децентралізований реєстр для їх зберігання. Цифрові дипломи, підписані за допомогою унікального приватного ключа, надаються безпосередньо роботодавцям, забезпечуючи можливість перевірки автентичності диплома через порівняння з хешем у блокчейні. Це сприяє вирішенню проблеми фальсифікації документів та збереження важливих даних.

У випадку закриття установи, що видала диплом, інформація про диплом залишається у блокчейні, усуваючи потребу в додаткових ресурсах для перевірки документів через третіх осіб, оскільки роботодавці мають прямий доступ до перевірки через блокчейн.

Для глибшого розуміння процесу в блокчейні, важливо ознайомитися з його робочим механізмом, представленим на рис. 3.



Рис. 3. Механізм роботи технології блокчейн (джерело: власна розробка)

Спочатку створюється цифровий токен, що містить ключову інформацію, таку як назва університету, ім'я випускника, дату видачі та інші деталі. Університет застосовує свій приватний ключ для підпису диплома, що підтверджується мережею і записується у блок. Для валідації диплома створюється хеш-файл, унікальний для кожного документу, що дозволяє перевіряти його автентичність без змін у контенті.

Основною перевагою цього методу є надійне збереження сертифікатів у блокчейні, що забезпечує доступність та автентичність документів навіть у випадку закриття установи. Це вимагає від університетів лише наявності програмного забезпечення для створення та верифікації підписаних цифрових сертифікатів у блокчейні, спрощуючи процес перевірки дипломів без залучення зовнішніх сервісів.

Щоб скористатися унікальними технологічними можливостями блокчейна для системи токенизації студентських даних, пропонується хмарна платформа на основі блокчейн-системи Ethereum зі смарт-контрактами. Приватний блокчейн також називають "дозволяючим блокчейном", який обмежує доступ певним користувачам. Архітектура системи, показана на рис. 4, містить два модулі:

1) модуль прив'язки: Системний адміністратор освітнього закладу створить контактну точку для студента після того, як цифровий токен диплома студента буде готовий, і введе відповідну первинну інформацію в смарт-контракт для майбутньої індексації (як показано на рис. 5);

2) модуль запити: студенти надають роботодавцям дозвіл на доступ до своїх даних, додаючи роботодавців до "дозволеного списку" у смарт-контракті.

Роботодавці можуть вибирати записи через точки доступу після отримання доступу до записів студентів. Подальший обмін даними між освітніми установами, що беруть участь у системі токенизації освітніх даних, включатиме шифрування даних і використання блокчейн-системи для відправки та отримання ключів розшифровки (як показано на рис. 6).

Для інтеграції запропонованої платформи вкрай важливо спочатку створити надійну систему аутентифікації і комунікації, яка лежить в основі функціональності системи. Ця платформа повинна включати різні криптографічні методи, включаючи криптографію з відкритим ключем і рівень захищених сокетів (SSL), поряд з різними протоколами обміну ключами, для перевірки системи і забезпечення безпеки, конфіденційності та ідентифікації користувача.

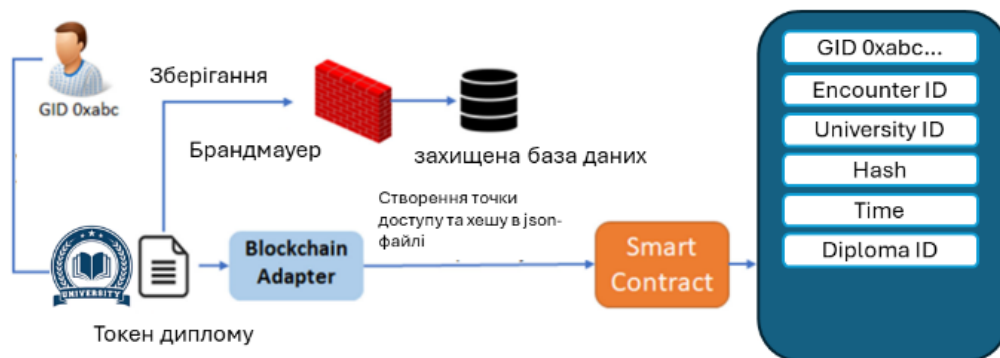


Рис. 4. Системна модель (джерело: власна розробка)



Рис. 5. Схема індексації смарт-контрактів (джерело: власна розробка)



Рис. 6. Схема обробки даних (джерело: власна розробка)

Дані, зібрані за допомогою цього фреймворку, передаються в модуль API, який не тільки зберігає дані в модулі бази даних, але і генерує з'єднання з модулем блокчейна, пов'язуючи його з базою даних медичних записів. Крім того, він записує ідентифікатор транзакції в окрему систему баз даних.

Транзакція на блокчейні ініціюється активацією функції Chaincode CreateIntervention. Ця функція реєструє ідентифікатор транзакції, ідентифікатори навчальних закладів та цифрових гарантів студента, а також шлях до модуля бази даних, який зберігає інформацію про персональні дані студента.

Коли роботодавцю потрібно вивчити освітні дані студента (дані про диплом та виписки оцінок), він повинен пройти автентифікацію в додатку. Після автентифікації він може отримати необхідний ідентифікатор транзакції (Encounter ID) з модуля бази даних. Ідентифікатор обробляється шляхом запису події доступу та повернення транзакції, яка включає посилання у вигляді рядка бази даних на необхідні записи даних студента.

Студенти, які отримують доступ до своїх записів, дотримуються процесу, подібного до процесу роботодавця. Студенти повинні пройти автентифікацію та підключитися до бази даних своїх особистих записів через зовнішню програму. Потім вони знаходять в базі даних ідентифікатор конкретної операції запису даних.

Цей ідентифікатор використовується для виклику функції Chaincode GetInterventionByID, яка отримує транзакцію, що містить посилання на необхідний рядок бази даних студентських записів.

Надання студентом доступу до своїх персональних записів покращує їх розуміння та контроль над цими записами. У сценаріях аудиту адміністратор

мережі може отримати доступ до всіх записів транзакцій блокчейну як незмінний журнал, хоча і без доступу до фактичних студентських даних. Однак вони можуть складати журнали доступу та втручань, включаючи ідентифікатори користувачів.

Для дослідницьких цілей архітектура системи, яка розділяє студентські та особисті записи, якщо не надається доступ до модуля blockchain, забезпечує доступ до бази даних студентських записів без шкоди для особистих даних. Таке налаштування забезпечує відстеження даних та анонімність, спрощуючи програми, які надають студентам право власності на їхні студентські записи.

Оцінка продуктивності системи включала в себе кілька тестів для перевірки налаштування мережі Hyperledger і функціональності всієї системи в цілому. Щоб гарантувати, що результати тестування можуть бути послідовно відтворені, всі параметри середовища тестової мережі були задокументовані відповідно до рекомендацій з Білої книги робочої групи Hyperledger по продуктивності і масштабованості.

Для тестування запропонованої платформи була створена на налаштована тестова інфраструктура на віддаленому віртуальному сервері на основі Amazon Lightsail, оснащеному 4 ГБ оперативної пам'яті, 2 процесорними ядрами та процесором 3000 МГц, що працює під управлінням Ubuntu 20.04.2 LTS. Це налаштування означає, що всі вузли в тестовому середовищі були розміщені на одній машині. Мережа була структурована як проста установка, що включала три організації, кожна з яких мала по одному вузлу, що складало загалом три вузли, де проводилися всі транзакції. Протокол консенсусу RAFT був обраний через його простоту впровадження та повну підтримку в документації Hyperledger Fabric. Для потреб

бази даних використовувалася CouchDB через її здатність виконувати складні запити, А Amazon RDS MySQL використовувався для управління SQL-з'єднаннями, пов'язаними з транзакціями. Розроблений смарт-контракт мав дві основні функції: одну для створення нових транзакцій та вставки даних, а іншу для отримання даних JSON за допомогою певного ідентифікатора.

Спочатку розмір блоку був встановлений на максимум 99 МБ, але для тестування краще використовувати менші блоки по 512 КБ, що містять до десяти транзакцій у кожному. Для створення значного навантаження при тестуванні був використаний скрипт на Python, а інструмент Postman використовувався для оцінки здатності API обробляти передачу даних через HTTP POST-запити.

Hyperledger Caliper був встановлений як інструмент для тестування та оцінки продуктивності мережі Hyperledger Fabric, зосереджуючись на таких показниках, як пропускна здатність, затримка та

масштабованість.

Вплив на продуктивність оцінювали шляхом зміни розміру блоку та кількості транзакцій у блоці. Затримка вимірювалася часом, витраченим на надсилання транзакції до отримання її результату, а пропускна здатність вимірювалася кількістю дійсних транзакцій, оброблених протягом заданого періоду часу. Перевіреними функціями смарт-контрактів були CreateIntervention для операцій запису та GetInterventionByID для операцій читання, при цьому Hyperledger Caliper надсилав 1000 транзакцій зі швидкістю 100 в секунду.

Результати, як показано на рис. 7 і 8, показали стабільну середню затримку і пропускну здатність при різних розмірах блоків без істотних коливань. Така узгодженість, ймовірно, обумовлена налаштуванням тестового середовища, при якому всі вузли були розташовані на одному комп'ютері, що зводило до мінімуму затримки розповсюдження по мережі.

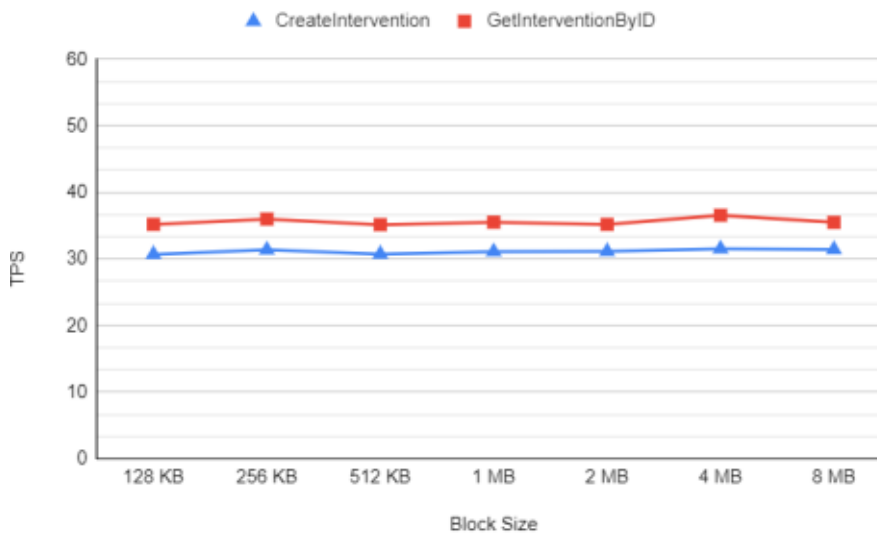


Рис. 7. Результати оцінки пропускної здатності (виміряної в TPS) при варіюванні розміру блоку (з використанням 10 транзакцій на блок)

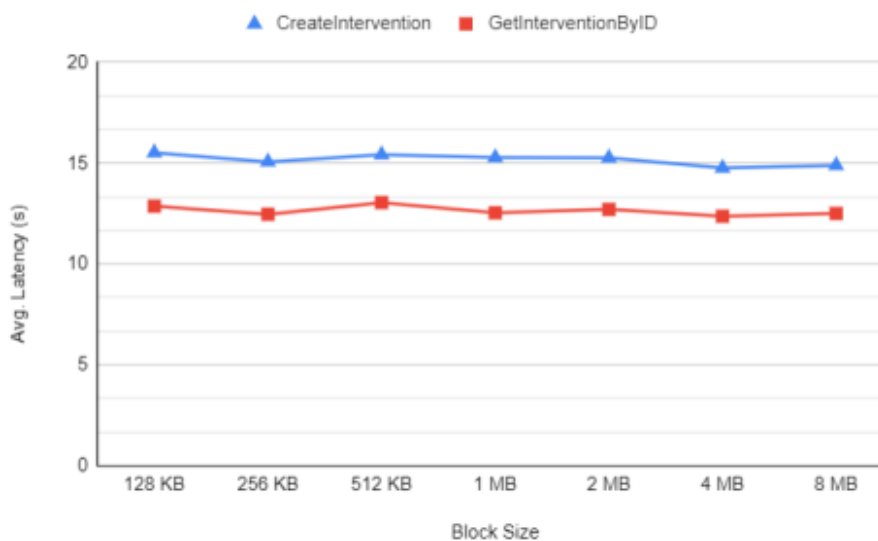


Рис. 8. Результати затримки (вимірюється в секундах) при зміні розміру блоку (з використанням 10 транзакцій на блок)

На рис. 9 та 10 показано, як збільшується пропускна здатність при збільшенні кількості транзакцій у блоці, що узгоджується з очікуваними результатами та подібними оцінками Hyperledger Fabric.

Однак затримка досягла стабільного рівня після досягнення 50 транзакцій в блоці, не показуючи істотних змін після цього моменту.

Важливо розуміти, що конкретне обладнання тестового середовища та конфігурація мережі суттєво впливають на ці показники продуктивності.

Таким чином, результати можуть відрізнятися в різних установках, що підкреслює важливість врахування характеристик тестового середовища при оцінці продуктивності.

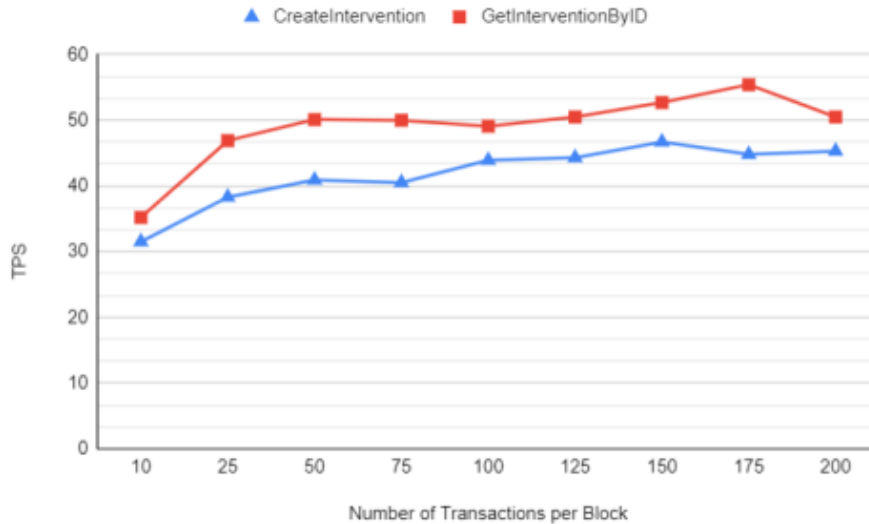


Рис. 9. Результати пропускної здатності (виміряної в TPS) Hyperledger, використовувані функції Fabric network і chain при варіюванні кількості транзакцій в блоці (з використанням розміру блоку 2 МБ).

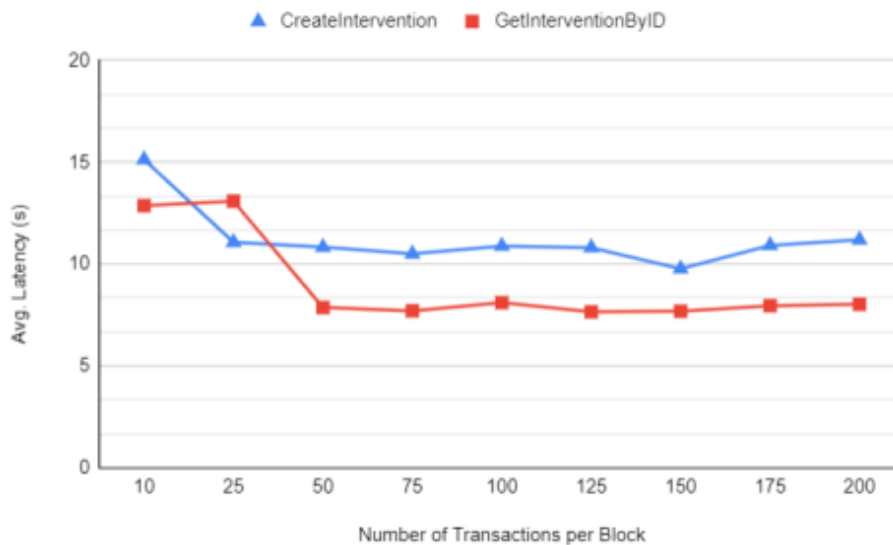


Рис. 10. Результати затримки (вимірюється в секундах) при варіюванні кількості транзакцій в блоці (з використанням розміру блоку 2 МБ)

Крім того, оцінка додаткового сховища, необхідного для системи, була проведена шляхом моніторингу використання дискового простору після пакетів транзакцій. Як показано на рис. 11, кожна партія з 2000 транзакцій призвела до збільшення дискового простору в середньому на 11%. Ці результати підкреслюють компроміс між покращеною конфіденційністю, цілісністю та незмінністю, пропонованими блокчейном, та підвищеними вимогами до сховища, які це тягне за собою, що є важливим фактором для систем освіти, які розглядають для впровадження

блокчейна.

В результаті було прийнято рішення зберегти в Ethereum тільки окремі хмарні адреси, що тягне за собою невелику плату за газ. З іншого боку, наша система є більш ефективною, ніж будь-яка інша система. Графік залежності плати за газ від розміру вхідних даних у байтах показано на рис. 9. На цьому графіку можна наочно бачити, що при збільшенні розміру даних плата за газ автоматично збільшується. Таким чином, розмір даних, що зберігаються в блокчейн, повинен бути якомога менше.

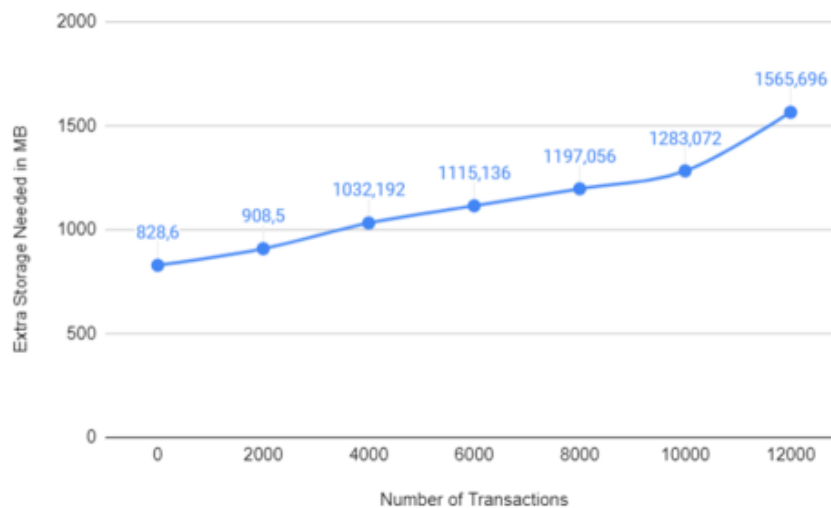


Рис. 11. Додаткове сховище, необхідне для впровадження технології блокчейн для токенизації студентських даних

Висновки

Це дослідження вносить значний внесок у вдосконалення блокчейн-системи для токенизації персональних даних студентів шляхом впровадження практичних функцій. Налаштування адаптера блокчейна для полегшення взаємодії з блокчейном, що дозволяє обробляти і візуалізувати студентські записи за допомогою зручних графічних інтерфейсів. Підвищена безпека, яка досягається завдяки дворівневим налаштуванням, гарантує, що тільки перевірені користувачі зможуть отримати доступ до певних функцій смарт-контрактів, тим самим зменшуючи потенційні проблеми. Механізм хешування, що гарантує цілісність і узгодженість даних в системі. Настроюваний контроль даних, що дозволяє студентам керувати своїми записами та ділитися лише інформацією, яку вони вибирають. Функція вибіркового доступу роботодавців, що дозволяє їм переглядати конкретні студентські записи, пов'язані з їх дипломами, без доступу до всього файлу персональних даних.

Впровадження та оцінка моделі для перевірки здійсненності, стабільності та надійності пропонованої блокчейн-системи в контексті токенизації персональних даних студентів. Важливо відзначити, що блокчейн не є єдиним рішенням для сфери освіти, але це дослідження демонструє життєздатність і надійність використання унікальних атрибутів блокчейна.

Отримані результати свідчать про те, що інтеграція блокчейна з платформою для токенизації персональних даних студентів не тільки здійсненна, але і

пропонує суттєві переваги, включаючи безпечне зберігання транзакцій і незмінний, що піддається перевірці журнал транзакцій для учасників мережі. Конструкція цієї системи також дозволяє розділити особисті та медичні дані, забезпечуючи відстеження даних та анонімність.

Хоча інтеграція блокчейна і систем управління освітніми даними все ще знаходиться на стадії становлення, незаперечні переваги розподіленого, незмінного журналу транзакцій очевидні. Оскільки технологія блокчейн продовжує розвиватися завдяки зниженню витрат і спрощенню розгортання, а також у міру розробки нових автономних методів зберігання даних, інтегровані в блокчейн ІОТ-системи, ймовірно, стануть нормою для рішень обміну персональними даними студентів. Ключовими висновками є:

Результати дослідження підтверджують доцільність використання блокчейна для токенизації персональних даних студентів. Конфіденційність можна ефективно підтримувати, поєднуючи хмарне сховище з технологією блокчейн, щоб відповідати стандартам конфіденційності.

У міру зростання мережі, що включає все більше об'єктів (організацій, вузлів, користувачів), підтримка продуктивності для забезпечення якості обслуговування для всіх учасників має вирішальне значення. Вирішення потенційних проблем масштабованості, таких як підвищена затримка при більшій кількості транзакцій і великих розмірах блоків, може зажадати впровадження протоколу сегментації для допустимих блокчейнів..

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Nair, M. M., & Tyagi, A. K. (2023). Blockchain technology for next-generation society: current trends and future opportunities for smart era. *Blockchain Technology for Secure Social Media Computing*, 10.
2. Dash, S. P. (2023). An introduction to blockchain technology: Recent trends. *Recent Advances in Blockchain Technology: Real-World Applications*, 1-24.
3. Magomadova, M. M., Semenova, L. V., & Artamonov, V. S. (2023). The Analysis of Blockchain Technologies Usage in Global Financial Markets. In *SHS Web of Conferences (Vol. 172, p. 05010)*. EDP Sciences.
4. Salvador, B. S., & Simon, A. T. (2024). Perspectives for the implementation of blockchain technology in the supply chain: research, trends and future. *Exacta*, 22(1), 119-143.
5. Oleksandr, Shmatko, Gorbach Tetiana, and Zherzherunov Pavlo. "Innovative model for supply chain management using blockchain technology." The 9th International scientific and practical conference "Theoretical and practical aspects of the development of science and education" (March 05–08, 2024) Prague, Czech Republic. Int. Science Group. 2024. 349 p.. 2024.

6. Shmatko, O., Litvinova, J., & Shokin, M. (2023). New blockchain-based supply chain management system model. *Scientific Collection «InterConf+»*, (33 (155)), 470-479.
7. Wenhua, Z., Qamar, F., Abdali, T. A. N., Hassan, R., Jafri, S. T. A., & Nguyen, Q. N. (2023). Blockchain technology: security issues, healthcare applications, challenges and future trends. *Electronics*, 12(3), 546.
8. Shuhaimi, J., Awang, H., & Jafar, M. F. (2024). Worldwide research history and trends on Blockchain applications in education: A bibliometric analysis, 2017-2022. *Multidisciplinary Reviews*, 7(3), 2024053-2024053.
9. Molopa, S. T., & Cronje, J. (2024, March). Research on Blockchain Adoption in Higher Education: A Systematic Review and Conceptual Model. In *Future of Information and Communication Conference* (pp. 110-130). Springer Nature Switzerland.
10. Haque, M., Kumar, V. V., Singh, P., Goyal, A. A., Upreti, K., & Verma, A. (2023). A systematic meta-analysis of blockchain technology for educational sector and its advancements towards education 4.0. *Education and Information Technologies*, 28(10), 13841-13867.
11. Jain, R., Seth, N., Sood, K., & Grima, S. (2023). Mapping the Research on Blockchain in Education: A Systematic Review and Bibliometric Analysis. *Digital Transformation, Strategic Resilience, Cyber Security and Risk Management*, 111, 53-66.
12. Razia, B. (2021, November). A systematic review of the use of blockchain in higher education. In *International Conference on Business and Technology* (pp. 631-648). Cham: Springer International Publishing.
13. De Alwis, T., Dewasiri, N. J., & Sood, K. (2023). Persistent Fiscal Deficit as a Determinant of Inflation in Sri Lanka: An ARDL Approach. In *Digital Transformation, Strategic Resilience, Cyber Security and Risk Management* (pp. 27-51).
14. Al Hemairy, M., Abu Talib, M., Khalil, A., Zulficar, A., & Mohamed, T. (2024). Blockchain-based framework and platform for validation, authentication & equivalency of academic certification and institution's accreditation: UAE case study and system performance (2022). *Education and Information Technologies*, 1-30.
15. Petrovska, I. and Kuchuk, H. (2023), "Adaptive resource allocation method for data processing and security in cloud environment", *Advanced Information Systems*, vol. 7(3), pp. 67–73, doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.3.10>
16. Biswas, A. K., Dasgupta, M., & Ray, S. (2023, January). Secure Management of Digital Academic Certificates Using Blockchain Technology. In *Machine Learning, Image Processing, Network Security and Data Sciences: Select Proceedings of 3rd International Conference on MIND 2021* (pp. 805-813). Singapore: Springer Nature Singapore.
17. Rustemi, A., Dalipi, F., Atanasovski, V., & Risteski, A. (2023). A systematic literature review on blockchain-based systems for academic certificate verification. *IEEE Access*.
18. Petrovska, I., Kuchuk, H., Mozhaiev, M. (2022), Features of the distribution of computing resources in cloud systems, 2022 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2022 - Conference Proceedings, 03-07 October 2022, Code 183771, doi: <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916459>
19. Pu, S., & Lam, J. S. L. (2023). The benefits of blockchain for digital certificates: A multiple case study analysis. *Technology in Society*, 72, 102176.
20. Maestre, R. J., Bermejo Higuera, J., Gámez Gómez, N., Bermejo Higuera, J. R., Sicilia Montalvo, J. A., & Orcos Palma, L. (2023). The application of blockchain algorithms to the management of education certificates. *Evolutionary Intelligence*, 16(6), 1967-1984.
21. Swan, M. (2019). Blockchain economic networks: Economic network theory—Systemic risk and blockchain technology. *Business Transformation through Blockchain: Volume I*, 3-45.
22. Shmatko, O., Borova, T., Yevseiev, S., & Milov, O. (2021). Tokenization of educational assets based on blockchain technologies. *Journal «ScienceRise: Pedagogical Education» № 3, 42.*

Received (Надійшла) 03.04.2024

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.06.2024

A method of simulation of computer network traffic with fractal properties

Olexander Shmatko, Danylo Safankov

Abstract. Topicality. The modern world is going through an important transition period from the stage of informatization of important aspects of human activity to the stage of their digitalization. Informatization is a process of modernization of various fields of activity through information and communication technologies, while digital transformation means a deep rethinking and reformation of these areas based on digital solutions and technologies. This process requires not only maintaining the existing conditions for the development of advanced digital platforms and technologies, but also creating new opportunities for the emergence of innovative solutions. The key technologies in this digital age are big data, Neurotechnologies and artificial intelligence, blockchain, quantum technologies, the latest manufacturing techniques, the industrial internet, elements of robotics and sensors, wireless communication technologies and innovations in the field of virtual and augmented reality. In this paper, in the context of digital transformation of the educational sphere, a study on the use of blockchain technologies for tokenization of educational resources is conducted and the potential of their application in education is analyzed. **The goal of this work** is to increase the confidentiality of educational data, their integrity and availability, as well as to ensure reliable exchange of this data between all stakeholders through the design, development and implementation of software components of the cloud platform for tokenization of students' personal data based on blockchain technology. **The object of research** includes systems for transmitting and processing educational data that ensure data exchange between all interested parties in the educational process. **The subject of research** is methods and tools for designing and developing software components necessary for creating and maintaining platforms for tokenizing students' personal data. These components include software for encryption, authentication, authorization, as well as mechanisms for ensuring fault tolerance and data recovery. Results In this paper, a model of a cloud-based decentralized system for tokenizing students' personal data is proposed. **Conclusions.** The integration of blockchain technology into the education sector has great potential to build trust and improve the quality of educational services, as well as to create a new ecosystem of educational assets that are accessible and proven globally. The implementation of blockchain technology in the field of Education requires the development of specialized software for issuing and verifying digital documents based on the blockchain. The introduction of a cloud-based platform for tokenizing students' personal data promises significant improvements in the processing and storage of educational documents, contributing to greater trust and transparency in the field of Education.

Keywords: blockchain, personal data of students, cloud data storage, smart contracts, Ethereum, architectural model of the cloud data tokenization platform.