УДК 528.92

Б. ЧЕТВЕРІКОВ¹, В. КІЛАРУ²

¹ Кафедра фотограмметрії та геоінформатики, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна, тел. +38(063)1671585, e-mail: chetverikov@email.ua

² Західне геодезичне товариство УТГК

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ BLOCKCHAIN ДЛЯ ЗАХИСТУ ТА МЕНЕДЖМЕНТУ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ

Метою роботи є аналіз суті системи блокчейн та його архітектури, застосування цієї системи для менеджменту геопросторових даних, для вирішення завдань картографування та землеустрою. Унікальність застосування блокчейн-технологій виключає фальсифікацію інформації в електронних реєстрах за рахунок зберігання інформації “блоками”. У системі немає єдиного місця зберігання даних. Реєстр даних зберігається одночасно у всіх учасників системи й одночасно оновлюється у разі змін, що зводить до мінімуму ризику втрати інформації. Сьогодні простежується така світова тенденція, як використання технології блокчейн у різних галузях, адже вона впливає на більшість галузей промисловості. Ми маємо можливість використовувати технологію блокчейн від звичних нам банківських операцій до фінансів і нерухомості реального часу. Сьогодні ця тенденція інтегрується і в інші виробництва, які активно розвивають і впроваджують численні стартапи. Можна із впевненістю сказати, що блокчейн творить революцію і нині його можна зіставити з геніальним винаходом XX століття – інтернетом. Ця технологія дає нам абсолютно новий підхід до зберігання інформації та проведення операцій із встановленням trust rules. Завдяки цьому технологія стає придатнішою, адже її вимоги характеризуються високим ступенем безпеки.

Ключові слова: блокчейн; цифрові транзакції; база даних; автоматизація; захист даних.

Вступ

Технологія блокчейн привернула увагу громадськості через розвиток таких криптовалют, як біткоїн. Це відкритий і розподілений дизайн, що дає змогу здійснювати операції в режимі реального часу та одночасні транзакції. Науковці, які ведуть дослідження Землі та просторових технологій, лише недавно почали створювати теорії, що можуть бути корисними для застосування технологій блокчейну. Європейське космічне агентство нещодавно закликала до нових ідей та застосувань блокчейну для дослідження Землі. Європейський Союз фінансує проекти, які застосовують технології блокчейн для таких досліджень, як спільне та одночасне використання наукових даних. Європейське космічне агентство прагне створити шляхи, за допомогою яких інформація може передаватися між різними установами та організаціями. [Ma, N. and al., 2019; Kamel Boulos and al., 2018; Bennett, R. M., Pickering, M., & Sargent, J., 2019]. Цікавим додатком є littercoin. Це різновид блокчейн-додатків, розроблений із OpenLitterMap з використанням геопросторових даних (рис. 1).

Користувачі просто завантажують дані про пластикове сміття, яке вони помічають, ці дані потім передають та редагують різні користувачі. Littercoin винагороджує користувачів, коли вони повідомляють про місцезнаходження пластикового сміття у певному місці. Littercoin не передбачає грошової винагороди,

його мета полягає у тому, щоб врешті-решт забезпечити грошовий стимул для людей, які допоможуть зберегти свою місцевість чистою від пластикових відходів [Lynch, S., 2018].

Рис. 1. Інтерфейс онлайн блокчейн-додатка OpenLitterMap

Блокчейн все частіше стає типом технології, із якою багато хто з нас обізнаний. Однак його застосування поза криптовалютами все ще є порівняно обмеженим. Більшість додатків експериментальні або основані на вузьких фокусних зонах. Однак ситуація може змінитися, оскільки вигод від їх реалізації все більше, наприклад, одночасний обмін захищеними даними та надання змоги спільнотам постачальників послуг, таких як охорона здоров'я, відстежувати конфіденційні дані у часі та просторі.

Мета

Метою роботи є аналіз суті системи блокчейн та його архітектури, застосування цієї системи для менеджменту геопросторових даних, для вирішення завдань картографування та землеустрою.

Методика

Що таке блокчейн-технологія?

Блокчейн-технологія – це новий підхід до побудови розподілених баз даних. Ця інновація виникла як об'єднання новим способом раніше відомих технологій. Блокчейн можна сприймати як розподілену базу даних, яку контролює група індивідумів з метою забезпечення спільного зберігання інформації та доступу до неї.

Існують різні типи блокчейнів, тобто блокових ланцюгів, а також блокчейн-додатків. Блокчейн-технологія є всеохопною, тобто інтегрує в собі будь-які платформи і типи комп'ютерного обладнання, що існують у світі нині [Turk, Klinc, 2017; Bennett, 2017; Sajid and al.].

Блокчейн (блоковий ланцюжок) являє собою таку структуру даних, яка уможливує створення цифрового розподіленого журналу (або реєстру) даних і організацію спільного доступу до нього в мережі із незалежних учасників. Існують різні типи блокчейн-ланцюгів.

Публічний блокчейн-ланцюг. Публічні блокчейни (blockchains), такі як біткоїни, – це велика розподілена мережа, в якій запущено власний токен. Приєднатися до неї може будь-хто і на будь-якому рівні. Публічний блокчейн має відкритий код, який підтримують користувачі.

Ексклюзивний блокчейн-ланцюг. Ексклюзивні блокчейни (sioned blockchains), такі як Ripple, припускають наявність центрального органу, що визначає всі ті дії, які стороннім особам дозволено здійснювати в мережі. Це також великі розподілені системи, в яких використовується власний токен. Ядро їх програмного коду може бути як відкритим, так і закритим.

Приватний блокчейн-ланцюг. Приватні блокчейни (blockchains), як правило, порівняно невеликого розміру і зазвичай не припускають використання токена. Їх членський склад строго фіксований, всі транзакції відстежує і контролює центральний орган. Це той тип блокчейна, який використовують консорціуми, що мають довірених членів, які маніпулюють конфіденційною інформацією.

У всіх трьох типах блокчейна використовується криптографія, що дає змогу кожному учаснику будь-якої окремо взятої мережі маніпулювати своїми активами абсолютно безпечно. В цій мережі не потрібен

жоден центральний орган, уповноважений забезпечувати безпеку її функціонування, і видалення центрального органу зі структури бази даних – одна із найважливіших і найсильніших переваг технології блокчейну.

У результаті, коли дані записані в блокчейн-ланцюжок, змінити або видалити їх неймовірно складно. Коли хтось хоче додати в ланцюг блокчейну запис, який прийнято називати транзакцією або вхідними даними, користувачі в мережі контролюють достовірність операцій, перевіряють запропоновану транзакцію.

Ланцюг блокчейну є одноранговою системою, яка не має будь-якого центрального органу, що керує потоком даних. Один із ключових способів усунення централізованого контролю, із забезпеченням при цьому збереження цілісності даних, полягає в організації великої розподіленої мережі з незалежних користувачів. Це означає, що комп'ютери, які забезпечують роботу мережі, перебуватимуть у різних місцях. Такі комп'ютери зазвичай називають *повними вузлами*.

Нині блокчейн-технологію визнають “п'ятою хвилею” комп'ютерної революції, що забезпечила той рівень довіри, якого бракує інтернету. Це одна з причин того, що таку силу-силенну людей нині цікавить ця тематика.

Блокчейн-технологія дає змогу забезпечити необхідний рівень довіри на основі цифрових даних. Як тільки інформація буде записана в базу даних блокчейну, практично неможливо видалити її звідти або змінити. Такої можливості ніколи раніше не існувало.

Перші створені додатки були призначені для захищеного передавання цифрових цінностей, яке в блокчейн-технології здійснювалося за допомогою маніпуляції їхніми власними токенами. Зокрема, ці маніпуляції охоплювали такі операції, як переказ грошей і активів. Але можливості блокчейн-мереж виходять далеко за межі завдання переміщення цінностей.

Ланцюг блокчейну складається із трьох основних частин:

- **Блок.** Блок містить перелік транзакцій, внесених до реєстру за деякий період. Розмір блока, період накопичення транзакцій та запис блока події різняться у кожній конкретній реалізації блокчейну. Не у всіх блокчейн-проектах основною метою є запис і зберігання інформації про переміщення їх власних криптоданних. Однак у всіх без винятку блокчейн-проектах записуються переміщення їх криптовалюти або токена. Транзакцію можна розуміти просто як запис деяких даних. Призначення їм цінності (як у фінансових транзакціях) використовують лише для інтерпретації того, що ці дані означають.

- **Ланцюжок.** Хеш – число, отримане як результат математичної операції хешування – пов'язує один

блок даних із іншим, математично об'єднуючи їх у єдиний ланцюг. Це одна із найскладніших для розуміння концепцій блокчейн-технології. Це те, що "склеює" елементи блокчейну в єдине ціле, забезпечуючи тим самим математичний гарантований рівень довіри. В технології блокчейну хеш чергового блока створюється з використанням даних попереднього блока. Такий хеш є ніби ідентифікатором цих даних, дає змогу об'єднати послідовність блоків у єдиний ланцюг у послідовності їх створення у часі. Хоча сама блокчейн-технологія є порівняно новим явищем, про хешування цього не скажеш. Метод хешування запропоновано більш ніж 30 років тому. Він здобув широке визнання, оскільки уможлилював одностороннє перетворення, яке було неможливо розшифрувати. Функція хешування є математичним алгоритмом, що дає змогу відобразити дані будь-якого розміру у вигляді бітового рядка заданої довжини, зазвичай містить 32 символи й однозначно представляє дані, які зазнали хешування. У блокчейн-технології як криптографічна хеш-функція зазвичай використовується алгоритм SHA (Algorithm). Як правило, це SHA-256 – стандартний алгоритм, що дає змогу генерувати фактично унікальні хеші фіксованої довжини із 256 бітів (це і є 32 символів). Для практичних цілей найзручніше уявляти хеш як цифровий відбиток пальця даних у блоці, що використовується для його закріплення на відповідному місці в ланцюзі блокчейну.

- **Мережа.** Мережа блокчейну складається з "повних вузлів". Їх можна розглядати як комп'ютери, на яких виконуються програми, алгоритм яких забезпечує захист всієї системи. На кожному вузлі зберігається повна копія всіх транзакцій, які коли-небудь були записані в блокчейн-ланцюг.

Ці вузли розташовані в різних місцях у всьому світі, їх може контролювати хто завгодно. Зазначимо, що підтримка повного вузла – завдання складне, дороге і потребує чималих витрат часу, тому люди не робитимуть це безкоштовно. Головним стимулом, який підтримує бажання забезпечувати роботу повного вузла блокчейн-мережі, є можливість заробити криптовалюту. Надання винагороди за працю завжди закладено безпосередньо в сам алгоритм блокчейну. Винагородою зазвичай є токени або криптовалюта, наприклад біткоїн.

Всі блокчейн-додатки побудовані навколо головної ідеї, яка стверджує, що комп'ютерна мережа може виступати арбітром. Системи такого типу – це "нещадне", "невблагання" і "сліпе" середовище. Комп'ютерна програма стає законом, його правила виконуються точно так, як вони прописані й визначені в мережі. У комп'ютерів немає ніяких соціальних упреждень і особливостей поведінки, які притаманні

людям [Ni and al., 2017; Zeng and al., 2017; Liang and al., 2017; Jogunola and al., 2018; Baig and al., 2017].

У світі блокчейну термін "консенсус" визначає процес досягнення згоди серед групи учасників системи, що спочатку не довіряють один одному. В цьому випадку ними є повні вузли, які функціонують у мережі. Повні вузли перевіряють транзакції, які були створені в мережі й повинні бути записані в реєстр.

На рис. 2 відображено, як у технології блокчейну досягають консенсусу.

Рис. 2. Технологічна схема роботи блокчейну

У кожній конкретній реалізації блокчейн-технології використовується власний алгоритм досягнення погодження в мережі у разі додавання нової транзакції.

Сьогодні існують сотні блокчейн-реєстрів і блокчейн-додатків. Весь світ одержимий ідеями швидшого переміщення грошей, інтеграції та управління у розподіленій мережі, а також створення захищених програм і обладнання.

Більшість блокчейн-додатків, що функціонують, тяжіє до швидкого і недорогого переміщення грошових коштів та інших форм цінностей. До цієї сфери можна зарахувати торгівлю акціями і цінними паперами, оплату праці співробітникам в інших країнах і обмін однієї валюти на іншу.

Блокчейн-технологію сьогодні також використовують як частину інструментарію, призначеного для захисту програмного забезпечення. Управління національної безпеки США провело дослідження щодо використання програмного забезпечення на основі блокчейн-технології, призначеного для захисту пристроїв у мережах **Internet of Things (IoT – інтернет речей)**. Технологія IoT отримала певні переваги від впровадження цієї інновації, оскільки за суттю вона спочатку була особливо вразлива для різних форм зламу мереж. Також у результаті самі IoT-пристрої набули більшого поширення, а захист мережі вже більшою мірою спирається на них самих. Хорошими

прикладом можуть слугувати лікарняні системи, безпilotні автомобілі та системи безпеки [Samaniego, Deters, 2016; Mendez Mena, Yang, 2018; Brown, 2015].

Проект DAO (Decentralized Autonomous Organization – децентралізована автономна організація) є ще однією цікавою блокчейн-платформою. Цей тип блокчейн-проекту являє собою новий засіб організації роботи та об'єднання зусиль безлічі різних компаній в інтерактивному режимі. Зокрема, проект DAO використовується для об'єднання однодумців з метою інвестування фондів у спільні проекти в середовищі мережі Ефіріум.

Використання блокчейн-технологій в землеустрої

Унікальність застосування блокчейн-технологій виключає фальсифікацію інформації в електронних реєстрах за рахунок зберігання інформації “блоками”. У системі немає єдиного місця зберігання даних. Реєстр даних зберігається одночасно у всіх учасників системи й одночасно оновлюється під час змін, що зводить до мінімуму ризику втрати інформації [Daneva, Lazarov, 2018; Sharma, Park, 2018; Babich, and Hilary, 2018; Brown, 2015]. Якщо інформацію в один з блоків внесено некоректно або помилково, додається коригувальний блок з “хеш” виправлень. У разі, якщо після помилкового блока на внесені ним зміни посилалися наступні блоки, до цих блоків також додають коригувальні. Виключаються також факти, що вказують на можливі прояви корупції. Перехід на блокчейн-технології в управлінні земельними ресурсами економічно привабливий за рахунок систематизації та гарантії безпеки інформації для будь-якого рівня управління (державного, регіонального, муніципального). Тому так необхідний застосування блокчейн-технологій як систем штучного інтелекту в сфері ГІС-управління земельними ресурсами. Блокчейн передбачає високий ступінь збереження даних і гарантує збереження наявних документів. Забезпечення захисту і дотримання вимог оригінальності правовстановлювальних та правопідтверджувальних документів – необхідні аспекти ведення реєстру нерухомості. Система виконує функції фіксації моніторингу здійснення операцій, що забезпечує “прозорість” угод з нерухомістю [Chod and al, 2019; Dalhaus and al. 2018; Hileman, Rauchs, 2017; Appelbaum, Nehmer, 2017; Condos, Sorrell].

Упровадження системи блокчейн-технологій в регіональну ГІС для управління земельними ресурсами сприятиме вдосконаленню операційних процесів, таких як:

- виключення (мінімізація) ризиків, пов'язаних із втратою інформації про об'єкти нерухомості, зареєстровані права;
- скорочення тривалості реалізації угод з об'єктами (час додавання транзакцій у блоковий ланцюжок подій

становить від хвилини до півгодини, що забезпечує опрацювання транзакцій у реальному часі);

- забезпечення фінансової “прозорості” операцій під час обчислення оподаткованої бази (кадастрової вартості), у результаті чого буде забезпечена міжвідомча інформаційна взаємодія регіональних і державних органів на основі блокчейн-технологій, сформовано єдиний державний реєстр платників податків як унікальний інформаційний ресурс для забезпечення взаємозв'язку всіх інформаційних ресурсів, що характеризують кожного платника податків, а також визначення наповнюваності бази оподаткування;

- зниження ризиків шахрайства та помилок у документах.

Безкоштовні блокчейн-ресурси

До основних блокчейн-ресурсів, використання яких можливе на безкоштовній основі, можна зарахувати:

- Університет Factom (www.factom.com/university);
- Сайт Ethereum 101 (www.ethereum101.org);
- Платформа Ripple (www.ripple.com/build);
- Проект DigiByte;
- Університет блокчейн-технологій (www.blockchainu.co)
- Сайт Bitcoin Core (www.bitcoin.org);
- Об'єднання “Блокчейн-альянс”.

Висновки

Блокчейн все частіше стає типом технології, з якою багато хто з нас обізнаний. Однак його застосування поза криптовалютами все ще є порівняно обмеженим. Нині можна простежити таку світову тенденцію, як використання технології блокчейну в різних галузях, адже вона впливає на більшість галузей промисловості. Ми маємо можливість використовувати технологію блокчейн – від звичних нам банківських операцій до фінансів і нерухомості реального часу. Сьогодні ця тенденція проникає і в інші виробництва, які активно розвивають і впроваджують численні стартапи. Можна з впевненістю стверджувати, що блокчейн творить революцію, і сьогодні його можна зіставити з геніальним винаходом XX ст. – інтернетом. Ця технологія дає нам абсолютно новий підхід до зберігання інформації та здійснення операцій із встановленням trust rules. Тому ця технологія стає придатнішою, завдяки вимогам із високим ступенем безпеки.

Література

- Ma N., Wang X., Li Z., Zhan P., He X., Zhang X., & Liu Z. (2019). Design of Routing Incentive Protocol for Space Network Based on Blockchain Technology. In

- A. N. Shiryayev, *Probability-2*, Vol. 95, 123–131. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-13-6553-9_14.
- Kamel Boulos M. N., Wilson J. T., & Clauson K. A. (2018). Geospatial blockchain: promises, challenges, and scenarios in health and healthcare. *International Journal of Health Geographics*, 17(1), 25, s12942-018-0144-x. URL: <https://doi.org/10.1186/s12942-018-0144-x>.
- Bennett R. M., Pickering M., & Sargent J. (2019). Transformations, transitions, or tall tales? A global review of the uptake and impact of NoSQL, blockchain, and big data analytics on the land administration sector. *Land Use Policy*, 83, 435–448. URL: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.02.016>.
- Lynch S. (2018). OpenLitterMap.com – Open Data on Plastic Pollution with Blockchain Rewards (Littercoin). *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 3(1), 6. URL: <https://doi.org/10.1186/s40965-018-0050-y>.
- Turk Ž., Klinec R. (2017). Potentials of blockchain technology for construction management // Creative construction conference. – Primosten, 638–645. DOI: doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.052
- Bennett S. (2017). Blockchain: a Guide to Understanding Blockchain (the Cryptomasher Series) Cryptomasher via PublishDrive, 54 p. URL: https://books.google.ru/books?id=bbZEDwAAQBAJ&dq=blockchain&hl=ru&source=gbps_navlinks_s.
- Sajid A.; Abbas H.; Saleem K. (2016). Cloud-assisted iot-based scada systems security: A review of the state of the art and future challenges. *IEEE Acc.* 4, 1375–1384.
- Ni J., Zhang K., Lin X., Shen X. (2017). Securing fog computing for internet of things applications: Challenges and solutions. *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, 20, 601–628.
- Zeng X., Garg S., Strazdins P., Jayaraman P., Georgakopoulos D., Ranjan, R. (2017). IOTSim: A simulator for analysing IoT applications. *J. Syst. Archit.*, 72, 93–107.
- Liang K., Zhao L., Chu X., Chen, H. H. (2017). An integrated architecture for software defined and virtualized radio access networks with fog computing. *IEEE Netw.*, 31, 80–87.
- Jogunola O., Ikpehai A., Anoh K., Adebisi B., Hammoudeh M., Gacanin H., Harris G. (2018). Comparative Analysis of P2P Architectures for Energy Trading and Sharing. *Energies*, 11, 62.
- Baig Z. A., Szweczyk P., Valli C., Rabadia P., Hannay P., Chernyshev M., Johnstone M., Kerai P., Ibrahim A., Sansurooah K. et al. (2017). Future challenges for smart cities: Cyber-security and digital forensics. *Digit. Investig.*, 22, 3–13.
- Daneva M., Lazarov B. (2018). Requirements for smart cities: Results from a systematic review of literature. In Proceedings of the 2018 12th International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS), Nantes, France, 29–31 May 2018; 1–6.
- Samaniego M., Deters R. (2016). Blockchain as a Service for IoT. In Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData), Chengdu, China, 15–18 December 2016; 433–436.
- Sharma P. K., Park J. H. (2018). Blockchain based hybrid network architecture for the smart city. *Future Gener. Comput. Syst.*, 86, 650–655
- Mendez Mena D. M.; Yang B. (2018). Blockchain-Based Whitelisting for Consumer IoT Devices and Home Networks. In Proceedings of the 19th Annual SIG Conference on Information Technology Education. International World WideWeb Conferences Steering Committee, Lyon, France, 23–27 April 2018; 7–12.
- Brown M. E. (2015). Satellite remote sensing in agriculture and food security assessment. *Procedia Environ. Sci.* 29:307. doi: 10.1016/j.proenv.2015.07.278
- Babich V., and Hilary G. (2018). Distributed ledgers and operations: what operations management researchers should know about blockchain technology. *Manuf. Serv. Oper. Manag.* (forthcoming) (in press). doi: 10.2139/ssrn.3131250
- Brown M. E. (2015). Satellite remote sensing in agriculture and food security assessment. *Procedia Environ. Sci.* 29:307. doi:10.1016/j.proenv.2015.07.278
- Chod J., Trichakis N., Tsoukalas G., Aspegren H., and Weber M. (2019). On the financing benefits of supply chain transparency and blockchain adoption. *Manag. Sci.* (forthcoming) (in press). doi: 10.2139/ssrn.3078945
- Dalhaus T., Musshoff O., and Finger R. (2018). Phenology information contributes to reduce temporal basis risk in agricultural weather index insurance. *Sci. Rep.* 8:46. doi: 10.1038/s41598-017-18656-5
- Hileman G., Rauchs M. (2017). Global blockchain benchmarking study. Cambridge: Cambridge Centre for Alternative Finance, 119.
- Appelbaum D., Nehmer R. (2017). Designing and auditing accounting systems based on blockchain and distributed ledger principles. Feliciano School of Business. Access mode: <https://pdfs.semanticscholar.org/edc2/4c3ae8cb7f4f978c9353d47986168265fe03.pdf>.
- Condos J., Sorrell W. H., Donegan S. L. Blockchain technology: Opportunities and risks. Access mode : <https://legislature.vermont.gov/assets/Legislative-Reports/blockchain-technology-report-final.pdf>.

B. CHETVERIKOV¹, V. KILARU²

¹ Department of Photogrammetry and Geoinformatics, Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery str., Lviv, 79013, Ukraine, tel. +38 (063) 1671585, e-mail: chetverikov@email.ua

² Western Geodetic Society UTGC

APPLICATION OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY FOR GEOSPATIAL DATA PROTECTION AND MANAGEMENT

The aim of the work is to analyze the essence of the blockchain system and its architecture. Application of this system for geospatial data management, for solving mapping and land management. The uniqueness of the use of blockchain technologies eliminates the falsification of information in electronic registers by storing information “blocks”. The system does not have a single storage location. The data register is stored simultaneously for all participants in the system and is simultaneously updated with changes, which minimizes the risk of information loss. At the moment, we can trace such a global trend as the use of blockchain technology in various industries, because it affects most industries. We have the opportunity to use blockchain technology from our usual banking operations to real-time finance and real estate. Today, this trend integrates into other industries, which are actively developing and implementing numerous startups. It is safe to say that the blockchain is creating a revolution and today it can be compared with the ingenious invention of the XX century – the Internet. This technology gives us a completely new, different approach to storing information and conducting transactions by establishing trust rules. Due to this, this technology becomes more suitable because it has requirements with a high degree of security.

Key words: blockchain, digital transactions, database, automation, data protection.

References

- Ma, N., Wang, X., Li, Z., Zhan, P., He, X., Zhang, X., & Liu, Z. (2019). Design of Routing Incentive Protocol for Space Network Based on Blockchain Technology. In A. N. Shiryayev, *Probability-2, Vol. 95*, 123–131. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6553-9_14.
- Kamel Boulos, M. N., Wilson, J. T., & Clauson, K. A. (2018). Geospatial blockchain: promises, challenges, and scenarios in health and healthcare. *International Journal of Health Geographics*, 17(1), 25, s12942-018-0144-x. <https://doi.org/10.1186/s12942-018-0144-x>.
- Bennett, R. M., Pickering, M., & Sargent, J. (2019). Transformations, transitions, or tall tales? A global review of the uptake and impact of NoSQL, blockchain, and big data analytics on the land administration sector. *Land Use Policy*, 83, 435–448. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.02.016>.
- Lynch, S. (2018). OpenLitterMap.com – Open Data on Plastic Pollution with Blockchain Rewards (Littercoin). *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 3(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s40965-018-0050-y>.
- Turk Ž., Klinc R. (2017). Potentials of blockchain technology for construction management // Creative construction conference. *Primosten*, 638–645. DOI: doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.052
- Bennett S. (2017). Blockchain: a Guide to Understanding Blockchain (the Cryptomasher Series) Cryptomasher via PublishDrive, 54. URL: https://books.google.ru/books?id=bbZEDwAAQBAJ&dq=blockchain&hl=ru&source=gbs_navlinks_s.
- Sajid, A.; Abbas, H.; Saleem, K. Cloud-assisted iot-based scada systems security: A review of the state of the art and future challenges. *IEEE Acc.* 2016, 4, 1375–1384
- Ni, J.; Zhang, K.; Lin, X.; Shen, X. (2017). Securing fog computing for internet of things applications: Challenges and solutions. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 20, 601–628.
- Zeng, X.; Garg, S.; Strazdins, P.; Jayaraman, P.; Georgakopoulos, D.; Ranjan, R. (2017). IOTSim: A simulator for analysing IoT applications. *J. Syst. Archit.*, 72, 93–107.
- Liang, K.; Zhao, L.; Chu, X.; Chen, H. H. (2017) An integrated architecture for software defined and virtualized radio access networks with fog computing. *IEEE Netw.*, 31, 80–87.
- Jogunola, O.; Ikpehai, A.; Anoh, K.; Adebisi, B.; Hammoudeh, M.; Gacanin, H.; Harris, G. (2018). Comparative Analysis of P2P Architectures for Energy Trading and Sharing. *Energies*, 11, 62
- Baig, Z. A.; Szewczyk, P.; Valli, C.; Rabadia, P.; Hannay, P.; Chernyshev, M.; Johnstone, M.; Kerai, P.; Ibrahim, A.; Sansuroah, K.; et al. (2017). Future challenges for smart cities: Cyber-security and digital forensics. *Digit. Investig.*, 22, 3–13.

- Daneva, M.; Lazarov, B. (2018). Requirements for smart cities: Results from a systematic review of literature. In Proceedings of the 2018 12th International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS), Nantes, France, 29–31 May 2018; p. 1–6.
- Samaniego, M.; Deters, R. (2016). Blockchain as a Service for IoT. In Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData), Chengdu, China, 15–18 December 2016; p. 433–436.
- Sharma, P. K.; Park, J. H. (2018). Blockchain based hybrid network architecture for the smart city. *Future Gener. Comput. Syst.*, 86, 650–655
- Mendez Mena, D. M.; Yang, B. (2018). Blockchain-Based Whitelisting for Consumer IoT Devices and Home Networks. In Proceedings of the 19th Annual SIG Conference on Information Technology Education. International World WideWeb Conferences Steering Committee, Lyon, France, 23–27 April 2018; 7–12.
- Brown, M. E. (2015). Satellite remote sensing in agriculture and food security assessment. *Procedia Environ. Sci.* 29:307. doi: 10.1016/j.proenv.2015.07.278
- Babich, V., and Hilary, G. (2018). Distributed ledgers and operations: what operations management researchers should know about blockchain technology. *Manuf. Serv. Oper. Manag.* (forthcoming) (in press). doi: 10.2139/ssrn.3131250
- Brown, M. E. (2015). Satellite remote sensing in agriculture and food security assessment. *Procedia Environ. Sci.* 29:307. doi:10.1016/j.proenv.2015.07.278
- Chod, J., Trichakis, N., Tsoukalas, G., Aspegren, H., and Weber, M. (2019). On the financing benefits of supply chain transparency and blockchain adoption. *Manag. Sci.* (forthcoming) (in press). doi: 10.2139/ssrn.3078945
- Dalhaus, T., Musshoff, O., and Finger, R. (2018). Phenology information contributes to reduce temporal basis risk in agricultural weather index insurance. *Sci. Rep.*, 8:46. doi: 10.1038/s41598-017-18656-5
- Hileman G., Rauchs M. (2017). Global blockchain benchmarking study. Cambridge: Cambridge Centre for Alternative Finance, 119.
- Appelbaum D., Nehmer R. (2017). Designing and auditing accounting systems based on blockchain and distributed ledger principles. Feliciano School of Business. Access mode: <https://pdfs.semanticscholar.org/edc2/4c3ae8cb7f4f978c9353d47986168265fe03.pdf>.
- Condos J., Sorrell W. H., Donegan S. L. Blockchain technology: Opportunities and risks. Access mode : <https://legislature.vermont.gov/assets/Legislative-Reports/blockchain-technology-report-final.pdf>.