

Роснопа П.П.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СИСТЕМА РОЗУМНОГО МІСТА НА БАЗІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

У сучасному світі міста є ключовими економічними, адміністративними та географічними центрами суспільства. Зростаючі темпи урбанізації та розвиток промисловості, науки та методів управління призводять до необхідності пошуку якісно нових рішень, нових засад взаємодії міста і його населення. Міста повинні навчитися надавати нові сервіси та задовольняти зростаючі потреби мешканців, роблячи їхнє життя комфортнішим, безпечнішим і легшим. Інакше кажучи – трансформуватись і перейти від формату «знеособленої території для виживання і задоволення базових потреб жителів» до формату «живої істоти», для якої люди є суб'єктами міського життя, з якими здійснюється інтерактивне спілкування. Для реалізації цих завдань планується використання передових технологій комунікації та обробки інформації.

У статті розкрито суть холистичної системи розумного міста, яка, об'єднуючи різні джерела даних, дає змогу отримати комплексний погляд на стан процесів міста та застосувати системний підхід до вирішення проблем міста. Описано передумови виникнення необхідності в такій системі, наявні рішення, які частково задовольняють потреби сучасних міст світу. Розглянуто основні технології, необхідні для реалізації системи, зокрема використання нейронних мереж для обробки потоків даних і генерації корисних інсайтів, Інтернету речей (IoT) для збору даних за допомогою сенсорів і датчиків, встановлених у різних частинах міста, PostgreSQL баз даних, що оптимізовані для вставки великої кількості записів і здійснення операцій агрегації, хмарної інфраструктури, яка надає потужності для розгортання серверних застосунків, інструменти аналітики даних у реальному часі та збору метрик, забезпечує надійною мережею.

Особливості проектування системи, питання вибору принципів і методологій розроблення також висвітлені в статті. Архітектура проекту повинна задовольняти низку нефункціональних вимог: система має вміти добре масштабуватись за різкого зростання трафіку користувачів, легко розгортатись у хмарному середовищі, бути стійкою до ситуацій несправностей частини компонентів і швидко відновлювати свою роботу.

Ключові слова: розумне місто, нейронна мережа, машинне навчання, Інтернет речей, аналітика великих даних, сервісна платформа.

Постановка проблеми. Сьогодні міста стикаються з великою кількістю проблем: завантаженою транспортною системою та великою кількістю автомобілів, постійним збільшенням використання електроенергії та води, погіршенням екологічної ситуації, переробкою сміття, безпекою мешканців тощо. Для вирішення певних конкретних питань приватні компанії та адміністративна влада міст уже розробили рішення, які повністю вирішують проблему чи оптимізують процес. Найчастіше вони стосуються сфери логістики, прокладання найкоротшого маршруту в місті, моніторингу якості повітря та «розумних» парковок і оперують над обмеженою множиною джерел даних. Ці вертикальні рішення важко інтегрувати між собою, відповідно, досягнувши системного погляду на ситуацію. Крім того, впровадження цих систем призводить до фрагментації технологічного стеку «розумного» міста. У цьому

криється ризик довгострокового розвитку та недоотримання максимальної користі від технологій.

На противагу горизонтальний (холистичний) підхід розглядає місто як систему, що складається з різних систем: транспортної, енергетичної, логістичної тощо. Кожна система створює різні джерела даних, які можна інтегрувати і використати для вирішення проблем населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З огляду на важливість підвищення ефективності послуг, які надає сучасне місто, питанням проектування та реалізації різноманітних систем розумного міста приділено увагу широкого кола комерційних компаній, муніципалітетів і науковців.

Більшість проєктів спрямовані на вирішення конкретного завдання в певній сфері життя міста. Наприклад, муніципалітети Хорватії реалізували проєкт NEWLIGHT у сфері «розумного» вуличного освітлення: завдяки реконструкції і модернізації

громадського освітлення в 57 містах вдалось значно зекономити енергію – на 60%, або 35 ГВт на рік. Іншим прикладом є створення платформи на базі технології блокчейн для перевірки і захисту відкритих даних міста, що включає маршрути громадського транспорту, розклад поїздів і результати голосування навколишніх громад. Ініціатором проекту була влада міста Відень разом із компанією EY, яка допомагала керувати розробленням системи та інтегрувати блокчейн-мережу в муніципальну платформу відкритих даних. З моменту запуску платформи, який відбувся в кінці 2017 року, було захищено близько 350 масивів даних за допомогою блокчейн-мереж. Мережі, що були запуснені одними з перших в Європі, захищають офіційні документи, зберігаючи хеші наборів даних у загальнодоступних блокчейн-мережах. Це дає змогу муніципальним службовцям і жителям перевіряти справжність документів, дату їхнього створення та модифікації.

Крім прикладних проектів, були досліджені публікації консалтингових компаній щодо розвитку горизонтальних платформ розумного міста. Дослідження Еріка Вудса, працівника компанії Navigant Research, розвиває ідею платформи розумного міста, яка охоплює технічні аспекти системи та новий погляд на концепцію місто-як-сервіс (city-as-a-service), що дає можливість постачальникам сервісів різних сфер господарства органічно інтегрувати свої послуги в середовище міста. Інше дослідження, яке провела компанія Beecham Research – Smart City Platforms: the Intelligent Core of Smart Cities, описує недоліки наявних вертикальних систем розумного міста, які застосовують підхід M2M для вирішення конкретних завдань, і показує, як горизонтальні системи можуть допомогти в ефективному вирішенні проблем міста. Автори публікації підкреслюють, що такий тип систем можливо реалізувати лише завдяки використанню передових технологій інформаційних систем: хмарних обчислень, технологій аналітики великих даних, розподілених систем, Інтернету речей (IoT) та машинного навчання.

Головним недоліком розглянутих публікацій є недостатність розкриття питань проектування системи розумного міста, її реалізації та впровадження в реальних умовах міст.

Постановка завдання. Метою статті є аналіз проектування та розроблення системи розумного міста, яка являтиме собою технологічну платформу, що оперує сигналами і даними в одному

стандарті, з взаємопов'язаними потоками і базами даних; а також створення публічного API (прикладного програмного інтерфейсу), що дало б змогу новим «розумним» рішенням міста підключитись до платформи.

Виклад основного матеріалу дослідження. За комплексного та інтегрованого підходу до проектування «розумне» місто може бути представлено у вигляді структури, що складається з чотирьох рівнів, починаючи від базової інфраструктури і закінчуючи додатками та послугами.

Рівень 1: Базова інфраструктура, яка є фундаментальним чинником, що сприяє розвитку «розумного» міста. Включає в себе телекомунікації, транспорт, енергетичну систему, вуличне освітлення, водопостачання і водовідведення.

Рівень 2: Формує міську IoT-екосистему. Складається з підключених датчиків, об'єктів і пристроїв, які аналізують поведінку користувачів і міжмашинну взаємодію.

Рівень 3: Хмарна платформа, яка займається аналізом і обробкою великих даних, створених на попередніх рівнях. Забезпечує корисною інформацією та інсайтами, які можуть використовуватись для покращення послуг.

Рівень 4: Прикладні застосунки, з якими взаємодіють кінцеві користувачі – жителі міста, і які надають «розумні» послуги.

Як уже зазначалось вище, вертикальні системи «розумного» міста вирішують конкретну проблему певної сфери господарства, важко інтегруються між собою та призводять до фрагментації технологічного стеку міста. Якщо дані зберігаються в розрізних системах і базах даних з обмеженим доступом у різних форматах, організації не можуть ефективно ділитися й аналізувати дані та отримувати максимальну цінність від їхньої обробки. Саме тому пропонується створення єдиної платформи, що оперує сигналами і даними в одному стандарті, із взаємопов'язаними потоками і базами даних.

Одним із найважливіших завдань під час створення холістичної системи «розумного» міста є проектування правильної архітектури. Розроблювана платформа повинна вміти обробляти велику кількість даних, які будуть генерувати датчики та «розумні» пристрої, зберігати неструктуровані дані, надавати інструментарій для аналізу та візуалізації даних, вміти знаходити корисні інсайти завдяки використанню алгоритмів машинного навчання та реагувати на події в режимі реального часу.

Архітектура системи представлена на рис. 1.

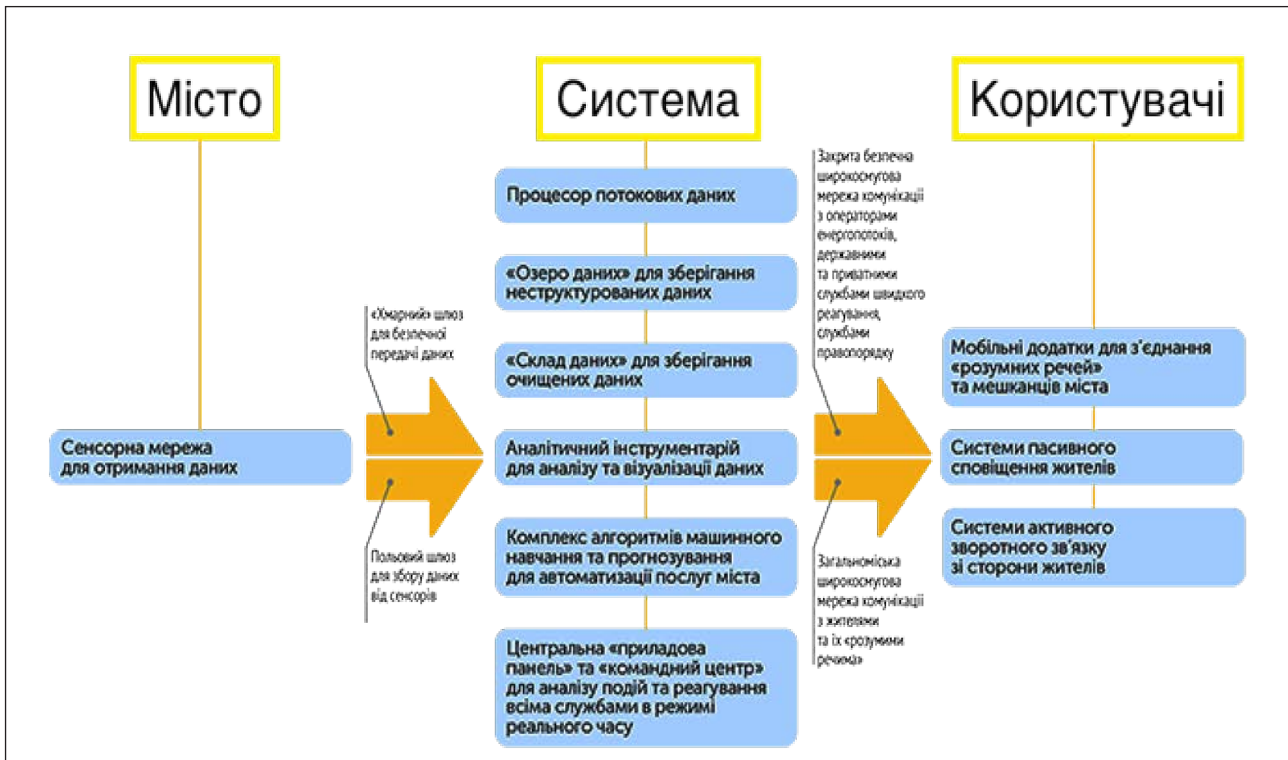


Рис. 1. Архітектура системи розумного міста

Детальніше розглянемо компоненти системи. Місто.

Для того аби місто ефективно реагувало на будь-які події, надзвичайні ситуації та задовольняло запити мешканців, системі потрібно надати достатню кількість джерел даних. Для цього планується використовувати датчики, сенсори та інші «розумні» пристрої, які через безпечні канали зв'язку будуть надсилати дані для подальшої обробки. Для розв'язання цього завдання вирішено застосувати технології Інтернету речей (IoT), зокрема:

- технології ідентифікації «розумних» пристроїв: RFID мікросхеми, засоби автоматичної ідентифікації (оптичні ідентифікатори: Data Matrix, QR-коди), засоби визначення місцезонашування в режимі реального часу (GPS);
- сенсори для відстеження змін середовища: датчики температури, освітленості, тиску; лічильники електроенергії, витрат води; камери.
- вбудовані комп'ютери (наприклад, моделі Raspberry Pi, Intel Edison).
- технології бездротових мереж (Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, 6LoWPAN).

Система.

Процесор потокових даних. Інформація з датчиків надходитиме в сервіс-брокер повідомлень, який являє собою розподілену платформу потокової обробки даних. Цей модуль складається з

категорій повідомлень, на які можна підписатись підсистемам, що займаються власне створенням корисної послуги. Для цієї мети планується використання Apache Kafka – платформи, яка підтримує горизонтальне масштабування і механізм publish-subscribe.

Зберігання неструктурованих даних. «Озеро неструктурованих даних» являє собою noSQL базу даних, яка оптимізована для вставки великої кількості записів і здійснення операцій агрегації. Такі системи добре масштабуються горизонтально та можуть розгортатись на кластері машин. Запити, які охоплюють великі масиви даних, виконуються швидко та є ефективними.

Аналіз і візуалізація даних. Для того, аби отримати комплексний погляд на стан процесів міста, планується розробити сервіс, який надасть можливість проводити аналіз даних та їх візуалізацію. В режимі реального часу адміністратори платформи зможуть отримати стан процесів міста.

Система прогнозування та отримання інсайтів. Завдяки використанню алгоритмів машинного навчання (керованого з тренуванням на множині визначених тестових даних і некерованого) і систем нейронних мереж платформа зможе краще задовольняти потреби користувачів.

Обробка подій. Різні модулі системи можуть генерувати об'єкти-події, які будуть обробляться

у режимі реального часу. Це важливо під час реагування на надзвичайні, аномальні ситуації, які можуть виникнути (наприклад, аварія на дорозі, погіршення стану повітря, аварія в системі водопостачання чи електромережі).

Модуль для інтеграції сторонніх «розумних» рішень. Визначає публічний API системи; дає змогу стороннім програмним застосункам використовувати дані платформи для вирішення проблем міста.

Користувачі.

Мешканці міста зможуть взаємодіяти із системою завдяки використанню програмних застосунків (вебсервісів, мобільних додатків), які надаватимуть різноманітні сервіси: пошук вільного місця для паркування автомобіля, прокладання найкоротшого маршруту в місті, перевірка стану повітря, отримання сповіщень тощо.

Хмарна інфраструктура. Для розгортання численних сервісів платформи планується використовувати послуги хмарних провайдерів, які працюють за моделлю «платформа-як-сервіс» (PaaS – platform-as-a-service). Такі провайдери надають засоби оркестрації сервісів, балансування навантаження, моніторингу стану ресурсів, які використовуються, а також горизонтального масштабування під час зростання трафіку запитів користувачів. Вони вирішують питання підтримки фізичної інфраструктури (серверних машин), операційних систем і версій програмного забезпечення. Використання хмарних про-

вайдерів для розгортання компонентів платформи спростить впровадження системи в містах і дасть змогу заощадити кошти.

Висновки. Проаналізувавши дослідження в напрямі розвитку систем «розумного» міста було вирішено спроектувати та розробити холістичну платформу, яка здатна працювати з різними джерелами даних та інтегрувати їх для кращого вирішення проблем сучасних міст. У роботі показано, як використання передових інформаційних технологій, зокрема машинного навчання та Інтернету речей, робить можливим розроблення такої системи. Завдяки використанню методів машинного навчання можна автоматизувати більшість процесів сучасних міст і покращити якість послуг, які надаються населенню. Імплементация концепцій Інтернету речей дасть змогу отримати цінні дані щодо стану процесів і подій, які відбуваються в місті.

Головними перспективними напрямками вдосконалення системи є інтеграція з державними службами, правоохоронними органами. Розроблення нейронних мереж, їх конфігурація та оптимізація – це ітераційний процес, який вимагає декількох етапів. Нарешті, покращення інструментів моніторингу також важливий аспект, який потребує уваги. Крім того, потрібно розробити стратегію впровадження системи в містах, адже для запуску роботи платформи місто має підготувати відповідну фізичну інфраструктуру: встановити різноманітні датчики, сенсори, оновити систему вуличного освітлення тощо.

Список літератури:

1. Головкин В. Нейронные сети: обучения, организация и применение. Москва : ИПРЖР, 2008.
2. Імас О., Бугар А. Теорія рішень «розумного» міста та можливості її реалізації на базі єдиної муніципальної платформи. 2019. URL: <https://hub.kyivstar.ua/ua/teoriya-resheniy-umnogo-goroda-i-vozmozhnosti-ee-realizatsii-na-baze-edinoj-munitsipalnoy-platfomyi>.
3. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей. Изд-во : Вильямс, 2002, 287 с.
4. Крислов В. Представление исходных данных в задачах нейросетевого программирования. Одесса : ОНПУ, 2003.
5. From transport to street lighting: The emergence of smart city platforms. URL: <https://www.euractiv.com/section/digital/opinion/tue-from-transport-to-street-lighting-the-emergence-of-smart-city-platforms>.
6. Greengard S. The Internet of Things. MIT Press, 2015, 230 p.
7. Harrison C., Eckman B., Hamilton R. Foundations for Smarter Cities. *IBM Journal of Research and Development*. 2010. Vol. 54. P. 1–16.
8. Kapoor A. Hands-On Artificial Intelligence for IoT: Expert machine learning and deep learning techniques for developing smarter IoT systems. Packt Publishing, 2019. 390 p.
9. Kranz M. Building the Internet of Things: Implement New Business Models, Disrupt Competitors, Transform Your Industry. Wiley, 1 edition, 2016. 272 p.
10. Slama D., Puhmann F., Morrish J., Bhatnagar R.M. Enterprise IoT: Strategies and Best Practices for Connected Products and Services. O'Reilly Media; 1 edition, 2015. 492 p.
11. Smart City Platforms: The Intelligent Core of Smart Cities. Beecham Research, 2015. URL: <http://beechamresearch.com/download.aspx?id=44>.
12. Stackowiak R. Big Data and The Internet of Things: Enterprise Information Architecture for A New Age. Apress; 1st ed. edition, 2015. 220 p.

13. Washburn D., Sindhu U., Balaouras S. Helping CIOs Understand “Smart City” Initiatives: Defining the Smart City, Its Drivers, and the Role of the CIO. Cambridge, MA, Forrester Research Inc., 2010.

14. Woods E. Smart City Platforms: IoT, Digital Solutions, and Data Technologies Enabling the City as a Service. Navigant Research, 2018. URL: <https://www.navigantresearch.com/reports/smart-city-platforms>.

Rospopa P.P. SMART CITY SYSTEM BASED ON NEURAL NETWORKS

In today's world cities are key economic, administrative, and geographical centers of society. The increasing pace of urbanization and the evolution of industry, science and management methods leading the need to find qualitatively new solutions, new foundations of interaction between city and its population. Cities need to learn how to provide new services and meet the growing needs of residents making their lives more comfortable, safer and easier. In other words, transform and turn from a form of “impersonal territory for survival and satisfaction of basic needs of inhabitants” to a form of “living creature” for which people are subjects of urban life with whom interactive communication is carried out. It is planned to use advanced communication and information processing technologies to accomplish these tasks.

The publication reveals the essence of a holistic smart city system which combines different data sources, allows to get a comprehensive view of the city processes and apply a systematic approach to city problem solving. The prerequisites for the need for such a system along with available solutions that partially meet the needs of modern cities in the world are described. The publication contains information about foundational technologies needed to implement the system including the use of neural networks to process data flows and generate useful insights, the Internet of Things (IoT) to collect data using sensors and controllers installed in different parts of the city, noSQL databases which are optimized for insertion of large number of records and performing aggregation operations, cloud infrastructure that provides deployment capabilities for server applications, real-time data analytics and metrics collection tools, reliable network.

System design, selected development principles and methodologies are also covered in given research. The architecture of the project must meet a number of non-functional requirements: the system must be able to scale well with a sharp increase in user traffic, be easily deployable in a cloud environment, recoverable and resilient to component malfunctions.

Key words: *Smart City, neural network, machine learning, Internet of Things, big data analytics, service platform.*