

ДМИТРОЦА ЛЕСЯ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

<https://orcid.org/0000-0003-2583-3271>e-mail: [dmytrotsa.lesya@gmail.com](mailto:dmytrotsa.lesya@gmail.com)

ПАЛКА ОЛЕГ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

<https://orcid.org/0000-0001-5607-279X>e-mail: [poleg1997@gmail.com](mailto:poleg1997@gmail.com)

## АНАЛІЗ МІКРОСЕРВІСНОЇ АРХІТЕКТУРИ «РОЗУМНОГО МІСТА»

Останнім часом концепція «Розумних міст» була значно вдосконалена разом із зростанням і розвитком Інтернету речей як нової форми сталого розвитку. Розумні міста покладаються на незалежну та розподілену інфраструктуру, яка включає системи обробки та керування інформацією, різноманітну мережеву інфраструктуру та чутливість, яка включає мільйони джерел інформації. Однак через постійне зростання обсягу даних та кількості підключених IoT-пристроїв, такі проблеми, як високі затримки, бар'єри пропускної здатності, безпека та конфіденційність, а також масштабованість, виникають у результаті поточної побудови мережі розумного міста. Розробка ефективної, безпечної та масштабованої розподіленої архітектури шляхом наближення ресурсів комп'ютера та сховища до кінцевої точки необхідна для подолання обмежень сучасної мережі розумного міста.

У цій статті продемонстровано, як можна використовувати мікросервісну архітектуру мікросервісів для створення послуг Інтернету речей для мультимобільності в розумному місті.

**Ключові слова:** інтернет речей, IoT, розумне місто, мікросервісна архітектура, давач, COAP, HTTP.

DMYTROTSA LESIA, PALKO OLEH

Ternopil Ivan Pulyu National Technical University

## ANALYSIS OF THE MICROSERVICE ARCHITECTURE OF THE SMART CITY

Recently, the concept of "Smart Cities" has been significantly improved along with the growth and development of the Internet of Things as a new form of sustainable development. Smart cities rely on an independent and distributed infrastructure that includes information processing and management systems, a diverse network infrastructure, and a sensitivity that includes millions of information sources. However, due to the ever-increasing amount of data and the number of connected IoT devices, issues such as high latency, bandwidth barriers, security and privacy, and scalability are the result of the ongoing construction of a smart city network. Developing an efficient, secure, and scalable distributed architecture by bringing computer resources and storage closer to the endpoint is necessary to overcome the limitations of today's smart city network. There are many types of smart services that aim to automate and perform repetitive routine tasks. In addition, they come in different forms depending on the city's population, culture, including the level of awareness of citizens, geography, and schedule. Not to mention, on a micro-technical level, they tend to create large data sets with fast continuous execution, thus falling into the category of big data, and therefore can be a source of analytical data. Microservice architectures are born as a solution to this problem. By implementing a single small function that is confined to a running process, independent microservices can be deployed separately in a distributed system. In the context of mobility in a smart city, a service meets the need of a citizen who needs to move from one part of the city to another or provides useful information for the same purpose.

In this article, we demonstrate how microservice architecture can be used to create IoT services for multimobility in a smart city.

**Keywords:** Internet of Things, IoT, smart city, microservice architecture, sensor, COAP, HTTP.

### Вступ

Концепція розумного міста зародилася на початку 1990-х років [1,2]. Американські ІТ-компанії винайшли цей термін, щоб описати нові інструменти ІКТ, спрямовані на вирішення проблем великих мегаполісів, тобто вирішення проблем, пов'язаних не тільки з управлінням перевезеннями і транспортом, але й з утилізацією відходів, ефективністю мереж розподілу енергії та води, а також безпеки та здоров'я громадян [3]. Дана концепція широко асоціюється зі створенням урбанізованого міста, яке використовує різні технології та електронні давачі для збору даних, які зазвичай класифікуються як Інтернет речей (IoT) [4]. Уявлення, отримані із зібраної інформації, використовуються для ефективного управління багатьма ресурсами, активами та послугами, покращуючи тим самим діяльність, що забезпечує корпоративну стійкість [5] (з огляду на чотири характеристики стійкості, що впливають на екологічну, соціальну, людську та економічну сфери) та якість послуг у цілому місті [6].

Розумні міста сприяють сталому та придатному для життя міському майбутньому, роблячи розумну мобільність невід'ємною частиною порядку денного розумного міста. З точки зору мобільності, як еволюції спільної мобільності [7], мобільності з урахуванням статі чи попиту [8,9], а також еволюції електричної мобільності та супутньої інфраструктури [10] вони є стратегіями для оптимізації подорожей з метою забезпечення більшої стійкості, особливо якщо вони пов'язані з розвитком цифрових платформ мобільності як послуги (MaaS) для ілюстрації вибору мобільності для користувачів [11].

Інтернет речей – це гігантський ринок, і він продовжує рости в багатьох галузях по всьому світу, і стає міцною індустрією, яка формує сучасний світ і повсякденне життя. Термін розумний застосовується, коли група давачів мікроконтролера працює разом і обмінюється даними по всій мережі для досягнення мети, для якої створена система, частиною якої вони є (Pradeep and Shashikala 2019). Крім того, оскільки

обсяг даних величезний, останній зазвичай є частиною кількох циклів, які відображаються у візуально зрозумілих для людини графіках, щоб стежити за еволюцією суб'єктів [12].

Існує багато типів розумних сервісів, які спрямовані на автоматизацію та виконання повторюваних рутинних завдань. Крім того, вони поставляються в різних формах залежно від населення міста, культури, включаючи рівень обізнаності громадян, географію та розклад. Не кажучи вже про те, що на мікротехнічному рівні вони, як правило, створюють великі набори даних з швидким безперервним виконанням, таким чином, вони входять до категорії великих даних, і тому вони можуть бути джерелом аналітичних даних.

У традиційній практиці розумного міста велика кількість розумних додатків і широкий спектр розробок дозволяють легко втратити увагу в міському плануванні та розвитку. Більше того, регіональні відмінності в розвитку промисловості та ресурсів заважають загальному виконанню. Величезний масштаб інвестицій, недостатня чіткість бізнес-моделі, суперечливі технічні стандарти та серйозна фрагментація даних та інформації додали труднощів у сприянні синергії в розвитку розумного міста, створюючи виклик міським менеджерам, будівельникам та операторам [13].

Саме тому метою даної статті є проведення аналізу архітектур розумного міста для порівняння алгоритмів та програмної реалізації міських рішень із можливістю їх подальшого впровадження та наявності вже реалізованих в Україні.

### **IoT та архітектура мікросервісів для багатофункціональної мобільності в розумному місті**

У сучасних системах, як правило, централізована архітектура відповідає за пропозицію однієї або кількох послуг для користувача, тоді як необхідні дані виробляються набором пристроїв, розгорнутих у різних місцях. Одним із способів отримати доступ до цих даних зазвичай є хмарні централізовані платформи SOA (Service-Oriented Architecture) [14-16], які надають API (інтерфейс прикладного програмування) з використанням найпоширеніших протоколів IoT, таких як HTTP і MQTT [17].

На сьогоднішній день централізовані архітектури є успішними сучасними технологіями, але будучи монолітними рішеннями, вони не можуть запропонувати гнучкість, необхідну для ефективної роботи з неоднорідними пристроями. Часто вони складаються з трьох основних частин: інтерфейсу користувача на стороні клієнта, бази даних і серверного додатка. Зміни в системі вимагають створення та розгортання нової версії кожного компонента.

Мікросервісні архітектури народжуються як рішення цієї проблеми. Завдяки реалізації однієї невеликої функції, обмеженої в межах запущеного процесу, незалежні мікросервіси можуть бути розгорнуті окремо в розподіленій системі. Таким чином, зміни програмного забезпечення повинні виконуватися лише на деяких мікросервісах, тоді як інші можуть продовжувати надавати відповідні функції. З тієї ж причини архітектури мікросервісів також є більш стійкими, оскільки загальні проблеми обмежуються окремими процесами, тоді як у монолітних системах, якщо компонент виходить з ладу, часто все перестає працювати. Проте в розподілених системах з'являються нові джерела відмов [18].

Ще однією перевагою мікросервісних архітектур є те, що вони призначені для розподілених масштабованих систем, тобто кожен мікросервіс – це незалежно запущений процес. Таким чином вони досягають більш ефективного управління ресурсами, створюючи більше екземплярів лише тих мікросервісів, які забезпечують найбільш затребувані функціональні можливості, замість того, щоб беззастережно повторно створювати всі програми [19]. Це дуже важливо в програмах розумних міст, орієнтованих на громадян, де кількість користувачів, яка, очевидно, пропорційно пов'язана з робочим навантаженням, відіграє головну роль і може значно відрізнитися. З іншого боку, вони вимагають додаткових зусиль для розподілу системи та належного балансу масштабованості.

З огляду на ці аспекти, щоб подолати раніше обговорювані обмеження централізованих архітектур SOA, приймаємо парадигму мікросервісів для розробки архітектури для додатків IoT і розумних міст.

Мікросервісна архітектура, яку розглянемо у цій статті, а саме СМС-IoT, здатна інтегрувати різноманітні пристрої IoT та послуги. У контексті мобільності в розумному місті послуга задовольняє потребу громадянина, який має переїхати з однієї частини міста в іншу або надавати корисну інформацію з цією ж метою. Типовими прикладами є системи громадського транспорту, послуги спільного користування, а також системи моніторингу руху та паркування тощо. Ці послуги складаються з менших об'єктів, які називаються пристроями, які забезпечують лише частину функціональних можливостей сервісу та мають конкретне місце розташування в місті. Прикладами останніх є автобусні зупинки, паркінги, станції спільного користування та інші. СМС-IoT надає базові послуги, які можуть бути незалежно розгорнутими та слабо пов'язаними. Кожен мікросервіс працює у своєму власному процесі, взаємодіє з полегшеними механізмами [18], такими як API ресурсу HTTP, і керує важливими операціями. СМС-IoT є розгалужувачем і розширює СМС.

### **Набір мікросервісів СМС**

Перший набір мікросервісів, який був спроектований і розроблений, пропонує функції авторизації токенів для доступу до захищених кінцевих точок мікросервісів. Відповідно до типу актора (інший мікросервіс, користувач або зовнішній додаток) надаються різні дозволи [20]. Ці компоненти реалізують функції, загальні для багатьох додатків, не специфічні для IoT, які також можна повторно використовувати в інших проєктах. Мікросервіси, що складаються з СМС:

- Cmc Auth – це генератор токенів, який захищає мікросервіси від несанкціонованого доступу

за допомогою техніки аутентифікації на основі токенів. Cmc Auth генерує різні типи токенів, що забезпечують доступ до певних кінцевих точок захищених мікросервісів. Можна створити три типи токенів:

- Мікросервісний токен, щоб отримати доступ до будь-якого ресурсу, доступного мікросервісами, і дозволити зв'язок і обмін даними між ними;
- Користувачський токен, щоб отримати доступ до ресурсів для послуг, пов'язаних із користувачами;

- Програмний токен для доступу до ресурсів із сторонніх програм загального призначення.

- Cmc App керує реєстрацією ресурсів і програм, а також наступною фазою входу. Коли ресурси або програми входять в систему, Cmc App запитує токен програми для Cmc Auth. Cmc App випускає токен заявнику, який може отримати доступ до будь-якого захищеного мікросервісу (див. на рис. 1). Крім того, CMC Auth керує будь-яким правилом авторизації для доступу до певного мікросервісу.

- Cmc User керує доступом користувачів до захищених мікросервісів. Користувачі можуть увійти за допомогою облікових даних, щоб отримати токен користувача. Цей токен може використовуватися лише власником конкретних ресурсів, пов'язаних із захищеними мікросервісами.

На рис. 1 наведено приклад процедури авторизації. Мікросервіси MS1, MS2 і MS3 надають доступ сторонньому додатку.

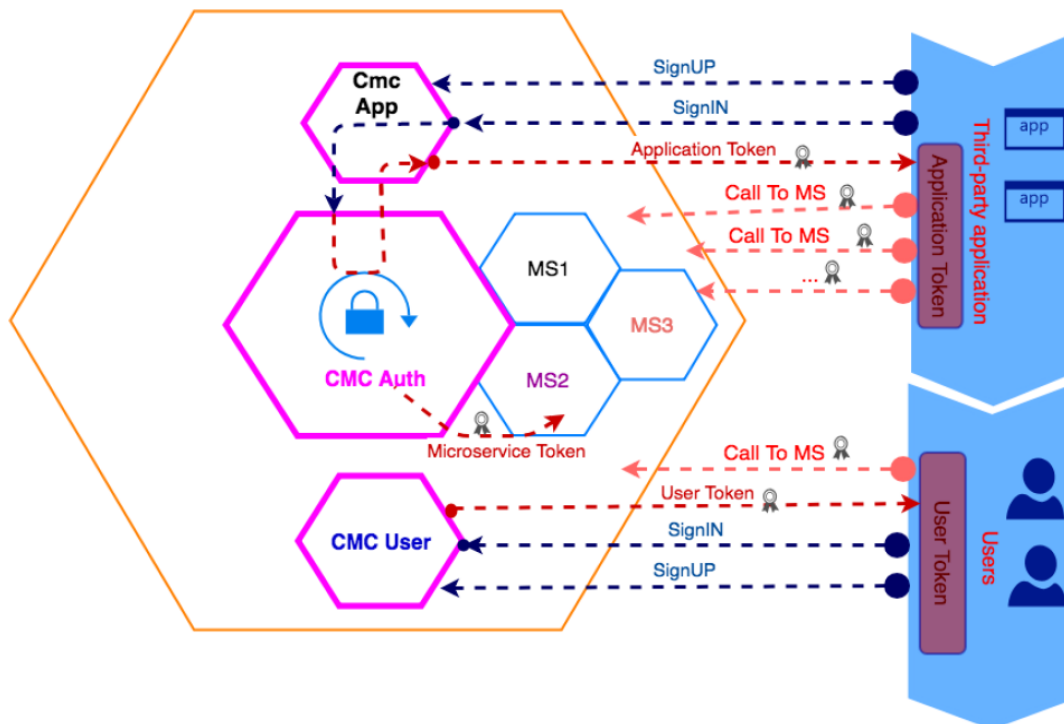


Рис. 1. Типовий варіант використання CMC

Програма має право викликати ці мікрослужби через програмний токен. Коли термін дії токена закінчиться, програма або користувач повинні знову увійти в систему. Така ж процедура використовується для аутентифікації та авторизації доступу користувача до одного або кількох мікросервісів.

CMC пропонує лише представлені основні функції, але їх можна легко розширити новими функціями за допомогою доступних плагінів. Завдяки такому підходу CMC-IoT був розроблений, починаючи з архітектури CMC, щоб мати повну систему, більш придатну для IoT та додатків розумного міста.

### Набір мікросервісів CMC-IoT

CMC-IoT складається з наступних додаткових мікросервісів, специфічних для IoT:

- Cmc Devices керує функціями пристрою, забезпечуючи операції REST CRUD (Створення, читання, оновлення, видалення). Кожен пристрій повинен мати унікальний ідентифікатор для однозначної ідентифікації (наприклад, mac-адреса), категорію та конектор. За бажанням також можна вказати його геолокацію та псевдонім. Пристрої можуть читати з і записувати на пристрій Cmc за допомогою REST API.

- Cmc History зберігає та витягує історичні дані, створені пристроями. Крім того, він дозволяє фільтрувати та шукати дані за ідентифікатором пристрою, часом, категорією пристрою, типом конектора та іншим. У разі збою пристрою можна відновити останні доступні дані.

- Cmc Persistence – це планувальник для пристроїв загального призначення, які безпосередньо не надають свої дані CMC-IoT. Він виконує зчитування даних за допомогою пристроїв Cmc і збереження даних через історію Cmc.

Пристрій зв'язується з CMC-IoT через пристрої CMC. Після звільнення токена дані пристрою можна надсилати або читати. Cmc Devices використовує основні функції CMC для перевірки токенів і

авторизації запитів на зареєстрованих пристроях [20].

З одного боку, Cmc Devices безпосередньо підтримує прямий зв'язок пристроїв, що сумісні з найпоширенішими протоколами, такими як HTTP, MQTT 5, COAP (Constrained Application Protocol) та іншими. З іншого боку, конектор реалізує такі функції шлюзу IoT, як трансляція протоколів, коли використовуються незвичайні протоколи, і агрегація даних, коли набір фізичних давачів виробляє додаткові дані, які необхідно об'єднати разом, щоб отримати повну інформацію.

На рис. 2 наведено як пристрої взаємодіють із CMC-IoT.

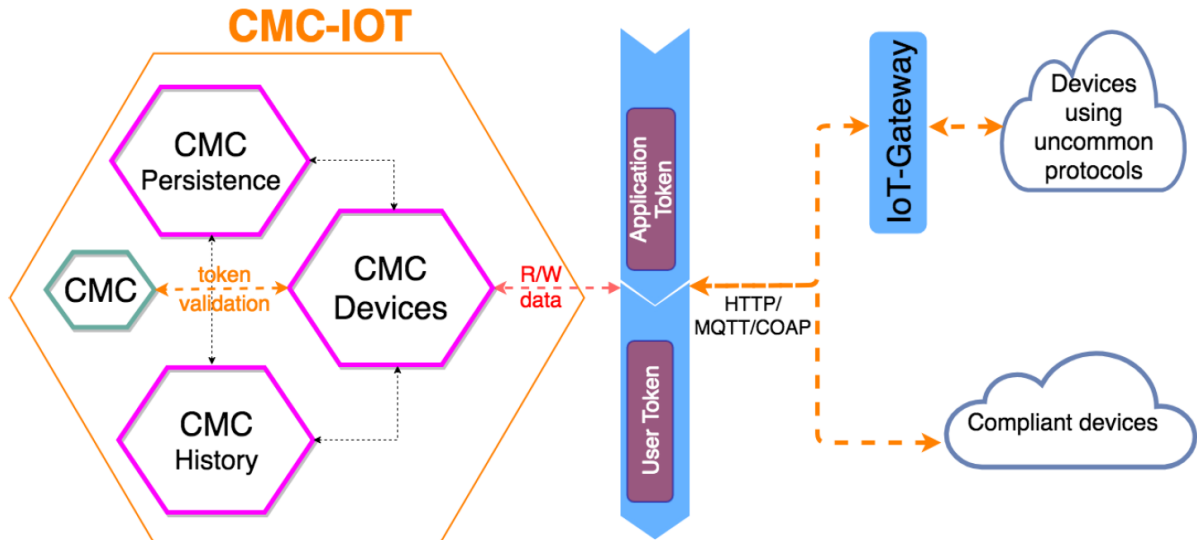


Рис. 2. Взаємодія пристроїв із CMC-IoT

В Україні також відбувається розвиток елементів розумності у містах та активно впроваджується дана архітектура (див. на рис. 3).

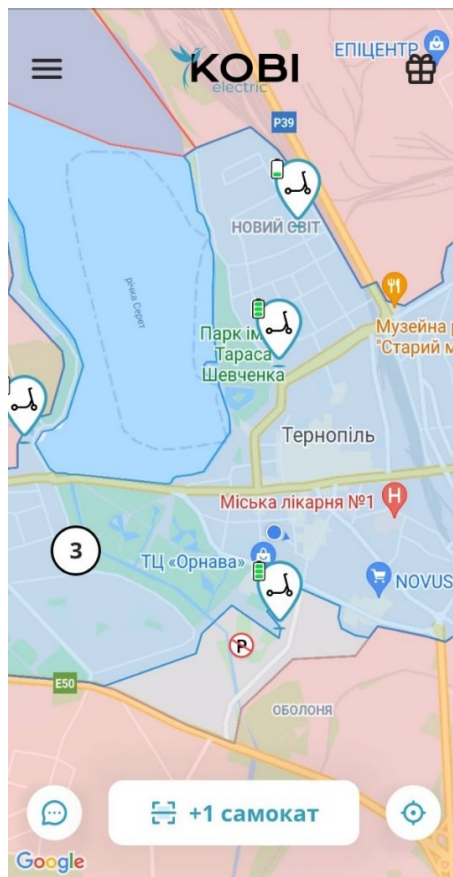


Рис. 3. Застосування CMC-IoT архітектури в Україні

Активного поширення в українських містах набуває оренда електросамокатів KOBİ electric, адже це зручно, швидко, а головне – екологічно. Кожен самокат містить GPS-давач, який забезпечує його

відстеження у режимі реального часу. Авторизація користувача здійснюється через логін (номер мобільного телефону) і пароль (SMS-підтвердження), користувач отримує авторизаційний токен і доступ до функціоналу мобільного застосунку для того, щоб знайти самокат поблизу власного місця перебування.

### Висновки

У роботі проведено аналіз досліджень з питань вибору архітектури розумного міста засвідчив їх актуальність та практичну цінність, адже їх використання передбачає забезпечення комфортних умов для життєдіяльності як мешканцям міста так і вдалій обробці та безпечному зберіганню даних. Продемонстровано, що нові мікросервіси можна легко створювати, модифікувати та розгортати незалежно від решти системи, що дозволяє прискорити процес розробки. У міру розвитку та процвітання IoT на різних пристроях буде генеруватися більше даних у контексті розумних міст.

### Література

1. Dr. Chaitanya Singha, Dr. Rohit Tripathib, Dr. Ranjan Walia c, Ms. Deepika Chauhand, and Ms. Anju Asokane: Blockchain and IOT integrated Smart City Architecture, Turkish Journal of Computer and Mathematics Education, Vol.12 No.9 (2021), 62-69
2. Gibson, D.V.; Kozmetsky, G.; Smilor, R.W. The Technopolis Phenomenon: Smart Cities, Fast Systems, Global Networks; Rowman & Littlefield: Lanham, MD, USA, 1992.
3. Mouton, M.; Ducey, A.; Green, J.; Hardcastle, L.; Hoffman, S.; Leslie, M.; Rock, M. Towards 'Smart Cities' as 'Healthy Cities': Health equity in a digital age. Can. J. Public Health 2019, 110, 331–334. [CrossRef] [PubMed] <https://link.springer.com/article/10.17269%2Fs41997-019-00177-5>
4. Hashem, I.A.T.; Chang, V.; Anuar, N.B.; Adewole, K.; Yaqoob, I.; Gani, A.; Ahmed, E.; Chiroma, H. The role of big data in smart city. Int. J. Inf. Manag. 2016, 36, 748–758. [CrossRef]
5. Rozario, S.D.; Venkatraman, S.; Chu, M.-T.; Abbas, A. Enabling corporate sustainability from a talent acquisition perspective. J. Sustain. Res. 2020, 2, e200014.
6. Zubizarreta, I.; Seravalli, A.; Arrizabalaga, S. Smart city concept: What it is and what it should be. J. Urban Plan. Dev. 2016, 142, 04015005. [CrossRef]
7. Torrisi, V.; Campisi, T.; Inturri, G.; Ignaccolo, M.; Tesoriere, G. Continue to Share? An Overview on Italian Travel Behavior Before and After the COVID-19 Lockdown. In Computational Methods In Sciences And Engineering, Proceedings of the International ICCMSE, Starkville, MS, USA, 2021.
8. Campisi, T.; Canale, A.; Ticali, D.; Tesoriere, G. Innovative Solutions for Sustainable Mobility in Areas of Weak Demand. Some Factors Influencing the Implementation of the DRT System in Enna (Italy). In Computational Methods In Sciences And Engineering, Proceedings of the International ICCMSE, Starkville, MS, USA, 7–9 May 2020; AIP Publishing LLC: Melville, NY, USA, 2021.
9. Al-Rashid, M.A.; Nahiduzzaman, K.M.; Ahmed, S.; Campisi, T.; Akgün, N. Gender-Responsive Public Transportation in the Dammam Metropolitan Region, Saudi Arabia. Sustainability 2020, 12, 9068. [CrossRef]
10. Campisi, T.; Ignaccolo, M.; Inturri, G.; Tesoriere, G.; Torrisi, V. The Growing Urban Accessibility: A Model to Measure the Car Sharing Effectiveness Based on Parking Distances; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2020.
11. Canale, A.; Tesoriere, G.; Campisi, T. The MAAS development as a mobility solution based on the individual needs of transport users. AIP Conf. Proc. 2019, 2186, 160005.
12. W.Basmi, A.Boulmakoul, L.Karim & A.Lbath Distributed and scalable platform architecture for smart cities complex events data collection: Covid19 pandemic use case Volume 12, pages 75–83, (2021).
13. Deloitte China, 5G smart cities whitepaper, June 2020
14. I. Abdul-Rahman and C. A. Graves. Internet of things application using tethered msp430 to thingspeak cloud. In SOSE, pages 352–357. IEEE Computer Society, 2016.
15. Lai, A. Pintus, and A. Serra. Using the web of data in semantic sensor networks. In L. Barolli and O. Terzo, editors, Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems CISIS 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 611. Springer, Cham, pages 106–116, 2018.
16. Perera, A. Zaslavsky, P. Christen, and D. Georgakopoulos. Sensing as a service model for smart cities supported by internet of things. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 25(1):81–93.
17. H. Ngu, M. Gutierrez, V. Metsis, S. Nepal, and Q. Z. Sheng. Iot middleware: A survey on issues and enabling technologies. IEEE Internet of Things Journal, 4(1):1–20, Feb 2017.
18. S. Newman, Building Microservices. O'Reilly Media, Inc., 2015.
19. N. Dragoni, I. Lanese, Larsen, S. T., M. Mazzara, R. Mustafin, and Safina, L. (2018). Microservices: How to make your application scale. In Petrenko, A. K. and Voronkov, A., editors, Perspectives of System Informatics, pages 95–104, Cham. Springer International Publishing.
20. Cristian Lai, Francesco Boi, Alberto Buschetti, Renato Caboni IoT and Microservice Architecture for Multimobility in a Smart City, FiCloud2019, page 1-5, 2019.