УДК 621.391

FOG-МЕРЕЖА З АДАПТИВНОЮ СИСТЕМОЮ УПРАВЛІННЯ

DOI 10.36994 / 2788-5518-2022-01-03-05

Уривський Л.О. *д.т.н., проф. Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, Київ,Україна.leonid_uic@ukr.net*

Осипчук С.О. *к.т.н., доц. Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна. serg.os@ieee.org*

Будішевський О.В. *Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна. ab@it-services.kiev.ua*

Анотація: *У статті розглядається архітектура FOG-мережі із адаптивною системою управління (АСУ). Підкреслюється, що впровадження технологій інтернету речей (IoT) викликає зростання*
обсягів трафіку та флуктуацій, при цьому трафік має бути оброблений із мінімальними затримками, щоб прийняти вірні рішення виходячи із змісту трафіку IoT. Прийняття рішень відбувається за допомогою АСУ.

Ключові слова*: FOG-мережа, адаптивні системи управління, ресурси мережі*

.

FOG-NETWORK WITH ADAPTIVE CONTROL SYSTEM

Leonid Uryvsky*, Dr. habil., Prof. Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute, Kyiv, Ukraine.*leonid_uic@ukr.net

Serhii Osypchuk*, Ph.D, Ass. Prof. Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute, Kyiv, Ukraine.* serg.os@ieee.org,

Oleksander Budishevskyi*. Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute, Kyiv, Ukraine. ab@it-services.kiev.ua*

Abstract: *FOG is defined as a decentralized computing infrastructure in which data, computing units, and applications take place between cloud and data sources, and the resources of such network are used to store and process data, with access to data locally and over the Internet. FOGs are characterized by proximity to end users, pooling of local resources, reduction of delays, and capacity savings of the backbone network. Any device equipped with computing, storage, and communication facilities can be a FOG network node. Limited network, storage and computing resources necessitate the creation of an efficient and optimal system for managing such resources – adaptive control system (ACS), which will manage requests and data from IoT devices by expanding or reducing network resources or keeping the current amount of computing resources required to process incoming traffic to minimize losses of data generated in the network. The problem which is solved by the proposed network establishing schematic is keeping and transmitting all the data generated in FOG network to minimize the volume of data loss, at the same time utilizing the FOG network resources as minimum required, but sufficient. Control system is systematized set of means of influence on the controlled object aimed to reach a certain goal by that object. The control system's object can be as technical objects, as people as well. An object of control system may be assembled from other objects, that may have the stable structure of interrelations. In this paper the FOG network architecture with adaptive control system (ACS) is proposed. It is emphasized that the provision of IoT technologies causes traffic increase and fluctuations, while this traffic must be processed with minimal delays in order to make the right decisions based on the IoT traffic content. Decision making is performed by ACS.*

Key words: *FOG network, adaptive control system, network resources.*

Вступ

З часів розробки технологій обробки великих даних (Big Data) та комп'ютерних мереж з'явилися різноманітні парадигми розподілених комп'ютерних мереж: *хмара, туман, край* (*Clouds, FOG, Edge)*. Парадигма *FOG* займає *проміжне місце* між Cloud та Edge; в той час як розташована якомога ближче до пристроїв *Edge*, FOG частково має можливості зберігання даних та обчислювальні можливості, які має *Cloud*. Збирання даних з пристроїв IoT та обробка тих даних у мережі FOG дозволяє *уникнути* певної ситуації, *управляти* нею або *врегулювати* її наслідки якомога швидше.

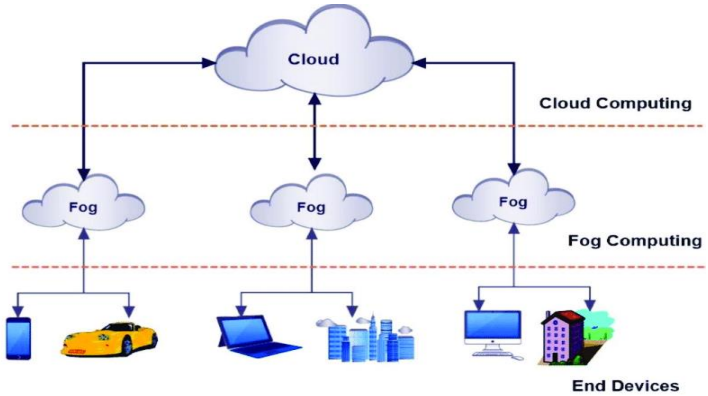

Рис. 1. Місце мережі FOG в телекомунікаційній інфраструктурі. Рівні трьох основних комп'ютерних парадигм: cloud, fog, edge

FOG визначається як *децентралізована* обчислювальна інфраструктура, у якій *дані*, *обчислювальні блоки* та *застосунки* розташовані *проміж хмарою* та *джерелами даних*, та ресурси такої мережі використовуються для *зберігання* та *обробки* даних, із доступом до даних як локально та у мережі Інтернет [9]. FOG-и характеризуються близькістю до кінцевих користувачів, об'єднанням локальних ресурсів, зменшенням затримки, та заощадженням ємності магістральної мережі. Буді-який пристрій, що має ресурси обчислення, зберігання та комунікації може бути вузлом мережі FOG. Приклади таких пристроїв включають промислові контролери, комутатори мережі, маршрутизатори, вбудовані сервери, відеонагляд, тощо.
Обмежені ресурси мережі, зберігання та обчислення вимагають створення ефективної та оптимальної системи управління такими ресурсами – *адаптивної системи управління* (*АСУ*), яка буде управляти запитами та даними від пристроїв IoT завдяки *розширенню* та *скороченню* ресурсів мережі або *зберіганню* існуючого обсягу обчислювальних ресурсів, яких потребує обробка вхідного трафіку для мінімізації втрат даних, що генеруються в мережі.

Проблема, яку вирішує запропонована схема організації мережі – це зберігання та передавання всіх даних, що генеруються мережею FOG задля мінімізації обсягів втрат даних, у той самий час використовуючи мінімально необхідну та достатню кількість ресурсів мережі FOG. Два моменти стану мережі FOG (еталонний та поточний) будуть мати або такий самий стан ресурсної ємності, або різницю між еталонним та поточним станом.

Задачі, що вирішує запропонована мережа FOG із АСУ:

- Управління ресурсами передачі даних у мережі (пропускна здатність мережі), – додавання або деактивація вузлів мережі з метою забезпечення потрібної пропускної здатності мережі FOG.
- Управління ресурсами зберігання мережних даних, – додавання або деактивація вузлів мережі з метою забезпечення потрібної ємності зберігання даних в мережі FOG.

Ціллю статті є опис запропонованої моделі і визначення її математичного означення.

Система - це функціонально довершена сукупність елементів та їх взаємних зв'язків, властивості якої не є тотожними сумі властивостей елементів, що утворюють цю сукупність. Ці елементи взаємодіють із оточуючим середовищем та проміж собою, мають мету; при цьому, непов'язані окремі елементи системи або їх недовершені комбінації не є здатними виконувати функцію, яка може бути виконана сукупністю взаємопов'язаних елементів.

Система управління – це систематизований набір засобів впливу на об'єкт управління з метою досягнення певної мети цим об'єктом [10]. Об'єктами системи управління можуть бути як технічні об'єкти, так і люди. Об'єкт системи управління може бути збіркою інших об'єктів, які можуть мати стабільну структуру взаємних зв'язків.

Системи управління поділяють на два великі класи: Автоматизовані системи управління (АСУ) — працюють за участю людини в контурі керування; Системи автоматичного керування (САК) — працюють без участі людини в контурі керування.

Телекомунікаційна інфраструктура – це технічні засоби телекомунікацій, крім кінцевого обладнання, а також будівлі, вежі, антени, опори та інші інженерні споруди, що використовуються для організації електрозв'язку (телекомунікацій), а також їх частини (елементи інфраструктури телекомунікаційних мереж) [1].

Інформаційна інфраструктура – комплекс програмно-технічних засобів, організаційних систем та нормативних баз, який забезпечує організацію взаємодії інформаційних потоків, функціонування та розвиток засобів інформаційної взаємодії та інформаційного простору країни або організації [12].

Обчислювальна FOG-інфраструктура – це технічні засоби телекомунікацій, крім кінцевого обладнання, що використовуються для організації FOG-обчислень, різновид архітектури обчислень горизонтального типу, що використовується для виконання об'ємних обчислень, зберігання і обробки даних усередині мережі хмарних сервісів і кінцевих пристроїв локально і через Інтернет.

Виконання досліджень

Будь-які ситуації, де задіяна інформаційна система, можуть бути попереджені шляхом управління, щоб до них не доводилося згодом адаптуватися, однак передбачити небажані події не завжди вдається. Тому, замість управління, доводиться вдаватися до регулювання. У таких випадках ефективність системи управління характеризується єдиним показником – часом реакції [4]:

$$\tau = t_1 - t_0 \ , \tag{1}$$

де t_0 – момент часу, коли виникла необхідність здійснення дії (момент виникнення проблеми), t_1 – момент вирішення проблеми. Причому t_1 можна також поділити на дві частини: час, коли приймається рішення (внутрішній лаг) та час, коли прийняте рішення реалізується (зовнішній лаг).

Для системи також може бути визначений деякий критичний проміжок часу, протягом якого будь-які рішення проблеми ще мають сенс, – $\tau < \tau_{\text{кр}}$.

Реалізація адаптивної системи управління у FOG мережі може допомогти як у попередженні певної ситуації, тобто на фазі управління, так і в зменшенні часу реакції, тобто на фазі регулювання ситуації.

Одним із найважливіших завдань FOG-мережі є аналіз та реагування на дані, що збираються в реальному режимі часу, прийняття рішення про реакцію на зібрані дані, та передавання даних чи інформації третім сторонам, що можуть або повинні реагувати на отриману інформацію відповідним чином.

Значні непередбачені зміни обставин, подій, об’єму трафіку в мережі називають біфуркаціями. Біфуркація — це суттєва зміна якісної поведінки динамічної системи за умови малої зміни її параметрів [7].

Аналогічно принципу системи фазового автоматичного підлаштування частоти (ФАПЧ), де корекція фази передбачається в реальному режимі часу на певну величину

$$\Delta f = \frac{\partial \varphi}{\partial t}. \tag{2}$$

Інформаційна система може бути спроектована з метою реагування на біфуркації навантаження в мережі шляхом збільшення чи зменшення числа залучених об’єктів обчислювальної FOG-інфраструктури [5]:

$$\Delta V = \frac{\partial I_H}{\partial t} \ . \tag{3}$$

Схема адаптації FOG-мережі для обслуговування інформаційного навантаження на мережу в умовах біфуркацій наведена на рис. 2.

В результаті, запропонована схема адаптації FOG-мережі для обслуговування інформаційного навантаження на мережу в умовах біфуркацій, забезпечує необхідну ємність ресурсів FOG-мережі, що допомагає виконувати поставлені завдання перед FOG-обчислювальною інфраструктурою.

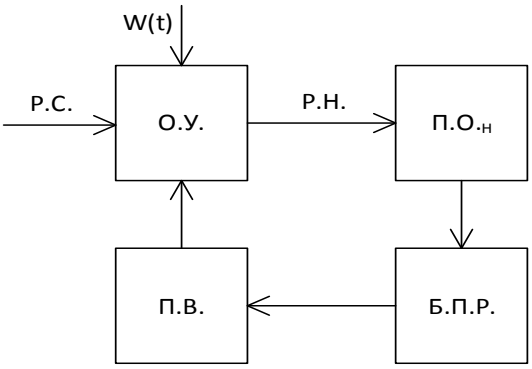

Рис. 2. Схема адаптації FOG-мережі для обслуговування інформаційного навантаження на мережу в умовах біфуркацій: О.У. – об'єкт управління; Р.С. – рівняння стану; W(t) –інформаційне навантаження на об'єкт; Р.Н. – рівняння навантаження; П.О.н – пристрій обслуговування навантаження ; Б.П.Р. – блок прийняття рішення; П.В. – пристрій виконання

На рис. 3. наведено архітектуру [13] системи управління високопродуктивними сенсорними мережами.

Модель *мережі FOG*, що включає передавання даних від датчиків IoT до мережі FOG і АСУ, обробку інформації в АСУ і прийняття рішень в АСУ з впливом на *ресурси мережі FOG network* та на *об'єкт управління (control object - CO*) (Рис 3).

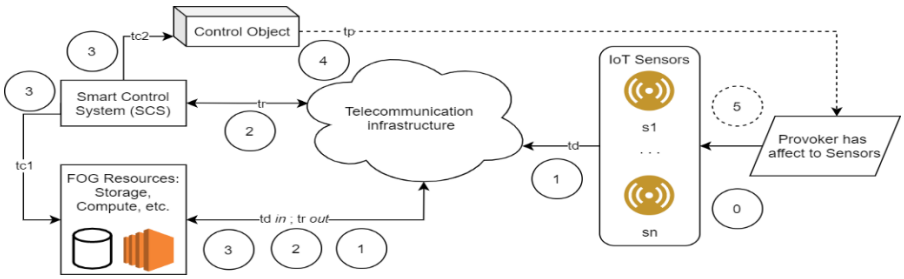

Рис. 3. Схема мережі FOG з АСУ (Smart Control System - SCS)

Розглянемо покроково функціонування запропонованої моделі мережі FOG.

Крок 0. Уявімо, що існує певний збудник, який впливає на датчики IoT.

Крок 1. Вхідний трафік від сенсорних датчиків s*1*,…, s*n*, з певними визначеними характеристиками та параметрами:

- кількість сенсорів: *n*
- вибірка часу відправки даних від одного сенсора: t*d*
- обсяг даних, відправлених від одного сенсора: V*d*

Інфраструктура телекомунікацій (TCI) забезпечує зв'язок між сенсорами та ресурсами FOG, АСУ, об'єктом управління (CO) [3, 14].

Дані від сенсорних датчиків IoT записуються до *ресурсів зберігання* мережі FOG для подальшого зберігання та обробки [8].

Ресурси зберігання мережі FOG мають певну обмежену ємність S, що вимірюється у байтах.

Крок 2. АСУ аналізує зібрану інформацію у інтервалах t*r*. АСУ залучає або вивільнює обчислювальні ресурси мережі FOG для надання обчислювальних ресурсів, необхідних для аналізу даних, отриманих від датчиків.

Важливо зазначити, що обчислювальні ресурси мережі FOG мають обмежену продуктивність *P*, що вимірюється в інструкціях у секунду (Instructions Per Second, IPS). На швидкість обчислень в мережі FOG має вплив фактор *складності обчислень*. На *складність обчислень* впливають *тип вхідного трафіку та його характеристики* [5].

Крок 3. АСУ отримує інформацію від мережі FOG та приймає рішення щодо необхідності передачі інструкцій об'єктові управлінні CO в дискретні інтервали: t*c1*, t*c2*. Об'єктом управління можуть бути:

- обчислювальні, мережні ресурси або ресурси зберігання мережі FOG, залучити більше або вивільнити ресурси з ціллю обробки потрібного обсягу даних для прийняття рішень АСУ,

- інші засоби управління що можуть реагувати на події або критичні ситуації певним чином (пожежа, військові, медичні, тощо).

Крок 4. Відгук об'єкту управління на отриману інформацію в дискретні проміжки часу t*p*. Наприклад, таким відгуком може бути впровадження дій, спричинене повідомленням найближчих розташувань пожежних бригад, інформуванням публічних служб про підвищення радіаційного фону в регіоні, відповідь на збільшення військових сил супротивника в регіоні та ін. [15].

Крок 5. В результаті виконання дій по відгуку на триману інформацію, що очікується на кроці 0, але *у наступних циклах*, *збудник може мати модифікований вплив* на сенсори IoT, які призведуть до *інших рішень, що прийме АСУ*.

Описані кроки 0-5 пропонуються як алгоритм АСУ для мережі FOG.

Математична модель АСУ

Задача, яку описує математична модель для інформаційної системи – управління ресурсами мережі FOG на підставі змін обсягу обслуговування (дані, трафік) у телекомунікаційній мережі, з ціллю оперативної реакції на умови, що змінюються, мінімізації втрат даних та своєчасності обслуговування. На рис. 4 показано схематичне уявлення автопідлаштування виділених ресурсів мережі FOG для своєчасного обслуговування обсягу даних, що змінюється, та трафіку в мережі.

Математична модель роботи АСУ може бути представлена рівняннями 1-го порядку, які описують зміни обсягу інформації в мережі: *I*, та рівняннями 2-го порядку, які показують швидкість зміни обсягу інформації в мережі та інерційність реакції на зміни обсягу даних в мережі: *V.*

Визначимо деякі поняття для опису математичної моделі.

Еталон – деякий обсяг *I* даних чи трафіку, відомий та усталений, що потребує обслуговування в мережі FOG. Важливо відзначити, що значення еталону *I* може змінюватись в інформаційній системі як функція часу:

$$\Delta I = f(t). \qquad (4)$$

Існує декілька режимів роботи мережі FOG з АСУ.

Стаціонарний режим роботи мережі FOG з АСУ. Обсяг даних (трафіку) еталону та даних (трафіку) в мережі рівні, і в результаті – нема необхідності коректувати число ресурсів мережі FOG.

Режим утримання. Обсяг даних (трафіку) еталону та даних (трафіку) в мережі рівні, та наявні лише незначні зміни обсягу даних (трафіку), у середньому повністю компенсуються діями АСУ. Смуга утримання – область начальних відмінностей від еталону, у якій можливий цей режим. Ширина смуги утримання дорівнює кількості ресурсів, що відповідають найбільшому й найменшому обсягу даних (трафіку), що потребують обслуговування.

Режим биття. У даному режиму різність обсягу даних (трафіку) еталону та даних (трафіку) в мережі збільшується з плином часу. Режим биття спостерігається у тих випадках, коли кількість ресурсів мережі FOG, що виділені початково, (еталон) менше, ніж необхідно для обслуговування обсягу даних (трафіку) в мережі, тобто потрібно більше ресурсів, ніж виділено для роботи у смузі захоплення.

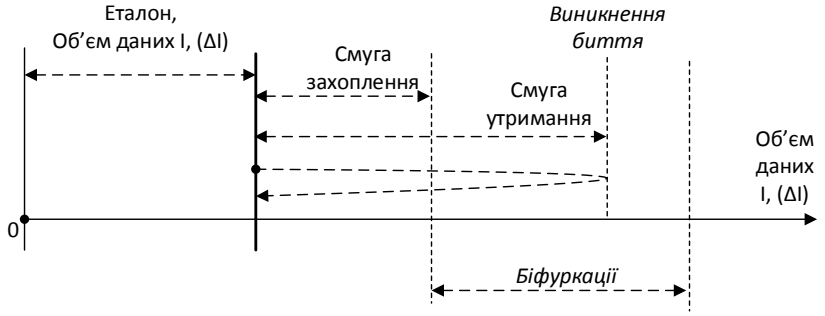

Рис. 4. Схематичне уявлення автопідлаштування виділених ресурсів мережі FOG для своєчасного обслуговування обсягу даних, що змінюється, та трафіку в мережі

Режим захоплення – перехідний стан системи, при якому режим биття переходить з плином часу у режим утримання. Під смугою захоплення розуміють кількість виділених ресурсів, за яких встановлюється режим утримання.

Детектор зміни характеристик трафіку – компонент АСУ, який збирає дані з вузлів мережі FOG про вимоги до обслуговування трафіку FOG з метою їх аналізу та приймає рішення щодо необхідності збільшення чи зменшення ресурсів мережі.

Початкове відхилення значення кількості даних еталону і даних для обробки в мережі:

$$\Omega_{initial} = I_{etalon} - I_{current}. \quad (5)$$

В момент включення АСУ, виникає необхідність коректування (додатного або від'ємного) кількості ресурсів, що виділені для обробки нового значення обсягу даних:

$$I = I_{current} \pm I_{correction}. \quad (6)$$

Миттєве значення кількості даних для обслуговування:

$$I_{correction} = S_{ACS} \cdot I_{ACS}, \quad (7)$$

де S – крутизна характеристики керуючого елементу АСУ, яка визначається відношенням *вимірювання* ресурсів мережі, що виділені для обслуговування даних (трафіку), до *зміни* керуючого обсягу даних (трафіку) в мережі, що викликала його; I_{ACS} – миттєве значення кількості керуючого обсягу даних (трафіку) в мережі.

Значення кількості керуючого обсягу даних (трафіку) в мережі пов'язано із кількістю даних (трафіку) в мережі таким співвідношенням:

$$I_{ACS} = K(p) * I_{current}. \quad (8)$$

Висновки

У статті запропонований алгоритм функціонування мережі FOG з АСУ, який забезпечує:

- генерацію трафіку з певними характеристиками сенсорами IoT;
- зберігання та обробку даних в мережі FOG;
- впровадження АСУ для прийняття рішень щодо управління ресурсами мережі FOG та об'єктами управління, застосовуючи навчальний механізм для АСУ, що базується на дослідженні потоків трафіку IoT, прийнятих рішеннях та досягнутому ефекті на об'єкти управління;
- встановлення взаємозв'язків між вхідним трафіком IoT та його впливом на рішення по виконанню дій або їх уникання на об'єкті управління.

Подальші результати дослідження поведінки запропонованої моделі мережі FOG з інтелектуальною системою управління при зміні вхідних параметрів можуть бути використані у вирішенні різноманітних потреб національного, локального або корпоративного значення задля ефективного відгуку на зміни в оточуючому середовищі [6] .

Література

Rerences

1. Mykhailo Ilchenko, Leonid Uryvsky, Serhii Osypchuk. World trends of modern information and telecommunication technologies development. - 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), pp. 1-7.
2. Leonid Uryvsky, Alina Moshynska, Serhii Osypchuk, V Kyrashchuk. IoT solutions research and development for wide range applications / Sciences of Europe. - №36 – 1 (36), 2019. pp. 39 – 54.
3. Olexandr Lysenko. Increasing the efficiency of data gathering in clustered wireless sensor networks using UAV / Olexandr Lysenko, Miroslav Sparavalo, Olena Tachinina, Valerii Yavisya, Sergiy Ponomarenko // Information and telecommunication sciences. – 2020. - Vol. 11, no. 1. - pp. 59-70.

4. Sanjeev Arora, Boaz Barak. Computational complexity: A Modern Approach. / Cambridge University Press; Illustrated edition. - April, 2009, 594 p.
5. Leonid Uryvsky, Bohdan Shmihel. Complex Methodology for Efficiency Evaluation of Discrete Information Transmission Systems / Sciences of Europe. - № 53-2, 2020, pp. 55-61.
6. Leonid Uryvsky, Oleksandr Budishevskyi. Fog-cloud-strategies of dynamic telecommunication networks management / Information & Telecommunication Sciences. – № 2, 2020, pp. 74-80.
7. Shangjiang Guo, Jianhong Wu. Bifurcation Theory of Functional Differential Equations / Applied Mathematical Sciences. - № 184, Springer; 2013th edition. 298 p.
8. Perry Lea. IoT and Edge Computing for Architects: Implementing edge and IoT systems from sensors to clouds with communication systems, analytics, and security, 2nd Edition. - Packt Publishing, 2020, 632 p.
9. National Institute of Standards and Technology. The NIST Definition of Fog Computing NIST SP 800-191: NIST SP 800-191. - 4th Watch Publishing Co., 2017. – 13 p.
10. Norman S. Nise. Control Systems Engineering. - John Wiley & Sons; 8th EMEA edition, 2019. – 627 p.
11. Daniel Silva, Godwin Asaamoning, Hector Orrillo, Rute C. Sofia, Paulo Milheiro Mendes. An Analysis of Fog Computing Data Placement Algorithms. / Conference: inProc. EAI Mobiquitous2019 (EFIOT Workshop). - Houston, USA. – November 2019. DOI:10.1145/3360774.3368201.
12. J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, “Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions,” Future Generation Computer Systems, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013.
13. L. Catarinucci, D. De Donno, L. Mainetti, L. Palano, L. Patrono, M. L. Stefanizzi, and L. Tarricone, “An IoT-aware architecture for smart healthcare systems,” IEEE Internet of Things Journal, vol. 2, no. 6, pp. 515–526, 2015.
14. S. Djahel, R. Doolan, G.-M. Muntean, and J. Murphy, “A communications-oriented perspective on traffic management systems for smart cities: challenges and innovative approaches,” IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, no. 1, pp. 125–151, 2015.
15. Y. K. Chen, “Challenges and opportunities of internet of things,” in Proceedings of the 17th Asia and South Pacific Design Automation Conference, Jan 2012, pp. 383–388.