

А. О. Лунтовський<sup>1</sup>, П.О. Гуськов<sup>2</sup>, А.Р. Масюк<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Дрезденський університет кооперативного навчання,  
<sup>2</sup>Національний університет “Львівська політехніка”

## ЕТАПИ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СЕРВІСІВ ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

© Лунтовський А. О., Гуськов П.О., Масюк А.Р., 2014

Розглянуто архітектурні перетворення сучасних мереж та їх (мобільних) сервісів і додатків. Подано періодизацію розвитку мережесервісів, Internet та хмарних обчислень. Запропоновано заходи, що необхідно вживати, щоб підвищити енергетичну ефективність сучасних технологічних рішень, розбудовуючи телекомунікаційні мережі майбутнього. Описано концепцію та особливості розвитку від “Інтернету людей” до “Інтернету речей” та “туманних” обчислень. Розглянуто розмежування категорій IoT, IoS, Clouds та Smart Grid. Значна увага приділена необхідності переходу до технології Fog Computing. Наведено приклади реалізації енергетично ефективного сервісу типу XaaS на основі мікрокомп’ютерного вузла, а також енергетично ефективного мережевого пристрою пам’яті.

Ключові слова: енергетична ефективність, Інтернет людей, Інтернет речей, Smart Grid, хмарні обчислення, туманні обчислення.

A.O. Luntovsky<sup>1</sup>, P.O. Huskov<sup>2</sup>, A.R. Masyk<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Dresden University of Cooperative Education,  
<sup>2</sup>Lviv Polytechnic National University

## STAGES OF THE MODERN IT SERVICES DEVELOPMENT AND ENERGY EFFECTIVENESS OF NETWORK TECHNOLOGIES

© Luntovsky A.O., Huskov P.O., Masyk A.R., 2014

The article reviews the architectural transformation of modern networks and their (mobile) services and applications. Periods of network services, Internet and cloud computing are posted. We describe the requirements for telecommunication networks in each of the individual stages of development and performance criteria specified network technologies.

The paper presents the measures that should be taken to improve the energy efficiency of modern technology making in the development of telecommunications networks of the future.

The concept and features of the evolution from “Internet of people” to “Internet of things” and “fog” computing are described in details. Certain categories distinction has been considered, such as IoT, IoS, Clouds, and Smart Grid. Much attention is paid to the need to transfer to the Fog Computing technology. A realization of energy-efficient XaaS type based on micro computer unit and energy-efficient network storage device is offered.

Examples of energy-efficient File Server (Private Cloud Storage) type service Raspberry Pi based on microcomputer unit are shown. It is worth noting that there is some compromise in solutions for Fog Computing / Smart Grid technology development.

The choice varies between centralised, often virtualized systems (Clustering, Clouds) and decentralized systems. The paper describes the criteria for selecting between centralized and decentralized systems.

Key words: energy efficiency, Internet of people, Internet of things, Smart Grid, Cloud Computing, Fog Computing.

**Вступ.** Сьогодні надзвичайна увага в економічно розвинених країнах приділяється енергетичній ефективності мережевих технологій та розподілених систем (Energy Efficiency). Доведеним приголомшливим фактом є те, що 10–12 % загального обсягу емісії CO<sub>2</sub> (діоксиду вуглецю, або вуглекислого газу) на нашій планеті припадає саме на телекомунікації та обчислювальні центри. Тільки уявіть собі: вуглеводні, які згорають у моторах сучасних автівок, на численних ТЕЦ та ДРЕС та й... телекомунікаційні мережі й Internet також винні у “вуглекислому засміченні” планети!

Відомо, що зазначена емісія CO<sub>2</sub> шкідлива для озонового шару і спричиняє загальне потепління на Землі. Наслідки цієї емісії регулюються відповідно до міждержавного Кіотського протоколу. Мінімізація надлишкового тепла від мережевих технологій та розподілених систем – важливе й актуальне науково-технічне завдання, що є частиною великих міжурядових програм.

**Періодизація розвитку інтернет-сервісів та енергетична ефективність мережевих технологій.** Сьогодні енергетичній ефективності мережевих сервісів та розподілених систем надається пріоритет порівняно із початковими фазами їх розвитку. Розглянемо періодизацію розвитку мережевих сервісів, Internet та хмарних обчислень: виведення на основі фактів (Case-Based reasoning) є загальнопоширеною парадигмою в області автоматизації мислення та машинного навчання. Виведення на основі фактів складається з чотирьох основних етапів [1]. На першому етапі виконується аналіз бази відомих фактів (retrieve).

1. У першій фазі з розгортання мереж та *Internet* (1970 – 1999 pp.) головною метою було створення мереж, які гарантують якість обслуговування *QoS* понад усе. Інтегровані обчислювальні центри із високою швидкістю передавання даних стали у зазначений період економічно ефективною альтернативою невеликим локальним телекомунікаційним системам завдяки створенню і застосуванню швидкісних широкосмугових з’єднань. Загальна надійність інтегрованих систем також значно підвищується завдяки підвищеній надійності їх складових компонентів. Застосування потужних обчислювальних центрів допомагає заощаджувати та створює умови інформаційної безпеки. Централізація послуг допомагає запобігти загрозам від атак *DDOS* завдяки можливості розподілу навантаження між багатьма серверами.

2. На другому етапі розвитку сервісів *Internet* (2000 – 2010 pp.) підвищення *QoS* супроводжується суворим заощадженням коштів (Cost Optimization) завдяки віртуалізації мережевих сервісів (Minimum Costs by strictly given *QoS*-Constraints). Заощадження коштів стає критерієм ефективності за заданих умов якості для мережевих технологій:

$$\text{Min}(\text{Costs}) \text{ } QoS \geq QoS_{\min} \quad (1)$$

Централізація (віртуалізованих) послуг у великих за розміром обчислювальних центрах (*Data Centers, Clusters*), потужних системах *Grids*, які створюються із метою кооперації у межах наукових та практичних проектів, приводить до подальшого зниження витрат як на стороні клієнтів, так і на стороні провайдерів за рахунок економії коштів на утримання персоналу, електроенергію тощо. Роль “хмар” (*Clouds*) як способу інтеграції великих обсягів даних та обчислювальної потужності (*Big Data/ Computing Power*) є визначальною протягом останніх років.

3. На третьому етапі (починаючи з 2011 р.) здійснюється перехід до так званих “зелених” інформаційних технологій (green IT) із істотно підвищеними вимогами щодо економії використання електроенергії. Обчислювальні центри та “хмари” все частіше розташовуються у холодних регіонах планети. Так, наприклад, компанія Google досягла значення ККД близько 1,12 завдяки подальшій оптимізації апаратної частини, систем кліматизації, конструкцій будівель:

$$\text{ККД} = 1/\text{PUE}, \quad (2)$$

де PUE (Power Usage Effectiveness) – коефіцієнт ефективності використання електроенергії.

Це означає, що тільки 12 % від загальних витрат енергії використовують інші сервіси, такі як кліматизація, перерозподіл та накопичення енергії, освітлення, системи спостереження тощо, та розсіюються в атмосфері. Згідно із твердженнями спеціалістів з *Institute 2012 Data Center Survey*, середні значення PUE в галузі, на жаль, становлять 1,89. Це відображає значне поліпшення сервісів

від Google у сенсі їх енергетичної ефективності порівняно із іншими мережевими сервісами та розподіленими системами.

На третьому етапі, який триває зараз, типовою вимогою до телекомунікаційних мереж є максимальна ефективність використання потужності за суворих обмежень на необхідні рівні якості обслуговування  $QoS$  та витрат  $Costs$ :

$$Max(PUE)[QoS \geq QoS_{min}] \vee [Costs \leq Costs_{max}] \quad (3)$$

Отже, з метою підвищення енергетичної ефективності мають бути впроваджені такі заходи:

- одночасна робота якомога меншої кількості потрібних в цей момент пристроїв (*units, blade servers*), віртуальних машин (*Virtual Machines*), що стає можливим завдяки віртуалізації ресурсів та оптимальному їх навантаженню;

- ефективна динаміка завантаження агрегатів, що працюють (*load balancing*), динамічна робота серверів та віртуальних машин, ефективний розподіл віртуальних машин для створення додаткової обчислювальної потужності у місцях, де це потрібно;

- використання енергоефективних мережесистем та пристроїв (*units*) із покращеним співвідношенням “*TBim/c до Vm*” зі значним обмеженням потреб у енергії для охолодження цих пристроїв;

- оптимальний вибір місця розташування, наприклад, у досить холодних регіонах, поблизу річок тощо;

- повторне використання відпрацьованого тепла (*redundant heat recycling*), утилізація надлишкового тепла від мережесистем, наприклад, для опалення приміщень будівель, нагрівання водопровідної води тощо. Нижче подано приклад створення модельної системи *Smart Grid*.

4. На наступному етапі (до 2020 р.) прогнозується стрімкий розвиток систем Clouds та Smart Grid, розвиток IoT (Internet of Things) [1 – 3, 8, 12] та поступовий перехід від “Інтернету людей” до “Інтернету речей” та так званих “туманних” обчислень” Fog Computing.

**Подальший розвиток: від “Інтернету людей” до “Інтернету речей” та “туманних” обчислень.** Розвиток науково-технічних ідей стосовно понять IoT (Internet of Things), IoS (Internet of Services), Clouds та Smart Grid [1–3, 8, 12] показано на рис. 1. Зазначені технології розвиваються у тісній взаємодії та пов’язані одна з одною (формули (1) – (3)).

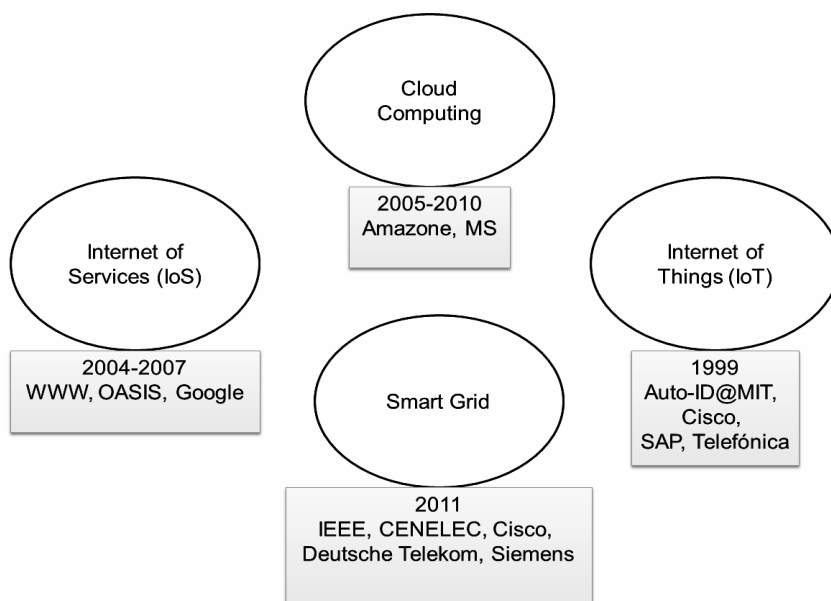


Рис. 1. Розвиток науково-технічних ідей стосовно IoT, IoS, Clouds та Smart Grid

Розмежування категорій IoT, IoS, Clouds та Smart Grid і сьогодні не є досить чітким (рис. 3). З початку застосування “хмарних” систем Clouds “Інтернет речей” стає способом та платформою виконання “туманних обчислень” (Fog Computing) [9]. Тобто здійснюється непомітний перехід від змішаних розподілено-децентралізованих потужних систем (Big Data, Clusters) до безлічі дрібних географічно розподілених, але логічно поєднаних у єдину гетерогенну мережу хостів, гаджетів, приладів та “речей”.

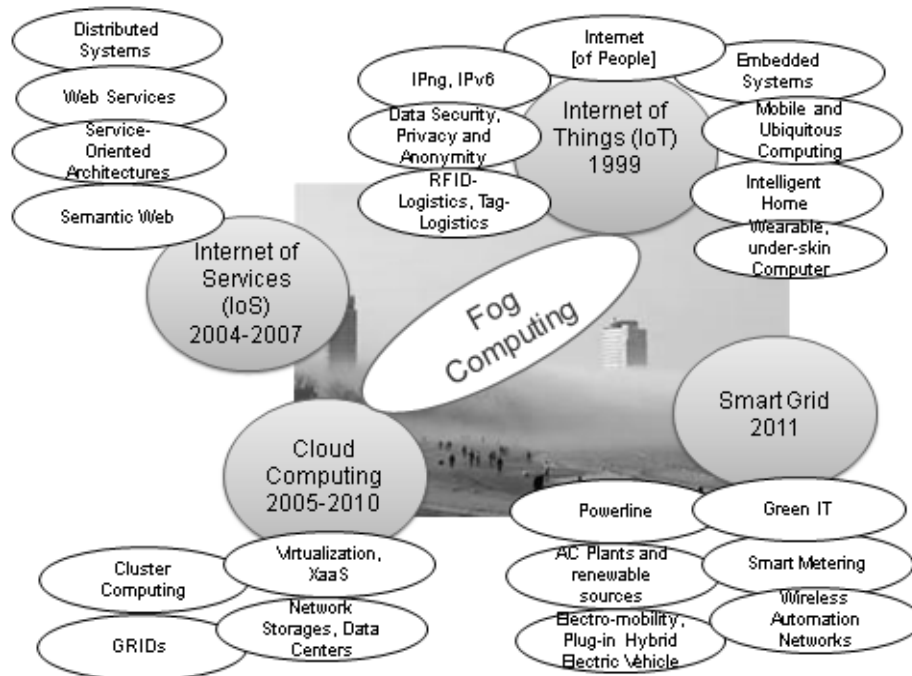


Рис. 2. Розмежування IoT, IoS, Clouds та Smart Grid і вплив на них суміжних технологій

Кількість пристроїв у сучасному Internet of People сьогодні за статистикою досягає  $N \cong 10^9$ , тобто кількість користувачів відповідає населенню Землі. Завдяки невинному зростанню найближчими роками передбачувана кількість пристроїв має становити вже  $N \geq 30 \cdot 10^9$ . Тому можливий якісний перехід до IoT. За прогнозами, це має відбутися приблизно у 2020 р.

Сценарій IoT. Концепція полягає в тому, щоб всі предмети побуту, товари, вузли технологічних процесів оснащені вбудованими комп'ютерами та сенсорами, які мають змогу обробляти інформацію, що надходить із навколишнього середовища, обмінюватися нею та виконувати різні дії залежно від отриманої інформації. Прикладом упровадження такої концепції може бути система “розумний будинок”. Окремі пристрої взаємодіють через енергетично ефективні комунікаційні мережі (інфрачервоні, безпроводові, мобільні, силові та слабкоточні тощо).



Рис. 3. Основні вимоги та галузі досліджень щодо IoT

Варто відзначити ряд вимог, що ставляться до мережевих технологій у зв'язку з переходом до IoT (рис. 3). Застосування Internet of Things в осяжному майбутньому означає необхідність термінового введення у дію протоколу IPv6 із доступними тільки у ньому  $2^{128}$  адресами для вузлів, тобто  $\sim 340 \cdot 10^{36}$  адресів або до  $300 \cdot 10^{27}$  “речей” (активних пристроїв) на користувача. Зауважимо, що багато науковців вважають “Інтернет речей” потенційно “руйнівною” технологією [10], оскільки йдеться про повсюдне та небажане для користувачів перетворення на обчислювальні вузли (непомітні “жучки”, шпигуни) таких звичних речей, як приватні автівки, електротовари, меблі тощо.

Поняття Fog Computing поширює технології Cloud Computing та Smart Grid на терени (інтелектуального) мережевого вузла (Radio Network Edge), уможливаючи створення широкого спектра додатків (мобільних) та сервісів (рис. 4).

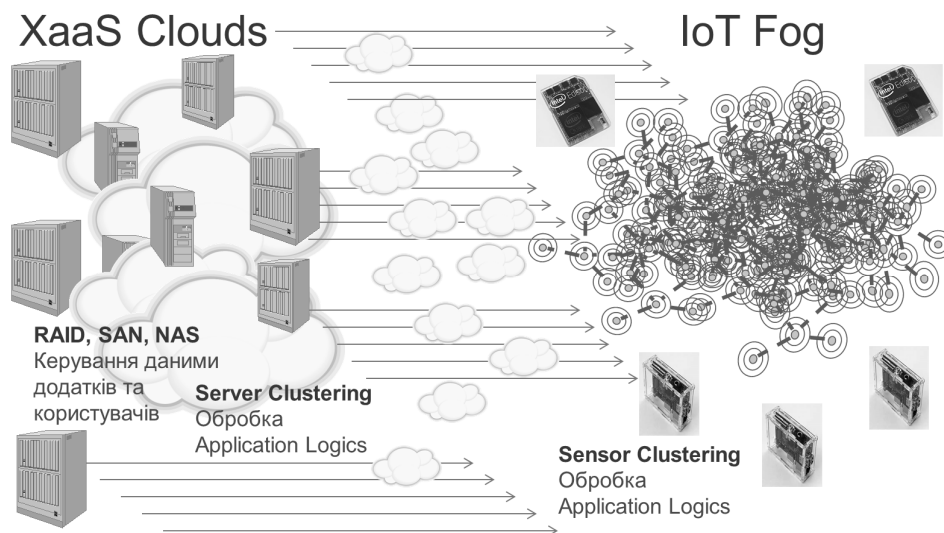


Рис. 4. Перехід від “хмар” до Fog Computing

Основними рисами переходу від сучасних TCP/IP-технологій до Fog Computing вважають:

1. Повсюдне географічне поширення мереж.
2. Явно визначену гетерогенність вузлів.
3. Необхідність швидкої активації та деактивації вузлів (low-latency, location-awareness).
4. Енергетичну ефективність і довговічність вузлів (low-energy).
5. Надвелику кількість вузлів та їх мобільність, тому показане використання мережевого протоколу IPv6.
6. Провідне значення безпроводових мереж.
7. Мультимедійні додатки реального часу типу Streaming та Realtime із підвищеними вимогами до якості обслуговування QoS.

Із Smart Grid технологією Fog Computing поєднує використання енергетично ефективних та заощадливих протоколів. Взаємопроникнення IoT, Smart Grid, Clouds, Fog Computing можливе уже сьогодні на основі енергетично ефективних та заощадливих протоколів персональних безпроводових мереж *6LoWPAN* [11], які реалізують протокол IPv6 поверх MAC-протоколів мереж IEEE 802.15.4 та PLC.

Реалізація енергетично ефективного сервісу типу XaaS на основі мікрокомп'ютерного вузла. Мікрокомп'ютерний мережевий вузол Raspberry Pi [13–17] є одноплатним комп'ютером розміром з кредитну карту, процесор має тактову частоту 700 МГц та 512 МБ ОП. Мікрокомп'ютер Raspberry Pi також має два порти USB3.0, порт 10/100-MBit/s-EtherLAN, HDMI-порт та GPIO-порти. Мікрокомп'ютер Raspberry Pi не має звичайного жорсткого диска HDD, але замість цього має карт-рідер з SD-картою пам'яті як завантажувальним носієм. Стандарт SDHC дозволяє місткість до 32 Гб. Живлення подається через USB-порти. Мікрокомп'ютер Raspberry Pi є надзвичайно економічним і споживає всього до 3,5 Вт.

За допомогою Raspberry Pi можливо моделювати енергетично ефективні мережеві вузли з сервісами типу XaaS (медіа-центри, приватні “хмари” Private Cloud, файлові сервери File Server, Web-сервери, економічні кластери Small Cluster, домашні системи для виконання контрольних завдань Home HVAC System, Intelligent Home тощо) для систем Fog Computing [13-17].

До найкорисніших сервісів XaaS можна зарахувати виділену хмару (Private Cloud), файл-сервер, веб-сервер тощо (рис. 5).

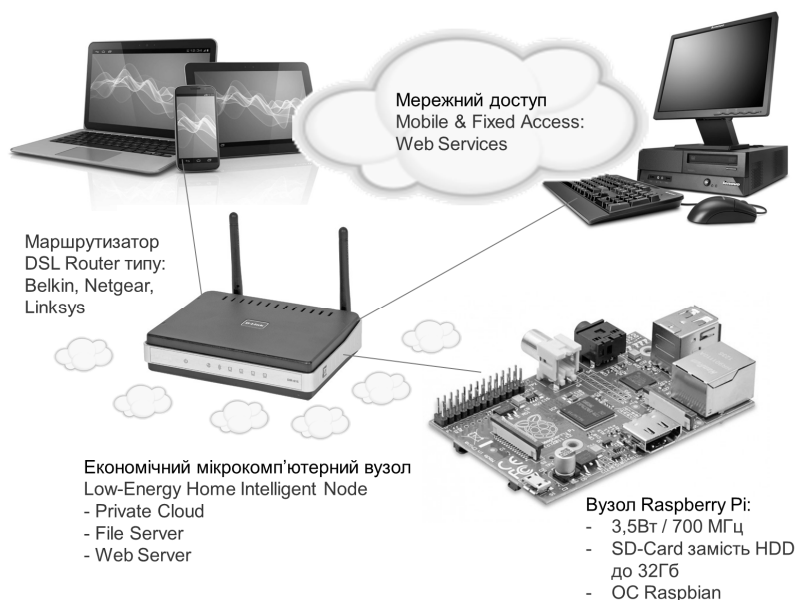


Рис. 5. Приклади енергетично ефективних сервісів типу XaaS на основі вузлів Raspberry Pi

Для забезпечення доступу для створеного хоста може використовуватися недорогий домашній маршрутизатор DSL-Router від фірм Belkin, Netgear, Linksys тощо. Користувачеві необхідно виконати просту конфігурацію системи за допомогою наявного фірмового програмного забезпечення (IP-адреса, порти 80, 8080 тощо), а потім встановити пакет XAMPP для Linux-подібної ОС. Повний такий пакет XAMPP, зокрема, містить:

- Web-сервер Apache з підтримкою SSL.
- СУБД MySQL.
- Утиліту phpMyAdmin.
- Модуль PHP.
- FTP-сервер FileZilla.
- Демон ProFTPD.
- Модуль Perl.
- Сервлет-контейнер Apache Tomcat (підтримка Java).
- Поштовий POP3/SMTP-сервер тощо.

Менеджмент контенту для створеного Web-сервера та підтримка додатків мікрокомп'ютерного вузла Raspberry Pi здійснюється за допомогою клієнта за протоколом SSH (Secure Shell). За допомогою клієнта Dynamic DNS (DDNS) здійснюється також й динамічне надання та використання доменного імені (Domain Name) без реєстрації у інтернет-провайдера [18]. Прямо з вузла можна керувати створенням і використанням нового сервера.

Реалізація енергетично ефективного мережевого пристрою пам'яті. Приклад енергетично ефективного сервісу типу File Server (Private Cloud Storage) на основі мікрокомп'ютерного вузла Raspberry Pi подано на рис. 6. Оскільки карта SD не має достатньо місця та не може надавати стабільного сервісу зі зчитування-запису, то радше необхідний зовнішній пристрій пам'яті USB-drive. До структурної схеми цього мікрокомп'ютерного вузла із функцією File Server (Private Cloud Storage) входять такі елементи:

- мікрокомп'ютер типу Raspberry Pi із ОС типу Raspbian, під'єднаний до мережі через DSL-Router;
- зовнішній пристрій пам'яті USB-drive до 0,5–3 Тбайт (USB – SSD/ HDD), який монтується засобами ОС як жорсткий диск.



*Рис. 6. Приклад енергетично ефективного сервісу типу File Server (Private Cloud Storage) на основі мікрокомп'ютерного вузла Raspberry Pi*

Файлова система пристрою пам'яті може бути типів NTFS або VFAT. Для налаштування системи необхідно використати програмні засоби SSH, sudo та Samba [17].

Samba входить до більшості дистрибутивів ОС Linux. Головними перевагами програми Samba є те, що вона випускається під вільною ліцензією типу GNU і що з її допомогою можливо одночасно використовувати різні комп'ютери у мережі IP/ LAN з ОС типу Windows, Unix, Linux та організувати обмін файлами між ними. За допомогою Samba зовнішній пристрій пам'яті USB-drive стає “видимим” у мережі (девiз “Share the drive on your network”).

Як бачимо, спостерігається певна компромiсність рішень для розвитку технологій Fog Computing/Smart Grid. Перевага надається то централізованим, часто віртуалізованим системам (Clustering, Clouds), то більш децентралізованим [1–3, 7, 12]. Тож чи варто стартувати або резервувати (гарячий резерв) декілька віртуальних машин VM (рис. 7), чи краще використати маленькі та економічні мікрокомп'ютерні мережеві вузли типу Raspberry Pi, Arduino [19], Intel Edison?

Вагомими критеріями такого вибору можуть бути:

- Надійність та якість сервісів QoS.
- Інформаційна безпека (анонімність та захист приватної сфери).
- Мінімум споживання енергії.
- Незначні витрати на обслуговування.

Однозначної відповіді на поставлене питання поки що немає, воно й сьогодні залишається відкритим.

Висновки. У провідних країнах світу прискорено створюється інтегрована інтелектуальна мережа Smart Grid за зразком побудови Інтернет та із можливістю використання стандартизованих інтерфейсів програмного забезпечення, а також мобільних додатків Apps через надані сервіси доступу IoS/Web Services/Cloud. Завдяки стандартизації систем Smart Grid (див. форуми NIST, IEEE, VDE, CENELEC тощо) [2 – 6] забезпечуються програмно- та апаратно-незалежні доступ та комунікація між компонентами.

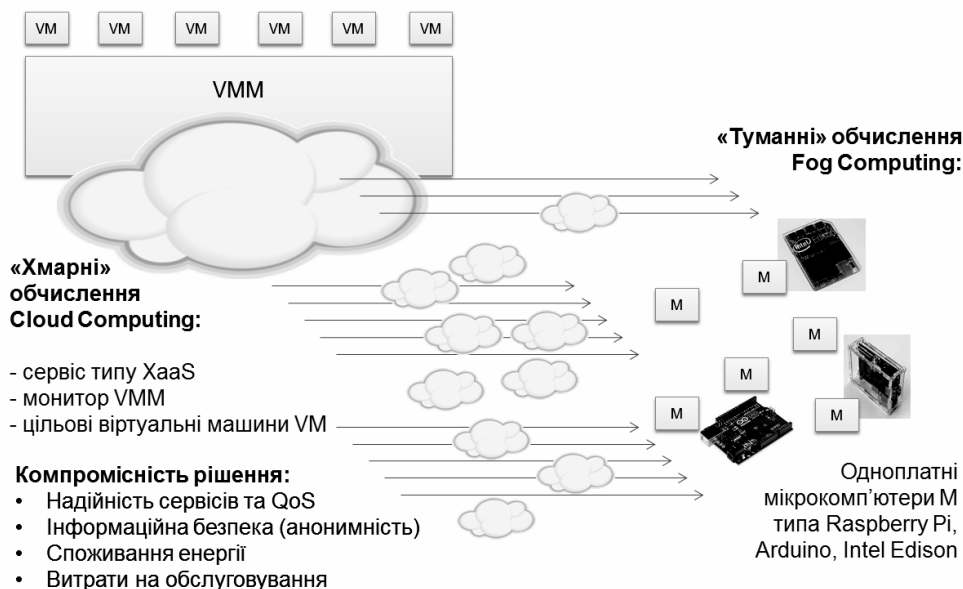


Рис. 7. Компромісність рішення:  
VM або мікрокомп'ютерний мережевий вузол?

Стандартизація структури відкритих мереж Smart Grid є сьогодні одним з пріоритетів розвитку як енергетики, так і телекомунікаційної галузі у США та Європі. Комбіновані послуги таких мереж вже у найближчому майбутньому, приблизно у 2020–2030 рр., знайдуть можливість залучення все ширшого кола користувачів. Вже нині надаються можливості для створення великого спектра власних “смарт-додатків” та “смарт-сервісів” у межах Smart Grids як інтегрованої інтелектуальної мережі за зразком Інтернет.

Очікується, що описані у роботі технології інтеграції мереж електропостачання та електрозв'язку (телекомунікаційних мереж) сприятимуть економному використанню наявних джерел енергії, зниженню емісії CO<sub>2</sub> у межах Кіотського протоколу, децентралізації мережі (за принципом Інтернету) для підвищення її ефективності з використанням альтернативних та відновлюваних джерел електроенергії (вітер, solar, ЕМ-смог), оптимізації методів мережевого менеджменту та білінгу послуг (Smart Metering) із використанням останніх у мережах та системах електроенергопостачання і з підвищенням безпеки та якості QoS. Розвитку таких інтегрованих мереж електропостачання та електрозв'язку незабаром буде надано необхідний поштовх. Сервіси типу “електроенергія” (“Smart Power Grid Services”) можуть вільно виставлятися на ринок та вільно обертатися там (купівля, продаж, обмін, кредитування, провайдерські й посередницькі послуги тощо).

Якісно новими тенденціями розвитку мережевих сервісів є сьогодні “Smart Grid” (інтелектуальна мережа сервісів електропостачання та енергетично ефективних інформаційних сервісів) та “Інтернет речей” IoT (Internet of Things), побудовані на основі IoS (Internet of Services). У роботі розглянуто спосіб їх реалізації у формі “туманних” обчислень, так званих Fog Computing, а також архітектурні перетворення сучасних мереж та їх (мобільних) сервісів і додатків. Наведені приклади використання.

Особливу роль в “Інтернеті речей” відіграють фрагменти мережі, її вузли (у “туманних обчисленнях”) із інсталюваними сервісами вимірювання (Smart Metering), спроможними перетворити параметри зовнішнього середовища на машинні дані у гетерогенних безпроводових мережах Powerline, ZigBee, 6LoWPAN тощо.



Великі “хмарні” інтернет-компанії, такі як Google, вже інвестують у відновлювані джерела енергії. І хоча це не рятує від надмірного споживання електроенергії, але й не спричиняє надмірного викиду газів, таких як CO<sub>2</sub>. Однозначної відповіді на поставлене питання поки що немає, воно й сьогодні залишається відкритим.

1. Luntovskyu Andriy, Guetter Dietbert, Melnyk Igor. *Planung und Optimierung von Rechnernetzen: Methoden, Modelle, Tools für Entwurf, Diagnose und Management im Lebenszyklus von drahtgebundenen und drahtlosen Rechnernetzen: навч. посіб.* – Springer/ Vieweg + Teubner Verlag Wiesbaden, 2011. – 411 с. (ISBN: 978-3-8348-1458-6, нім. мовою). 2. Лунтовський А.О., Климаш М.М., Семенко А.І. *Розподілені сервіси телекомунікаційних мереж та повсюдний комп'ютинг і Cloud-технології: монографія.* – Львів: Львівська політехніка, 2012. – 368 с. (ISBN: 978-966-2405-87-3). 3. Лунтовський А.О., Захарченко М.В., Семенко А.І. *Мультисервісні мобільні платформи: монографія.* – К.: Держуніверситет телекомунікацій ДУТ, 2014. – 216 с. (ISBN 978-977-2105-89-3). 4. Guengoer V., Sahin D., Hancke G.P. et al. *Smart Grid Technologies – Communication // in IEEE Transactions On Industrial Informatics, Vol. 7, No. 4, 2011. – Technologies and Standards.* – Pp. 529 – 539. 5. Fang X., Misra S. et al. *Smart Grid – The New and Improved Power Grid: A Survey // in IEEE Communications Surveys & Tutorials, pp. 1 – 37.* 6. Schuster D., Muthmann K. *Приклад модельного середовища Smart Grid. TU Dresden, Chair of Computer Sciences, 2014 (Online, нім. мовою).* – <http://www.rn.inf.tu-dresden.de/>. 7. Friedemann Mattern et al. *From the Internet of Things to the Web of Things: Resource Oriented Architecture and Best Practices: in „Architecting the Internet of Things“, Springer, New York - Dordrecht – Heidelberg – London, 2011 (ISBN 978-3-642-19156-5), pp. 97 – 129.* 8. Лунтовський А.О., Климаш М.М. *Інформаційна безпека розподілених систем: монографія.* – Львів: Львівська політехніка, 2014. – 464 с. (ISBN 978-966-322-397-1). 9. Bonomi F., Milito R., Zhu J., Addepalli S. *Fog Computing and Its Role in the Internet of Things, 2007, CISCO Corp. USA, CA, 15 p.* 10. R. van Kranenburg. *The Internet of Things: A critique of ambient technology and the all-seeing network of RFID.* – Pijnacker: Telstar Media, 2008. – 62 p. (ISBN: 90-78146-06-0). 11. Shelby Z., Bormann C. *6LoWPAN: The wireless embedded Internet // in EE Times, 2011.* 12. Лунтовський А. О. *Технології розподілених програмних додатків: монографія (зрифт ДУІКТ Міністерства транспорту та зв'язку України та ВАТ “Укртелеком”).* – К.: ДУІКТ, 2010. – 474 с. (ISBN 978-966-2970-51-7). 13. Richardson M., Wallace S. *Getting Started with Raspberry Pi: O'Reilly Media, 2012. – 175 p. (ISBN: 978-1-449-34421-4).* 14. *Raspberry Pi Web Site (Online 2014).* – <http://www.raspberrypi.org/>. 15. Daniel Huefner. *Raspberry Pi als Webserver. So geht's (in German, Online July 2014).* – <http://www.t3n.de/>. 16. Lauren Orsini. *How To Host A Website With Raspberry Pi (Online June 2014).* – <http://www.readwrite.com/>. 17. Jeremy Morgan. *How to Build a Raspberry Pi File Server (Online 2013).* – <http://www.jeremymorgan.com/>. 18. *Dynamic Domain Name (Online 2014).* – <http://www.dnsdynamic.org/>. 19. *Arduino: http://www.arduino.cc/.*