

УДК 621.395
DOI : 10.53920/ITS-2021-1-6

Галина СОКОЛ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
ORCID ID: 0000-0003-4847-518X
e-mail: Sokolgalina@ukr.net

Юлія ТОКАР

Національний університет «Полтавська Політехніка імені Юрія Кондратюка»
e-mail: ficriter@gmail.com

Віталій ВОРОНЕЦЬ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
e-mail: voronets.vitaliy@gmail.com

Махмуд Тарват Ібрахім МОХАМЕД

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
e-mail: mahmoudtharwat@outlook.com

«ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ» – ЯК ПЕРСПЕКТИВА РОЗВИТКУ МОБІЛЬНИХ СИСТЕМ

Детерміновано необхідність покращення існуючих мобільних систем. Ідентифіковано провідні стандарти, що задовольняють вимоги суспільства та промисловості. Наведено описи основних можливостей новітніх мобільних мереж (висока швидкість передачі даних, стабільність зв'язку). Обґрунтовано основні переваги Інтернету речей як стандарту. Серед цих переваг – покращення обслуговування промислових та побутових мобільних мереж, економічна ефективність, підвищення швидкості та якості передачі даних. За результатами аналітичних досліджень запропоновано здійснювати модернізацію обладнання та перехід до новітніх стандартів зв'язку.

Ключові слова: передача даних, мобільна мережа, 4G, 5G, IoT, LTE.

Halyna SOKOL

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

Yuliya TOKAR

National University" Poltava Polytechnic named after Yuri Kondratyuk "

Vitaliy VORONETS,

Mahmoud Tarwat Ibrahim MOHAMMED

National Technical University" Kharkiv Polytechnic Institute "

"INTERNET OF THINGS" - AS A PROSPECT FOR THE DEVELOPMENT OF MOBILE SYSTEMS

The need to improve existing mobile systems has been determined. Leading standards that meet the requirements of society and industry have been identified. Descriptions of the main features of the latest mobile networks (high speed data transfer, communication stability). The main advantages of the Internet of Things as a standard are substantiated. These benefits include improved maintenance of industrial and domestic mobile networks, cost-effectiveness, increased speed and quality of data transmission. According to the results of analytical research, it is proposed to modernize the equipment and move to the latest communication standards.

Keywords: data transmission, mobile network, 4G, 5G, IoT, LTE.

Постановка проблеми в загальній формі та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями

В середньому, кожне десятиліття мобільний зв'язок піддається змінам. Сьогодні найбільша увага приділяється збільшенню трафіку передачі даних та розширенню функціоналу. Для підтримки подальшого розширення та еволюції Інтернету речей (IoT) мобільна індустрія розробила та стандартизувала клас виділених стільникових технологій. Ці мобільні мережі IoT підтримують пристрої, що вимагають широкого покриття, тривалого ресурсу акумулятора та низької вартості, але надійної, підключення як у сільській місцевості, так і у містах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Різні аспекти розвитку та використання Інтернету речей висвітлюються в роботах Кевіна Ештона, Луки Фелетріні, Галіні Цуканері, Массімо Кондолучі, К'яри Буратті, Токтама Махмуді, Міши Долера, Леоніда Черняка, Роба ван Краненбурга, Олів'є Херсента, Девіда Босуортіка, Омара Еллумі, Роберто Вердоне та ін.

Виділення раніше не вирішених частин загальної проблеми

Комплексний аналіз наукових праць відомих провідних вчених [1-10] дозволив встановити провідну роль Інтернету речей у розвитку сучасних стандартів зв'язку. Однак можливості сучасних мереж передачі даних дуже важливі і потребують більш детального розгляду. Тому метою статті є формування загальних технічних вимог до перспективної системи мобільного зв'язку 5-го покоління в частині, що стосується переліку та пріоритетності реалізації в ній відповідних послуг.

Виклад основного матеріалу

«Інтернет речей» як технологія сьогодення

Сучасний світ вимагає постійного розвитку технологічної складової, тому мережа зв'язку також не стоїть на місці. Зростаючі вимоги до функціонала підштовхують індустрію до розробки чогось нового. Тому системи 5G становляться все актуальнішими у сьогоденні. На цей момент поширення набули технології типу M2M (Machine-to-Machine), проте IoT може стати більш вигідним шляхом розвитку [1-5].

IoT, Internet of Things, «Інтернет речей» – методологія обчислювальної мережі фізичних предметів («речей»), оснащених вбудованими технологіями для взаємодії один з одним або з зовнішнім середовищем, яка розглядає організацію таких мереж як явище, здатне перебудувати економічні та суспільні процеси, що виключає з частини дій і операцій необхідність участі людини (рис. 1).

Потенційний взаємозв'язок інтелектуальних об'єктів і те, як ми взаємодіємо з навколишнім середовищем — це те, що являє собою «Інтернет речей», де фізичний світ буде зливатися з цифровим світом. Ідеологія Інтернету речей спрямована на підвищення ефективності економіки шляхом автоматизації процесів в різних сферах діяльності та виключення з них людини.

Концепція Інтернету речей сформульована в 1999 році як осмислення перспектив широкого застосування засобів радіочастотної ідентифікації для взаємодії фізичних предметів між собою і з зовнішнім оточенням.

Завдяки повсюдному поширенню бездротових мереж, появи хмарних обчислень і розвитку технологій міжмашинної взаємодії, починаючи з 2010-х років, дана концепція починає активно розвиватися і поряд з великими даними (Big Data), хмарними обчисленнями й мережами мобільного зв'язку 5-го

покоління (5G) є одним з найбільш перспективних напрямків розвитку інформаційних і телекомунікаційних технологій найближчих років [6].

При цьому всі перераховані вище напрямки тісно пов'язані між собою: технологія машинного навчання (як основна складова загальної ідеології Big Data) – це те, що здатне перетворити дані, зібрані з різних датчиків і сенсорів, в інформацію, а мережі мобільного зв'язку 5G будуть ключовим транспортним ресурсом для зв'язку тих самих пристроїв зі світу «Інтернету речей».

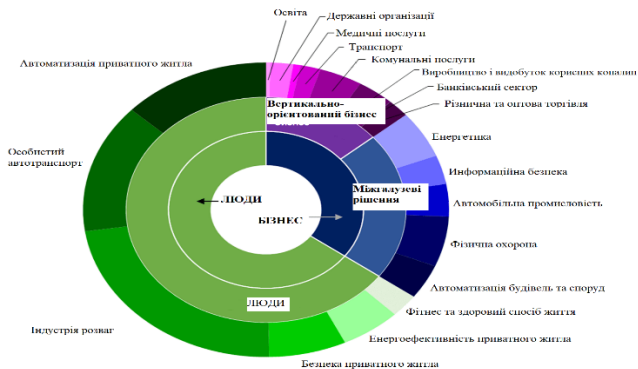


Рис. 1. Сфера застосування ІoT

ІoT є критичним елементом цифрової трансформації бізнесу. Він може грати ключову роль в цифровому бізнесі, в тому числі як засіб перетворення продуктів і послуг. Наприклад, деякі виробники прагнуть перетворити свою бізнес-модель і перейти від продажу обладнання до стягування плати за використання обладнання, обсяг якого визначається вбудованим ІoT. Інші виробники звертаються до ІoT для автоматичної ідентифікації клієнтів і їх переваг, інтелектуального обслуговування клієнтів, оптимізації операційної діяльності й т.д. Вигода від використання Інтернету речей може бути реалізована як у випадку застосування всередині компанії, наприклад, для підвищення безпеки співробітників в небезпечних виробничих умовах, так і орієнтуватися на зовнішні фактори, такі як поліпшення результатів лікування пацієнтів в умовах невідкладної допомоги.

Можливості застосування «Інтернету речей» надзвичайно широкі. Фактично, в міру ускладнення машин, речі можуть діяти від імені своїх власників і користувачів. Це призводить до тенденції, яку Gartner називає «речі як клієнти». Ваше наступне замовлення може виходити від «речі», яка ідентифікує потребу в більшій кількості витратних матеріалів для задоволення потреб і бажань клієнта. Це трансформація, а не поетапний розвиток [7-8].

Розглянемо кілька прикладів реалізації потенціалу ІoT (реальних і емпіричних):

- Автомобільні страхові компанії, що мають доступ до даних телеметрії транспортних засобів, пропонують дисциплінованим водіям вигідні фінансові умови при придбанні страхових полісів.

- Комунальні служби, які отримують інформацію з температурних датчиків, встановлених в приміщеннях клієнтів, надають їм знижки за скорочення споживання енергії в періоди пікового попиту.

- Мегаполіси керують автомобільними потоками, шляхом гнучкого регулювання режимів роботи світлофорів на основі поточної та історичної інформації про завантаження автотрас, а також впроваджують системи контролю зайнятості місць для паркування.

- Транспортні компанії відстежують переміщення і збереження вантажів.

- Медичні компанії впроваджують системи віддаленого контролю стану здоров'я літніх і хворих людей, а також системи автоматичного введення лікарських препаратів.

- Компанія «Rio Tinto» (Австралія) впровадила безпілотні кар'єрні самоскиди, керовані з віддаленого центру.

- Російська компанія «Телеком-Защита» розробила серію рішень в галузі сільського господарства, включаючи технологію дистанційного контролю й аналізу стану зернових культур, що вирощуються в сінажному рукаві, систему ідентифікації тварин («Електронний пастух»), систему контролю тваринницьких комплексів («Розумна ферма»), систему управління тепличними приміщеннями («Розумні теплиці») і бджільницьких господарств («Розумний бджоляник»), систему раннього попередження дефектів сільськогосподарського обладнання.

Спектр можливих технологій, що використовуються для передачі трафіку «Інтернету речей», охоплює як бездротові, так і провідні мережі. Для бездротової передачі даних особливо важливу роль в побудові Інтернету речей грають такі якості, як ефективність в умовах низьких швидкостей, відмовостійкість, адаптивність, можливість самоорганізації.

Бездротові мережі для Інтернету речей підрозділяються на наступні типи:

- Low Power Short Range Networks – енергоефективні мережі малого радіусу дії;

- Low Power Wide Area Networks (LPWAN) – енергоефективні мережі великого радіусу дії;

- Cellular Network – технології, засновані на використанні стандартів стільникових мереж.

Short Range і LPWAN побудовані на використанні неліцензійного діапазону частот - ISM Bands. У секторі Short Range виділяють стандарт IEEE 802.15.4, що визначає фізичний шар і управління доступом для організації енергоефективних персональних мереж, і є основою для таких протоколів, як ZigBee, WirelessHart, MiWi, 6LoWPAN, а також Bluetooth low energy, NFC, WLAN (Wi-Fi). У секторі LPWAN існують такі основні стандарти і технології – SigFox, Symphony Link, Nwave, Ingenu (RPMA), Weightless, LoRa.

Окремо виділяються технології, що базують на мережах мобільного зв'язку, що використовують ліцензовані частотні діапазони - стандарти eMTC, EC-GSM-IoT, NB-IoT. eMTC і NB-IoT розгортається на обладнанні мереж LTE (також допускається будівництво виділених мереж NB-IoT в тому числі в частотних каналах мереж GSM); EC-GSM-IoT розгортається поверх мереж стандарту GSM. При цьому технологію NB-IoT також прийнято відносити до енергоефективних мереж великого радіусу дії (LPWAN).

Зв'язок 5G систем з технологіями IoT

Існує незліченна кількість досліджень, які намагаються кількісно оцінити та передбачити матеріальний вплив П'ятого покоління (5G) та Інтернету речей (IoT). Деякі з них зосереджуються на аспекті витрат, а інші – на цінності для суспільства. Однак, навіть якщо ці дослідження тривають, очевидно, що 5G стимулюватиме інновації у багатьох галузях промисловості та забезпечить платформу, яка дозволить новим технологіям, таким як IoT, стати невід'ємною частиною нашої економіки та способу життя.

5G – це основа для реалізації всього потенціалу IoT. Хоча 5G встановлюється для комерційної доступності приблизно до 2020 року, галузь вже працює над розробкою нових глобальних стандартів та попередньою продукцією 5G, щоб приносити користь галузям скрізь. Останній звіт про мобільність Ericsson AB [7] зазначає, що в 2022 році буде 550 мільйонів підписок на 5G, а Азіатсько-Тихоокеанський регіон буде другим найшвидшим регіоном, що зростає, 10% усіх підписок – 5G в 2022 році.

Оскільки зв'язок є основою трансформації галузі, 5G відіграватиме ключову роль – не лише в еволюції комунікацій, але й в еволюції бізнесу та суспільства в цілому. По дорозі до 5G операторам потрібно буде зробити більше, ніж просто розвинути мережі; їм потрібно буде перетворити свій бізнес на вирішення нових можливостей.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика технологій 4G та 5G

Параметри	4G (LTE)	5G (NR, New Radio)
Пікова швидкість завантаження	1 Гбіт/с	20 Гбіт/с
Швидкість завантаження для користувачів	10 Мбіт/с	100 Мбіт/с
Затримка	10 мс	4 мс (1 мс для URLLC)
Максимальна швидкість пересування без втрати сигналу	350 Км/год	500 Км/год
Щільність підключення	100 тис. пристроїв/км ²	1 млн. пристроїв/км ²
Трафік на одиницю площі	0,1 Мбіт/с/м ²	10 Мбіт/с/м ²

Оператори досягли успіху в підключенні телефонів, планшетів та інших пристроїв, але для підключення та управління все більшою кількістю автомобілів, лічильників, датчиків машин та побутової електроніки вигідно потрібні інноваційні бізнес-моделі. Сьогодні переважна більшість доходів операторів IoT надходить від підключення, але в наступні 5 років дохід також надійде від платформ, додатків та служб, що надають послуги. Оператори, здатні створити та керувати екосистемою сервісних партнерів, вдосконалити дані зі своїх платформ IoT та перетворити об'ємні дані в розумні дані, зможуть створювати додатковий дохід на основі вартості даних, а не просто обсягу.

Telia Co. AB і Telenor Connexion AB – приклади операторів, які вже додають значення IoT як межі зв'язку, забезпечуючи інтелектуальні платформи, сприяючи співпраці в екосистемах і навіть стаючи партнером з трансформації для інших галузей. Ericsson вже працює з більш ніж 27 провідними операторами мобільного зв'язку по всьому світу над 5G-мережами і використанням випадків, включаючи польові випробування 5G (рис. 2, 3).

Очікується, що IoT з підтримкою 5G не тільки забезпечить технологічне зростання; також передбачається, що це сприятиме підтримці 22 мільйонів робочих місць по всьому світу. Зростання робочих місць очікується від

оцифрування транспорту, сільського господарства, виробничої та інших фізичних галузей. Розглянемо також будівельні майданчики, шахти, нафтові випробування та флотильні вантажі: ці галузі отримали б велику користь від надшвидкої передачі даних чутливого до часу виходу їх продукції.



Рис. 2. Поширення мережі 5G (Європа, Азія, Африка та Австралія станом на травень 2020 року)



Рис. 3. Поширення мережі 5G (Північна та Південна Америка станом на травень 2020 року)

5G має потенціал для досягнення прогресу в галузі розумної техніки, а також розумного виробництва. Думаючи, що ще більше, 5G може дозволити IoT зробити практично миттєвий аналіз трафіку, покращити безпеку та громадську безпеку та, можливо, забезпечити віддалену операцію.

Підключаючи ці пристрої з автоматизованими системами, можна збирати дані. Ці дані допомагають створювати дії, які допомагають виконувати певне завдання. Є кілька інших переваг, таких як:

- Створення нових бізнес-моделей та джерел доходу тепер стає без зусиль. Завдяки безлічі пристроїв, доступних у людей, надто численних компаній, кожен творчий розум може отримати від цього користь.
- Досягнення операційної ефективності, оскільки компанія зараз стає без праці. На додаток до цього, ви можете автоматизувати їх бізнес та виробничий процес. Якщо ми застосуємо цю концепцію до промислових секторів, це може заощадити значну енергію та ресурси. Ефективність може бути підвищена в той же час, коли вона скорочує відходи, що утворюються.
- Інтернет речей сильно фокусується на наданні послуг, орієнтованих на клієнтів, завдяки яким якість послуг клієнтів може бути значно покращена. Наприклад, якщо дані та зразки відповідають контексту використання продукту замовника, продукти можуть бути розроблені, враховуючи індивідуальні потреби. Як результат, це призведе до більшої задоволеності клієнтів.

Давайте трохи розберемося зі змінами, які допоможуть 5G стати каталізатором для IoT-сервісів наступного покоління.

- Розширені схеми модуляції для бездротового доступу
- Можливості нарізки мережі
- Автоматизоване управління життєвим циклом мережевих додатків
- Підтримка оптимізованих для хмарних обчислень розподілених мережевих додатків

Нижче я хотіла би згадати деякі ключові показники або способи, за допомогою яких 5G грає вирішальну роль в підтримці послуг IoT наступного покоління в різних галузях промисловості:

1. Автомобільна промисловість. Одним з основних варіантів використання 5G є концепція підключених автомобілів в поєднанні з доповненою реальністю (AR) і віртуальною реальністю (VR). Розширені послуги автомобільної зв'язку, які включають як пряму зв'язок між транспортними засобами, транспортним засобом з пішоходом транспортним засобом з інфраструктурою), так і спрощену мережевий зв'язок для автономного водіння. На додаток до цього, підтримувані варіанти використання будуть зосереджені на зручності і безпеки автомобіля, включаючи спільне використання намірів, планування маршруту, скоординоване водіння і локальні оновлення в режимі реального часу.

2. Логістика. Підключення 5G дозволить використовувати складні датчики відстеження IoT, які можуть трансформувати логістичні операції від початку до кінця. Мало того, що високі швидкості і низька затримка дозволять збирати дані в режимі реального часу, а й ефективність використання енергії також дозволить їм накопичувати дані більш різноманітного характеру в усіх точках в ланцюжку поставок і протягом дуже довгого часу. проміжок часу. Споживач матиме доступ до докладної інформації, наприклад, про те, де була спіймана риба, яку вона щойно купила, в якій температурі вона зберігалася під час транспортування і коли вона була доставлена продавцю.

3. Розумні міста. 5G забезпечить більш широке застосування в ініціативах розумного міста - від управління водними ресурсами і відходами,

моніторингу трафіку до поліпшених медичних установ. Smart Cities буде користуватися перевагами мережі нового покоління, так як все більше датчиків потрапляють в міську інфраструктуру. 5G не тільки зможе впоратися з величезним навантаженням даних, але і зробить інтеграцію різних інтелектуальних систем, постійно взаємодіють один з одним, реальністю, наближаючи бачення дійсно пов'язаного міста.

4. Роздрібна торгівля. IoT для роздрібною торгівлі побачить позитивний вплив з появою 5G, оскільки вони будуть намагатися формувати взаємодію з клієнтами і їх взаємодія з допомогою мобільних телефонів. Краще підключення і більшу кількість пристроїв, підключених до мережі, дозволить їм швидше взаємодіяти з покупцями завдяки розширеним цифровим позначенням. Нові та інноваційні способи залучення клієнтів, які включають в себе доповнену реальність і віртуальну реальність, стануть більш популярними. Рітейлери зможуть поліпшити процес здійснення покупок, більш ефективно впроваджуючи всі види роздрібних продажів.

5. Промислові об'єкти. 5G запропонує не тільки більш надійну мережу, але і надзвичайно захищену мережу для промислового IoT, інтегрувавши безпеку в архітектуру базової мережі. Промислові об'єкти будуть в числі основних користувачів приватних мереж 5G.

6. Охорона здоров'я. Потреба в мережах реального часу буде досягнута з використанням 5G, що значно змінить галузь охорони здоров'я. Варіанти використання включають в себе пряму трансляцію відеофільмів про хірургічних операціях високої чіткості, які можна контролювати віддалено.

7. Комунікаційний транспорт. Постачальники послуг зв'язку будуть шукати подальшу заміну своїй оптоволоконної мережі з використанням бездротового ширококутового зв'язку. Це значно знизить витрати на прокладання оптоволоконних кабелів для ширококутового домашнього використання. AR і VR будуть видні як революційний користувацький досвід в іграх, роздрібних покупках і інших орієнтованих на клієнта додатках. Споживчий досвід буде покращено завдяки високій швидкості передачі даних і отриманням вкрай низькою затримки.

Разом 5G і IoT також допоможуть в доставці кожного предмета на полиці в інтернет, створивши для них цифрових двійників. Якщо очікується, що кількість пристроїв, підключених до апаратного забезпечення, обчислюється мільярдами, то ймовірність того, що звичайні споживчі товари з цифровими двійниками стануть частиною нового Інтернету речей, значно більше. Споживчі продукти не обов'язково повинні бути постійно підключені до Інтернету, як апаратні пристрої, але зможуть відправляти і отримувати інформацію про себе як про підключених інтелектуальних продуктах про взаємодію на основі подій з споживачами та іншими об'єктами за допомогою сканування, зчитувачів RFID, відводів NFC і багато чого іншого. Поточна бездротова інфраструктура не відповідає завданню управління такою кількістю продуктів в мережі, але 5G зробить це можливим.

Висновки з цього дослідження та перспективи подальших розробок у цій галузі

Визначено ключову роль впливу глобального впровадження Інтернету речей у повсякденність та промисловість. Описані можливості для розвитку сфери передачі даних. Визначено основні переваги впровадження нових стандартів зв'язку. Основні переваги Інтернету речей виправдані.

Література

1. Kevin Ashton. That 'Internet of Things' Thing. In the real world, things matter more than ideas. (англ.). RFID Journal (22 June 2009). URL: <https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing>
2. «NarrowBand-IoT: A Survey on Downlink and Uplink Perspectives», Luca Feltrin, Galini Tsoukaneri, Massimo Condoluci, Member, IEEE, Chiara Buratti, Toktam Mahmoodi, Senior Member, IEEE, Mischa Dohler, Fellow, IEEE, and Roberto Verdone, Senior Member, IEEE. URL: https://www.researchgate.net/publication/331081130_Narrowband_IoT_A_Survey_on_Downlink_and_Uplink_Perspectives
3. Disruptive Civil Technologies. Six Technologies with Potential Impacts on US Interests out to 2025 (англ.). National Intelligence Council (11 April 2008).
4. Леонид Черняк. Платформа Интернета вещей. Открытые системы. СУБД, №7, 2012. Открытые системы (26 сентября 2012).
5. Rob van Kranenburg. The Internet of Things: A critique of ambient technology and the all-seeing network of RFID. — Pijnacker: Telstar Media, 2008. — 62 с. — ISBN 90-78146-06-0.
6. Final Report: RFID and the Inclusive Model for the Internet of Things (англ.). Casagras Research (18 November 2009).
7. The Ericsson Mobility Report. URL: <https://www.ericsson.com/en/mobility-report>
8. Olivier Hersent, David Boswarthick, Omar Elloumi. The Internet of Things: Key Applications and Protocols. — Willey, 2012. — 370 с. — ISBN 978-1119994350.
9. Osseiran, A.; Boccardi, F.; Braun, V.; Kusume, K.; Marsch, P.; Maternia, M.; Queseth, O.; Schellmann, M.; Schotten, H. Scenarios for 5G mobile and wireless communications: the vision of the METIS project (англ.) // IEEE Communications Magazine (англ.) русск. : magazine. — 2014. — 1 May (vol. 52, no. 5). — P. 26—35. — ISSN 0163-6804. — doi:10.1109/MCOM.2014.6815890.
10. By Mark LaPedus, Semiconductor Engineering. «Waiting For 5G Technology.» June 23, 2016.

References

1. Kevin Ashton. That 'Internet of Things' Thing. In the real world, things matter more than ideas. (англ.). RFID Journal (22 June 2009). URL: <https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing>
2. «NarrowBand-IoT: A Survey on Downlink and Uplink Perspectives», Luca Feltrin, Galini Tsoukaneri, Massimo Condoluci, Member, IEEE, Chiara Buratti, Toktam Mahmoodi, Senior Member, IEEE, Mischa Dohler, Fellow, IEEE, and Roberto Verdone, Senior Member, IEEE. URL: https://www.researchgate.net/publication/331081130_Narrowband_IoT_A_Survey_on_Downlink_and_Uplink_Perspectives
3. Disruptive Civil Technologies. Six Technologies with Potential Impacts on US Interests out to 2025 (англ.). National Intelligence Council (11 April 2008).
4. Leonyd Cherniak. Platforma Ynterneta veshchei. Otkrytie systemy. SUBD, №7, 2012. Otkrytie systemy (26 sentiabria 2012).
5. Rob van Kranenburg. The Internet of Things: A critique of ambient technology and the all-seeing network of RFID. — Pijnacker: Telstar Media, 2008. — 62 s. — ISBN 90-78146-06-0.
6. Final Report: RFID and the Inclusive Model for the Internet of Things (англ.). Casagras Research (18 November 2009).
7. The Ericsson Mobility Report. URL: <https://www.ericsson.com/en/mobility-report>
8. Olivier Hersent, David Boswarthick, Omar Elloumi. The Internet of Things: Key Applications and Protocols. — Willey, 2012. — 370 s. — ISBN 978-1119994350.
9. Osseiran, A.; Boccardi, F.; Braun, V.; Kusume, K.; Marsch, P.; Maternia, M.; Queseth, O.; Schellmann, M.; Schotten, H. Scenarios for 5G mobile and wireless communications: the vision of the METIS project (англ.) // IEEE Communications Magazine (англ.) русск. : magazine. — 2014. — 1 May (vol. 52, no. 5). — P. 26—35. — ISSN 0163-6804. — doi:10.1109/MCOM.2014.6815890.
10. By Mark LaPedus, Semiconductor Engineering. «Waiting For 5G Technology.» June 23, 2016.