

УДК 004.7

Л. Т. АЛЕКСІНА;

О. О. ШЕВЧЕНКО, студентка,

Державний університет телекомунікацій, Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Завдяки застосуванню ідентифікації, збору даних, оброблення та комунікаційних можливостей, IoT повною мірою використовує «речі», щоб пропонувати послуги різного роду додатків, гарантуючи при цьому виконання вимог безпеки та конфіденційності. У статті розглянуто популярні технології для розгортання мереж Інтернету речей. Наведено короткий огляд технологій, принципи їх роботи, порівняльний огляд переваг та недоліків

Ключові слова: Інтернет речей; Sigfox; LoRa; NB-IoT.

Вступ

Останніми роками в галузі ІКТ утворився новий напрямок розвитку технологій, що дістав назву Інтернет речей або IoT (Internet of Things). Інтернет Речей (IoT) визначено в Рекомендації ITU-T Y.2060 (06/2012) як глобальна інфраструктура для інформаційного суспільства, що забезпечує розширені послуги шляхом взаємозв'язку (фізичного і віртуального) речей на основі спільної інформації та комунікаційних технологій, які вже існують і розвиваються. Із погляду технічної стандартизації IoT також можна розглядати як глобальну інфраструктуру для інформаційного суспільства, що забезпечує розширені послуги через взаємозв'язок (фізичний і віртуальний) речей, заснованих на інформаційно-комунікаційних технологіях [1]. Завдяки залученню можливостей ідентифікації, збору, оброблення і передавання даних, в Інтернеті речей забезпечується найбільш ефективно використання речей щодо надання послуг для всіх типів додатків із одночасним виконанням вимог безпеки і недоторканності приватного життя. У широкому сенсі Інтернет речей можна сприймати як концепцію, що має технологічні та соціальні наслідки [1].

Розвиток обчислювальної системи, де цифрові об'єкти можна однозначно ідентифікувати та які можуть мислити та взаємодіяти з іншими об'єктами для збору даних, на основі яких здійснюються автоматизовані дії, потребує поєднання нових та ефективних технологій, що можливо лише завдяки інтеграції різних технологій, які дозволяють змусити ідентифікувати об'єкти та спілкуватися один з одним [2].

Основна частина

Технологія Sigfox має на меті забезпечити під'єднання end-to-end LP-WAN IoT. Кінцеві пристрої використовують дисперсію 200 кГц навколо 868 МГц ISM-діапазону для передавання повідомлень через ультравузькосмугову (UNB) модуляцію (100 Гц) базовим станціям зіркової топології зі швидкістю передавання даних, що коливається

між 100 і 600 біт/с. Модуляція UNB зумовлює наднизький рівень шуму, що означає більшу чутливість приймача, отже, пристрої можуть отримати вигоду від низького енергоспоживання та недорогих антен. Радіостанції базової станції, які приймають повідомлення, що надсилаються пристроями, і передають їм повідомлення, розгортаються мережними операторами і під'єднуються до системи Sigfox за допомогою IP-технологій, таких як ADSL, оптика або LTE. Sigfox обмежений 140, 12-байтовими повідомленнями висхідної лінії зв'язку (пристрій до шлюзу) на день для одного пристрою, щоб відповідати 1% циклу роботи, розміщеному в 868 МГц ISM-діапазоні. Пристрої також обмежені двома 8-байтовими низхідними повідомленнями на день, які можна надсилати лише у відповідь на повідомлення висхідної лінії зв'язку. Це запобігає визнанню всіх повідомлень висхідної лінії зв'язку мережею, отже, більшість повідомлень висхідної лінії зв'язку дотримуються протоколу fire-and-forget. Повідомлення висхідної лінії зв'язку в середньому займає шість секунд time-on-air для передавання до базових станцій, а 12-байтове корисне навантаження даних передається в 26-байтовому кадрі Sigfox [3]. Кадр передається тричі на злегка різних частотах, щоб забезпечити наявність дублікатів і тим самим збільшити шанс доставляння пакетів. Базові станції відстежують усі різні канали, а дублююче приймання консолідується на бекенді. Потім консолідоване повідомлення відбивається на бекенді Sigfox разом із інформацією приймача (даючи користувачеві уявлення про якість приймання пристрою). Повідомлення можна пересилати на власний сервер даних клієнта через протокол HTTP або ж можна налаштувати просту службу електронної пошти [4].

LoRaWAN — це мережний стек, який використовує фізичний рівень LoRa. Він має максимальну швидкість передавання даних 27 кбіт/с і використовує мережу зірка для пристроїв і шлюзів (можливі також додатки точка-точка на основі LoRa). Для передавання даних від передавача до

приймача LoRa використовує модуляцію чирпу широкого спектра (chirp spread spectrum, CSS). CSS використовує для кодування даних синусоїдний сигнал (чирп), який має лінійні зміни частоти в часі. Дальність зв'язку LoRaWAN значно варіюється від 2 до 5 км у міських районах та до 15 км у сільській місцевості. Діапазон сильно залежить від вибраних параметрів модуляції LoRa [4].

Модуляція LoRa має три основні параметри, які можна встановити передавачем: коефіцієнт поширення SF , швидкість коду CR та пропускну здатність BW . Зміна цих параметрів змінює ефективну швидкість передавання бітів, стійкість до завад, діапазон і простоту декодування. На відміну від випадкового вибору частоти Sigfox, LoRaWAN використовує певні частоти (канали) для передавання повідомлень (рисунок).

Існує три класи пристроїв LoRaWAN: А, В і С. У пристроях класу А висхідна лінія складається з одного слота висхідної лінії зв'язку з наступними двома слотами для низхідної лінії зв'язку. Пристрої класу В дотримуються того самого правила, що і А, за винятком того, що є додатковий слот низхідної лінії зв'язку. Пристрої класу С постійно перебувають у режимі приймання, переходять у режим передавання лише тоді, коли заплановано висхідну лінію зв'язку.

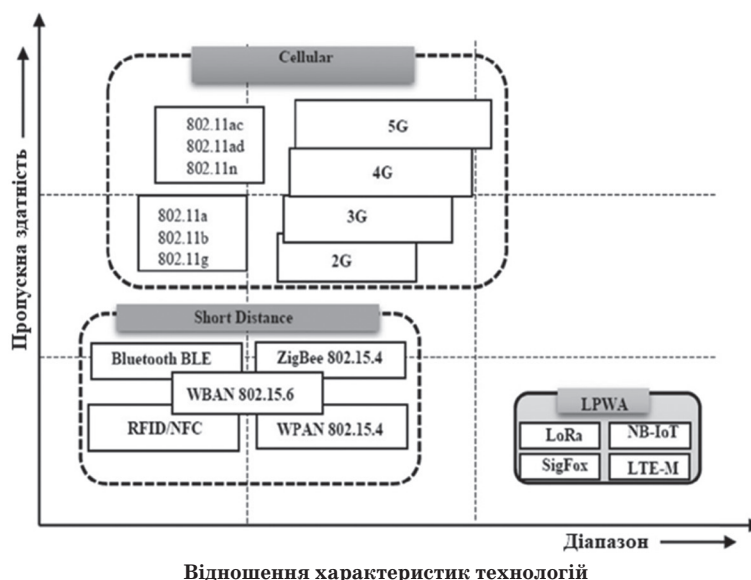
У LoRaWAN було забезпечено безпеку, хоча унікальний 128-розрядний мережний ключ сеансу, який спільно використовується між кінцевим пристроєм і мережним сервером, та унікальний 128-розрядний ключ сеансу програми спільно використовується на прикладному рівні. Поеднання двох ключів забезпечує автентифікацію та цілісність пакетів до мережного сервера та end-to-end шифрування сервера додатків, що запобігає сніфінгу радіопакетів. Додавання лічильника кадрів гарантує, що будь-які отримані підозрілі пакети, наприклад атака повторного відтворення (помил-

кові повідомлення), будуть відкинуті, якщо кількість кадрів не перебуває в очікуваних межах або нижче поточного числа кадрів [4].

Вузькосмуговий IoT (NB-IoT), також відомий як LTE Cat NB1, підтримується операторами стільникової мережі, розроблено для задоволення нових вимог розширеного покриття в сільських та глибоких приміщеннях, встановлених пристроями IoT. NB-IoT підтримує з'єднання IoT з меншою потужністю, ніж нинішній стандарт GPRS, і пропонує багаторічне підімкнення для IoT-прикладних додатків, керованих батареями. NB-IoT підтримується більш як 30 найбільшими у світі операторами мобільної мережі, які забезпечують покриття понад 3,4 мільярда клієнтів і обслуговують близько 90% ринку IoT у всьому світі [6].

У вересні 2015 року 3GPP оголосив NB-IoT у рамках випуску 13 як наступну галузеву мережу IoT. NB-IoT можна прокласти на більшості існуючої мережної інфраструктури із зміною вбудованого програмного забезпечення (для деяких потрібне додаткове обладнання), що полегшує перехід для операторів мобільної мережі та сприяє швидкому розвитку технології. Оператори мережі мають вибір трьох варіантів розгортання NB-IoT: in-band, у захисній смузі та stand-alone режимі. Внутрішньосмугове розгортання може бути небажаним через перенавантаження мережі, оскільки 180 кГц спектр NB-IoT розміщується всередині діапазону спектра LTE. Щоб вирішити цю проблему, оператори мобільної мережі можуть розміщувати 180 кГц спектр NB-IoT у захисних смугах (розроблених для запобігання завад). NB-IoT при бажанні також може бути розгорнутий в окрему смугу. Це корисно, коли спектр LTE ще перебуває на стадії розробки. Діапазон частот залежить від країни та оператора мережі [4].

NB-IoT під'єднує пристрої простіше та ефективніше в уже створених мобільних мережах, ніж



GPRS, і використовується для оброблення невеликої кількості двосторонніх даних, безпечно та надійно. NB-IoT використовує мультиплексування з ортогональним частотним розділенням каналів (OFDM) для низхідної лінії зв'язку та множинний доступ із поділом каналів за частотою з однією носійною (SC-FDMA) для висхідної лінії зв'язку та обмежує BW до одного вузькогосмугового діапазону 200 кГц. Перевага використання модуляцій OFDM та SC-FDMA полягає в тому, що одна комірка (базова станція) може обробляти мільярди з'єднань і, таким чином, обслуговувати 100-200 тис. пристроїв [6].

Оскільки NB-IoT використовує ліцензовані смуги частот, не має обмежень робочого циклу, тому він може запропонувати набагато більшу пропускну здатність даних, ніж Sigfox та LoRaWAN. NB-IoT пропонує швидкість передавання даних низхідній лінії зв'язку від 0,5 до 200 кбіт/с і швидкість передавання даних висхідної лінії зв'язку від 0,3 до 180 кбіт/с, залежно від умов мережі [6]. Наступною перевагою використання ліцензованої смуги частот є те, що немає обмежень на вихідну потужність, тому пристрої зазвичай передають повідомлення на 23 дБм (200 мВт). Це збільшує значення максимальної втрати зв'язку (MCL) до 164 дБ, що збільшує покриття та проникнення. Це головна перевага для пристроїв IoT, розташованих в умовах глибокого покриття, таких як люки, підземні автостоянки та підвали. Нарешті, доступна висока пропускну здатність дає змогу надсилати оновлення мікропрограмного забезпечення в прямому ефірі (FoTa) на пристрої IoT. Це звичайна вимога для пристроїв IoT і не доступна в мережах LoRaWAN або Sigfox [4]. NB-IoT працює в двох режимах енергозбереження (PSM), розширеному безперервному прийманні та PSM, що разом

забезпечує низьку потужність роботи, уможлививши використання пристроїв IoT, які живляться від батареї.

Висновки

У процесі використання Інтернету речей слід враховувати багато факторів, наприклад вартість вузла, вартість мережі, час роботи акумулятора, швидкість передавання даних, затримку, мобільність, охоплення мережею та тип розгортання.

Бачимо, що розглянуті технології мають свої переваги і недоліки відповідно до різних технологічних принципів. Важко уявити, що одна з них посуне інших із ринку, кожна програма має свої специфічні вимоги, які призводять до певного вибору технології. Загалом, сьогодні не існує однієї універсальної технології, але для кожного конкретного застосування можна вибрати найбільш відповідну або, навіть, поєднати кілька.

Список використаної літератури

1. *Рекомендації MCE-T Y.2060.*
2. *Benjamin Khoo. RFID as an Enabler of the Internet of Things: Issues of Security and Privacy // Internet of Things (iThings/CPSCOM), 2011.*
3. *Sigfox. Sigfox technical overview.*
4. *Durand T. G., Visagie L., Booyesen M. J. Evaluation of next-generation low-power communication technology to replace GSM in IoT-applications // IET, 2019.*
5. *Rao B. B. P., Salvia P., Sharma N., Mittal A., Sharma S. V. Cloud computing for Internet of Things & sensing based applications: Sixth International Conference, IEEE // Sensing Technology (ICST), 2012.*
6. *Vodacom and Vodafone. White paper: Narrow-band-IoT: pushing the boundaries of IoT systems.*

Рецензент: доктор техн. наук, доцент А. П. Бондарчук, Державний університет телекомунікацій, Київ.

Л. Т. Алексина, О. О. Шевченко

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Благодаря применению идентификации, сбора и обработки данных, коммуникационных возможностей, IoT в полной мере использует «вещи», чтобы предлагать услуги различного рода приложений, гарантируя при этом требования безопасности и конфиденциальности. В статье рассмотрены популярные технологии для развертывания сетей Интернета вещей. Приведен краткий обзор технологий, принципы их работы, сравнительный обзор преимуществ и недостатков.

Ключевые слова: Интернет вещей; Sigfox; LoRa; NB-IoT.

L. T. Aleksina, O. O. Shevchenko

RESEARCH OF IoT TECHNOLOGIES

Through the use of identification, data collection, processing and communication capabilities, IoT takes full advantage of «things» to offer a variety of application services while ensuring security and privacy requirements. The article discusses popular technologies for deploying the Internet of Things. A brief overview of technologies, principles of their operation, comparative overview of advantages and disadvantages.

Keywords: Internet of Things; Sigfox; LoRa; NB-IoT.