

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Інфокомунікацій _____
(повна назва)
Кафедра _____ Інфокомунікаційної інженерії ім.В.В.Поповського _____
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

Другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

ГЮІК.ХХХХХХ.002 ПЗ
(позначення документа)

Дослідження методів контролю послуг NB IoT
(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи _____ ТСМмзд-18-1
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка _____
(код і повна назва спеціальності)
освітньої програми Телекомунікаційні системи та мережі

_____ (повна назва освітньої програми)
Тип програми: _____ освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

_____ Радченко В.В. _____
(прізвище, ініціали)

Керівник: професор кафедри ІКІ ім. В.В. Поповського
_____ Москалець М.В. _____
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
Зав. кафедри _____

(підпис)

_____ Лемешко О.В.
(прізвище, ініціали)

2020 р.

*Атестаційна робота не містить
відомостей, що заборонені
до відкритого друку*

Студент 2 курсу, групи ТСМмзд-18-1 _____ Радченко В.В.
(підпис)

Керівник _____ проф. Москалець М.В.
(підпис)

Харківський національний університет радіоелектроніки
 Факультет Інфокомунікацій
 Кафедра Інфокомунікаційної інженерії ім.В.В.Поповського
 Рівень вищої освіти другий (магістерський)
 Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
 Тип програми: освітньо-наукова
 (освітньо-професійна або освітньо-наукова)
 Освітня програма Телекомунікаційні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри _____
 (підпис)

« ____ » _____ 2020р.

ЗАВДАННЯ НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту Радченко Владиславу Вадимовичу
 (прізвище, ім'я, по-батькові)

Тема роботи: Дослідження методів контролю послуг NB IoT

1. затверджена наказом по університету від « ____ » березня 2020р. № _____ Ст _____
2. Термін здачі студентом роботи 15.05.2020р.

Вихідні дані до роботи: методи розрахунків, аналіз, оцінка параметрів якості при даних, призначених для користувачів послуг NB IoT LTE мережі в ЧНН: R = 1000 км, вимоги до пропускної здатності мережі при швидкості 300 Мбіт / с, трафік – NB IoT LTE: Nпер.пакетів= 20 000, Nвтр пакетів = 103 при нормі K_{PER} = 0,01% , λ = 50 пак / с; N = 120 - число вихідних каналів; C_L = 200 кбіт / с.

3. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі:

1. Концепція розвитку мереж інтернет речей

2. Дослідження методів контролю послуг NB – IoT

3. Методи розрахунку, аналізу і оцінки параметрів якості послуг MNB-IoT LTE

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, плакатів):

5. Демонстраційний матеріал у вигляді ppt-презентації; 1. Титульний 2. Мета роботи 3. Шкала зміни кількості людей і предметів, підключених до Інтернет 4. Архітектура Internet of Things (IoT). 5. Технологічна дорожня карта Інтернету речей IoT (NB-IoT та BB-IoT). 6. Архітектура конвергенції IoT з інфокомунікаційними технологіями 7. Схема частотного ресурсу для послуг MNB-IoT 8. Схема варіантів веб-взаємодії та контролю сенсорної мережі 9. Гістограма найбільш задовільних та відповідних IoT Cloud платформ для галузей застосування. 10. Графіки залежності часу відгуку від поля довільної довжини для трафіку Інтернет-речей 11. Графіки залежності коефіцієнта втрати IP-пакетів від швидкості транспортного потоку і періоду втрат в ЧНН. 12. Висновки.

6.Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по-батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		(підпис)	(дата)
Основна частина	проф. Москалець М.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	17.02.2020	Виконано
2	Збір матеріалів для дослідження	01.03.2020	Виконано
3	Розробка 1 розділу	15.03.2020	Виконано
4	Розробка 2 розділу	30.03.2020	Виконано
5	Розробка 3 розділу	20.04.2020	Виконано
6	Висновки	01.05.2020	Виконано
7	Оформлення атестаційної роботи	15.05.2020	Виконано

Дата видачі завдання 17 лютого 2020 року

Студент _____ Радченко В.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ проф. Москалець М.В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 90 с., 31 рис., 3 табл., 1 додаток, 35джерел.

3GPP NB IoT LTE QoS MC SNR UMTS OFDM MIMO MAC IoT cloud

Об'єкт дослідження - це інфокомунікаційні послуги NB IoT

Мета роботи: дослідження та аналіз методів контролю послуг NB IoT в інфокомунікаціях.

Розглянуті MNB-IoT LTE мережі з комутацією пакетів, основні об'єкти і елементи, взаємодія протоколів управління трафіком.

Архітектура MNB-IoT LTE мережі побудована на основі управління і підтримки трафіка с технологією комутації пакетів в умовах рухомості MC з виконанням нормованих показників якості передачі інформації.

Досліджені методи забезпечення контролю MNB-IoT на прикладному рівні та на базі хмарних платформ.

Розглянуто методи управління різномірностями систем різних виробників IoT cloud платформи.

Проведені розрахунки, аналіз і оцінка нормованих параметрів якості послуг VoIP в MNB-IoT LTE мережі..

ABSTRACT

The report contains: 90 p., 31 fig., 3 tables, 1 application, 35 sources.

3GPP NB IoT LTE QoS MC SNR UMTS OFDM MIMO MAC IoT cloud

The object of research is infocommunications NB IoT service.

Purpose: research and analysis of control and management of NB IoT services in infocommunications.

MNB-IoT LTE packet switched networks, basic objects and elements, interaction of traffic management protocols are considered.

The MNB-IoT LTE network architecture is built on the management and support of packet-switching traffic under the conditions of mobile mobility with the performance of standardized information quality indicators.

Methods of providing MNB-IoT control at the application level and on the basis of cloud platforms are investigated.

Methods of managing heterogeneity of systems of different manufacturers of IoT cloud platform are considered.

Calculations, analysis and evaluation of standardized parameters of VoIP service quality in MNB-IoT LTE network have been carried out.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ.....	8
ВСТУП.....	9
1 КОНЦЕПЦІЯ РОЗВИТКУ МЕРЕЖ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ.....	11
1.1 Загальні оложення.....	11
1.2 Технології Інтернет-речей.....	12
1.3 Перспективи розвитку технології Інтернет- речей NB-IoT.....	18
1.4 Мережі пост NGN — FGN для послуг IoT(NB-IoT та BB-IoT).....	21
1.5 Основні базові принципи платформ IoT(NB-IoT та BB-IoT).....	26
1.6 Стандартизація Інтернет-речей(NB-IoT та BB-IoT).....	29
1.7 Архітектура IoT.....	33
2 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ПОСЛУГ NB – IoT.....	38
2.1 Загальні положення	38
2.2 Розподіл частотного ресурсу для послуг MNB-IoT.....	38
2.3 Забезпечення контролю послуг MNB-IoT на прикладному рівні.....	43
2.4 Методи контролю послуг MNB-IoT на базі хмарних платформ	48
2.5 Класифікація IoT хмарних платформ по галузям застосування	57
2.6 Управління та контроль системи IoT cloud платформи	59
2.7 Метрика статистичного аналізу IoT Cloud платформи.....	63
2.8 Аналіз класифікації галузей застосування IoTcloud платформ.....	64
2.9 Концепція розвитку та основні проблеми технології NB-IoT LTE.....	65
3 МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ, АНАЛІЗУ І ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ПОСЛУГ MNB-IoT LTE.....	72
3.1 Методи розрахунку параметрів послуг MNB-IoT LTE мереж	72
3.2 Аналіз та оцінці середнього часу відгуку на IP-мережах.....	76
ВИСНОВОКИ	83
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	87
ДОДАТОК А-Д	91

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

БП	Базові послуги
ДВО	Додаткові види обслуговування
МСЕ	Міжнародний союз електрозв'язку
ТМЗК	Телефонні мережі загального користування
ЧНН	Час найбільшого навантаження
ETSI	European telecommunications standardization institute
FGN	Future Generation Networks
FTTx	FiberToThex
HFC	Hybrid Fiber Coax
IBSG	InternetBusinessSolutionsGroup
IETF	Internet Engineering Task Force
IoT	Internet of Things
NB-IoT	Narrow Band Internet of Things
BB- IoT	Broad Band Internet of Things
LTE/SAE	LongTermEvolution/ServiceArchitectureEvolution
MEGACO	Media Gateway Control Protocol
NGN	NextGenerationNetwork
PLMN	Public land mobile network
PSTN	Public Switched Telephone Network
QoS	Quality of Service
UMTS	UniversalMobileTelecommunicationsSystem
5G	Fifth Generation
VoIP	Voice over IP
VR	Virtualreality
WoT	Web of Things
WSN	Wireless Sensor Network

ВСТУП

У зв'язку з перспективним розвитком мереж з пакетною комутацією і перед усім Інтернету, на початку 2000-х років всесвітня телекомунікаційна спільнота спочатку розробила, а потім і приступила до реалізації нової парадигми розвитку комунікацій – мереж нового покоління NGN (Next Generation Networks). Технології NGN має еволюційний шлях розвитку від комутаторів (Softswitch) до підсистем мультимедійної платформи IMS (IP Multimedia Subsystem) та безпроводових мереж довготривалої еволюції LTE (Long Term Evolution).

Основним користувачем мереж NGN це споживачі - отже, максимальне число абонентів в таких мережах завжди буде залежати від чисельності людства Землі.

Останнім часом досліджені методи радіочастотної ідентифікації RFID (Radio Frequency IDentification), безпроводові сенсорні мережі WSN (Wireless Sensor Network), комунікації малого радіуса дії NFC (Near Field Communication) і між машинні комунікації M2M (Machine-to-Machine), які, інтегруючись з Інтернетом, забезпечують комутацію різноманітних технічних пристроїв («речей»), число яких постійно будуть зростати. По експертним оцінкам консалтингового підрозділу Cisco IBSG в проміжку між 2008 та 2009 роками кількість підключених до Інтернету пристроїв набагато більше кількості людей, яка в 2018 році склала 26 мільярдів, а к 2020 року буде більше 50 мільярдів. Таким чином, в даний час відбувається еволюційний перехід від «Інтернету людей» до «Інтернету речей», IoT (Internet of Things) [1].

Тому сьогодні IoT – Cloud технології, сучасні та популярні. Cloud технології - це швидкість появи додатків, гнучкість і масштабованість.

З ростом кількості хмарних платформ та потребою їх впровадження, зростає і потреба в їх дослідженні та порівняльній характеристиці новизні та інструментів, які вони переблагають.

Мережі мобільних комунікацій «покоління» - 5G, разом з аналізом великих

масивів (BigData) і Інтернетом речей (IoT) покликані стати однією з основ цифрової економіки, головною рушійною силою якої повинен стати штучний інтелект (ШІ). За останні 40 років змінилося покоління мереж мобільного зв'язку. Коли мобільні мережі першого покоління 1G утилізовані, то мережі 2G, 3G і 4G досі продовжують надавати послуги мобільного зв'язку. Більш того, деяка кількість інфраструктури мереж 3G і 4G органічно увійде до складу мобільних мереж 5G.

«Інтернет речі» включені до глобальної мережевої інфраструктури, що складається з безлічі підключених пристроїв, які конвергують з сенсорними, комунікаційними, мережними й інформаційними технологіями.

В атестаційній роботі магістра на тему: «Дослідження методів контролю послуг NB IoT» проведено аналіз Концепції побудови мереж Інтернет речей, розглянуті основні методи контролю послуг, а також проведені розрахунки, аналіз і оцінки параметрів якості послуг MNB-IoT LTE.

1 КОНЦЕПЦІЯ РОЗВИТКУ МЕРЕЖ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ

1.1 Загальні положення

Технології LTE Advanced (LTE-A) і WiMAX 2 (WMAN-Advanced, IEEE 802.16 m) визнані технологіями 4G. Дані технології здійснюють передачу даних зі швидкістю, що більше 100 Мбіт/с — мобільним абонентам і 1 Гбіт/с — стаціонарним. С 2015 року були повідомлення про перспективу мереж нового покоління 5G.

На даний момент немає чіткого стандарту для мереж п'ятого покоління, однак, телекомунікаційні компанії, серед яких такі як: Huawei, Ericsson, Nokia, вже зараз пропонують Концепцію майбутніх 5G мереж. Передбачається, що 5G стане останнім і узагальненим стандартом для безпроводових технологій.

В системах четвертого покоління (4G) головною особливістю для залучення абонентів стала значне зростання швидкості. Але, як показала практика, швидкість не є головним фактором. Важливі такі параметри, як ємність мережі, затримки при передачі пакетів та інших факторів. І так як в мережах 5G планується робота колосальної кількості пристроїв, як від машин для кави, холодильників і закінчуючи автомобілями, то необхідно ефективно поліпшення робочих параметрів безпроводових мереж на основі збільшення швидкості передачі інформації до безлічі абонентів, збільшення ємності мереж і нормативних затримок.

Однією з базових технологій в мережах 5G стає "Інтернет речей". Інтернет речей - це не просто безліч різних приладів і датчиків, об'єднаних між собою проводовими та безпроводовими каналами комутації і підключених до мережі Інтернет, це більш тісна інтеграція реального і віртуального світів, в яких спілкування відбувається між людьми і пристроями. Для реалізації цього будуть впроваджені такі технології як безпроводові сенсорні мережі і RFID (метод автоматичної ідентифікації об'єктів). Таким чином, послуги "Інтернет речей" в мережах 5G дозволять не тільки взаємодіяти в єдиній мережі гаджетів і пристроїв

(смарт-годинники, пристрої VR, планшети і смартфони), але і дозволить охопити всі сфери діяльності людини (технологія розумний дім та місто).

1.2 Технології Інтернет речей

Інтернет речі (Internet of Things, IoT) — Концепція мереж, яка складається із взаємозв'язаних фізичних пристроїв, які мають вбудовані датчики, а також програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати передачу і обмін даними між фізичним світом та інфокомунікаційними системами, виконання вимог стандартів, протоколів фіксованого та мобільного зв'язку, як представлено на рис.1.1.



Рисунок 1.1 - Концепція Інтернет речей

Окрім датчиків, мережа включає виконавчі пристрої, вбудовані у фізичні об'єкти і комутуються між собою через проводові та безпроводові мережі. Ці взаємопов'язані пристрої забезпечені можливістю програмування та ідентифікації, а також дозволяють виключити необхідність участі людини, за рахунок взаємодії інтелектуальних інтерфейсів.

Перспектива послуг IoT дозволяє мільярдам підключених пристроїв

з'єднатися з Інтернетом, і це істотно впливає на спосіб взаємодії людей. (рис.1.2). Таким чином, в даний час відбувається еволюційний перехід від послуг «Інтернету людей» до «Інтернету речей», IoT (Internet of Things).

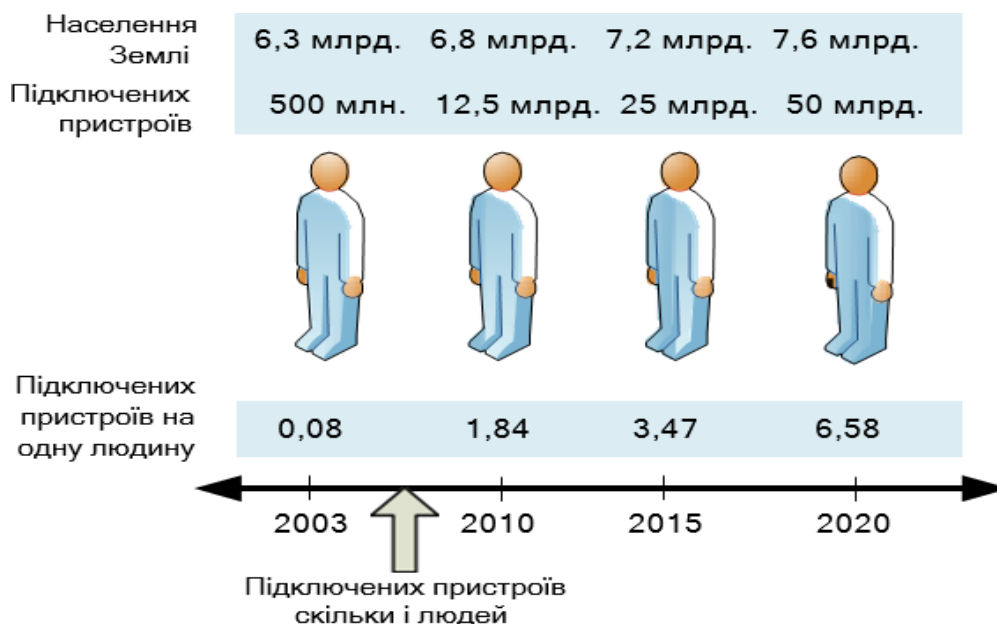


Рисунок 1.2 - Шкала зміни кількості людей і предметів, підключених до Інтернет

Під Інтернетом речей розуміється сукупність різноманітних приладів, датчиків, пристроїв, об'єднаних в мережу на основі ресурсів, які комутуються різноманітними протоколами взаємодії між собою і єдиним протоколом доступу до глобальної мережі. В ролі глобальної мережі для Інтернет-речей в даний момент є мережа Інтернет. Базовим протоколом є IP.

Internet of Things (IoT) доцільно досліджувати на технологічному, економічному і соціальному рівнях.

На технологічному рівні Internet of Things - це Концепція побудови інфраструктури мережі (фізичний рівень) Інтернет, в якій "розумні" речі без участі споживача здатні підключитися до мережі для віддаленого взаємодії з іншими терміналами (Thing - Thing) або взаємодії з ЦОДами та DATA-центрами (Thing – Web Objects) для передачі послуг на зберігання, їх контроль, аналітику і забезпечення управлінських рішень [3].

Internet of Things (IoT) забезпечить зміни економічних і соціальних моделей перспектив суспільства. Існують різні класифікації Internet of Things (IoT) (Індустріальний Інтернет речей - IIoT, Інтернет сервісів - IoS і т.д.) і послуг (енергетика, транспорт, медицина, сільське господарство, житлово-комунальне господарство, Smart City, Smart Home і т.д.).

Cisco ввела назву – Internet of Everything, IoE («Інтернет всього» або «Всеохоплюючий Інтернет»), а Internet of Things є новим етапом перспективи «Всеохоплюючої Інтернет» [9].

Перспективу послуг Інтернет речей або Internet of Things (IoT) забезпечують:

- технології безпроводових мереж з ефективним енергоживленням (LPWAN, WLAN, WPAN);
- темпи розвитку мобільних мереж для Internet of Things (IoT): EC-GSM, LTE-M, NB-IoT і універсальних мереж 5G;
- темпи переходу мережі Інтернет на версію протоколу IPv6;
- технології Smart Objects (сенсорні і віртуальні);
- спеціалізовані операційні системи зі стеком протоколів для мікроконтролерів сенсорів;
- реалізація стеку протоколів 6LoWPAN / IPv6 в операційних системах мікроконтролерів сенсорів і актуаторів;
- ефективне забезпечення Cloud computing для Internet of Things (IoT) платформ;
- послуги технологій M2M (machine-to-machine);
- впровадження технологій Software Defined Networks, що знижують навантаження на канали та тракти інфокомунікацій.

Архітектура глобальної мережі Internet of Things (IoT)

Як фрагмент архітектури Internet of Things (IoT) розглянута мережа (рис.1.3), що складається з декількох локальних мереж фізичних об'єктів, підключених до мережі Інтернет на базі пристроїв: Gateway, Borderrouter, Router.

Як впливає з архітектури IoT, мережа Internet of Things складається: з

обчислювальних мереж фізичних об'єктів, традиційної IP мережі Інтернет і різних пристроїв (Gateway, Borderrouter і т.д.), які об'єднують ці мережні ресурси.

Локальні мережі комутуються з "розумними" датчиками і приводами (пристроїв), об'єднаних в локальну мережу (персональну, корпоративну і глобальну) і управляючих центральним контролером (шлюзом, IoT Habs, платформою IoT).

В Internet of Things (IoT) функціонують технології безпроводових локальних мереж з малим енергоспоживанням, до яких відносяться ресурси малого, середнього і великого радіусів дії (WPAN, WLAN, LPWAN). До технологій мереж великого радіусу дії LPWAN, які представлені на рис.1.3, відносяться: LoRaWAN, SIGFOX, "Стриж" і Cellular Internet of Things або скорочено CIoT (EC-GSM, LTE-M, NB-IoT). До мереж LPWAN відносяться і інші технології, наприклад, ISA-100.11.a, Wireless, DASH7, SymphonyLink, RPMA і так далі, які на рисунку 1.3 не вказані [13].

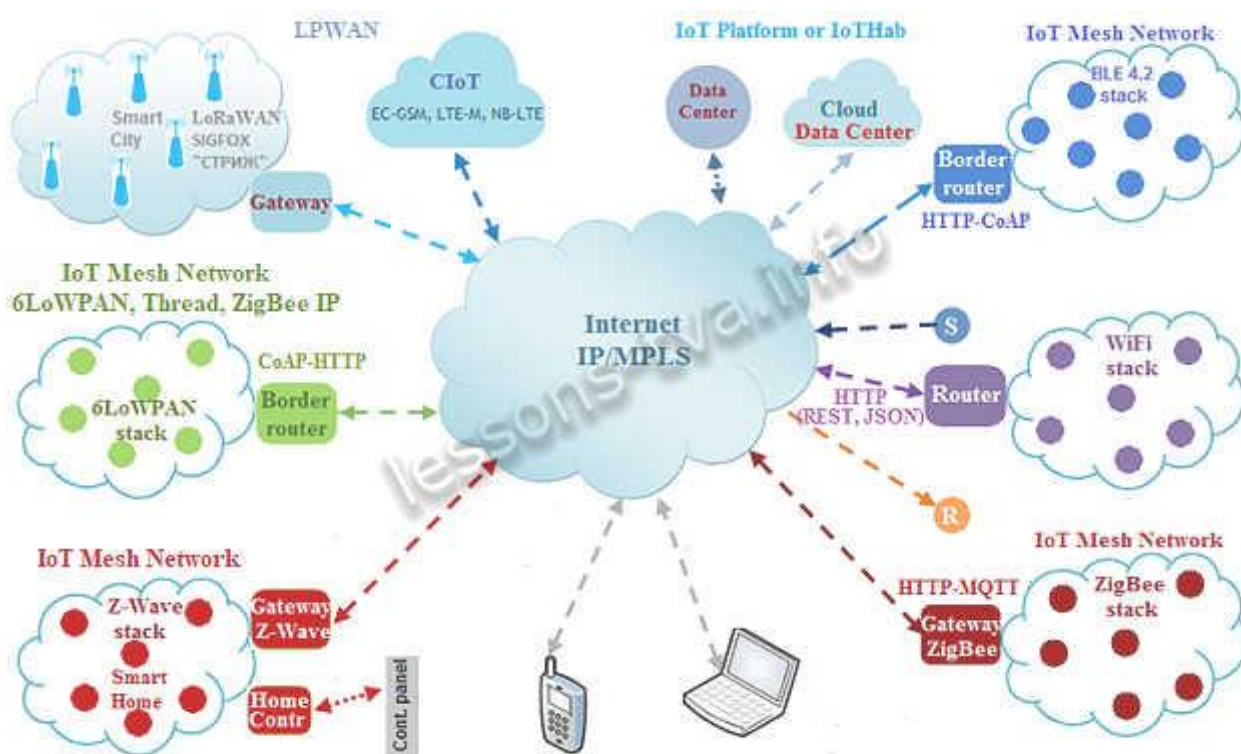


Рисунок 1.3 - Архітектура Internet of Things (IoT)

Однією з технологій є LoRa, яка призначена для мереж великого радіусу дії, з метою передачі даних телеметрії різних приладів обліку (датчиків води, газу і

т.д.) на далекі відстані.

LoRa - це метод модуляції визначає протокол фізичного рівня моделі OSI. Технологія модуляції LoRa може існувати в мережах з різною топологією і різними протоколами канального рівня. Ефективними мережами LPWAN є мережі LoRaWAN, які використовують протокол канального рівня LoRaWAN (MAC протокол канального рівня), а в якості протоколу фізичного рівня - модуляцію LoRa.

Мережа LoRaWAN (рис.1.4) включає кінцеві вузли End Nodes (трансіверів або модулів LoRa), підключених по безпроводовим мережам до концентраторів / шлюзів або радіобазових станцій, Network Server (сервера мережі оператора) та Application Server (сервера Додатків сервіс провайдера).

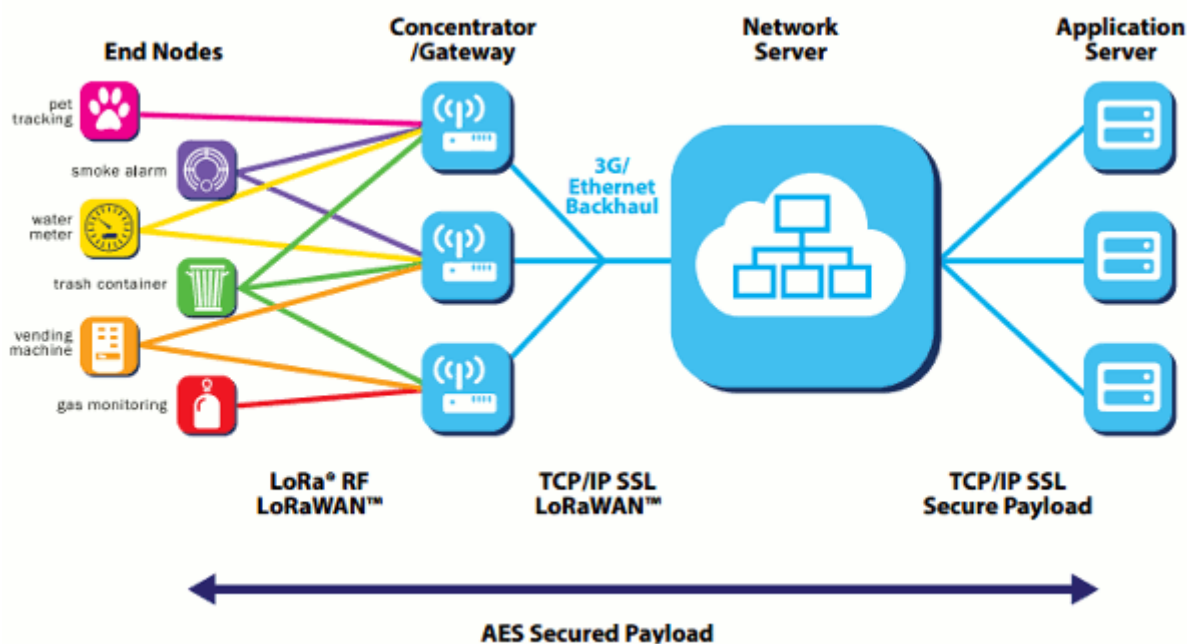


Рисунок 1.4 - Архітектура мережі LoRaWAN - "клієнт-сервер"

Архітектура LoRaWAN - "клієнт-сервер". LoRaWAN працює на 2-му рівні моделі OSI.

Між компонентами мережі «кінцеві вузли - сервер» використовується двосторонній зв'язок. Взаємодія кінцевих вузлів локальної мережі LoRaWAN з

сервером відбувається на основі протоколів канального рівня. В якості адреси використовуються унікальні ідентифікатори пристроїв (кінцевих вузлів) і унікальні ідентифікатори на сервері додатків[11].

Шлюз LoRa забезпечує міжвузлове взаємодію між мережами на основі різнорідних технологій LoRa / LoRaWAN, Wi-Fi, Ethernet та 3G. На рис. 1.4 представлена мережа LoRa з одним шлюзом, виконана по топології «зірка», але мережа LoRa включає безлічч шлюзів (мобільна структура мережі). У мережі LoRa з безліччю шлюзів «кінцеві пункти - шлюз» побудовані по топології «зірка», а також "шлюзи - сервер" підключені по топології «зірка».

Отримані з кінцевих вузлів дані зберігаються, відображаються і обробляються на сервері додатків (на автономному Web сайті або в «хмарі»). Для аналізу IoT-даних можуть застосовуватися методи Big Data. Користувачі за допомогою клієнтських додатків, встановлених на смартфон або ПК, мають можливість доступу до інформації на сервері додатків[16].

Основною технологією для «Інтернету речей» є технологія RFID, що дозволяє мікрочіпам в безпроводовому зв'язку передавати зчитувачам ідентифікаційну інформацію. На основі RFID-зчитувачів споживачі мають змогу ідентифікувати, відстежувати будь-які об'єкти, автоматично підключених RFID-міток. Технологія RFID широко використовується в логістиці, фармації, роздрібній торгівлі та управлінні лініями поставок з 1980-х рр. Інші основні технології для IoT - безпроводові сенсорні мережі (WSN), які в основному побудовані для взаємодії інтелектуальних датчиків (сенсори), для спільної роботи і моніторингу. Область їх дії включає моніторинг навколишнього середовища, телемедицина, виробничий контроль, моніторинг трафіку і т.д.

Технології SIGFOX (sigfox.com) і "Стриж" (strij.net) аналогічні технології LoRaWAN (www.semtech.com), але можуть мати деякі відмінності. Основна відмінність в методах модуляції, які визначають протоколи фізичних рівнів цих мереж. Технології SIGFOX, LoRaWAN і "Стриж" є конкурентами на ринку мереж LPWAN [18].

1.3 Перспективи розвитку технологій вузькосмугових Інтернет- речей NB-IoT

Конкурентами на ринку мереж LPWAN є технології NB-IoT(CIoT, EC-GSM, LTE-M та ін.), у т. ч 5G. Вони призначені для впровадження безпроводових мереж LPWAN на основі існуючої інфраструктури операторів мобільного зв'язку. Конвергенція традиційних мереж мобільного зв'язку з IoT є ефективною, тому в даний час нішу мереж LPWAN замінили LoRaWAN, SIGFOX і т.д. Але якщо оператори мобільного зв'язку своєчасно будуть використовувати технології EC-GSM (Extended Coverage GSM), LTE-M (LTE для M2M-комунікацій), які засновані на еволюції GSM і LTE, то вони потіснять LoRaWAN, SIGFOX і інші технології з ринку LPWAN [18].

До найбільш перспективних напрямків впровадження безпроводових мереж LPWAN відноситься Інтернет речей NB-IoT (Narrow Band IoT) на базі LTE, який розгортається поверх існуючих мереж LTE операторів мобільного зв'язку. Але стратегічним напрямком в CIoT є мобільні мережі нового покоління 5G, які можуть підтримувати IoT.

Технологія 5G, включає реалізацію задач з різномірним трафіком, підтримує підключення до Інтернет різноманітних пристроїв з різними параметрами (енергозабезпеченням, пропускної здатності і т.д.), як мобільних пристроїв (смартфонів, телефонів, планшетів і т.д.), так і Smart Objects (sensors or actuators).

В Нідерландах і в Південній Кореї мережі LPWAN для Internet of Things вже існують як загальнонаціональні мережі LoRa. Мережі SigFox для IoT побудовані в Іспанії і Франції. У багатьох країнах будуються національні мережі для Internet of Things (IoT) і т.д. В даний час в якості стандарту для локальних мереж LPWAN Інтернет речей IoT розглядаються стандарти - LoRaWAN і NB-IoT [18].

Слід зазначити, що в Internet of Things (IoT) та NB-IoT поряд з використанням хмарних технологій застосовуються технології «туманних обчислень» (fog computing). Це обумовлено тим, що в хмарної моделі, використовуваної в IoT, слабким місцем є пропускна здатність ресурсів

операторів мобільного зв'язку, за якими здійснюється обмін даними між "хмарою" і "розумними" пристроями локальних мереж.

Концепція " Cloud computing " передбачає децентралізацію обробки даних за рахунок передачі частини роботи з обробки даних та прийняття управлінських рішень з "хмари" безпосередньо пристроїв локальних мереж.

Підвищення пропускної здатності каналів комунікацій Cloud computing може забезпечити новий підхід їх впровадження на основі технології Software-Defined Networks (SDN). Тому використання SDN дозволить підвищити ефективність функціонування ресурсів Cloud computing і Internet of Things (IoT).

Безпроводові персональні мережі (WPAN) передачі даних малого радіусу з низьким енергоспоживанням - компоненти Internet of Things (IoT)

До мереж WPAN відносяться безпроводові сенсорні мережі на основі технологій: 6LoWPAN, Thread, ZigBee IP, Z-Wave, ZigBee, BLE 4.2 (Bluetooth Mesh). Ці мережі належать до mesh-мереж (самоорганізуючі і самовідновлюванні мережі з маршрутизацією), які мають пористу топологію, є складовими (компонентами) мережі Internet of Things (IoT) [21].

Персональні локальні мережі на основі технологій 6LoWPAN, Thread, ZigBee IP відносяться до IP мереж зі стеком протоколів 6LoWPAN або IPv6 стеком для 802.15.4 мереж (рис. 1.5).

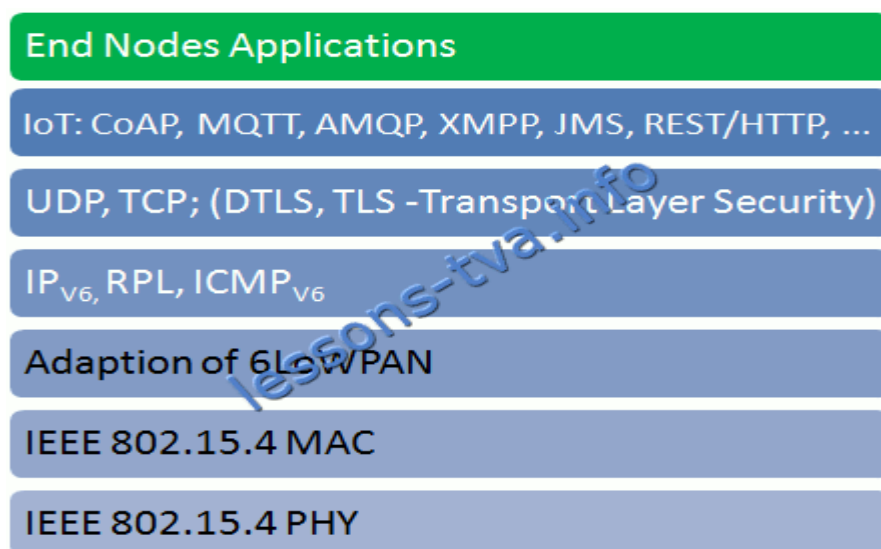


Рисунок 1.5 - 6LoWPAN Protocol Stack для IoT

В них використовується протокол 6LoWPAN (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks), який є версією протоколу IPv6 для безпроводових персональних сенсорних мереж з низьким енергоспоживанням стандарту IEEE 802.15.4. Як протокол маршрутизації використовується RPL (Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks) [26].

Таким чином, Інтернет речей не виключає участь споживачів. Платформа IoT не повністю автоматизує речі, оскільки орієнтована на споживача і надає йому можливість доступу до цих речей. Але багато речей зможуть вести себе інакше.

У IoT кожна річ має свій унікальний ідентифікатор, які спільно утворюють континуум речей, здатних взаємодіяти одна з одною, створюючи тимчасові або постійні мережі. Так речі можуть брати участь в процесі їх переміщення, ділячись інформацією про поточну геолокацію, що дозволяє повністю автоматизувати процес логістики, а маючи вбудований інтелект, речі можуть змінювати свої властивості і адаптуватися до навколишнього середовища, у тому числі для зменшення енергоспоживання. Вони можуть виявляти інші властивості так чи інакше, пов'язані з ними речі, і налагоджувати взаємодію.

IoT дозволяє будувати комбінацію інтелектуальних систем, об'єднаних мережами фіксованого та мобільного зв'язку. Спільно вони можуть будувати найрізноманітніші системи, наприклад, для роботи в середовищах, незручних або недоступних для споживача (космос, великі глибини, ядерні установки, трубопроводи та ін.).

Вважається, що першу у світі послугу Інтернет-речей створив один з батьків протоколу TCP / IP Джон Ромки в 1990 році, коли він підключив до мережі свій тостер. Але тільки в 21 столітті в зв'язку з перспективою розвитку інформаційно-комунікаційних технологій сформувалася Концепція IoT і отримала своє практичне втілення.

IoT можна умовно розділити на дві категорії відповідно до [4]: на споживчі IoT (CIoT) і промислові IoT (PIoT).

На рис.1.6 представлено ринок послуг Інтернет - речей.



Рисунок 1.6 - Ринок послуг Інтернет - речей

Ринок «Інтернет - речей» переживає період стрімкого зростання. За оцінками компанії Ericsson, в 2018 році кількість датчиків і пристроїв IoT перевищит кількість мобільних телефонів і IoT (NB-IoT та BB-IoT) стане найбільшою категорією підключених пристроїв. Аналітики компанії прогнозують, що до 2021 року із 50 мільярдів підключених пристроїв по світу навколо 26 мільярдів будуть комутовані із NB-IoT та BB-IoT.

Побудова можливостей Інтернет речей помітно трансформувало не лише особисті чи соціальні аспекти життя, але й вплинуло на більшість сфер бізнесу та економіки в цілому. За даними Ericsson Mobility Report, у світі 75 % компаній реалізують технологічні рішення з забезпеченням IoT (NB-IoT та BB-IoT), в пріоритеті — електроніка, транспорт, системи управління, логістика, фінанси та військова сфера.

Виникнення «Інтелектуальних мереж», які оснащені промисловими контролерами і можуть забезпечувати передачу даних і доступ в Інтернет, дозволило користувачам мережі отримувати конкретну інформацію: на які цілі і скільки електроенергії вони витрачають, використовувати різні джерела відновлюваної енергії і скорочувати споживання останньої.

1.4 Мережі пост NGN — FGN для послуг IoT (NB-IoT та BB-IoT)

Аналіз теоретичних досліджень в області складних систем і мережевих структур дозволяє зробити припущення про деякі особливості мереж нових поколінь і будуть це багатовимірні мережі. Багатовимірність є способом об'єднання розрізнених сутностей в єдине ціле і багатовимірні мережі майбутнього не обов'язково повинні мати чітко виражений розподіл на мережі транспорту, доступу і мережі підтримки та сервісу. Тому в інфокомунікаційних мережах нових поколінь — в мережах FGN (Future Generation Networks) стане можливим використання багатовимірної структури мережі і багатоядерних засобів в її вузлах забезпечувати обмін інформацією та надання різноманітних послуг споживачам за примітивною, на перший погляд, схемою. Доступ, транспорт, сервіс, підтримка—внутрішня справа інтегрованої мережі FGN, багатовимірна архітектура якої дозволяє спільно вирішувати задачі, які покладені на складові мережі, неординарними способами та відповідають рівню винаходів[27].

В мережі FGN наряду із ресурсами мереж можна використовувати і ресурси обчислювальних засобів по правилам стандартів. Використання в мережах багатоядерних обчислювальних засобів з пам'яттю, яка подібна багатовимірній пам'яті суперкомп'ютерів, буде сприяти розробці і реалізації принципів побудови багатовимірних мереж. Перехід до багатовимірних мереж з максимальним використанням ресурсів є головним показником відмінності мереж FGN від діючих мереж[28].

Мережа FGN - це багатовимірна і багаторівнева мережа, в яку інтегровані транспортна мережа, мережа синхронізації, мережа сигналізації і інші мережі підтримки транспорту і доступу, а також сервісні мережі для спільного надійного, якісного та безпечного надання найрізноманітніших послуг IoT(NB-IoT та BB-IoT).

Мережа нових поколінь FN

У зв'язку зі зростом змін на ринку інфокомунікацій, появою нових послуг і мереж: «Інтернет речей» IoT(NB-IoT та BB-IoT), «розумні» мережі та «хмарних обчислень», МСЕ-Т представив рекомендацію Y.3001, яка була прийнята в травні

2011 року та регламентує розвиток глобальної інформаційної інфраструктури, яка об'єднує вже існуючі інформаційно-комунікаційні мережі з врахуванням компонентів, які тільки плануються до впровадження, з використанням Інтернет протоколів на базі мереж NGN. В результаті обговорень визначена назва майбутніх телекомунікаційних мереж пост NGN: FN замість уже згаданої FGN.

Вимога до FN в забезпеченні повного спектра інфокомунікаційних послуг обумовлено появою затребуваності цілком різнорідних послуг з різко відмінними характеристиками: трафік – незначний і дуже високий; допустима затримка – мінімальна: одиниці й десятки мільсекунд і порівняно велика; сотні мільсекунд; спектр термінальних пристроїв: широкий, від телекомунікаційних об'єктів до побутових пристроїв: «Інтернет речей» IoT (NB-IoT та BB-IoT); послуги сенсорних і телекомунікаційних мереж; послуги високого класу з якості: відео конференції з високою реалістичністю відчутті і прості послуги: електронна пошта[29].

Функціональну гнучкість забезпечують самоорганізуючі мережи, де вузли будуть змінювати свої функції залежно від ситуації на мережі: міняти свою пропускну здатність, перетворюватися з транзитних вузлів у кінцеві і навпаки. Можливість віртуалізації ресурсів має вирішальне значення при організації послуг «хмарних обчислень». Чітке централізоване управління мережею при використанні нових методів управління є необхідною умовою її надійної роботи при різких змінах ситуації, пульсації трафіку, надзвичайних ситуаціях. Труднощі при забезпеченні мобільності та надійності в нових умовах пов'язані зі змінами характеристики послуг, зростанням їх кількості, виконанням мережами нових функцій. Також існує завдання щодо зменшення споживання енергетичних ресурсів.

Наномережі — мережі нових поколінь

Число безпроводових пристроїв до 2020 року складе 7 трильйонів, кожен з них використовує для передачі інформації радіочастотний спектр, у якого обмежений ресурс. Принципове змінення клієнтської бази змусило світове телекомунікаційне співтовариство переглянути основи побудови мереж зв'язку з

урахуванням істотного переважання в цій базі мереж майбутнього різноманітних пристроїв, біомас, конструкцій. Виникла необхідність побудови мереж для біороботів, де передача інформації може здійснюватися переміщенням мікрочастинок речовини, які отримали назву наномереж. Ці мережі являють собою самоорганізуючі мережі, в якості вузлів якої є наномашини, а інформація і сигналізація можуть передаватися шляхом переміщення мікрочастинок речовини. Наномашина - пристрій, що складається з компонентів нанорівню, здатний виконувати на цьому рівні завдання: передачу даних, обчислення, збереження даних, вимірювання— сенсори, впливу- актуатори. Прикладом наномашини є клітина, яка в своїй структурі повторює мікроробот[1].

Розвиток послуг Інтернет- речей NB-IoT та BB-IoT

Впровадження можливостей послуг, які надає Інтернет- речей, трансформувало особисті і соціальні аспекти життя та вплинуло на більшість сфер бізнесу та економіки в цілому. За даними Ericsson Mobility Report, у світі 75 % компаній впроваджують технологічні рішення з використанням послугIoT, в пріоритеті електроніка, транспорт, системи управління, логістика, фінанси та військова сфера.

Процес розвитку послуг Інтернету речей IoT (NB-IoT та BB-IoT), проілюстрован технологічною дорожньою картою, яка наведена на рис.1.7.



Рисунок 1.7 - Технологічна дорожня карта Інтернет речей IoT (NB-IoT та BB-IoT)

Усе почалося з необхідності оптимізації системи логістики та управління системою постачання підприємств. Друга хвиля інновацій була обумовлена необхідністю скорочення витрат в системах спостереження, безпеки, транспорту та ін. Третя була викликана потребою в геолокаційних сервісах. Четверта хвиля буде обумовлена необхідністю дистанційної присутності людини на місці скоєння подій, які вимагають його уваги, що стане можливим завдяки мініатюрним вбудованим процесорам. А наступним кроком буде можливість створення майбутніх мереж (Future Networks) з комірчастою топологією, що містять мітки, датчики, засоби вимірювання і управляючі пристрої.

З розвитком послуг Інтернет-речей IoT (NB-IoT та BB-IoT) все більше предметів будуть підключатися до глобальної, національної, регіональної, місцевої, корпоративної та локальної інфокомунікаційних інфраструктур (ГП, НП, РП, MAN, CAN, LAN), фіксованих та мобільних терміналів, у т.ч. мережі Інтернет тим самим створюючи нові можливості в сфері безпеки, аналітики та управління, відкриваючи все нові і більш широкі перспективи і сприяючи підвищенню якості життя населення [17].

Передбачається, що скоро «речі» стануть активними учасниками бізнесу, інформаційних і соціальних процесів, де вони можуть взаємодіяти і спілкуватися між собою, обмінючись інформацією про навколишнє середовище, реагуючи і впливаючи на процеси, що відбуваються в навколишньому світі, без втручання людини.

1.5 Основні базові принципи платформ IoT(NB-IoT та BB-IoT)

Платформи Інтернет – речей IoT(NB-IoT та BB-IoT) ґрунтується на трьох базових принципах. По-перше, всюди поширену NGN - комунікаційну інфраструктуру, по друге - глобальну, національну, регіональну, місцеву, корпоративну, в мобільних терміналах ідентифікацію кожного об'єкту і, по-третє - можливість кожного об'єкту відправляти і отримувати інформацію на мережах ГП, НП, РП, MAN, CAN, LAN, фіксованих та мобільних терміналах, у т.ч. мережі Інтернет, до якої споживачі підключені.

Найбільш важливими відмінностями Інтернет речей від існуючого Інтернету людей є:

- фокус на речах, а не на людині;
- істотно більше число підключених об'єктів;
- істотно менші розміри об'єктів і невисокі швидкості передачі даних;
- фокус на зчитуванні інформації, а не на комунікаціях;
- необхідність створення нової інфраструктури і альтернативних стандартів.

Концепція мереж нового покоління NGN припускає можливість комунікацій людей (безпосередньо або через комп'ютери) у будь-який час і у будь-якій точці простору. Концепція Інтернет речей включає ще один напрям - NGN комунікації будь-яких пристроїв або речей платформи IoT(NB- та BB-IoT) (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 - NGN комунікації для реалізації платформ Інтернет речей

Концепція IoT (NB-IoT та BB-IoT) і термін для неї уперше сформульовані засновником дослідницької групи Auto - ID при Массачусетському технологічному інституті Кевіном Ештоном в 1999 році на презентації для керівництва компанії Procter&Gamble [30].

Офіційне пояснення Інтернет- речей приведене в Рекомендації МСЕ-Т Y.2060 згідно з якої IoT - глобальна інфраструктура інформаційного суспільства, яка забезпечує нові послуги на основі організації зв'язку між речами (фізичними або віртуальними) та існуючих ГП (НП, РП, MAN, CAN, LAN), фіксованих та мобільних терміналів, у т.ч. служб мережі Інтернет.

Під «речами» (things) тут розуміється фізичний об'єкт (фізична річ) або об'єкт віртуального (інформаційного) світу (віртуальна річ, наприклад, мультимедійний контент або прикладна програма), які можуть бути ідентифіковані і об'єднані через комунікаційні мережі ГП (НП, РП, MAN, CAN, LAN), фіксованих та мобільних терміналів, у т.ч. мережі Інтернет.

Окрім поняття «річ», МСЕ-Т також використовує назву «пристрій» (device), під яким розуміється частина обладнання з обов'язковими можливостями з

комунікацій і необов'язковими можливостями з сенсорингу/зондування, приведення в дію речі, збору, обробці і зберіганню даних. Звідси витікає, що МСЕ-Т більшою мірою приділяє увагу аспектам комунікацій і між з'єднанням, ніж застосункам IoT.

Схема організації фізичних і віртуальних речей представлена на рис. 1.9.

З рисунку 1.9 віртуальні речі можуть існувати без їх фізичних втілень, де фізичному об'єкту/речі обов'язково відповідає мінімум один віртуальний об'єкт. При цьому провідну роль грають саме пристрої, які можуть збирати різну інформацію і передавати її по комунікаційних мережах різними способами: через шлюзи і через мережу; без шлюзів, але через мережу; безпосередньо між собою.

Рекомендація Y.2060 описує різне поєднання перерахованих способів з'єднань. Це вказує на те, що МСЕ-Т передбачає використання для IoT безлічі мережевих технологій ГП (НП, РП, MAN, CAN, LAN), фіксованих та мобільних терміналів, у т.ч. мережі Інтернет, а також мереж, що самоорганізуються (ad - hoc) і комірчастих (mesh) [23].

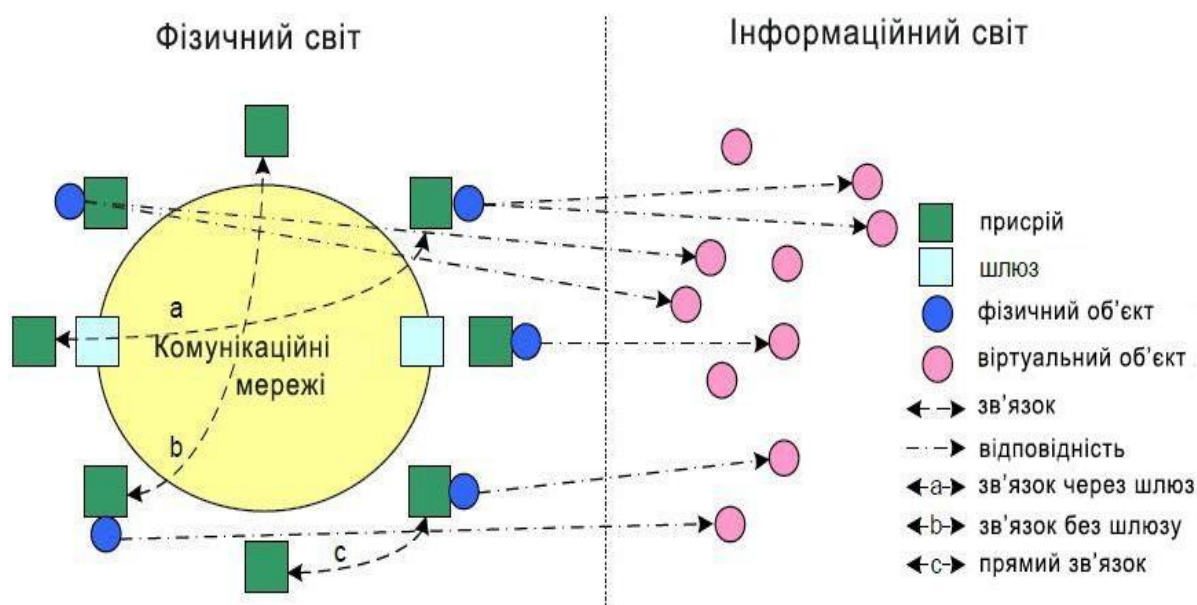


Рисунок 1.9 - Схема організації фізичних і віртуальних речей

Вказані мережі інфокомунікацій передають дані, зібрані елементами, до відповідних програмних за стосунків та навпаки.

Слід зазначити, що речі і пов'язані з ними пристрої можуть мати повноцінні процесори, для обробки даних у вигляді «системи-на-кристалі», у тому числі з власною операційною системою, блоком сенсору/зондування довкілля і блоком комунікації.

Поняття «Інтернет речей» і «Інтернет-річ». Під Інтернет- річчю розуміється будь-який пристрій, який:

- має доступ до мережі Інтернет з метою передачі або запиту яких-небудь даних;
- має конкретну адресу в глобальній мережі або ідентифікатор, по якому можна здійснити зворотний зв'язок з річчю;
- має інтерфейс для взаємодії з користувачем.

Інтернет-речі- IoT(NB-IoT та BB-IoT) мають єдиний протокол взаємодії, згідно з яким будь-який вузол мережі рівноправний в наданні своїх сервісів. На шляху переходу до втілення ідеї Інтернет речей стояла проблема, яка пов'язана з протоколом IPv4, ресурсом вільних мережевих адрес, який вже практично вичерпав себе. Проте підготовка до повсюдного впровадження версії протоколу IPv6 дозволяє розв'язати цю проблему і наближає ідею Інтернет речей до реальності.

Кожен вузол мережі Інтернет речей надає свій сервіс, деяку послугу постачання даних. В той же час вузол такої мережі може приймати команди від будь-якого іншого вузла. Це означає, що усі Інтернетречі IoT(NB-IoT та BB-IoT) можуть взаємодіяти одне з одним і вирішувати спільні обчислювальні завдання. Інтернет речі можуть утворювати корпоративні та локальні мережі, об'єднані якою-небудь однією зоною обслуговування або функцією.

1.6 Стандартизація Інтернет-речей (NB-IoT та BB-IoT)

Питаннями стандартизації і практичного впровадження окремих складових Інтернету речей (M2M, RFID, сенсорні мережі та ін.) займаються багато міжнародних організацій, неурядові асоціації, альянси виробників і операторів,

партнерські проекти. В цілому для Інтернет речей, як нового напрямку розвитку інфокомунікацій, нині визначені найзагальніші концептуальні і архітектурні рішення. Основною проблемою буде гармонізація різних стандартів з метою формування єдиної і не суперечливої нормативної бази для практичної реалізації Інтернет- речей.

У рамках діяльності сектору стандартизації телекомунікацій Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ-Т) є три глобальні ініціативи GSI (Global Standards Initiative). Під глобальною ініціативою розуміється комплекс робіт, що виконуються паралельно різними дослідницькими комісіями МСЕ відповідно до скоординованого плану роботи. Одна з таких ініціатив присвячена стандартизації Інтернет речей - IoT - GSI (Global Standards Initiative on Internet of Things) [11].

Дві інші глобальні ініціативи - зі стандартизації мереж подальших поколінь NGN - GSI і систем телебачення на основі протоколу Інтернет IPTV - GSI також базуються на використанні IP- технологій, як і IoT - GSI.

IoT - GSI буде свою роботу на основі зусиль МСЕ -Т в таких областях, як мережеві аспекти ідентифікаційних систем (Network Identifier, NID), сенсорні мережі (Ubiquitous Sensor Networks, USN), міжмашинний зв'язок (M2M), WEB речей (WoT) і тому подібне. У рамках серії МСЕ -Т Y.2xxx, яка присвячена мережам нового покоління NGN, вже затверджені перші рекомендації, присвячені спеціально Інтернет- речам: Y.2060 «Огляд Інтернет - речей», Y.2063 «Основа WEB речей» і Y.2069 «Терміни і визначення Інтернет речей» та ін.

У Рекомендації Y.2060 приведена еталонна модель IoT, яка дуже схожа на модель NGN і також включає чотири базові горизонтальні рівні (рис. 1.10):

- рівень застосунків IoT;
- рівень підтримки застосунків і послуг;
- рівень мережі;
- рівень пристроїв.



Рисунок 1.10 - Модель IoT

Рівень застосунків IoT в Рекомендації Y.2060 детально не розглядається. Рівень підтримки застосунків і послуг включає загальні можливості для різних об'єктів IoT (NB-IoT та BB-IoT) з обробки і зберігання даних, а також можливості, необхідні для додаткових застосунків IoT (NB-IoT та BB-IoT), або груп таких застосувань.

Мережевий рівень включає мережеві можливості (функція управління ресурсами мережі доступу і транспортної мережі, управління мобільністю, функції авторизації, аутентифікації і розрахунків, AAA) і транспортні можливості (забезпечення зв'язності мережі для передачі інформації застосунків і послуг IoT).

Рівень пристроїв включає можливості пристрою і можливості шлюзу. Можливості пристрою припускають прямий обмін з мережею зв'язку, обмін через шлюз, обмін через безпроводну динамічну ad-hoc мережу, а також тимчасовий зупин і відновлення роботи пристрою для енергозбереження. Можливості шлюзу припускають підтримку безлічі інтерфейсів для пристроїв (шина CAN, ZigBee, Bluetooth, WiFi та ін.) і для мереж доступу/транспортних мереж (2G/3G, LTE, DSL та ін.).

Іншою можливістю шлюзу є підтримка конверсії протоколів, у разі, якщо протоколи інтерфейсів пристроїв і мереж відрізняються один від одного.

Існує також два вертикальні рівні - рівень управління і рівень безпеки, що охоплюють усі чотири горизонтальні рівні. Можливості вертикального рівня експлуатаційного управління передбачають управління наслідками відмов,

можливостями мережі, конфігурацією, безпекою і даними для білінгу. Основними об'єктами управління є пристрої, локальні мережі і їх топологія, трафік і перевантаження на мережах.

Можливості вертикального рівня безпеки залежать від горизонтального рівня. Для рівня підтримки застосунків і послуг визначені функції AAA, антивірусний захист, тести цілісності даних. Для мережевого рівня - можливості авторизації, аутентифікації, захисту інформації протоколів сигналізації. На рівні пристроїв - можливості авторизації, аутентифікації, контроль доступу і конфіденційність даних.

Основною метою Європейського інтеграційного проекту IoT - A (Internet of Things - Architecture), учасниками якого є різні компанії, являє собою розробка еталонної архітектурної моделі Інтернет речей з описом основних складових компонентів, яка б дозволила інтегрувати різноманітні технології IoT (NB-IoT та BB-IoT) в єдину взаємозв'язану архітектуру.

Функціональна модель IoT - A (рис.1.11) дещо відрізняється від моделі MSE (рис.1.10), хоча вона також є ієрархічною, але складається вже з семи горизонтальних рівнів, що доповнюються двома вертикальними (управління і безпека), які беруть участь в усіх процесах.



Рисунок 1.11- Функціональна модель архітектури IoT-A

Якщо звернутися до технічних особливостей моделі на рис.1.8, то можна сказати, що модель передачі даних в Інтернет речей IoT-A відрізнятиметься від

існуючої моделі передачі даних через Інтернет [21].

У моделі архітектури IoT - А фігурують два важливі поняття. Мережа з обмеженнями характеризується відносно низькими швидкостями передачі — менше 1 Мбіт (наприклад, стандарт IEEE 802.15.4) і досить високими затримками. Мережа без обмежень відповідно характеризується високими швидкостями передачі даних (десятки Мбіт/с і більше) і схожа на існуючу мережу Інтернет.

Відмінність цих моделей мереж показана на рис.1.12.

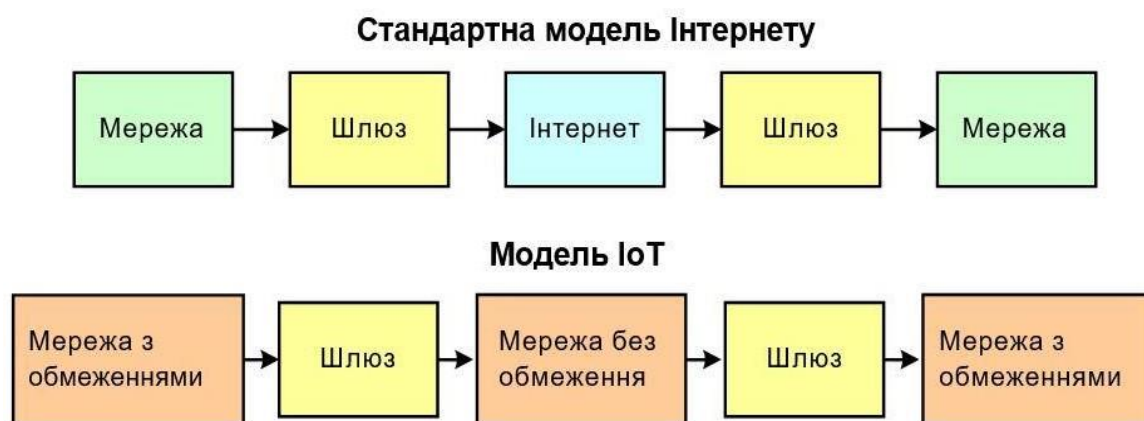


Рисунок 1.12. Порівняння моделей передачі даних в Інтернеті і в IoT (NB-IoT та BB-IoT)

1.7 Архітектура конвергенції IoT з інфокомунікаційними технологіями

Інтернет- речей концептуально належить до мереж наступного покоління, тому його архітектура багато в чому схожа з відомою чотиришаровою NGN архітектурою.

IoT складається з набору різних інфокомунікаційних технологій (ГП, НП, РП, MAN, CAN, LAN), фіксованих та мобільних терміналів, у т.ч. мережі Інтернет, що забезпечують функціонування Інтернету речей, і його архітектура показує, як ці технології пов'язані одне з одним.

Архітектура IoT включає чотири функціональні рівні (рис.1.13), описаних нижче.

1. Рівень сенсорів і сенсорних мереж

Самий нижній рівень архітектури IoT складається з «розумних» (smart) об'єктів, інтегрованих з сенсорами (датчиками). Сенсори реалізують з'єднання фізичного і віртуального (цифрового) світів, забезпечуючи збір і обробку інформації в реальному масштабі часу. Мініатюризація, що призвела до скорочення фізичних розмірів апаратних сенсорів, дозволила інтегрувати їх безпосередньо в об'єкти фізичного світу.

Існують різні типи сенсорів для відповідних цілей, наприклад, для виміру температури, тиску, швидкості руху, місця розташування та ін. Сенсори можуть мати невелику пам'ять, даючи можливість записувати деяку кількість результатів вимірів. Сенсор може вимірювати фізичні параметри контрольованого об'єкту/явища і перетворювати їх в сигнал, який може бути прийнятий відповідним пристроєм.

Сенсори класифікуються відповідно до їх призначення, наприклад, сенсори довкілля, сенсори для тіла, сенсори для побутової техніки, сенсори для транспортних засобів і т. д.

Більшість сенсорів вимагають з'єднання з агрегатором сенсорів (шлюзом), які можуть реалізуватися з використанням локальної обчислювальної мережі (LAN, LocalAreaNetwork), таких як Ethernet і WiFi, персональних мереж (PAN, PersonalAreaNetwork), таких як ZigBee, Bluetooth та ультраширокопasmогового безпроводового зв'язку на малих відстанях (UWB, Ultra - WideBand). Для сенсорів, які не вимагають підключення до агрегатору, їх зв'язок з серверами/ застосунками може надаватися з використанням глобальних безпроводових мереж WAN, таких як GSM, GPRS, 3G, LTE та нового стандарту 5G [31].

Сенсори, які характеризуються низьким енергоспоживанням і низькою швидкістю передачі даних, утворюють широко відомі безпроводні сенсорні мережі (WSN, Wireless Sensor Network). WSN набувають все більшої популярності, оскільки вони можуть містити значно більше сенсорів з підтримкою роботи від батарей і охоплюють великі площі (рис.1.13).

2. Рівень шлюзів та мереж. Великий об'єм даних, що будуються на

першому рівні IoT численними мініатюрними сенсорами, вимагає надійної і високопродуктивної дротової або безпроводової мережевої інфраструктури в якості транспортного середовища.

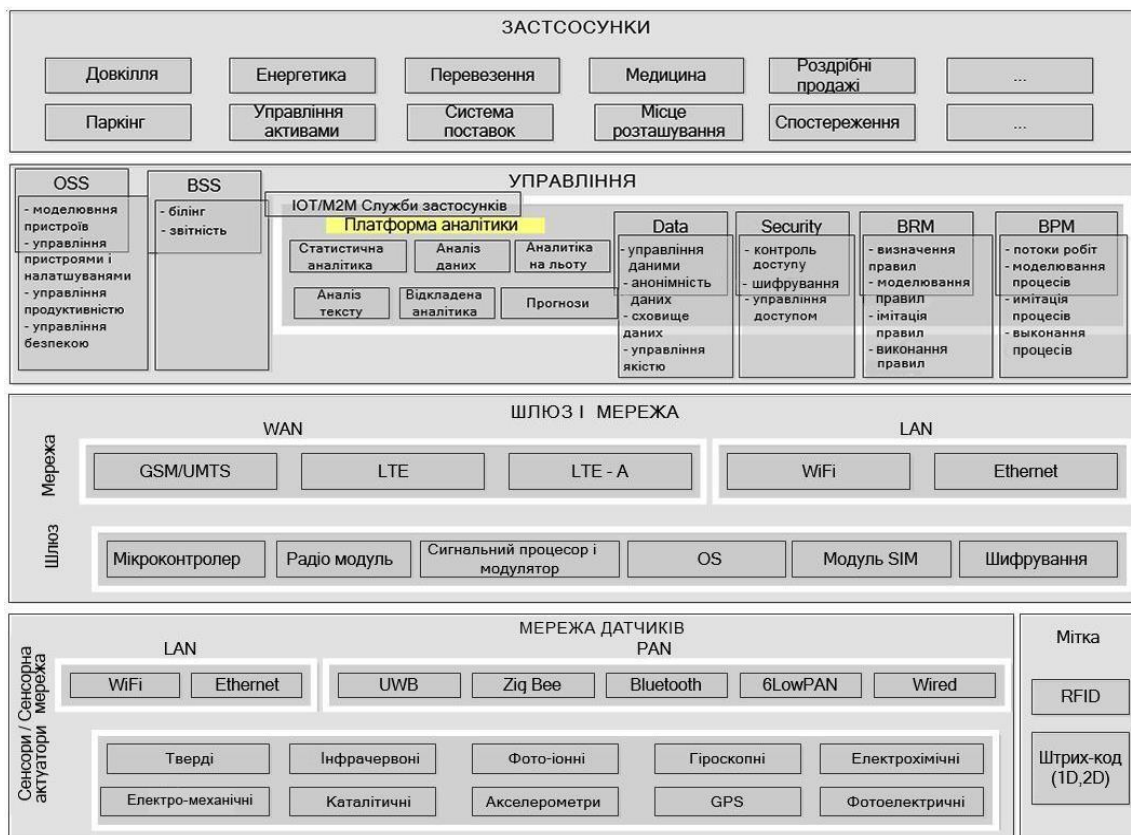


Рисунок 1.13 - Архітектура конвергенції IoT з інфокомунікаційними технологіями

Існуючі мережі зв'язків, що використовують різні протоколи, можуть бути використані для підтримки міжмашинних комунікацій M2M і їх застосувань. Для реалізації широкого спектру послуг і застосунків в IoT необхідно забезпечити спільну роботу з конвергенцією мереж різних технологій і протоколів доступу в гетерогенній конфігурації.

Ці мережі повинні забезпечувати необхідні значення якості передачі інформації, і передусім по затримці, пропускній спроможності і безпеці.

3.2-й рівень складається з конвергентної мережевої інфраструктури, яка утворюється шляхом інтеграції різнорідних мереж в єдину мережеву платформу. Конвергентний абстрактний мережевий рівень в IoT дозволяє через відповідні

шлюзи декільком користувачам використовувати ресурси в одній мережі незалежно і спільно.

4. Сервісний рівень містить набір інформаційних послуг, покликаних автоматизувати технологічні і бізнес операції в IoT: підтримка операційної і бізнес діяльності (OSS/BSS, Operation Support System/Business Support System), різної аналітичної обробки інформації (статистичний, інтелектуальний аналіз даних і текстів, прогностична аналітика та ін.), зберігання даних, забезпечення інформаційної безпеки, управління бізнес-правилами (BRM, Business Rule Management), управління бізнес-процесами (BPM, Business Process Management) та ін.

5. Рівень за стосунками. На четвертому рівні архітектури IoT існують різні типи застосунків для відповідних промислових секторів і сфер діяльності (енергетика, транспорт, торгівля, медицина, утворення та ін.). Застосунки можуть бути «вертикальними», коли вони є специфічними для конкретної галузі промисловості, а також «горизонтальними», (наприклад, управління автопарком, відстежування активів та ін.), які можуть використовуватися в різних секторах економіки.

З огляду на те, що стандарт NB-IoT тільки сформований, їх Концепція ще відточується. Ряд розробників планують розширити функціонал мережі в наступних релізах голосовим сервісом, тому що швидкість роботи мережі дозволяє це зробити. Також, швидше за все, NB-IoT стане однією зі складових специфікацій мереж 5G (Narrowband 5G) [29].

2 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ПОСЛУГ NB - IoT

2.1 Загальні положення

NB-IoT дозволяє операторам мобільного зв'язку негайно забезпечити надання комерційних рішень в сегменті IoT. Це сталося з початку 2017 року, задовго до того, як 5G буде стандартизована.

Три варіанти розгортання «вузькосмугового IoT» впливають на продуктивність не тільки для MNB-IoT RAN (Mobile narrowband IoT Radio access network; мережу радіодоступу в різних стандартах мобільного зв'язку), але і для одночасного розгортання MBW - IoT (mobile broadband IoT мобільний широкосмуговий доступ).

З точки зору мережі радіодоступу (RAN) існує три варіанти розгортання MNB-IoT. Два з цих варіантів підходять для розгортання в спектрі, який вже пройшов ліцензування.

Варіант «в середині смуги», де MNB-IoT розгортається в середині існуючого LTE спектра, використовуюваного для надання мобільних широкосмугових (MBW) послуг [16].

Варіант «захищеної смуги» з використанням спектра по краях каналу (тобто в невикористаній частини спектра) існуючих LTE. Однак тут можливі перешкоди від суміжного каналу на кордонах існуючих LTE базових станцій. «Захищені смуги» можуть бути використані без урахування потужностей основних базових станцій LTE);

Третій варіант полягає в розгортанні NB-IoT з використанням присвоєння виділених частот (тобто «автономного» розгортання), а також використання сукупності різних виділених базових станцій спеціально для LTE і MBW.

2.2 Розподіл частотного ресурсу для послуг MNB-IoT

Стандарт NB-IoT є двосторонній зв'язок, що діє в частотному каналі

шириною 200 кГц. Для того, щоб запустити мережу в експлуатацію, оператору всього лише необхідно встановити на базовій станції спеціальне програмне забезпечення. Це актуально, якщо розгортати IoT-мережу вже на існуючих частотах.

3GPP продумує модель функціонування мережі. Консорціум пропонує три варіанти розгортання NB-IoT мережі. Перший - це NB-IoT Guard Band, тобто для Narrowband IoT буде виділений окремий частотний спектр. Другий - це In Band, тобто технологія буде розміщена в захисному інтервалу частот мереж LTE. Третій - отримав назву Stand Alone. Відповідно до його концепції, NB-IoT і LTE працюють в одному частотному діапазоні. Таким чином, мережа NB-IoT можна розгорнути в частотних діапазонах, в якому в даний час функціонує стандарт GSM, після їх рефармінг в LTE, або в «захисних» інтервалах між мережами GSM і LTE. Швидкість передачі даних в NB-IoT досягає 200 кбіт / с, що є достатнім для пристроїв, періодично передають однотипні дані невеликого обсягу (рис.2.1) [22].

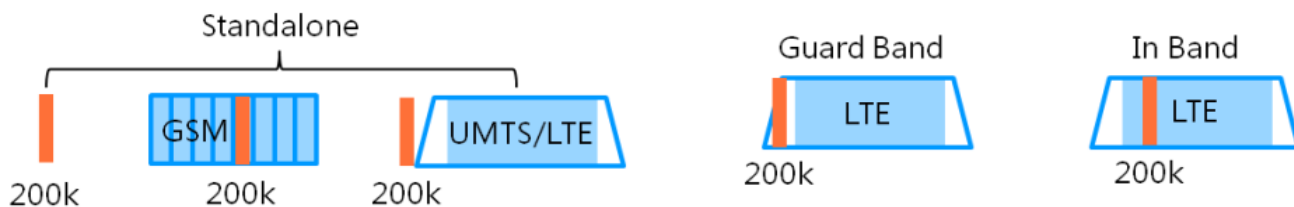


Рисунок 2.1 - Шкала швидкостей NB-IoT GSM/UMTS/ LTE

У спрощеному вигляді варіанти розгортання NB-IoT мережі можна представити на рис.2.2.

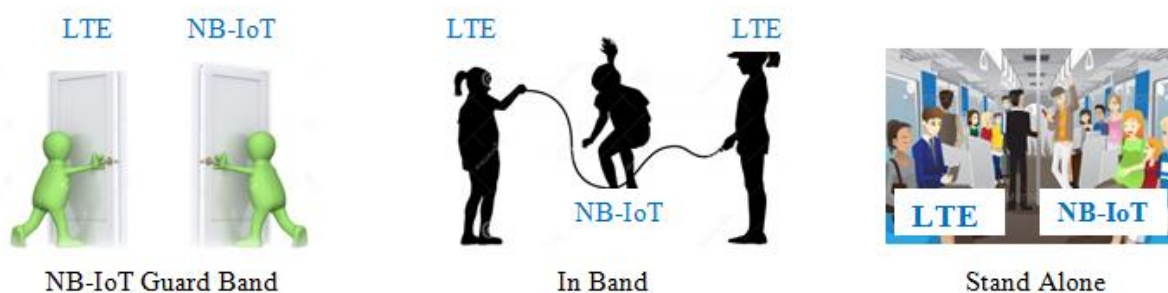


Рисунок 2.2 – Структура розгортання NB-IoT мережі

У свою чергу розробники обіцяють, що термін служби елемента живлення обладнання NB-IoT без підзарядки буде досягати 10 років.

Наступною найважливіших особливостей технології NB-IoT є можливість підключати до однієї соте базової станції до 100 тисяч пристроїв NB-IoT, що в десятки разів перевищує можливості діючих стандартів мобільного зв'язку. Це дозволяє отримати додаткову комерційну вигоду на основі застосування аналізу IoT-даних методами великих даних (Big Data). В рамках співпраці із суміжними галузями оператори, на додаток до продажу послуг зв'язку, отримують можливість продавати аналітичні дані третім особам.

Такі переваги стандарту NB-IoT дозволяють значно збільшити зону покриття, забезпечивши зв'язок важкодоступних місцях і регіонах.

В результаті для LTE виявилось специфіковане дев'ять категорій призначених для користувача пристроїв з різними можливостями і підтримуваними швидкостями передачі даних NB-IoT. До появи Категорії 0 пристроями з найбільш обмеженою функціональністю були пристрої Категорії 1, для яких не була передбачена можливість використання декількох просторових потоків (відсутність підтримки MIMO), а максимальна швидкість передачі становила «всього» 10 Мбіт / с в низхідному каналі. Для порівняння: для пристроїв розділу 5, що підтримують MIMO 4x4, максимальна швидкість в 30 разів більше - 300 Мбіт / с (табл. 2.1). При визначенні Категорії 0 її можливості були істотно урізані навіть в порівнянні з Категорією 1: максимальна швидкість 1 Мбіт / с, напівдуплексний режим передачі.

Таблиця 2.1. Максимальні швидкості передачі (Мбіт / с) для різних категорій призначених для користувача пристроїв LTE.

Направлення передачі	0	1	2	3	4	5	6	7	8
downlink	1	10	50	100	150	300	300	300	1200
uplink	1	5	25	50	50	75	5	150	600

У специфікаціях Release 13, опублікованих в 2016 році, зроблені подальші кроки по підтримці додатків IoT, в тому числі заходи щодо зниження вартості

пристроїв, розширення покриття і збільшення часу автономної роботи. Зокрема, визначено Категорія M1 (для її позначення також використовуються аббревіатури eMTC і LTE-M). Для зниження енергоспоживання поряд з технологією Power Saving Mode (PSM), яка була визначена і для категорій 0 і 1, передбачаються механізми Extended Discontinuous Reception (Extended DRX, eDRX). Зазначені технології дозволяють знизити частоту обміну обов'язковими службовими повідомленнями, оптимізувати інтервали прийому і отримання інформації, а також підтримувати тривалі періоди «мовчання» (коли пристрій залишається підключеним до мережі, не передаючи і не отримуючи інформацію).

Звісно, що в Release 13 в частині подальшого розвитку технології GSM був визначений режим EC-GSM-IoT (або просто EC-GSM). У ньому також використовуються механізми PSM і eDRX. Крім цього, передбачається можливість багаторазового повторення переданої інформації для поліпшення покриття (+20 дБ) в порівнянні з традиційними системами GSM. В EC-GSM спрощена система сигналізації (виключена та частина, яка забезпечує спільну роботу з мережами WCDMA / LTE), вдосконалені механізми аутентифікації і забезпечення безпеки з'єднань та інш. При використанні несучої ширини 200 кГц (в смугі GSM 900 і 1800 МГц) технологія EC -GSM-IoT забезпечує максимальну швидкість 240 Кбіт / с та дозволяє обслуговувати до 50 тис.терміналів на сектор базової станції[15].

Приблизно схожі характеристики (до 50 тис. терміналів на сектор базової станції, швидкість до 250 Кбіт / с) має і певна в Release 13 технологія Narrowband IoT (NB-IoT). Але якщо LTE-M і EC-GSM-IoT передбачають максимальну сумісність з інфраструктурою, що вже є у операторів мобільного зв'язку, і можуть бути розгорнуті шляхом оновлення ПЗ на існуючих мережах LTE і GSM відповідно, то NB-IoT - це відносно новий напрямок розвитку рішень для IoT в рамках 3GPP, хоча воно і передбачає тісну взаємодію та інтеграцію з LTE. В даному випадку пропонується новий тип радіодоступу, характеристики якого істотно відрізняються від характеристик наявних систем. Як вважають деякі експерти, переробка протоколів канального рівня в NB-IoT дозволить значно (до

90%) знизити вартість відповідних пристроїв NB-IoT в порівнянні з пристроями LTE Категорії M1 (рис. 2.3). Багато відомих виробників, включаючи Ericsson, Huawei, Nokia, Intel і Qualcomm, вже заявили про підтримку технології NB-IoT в своїх продуктах.

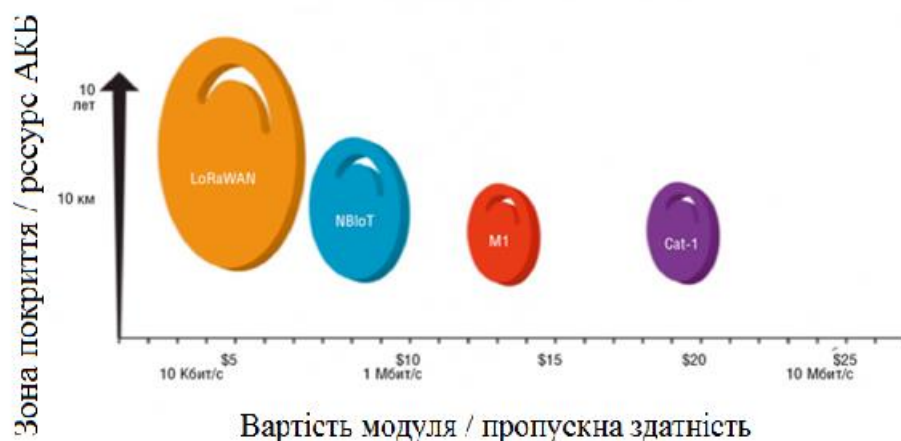


Рисунок 2.3 - Порівняння характеристик різних технологій для IoT

Регулюючі органи не виділяють окремі частоти для MNB-IoT, хоча цей підхід можливо застосувати. IoT-спектр від 700 МГц смуги (2×3 МГц, від 733-736 МГц і 788-791 МГц). Цей 2×3 МГц спектр примикає до основної МВВ-орієнтованої 700 МГц частотної схемою (рис.2.4) і тому не буде надавати ніякого впливу на обсяг спектра, доступного для МВВ.

Рішення «захищеної смуги» використовує меншу ємність МВВ в порівнянні з варіантом розгортання всередині частоти. Такий варіант навряд чи може запропонувати той же рівень продуктивності, як при використанні окремого частотного спектра через більш обмежених перспектив щодо оптимізації при наданні послуг, території покриття і обсягу IoT трафіку.

Також можуть існувати й інші переваги від використання виділеного спектра, в тому числі можливість оптимізації RAN, завдяки чому буде забезпечено чудове покриття всередині приміщень. У той же час можна досягти зниження споживаної потужності пристроїв за рахунок того ж кращого покриття всередині приміщень.

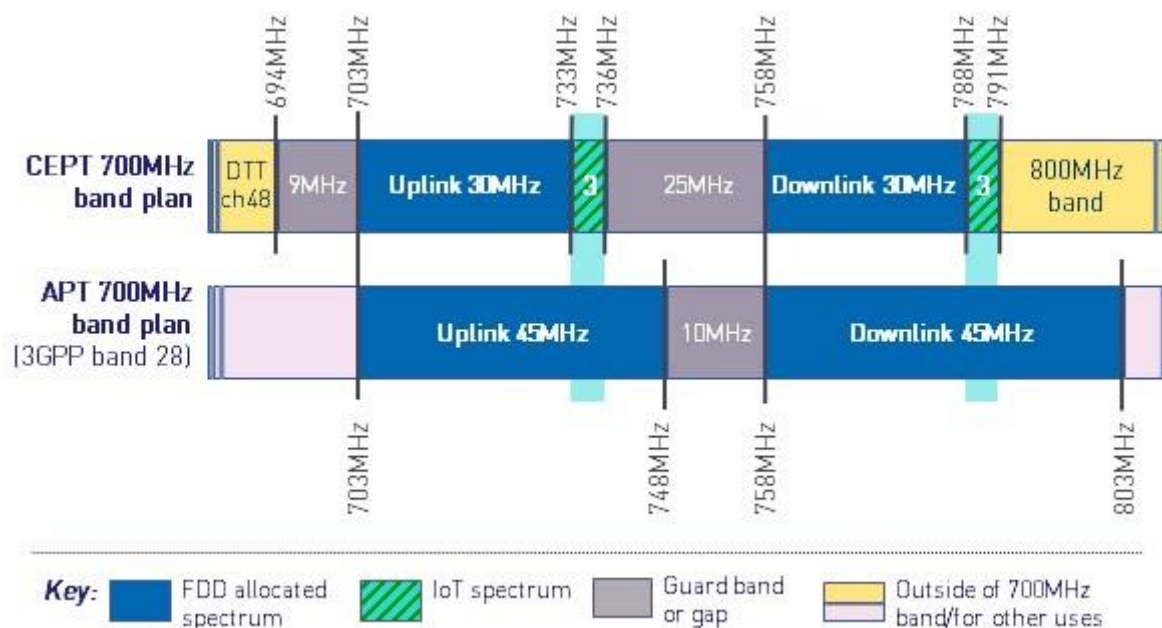


Рисунок 2.4 - Схема частотного ресурсу для послуг MNB-IoT

Для деяких випадків використання IoT потрібно більш швидкий час відгуку мережі в силу характеру трафіку (наприклад, додатки в секторі охорони здоров'я або з'єднання з транспортними засобами). Спеціально обраний спектр MNB-IoT допоможе забезпечити більш надійне з'єднання при виникненні подібних ситуацій і одночасно з цим ефективно використовувати існуючі сервіси і мережеві ресурси (наприклад, білінг і безпеку) [1].

Вихід на ринок перших пристроїв з підтримкою технологій MNB-IoT розгорнувся з початку 2017 року. На цей час технологія MNB-IoT працює в мережах LTE і буде актуальна при подальшому переході на стандарти п'ятого покоління 5G [10].

2.3 Забезпечення контролю послуг MNB-IoT на прикладному рівні

Складовою частиною Інтернету - речей є Веб - речей (WEBofThings, WoT), який забезпечує взаємодію та контроль різних інтелектуальних об'єктів («речей») з використанням стандартів і механізмів Інтернет:

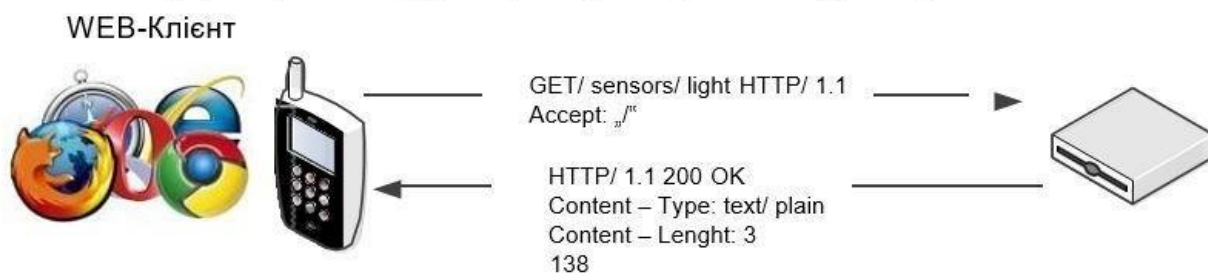
- уніфікований ідентифікатор ресурсу URI (UniformResourceIdentifier);

- протокол передачі гіпертексту HTTP (HyperTextTransferProtocol);
- стиль побудови архітектури розподіленого застосунка REST (RepresentationalStateTransfer) та ін.

Фактично WoT передбачає реалізацію Концепції IoT на прикладному рівні з використанням вже існуючого архітектурного рішення, орієнтованого на розробку web-застосування. Іншими словами дані з розумних речей або управління та контроль ними мають бути доступні через WWW-сторінки.

На рис.2.5 показана схема варіантів, як використовуючи спеціальну сторінку в Інтернеті через браузер, можна управляти та контролювати рахування даних з датчика світла у безпроводової сенсорній мережі або зміну кольору четвертого індикатора в сенсори.

- Читання інформації з сенсору, наприклад зчитування свідчень датчика світла



- Управління актуатором, наприклад, зміна кольору світлодіода

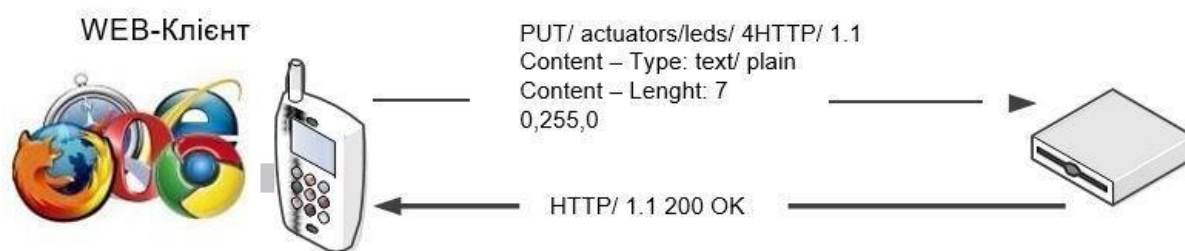


Рисунок 2.5 –Схема варіантів веб-взаємодії та контролю мережі IoT

Основні властивості WoT:

1. Використовує протокол HTTP як застосунок, а не в якості транспортного механізму передачі даних, як він застосовується для традиційних WWW- послуг.

2. Забезпечує синхронну роботу інтелектуальних (смарт) об'єктів через прикладний програмний інтерфейс REST (також відомий як RESTful API) і в цілому відповідає ресурсно-орієнтованій архітектурі ROA (Resource - Oriented Architecture).

3. Надає асинхронний режим роботи інтелектуальних об'єктів з використанням значною мірою стандартних Web- технологій, таких як Atom, що містить формат для опису ресурсів на веб-сайтах і протокол для їх публікації, або Web-механізмів передачі даних, таких як модель роботи веб-застосування Comet, при якій постійне HTTP- з'єднання дозволяє веб-серверу відправляти дані браузеру без додаткового запиту зі сторонибраузера.

Ці характеристики WoT забезпечують просту взаємодію інтелектуальних об'єктів через Інтернет, крім того вони реалізують однаковий інтерфейс для доступу і підтримки функціональності смарт-об'єктів.

З концепцією WoT перекликається ідея Семантичного Павутиння (SemanticWeb) - цей напрям розвитку Всесвітнього Павутиння WWW, метою якого є представлення інформації у вигляді, придатному для машинної обробки. Термін «семантичне Павутиння» було уперше введене Тімом Бернерсом-Ли (винахідником Всесвітнього Павутиння) в травні 2001 року. Концепція семантичного Павутиння була прийнята і просувається Консорціумом Всесвітнього Павутиння W3C (World Wide WebConsortium).

У звичайної Павутинні, яка ґрунтується на HTML-сторінках, інформація закладена в тексті сторінок і витягається людиною за допомогою браузеру. Семантичне ж Павутиння припускає запис інформації у вигляді семантичної мережі за допомогою онтологій.

Під онтологією розуміється формальний явний опис понять в даній предметній області (класів). Онтологія разом з набором індивідуальних екземплярів класів утворює базу знань. Таким чином, програма-клієнт може безпосередньо витягати з павутиння факти і робити з них логічні висновки. Семантичне Павутиння працює паралельно із звичайним Павутинням і на його основі, використовуючи протокол HTTP і ідентифікатори URI [18].

Незважаючи на усі переваги, що надаються семантичним Павутинням у разі його впровадження, існують певні сумніви в можливості його повної реалізації. Вказуються різні причини, які можуть бути перешкодою до цього, починаючи з людського чинника (люди схильні уникати роботи з підтримки документів з метаданими, відкритими залишаються проблеми істинності метаданих і т. д.).

Крім того, необхідність опису метаданих так чи інакше призводить до дублювання інформації. Кожен документ має бути створений в двох екземплярах: розміченим для читання людьми, а також в машинно-орієнтованому форматі.

Протокол MQTT для передачі даних в M N B - IoT

MQTT (MessageQueuingTelemetryTransport) - це простий відкритий протокол, розроблений спеціально для IoT, який застосовується для обміну даними між пристроями. MQTT-мережа включає в себе MQTT-брокера, який служить посередником у взаємодії MQTT-агентів – видавців (Publishers) і підписників (Subscribers) (рис.2.6). Видавці публікують інформацію, призначену для підписників [22].

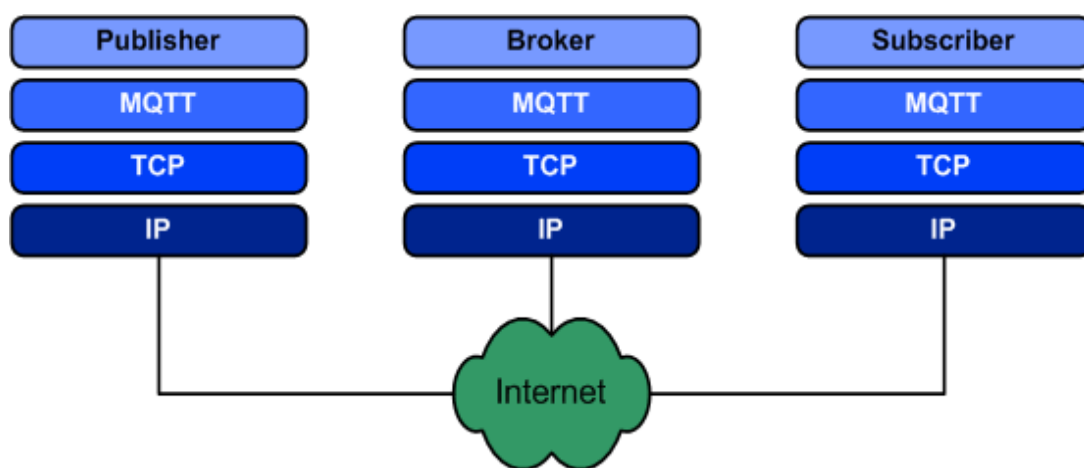


Рисунок 2.6 - Брокер, видавець і підписник в MQTT-мережі

MQTT розроблений з розрахунку на малопотужні вбудовані пристрої M N B - IoT, тому обчислювальні вимоги для його реалізації мінімальні. Додатково до дуже низького навантаження на систему, MQTT відрізняється високою ефективністю зв'язку навіть в мережах з низькою пропускнуою здатністю для послуг MNB-IoT.

При цьому в структурі переданих з його допомогою даних дуже мало службової інформації, тобто, в порівнянні з багатьма іншими протоколами, наприклад - з HTTP, він майже ненавантажує мережі передачею інформації, яка потрібна лише для функціонування протоколу. За вимірами, зробленими в 4G-мережах для послуг MNB-IoT, пропускна здатність MQTT в 93 рази вище, ніж по протоколу REST (RepresentationalStateTransfer), що працює поверх HTTP.

MQTT реалізує модель «видавець - підписник», використовуючи мінімальну кількість методів. Вони служать для вказівки дій, які потрібно виконувати. Ці дії зводяться до взаємодії з брокером і до роботи з темами і повідомленнями. Агенти підключаються до брокера, а потім або публікують теми і повідомлення в них, або підписуються на теми і отримують повідомлення, опубліковані в цих темах. Завершивши роботу, агент відключається від брокера.

Методи контролю MQTT:

Connect - встановити з'єднання з брокером. Disconnect - розірвати з'єднання з брокером. Publish - опублікувати тему на брокері.

Subscribe - підписатися на тему на брокері. Unsubscribe - відписатися від теми на брокері.

На рис.2.7 представлена спрощена схема контролю взаємодії між підписником і видавцем з використанням MQTT-брокера.

Видавець, який є джерелом деяких даних, підключається до брокера. Підписник, споживач інформації, робить те ж саме і підписується на тему, яка представлена тут як «/home/alarms/1/status».

В даному прикладі в цій темі публікуються відомості про зміни стану домашньої сигналізації в якійсь «зоні №1». Коли у видавця є нові дані, він звертається до брокера і публікує повідомлення в цій темі. Брокер же, в свою чергу, передає опубліковане повідомлення будь-кому, хто на цю тему підписаний.

Звісна ієрархічна структура імені «/home/alarms/1/status», яка схожа на шлях в файлової системі.

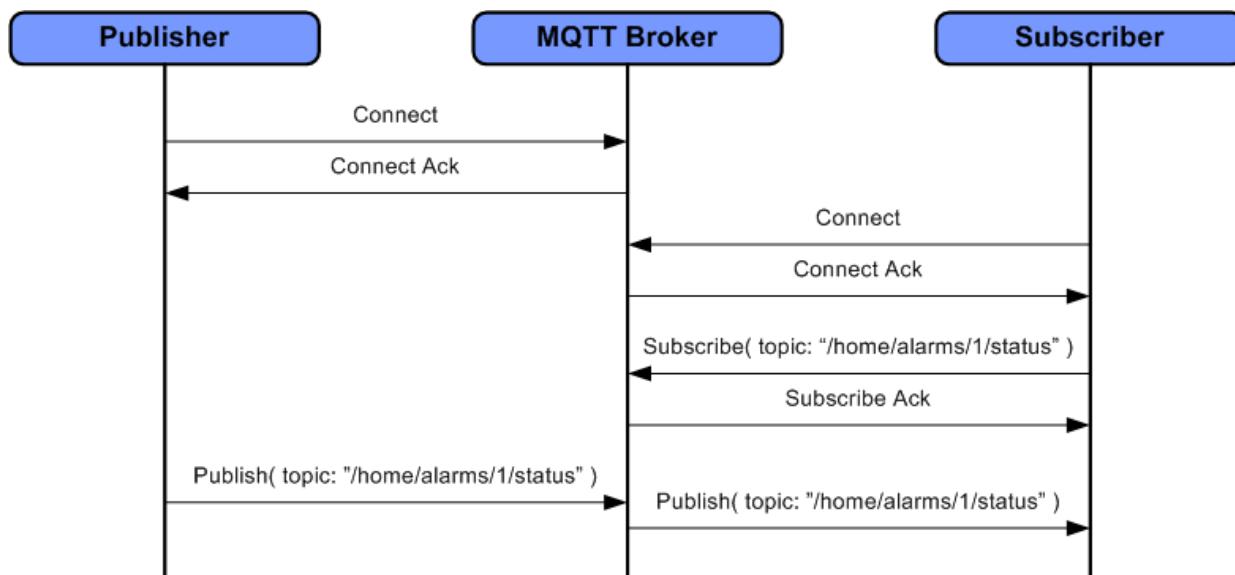


Рисунок 2.7 – Контроль взаємодії підписника і видавця

Це спрощує організацію тем.

Крім того, подібні ієрархічні структури іменування ресурсів популярні і в інших архітектурах протоколів, наприклад, в REST.

MQTT крім того, дозволяє користуватися підстановочними символами, що спрощує процес підписки. Якщо підписник, наприклад, бажає знати про стани усіх датчиків сигналізації, він може підписатися на тему такого вигляду: «/home/alarms/+/status». В результаті, він буде повідомлений про спрацьовування сигналізації у всіх зонах, а не тільки в «зоні №1», як у вищенаведеному прикладі. Підписатися на ціле під дерево можна за допомогою шаблону зі знаком «#».

Наприклад, підписка на «/home/#» дозволить отримувати повідомлення про все, що відбувається в темах, які перебувають нижче вузла «/home».

Якість обслуговування. MQTT підтримує вказівку рівня якості обслуговування (QoS).

А саме, існують три таких рівні контролю:

1. QoS 0. Цей рівень задіє стратегію «максимум одноразова доставка повідомлень». Приймач повідомлення не підтверджує їх отримання, відправник, відповідно, передає повідомлення лише раз, не роблячи спроб повторної передачі. Це - метод «відправив і забув».

2. QoS 1. Тут застосовується підхід «мінімум одноразова доставка

повідомлень». Гарантується, що приймач отримає повідомлення хоча б один раз. При цьому приймач може отримати одне й те саме повідомлення кілька разів. А відправник буде робити повторні спроби відправки до тих пір, поки не отримає підтвердження про успішну доставку повідомлення.

3. QoS 2. Цьому рівню якості обслуговування відповідає найповільніша процедура доставки повідомлень, але при цьому він - найнадійніший. Його основна особливість - реалізація стратегії «одноразова доставка повідомлень». При його використанні застосовується чотирьох етапна процедура підтвердження доставки повідомлень.

Вибір конкретного рівня якості обслуговування залежить від особливостей переданих даних і від того, наскільки важливо, щоб вони були доставлені.

2.4 Методи контролю послуг MNB-ІоТ на базі хмарних платформ

Хмарні платформи - платформи для хмарних обчислень, що представляють собою системи готового програмного і апаратного забезпечення, які здають в оренду через Інтернет для розгортання, розробки, тестування застосунків (рис.2.8).

Ідея створення хмарних платформ була сформована ще за часів появи Інтернету, однак перша хмарна платформа з'явилася тільки в 2006 році під назвою «Amazon Web Services» (хоча надавати доступ до обчислювальних ресурсів через Інтернет компанія почала ще в 2002 році). Саме в 2006 Amazon запропонувала понад 50 різних послуг в 14 географічних регіонах [26].



Рисунок 2.8 – Системи забезпечення хмарних платформ Інтернет

Наступною великою платформою стала система Microsoft Azure, що з'явилася в 2010 (зараз посідає друге почесне місце за кількістю користувачів і послуг, що надаються, після Amazon).

У 2011 був представлений третій великий гравець на ринку хмарних обчислень - Google Cloud Platform. Через рік після цього почалося активне створення нових платформ і сервісів від різних компаній, і як наслідок зниження цін на оренду платформ. Були створені такі сервіси як: i-Tesco OpenStack Cloud, Cloud OS від Azure, Jelastic для PHP і Java додатків та інші.

Сьогодні хмарні платформи як ніколи користуються популярністю. Основними перевагами використання хмарних платформ є швидкість створення нових додатків, гнучкість і масштабованість системи. У топ-10 найбільш відомих і використовуваних хмарних платформ входять: Amazon Web Services, Azure від Microsoft, Google App Engine, Rackspace, Force.com від компанії Salesforce, Intuit

Partner Platform, Facebook, IBM Cloud, VMWare vCloud, Sharepoint Online.

У 2018 90% користувачів Internet використовували безкоштовні і безлімітні хмарні сховища.

Технічні характеристики

При використанні хмарних платформ з боку клієнтів необхідна тільки організація робочого місця (комп'ютер / ноутбук / планшет/ смартфон) фіксованого та мобільного зв'язку причому незалежно від місця розташування. Єдиною умовою є наявність виходу в Інтернет. Клієнт (користувач хмарних платформ) займається тільки адмініструванням власних додатків та програмним забезпеченням (ПЗ).

За всі інші аспекти, а це: адміністрування баз даних, віртуалізація, мережеве та серверне обладнання, адміністрування операційних систем, обслуговування інфраструктури дата-центру - відповідає постачальник хмарної платформи, часто званий хмарним провайдером.

Крім того окрім платформи для запуску додатків хмарна платформа пропонує ще оренду хмарного сховища і підтримку таких технологій як машинне навчання, штучний інтелект, BigData.

Для забезпечення безпеки найчастіше використовується окремий VPN і адреса у мережі, власний брандмауер, гнучкі настройки DNS.

Ціна за оренду хмарної платформи зазвичай складається з плати за обчислювальні потужності (включаючи обслуговування обладнання), вартості ліцензії, використовуюваного програмного забезпечення/операційної системи/систем віртуалізації і т.д. і плати за послуги хмарного провайдера як постачальника хмарної платформи.

Хмарні платформи MNB-IoT

Хмарні платформи MNB-IoT являють собою сукупність взаємодіючих між собою хмарних сервісів на основі хмари управління, яка забезпечує безпосереднє без участі людини і проміжних автоматизованих систем управління (АСУ) управління підключеними об'єктами. Ця хмара управління володіє всім необхідним функціоналом (програмними алгоритмами обробки даних і

управління) як низових систем управління, так і систем управління на рівні підприємства. Тобто IoT-платформа для послуг MNB-IoT одночасно виконує функції універсального засобу інтеграції та реалізує складні і різноманітні алгоритми управління.

Механізм відкритих прикладних інтерфейсів програмування (API) дозволяє підключати до хмари управління будь-які пристрої і будь-які АСУ, не вносячи в них змін, а також обробляти дані, які поставляються в хмару управління, з використанням готових шаблонів, а при їх відсутності - з використанням вбудованих засобів розробки програмних застосунків. Накопичення в платформах IoT історичних даних, що надходять від широкої номенклатури пристроїв і АСУ, та застосування технологій машинного навчання дають можливість автоматизувати процеси вдосконалення алгоритмів, які виконуються хмарою управління для послуг MNB-IoT.

2.5 Класифікація IoT хмарних платформ по галузям застосування

В цій порівняльній характеристиці проаналізовані платформи та було розподілено на 10 галузей, які представлені на рис.2.9.

Це очевидно, що набагато більше платформ презентовано на ринку, але через технічні особливості було обрано 26 з них щоб надати точну картину щодо того як вони працюють, які їх сильні та слабкі сторони, в яких галузях вони доцільні. При дослідженні цих IoT платформ, кожна з них була протестована для виявлення слабких та сильних сторін. 10-ть різних галузей обрано, базуючись на тому, в яких областях більшість IoT cloud платформ зараз прогресує на ринку фіксованого та мобільного зв'язку.



Рисунок 2.9 - Галузі застосування IoT cloud платформ

Після аналізу було обрано галузі, де ці платформи підходять більше всього, такі як: пристрої, система, різноманітність, дані, розгортання та відстеження. Аналогічно, такі галузі як: аналіз, дослідження та візуалізація обрані, куди можна віднести платформи, які залишилися. Описуються наступні параметри cloud платформ такі як: можливості захоплення даних в реальному часі, візуалізація даних, тип моделі хмари, аналіз даних, налаштування пристроїв, API протоколи та вартість використання, як ключові характеристики.

Також наведена таблиця 2.2 порівняння IoTclouds, відповідно до того, наскільки вони відповідають вимогам до застосування в розглянутих галузях.

Нижче розглянуто більш детально приклади платформ для кожної галузі застосування.

Розробка стосунків галузі застосування IoTCloud платформ

Наступні платформи IoT галузі застосування IoT Cloud платформ достатньо ефективні, щоб їх використовувати для розробки додатків, які відсилають команди пристроям на основі отриманих даних.

Таблиця 2.2 - Галузі застосування IoTCloud платформ

Галузі Застосування IoT Cloud Платформ

IoT Cloud Платформи	Галузі									
	Розробка Застосування	Управління Пристроями	Управління Системою	Управління Неоднорідністю	Управління Даними	Аналіз	Управління Розгортанням	Управління Відслідковуванням	Візуалізація	Дослідження
Aer cloud			✓			✓		+		
Arkessa		✓			+					
Arrayent Connect	✓	✓		+	✓					
Axeda		✓			+					
Ayla's cloud fabric		✓	+							
Carriots	+	✓								
Echelon	✓	✓					+			
Etherios		+								
Exosite		✓	+							
GroveStreams	✓									
IBM IoT		✓								
InfoBright					✓	+				
Jasper Control Centre	✓					+				
KAA	+				✓					
Microsoft research lab of things	✓									
Nimbits					+	✓				
Oracle IoT cloud			✓	✓	+		✓			
OpenRemote	✓			+						
Plotly						✓				
SeeControl IoT		+				✓				
SensorCloud		+								
Temboo	+									
Thethings.io	✓		+							
ThingSpeak	✓									
ThingWorkx	✓				+					
Xively	✓	+								

Пояснення: + задовільний, ✓ відповідний

КАА— це багатоцільова IoT платформа проміжного рівня з відкритим кодом (Apache ліцензія 2.0) для створення розумних (end-to-end) IoT рішень. Платформа спрощує обмін даними між приєднаними пристроями, механізмами аналізу, механізмами візуалізації та IoTcloud сервісами, зчитування специфікацій пристрою, налаштування, створення зв'язку між пристроями та дозвіл на оновлення прошивки – основна діяльність, яку виконує КАА. Це надає backend функціональності оперувати великою кількістю IoT рішень, включаючи безпеку даних, узгодженість, сумісність та управління даними з набором інструментів розробки програмного забезпечення (SDK) який вбудовують в чіп або пристрій.

KAASDK потребує мало пам'яті, мінімум 10 KBRAM та 40 KBROM. SDK збирає дані пристроїв, доставляє профілі налаштувань та дозволяє листування між кінцевими точками. Зберігання даних здійснюється двома варіантами NoSQL [3] баз даних такими як: Hadoop [4] та MongoDB.

Плюси: підтримуються застосунки, які використовують NoSQL BigData бази даних.

Мінуси: підтримується менше модулів апаратного забезпечення.

Carriots (<https://carriots.com>) — це побічний продукт Wairbut (www.wairbut.com), який передбачає допомогу для побудови застосунків для IoT дуже швидко, зберігаючи час та витрати. Платформа як сервіс (PaaS) cloud модель характеризується ключовими технічними характеристиками такими як: управління та контроль віддаленими пристроями, ведення протоколу активності слухачів, запуск користувальницьких аварійних повідомлень та експорт даних.

RESTful API дозволяє доставляти отримані дані Device, Asset, Group, Service, Project, Stream, Rule, Alarm, Listener, Trigger, Networking, Entity та ConfigTrigger. Електронна пошта, SMS, Twitter, основні класи HTTP використовуються для інформування користувача про поточний стан пристроїв. Дані зберігаються в NoSQL Big Data базі даних, що розширює можливості використання у справжньому сенсі великих даних.

Плюси: підтримується введення в дію застосунків.

Мінуси: менш зручний дизайн.

Temboo — це приватна платформа генерації коду застосунків, заснована на хмарі. Це спрощує з'єднання та кодування програмного забезпечення та зменшує витрати на обладнання, що призводить до скорочення часу на розробку та вивід продукту IoT на ринок. Понад 90 вбудованих бібліотек під назвою "Choreos" для сторонніх послуг надають користувачеві можливість користуватися певними службами, що включає в себе погоду Yahoo, Amazon cloud, покупку продуктів через Ebay, керування фотографіями Flickr, Facebook Graph API, аналітика Google, мікроблоги Twitter, Twilio телефонія, PayPal оплата, підтвердження транспортного засобу Uber, трансляція відео в YouTube та багато іншого. Labs [5] — це каталог експериментальних "Choreos", який об'єднує багато "Choreos", створюючи потужні робочі процеси. Це допомагає розробнику візуально налаштовувати апаратне забезпечення запуску та реагування на онлайн-процеси, зберігати вхідні дані для збереження оперативної пам'яті, віддалено

програмувати обладнання, фільтрувати дані відповідно по необхідності.

Плюси: підтримуються за стосунки, основані на "Choreos". Мінуси: не підходить для ресурсоємних програм.

Методи адміністрування пристроїв IoTcloud платформи

Наступні платформи спеціалізуються на обробці та управлінні пристроями у цифровій формі, наприклад, обробка модулів (Arduino, Raspberry і так далі) та аналоговій, наприклад, електричного обладнання (промислових двигунів, роторів та побутових пристроїв).

See Control. SeeControl є єдиним продуктом змодельованим як сервіс, IoTcloud платформою для підприємств, яка спеціалізується на обміні повідомленнями та управлінням пристроями. Візуалізація даних датчика, аналітика та повний моніторинг робочого потоку виконуються SeeControl. Розширена архітектура push / pull на базі Open API для масово масштабованих продуктів IoT. Моделювання продуктів — це найважливіше функціонал, який моделює фізичні речі, бізнес-групування та події за допомогою Nexus TM Engine щоб перетворити реальні дані у цінну інформацію за допомогою режимів реального часу / пакетної обробки. Інструмент централізованої та складної мережі розподілу вбудованого програмного забезпечення є ще одним життєздатним компонентом, який мотивований нормалізацією даних, що підтримується даними API та пристроями для ERP, CRM та EAM бізнес модулів

Плюси: підтримуються пристрої, основані на Push / Pull запитах.

Мінуси: не достатньо хороша візуалізація.

SensorCloud.SensorCloud— це приватна хмара IoT, яка надає платформу як сервіс для отримання, візуалізації, моніторингу та аналізу даних, отриманих від дротових або безпроводових датчиків Lord Microstrain. В основному SensorCloud — відмінний інструмент, що використовує потужні обчислювальні засоби, такі як масштабованість даних, швидка візуалізація та аналіз користувацьких програм. Аналітика MathEngine® дозволяє розробникам виконувати складні математичні операції з даними. Функції FastGraph та LiveConnect допомагають розробникам запускати графічні функції на збережених даних, завантажених вручну (CSV) або

автоматично (OpenData API). SensorCloud надає API RESTful, який дозволяє будь-якому пристрою або додатку завантажувати дані у свою безпечну хмару, яка в даний час побудована на вершині Amazon Web Services (AWS).

Плюси: можна управляти великою базою.

Мінуси: пристрої із відкритим вихідним кодом важко обслуговувати.

Etherios. Etherios підтримує комплексний набір продуктів та послуг для підприємств. Хмара пристроїв розроблена на основі моделі PaaS, щоб дозволити користувачам груп підключати будь-який продукт і отримувати видимість в реальному часі у своїх активах. Соціальна машина - це ще один інструмент на основі хмар, який забезпечує рішення SaaS при інтеграції машинних даних з відповідним Salesforce.com об'єктом для перетворення його в більш потужний CRM. Etherios об'єднує сучасні підприємства через тисячі безпроводових з'єднань і безпроводових рішень для послуг MNB-IoT, призначених для конкретної мети. Він надає індивідуальні рішення для будь-якого пристрою за допомогою Cloud Connector. Крім того, управляє, відслідковує та контролює всі підключені пристрої з одного інтерфейсу в режимі реального часу. Etherios не стягує плату, щоб розробники могли використовувати до 5 пристроїв протягом 30 днів.

Плюси: включені спеціалізовані хмари для пристроїв та сторонні програми.

Мінуси: розробники обмежені обраними пристроями.

Xively. Xively— це IoT cloud сервіс для підприємств на базі технології Gravity Cloud. Ця платформа, що належить LogMeIn, допомагає компаніям управляти підключеним бізнес продуктом, вирішуючи ряд практичних потреб таких як масштабування, безпека та надійний зв'язок. Вона також забезпечує правильні послуги обробки бізнес-даних у відношенні своїх клієнтів, партнерів та постачальників, що підтримують послуги MNB-IoT за допомогою гнучких API-з'єднань. Xively використовує нововведену платформу IoT як службу (IoTaaS), побудовану на її еластичній публічній хмарі. Еластична масштабованість хмар забезпечує інтуїтивно зрозумілі можливості управління життєвим циклом пристроїв MNB-IoT, що має на увазі серії дій відповідно часу.

Крім того за допомогою Xively полегшується архівація даних, запуск за

станом, активація для надання пристрою в режимі реального часу, управління повідомленнями та маршрутизація.

Щоб полегшити контроль над пристроями, Xively має консоль управління робочим середовищем розробника та консоль керування пристроєм, якою може керувати навіть початківець. Він також здатний підтримувати мільйони пристроїв за допомогою API RESTful. Використання форматів даних JSON, XML та CSV покращило свою ефективність з точки зору пристрою асоціативно, що можна відслідкувати за допомогою попередньо оцінених клієнтських бібліотек, побудованих на вершині iOS, Android, JavaScript, а також серверних бібліотек, призначених для додатків на базі високорівневих та веб мов, таких як Ruby, Python і Java.

Плюси: легко інтегруватися з пристроями MNB-IoT.

Мінуси: послуги оповіщення мінімально присутні.

2.5 Управління та контроль системи IoT cloud платформи

Представлені платформи в галузях фіксованого та мобільного зв'язку відповідають роботам, пов'язаним із управлінням системою IoT cloud платформи, що є невід'ємною складовою формування всієї інфраструктури.

Ayla's IoT cloud fabric. Ayla IoT Fabric — платформа для підприємств, яка використовує модель PaaS, просте та ефективне рішення для підключення будь-якого пристрою до Інтернету фіксованого та мобільного зв'язку для послуг MNB-IoT. Ayla Networks надають потужні програмні агенти вбудовані в під'єднані пристрої та застосунки для мобільних пристроїв MNB-IoT для підтримки end-to-end. Ayla's Agile Mobile Application Platform (AMAP) побудована на мобільних бібліотеках, які надають оптимізовану мобільну програму для користувачів iOS та Android. Інтеграція даних MNB-IoT, візуалізація, аналіз поведінки користувачів та RESTful API надають багато можливостей на інформаційній панелі користувачів.

Плюси: легка розробка мобільних додатків MNB-IoT.

Мінуси: не підходить для розробників малого масштабу.

The things. Io. The things. io. забезпечує повне рішення для зворотного зв'язку для маркерів IoT та розробників IoT застосунків за допомогою простого та гнучкого API. thethings.io — агностичний апарат і дозволяє підключати будь-який пристрій MNB-IoT, здатний використовувати протоколи HTTP, Websocket, MQTT або CoAP. Робота в реальному часі основана на правилах, де може легко відстежуватись при розробці end-to-end з'єднання між пристроями MNB-IoT, використовуючи управління пристроєм, відстеження та аналітичну підтримку. Об'єкти зберігання даних в режимі реального часу також забезпечують сумісний доступ пристроїв MNB-IoT для швидкого та дешевого розроблення продукту. Розгортання хмар здійснюється на вершині AWS.

Плюси: діагностика пристроїв MNB-IoT.

Мінуси: бракує самодостатності, залежить від сторонніх веб-служб.

Exosite.Exosite — це модульна корпоративна платформа IoT, яка допомагає виробникам випускати на ринок споріднені продукти. Підтримка cloud платформи на базі IoT Software as a Service (SaaS) забезпечує користувачам послуг MNB-IoT візуалізацію та аналіз даних в режимі реального часу. Це серверна система, на якій ввімкнено API веб-сервісів, побудований в інфраструктурній структурі, легкий та гнучкий зворотній зв'язок, за допомогою UDP, HTTP і JSON RPC. Різноманітні набори розвитку підтримуються для розробки та розгортання рішень IoT. Прототипні дошки Arduino, Microchip, TI та Renesas ефективно обмінюються з платформою Exosite. Пристрій клієнтського програмного забезпечення разом із портами загального доступу полегшує приєднані пристроїв для підключення та передачі контекстів через CoAP, а також API інтерфейсів UDP.

Управління пристроями, візуалізація даних, моделювання пристроїв, забезпечення поля, інтерфейс для читання та запису даних з клієнта чату, створення віджетів інформаційних панелей порталів - це численні завдання, які контролюються Exosite.

Плюси: розробка системи проста.

Мінуси: відсутнє забезпечення обробки Big data.

2.6 Управління різноманітними систем IoTcloud платформи різних виробників

Ця галузь застосування використовує IoTcloud платформи, які надають з'єднання та зв'язок між різноманітними системами різних виробників.

ArrayentConnect™.Arrayent — IoT платформа, яка дає змогу з'єднати основні різноманітні бренди такі як Whirlpool, Maytag, та FirstAlert. ArrayentConnectCloud являє собою оперативну IoT-систему, яка використовує модель програмного забезпечення, як сервіс (SaaS), допомагає розміщувати всі віртуалізовані пристрої за допомогою оновлень прошивки через Ovi (OTA) з низькою швидкістю затримки даних.

Плюси: гнучка для використання.

Мінуси: служби на основі тригера відстають.

Open remote. OpenRemote будучи IoT рішенням проміжного рівня з відкритим кодом, дозволяє користувачеві інтегрувати будь-який пристрій MNB-IoT, використовуючи доступні ресурси, такі як iOS, Android або веб-браузери. OpenRemote безкоштовний для звичайних дослідників та розробників, які розробляють умови продажу.

Плюси: підтримується відкритий cloud сервіс.

Мінуси: занадто дорогий для розробників.

Управління даними

Наступні IoT Cloud платформи успішно оперують, коли задача управління даними дуже важлива для підтримки нижче розташованих систем. IoT Cloud платформи здатні поширювати операції та дії, які пов'язані з даними, щоб забезпечити користувачам глибокі знання про поточний сценарій.

Arkessa. Arkessa надає з'єднання, моніторинг, контроль та управління між IoT пристроями та підприємствами.

Плюси: інтегрування машинних потоків даних з системами аналізу. Мінуси: програми візуалізації недостатньо відповідні.

Axeda.Axeda — це платформа, основана на IoT cloud, призначена для управління з'єднаними продуктами та машинами, реалізуючи IoT та M2M додатки.

Плюси: управління даними на основі M2M.

Мінуси: бракує самодостатності, залежить від сторонніх веб-служб.

Oracle IoT cloud.Oracle IoT являє собою комбінацію з чотирьох ключових параметрів, таких як:

- Open — що з'єднує будь-який тип пристрою від датчиків до шлюзів; Insight, що збирає бізнес-вартість значення IoT даних;

- Secure — що забезпечує нормалізовану безпеку для всіх типів пристроїв, даних та гетерогенних з'єднань; та Accelerate — що допомагає прискорити реалізацію ідеї з мінімальним ризиком.

Плюси: підтримка бази даних.

Мінуси: бракує зв'язку з пристроями з відкритим вихідним кодом.

Nimbits. Гібридний cloud сервер. Підтримує Arduino [6] платформи.

Плюси: легко освоюється розробниками. Мінуси: обробка запитів у реальному часі.

ThingWorx.ThingWorx популярне, управляюче даними рішення, утворююче приватну cloud платформу.

Плюси: легко створювати додатки, насичені інформацією.

Мінуси: можна прикріпити обмежену кількість пристроїв.

2.7Метріка статистичного аналізу IoT Cloud платформи

IoT Cloud платформи спрямовані на проведення статистичної аналітики, надаючи аналітичні інструменти.

InfoBright.InfoBright залучає підприємства, надаючи свою аналітичну Knowledge Grid архітектуру (на IoT).

Плюси: Knowledge Grid архітектурата обробка big data.

Мінуси: відсутні статистичні послуги.

JasperControlCenter. JasperControlCenter - це широко гнучка JasperControlBoard платформа, яка може бути налаштована щоб підходити до конкретних операційних потреб, бізнес моделей та потреб серед усіх індустрій.

Плюси: включені шаблони поведінки на основі правил.

Мінуси: не підходить для автоматизації послуг.

Управління розгортанням

Включає в себе планування, проектування, побудову, тестування та впровадження нових програмних та апаратних компонентів у live середовищі. Важливо підтримувати цілісність live середовища шляхом правильного розгортання випусків програмного забезпечення [7].

Echelon. Echelon — це нова cloud платформа основана на Industrial Internet of Things (IIoT) [8] з усім набором ресурсів, стеком протоколів, апаратними модулями, інтерфейсами комунікації та управління пакетами програмного забезпечення для розробки пристроїв в peer-to-peer застосунках.

Плюси: промислова перспектива.

Мінуси: нестача сценарію розробки для початківців.

Управління моніторингом

Наступні IoTclouds відіграють важливу роль у запобіганні мережових катастроф та збереженні мережі. Можливість забезпечення загальної бездоганної інтеграції з системою призводить до ненав'язливої форми онлайн моніторингу.

AerCloud. AerCloud — це cloud платформа для збору, управління та аналізу даних датчиків для IoT та M2M застосунків. AerCloud розробка Aeris, наданаяк Platform as a Service(PaaS).

Плюси: масштабовані M2M сервіси. Мінуси: не підходить для розробників.

ThingSpeak. ThingSpeak [9] — це відкрита плат форма IoT даних основана на публічній cloud технології. ThingSpeak надає можливість збору, аналізу та активації в реальному часі за допомогою Open API.

Плюси: надання публічної cloud з активаційними об'єктами.

Мінуси: можливість підключення одночасно малої кількості пристроїв.

Візуалізація даних.

Наступні IoTclouds є надзвичайно корисними за рахунок великої кількості повноцінних графічних інструментів візуалізації для виведення діяльності систем на екрані в графічному форматі.

Plotly.Plotly — це популярний провайдер публічного cloud сервіса візуалізації даних. Plotly надає професійні та комерційні сховища даних, сервіси візуалізації та аналізу для звичайних та IoT застосунків.

Плюси: найкращі інструменти візуалізації, які підтримують IoT. Мінуси: обмежений обсяг сховища.

GroveStreams.GroveStreams (<https://thingworx.com>) — це популярна публічна cloud хмарна платформа для візуалізації даних. Аналіз даних пристрою відбувається за допомогою RESTful API.

Плюси: включений безперервний моніторинг подій.

Мінуси: відсутні статистичні послуги.

Дослідження IoTclouds

Представлені IoTclouds допомагають дослідникам оцінювати реалізацію, надаючи можливість підключення пристроїв та отримання від них даних, таким чином знижуючи накладні витрати на фактичну реалізацію. Це мінімізує ризик втрат грошей та час випуску продукту на ринок.

Microsoft research Lab of Things. Lab of Things — це відкрита IoT платформа, яку розробила компанія Microsoft для експериментальних досліджень, здебільшого для академічних установ. Як правило, вона призначена для взаємодії між пристроями, реалізації різних сценаріїв застосування, розгортання тематичних досліджень, моніторингу приладів та обміну даними за допомогою HomeOS4. Програми можуть потрапляти в такі сфери як охорона здоров'я, енергоменеджмент, автоматизація дому та багато іншого. Лабораторія речей складається з компонента клієнтської сторони — HomeOS [10] та хмарних сервісів, що розгортаються в Windows Azure. Експериментальні програми, такі як сповіщення про тривогу, виявлення руху через камеру, збір зразків даних від датчиків та управління приводами з підтримкою Z-Wave [11], знаходяться поверх шару додатків. Публічна система, яка взаємодіє з cloud, розгортається на ПК на

базі Windows (HomeHub).

Плюси: підходить для домашньої автоматизації.

Мінуси: бракує API підтримуючих IoT.

IBM IoT. IBM IoTcloud platform — це організована архітектура, розроблена щоб надати безпеку та легкість підключення пристроїв, починаючи з чипів до застосунків та складних індустріальних рішень. IdentityasaService [12] (IDaaS) є основою цієї cloud.

Плюси: надана ідентифікація пристроїв.

Мінуси: складний для протипування застосунків.

2.8 Аналіз класифікації галузей застосування IoTcloud платформ

Огляд галузей застосування IoTcloud платформ було проведено на виборці 26 різних IoTclouds, які підпадають під 10 різних галузей застосування. Виявлено, що для таких галузей як управління різнорідними пристроями, аналіз, візуалізація та дослідження, прослідковується нестача в загальному відсотку наявних IoTcloud платформ. В тренді розвитку знаходяться такі галузі застосування: управління пристроями, управління даними та управління застосунками. Також можна побачити, що деякі IoT cloud спроможні задовольняти декілька галузей. IoT clouds орієнтовані на галузь досліджень дуже малочисельні, але дуже необхідні для дослідників IoT.

Рисунок 2.10 показує результати отримані з таблиці 2.1 де зображено задовільні та відповідні рішення для галузей. з 26-ти IoT cloud платформ, Платформи галузі управління даними мають найбільший відсоток на ринку — 19.2%. Галузі управління пристроями та застосунками займають по 11.5%. Галузі управління різнорідністю, аналізу, моніторингу, візуалізації та дослідження мають тільки по 7.6%. Галузь управління найменш пріоритетна на даний час — 3.8% [29].

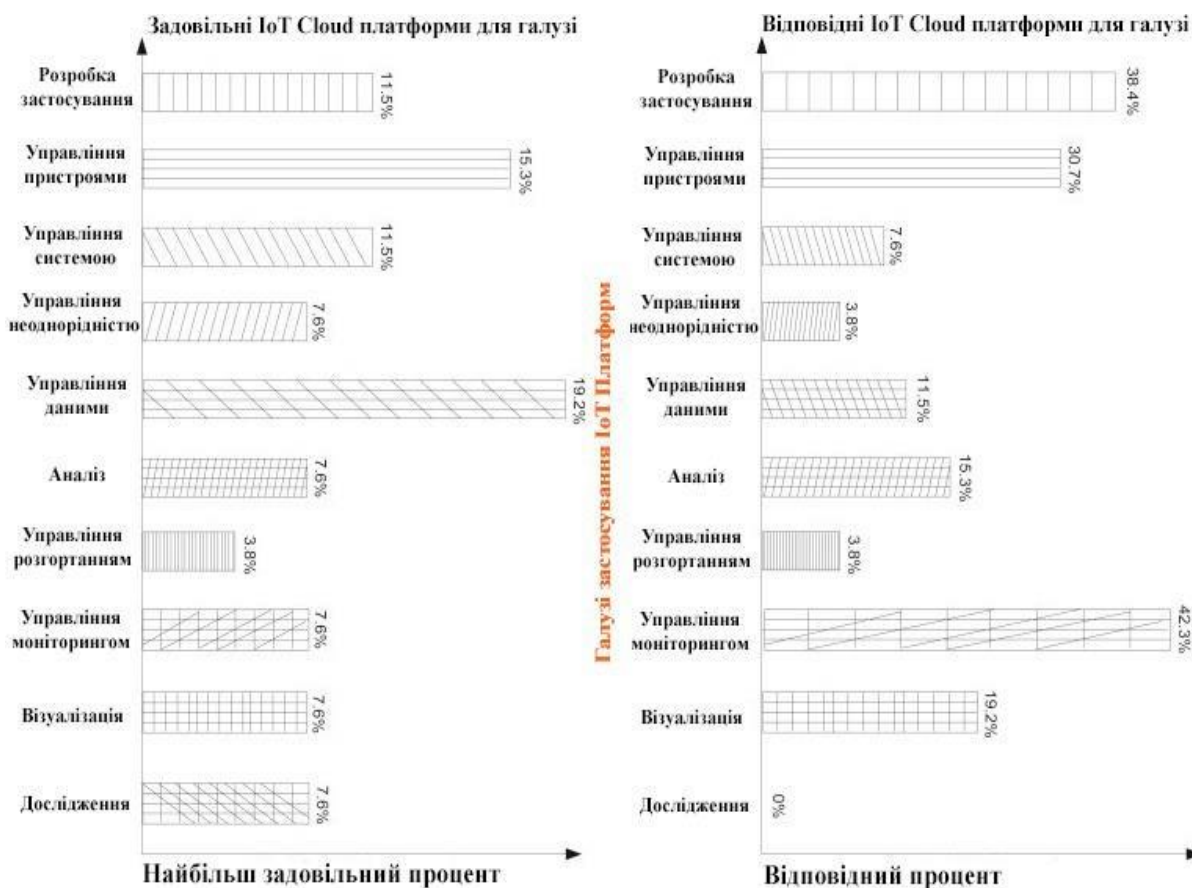


Рисунок 2.10 - Гістограма задовільних та відповідних рішень для галузей з 26-ти IoT cloud платформ

Однак, не одна з 26-ти досліджених IoT cloud платформ, не ідеальна в усіх аспектах. Деяким не вистачає можливості візуалізації, іншим — відкритих IoT APIs.

2.9 Концепція розвитку та основні проблеми технології NB-IoT LTE

NB-IoT (Narrow Band Internet of Things) є новим глобальним стандартом, заснованим на мережах мобільних операторів, які мають ліцензію на громадські та ліцензовані дії. Це широка безпроводова технологія, яка забезпечує повсюдне з'єднання. Все, що може бути підключено до мережі з будь-якої точки, незалежно від відстані.

Стандарт NB-IoT відкриє компаніям, що спеціалізуються на наданні інфокомунікаційних послуг, широкий спектр нових можливостей. Зокрема, істотно збільшить прибутковість операторів фіксованого та мобільного зв'язку від одного абонента (Average revenue per user, ARPU).

Технологія NB-IoT займе свою низькоскоростную нішу в класі рішень, де пріоритетне значення має безперебійна передача даних і низьке енергоспоживання.

Технологія NB-IoT працює в мережах LTE і буде актуальна при подальшому переході на стандарти п'ятого покоління 5G (рис. 2.11).



Рисунок 2.11 - Графічне зображення ефективності технологій зв'язку

NB-IoT (NB-LTE/LTE-NB/Cat-NB1/LTE-IoT)

NB-IoT (NB-LTE/LTE-NB/Cat-NB1/LTE-IoT) від Narrow Band LTE - вузькосмуговий LTE для IoT додатків. Швидкість від десятків до сотень кБ / с з смугою 180 кГц.

Існують методи використання смуги частот 180 кГц на базі принципів і підходів LTE для забезпечення підключень пристроїв IoT, зокрема малопотужних модемів для вбудованих модулів. Може бути реалізований на існуючій мережі LTE з мінімальними додатковими інвестиціями.

Як зрозуміло з назви, NB-IoT призначений для різноманітних IoT застосувань, які відрізняє низьке споживання трафіку. NB-IoT відрізняють ще більш скромні потреби за частиною ресурсів, ніж LTE Cat.1, Cat.0 і LTE MTC. До однієї базової станції можна підключити декілька десятків тисяч IoT пристроїв. Швидкість передачі даних складає близько 20-30 кБ / с.

Специфікація: 180 кГц - смуга частот для UL і DL (для LTE MTC потрібно 1 МГц), в DL використовується 15 кГц частот і модуляція OFDMA, 3.75 кГц - захисний інтервал; в UL задіяний FDMA або GMSK, як опція може застосовуватися SC-FDMA [17].

Використання стандарту NB-IoT забезпечує поліпшення покриття в приміщеннях, можливість обслужити безліч пристроїв з низьким споживанням трафіку, особливо таких, які не надто чутливі до затримок. Узкополосность конвертується в недорогі чіпсети і пристрої і дуже низьке енергоспоживання цих пристроїв, що забезпечує тривалу роботу пристроїв від батарей харчування (наприклад, великого срібно-цинкового елемента або лужного елемента AAA), аж до року або більше (рис.2.12).

Стандарт NB-IoT можна впроваджувати на звичайних мережах LTE за рахунок виділення декількох ресурсних блоків або за рахунок використання блоків в захисному діапазоні LTE.

В принципі можливо і ізольоване розгортання мережі NB-LTE в виділеному для цього ділянці спектра. Стандарт NB-IoT може бути використаний для рефармінгу частот GSM.



Рисунок 2.12. -. Основні та додаткові послуги стандарту NB-IoT

На цей час в світі випущено близько 65 різних пристроїв з підтримкою NB-IoT, в основному, це модулі для вбудовування в IoT-пристрої. Серед них є 8 пристроїв для відстеження активів і "розумні годинник" з підтримкою Cat. NB1.

Стандарту NB-IoT пророкують широке використання, так як, на відміну від різних аналогів, він підтримується 3GPP. До 2025 року в світі очікується близько 75 млрд підключених пристроїв. Очікується, що IoT буде швидко рости в найближчі 5 років, спираючись на технології 3GPP: eMTC, NB-IoT і EC-GSM-IoT, які в комбінації з PSM (Power Saving Mode) і e-DRX (Extended Discontinuous Reception) підготує ринки GSM / EDGE до IoT.

За підсумками експертів в світі налічується 50 мереж, на яких запущена підтримка NB-IoT в 33 країнах. Ще не менше 58 мереж помічені в інвестиціях в NB-IoT у вигляді тестів, показів або підготовки до запуску. Це найбільш поширена технологія IoT.

Особливості структури NB-IoT

Спеціально розроблені пристрої та датчики є основними компонентами в системах NB-IoT. Ці пристрої збирають інформацію з оточення і передають на базові станції NB-IoT або вузли передачі. Індивідуальні базові станції підключені до шлюзу IoT і серверів обласних додатків IoT для централізованого моніторингу

та аналізу даних.

Складні інструменти контролю, аналізу та оцінки дозволяють в режимі реального часу контролювати складну мережу NB-IoT за допомогою спеціальних мобільних додатків для зручності користувачів (рис.2.13) [29].

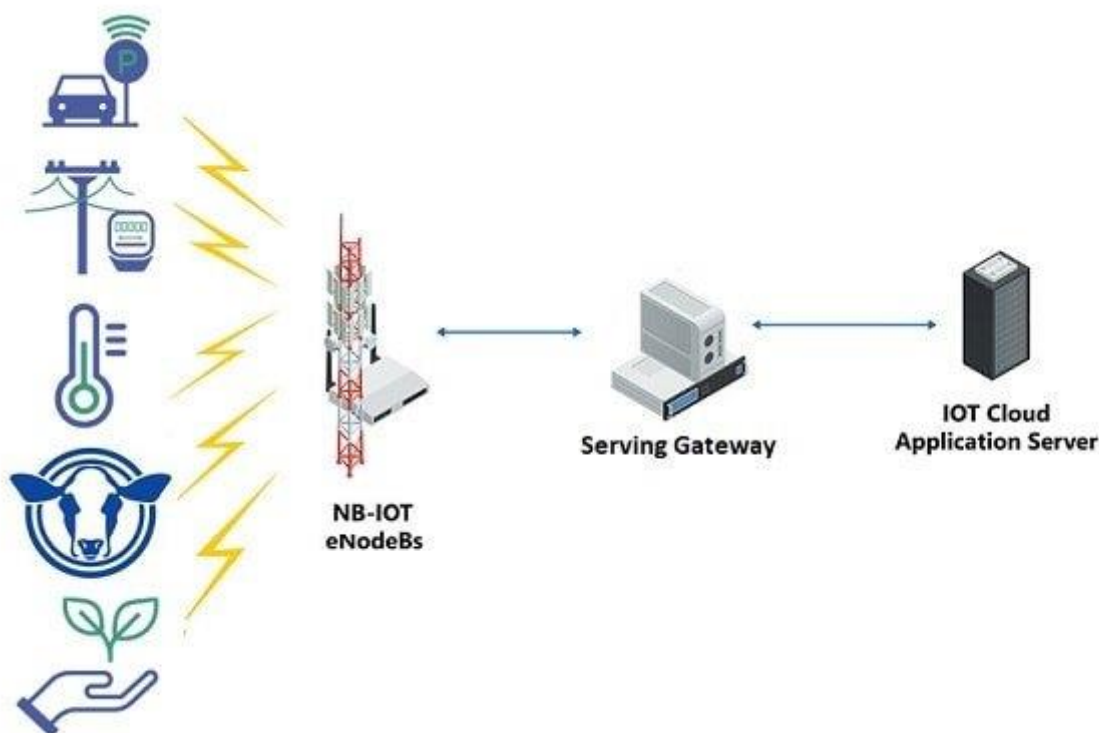


Рисунок 2.13 - Загальна структура NB-IoT

Основні переваги NB-IoT

NB-IoT є частиною глобального стандарту 3GPP Release 13, оптимізованого для програм з низькою потужністю (LPWA) з наступними перевагами:

Низька потужність → Термін служби акумулятора до 10 років.

Низька вартість → Достатньо дешева, щоб бути розгорнутою в масовому масштабі.

Покращене покриття → Обкладинка високотемпературних середовищ.

Масове розгортання → Мільярди з'єднань.

NB-IoT підтримує широкий спектр програм у різних галузях, таких як:

Розумні міста: вуличні ліхтарі, паркування, підключені автомобілі, управління відходами.

Інтелектуальне вимірювання: вимірювання води, вимірювання газу, електричне вимірювання.

Розумне будівництво: Сигналізація, контроль доступу, управління HVAC.

Моніторинг навколишнього середовища: моніторинг забруднення.

Інтелектуальне виробництво: промисловий контроль, оркестрація ланцюга постачання.

Побутова електроніка: Електроніка, що переноситься, відстеження товарів, біла техніка.

На рис.2.14. представлено схематичне рішення можливостей NB-IoT.

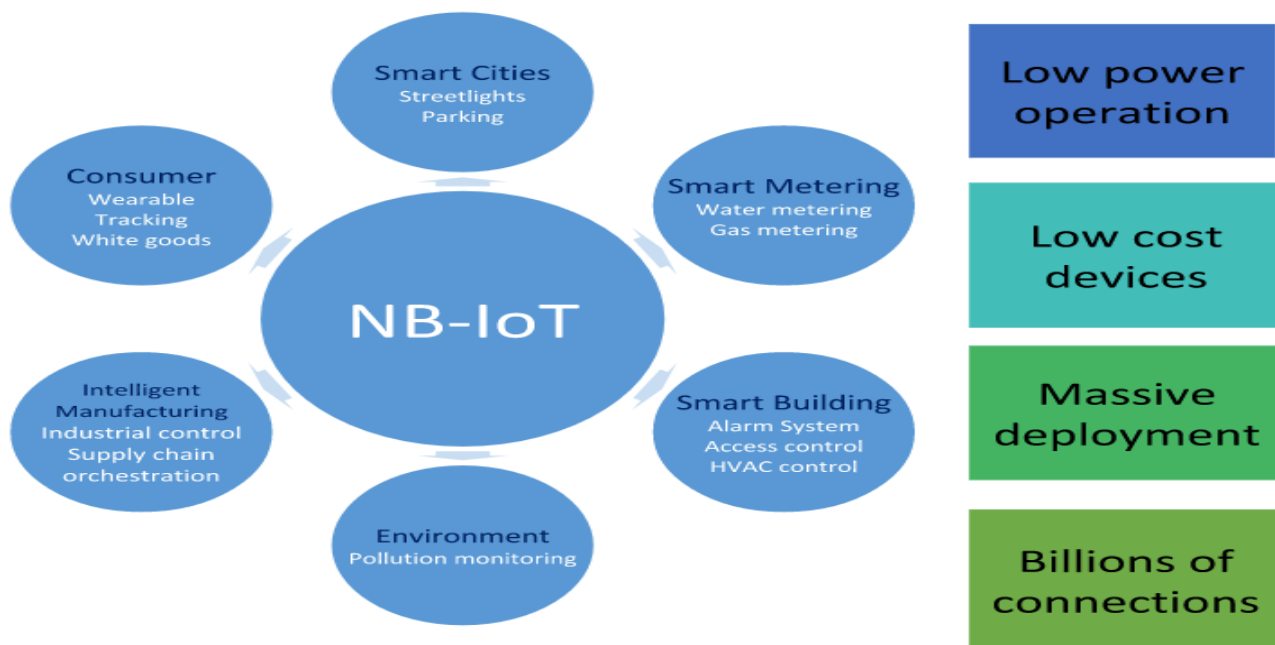


Рисунок 2.14 - Схематичне рішення можливостей NB-IoT

Енергозбереження

Однією з важливих особливостей пристроїв NB-IoT є його енергозберігаючі можливості. Пристрій NB-IoT потребує менш часті передачі (кілька разів за годину, або раз на день і т.д., залежить від додатків) крихітних байтів даних, що вимагає менше енергії для зв'язку. Деякі розумні сенсори забезпечують термін служби акумулятора до 10 років.

Тривалий термін служби батарей робить ці датчики більш зручними для віддаленого розгортання (періодичне обслуговування не потрібно, особливо заміна батареї).

Низька вартість модулів

Пристрої NB-IoT розроблені для підтримки величезного попиту недорогих сенсорних модулів і мережі пристроїв. Низька вартість модулів датчиків заохочує більше розгортання на рівні кінцевих користувачів для декількох додатків. Майбутні розробки NB-IoT спрямовують ультра-недорогі рішення (сенсори та пристрої) для різних застосувань.

Розширене покриття

Пристрої NB-IoT - найкращі кандидати для застосування, які потребують розширеного охоплення. Крім того, він пропонує більш високий внутрішній проникнення сигналу (підходить для реалізації в підвалах) і покриття на відкритому повітрі.

Низька затримка

Низька затримка є важливим фактором для критичних застосувань, де інформація повинна надсилатися якомога швидше, як тільки датчики виявляють зміну попередньо встановленого значення (температура, близькість, пожежа, вологість, рівень води тощо). За допомогою NB-IoT може бути досягнута низька затримка до декількох секунд.

Низька складність

NB-IoT пристрої менш складні для налаштування та моніторингу. Більш простий варіант розгортання та налаштування пристроїв та мережі NB-IoT робить його більш привабливим для користувачів.

Величезна кількість пристроїв

Технологія NB-IoT може підтримувати величезну кількість пристроїв і розумних датчиків під її масштабованою мережею. Масштабованість мережі необхідна для багатьох додатків для подальшого вдосконалення в майбутньому.

Останнім часом вузькосмуговий Інтернет речей (NB-IoT), один з найбільш перспективних технологій з низькою потужністю (LPWA), привернув велику

увагу як з боку академічних кіл, так і з боку промисловості. NB-IoT має великий потенціал для задоволення величезного попиту на комунікації типу машин (MTC) в епоху Інтернету речей. Щоб полегшити дослідження та застосування NB-IoT, у цій статті розроблена система, яка включає пристрої NB, хмарна платформа IoT, сервер додатків і користувацький додаток. Основним компонентом системи є створення плати розробки, яка об'єднує модуль зв'язку NB-IoT і модуль ідентифікації абонента (SIM), блок мікроконтролера (MCU) і модулі управління живленням (рис.2.15).

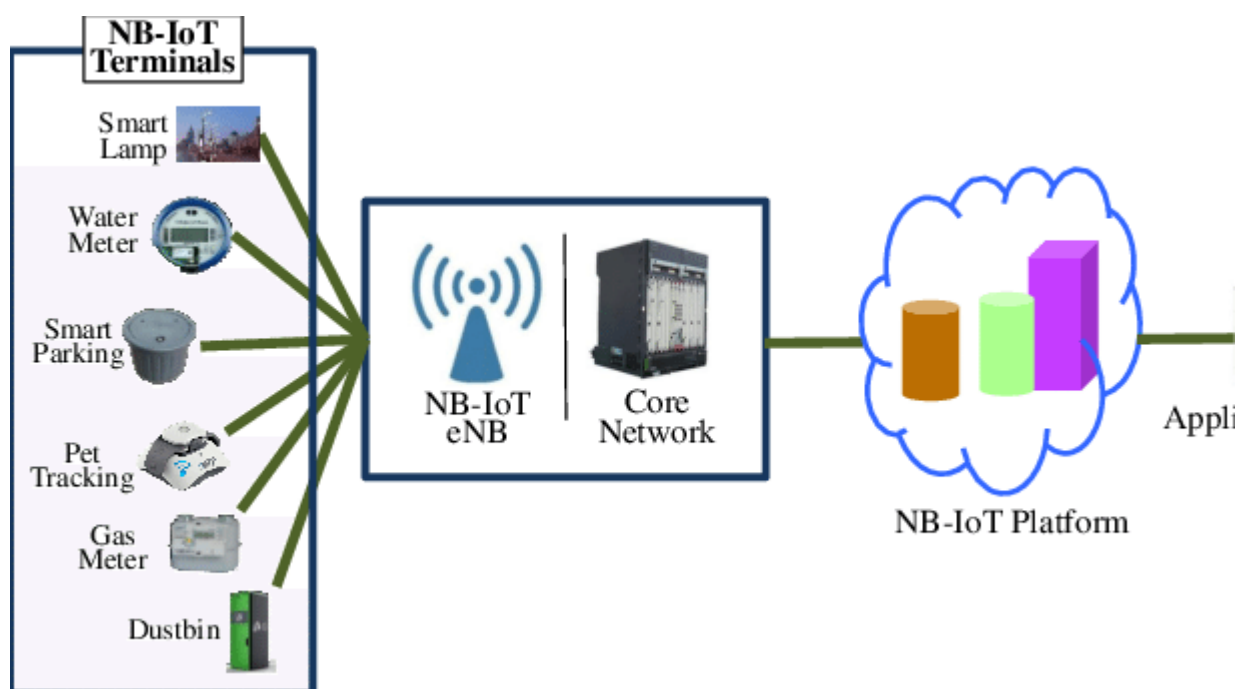


Рисунок 2.15 - Основні компоненти застосування NB-IoT

Надається дизайн прошивки для пробудження пристроїв NB, моніторинг та зондування даних, обчислень і комунікацій, а також конфігурації хмари IoT для зберігання та аналізу даних. Запроваджуються рамки щодо застосування запропонованої системи до конкретних застосувань. Запропонована система забезпечує легкий підхід до академічних досліджень, а також комерційних додатків. IEEE.

3 МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ, АНАЛІЗУ І ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ

ПОСЛУГ MNB-IoT LTE

3.1 Методи розрахунку параметрів якості послуг MNB-IoT LTE мереж

Сучасна тенденція конвергенції різних типів мереж привела до необхідності перенесення мережею різного виду трафіку.

Характеристики системи якості обслуговування особливо важливі в разі, коли MNB-IoT LTE мережі передають одночасно трафік різного типу.

Наприклад, трафік:

- голосовий VoIP;
- web- додатків.

Це пов'язано з тим, що різні типи трафіку пред'являють різні вимоги до характеристик QoS в час найбільшого навантаження (ЧНН). При передачі голосу в MNB-IoT LTE мережах з режимом надання послуг можливо паралельно використовувати технології конвергенції на базі платформи IMS з комутацією мереж 2G/3G/4G. У зв'язку з тим, що постійно збільшується обсяг мультисервісної інформації (дані, голос, відео, датчики та інші), переданої в MNB-IoT LTE мережі, зростають вимоги до якості обслуговування трафіку Інтернет-речей, що генерується користувачами, системами і самої MNB-IoT LTE мережею.

Основні вимоги до якості обслуговування трафіку Інтернет-речей в ЧНН виражені через параметри:

- кругова затримка (RTD - round trip delay);
- коливання пакетів (jitter);
- втрата пакетів (packet lost).

Вимірювання зазначених параметрів може проводитися для різних класів сервісу в ЧНН:

- real-time (реального часу);
- business critical (критичний для бізнес- часу);
- best effort (найкращою спроби).

Розрахуємо значення показників якості трафіку Інтернет-речей в ЧНН.

Розрахункові параметри системи якості можуть бути використані при укладанні угоди про рівень обслуговування (SLA) зі сторонніми операторами в забезпеченні заданої якості обслуговування в наскрізному з'єднанні (end-to-end) для різних видів трафіку.

Показник кругової затримки в ЧНН

Кругова затримка - це сумарний час, необхідний для передачі пакета від джерела до одержувача і назад.

У загальному випадку кругова затримка включає в себе наступні види показників затримок:

- затримка поширення сигналу;
- очікування пакета в черзі на маршрутизаторі;
- затримка, яку вносить активним елементом.

Прийнято умова, що маршрутизація є симетричною (використання одного маршруту від джерела до одержувача і назад) і проходить по найкоротших шляхах.

Показник кругової затримки в ЧНН розраховується за формулою:

$$RTD = 2 \cdot (D_p + \sum D_{Qi} + \sum D_{a.e.i}) \quad (3.1)$$

де D_p – затримка поширення;

RTD – кругова затримка;

D_{Qi} – час очікування пакета в черзі на маршрутизаторі;

$D_{a.e.}$ – затримка, яку вносить активним елементом.

Показник затримки поширення в ЧНН

Затримка поширення сигналу залежить від протяжності маршруту і швидкості поширення світлового потоку в оптичному волокні транспортної мережі.

Розрахуємо показник затримки поширення (D_p):

$$D_p = \frac{R \cdot k}{c}, \quad (3.2)$$

де:

D_p - затримка поширення (с);

C - швидкість світла у вакуумі (м / с);

R - відстань маршруту (м);

k - коефіцієнт заломлення матеріалу сердечника оптичного волокна, значення якого лежить в межах від 1,45 до 1,55 (ближче до 1,5).

Приклад:

Розрахуємо показник затримки поширення при $R = 1000$ км, при $k = 1,5$:

$$D_p = \frac{R \cdot k}{C} = 1 \cdot 10^6 \text{ м} \cdot 1,5 \div 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} = 0,5 \cdot 10^{-2} = 5(\text{мс}).$$

У разі якщо протяжність маршруту R невідома, то значення R можна розрахувати з використанням коефіцієнтів, які оцінюються з D (air distance - пряме відстань між вузлами), відповідно до рекомендації ITU-T (G.826), в якій зазначено (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 - Розрахунок R відповідно до рекомендації ITU-T (G.826)

D	R
$D < 1000$ км	$R = 1,5 \cdot D$
$1000 \text{ км} \leq D \leq 2000$ км	$R = 2000$ км
$D > 2000$ км	$R = 1,25 \cdot D$

Показник часу очікування пакета в черзі на маршрутизаторі в ЧНН

Розрахуємо також показник часу очікування пакета в черзі на маршрутизаторі (D_Q).

Показник часу очікування пакета в черзі на маршрутизаторі (D_Q) розраховується за формулою:

$$D_Q = \left(\frac{b}{r}\right) \cdot \left(\frac{1}{1-u}\right), \quad (3.3)$$

де:

b - середня довжина пакета (біт);

r - швидкість передачі каналу (біт / с);

u - середній коефіцієнт використання каналу.

Наприклад, при швидкості 300 Мбіт / с, якщо прийняти довжину пакета 6000 байт - 48 000 байт і середній коефіцієнт використання каналу дорівнює Квикор. кан.= 0,9, час очікування пакета в черзі становить:

$$D_Q = (48 \cdot 10^3 / 3 \cdot 10^8) \cdot (1 / (1 - 0,9)) = (16 / 10^5) \cdot 10 = 1,6 \text{ (мс)}$$

При швидкості 300 Мбіт / с прийнята довжина пакета 200 байт -1600 біт і середній коефіцієнт використання каналу дорівнює 0,9, час очікування пакета в черзі становить:

$$D(Q) = (1600 / 3 \cdot 10^8) \cdot (1 / (1 - 0,9)) = (53 / 10^7) \cdot 10 = 0,53 \text{ (мс)}.$$

Чим менше довжина пакета, тим менше час очікування пакета в черзі.

Це відноситься до одного маршрутизатора на шлях від джерела до одержувача. В цілому нормований показник затримки на маршрутизаторах завжди $D(Q)$ менше 1 мс, оцінка – 4 бали, якщо канали не перевантажені.

Показник втрати пакетів в ЧНН

Рівень втрати пакетів визначається кількістю пакетів, які відкидаються мережею під час передачі. Одними з основних причин втрати пакетів є перевантаження мережі і пошкодження пакетів під час передачі по лінії зв'язку. Також відкидання пакетів може бути викликано недостатнім розміром вхідного буфера.

Коефіцієнт втрати пакетів визначається наступною формулою:

$$K_{втр} = N_{втр} / (N_{втр} + N_{отр}) \times 100\% , \quad (3.4)$$

де:

$N_{\text{втр}} -$ кількість втрачених пакетів;

$N_{\text{отр}} -$ кількість пакетів, отриманих успішно.

Наприклад, кількість переданих пакетів 200000, втрачених (або пошкоджених) - 103, при цьому кількість доставлених пакетів 199897, то коефіцієнт втрати пакетів буде дорівнювати:

$$K_{\text{втр.}} = 103 / (103 + 199897) \cdot 100\% = 0,000515 \cdot 100\% = 0,05\%$$

Коефіцієнт втрачених IP-пакетів по нормі $K_{\text{PER}} = 0,01\%$ - 4 бали; $K_{\text{PER}} = 0,001\%$ - 5 балів; $K_{\text{PER}} = 0,1\%$; - 3 бали, K_{PER} - менше $0,1\%$ - 2 бали.

Норма: 1 втрач. пакету - 10000 переданих пакетів;

Факт: 103 – « – - 200000 - « -

Допуст: x – « – - 200000 - « -

$X = 200000 \cdot 1/10000 = 20 \lll 103$ по факту.

$R = \lfloor 103 / 20 = 5,15$ разів $\ggg$ допуст. Оцінка – 3 бал.

Коефіцієнт втрати пакетів буде нижче норми – 4 бал.

В цьому випадку необхідно в ЧНН збільшити ресурси каналів і швидкість переданих пакетів до 1500 Мбіт/с.

3.2 Аналіз та оцінці середнього часу відгуку на IP-мережах

Розглянемо фрагмент для MNB-IoT LTE - мережі без встановлення з'єднання з комутацією пакетів, що складається з двох вузлів і з'єднують їх дуплексні канали. Інтенсивність потоку у вхідному вузлі $\lambda = 50$ пак / с, пропускна здатність дуплексного каналу між вузлами дорівнює:

$$C_T = N \cdot C_L, \quad (3.5)$$

де:

$N = 120$ - число вихідних каналів;

$C_L = 200.0$ кбіт / с - пропускна здатність радіолінії для трафіку Інтернет-речей.

Кожен прийнятий пакет генерує окреме підтвердження фіксованої довжини:

$L_I = 160$ байт = 1280 біт, $m_c = 4000$ байт = 32000 біт, m_c - поле довільної довжини.

Знайдемо середній час відгуку $T(D)$ від вузла до вузла. Розробимо програму для розрахунку даного параметра, а також побудуємо залежність середнього часу відгуку $T(D)$ від величини поля довільної довжини m_c . У мережі передачі даних кожен пакет доставляється індивідуальним маршрутом, і передача пакета вважається завершеною тільки після отримання підтвердження про його прийомі в разі не орієнтованої на з'єднання.

Мережа з дуплексних каналів складається з двох кінцевих. У мережі з комутацією каналів для дослідження підсумків розраховується повна інтенсивність потоку у вхідному вузлі дорівнює λ з швидкістю дуплексного каналу між вузлами рівним $C_T = N \cdot C_L$ для кожного напрямку з величиною C_L , яка визначає максимальну швидкість доступу до вузла від користувача (пропускна здатність абонентської лінії).

У мережі практично відсутні витрати часу на встановлення з'єднання, однак, в якості ресурсу часу на наявність підтвердження про прийом пакета. Розглянемо два способи передачі підтверджень. Перший полягає в інформації від вузла. В окремих пакетах з інформацією про підтвердження, а другий передбачає, що в пакети зворотного напрямку вбудовуються спеціальні службові поля підтвердження бітів про прийом пакетів входить напрямки.

Розглянемо перший спосіб. Нехай кожен прийнятий пакет генерує окреме підтвердження фіксованої довжини $-L_I$, біт. У кожному вузлі потік пакетів може бути змінної довжини, сумарно з деякого фіксованого поля довжини $-L_I$ і випадкової довжини із середнім значенням $-m_c$. Пакети надходять в чергу на вхідному вузлі і обслуговуються в порядку надходження.

Очевидно, що тут необхідно вибрати модель СМО з довільним розподілом

часу обслуговування в зв'язку зі структурою пакетів.

Постановка завдання: Визначити T_D - середній час відгуку від вузла до вузла з вибором моделі СМО - $M/G/1$.

Тоді на один пакет середнє значення часу обслуговування через вихідний потік вузла фіксується зі швидкістю C_T в каналі і загальний час передачі дорівнюватиме:

$$\frac{(L_I + m_C)}{C_T} = t_h + t_m \quad . \quad (3.6)$$

На передачу «заголовків» витрачено час 1-ої складової, а час на передачу інформаційного трафіку закладено у 2-й складової.

При цьому t_h - середня довжина підтверджень.

Таким чином, середній час обслуговування в СМО в запису $M/G/1$ дорівнює:

$$M\langle\tau\rangle = \frac{1}{2} \cdot (t_h + t_m) + 1/2 \cdot t_h \quad . \quad (3.7)$$

Якщо вхідні повідомлення різних видів можливі і в черговості забезпечується підтримка вхідного трафіку, то коефіцієнт використання для досліджуваної СМО буде розрахований за формулою:

$$\rho = 2 \cdot \lambda \cdot M\langle\tau\rangle = \lambda \cdot (t_m + 2 \cdot t_h) = \rho_M \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{t_h}{t_m}\right). \quad (3.8)$$

Використовується параметр $\rho_M = \lambda \cdot t_m$ - коефіцієнт ефективності використання переданих бітів трафіку. Для мережі з комутацією каналів цей коефіцієнт є аналогічним у порівнянні з коефіцієнтом використання.

Розглянемо комбінації формул СМО [14]:

$$\rho_M = \lambda \cdot T_M / N, \quad (3.9)$$

$$T_M = m_c / C_L, \quad (3.10)$$

$$t_m = m_c / C_L, \quad (3.11)$$

$$C_T = N \cdot C_L \Rightarrow t_m = T_M / N. \quad (3.12)$$

Таким чином, для трафіку мережі з комутацією пакетів в ЧНН параметр мережі підтримки з'єднання може збігатися з параметром порівняння.

Середній час очікування для СМО типу $M/G/1$ від другого моменту залежить час підтримки.

Використовуючи формулу:

$$M\langle\tau^2\rangle = 0.5 \cdot (t_h^2 + (t_m + t_h)^2 + t_m^2). \quad (3.13)$$

Середнє значення часу очікування пакетів в СМО:

$$I\langle W \rangle = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{[t_h^2 + (t_m + t_h)^2 + t_m^2]}{1 - \rho}, \quad (3.14)$$

$$I\langle W \rangle = \rho_M \cdot (t_m + t_h + \frac{t_h^2}{t_m}) / (1 - \rho). \quad (3.15)$$

Сумарний час відгуку від вузла до вузла складається з фактичного часу затримки в черзі вузла А і часу затримки в черзі, яка позначається в вузлі В для трафіку Інтернет-речей, а потім середнього часу передачі пакету і часу передачі.

Тривалість відгуку дорівнює:

$$T_D = t_m + 2 \cdot t_h + 2 \cdot M\langle W \rangle. \quad (3.16)$$

Всі розрахунки проведені в програмі Excel (Додаток А).

За отриманими результатами побудовані графіки залежності середнього

часу відгуку мережі від поля довільної довжини для трафіку Інтернет-речей (рис. 3.1).

Залежність коефіцієнта IP пакетів, втрачених під час передачі даних від швидкості транспортного потоку і періоду втрат для ізольованих подій втрат для пріоритетного класу системи якості для трафіку Інтернет-речей в ЧНН представлена на рис. 3.2.

Криві на графіку (рис. 3.2) відображають періоди втрат на рівнях: 1 подія / год (верхня), 0,5 подій / год (середня) і 0,25 подій / год (нижня).

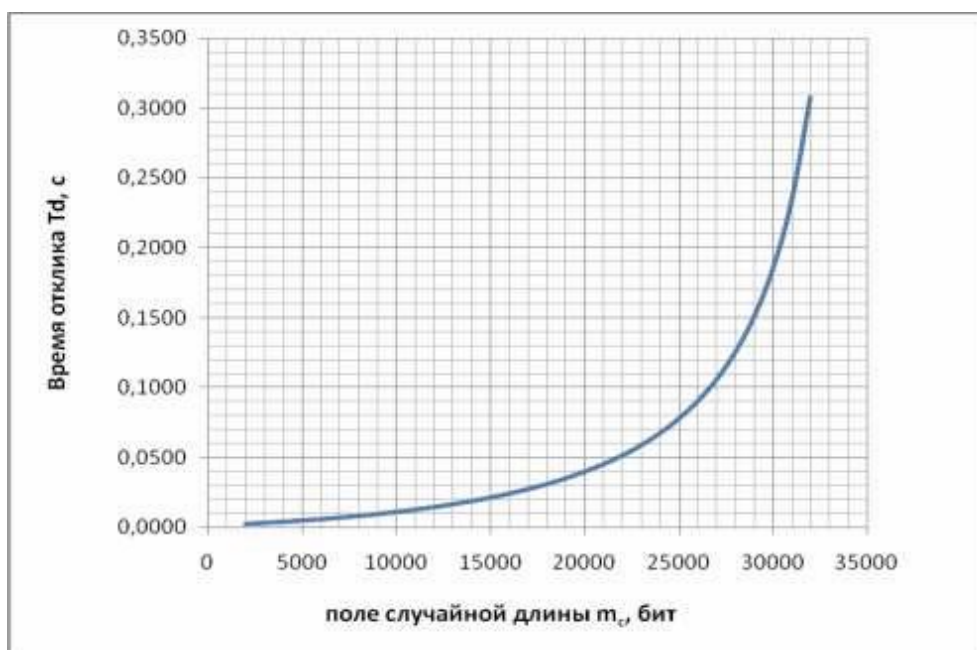


Рисунок 3.1 – Графік залежності часу відгуку від поля довільної довжини для трафіку Інтернет-речей

На рис. 3.3 представлена залежність коефіцієнта втрати IP-пакетів від швидкості транспортного потоку і періоду втрат для неізольованих подій втрат при тривалості втрати 16 мс для трафіку Інтернет-речей в ЧНН.

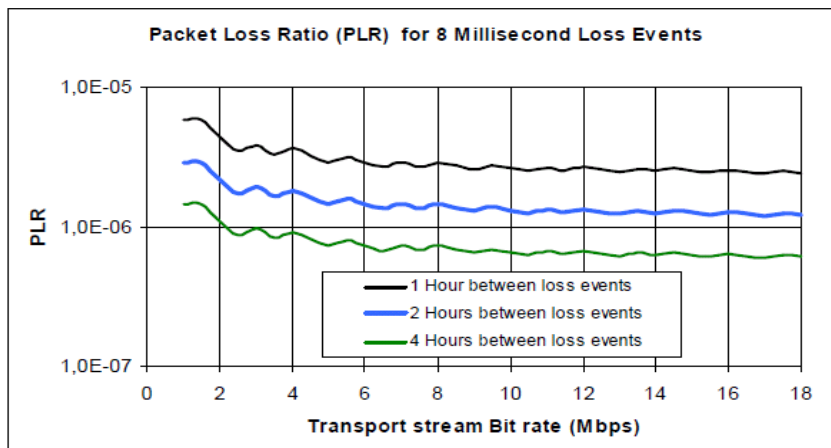


Рисунок 3.2 – Графік залежності коефіцієнта втрати IP-пакетів від швидкості транспортного потоку і періоду втрат для неізолюваних подій втрат при тривалості втрати 8 мс для трафіку Інтернет-речей в ЧНН

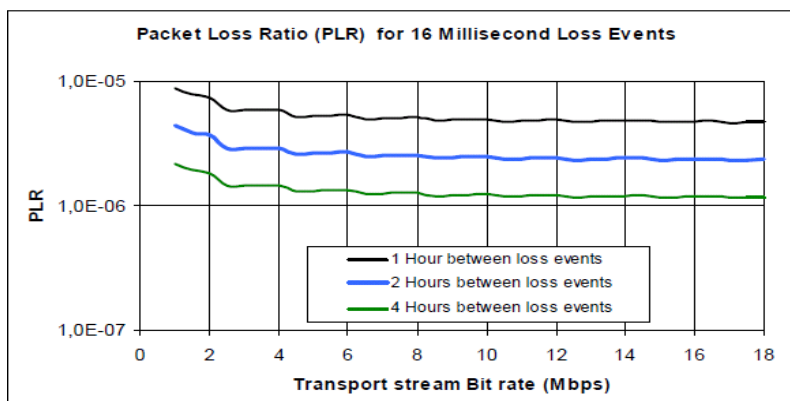


Рисунок 3.3 – Залежність коефіцієнта втрати IP-пакетів від швидкості транспортного потоку і періоду втрат для неізолюваних подій втрат при тривалості втрати 16 мс для трафіку Інтернет-речей в ЧНН

Графіки залежності часу відгуку від поля довільної довжини пакета, залежності коефіцієнта втрати IP-пакетів від швидкості транспортного потоку і періоду втрат для неізолюваних подій показують, що втрати при тривалості втрати 8 мс для трафіку Інтернет-речей, залежність коефіцієнта втрати IP-пакетів від швидкості транспортного потоку і періоду втрат для неізолюваних подій втрат при тривалості втрати 16 мс належать трафіку Інтернет-речей послуг NB IoT.

При збільшенні поля довільної довжини, починаючи з довжини, що дорівнює 25000 біт, відбувається різке збільшення часу відгуку (сумарний час затримки на передавальному вузлу, затримки в черзі підтвердження на приймаючому вузлу і середнього часу передачі пакету і часу підтвердження), що викликає потребу корекції поля довільної довжини в межах класів обслуговування відповідно до нормативних значень MOS.

ВИСНОВКИ

Атестаційна робота магістра на тему «Дослідження методів контролю послуг NB IoT» виконана відповідно до завдання і в повному обсязі.

У першому розділі проведено аналіз стану і перспектив розвитку послуг і додатків в мобільному зв'язку різних поколінь. Розглянуто основні види інфокомунікаційних послуг, а також архітектура побудови мобільних мереж з комутацією пакетів.

Детально розглянуто Концепцію MNB-IoT - LTE мережу з комутацією пакетів, основні об'єкти і елементи, взаємодія протоколів управління трафіком, запитуваних для трансляції мобільними станціями.

Визначено основні завдання MNB-IoT LTE мережі:

- швидкодія;
- виконання нормованих показників якості послуг, що надаються і додатків на основі комутації пакетів;
- рівномірний розподіл і закріплення частотного ресурсу для БС і МС.

Архітектура MNB-IoT LTE мережі побудована на основі управління і підтримки трафіка с технологією комутації пакетів в умовах рухомості МС з виконанням нормованих показників якості передачі інформації.

Аналіз технологій мобільного зв'язку нових поколінь показує, що основними технологіями в мережах четвертого та п'ятого покоління стануть послуги "Інтернет речей" вузькополосні та широкополосні IoT: NB-IoT та BB-IoT.

Інтернет речей NB-IoT та BB-IoT - це не просто безліч різних приладів і датчиків, об'єднаних між собою провідними і безпроводовими каналами зв'язку і підключених до мережі Інтернет, це більш тісна інтеграція реального і віртуального світів, в яких спілкування відбувається між людьми і пристроями. Для реалізації цього будуть застосовуватись такі технології як безпроводові сенсорні мережі і RFID (метод автоматичної ідентифікації об'єктів). Таким чином, впровадження "Інтернету речей" в мережах WSN та 4G/5G дозволять не тільки

взаємодіяти в єдиній мережі колу побутових гаджетів і пристроїв (смарт-годинник, пристрої VR, планшети і смартфони), але і дозволить охопити всі сфери діяльності людини (технологія розумний дім та розумне місто).

Стандарт NB-IoT був специфікований консорціумом 3GPP в 2016 році в Release 13 (LTE Advanced Pro) і в даний час проходить тестування. Фахівці вважають, що технологія NB-IoT отримає популярність серед операторів, тому що її обслуговування і експлуатація обійдеться їм дешевше, ніж передових на сьогоднішніх день мереж LTE і GSM. Це обумовлено її характеристиками. Стандарт NB-IoT є двосторонній зв'язок, що діє в частотному каналі шириною 200 кГц. Для того, щоб запустити мережу в експлуатацію, оператору всього лише необхідно встановити на базовій станції спеціальне програмне забезпечення. Це актуально, якщо розгортати NB-IoT-мережу вже на існуючих частотах.

Консорціум 3GPP пропонує три варіанти розгортання NB-IoT мережі. Перший - це NB-IoT Guard Band, тобто для Narrowband IoT буде виділений окремий частотний спектр. Другий - це In Band, тобто технологія буде розміщена в захисному інтервалу частот мереж LTE. Третій - отримав назву Stand Alone. Відповідно до його концепції, NB-IoT і LTE працюють в одному частотному діапазоні. Таким чином, мережа NB-IoT можна розгорнути в частотних діапазонах, в якому в даний час функціонує стандарт GSM, після їх рефармінг в LTE, або в «захисних» інтервалах між мережами GSM і LTE. Швидкість передачі даних в NB-IoT досягає 200 кбіт / с, що є достатнім для пристроїв, періодично передають однотипні дані невеликого обсягу.

Наступною найважливіших особливостей технології NB-IoT є можливість підключати до однієї соте базової станції до 100 тисяч пристроїв NB-IoT, що в десятки разів перевищує можливості діючих стандартів фіксованого та мобільного зв'язку. Це дозволяє отримати додаткову комерційну вигоду на основі застосування аналізу IoT-даних методами великих даних (Big Data). В рамках співпраці із суміжними галузями оператори, на додаток до продажу послуг мобільного зв'язку, отримують можливість продавати аналітичні дані третім особам.

Такі переваги стандарту NB-IoT дозволяють значно збільшити зону покриття, забезпечивши фіксований та мобільний зв'язок важкодоступних місць і регіонах.

Наприклад, компанія u-blox оголосила про випуск першого в своєму роді модуля для мереж NB-IoT. Він підтримує сервіси, для роботи яких необхідно надійне з'єднання і тривала передача невеликих даних. Розробники заявляють, що елемент живлення прослужить без підзарядки від 10 до 20 років. Розмір пристрою становить 1,6x2,6 см, а максимальна швидкість вхідного потоку - 227 Кбіт / с. U-blox повідомила про успішні випробування обладнання, які підтвердили велику ефективність NB-IoT в порівнянні з GPRS.

З метою популяризації та розгортання стандарту NB-IoT, компанія Huawei на початку 2019 року підписало угоду про наміри з компанією TIM. Партнери створюють відкриту лабораторію для організації робіт над вузькосмуговим IoT і проведення випробувань в польових умовах.

Очевидно, що попит на дану технологію буде рости, тому що її характеристики відповідають ринковим тенденціям і споживчим потребам. Вона надає широке покриття (в тому числі в підвальних приміщеннях).

У другому розділі розглянуті основні методи управління та контролю за нормованими параметрами трафіку і якості в MNB-IoT LTE мережах.

Встановлено, що підтримка послуг і додатків в MNB-IoT LTE мережах реалізується на основі управління мережевими елементами, що забезпечують end-to-end вимоги до трафіку передачі і прийому інформації.

Досліджені методи забезпечення контролю MNB-IoT на прикладному рівні та на базі хмарних платформ.

Розглянуто методи управління різноманітними систем різних виробників IoT cloud платформи.

У третьому розділі проведені розрахунки, аналіз і оцінка параметрів якості послуг MNB-IoT LTE.

Представлені розрахунки швидкості обслуговування досліджуваної MNB-IoT LTE мережі із застосуванням теорії масового обслуговування.

Запропоновано методи з розрахунком параметрів якості обслуговування в MNB-IoT LTE мережі, як середній час відгуку від вузла до вузла (0,307с) при пропускної здатності абонентської лінії $SL = 200$ кбіт / с для трафіку Інтернет-речей в ЧНН.

Побудовано графіки залежності часу відгуку від поля довільної довжини пакета, залежності коефіцієнта втрати IP-пакетів від швидкості транспортного потоку і періоду втрат для неізольованих подій втрат при тривалості втрати 8 мс для трафіку Інтернет-речей, залежність коефіцієнта втрати IP-пакетів від швидкості транспортного потоку і періоду втрат для неізольованих подій втрат при тривалості втрати 16 мс для NB IoT трафіку послуг.

При збільшенні поля довільної довжини, починаючи з довжини, що дорівнює 25 000 біт, відбувається різке збільшення часу відгуку (сумарний час затримки на передавальному вузлу, затримки в черзі підтвердження на приймаючому вузлу і середнього часу передачі пакету і часу підтвердження), що викликає потребу корекції поля довільної довжини в межах класів обслуговування відповідно до нормативних значень MOS.

З огляду на то, що стандарт NB-IoT тільки сформований, їх Концепція ще відточується. Ряд розробників планують розширити функціонал мережі в наступних релізах голосовим сервісом, тому що швидкість роботи мережі дозволяє це зробити. Також, швидше за все, NB-IoT стане однією зі складових специфікацій мереж 5G (Narrowband 5G).

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Тихвинский В.О. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура / [Текст], В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев, А.Б. Юрчук. – М.: Эко-Трендз. – 2010. – С. 284.
2. Тихвинский В.О. Концептуальные аспекты создания 5G [Электронный ресурс] / Тихвинский В.О., Бочечка Г.С., Электрон. текстовые дан. - Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/136317/> - Загл. с экрана..
3. Посакаухин В. Н. Вопросы разработки и стандартизации систем 5G в МСЭ-R [Текст]/ Посакаухин В. Н. - М.: Эко-Трендз. – 2016. – С. 124.
4. Гречаниченко А.В., Исследование методов контроля параметров качества в технологии LTE // 21-й Міжнародний молодіжний форум «Радіoeлектроніка та молодь в ХХІ столітті». Зб. Матеріалів форуму, Т. 4 Харків: ХНУРЕ, 2017р, с.77-78,
5. Кадацька О.І., Сабурова С.А., Методы управления услугами LTE, Проблемы електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку (ЕМС-2019) [Текст]// Збірник наукових праць п'ятої міжнародної науково-технічної конференції, Харків 21-22 травня 2019 г. /М-во освіти і науки України, Харківський національний університет радіoeлектроніки. Зб. Матеріалів конф. -Харків: ХНУРЕ, 2019. - с. 25-28.
6. Бернардо С., Радченко В.В., Сабурова С.А., УПРАВЛЕНИЕ УСЛУГАМИ LTE, //23-й Міжнародний молодіжний форум «Радіoeлектроніка та молодь в ХХІ столітті». Зб. Матеріалів форуму- Т.4 Харків, ХНУРЕ, 2019 р, с.40-44.
7. Радченко В.В., Сабурова С.А., ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ПОСЛУГ ІoT 5G//24-й// Міжнародний молодіжний форум «Радіoeлектроніка та молодь в ХХІ столітті. сб.Матеріалів форуму - Харків, ХНУРЕ, 2020 год.
8. Сабурова С.А, Волокітіна О.І., Радченко В.В., ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ РЕСУРСІВ ДОСТУПУ ДО ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ

ПОСЛУГ//Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку (ЕМС-2020)/ Збірник наукових праць шостої міжнародної науково-технічної конференції, Харків 2020 р./М-во освіти і науки України, Харківський національний університет радіоелектроніки. сб.Матеріалів конф. - Харків: ХНУРЕ, 2020.

9. Гепко И.А. Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития [Текст], / И.А.Гепко, В.Ф.Олейник, Ю.Д.Чайка, А.В.Бондаренко. – Киев: “ЕКМО”. – 2009. – 671 с.

10. Будущее за технологией LTE [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. - Режим доступа: до ресурсу: <http://www.nokiamaemo.ru/main/471-budushhee-za-technologiej-lte.html> -Загл. с экрана.

11. TR 36.806 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Relay architectures for E-UTRA (LTE-Advanced).

12. ITU-R M.1457-8 Detailed specifications of the radio interfaces of International Mobile Telecommunications – 2000 (IMT–2000).

13. Sesia S. LTE – The UMTS Long Term Evolution. From Theory to Practice / S. Sesia, I. Toufik, M. Baker [Текст] // John Wiley & Sons Ltd. – 2009. – 611 p.

14. Loshakov V.A. Adaptive control signal parameters in LTE technology with MIMO [Электронный ресурс] / V.A. Loshakov, H.D. Al-Janabi, H.K. Al-Zayadi // Проблеми телекомунікацій. – 2012. – № 2 (7). – С.78–90. – Режим доступу до ресурсу: http://pt.journal.kh.ua/2012/2/1/122_loshakov_mimo.pdf - Загл. с экрана...

15. Александр.Сафонов. Беспроводные сети 5G, Электрон. текстовые дан. - Режим доступу: postnauka.ru - Загл. с экрана...

16. Ал-Джанаби Х.Д. Сравнение технологий беспроводного доступа WiMAX и LTE [Текст]/ Х.Д. Ал-Джанаби, Н.Т. Насиф, В.С. Вовченко // Радиотехника: Всеукр. межвед. научн. техн. сб. – 2013. – Вып. 173. – С. 27–34.

17. Тихвинский В.О. Использование радиочастотного спектра сетями LTE и LTE Advanced[Текст] /В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев. // Электросвязь. – 2010. – № 5. – С. 10–13.

18. Бакулин М.Г. Технология OFDM. Учебное пособие для вузов/[Текст]

М. Г. Бакулин, В. Б. Крейнделин, А. М. Шлома, А. П. Шумов. – М.: Изд-во Горячая Линия – Телеком, 2016. – 360с.

19. Галустов Г.Г. Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением сигналов[Текст]/ Учебное пособие/ Г.Г.Галустов, С.Н.Мелешкин. – Таганрог: Изд-во ТТИЮФУ, 2012. – 80с.

20. Гельгор А.Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учеб. пособие / [Текст]А.Л.Гельгор, Е.А.Попов Изд-во Горячая Линия – Телеком, 2016. – 120с.

21. Futuristic mobile technologies foresee “imt for 2020 and beyond”:МСЭ.

22. M. Satyanarayanan. Pervasive Computing: Vision and Challenges./ IEEE Personal Comm.— 2001. Vol. 8, № 4. — P. 10–17.

23. M. Weiser, The Computer for the 21st Century. Scientific Am. — Sept 1991. Vol. 265, № 3. URL Электрон. текстовые дан. - Режим доступа:: <http://www.scientificamerican.com/article/the-computer-for-the-21st-century-> Загл. с экрана.

24. T. Kindberg et al. People Places and Things: Web Presence for the Real World. ACM J. Mobile Networks and Applications. — 2002. Vol. 7, № 5. P. 365–376.

25. S. Costanzo, S.Cherrier and R. Langar, "Network Slicing Orchestration of IoT-BeC³ applications and eMBB services in C-RAN"[Текст]/ , IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM) 2019, Paris, France, 29 April - 2 May 2019.

26. S. Costanzo, I. Fajjari, N. Aitsaadi, and R. Langar, "Dynamic Network Slicing for 5G IoT and eMBB services: A New Design with Prototype and Implementation Results" [Текст]/ IEEE Cloudification of the Internet of Things Conference (CIoT) 2018, Paris, France, 2-4 Jul. 2018.

27. USRP B200/B210 Specification Sheet, available online at [Электронный ресурс] Электрон. текстові дан. - Режим доступа: <https://www.ettus.com/product/details/UB200-KIT-> Загл. с экрана

28. X. Foukas, N. Nikaein, M. M. Kassem, M. K. Marina and K. Kontovasilis, FlexRAN: A Flexible and Programmable Platform for Software-Defined Radio Access

Networks, ACM CoNEXT, California, USA, 12-15 Dec. 2016.

29. C-RAN Network Slicing Prototype for IoT and eMBB services [Електронний ресурс] - Електрон. текстові дан. - Режим доступу: [/https://sdr-lab.u-pem.fr/slicing-C-RAN.html](https://sdr-lab.u-pem.fr/slicing-C-RAN.html)- Загл. с екрана.

30. S. Matoussi, I. Fajjari, S. Costanzo, N. Aitsaadi and R. Langar, "Joint Functional Split and Resource Allocation in 5G Cloud-RAN", IEEE International Conference on Communications (ICC) 2019, Shanghai, China, 20-24 May 2019.

31. S. Matoussi, I. Fajjari, S. Costanzo, N. Aitsaadi and R. Langar, "A User Centric Virtual Network Function Orchestration for Agile 5G Cloud-RAN", IEEE International Conference on Communications (ICC) 2018, Kansas City, MO, USA, 20-24 May 2018.

32. S. Costanzo, I. Fajjari, N. Aitsaadi and R. Langar, "A Network Slicing Prototype for a Flexible Cloud Radio Access Network", 15th IEEE Annual Consumer Communications Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 12-15 Jan. 2018.

33. S. Costanzo, I. Fajjari, N. Aitsaadi and R. Langar, "DEMO: SDN-based Network Slicing in C-RAN", 15th IEEE Annual Consumer Communications Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 12-15 Jan. 2018.

34. Модеми Qualcomm Snapdragon X16 LTE [Електронний ресурс] - Електрон. текстові дані - Режим доступу: <http://www.ferra.ru/ru/mobile/news/2016/06/16/megafon-5G/> - Загл. с екрана.

35. Сети 5G. Соревнование операторов по скорости передачи данных [Електронний ресурс] - Електрон. текстові дані - Режим доступу: <http://mobile-review.com/articles/2016/mega-5g.shtml/> - Загл. с екрана.