



Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Кафедра ЕОМ

Модель інформаційної взаємодії в мережах IoT

Кваліфікаційна робота  
Другий (магістерський) рівень

**Автор:**

Нефедченко О.О.  
студ. гр. КСМм-20-1

**Керівник:**

Токарєв В.В.  
доц. каф. ЕОМ

2021

## МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

2

**МЕТОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ** є дослідження моделі інформаційної взаємодії сенсорних пристроїв в мережі IoT.

**ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ МЕТИ:**

- ❖ провести огляд і аналіз базових протоколів взаємодії в IoT;
- ❖ проаналізувати ймовірно-часові характеристики інформаційної взаємодії сенсорних пристроїв в мережі IoT.

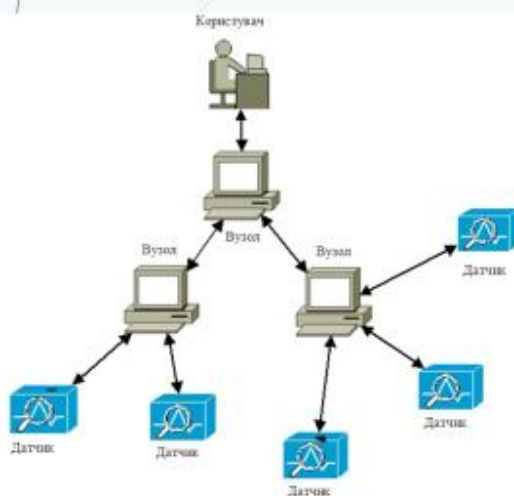
## АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи досліджується модель інформаційної взаємодії сенсорних пристроїв в мережі IoT. Такий підхід дозволяє говорити, що модель інформаційної взаємодії побудована з урахуванням фундаментальних характеристик технології Інтернету речей, що дозволяє адекватно оцінювати ймовірно-часові характеристики інформаційної взаємодії. Комплекс математичних моделей поєднує аналітичний та статистичний методи моделювання, що дозволяє оцінити ймовірно-часові характеристики передачі даних на всіх етапах інформаційної взаємодії в мережі Інтернету речей. Тому тема кваліфікаційної роботи є актуальною.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ МЕРЕЖ ІoT

Приклад сенсорного пристрою мережі IoT

Приклад простої сенсорної мережі



Компоненти сенсорного пристрою мережі IoT



## ДОСЛІДЖЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ МЕРЕЖ ІoT

5

### Базові технології мережі ІoT

#### І. Визначення розташування сенсорного пристрою

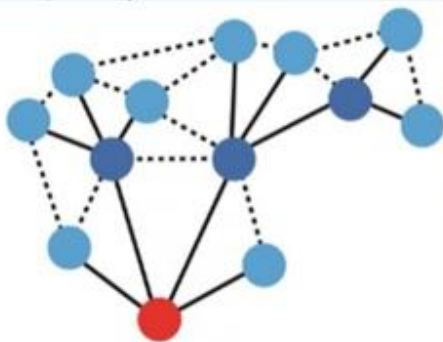
Для цих цілей, як один з варіантів, в кожен вузол вбудовується модуль системи глобального позиціонування GPS, що працює з точністю до 5 метрів або інший варіант – тільки деякі СП використовують GPS, які допомагають іншим пристроям визначити своє положення в просторі. Розміщення СП не обов'язково попередньо розраховувати. Дана властивість дозволяє розміщувати сенсорні пристрої випадковим чином, наприклад, в важкодоступних місцевостях або оперативно розгорнути мережу при наданні допомоги на певний час. Це означає, що протоколи сенсорної мережі і алгоритми роботи СП повинні мати можливість самоорганізації, яка і реалізується за допомогою системи визначення місця розташування.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ МЕРЕЖ ІoT

6

Взаємодії сенсорних пристроїв між собою в рамках однієї сенсорної мережі утворюють топологію mesh (англ. mesh – петля, комірка мережі, отвір сита), тобто сенсорні пристрої об'єднуються численними сполуками, що утворюють порожнисту топологію.

#### Приклад топології Mesh



ІoT мережа з топологією Mesh дозволяє реалізувати наступні можливості:

- створення зон суцільного інформаційного покриття великої площі;
- масштабованість мережі, тобто збільшення площі зони покриття і щільності інформаційних потоків в режимі самоорганізації;
- використання бездротових транспортних каналів для зв'язку в режимі «кожен з кожним»;
- стійкість мережі до втрати окремих елементів.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ МЕРЕЖ ІoT

7

### Базові технології ІoT

**II. Технологія - M2M (Machine to Machine)** - це загальна назва технологій, що дозволяють машинам проводити обмін інформацією між собою, або передавати її в односторонньому порядку в автоматичному режимі між пристроями без участі людини.

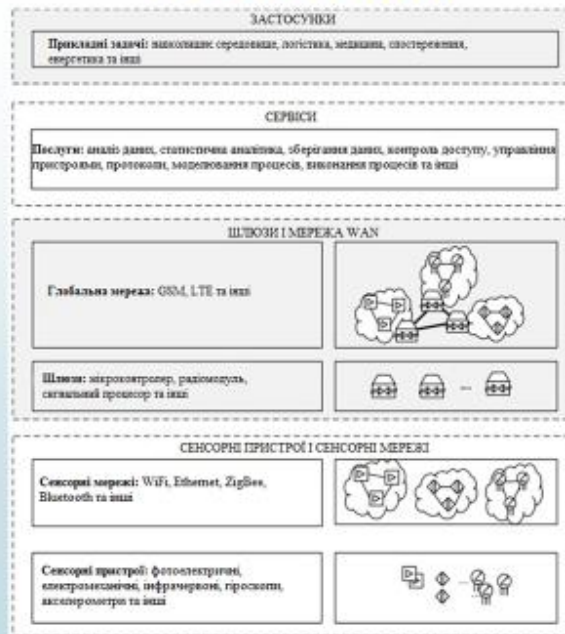
Приклад технології  
Machine to Machine



Вважається, що саме ця технологія породила термін ІoT, маючи на увазі під ним якусь відокремлену обчислювальну середу, що складається з пристроїв, які самостійно взаємодіють один з одним і надають користувачеві результати своєї спільної діяльності.

## АРХІТЕКТУРА ІoT

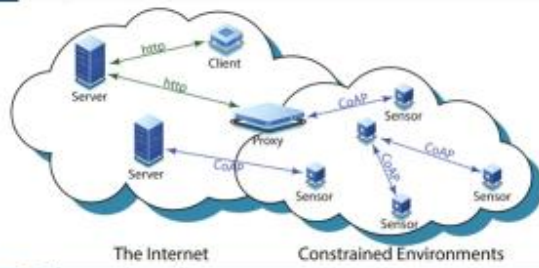
8



## ПРОТОКОЛИ ВЗАЄМОДІЇ В ІоТ

9

### Протокол - CoAP



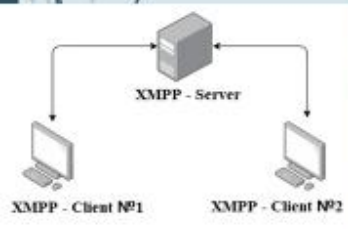
### Протокол - MQTT



### Протокол - ZigBee



### Протокол - XMPP



### Стандарт - BLE



### Протокол - XMPP

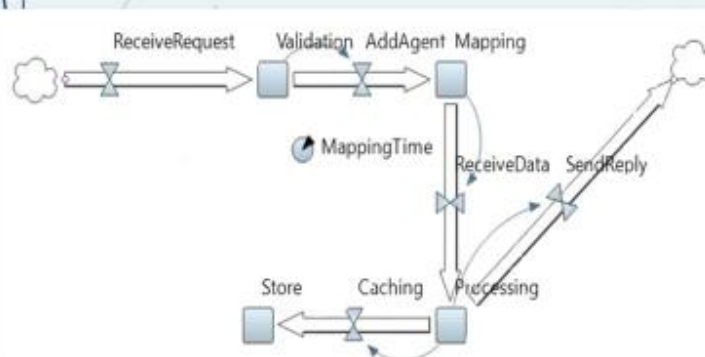


## ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ

10

### Модель функціонує наступним чином:

Стохастичним чином задані запити надходять від **agent network**. Якщо **agent** проходить валідацію і сертифікований на прийом/передачу інформації і передає запит вперше з моменту виявлення в **network**, то він додається в «карту» **network**, для ідентифікації його в просторі. Після обробки та збереження інформації в пам'яті, відбувається відправка керуючої команди від **server** до **agent**, на яку **agent** повинен відправити нотифікацію про отримання.



В процесі проходження всіх етапів схеми можуть виникнути такі ситуації.

1. Запит **agent** на передачу даних відхилений в силу виникнення колізій джерел даних або маршруту для передачі ще не побудований.
2. Багаторазове додавання одного і того ж **agent** в карту.
3. «Защклення» – відправка однієї і тієї ж команди **agent** після відключення/підключення.
4. Запит успішно проходить – інформаційна взаємодія відбулася.

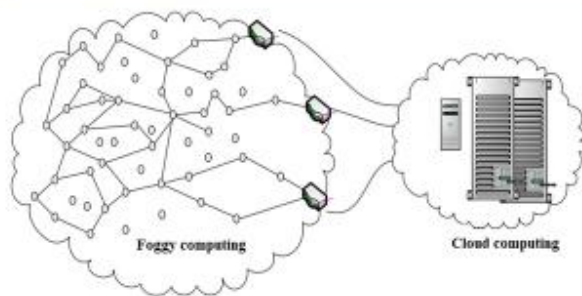
## ОЦІНКИ ЙМОВІРНОСНО-ЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІНФОРМАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ В МЕРЕЖІ ІoT

11

Оцінка ймовірнісно-часових характеристик інформаційної взаємодії в мережі ІoT є сумою:

$$t_{i,v} = t_{v,z} + t_{п.д.}$$

Логічні канали для передачі даних від  
СПІ в «хмару»



Час встановлення інформаційної взаємодії визначимо як випадкову величину, яка може бути знайдена виразом:

$$t_{v,z} = \sum_{i=1}^{n_k} t_{k_i} + \sum_{i=1}^{n_o} t_{o_i} + n_n t_n$$

## ОЦІНКИ ЙМОВІРНОСНО-ЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІНФОРМАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ В МЕРЕЖІ ІoT

12

Отримане значення  $t_{v,z}$  визначає результат встановлення ІВ:

- якщо  $t_{v,z} \leq t_{доп.}$ , то ІВ встановлено;
- якщо  $t_{v,z} > t_{доп.}$ , то ІВ встановлено, але з низькою якістю обслуговування, і для даних термінової доставки це має критичне значення, тому що вони могли втратити свою актуальність;
- якщо  $n_n > n_{доп.}$ , то з'єднання не встановлено.

Черговий номер втраченого фізичного каналу  $z$  визначається за формулою:

$$z = \lceil Ud + 1 \rceil$$

## ОЦІНКИ ЙМОВІРНОСНО-ЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІНФОРМАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ В МЕРЕЖІ ІоТ

13

Завдання розрахунку характеристик встановлення ІВ може бути зведене до завдання оцінювання математичного очікування  $M\xi$  дискретної випадкової величини:

$$\xi = f(\alpha)$$

Випадкова величина набуває двох значень, тобто  $\{0,1\}$ :

- $\xi = 0$  відповідає встановленню з'єднання;
- $\xi = 1$  відповідає невстановленню з'єднання.

Значення  $M\xi = P\{\xi = 1\}$  має сенс ймовірності невстановлення з'єднання. Випадкова величина  $\xi$  невід'язна, тобто  $0 < M\xi < 1$ .

14

## ОЦІНКИ ЙМОВІРНОСНО-ЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІНФОРМАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ В МЕРЕЖІ ІоТ

З урахуванням класифікації  $L_{ij}$  по  $c$  оцінку  $M\xi$  знайдемо у вигляді:

$$M\xi = \sum_{c_{\min}}^{c_{\max}} M\xi(c)$$

Оцінка ймовірності невстановлення ІВ між СП при  $c$  втрачених фізичних каналів на безлічі всіх  $L_{ij}$  визначається у вигляді:

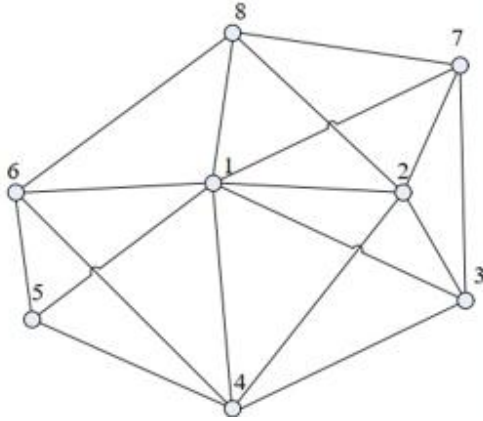
$$M\xi(c) = \frac{C_d^c}{N_{2c}} \sum_{k=1}^{N_{2c}} p(L_{ij}^k | \xi(x|c) = 1)$$

Таким чином, ця формула повністю відображає ймовірнісний підхід до встановлення ІВ у ІоТ з топологією Mesh.

## ЕКСПЕРИМЕНТ НА МОДЕЛІ ВСТАНОВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ

15

Експеримент проведено на мережі з  
топологією Mesh



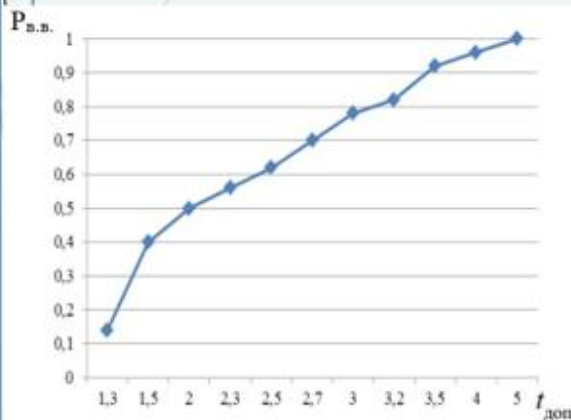
Задані такі параметри, що характеризують  
СП і канали зв'язку:

- пропускна здатність всіх каналів зв'язку - 9600 бод;
- швидкість проходження  $i$ -го фізичного каналу в прямому  $t_{пр}$  і зворотному напрямках однакові, тобто  $t_{пр} = t_{зв}$ ;
- $t_{пр}$  - час переключення на інший маршрут мс;
- $t_{доп}$  - допустимий час на встановлення з'єднання можна варіювати в залежності від вимог і рекомендацій до доставки трафіку IoT.

16

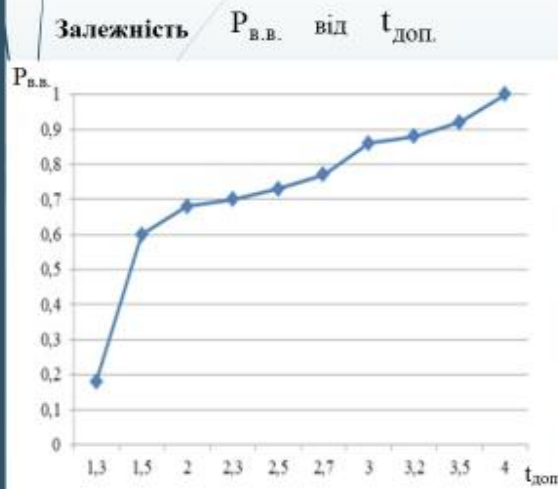
## ЙМОВІРНОСНО-ЧАСОВІ ЗАЛЕЖНОСТІ, ЩО ХАРАКТЕРИЗУЮТЬ ІНФОРМАЦІЙНУ ВЗАЄМОДІЮ СЕНСОРНИХ ПРИСТРОЇВ У МЕРЕЖІ ІoT

Залежність  $P_{в.в.}$  від  $t_{доп}$ .



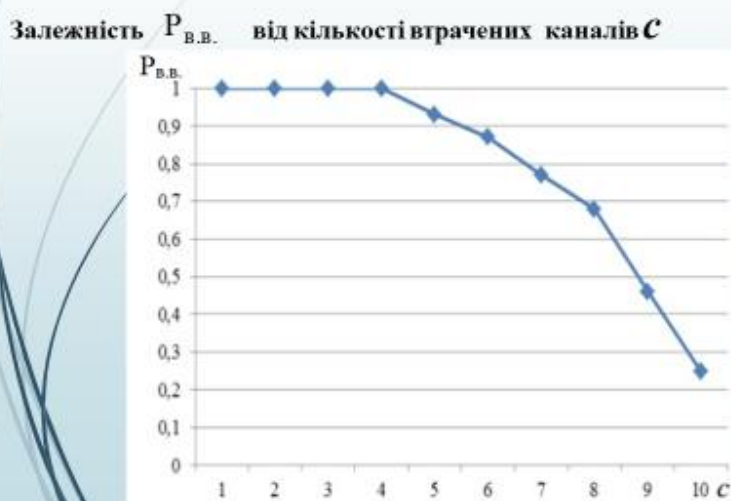
Призначення цієї залежності - знайти необхідні параметри, що забезпечують гарантований час встановлення з'єднання, наприклад, якщо в оточенні восьми СП буде втрачено три канали і одна спроба побудувати інший логічний канал, то для забезпечення 100% встановлення інформаційної взаємодії необхідний час - не менше 5 мс.

## ЙМОВІРНОСНО-ЧАСОВІ ЗАЛЕЖНОСТІ, ЩО ХАРАКТЕРИЗУЮТЬ ІНФОРМАЦІЙНУ ВЗАЄМОДІЮ СЕНСОРНИХ ПРИСТРОЇВ У МЕРЕЖІ ІоТ



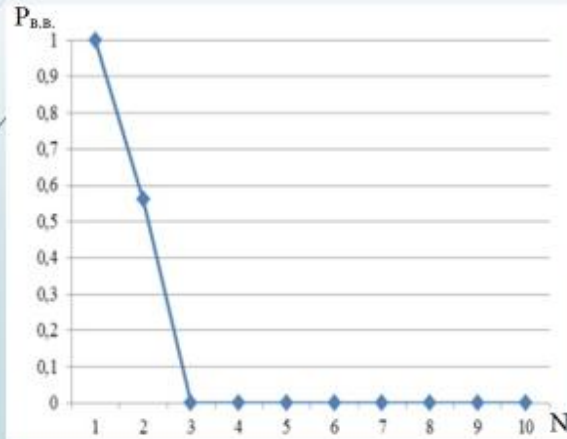
Призначення цієї залежності – знайти необхідні параметри, що забезпечують гарантований час встановлення з'єднання, наприклад, якщо в оточенні восьми СП буде втрачено три канали і одна спроба побудувати інший логічний канал, то для забезпечення 100% встановлення інформаційної взаємодії необхідний час – не менше 4 мс.

## ЙМОВІРНОСНО-ЧАСОВІ ЗАЛЕЖНОСТІ, ЩО ХАРАКТЕРИЗУЮТЬ ІНФОРМАЦІЙНУ ВЗАЄМОДІЮ СЕНСОРНИХ ПРИСТРОЇВ У МЕРЕЖІ ІоТ



## ЙМОВІРНОСНО-ЧАСОВІ ЗАЛЕЖНОСТІ, ЩО ХАРАКТЕРИЗУЮТЬ ІНФОРМАЦІЙНУ ВЗАЄМОДІЮ СЕНСОРНИХ ПРИСТРОЇВ У МЕРЕЖІ ІoT

Залежність  $P_{в.в.}$  від кількості втрачених сенсорних пристроїв  $N$



## АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

*Нефедченко О.О., магістр, кафедра системних обчислювальних машин,  
Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків*

### МОДЕЛЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ В МЕРЕЖАХ ІoT

В останні десятиліття ІoT став однією з провідних технологій, загальнознаних усіма країнами світу. ІoT дозволяє людям і речам взаємодіяти де завгодно, коли завгодно, і в будь-яких поєднаннях при використанні інфраструктури ІoT. Екосистема ІoT передбачає збір даних з датчиків (або відправку команд на виконавчі пристрої), їх передачу через мережу зв'язку на хмарні платформи для подальшого аналізу з метою надання інтелектуальних послуг для людей. На рис.1 представлені ключові компоненти, необхідні для

42



побудови систем ІoT. Згідно рисунку, датчики і пристрої знімання інформації збирають різні види даних про той чи інший об'єкт, потім ці дані можуть бути додатково оброблені та проаналізовані для отримання корисної інформації з метою надання інтелектуальних послуг. Елементи ІoT введні в одну просту формулу:

Фізичні об'єкти + контролери, сенсори, виконавчі механізми + Інтернет = ІoT.

Існують різні додатки ІoT, які спрямовані на вирішення конкретних завдань.

Серед типових додатків можна виділити:

- управління даними;
- аналітику;
- візуалізацію;
- управління гетерогенними мережами;
- дослідницькі цілі та ін.

## ВИСНОВКИ

21

**ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ** була досліджена модель інформаційної взаємодії сенсорних пристроїв в мережі IoT.

**В МАГІСТЕРСЬКІЙ КВАЛІФІКАЦІЙНІЙ РОБОТІ ВИРШЕНІ ТАКІ ЗАДАЧІ:**

- ❖ проведено огляд і аналіз базових протоколів взаємодії в IoT;
- ❖ проаналізовані ймовірно-часові характеристики інформаційної взаємодії сенсорних пристроїв в мережі IoT.

## ДЯКУЮ ЗА УВАГУ

