

## **Кіберфізичні системи вирішення проблеми взаємодії давача чадного газу з смартфоном перехожого**

© А. О. Мельник, Р.А. Юревич, 2020

**Розглянуто способи вирішення взаємодії давача чадного газу з смартфоном перехожого. Розглянуто верхні рівні стека протоколів Bluetooth (GAP, GATT), специфікацію та основні аспекти для побудови пристрою на BLE. Запропоновано метод реалізації взаємодії давача чадного газу з смартфоном.**

**Ключові слова:** давач, Bluetooth Low Energy, смартфон, кіберфізична система.

**A. Melnyk, R. Yurevych**

Lviv Polytechnic National University,

Computer Engineering Department

## **Cyberphysical systems to solve the problem of interaction of the carbon monoxide sensor with the smartphone of a passerby**

© A. Melnyk, R. Yurevych, 2020

**Ways to solve the interaction of the carbon monoxide sensor with the smartphone of a passerby are considered. The upper levels of the Bluetooth protocol stack (GAP, GATT), the specification, and the main aspects to blend the device into BLE are considered.. A different method of implementing the interaction of the carbon monoxide sensor with a smartphone is proposed.**

**Key words:** sensor, Bluetooth Low Energy, smartphone, cyberphysical system.

### **Вступ**

Кіберфізичні системи (КФС) як інтеграція процесів фізичного світу та кібернетичних засобів, які організують виконання вимірювань чи спостереження за цими процесами, збирання та передавання даних, опрацювання даних, їх захищене зберігання та обмін, організацію та здійснення впливів на ці процеси, сьогодні стрімко набувають популярності [1–3].

На сьогодні, ми часто бачимо на сторінках газет та інтернет-видань статті про нещасні випадки отруєння чадним газом. Статистика дуже сумна – гинуть дорослі, гинуть діти.

Чадний газ отруйний, легший за повітря, безбарвний, позбавлений запаху і може вбити людину упродовж декількох хвилин. Він є одним з найбільш токсичних компонентів продуктів горіння, який входить до складу диму, і виділяється при тлінні та горінні майже всіх горючих речовин і матеріалів.

Щоб уникнути проблем у сигналізації перевищення вмісту чадного газу, а також його моніторингу в повітрі повинно не виникати ніяких проблем у передачі даних. Кіберфізичні системи які пробують вирішити проблеми взаємодії давача чадного газу із смартфоном реалізовані за допомогою технологій: WiFi, 3G, EDGE, Bluetooth та ін. За допомогою цих технологій можна утворити стабільну передачу між датчиком і смартфоном.

### **Аналіз проблеми**

Хоча на даний час датчики чадного газу мають звукові сирени які сигналізують про тривогу, можливість виходу із ладу сирени завжди присутня. То в такий момент можливість отримати сповіщення на смартфон про небезпеку є найкращим виходом, враховуючи те, що на даний час більшість людей має персональний мобільний телефон. Також можливість отримання сповіщення на смартфон є перевагою для людей з проблемами слуху. Соціально значимими дефектами слуху у всьому світі страждають близько 30 мільйонів осіб. В Україні, наприклад, близько 40 тис. людей з інвалідністю по слуху.

Можливість в будь який момент отримати дані з датчика чадного газу є перевагою завдяки якій можна створити статистику, яка покаже як змінюється вміст чадного газу від дня до дня, від години до години. Також завдяки цій статистиці можна буде відслідковувати, як використання різних пристроїв впливає на вміст чадного газу повітрі.

Головною проблемою на даний час є організація стабільної передачі даних між давачем і смартфоном. Зараз найбільш популярні технології для передачі даних є Bluetooth і Wi-Fi. Враховуючи те, що зараз існує багато редакцій цих технологій для коректної роботи потрібно використовувати ті стандарти, які зможуть виконати більшість поставлених перед нами задач.

Також створення мобільного додатка який зможе отримувати і збирати інформацію для генерації звіту для моніторингу вмісту чадного газу. Для цього найкраще підійде ОС Android. Тому, що її код більш відкритий і завдяки цьому можливо створювати більш швидкодіючі мобільні додатки, а також доля ОС на ринку у 2019 досягла 90%.

### **Актуальність дослідження**

Широке використання природного газу в газових плитах для приготування їжі, газових колонок, котлів для нагрівання води чи опалення оселі, а також інших побутових потреб, вимагає відповідних методів та засобів контролю концентрацій природного газу та продуктів його спалювання. Одним з продуктів спалювання метану є монооксид вуглецю (чадний газ) навіть незначні концентрації якого можуть спричинити запаморочення і навіть призвести до смерті. Враховуючи дію навіть незначних концентрацій чадного газу, визначення підвищення концентрації чадного газу в побутовому приміщенні необхідно. Метан з повітрям та іншими газами може створювати вибухонебезпечні суміші, але це можливо тільки при значних концентраціях метану. При досягненні певної концентрації або температури метан спалахує, що може призвести до вибуху або пожежі.

КФС повинні мати можливість об'єднуватися в локальну безкабельну мережу, яка може працювати за відсутності глобальної мережі Інтернет, для розв'язання та перерозподілу спільних задач, обміну інформацією між собою тощо [1–3].

Безкабельні мережі з кожним днем стають все популярнішими, і цей факт незаперечний. Зростання популярності безкабельного обладнання для кінцевих користувачів можна порівнювати із підвищенням рівня життя.

Перевага створення безкабельної мережі над кабельними є низка серйозних переваг, головною з яких, звичайно ж, є простота розгортання. Безкабельна мережа не потребує прокладання кабелю, також важко заперечити такі переваги, як мобільність користувачів в зоні її дії та простоту під'єднання до неї нових користувачів, у цьому випадку і мобільність самої мережі, яка може розгортатись та самоорганізовуватись без прив'язки до місцезнаходження.

## Постановка завдання

Для забезпечення повноцінного функціонування системи потрібно побудувати мобільну локальну Wi-Fi мережу, в якій один з пристроїв виконуватиме функції точки доступу з сервером, а інші будуть станціями-клієнтами, зокрема мобільні пристрої, з яких відбувається керування, налаштування та моніторинг. Водночас мережа повинна бути простою в під'єднанні до довільної системи, малоенергозатратною, а також з низькою ціною комплектуючих.

Актуальною концептуальною проблемою також є зміна основних налаштувань та режимів роботи мережі незалежно від встановленого режиму роботи модуля. Проблема полягає у тому, що для конфігурування мобільної локальної Wi-Fi мережі немає іншого каналу передавання даних, окрім того ж Wi-Fi, що обмежує функціональність і гнучкість системи.

У роботі буде розглянуто основні особливості функціонування технології Bluetooth Low Energy (BLE), наведено приклади формування основних сервісів та характеристик для конфігурування мобільної локальної мережі за допомогою BLE, та наведено приклад користувацького мобільного додатка.

## Основні результати досліджень

Чому розробники Bluetooth назвали цю технологію саме Low Energy? Адже з кожною новою версією Bluetooth енергоспоживання і без того багато разів знижувався. Відповідь криється в цій батарейці.



Рис. 1. Літієва батарейка на 3 В

Її діаметр всього 2 см, а ємність близько 220 мА \* ч. Коли інженери розробляли Bluetooth LE, вони прагнули до того, щоб пристрій з такою батареєю працювало кілька років. І у них це вийшло! Bluetooth LE-пристрої з таким елементом харчування можуть працювати від року.

Ця версія специфікації Bluetooth уможливує підтримання широкого діапазону додатків і зменшує розмір кінцевого пристрою для зручного використання у галузях охорони здоров'я, фізкультури і спорту, охоронних систем і домашніх розваг.

Реалізація Bluetooth Low Energy є одним із найкращих рішень для пристроїв кіберфізичних систем. Специфікація Bluetooth 4.0 (і пізніші) фактично визначає дві безкабельні технології: BR / EDR (класичний Bluetooth, що розвивається, починаючи з першої версії стандарту) і Bluetooth Low Energy. Пристрої, в яких застосований BLE, можуть бути як дворежимними BR / EDR / BLE (називаються Bluetooth Smart Ready), сумісними з класичними Bluetooth-пристроями, так і однорежимними BLE (Bluetooth Smart).

Всі відмінності версії 4.2 від попередньої стосуються саме поліпшень у частині BLE: збільшення швидкості, можливість передавання IP протоколу і HTTP трафіку, посилення криптографічного захисту.

Також як і класичний стек протоколів Bluetooth, стек BLE складається з двох основних частин: контролера (Controller) і вузла мережі (Host). Контролер включає в себе фізичний і

канальний рівень і часто реалізується у вигляді системи-на-кристалі (СНК) і інтегрованим бездротовим трансивером. Частина стека, іменована вузлом мережі реалізується програмно на мікроконтролері додатків і включає в себе функціональність верхніх рівнів: рівень логічного зв'язку (Logical Link Control - LLC), протокол адаптації (Adaptation Protocol - L2CAP), атрибутів (Attribute Protocol - ATT), протокол атрибутів профілів пристроїв (Generic Attribute Profile - GATT), протокол забезпечення безпеки (Security Manager Protocol - SMP), протокол забезпечення доступу до функцій профілю пристроїв (Generic Access Profile (GAP)). Взаємодія між верхньою і нижньою частинами стека здійснюється інтерфейсом Host Controller Interface (HCI) [4].

Основними блоками Bluetooth-пристроїв є:

1. Додаток, який реалізує корисну для кінцевого користувача логіку роботи.
2. Головний пристрій, хост, який надає верхні рівні стека протоколів Bluetooth. Він містить такі протоколи:
  - GAP (Generic Access Profile) – профіль загального доступу;
  - GATT (Generic Attribute Profile) – профіль загальних атрибутів;
  - L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol) – протокол логічного з'єднання та адаптації;
  - ATT (Attribute Protocol) – протокол атрибутів;
  - SM (Security Manager) – менеджер безпеки;
  - HCI (Host Controller Interface) – інтерфейс хост-контролер, частина на боці хоста.
3. Контролер займається нижніми рівнями Bluetooth. Він містить такі протоколи:
  - HCI – інтерфейс хост-контролер з боку контролера;
  - LL (Link Layer) – рівень з'єднання;
  - PHY – фізичний рівень.

Bluetooth GATT (Generic Attribute Profile) є основою для розроблення будь-якої системи BLE та визначає спосіб взаємодії смартфона (або Central Device) з кінцевим пристроєм (Peripheral Device). Потрібно пам'ятати, що GATT використовується лише після встановлення з'єднання між двома пристроями.

Протокол атрибутів (ATT). Визначає комунікаційні сполучення між двома пристроями, які виступають у контексті даного протоколу в якості клієнта і сервера. Сервер підтримує набір атрибутів, що представляють собою структуру даних, що дозволяє отримувати доступ до інформації, керованої протоколом GATT. Ролі клієнта і сервера визначаються протоколом GATT і не залежать від ролі пристрою в з'єднанні (провідний / ведений).

Клієнт за допомогою запитів може отримати доступ до атрибутів сервера. Крім того, сервер посилає клієнтові два типи повідомлень, що містять атрибути:

- повідомлення, які не потребують підтвердження;
- індикатори, на які клієнт зобов'язаний відповісти.

Клієнт також може послати сервера команди на зміну значень атрибутів.

Протокол GATT визначає середовище виконання, використовувану ATT для пошуку послуг і обміну характеристиками між пристроями. Характеристика в даному випадку являє собою набір даних, що включають в себе значення і властивості. Дані, що відносяться до сервісів і характеристикам, зберігаються в атрибутах.

Наприклад, сервер з працюючим сервісом "датчик чадного газу" може бути пов'язаний з характеристикою "CO2", яка використовується для опису датчика, а інший атрибут може застосовуватися для зберігання результатів вимірювань.

Розглянемо основи організації локальної комп'ютерної мережі безкабельних Wi-Fi модулів з конфігуруванням за допомогою технології bluetooth. Є два режими інфраструктури мережі – основний режим BSS (Basic Service Set) і розширений режим ESS (Extended Service Set).

У режимі BSS всі вузли мережі зв'язуються між собою тільки через одну точку доступу, яка може виконувати також роль моста до зовнішньої мережі. У розширеному режимі ESS існує інфраструктура декількох мереж BSS, причому самі точки доступу взаємодіють кожна з кожною, що дає змогу передавати трафік від однієї BSS до іншої. Між собою точки доступу

з'єднують за допомогою сегментів кабельної мережі або радіомостів. У нашому випадку мережа побудована за принципом BSS. Точка доступу також є сервером, який слугує для перенаправлення повідомлень від клієнта до клієнта.

Мобільна локальна Wi-Fi мережа побудована так, що один з пристроїв виконує роль точки доступу з сервером, а інші є станціями-клієнтами, зокрема мобільні пристрої (смартфони тощо) з яких здійснюється керування, налаштування та моніторинг.

Кожен WI-FI модуль містить як клієнтську, так і серверну програми. Реалізовано автовизначення режиму роботи Wi-Fi модуля під час ввімкнення, розгортання точки доступу Wi-Fi та TCP/IP сервера на першому з ввімкнених пристроїв, під'єднання на інших пристроях як клієнтах. На сервері зберігається таблиця з'єднань з іменами та типами під'єднаних пристроїв, IP та MAC адресами, сокетом та кількістю від'єднань протягом сесії. Також сервер комутує з'єднання між клієнтами, перенаправляючи повідомлення від одного клієнта до іншого.

Програмне забезпечення (додаток) є реалізацією клієнта для пристроїв з ОС Android, що дає змогу здійснювати з'єднання, налаштування та керування пристроями, які під'єднані до мережі.

Додаток можна функціонально поділити на дві частини:

- Робота з мережами (пошук мереж, під'єднання до точки доступу та сервера за протоколом TCP, конфігурування мереж).
- Робота безпосередньо з пристроєм, під'єднаним до мережі (налаштування, керування тощо).

Перша частина є незмінною для будь-яких пристроїв, які використовують ці мережі. Друга частина є інтерфейсом керування, який є індивідуальним для кожного пристрою, оскільки вони відрізняються призначенням, можливостями та функціонуванням.

Основні можливості першої частини:

- Ввімкнення/вимкнення безкабельного інтерфейсу WI-FI на пристрої з додатка.
- Пошук та виведення на екран списку точок доступу в радіусі дії WI-FI (додаткової інформації про стан мережі).
- Під'єднання до точки доступу, вибраної зі списку.
- Зберігання паролів від точок доступу, з якими було здійснено з'єднання.
- Можливість з'єднання по TCP із сервером мережі.
- Якщо дані правильно введено, виконується під'єднання до мережі та перехід на вікно програми з списком під'єднання до мережі пристроїв, запускається паралельний потік, який відповідає за з'єднання, та дозволяє не переривати його навіть після повного закриття додатка. Повторно запустивши його, можна продовжувати роботу, не встановлюючи з'єднання повторно. Після вибору одного з пристроїв зі списку відбувається перехід на вікно керування та налаштування.

Інтерфейсом для конфігурування мережі слугуватиме додаток для ОС Android, в якому під час встановлення з'єднання буде виводитись інформація налаштувань мережі, яка міститься на модулі у зручному для користувача вигляді з можливістю змін. Для цього використовуються права доступу клієнта до характеристик, а саме:

- Read: дозвіл клієнту прочитати значення.
- Write: дозвіл клієнту змінити значення.

Таблиця 1

**Радіуси дії мережі Wi-Fi**

	Пристрій–пристрій	Смартфон–пристрій
Пряма видимість без завад	100–150 м	до 100 м
Пряма видимість у місті	75–100 м	50–100 м
У приміщенні	25–75 м	20–50 м

Через інтерфейс Bluetooth Low Energy відбувається конфігурування режимів роботи мережі кожного із пристроїв окремо. Цей інтерфейс використовується лише між налаштованим пристроєм та смартфоном. Другий канал зв'язку дає змогу незалежно від вже заданої конфігурації зв'язатися з пристроєм для переконфігурування, а саме: режиму роботи

модуля Wi-Fi (точка доступу, станція, авто), назви та паролю доступу, адреси та порту для TCP/IP, обмежень для доступу іншим клієнтам тощо.

Конфігурування потрібно здійснювати, безпосередньо під'єднуючись до налаштованого модуля в радіусі, вказаному в табл. 2.

Таблиця 2

### Радіуси дії Bluetooth Low Energy

Пряма видимість без завад	до 100 м
Пряма видимість у місті	25–50 м
У приміщенні	10–20 м

На основі створеного програмного забезпечення є можливість легко додати потрібні функції як роботи з Wi-Fi, так і Bluetooth, використовуючи формат наведених пакетів даних. Потрібно реалізувати лише інтерфейс під певний пристрій. Частина додатка, яка працює з мережею, під'єднанням, виведенням клієнтів тощо, залишається без змін для всіх пристроїв, у які вбудована мережа.

### Подальший напрямок роботи

Потрібно розробити вдосконалення в протоколах безпеки мережі, через те, що в майбутньому до цієї мережі можна приєднати систему кондиціонування та вентиляції повітря. Завдяки такій автономізації і вдосконалення функціоналу мобільного додатка ми зможемо контролювати більше важливих параметрів в приміщенні.

Але коли мобільний додаток зможе мати такі можливості, в нас виникає можливість злому для посилення брехливих сигналів від датчика газу чи зміни реостатів системи кондиціонування. Такі зломи можуть бути спричинені через те, що ми використовуємо конфігурацію основних налаштувань мережі за допомогою BLE.

Суть процесу злому Bluetooth Low Energy можна описати наступними стадіями:

1. Виявлення пристрою
2. Зчитування його сервісів і характеристик
3. Виявлення серед характеристик ті, які можна перезаписати
4. Визначення, за що відповідають характеристики
5. Змінити значення характеристик

Четвертий етап є творчим і найскладнішим. Іноді роль характеристик можна знайти в документації розробників для даного пристрою. Іноді доводиться перебирати значення і дивитися, що змінилося в пристрої. Найскладніший варіант - це зворотна інженерія перехопленого Bluetooth трафіку або додатки для управління пристроєм.

### Висновки

Результати досліджень проблеми об'єднання пристроїв у багатоагентну систему дають можливість досягти високої ефективності, реалізуючи структурні рішення автономних вузлів вбудованої локальної мережі КФС та алгоритми їх роботи.

Завдяки технології Bluetooth Low Energy (BLE) живлення датчика чадного газу буде енергоефективне і це допоможе уникнути небезпечної ситуації при мінімальному сторонньому втручанні.

Розроблена мережа дає змогу легко організувати систему керування за допомогою програмного забезпечення для засобів на ОС Android без необхідності перепід'єднання до кожного пристрою окремо, це дозволить надіслати користувачам повідомлення при можливій небезпечній ситуації. Також додаток дає змогу здійснювати конфігурацію основних налаштувань мережі за допомогою BLE, що робить мережу функціональнішою та гнучкішою у використанні.

1. Melnyk A. O. *Cyber-physical systems: problems of creation and directions of development* / Lviv Polytechnic National University Press // *Computer systems and networks*. – 2014. – No. 806. – P. 154–161. 2. Melnyk A. O. *Multilevel base platform of cyber-physics systems* // *Cyber-physical systems: achievements and challenges* // *Materials of the first scientific seminar, Lviv, 2015*. – P. 5–15. 3. Melnyk A. O. *Integration of the levels of the cyberphysical system* // Lviv Polytechnic National University Press. *Computer systems and networks*. – 2015. – No. 830. – P. 61–67. 4. Лухомон Д. В., Гребеняк А. В., Мельник А. О. Вбудована локальна комп'ютерна Wi-Fi мережа з конфігуруванням за допомогою технології Bluetooth // *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. Серія: Комп'ютерні системи та мережі. – 2018. – № 881. – С. 66–86.