

УДК 004.94

DOI 10.36910/775.24153966.2022.73.11

О. І. Сидоренко

науковий співробітник

Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

<https://orcid.org/0000-0002-3584-4380>

## ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗШИРЕННЯ СПЕКТРУ ДІЇ BLUETOOTH

У статті розкрито інноваційні технології розширення спектру дії Bluetooth. Здійснено огляд специфіки формування спектру охопту сигналу. Структуровано механізм дії мережі Bluetooth, яка дозволяє передавати інформацію між своїми вузлами через фізичний рівень, при цьому вузли мережі ретранслюють повідомлення і динамічно працюють для транспортування інформації по мережі. Підкреслено, що для налаштування мережі, кожен пристрій повинен транслювати список доступних пристроїв у межах свого діапазону та оновлювати власну таблицю доступних пристроїв відповідно до цього списку. Наголошено, що проміжні пристрої динамічно вибирають шлях, через який пересилається повідомлення, залежно від трафіку та доступності пристроїв, дана процедура працює у випадку розгортання масштабних мереж передачі даних на базі Bluetooth, де обов'язковим є наявність ретрансляторів, тобто здійснення процедури передачі даних через мережу з повторною ретрансляцією з метою розширення останніх по всій мережі. Зазначено, що враховуючи нестабільність та змінюваність структури кожного набору повідомлень технологія Bluetooth використовує деякі параметри та процедури для контролю та регулювання надійності та ефективності передачі даних, до яких віднесено: процедуру передачі повідомлень через мережу; процедуру прийому та одночасної передачі повідомлень через мережу Bluetooth; процедуру публікації повідомлень; процедуру випадкової затримки. Наведено архітектуру запропонованої технології розширення спектру дії Bluetooth, яка ґрунтується на залученні проміжних пристроїв між відправником і одержувачем. Алгоритм маршрутизації, що діє у рамках запропонованої мережі – це алгоритм маршрутизації вектора відстані. Підкреслено, що визначення рівня отриманого сигналу при пересиланні повідомлення ґрунтується на отриманому рівні фільтрації, а фільтрація за медіаною, формується як метод нелінійної фільтрації даних. Зазначено, що для підвищення якості визначення наявного рівня діапазону спектра, константу та індекс втрат на шляху потрібно оптимізувати для отримання значень параметрів, які відповідають впливу навколишнього середовища.

**Ключові слова:** мережа, Bluetooth, передача даних, спектр, діапазон, пристрій, трафік, прискорення.

O. Sydorenko

## INNOVATIVE TECHNOLOGIES TO EXPAND THE RANGE OF BLUETOOTH

The article reveals innovative technologies to expand the range of Bluetooth. A review of the specifics of the formation of the signal coverage spectrum. The mechanism of operation of the Bluetooth network is structured, which allows to transfer information between its universities through the physical layer, while the network universities relay messages and work dynamically to transport information over the network. It is emphasized that to set up a network, each device must broadcast a list of available devices within its range and update its own table of available devices according to this list. It is emphasized that intermediate devices dynamically choose the path through which the message is sent, depending on the traffic and availability of devices, this procedure works in the case of large-scale data transmission networks based on Bluetooth, where repeaters are required. with retransmission in order to expand the latter throughout the network. It is noted that given the instability and variability of the structure of each set of messages, Bluetooth technology uses some parameters and procedures to control and regulate the reliability and efficiency of data transmission, which include: procedure for transmitting messages over the network; procedure for receiving and simultaneously transmitting messages via Bluetooth; the procedure for publishing messages; accidental delay procedure. The architecture of the proposed technology to expand the range of Bluetooth, which is based on the involvement of intermediate devices between sender and receiver. The routing algorithm operating within the proposed network is a distance vector routing algorithm. It is emphasized that the determination of the level of the received signal when sending a message is based on the received level of filtering, and the median filtering is formed as a method of nonlinear data filtering. It is noted that in order to improve the quality of determining the existing level of the spectrum range, the constant and the index of losses along the way should be optimized to obtain values of parameters that correspond to environmental influences.

**Key words:** network, Bluetooth, data transfer, spectrum, range, device, traffic, acceleration.

**Вступ та постановка завдання.** Технологія Bluetooth була розроблена у 1994 році Японом Хаартсеном із Голландії та направлена на заміну телекомунікаційних кабелів RS-232 з використанням ультрависоких хвиль малого радіусу дії від 2,4 до 2,485 ГГц. З кожним роком Bluetooth поступово розвивався, та у 2020 році вийшла, остання на сьогодні версія 5.2. Фундаментальною основою покладеною на початок розробки Bluetooth була заміна з'єднувальних кабелів між навушниками та комп'ютерами на стільниковий телефон.

Bluetooth, як бездротова технологія передачі даних розвивалась на протязі останніх 30 років, покращуючи свою продуктивність, пропускну здатність, потужність, діапазон, надійність та енергоефективність. Введенні оновлення та поправки дозволяли технології збільшуватися у

швидкості, універсальності та діапазоні дії. Одним з останніх представлень став Bluetooth Mesh Profile (BMP), що зробив технологію Bluetooth придатною для широкого спектру застосувань. Проте, модернізація деяких параметрів та коригування механізмів дії накладають обмеження на загальну продуктивність технології.

Питання подолання зазначених обмежень та підвищення ефективності використання нових переваг модернізованої версії Bluetooth є першочерговим завданням в умовах сьогодення. В рамках інноваційних технологій пропонується модифікація поточного стеку протоколів, щоб дозволити передачу більших структур даних.

Враховуючи, той факт, що на сьогодні, Bluetooth є повсюдно поширеним у мобільних телефонах, комп'ютерах, годинниках, автомобілях, медичних пристроях, датчиках тощо, ця технологія є максимально необхідною та актуальною в умовах масового поширення пандемії Covid-19, так як дає змогу відстежувати випадки зараження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Залежно від підходів, завдань та принципів реалізації напрямки розширення спектру дії Bluetooth, як і механізми його апаратної реалізації розглядало чимало як зарубіжних так і вітчизняних вчених.

О.Р. Севост'янов, І.С. Скарга-Бандурова та О.В. Ардель [1] проаналізували основні причини перешкод під час передачі даних через Bluetooth та запропонували шляхи поліпшення точності сигналу для використання в системі позиціонування в середині приміщень.

Вбудовану локальну комп'ютерну мережу wi-fi з конфігуруванням за допомогою технології Bluetooth дослідили А. О. Мельник, Д. В. Лихотоп, А. В. Гребеняк [2]. Науковцями запропоновано використовувати технологію Bluetooth Low Energy (BLE) як додатковий канал для конфігурації мережі, а саме: налаштування назви безкабельної мережі, паролю доступу, режимів функціонування модуля (автовизначення, точка доступу, станція), режимів шифрування, обмеження доступу з інших пристроїв, незалежно від налаштувань режиму роботи модуля в цей час. Розглянуто верхні рівні стека протоколів Bluetooth (GAP, GATT), специфікацію та основні аспекти для побудови пристрою на BLE.

У роботі [3] Л. К. Гліненко та Ю. А. Дайновський проаналізували інваріантні структурні складові різних модифікацій цього шаблону та значення, яких набувають у них такі складові, як: зміст пропозиції цінності, модель отримання доходу, ключові ресурси та партнери в екосистемі IoT. Авторами систематизовано пропозиції цінності, ґрунтовані на специфіці IoT, виявлено основні функції IoT у цих пропозиціях та типи пристроїв IoT, необхідні для їх підтримки. При цьому у роботі запропоновано впровадження Bluetooth, як основи у реалізації контакту з клієнтом.

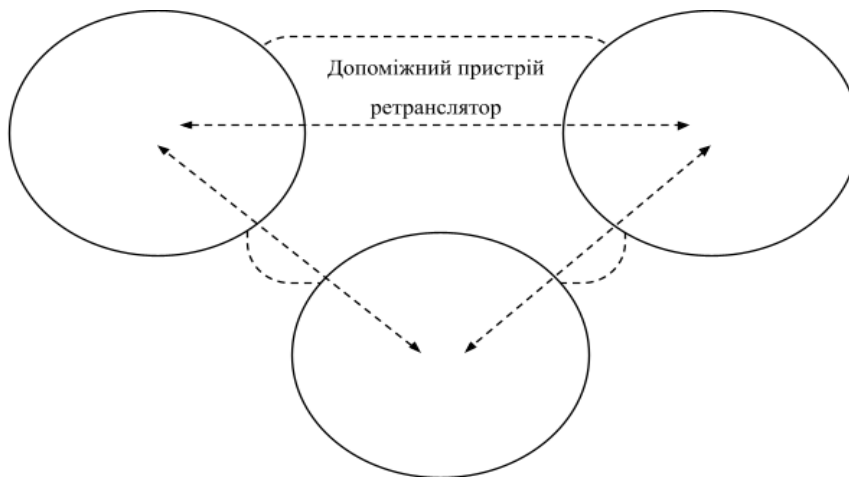
К.О. Домрачева, Н.М. Довженко та В.В. Дмитренко [4] здійснили структурний аналіз технологій та стандартів зв'язку для мережі IOT, окремий наголос здійснив на застосування технології Bluetooth.

Із зарубіжних авторів варто відзначити такі роботи як: Sharma Pooja [5], Lu, Xingyu & Yin Yufang & Zhao Na & Wei Hua [6], Peng Demei & Peng Liangfu & Yang Yingying [7], Kaisar Marilia [8], P. Raja & Singh Dushyant & Jerath Himani [9], Zhao Peng & Wang Lei & Tian Yu & Guo Linlin & Lu Bingxian [10], Sauter Martin [11], James Alice & Seth Avishkar & Mukhopadhyay Subhas [12], Salah Khaled [13], Honnalli Shashidhar & Prasad Golla [14], Yang Deng & Wang Jian & Wang Minmin & Han Houzeng & Zhang Yalei [15], Nilsson Daniel & Yan Wenqing [16], Liu Chendong & Zhang Yilin & Zhou Huanu [17], Cho Hsun-Wei & Shin Kang [18] та інші.

Проте, враховуючи описані наукові набутки, за темою, питання розкриття інноваційних технологій розширення спектру дії Bluetooth залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

**Постановка завдання.** Розкрити механізми інноваційних технологій розширення спектру дії Bluetooth.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Мережа Bluetooth дозволяє передавати інформацію між своїми вузлами через фізичний рівень, при цьому вузли мережі ретранслюють повідомлення і динамічно працюють для транспортування інформації по мережі. Кожен новий пристрій, приєднаний до мережі обов'язково має бути авторизованим. Процес авторизації забезпечує початкову конфігурацію та облікову систему безпеки. Після ініціалізації пристрій називається вузлом, і він дозволяє передавати та отримувати повідомлення. Розширення дії діапазону передачі даних здійснюється шляхом введення пристрою посередника (рис. 1), який має доступ до всіх пристроїв мережі поєднуючи їх.



**Рис. 1. Схема розширення діапазону передачі даних у мережі Bluetooth за допомогою проміжного пристрою**

Першим кроком розширення є створення мережі. Щоб налаштувати мережу, кожен пристрій транслює список доступних пристроїв у межах свого діапазону, оновлює свою таблицю доступних пристроїв відповідно до цього списку.

Також кожен окремих пристрій складає список інших пристроїв, до яких можна отримати прямий або опосередкований доступ. Якщо пристрій бажає надіслати повідомлення на інший пристрій у цьому списку, він через пристрій-посередник знаходить шлях, через який можна досягти пункту призначення, і пересилає повідомлення до першого пристрою на шляху. Але проміжні пристрої динамічно вибирають шлях, через який пересилається повідомлення, залежно від трафіку та доступності пристроїв, дана процедура працює у випадку розгортання масштабних мереж передачі даних на базі Bluetooth, де обов'язковим є наявність ретрансляторів, тобто здійснення процедури передачі даних через мережу з повторною ретрансляцією з метою розширення останніх по всій мережі. Реалізуючи повторну передачу перевіряються два основних параметра: поле Time To Live (TTL), яке присутнє у всіх повідомленнях, та кеш мережеских повідомлень. TTL вказує на кількість разів, коли повідомлення може бути передане, а кеш попереджає передачу раніше отриманих відомостей.

Враховуючи нестабільність та змінюваність структури кожного набору повідомлень технологія Bluetooth використовує деякі параметри та процедури для контролю та регулювання надійності та ефективності передачі даних:

1. процедура передачі повідомлень через мережу. Окреслена процедура здійснює контроль за кількістю переданих даних, згенерованих у вихідному вузлі, та інтервалі між ними. Головними параметрами для контролю є мережева кількість переданих даних (МКПД) і мережевий інтервал. МКПД – це три розрядний параметр, який коливається від нуля до десяти, тому одне повідомлення можна передати до 8 разів, залишаючи між ними пробіл, рівний інтервалу мережі та випадкову затримку. Варто наголосити, що значення МКПД = 0 означає, що це лише одне повідомлення. Для вищого значення кожна передача є аналогічною початковою, включаючи порядковий номер. Мережевий інтервал залежить від іншого 5-бітового параметра під назвою «Кроки інтервалу передачі мережі» (КППМ), який коливається від 0 до 31. Остаточний мережевий інтервал розраховується за допомогою кроків у 10 мс, тобто  $(\text{КППМ}+1) \cdot 10$  мс. Отже, теоретичний інтервал мережі курсує між значеннями від 10 до 320 мс. Проте, мінімум не повинен бути меншим за мінімальний інтервал, який становить 20 мс.;

2. процедура прийому та одночасної передачі повідомлень через мережу Bluetooth. Дана процедура здійснює контроль, за тим, скільки раз пакет має бути повторно переданий ретранслятором та інтервал надісланих пакетів у екрані мережі передачі. Заданими параметрами, що контролюються є кількість повторних передач (КППР) та інтервалу ретрансляції (IP);

3. процедура публікації повідомлень. Зазначена процедура вказує на кількість разів, що має бути опубліковане одне повідомлення (ООП) і час між цими публікаціями. Процедура публікації повідомлень виводить на скільки разів більше здійснюється передача, публікуючи одне й те саме  $(0 \leq \text{ООП} \leq)$ . Кожна публікація також має відповідати процедурі передачі в мережі. Таким чином, повідомлення можна надіслати до 64 разів  $((\text{ООП}+1) \cdot (\text{МКПД}+1))$ . Проте, варто зауважити, що повідомлення направлені на публікацію не є однаковими, та кожна окрема

публікація має свій унікальний номер. Інтервал між публікаціями по 50 мс із функцією «Публікація кроку інтервалу повторної передачі» (ПКІПП) у діапазоні від 0 до 31, зберігаючи кінцеве значення від 50 мс до 1600 мс.;

4. процедура випадкової затримки. Реалізується щоб уникнути зникнення профілю сітки, така процедура також вимагає введення випадкової затримки передачі, яка має типові значення, отримані з базових специфікацій для цієї затримки та становить 10 мс.

З проведеного огляду процедур та параметрів, які діють на передачу з використання технології Bluetooth варто підкреслити, що більшість із наведених процедур застосовуються на рівні мережі (передача, ретрансляційна передача, випадкова затримка) або (повторна передача публікації). Проте, окрему увагу варто приділити шару мережі, який відповідає за зберігання інформації, тобто шару носію інформації.

Рівень даного шару визначає, як транспортувати мережеві повідомлення між вузлами. Наразі для технології Bluetooth визначено два носія: носій GATT (Generic Attribute) і носій AB (advertising bearer).

Пристрої мережі, які задіяні у передачі даних та не підтримують профіль Bluetooth, можуть використовувати носій GATT для зв'язку з мережею через проксі-вузол. І, з іншого боку, коли є можливість включити профіль сітки в стек пристроїв, слід використовувати AB.

Фактично в специфікаціях зазначено, що AB повинен використовувати ненаправлені події, які не підключаються та не скануються. Це залишає можливості для використання нових розширень. Отже, ця структура розроблена з припущенням використання оригінальних і найбільш обмежувальних індикацій для підтримки сумісності з пристроями різних версій.

Архітектура запропонованої технології розширення спектру дії Bluetooth ґрунтується на залученні проміжних пристроїв між відправником і одержувачем. Таким чином, повідомлення від джерела, яке є головним транслятором даних/інформації надходить до одного або кількох проміжних пристроїв, нарешті, потрапляє в пункт призначення. Зазвичай, у класичній теорії це розглядається як архітектура клієнтського сервера. Пристрій, який надсилає дані, є клієнтом, а той, що отримує дані – сервером. Клієнтський вузол розширює свою мережу, шукаючи пристрій з підтримкою Bluetooth у своєму діапазоні. Усі пристрої продовжують цей пошук пристроїв у діапазоні, доки не буде досягнуто точки кінцевого призначення. Модель технології розширення спектру дії Bluetooth представлена на рисунку 2.

Загальна масштабована мережа підвищеного спектру дії складається з пристроїв меншої швидкості, які формують загальну структуру. Алгоритм маршрутизації, що діє у рамках наведеної мережі – це алгоритм маршрутизації вектора відстані. Дія алгоритму полягає у тому, що вузол мережі який є головним транслятором даних/інформації вступає у дію та може отримати прямий доступ до своїх безпосередніх сусідів тобто додаткових вузлів мережі. Кожен окремий вузол створює список вузлів, до яких можна отримати доступ, тобто тих вузлів, які знаходять у безпосередній спектральній близькості.

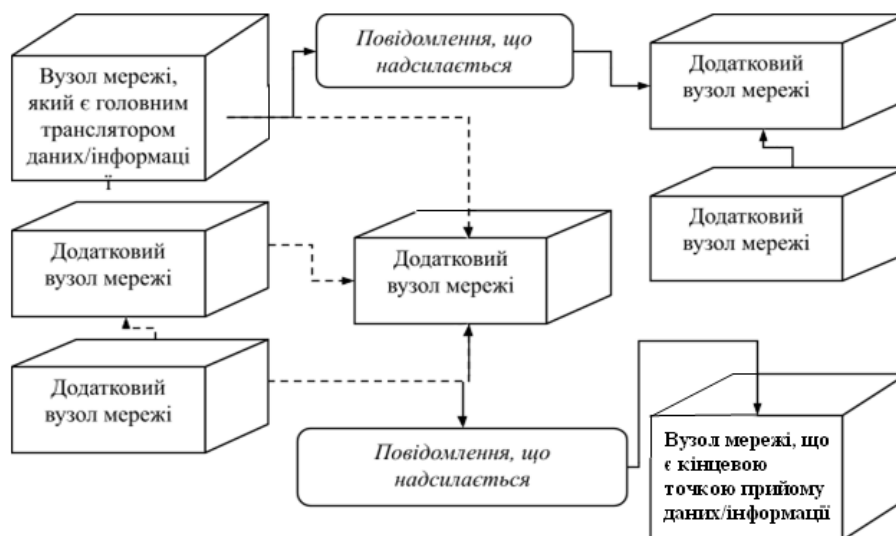


Рис. 2. Модель технології розширення спектру дії Bluetooth

Кожен вузол стабільно надсилає кожному сусіду, який означений у близькості, поточне уявлення про загальну вартість маршруту пересилання повідомлення до досягнення кінцевої точки призначення, вартість такого пересилання ґрунтується на кількості вузлів, які лежать на шляху. Сусідні вузли перевіряють цю інформацію та відповідно оновлюють свою таблицю маршрутизації. З часом усі вузли мережі знайдуть найкращий наступний перехід для всіх пунктів призначення та найкращу загальну вартість повного маршруту для здійснення трансляції у мережі Bluetooth.

У випадку, якщо вузол хоче надіслати повідомлення іншому вузлу в мережі, спочатку він перевіряє, чи цей вузол знаходиться в діапазоні відправника тобто чи підпадає під діапазон спектру дії. Якщо так, то він може безпосередньо надсилати повідомлення, інакше він встановить шлях до місця призначення через проміжні пристрої.

Під час будь-якої передачі даних Bluetooth вузли не є фіксованими, тому будь-який вузол може вийти з мережі, а новий вузол може з'явитися в будь-який час. Якщо до мережі додається будь-який вузол, він знаходить своїх безпосередніх сусідів і готує таблицю маршрутизації, що є обов'язковою умовою дії. І ця таблиця маршрутизації надсилається всім вузлам, які можуть бути безпосередньо доступними. Якщо будь-який вузол бажає вийти з мережі, він надсилає повідомлення про відкликання своїм безпосереднім вузлам. В обох випадках усі вузли відповідно оновлюють свою таблицю маршрутизації та направляють її усім задіяним одиницям.

У випадку, коли вузол надсилає пакет іншому вузлу в мережі, та якщо інформація досягає кінцевої точки призначення, він надсилає підтвердження про завершення циклу відправок. У разі, якщо відправник не отримує підтвердження до вимкнення таймера, процес виявлення маршруту повторюється. Відправник повинен відправити той самий пакет іншим найкоротшим маршрутом, якщо поточний маршрут не існує. Вибір шляху має вирішальне значення, і його вибір залежить від критеріїв найкоротшого шляху та критеріїв балансування навантаження.

Визначення рівня отриманого сигналу при пересиланні повідомлення ґрунтується на отриманому рівні фільтрації. Середня фільтрація означає, що вузол обчислює середнє арифметичне набору отриманих значень тобто відбувається ідентифікація потужності отриманого сигналу (ШОС), як показано в рівнянні (1), а середнє значення використовується як результат вимірювання. Коли кількість вибірок  $n$  велика або значення коливання сигналу ШОС дуже мале, проблему випадковості даних ШОС можна вирішити, але коли кількість вибірок невелика або значення ШОС сильно коливається, достовірність знижується.

$$\overline{\text{ШОС}} = 1/n \sum_{i=1}^n \text{шос}_i.$$

Фільтрація за медіаною, формується як метод нелінійної фільтрації даних. У разі одновимірних даних медіанним фільтром є вікно, що містить непарну кількість даних. Після обробки даних, у якості кінцевого результату виводиться середнє значення вікна. Припустимо, що потужність сигналу, отриманого на відстані від вузла мережі, який є головним транслятором даних/інформації  $d$ , становить ШОС<sub>1</sub>, ШОС<sub>2</sub>, ШОС<sub>3</sub>, ШОС <sub>$n$</sub> , а  $n$  – довжина вікна фільтра, виконуємо медіанну фільтрацію для цієї послідовності. Результат фільтрування наведено у рівнянні (2). Медіанний фільтр значною мірою усуває вплив на кінцевий результат вимірювання, але коли кількість вибірок невелика або значення ШОС сильно коливається, результат фільтрації методу фільтрації за медіаною не дуже ефективний.

Під час поширення бездротових сигналів, які є основою мережі передачі даних Bluetooth сила сигналу буде поступово слабшати зі збільшенням відстані. Тому, пропонується використовувати логарифмічну модель загасання відстані для потужності отриманого сигналу ШОС, а модель передачі має вигляд:

$$P(d) = P(d_0) - 10n \lg \left( \frac{d}{d_0} \right) + \varepsilon$$

де  $d_0$  – еталонна відстань;  $d$  – відстань між вузлом мережі який є головним транслятором даних/інформації і вузлом мережі який є кінцевою точкою прийому даних/інформації;  $P(d_0)$  – потужність сигналу, отриманого вузлом мережі який є кінцевою точкою прийому даних/інформації, коли відстань дорівнює  $d_0$ ;  $P(d)$  – сигнал, отриманий вузлом мережі який є кінцевою точкою прийому даних/інформації, коли відстань дорівнює  $d$ ;  $n$  – індекс втрат на маршруті, який тісно пов'язаний з навколишніми факторами навколишнього середовища, зазвичай отримують з фактичного вимірювання;  $\varepsilon$  – ефект загасання, що є випадковою величиною із середнім значенням нуль і дисперсією нормального розподілу Гауса.

Фактична потужність отриманого сигналу  $P(d)$  може бути виражена значенням ППС. Формула моделі втрат на шляху логарифмічної відстані перетворюється у відповідну форму значення ППС та має вигляд:

$$\text{ОПС} = A - 10n \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + \varepsilon$$

де  $\text{ОПС} = P(d)$ ;  $A = P(d_0)$ ;  $\text{ОПС}$  і  $A$  – це значення сили  $\text{ОПС}$ , отримані на відстані між вузлом мережі який є кінцевою точкою прийому даних/інформації і вузлом мережі який є головним транслятором даних/інформації,  $d$  і  $d_0$  відповідно.

Для підвищення якості визначення наявного рівня діапазону спектра, константу  $A$  та індекс втрат на шляху  $n$  потрібно оптимізувати для отримання значень параметрів, які відповідають впливу навколишнього середовища. Значення константи  $A$  та значення індексу втрат на шляху  $n$  оцінюється за принципом найменших квадратів, а дані, що відповідають  $\text{ОПС}_{d_i}$  і відстані  $d_i$ , отримуються відповідно до значення вимірювання  $\text{ОПС}$  після процесу фільтрації.

Таким чином, при масштабуванні мережі підвищеного спектру дії Bluetooth однією з головних умов є скорочення часу на запити між вузлами мережі та зниження рівня шуму, а також підвищення якості визначення наявного рівня діапазону спектра з метою реалізації швидкої та якісної передачі даних/інформації у бездротовій мережі.

**Висновки.** У роботі розкрито інноваційні технології розширення спектру дії Bluetooth. Наведені пропозиції реалізуються через масштабування мережі за рахунок встановлення додаткових вузлів передачі та визначенні рівню отриманого сигналу. У загальному випадку запропонована технологія призведе до швидкої та якісної передачі даних/інформації у бездротовій мережі за рахунок підвищення якості визначення наявного рівня діапазону спектра, скорочення часу на запити між вузлами мережі та зниження рівня шуму.

Перспективами подальших досліджень є розробка стратегії направленої на модернізацію Bluetooth шляхом встановлення розподіленого приймача з розширеним спектром сигналу.

### Список літератури

1. Севост'янов О. Р. Відстеження RSSI з bluetooth-маяків для поліпшення точності позиціонування в приміщенні / О. Р. Севост'янов, І. С. Скарга-Бандурова, О. В. Ардель // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2018. – № 6. – С. 154-159. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VISUNU\\_2018\\_6\\_29](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VISUNU_2018_6_29).
2. Мельник А. О. Вбудована локальна комп'ютерна Wi-Fi мережа з конфігуруванням за допомогою технології Bluetooth / А. О. Мельник, Д. В. Лихотоп, А. В. Гребеняк // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Комп'ютерні системи та мережі. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2017. – № 881. – С. 66–86.
3. Гліненко Л.К., Дайновський Ю.А. Формування бізнес-моделей Інтернету речей за шаблоном ВМС / Маркетинг і цифрові технології, 2021. Том 5. № 1. С. 42-73.
4. Домрачева К. О. Аналіз технологій та стандартів зв'язку для мережі IoT / К. О. Домрачева, Н. М. Довженко, В. В. Дмитренко // Наук. зап. Укр. наук.-дослід. ін-ту зв'язку. – 2019. – № 3. – С. 54-62
5. Sharma, Pooja. (2022). Bluetooth Hotspot: Extending the Communication Range between Bluetooth Devices. [https://www.researchgate.net/publication/265448489\\_Bluetooth\\_Hotspot\\_Extending\\_the\\_Communication\\_Range\\_between\\_Bluetooth\\_Devices](https://www.researchgate.net/publication/265448489_Bluetooth_Hotspot_Extending_the_Communication_Range_between_Bluetooth_Devices)
6. Lu, Xingyu & Yin, Yufang & Zhao, Na & Wei, Hua. (2021). Indoor Positioning Experiment Based on Phase Ranging with Bluetooth Low Energy (BLE). Journal of Physics: Conference Series. 1971. 012044. 10.1088/1742-6596/1971/1/012044.
7. Peng, Demei & Peng, Liangfu & Yang, Yingying. (2021). Optimization of Indoor Bluetooth Ranging Model Based on RSSI. Frontiers in Signal Processing. 5. 10.22606/fsp.2021.53001.
8. Kaisar, Marilia. (2022). Bluetooth Orgasms. MedieKultur: Journal of media and communication research. 37. 143-160. 10.7146/mediekultur.v37i71.125253.
9. P., Raja & Singh, Dushyant & Jerath, Himani. (2021). Bluetooth Robotics. 10.1201/9781003161097-8.
10. Zhao, Peng & Wang, Lei & Tian, Yu & Guo, Linlin & Lu, Bingxian. (2021). WiFi-Bluetooth Dual Modal Indoor Positioning System Using Adaptive Range Filter. 60-67. 10.1109/BigCom53800.2021.00031.

11. Sauter, Martin. (2021). Bluetooth and Bluetooth Low Energy. 10.1002/9781119714712.ch8.
12. James, Alice & Seth, Avishkar & Mukhopadhyay, Subhas. (2022). Bluetooth Based IoT System. 10.1007/978-3-030-85863-6\_7.
13. Salah, Khaled. (2022). Verification of the Integrated Bluetooth Modem. 10.1007/978-3-030-88626-4\_5.
14. Honnalli, Shashidhar & Prasad, Golla. (2019). Attendance Monitoring Model for Range Surveillance Using Bluetooth. International Journal of Sensors and Sensor Networks. 7. 56. 10.11648/j.ijssn.20190704.12.
15. Yang, Deng & Wang, Jian & Wang, Minmin & Han, Houzeng & Zhang, Yalei. (2020). Accuracy analysis of Bluetooth-Low-Energy ranging and positioning in NLOS environment. International Journal of Image and Data Fusion. 11. 1-19. 10.1080/19479832.2020.1752314.
16. Nilsson, Daniel & Yan, Wenqing. (2021). Identifying Bluetooth Low Energy Devices. 375-376. 10.1145/3485730.3492880.
17. Liu, Chendong & Zhang, Yilin & Zhou, Huanyu. (2021). A Comprehensive Study of Bluetooth Low Energy. Journal of Physics: Conference Series. 2093. 012021. 10.1088/1742-6596/2093/1/012021.
18. Cho, Hsun-Wei & Shin, Kang. (2021). BlueFi: bluetooth over WiFi. 475-487. 10.1145/3452296.3472920.