

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-51-20>

УДК 004.35

**Жеребець Олександр Михайлович**, начальник відділу

<https://orcid.org/0000-0002-2059-2045>

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України, м. Київ, Україна

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РІЗНИХ ВЕРСІЙ BLUETOOTH: ПЕРЕВАГИ, НЕДОЛІКИ

**Жеребець О.М.** Порівняльний аналіз різних версій Bluetooth: переваги, недоліки. У статті проведено порівняльний аналіз різних версій Bluetooth. Здійснено аналіз процесу створення технології та описано генезис. Сформовано поняття та умови реалізації бездротової технології передачі даних Bluetooth. Детально описано процес встановлення зв'язку та запропоновано механізм відокремлення вузлів мережі, які є головними тобто тими, що транслюють та вторинними тобто тими, що приймають інформацію. Схематично представлено спеціальну комп'ютерну мережу передачі даних за технологією Bluetooth та запропоновано розсіяну мережу із застосуванням новітніх технологій. Описано протокольний стек технології з відокремленням чотирьох рівнів, які є основою. Визначено сферу застосування Bluetooth з описом принципів реалізації. Проведено аналіз кожної окремої версії Bluetooth починаючи з 1999 року, так зазначається, що перша версія була заміною серійного порту комп'ютера RS-232 та основна функціональність версії Bluetooth 1.0 полягала у максимальній швидкості передачі даних близько 732,2 Кб/с, а дистанція підключення становила 10 м. Друга версія посприяла більш ширшому розширенню технології з покращеною швидкістю передачі даних до 3 Мбіт/с. та підвищенням діапазону дії до 30 м. Версія 3 отримала можливість підключення до Wi-Fi, що дозволило підвищити швидкість передачі даних, зокрема аудіо даних. Bluetooth 4.0 отримав Bluetooth Low Energy (BLE) або Bluetooth Smart чим розширив власну функціональність, діапазон дії виріс до 100 м., також відбулося покращення зв'язування та повторного зв'язування пристроїв, збільшення ємності пакетів та діапазону даних для пристроїв Інтернету речей. Bluetooth 5.2 дозволяє одночасно передавати два різних джерела звуку на два різні аудіопристрої, тож двоє або кілька людей можуть слухати два різних жанри музики, але потоково з одного пристрою. Покращення функцій Bluetooth 5.3 полягають у покращенні класифікації каналів; наявності функції віднімання з'єднання та покращення в управлінні розміром ключа шифрування. Представлено таблицю порівняльного аналізу різних версій Bluetooth за технологічними параметрами. Наголошено, що в умовах сьогодення, усі інноваційні пристрої Інтернету речей оснащені технологією Bluetooth, яка забезпечує ефективну роботу та точні результати.

**Ключові слова:** Bluetooth, бездротова технологія, передача даних, порівняння, аналіз переваги, недоліки.

**Zherebets O.** Comparative analysis of different versions of bluetooth: advantages, disadvantages. The article compares different versions of Bluetooth. The analysis of the process of technology creation and the genesis are described. The concept and conditions of realization of Bluetooth wireless data transfer technology are formed. The process of establishing a connection is described in detail and a mechanism for separating network nodes, which are the main ones, ie the ones that transmit and the secondary ones, ie the ones that receive information, is proposed. A special computer data network using Bluetooth technology is schematically presented, and a diffuse network using the latest technologies is proposed. The protocol stack of technology with the separation of four levels, which are the basis, is described. The scope of Bluetooth is defined with a description of the principles of implementation. An analysis of each individual version of Bluetooth since 1999, it is noted that the first version was a replacement for the serial port of the computer RS-232 and the main functionality of Bluetooth 1.0 was a maximum data rate of about 732.2 Kbps, and the connection distance was 10 m. The second version contributed to a wider expansion of technology with improved data rates up to 3 Mbps. and increasing the range to 30 m. Version 3 has the ability to connect to Wi-Fi, which increased the speed of data transfer, including audio data. Bluetooth 4.0 has acquired Bluetooth Low Energy (BLE) or Bluetooth Smart, which has expanded its functionality, increased the range to 100 meters, and improved device pairing and reconnection, increased packet capacity, and data range for IoT devices. Bluetooth 5.2 allows you to transfer two different audio sources to two different audio devices at the same time, so two or more people can listen to two different genres of music, but stream from the same device. Improving Bluetooth 5.3 features is improving channel classification; availability of connection subtraction and improvement in encryption key size management. The table of comparative analysis of different versions of Bluetooth by technological parameters is presented. It is emphasized that in today's conditions, all innovative IoT devices are equipped with Bluetooth technology, which ensures efficient operation and accurate results.

**Key words:** Bluetooth, wireless technology, data transfer, comparison, analysis of advantages, disadvantages.

**Вступ та постановка завдання.** Bluetooth являє собою бездротову технологію, яка в основному використовується для обміну або передачі даних між двома пристроями, які з'єднані та здійснюють обмін повідомленнями. Основна передача даних реалізується за допомогою фіксованих і короткохвильових УВЧ радіохвиль в області промислових, наукових і медичних радіодіапазонів, зокрема в діапазоні від 2,400 до 2,485 ГГц. Бренд Ericsson, який започаткував найновішу технологію того дня, дав їй ім'я «Bluetooth» на честь короля Данії Харальда Bluetooth.

Bluetooth керується Спеціальною групою за інтересами Bluetooth, яка налічує понад 15 000 асоціацій-членів у регіонах телекомунікацій, обчислювальної техніки та мереж. Bluetooth раніше був стандартизований як IEEE 802.15.1, але, як окрема одиниця стандарт більше не існує. Щоб іменуватися пристроєм Bluetooth, необхідно відповідати стандартам, визначеним платою SIG.

Bluetooth – це з'єднувальний механізм, який забезпечує високошвидкісну, малопотужну бездротову мікрохвильову технологію, призначену для підключення телефонів, ноутбуків, колонок на інші портативні пристрої разом. Bluetooth полегшує життя користувача завдяки простому та ефективному підключенню між кількома пристроями.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Упродовж останніх років оприлюднено ряд праць, у яких досліджуються основні аспекти розвитку та впровадження технологій Bluetooth.

Ю.О. Віннікова та Т.Р. Шмельова [1] представили аналіз перспектив розвитку та використання технології безпроводного зв'язку Bluetooth. Авторами запропоновано переваги, що надаються цією технологією, і недоліки. Також представлено перелік області практичного застосування і доцільність використання технології.

Стосовно порівняння сучасних бездротових технологій обміну інформацією варто відмітити роботу О. А. Суровцева та О. М. Павловського [2], які провели порівняльний аналіз сучасних бездротових технологій, таких як Wi-Fi, ZigBee та Bluetooth, а також представили основні характеристики мереж, побудованих за цими технологіями. Науковцями наведені результати експерименту порівняння енергоефективності технологій Bluetooth 4.2/5.0 та ZigBee та на базі проведено аналізу сформовані рекомендації для вибору технології побудови мережі, в залежності від умов експлуатації та призначення.

Ю. Є. Грудзинський та Я. Ю. Лукомський [3] розглянули особливості технології сенсорних mesh-мереж на базі технології Bluetooth Low Energy (BLE) для моніторингу об'єктів управління та описали технологію BLE. Авторами проаналізовано можливість використання Bluetooth як бази для mesh-мережі.

Аналіз комунікації пристроїв побудованих на базі технології Bluetooth Low Energy запропонував В. Р. Камаєв [4]. Також автором здійснено дослідження принципів управління електроенергією у системах розумного будинку на базі технології Bluetooth Low Energy [5].

Із зарубіжних авторів варто відзначити такі роботи як: Kaisar Marilia [6], P. Raja & Singh Dushyant & Jerath Himani [7], Qian Yi & Ye Feng & Chen Hsiao-Hwa [8], Sauter Martin [9], James Alice & Seth Avishkar & Mukhopadhyay Subhas [10], Salah Khaled [11], Lounis Karim [12], Ward Hubert [13], S. Ashwini & R. Krithick [14] Nilsson Daniel & Yan Wenqing [15], Cäsar Matthias & Pawelke Tobias & Steffan Jan & Terhorst Gabriel [16] та інші.

Проте, враховуючи описані наукові набуток, за темою, питання порівняльного аналізу різних версій Bluetooth залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

**Постановка завдання.** Здійснити порівняльний аналіз різних версій Bluetooth з відокремленням як переваг так і недоліків технології.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Логотип технології засновано на ініціалах короля Данії Харальда в честь якого вона і названа. Так, логотип увібрав у себе дві літери Фуртрак та Б'яркан та поєднав їх.

Bluetooth працює за механізмом головної підпорядкованої структури. Головний вузол мережі має можливість передавати інформацію підпорядкованим вузлам по черзі або одразу кільком точкам, що приймають інформацію та підключені до головної мережі побудованої на технології Bluetooth. Принцип передачі відповідає механізму управління на основі пакетів. Передача пакетів здійснюється на інтервалі певного обумовленого інтервалу часу, який відстежується у головному вузлі, який виступає транслятором. Пакети передаються на інтервалі часу усереднення, який становить близько 312,5 мкс. У випадку пакетів з одним слотом основний передавальний вузол мережі передає через парні інтервали або часові інтервали інформацію, а вузол, який приймає, отримує дану інформацію через непарні інтервали або слоти. У той же час, у випадку коли останній є вторинним передавачем, він (вузол, який приймає), приймає через парні інтервали, а передає через непарні інтервали пакети інформації. Пакети, як правило, мають 1,3 або до 5 слотів, але в усіх випадках з'єднання ініціюється головним вузлом мережі, і передача почнеться лише через рівні інтервали. Фундаментальною основою роботи технології Bluetooth виступає передача пакетів між провідним і підпорядкованим вузлами у загальній мережі передачі, яку також можна розглядати як невелику мережу, серед якої всі пристрої взаємопов'язані між собою.

Пристрій Bluetooth, що підключається, або головний пристрій у мережі можуть обмінюватися даними або з'єднуватися з максимум сімома пристроями в спеціальній комп'ютерній мережі з технологією Bluetooth (рисунок 1), хоча не кожен пристрій досягає цієї межі. Вузли мережі

мають можливість змінювати свої позиції у випадку трансляції інформації, і підпорядкований вузол може стати провідною мережею.

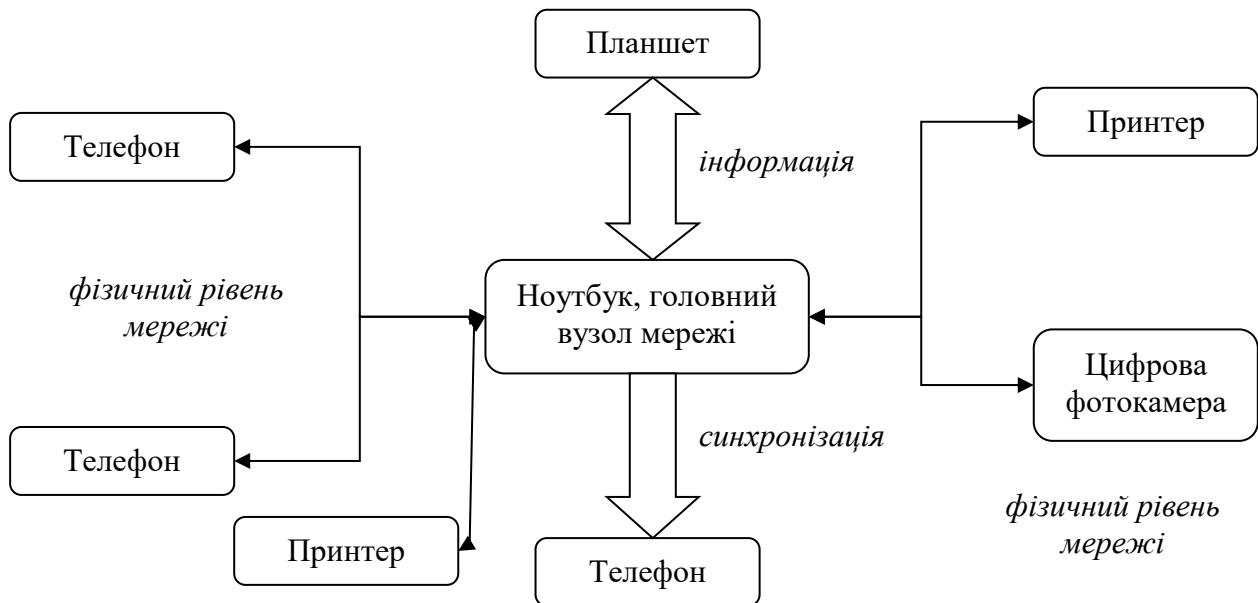


Рис. 1 – Схема спеціальної комп'ютерної мережі передачі даних за технологією Bluetooth

Новітні технології Bluetooth також передбачають з'єднання двох або більше спеціальних комп'ютерних мереж побудованих за технологією Bluetooth для формування більшої загальної мережі, в якій деякі пристрої одночасно відповідно до потреби відіграють роль вторинного вузла, тобто підпорядкованого в одній спеціальній мережі, а можуть відігравати роль основного вузла передачі в іншій. У будь-який момент часу пакети або дані можуть передаватися між головним пристроєм та іншим пристроєм. Головний пристрій має перевагу у праві вибору передачі даних між підпорядкованими вузлами. Як правило, він швидко перемикається з одного пристрою на інший за допомогою методики, відомої як кругова система, в якій визначається графік процесів. Так як, головний вузол обирає, до якого підпорядкованого пристрою звертатися, вузол, що є підпорядкованим (теоретично) повинен отримувати дані в кожному слоті прийому.

Bluetooth, як технологія бездротової передачі даних є відкритим стандартом WPAN (Wireless Personal Area Network), який полегшує спеціальний спосіб підключення пристроїв на невеликій відстані. Пристрої, що містять Bluetooth, можуть визначати місцезнаходження один одного, але дія користувача є важливою для встановлення з'єднання з іншими пристроями та з різних мереж.

Piconet – це спеціальна мережа, яка з'єднує групу безпроводних пристроїв з використанням технології Bluetooth. Piconet складається з двох або більше пристроїв (максимум вісім), що займають один і той самий фізичний канал (синхронізованих із загальним тактовим сигналом). Він дозволяє одному провідному пристрою з'єднуватися з сім'єю активними пристроїв, які виступають приймачами інформації. Один з цих восьми пристроїв діє як провідний, а інші – як підпорядковані. Таким чином, у Piconet можна підключити або підтримувати максимум 7 вторинних вузлів. Щоразу, коли два або кілька пристроїв виявляють один одного, з'єднуються та спілкуються через Bluetooth, утворюється невелика мережа, відома як мережа Piconet. Розсіяна мережа розвивається або формується, коли дві або кілька пікомереж з'єднуються разом. Ці численні пікомережі в основному з'єднані через мости, які діють як вузли. На додаток до семи підпорядкованих пристроїв, які діють на пікомережі, в одній мережі може бути до 255 неактивних вузлів, які можуть реагувати лише на сигнал головного вузла, коли він надсилається до активного вторинного вузла.

На рисунку 2 запропоновано дві окремі пікомережі, які разом утворюють більшу мережу, відому як розсіяна мережа. Пристрої, які присутні в суміжних пікомережах, забезпечують вузли, подібні до мосту, для підтримки з'єднань внутрішньої пікомережі, що дозволяє збіркам кількох пов'язаних пікомереж формувати фізично розширювану та ефективну комунікаційну інфраструктуру, відому як Scatternet. Piconet зазвичай охоплює невелику ділянку мережі, тоді як scatternet охоплює або забезпечує більший діапазон мережевого підключення. Piconet забезпечує

менш ефективного використання доступної пропускної здатності каналу Bluetooth, тоді як scatternet забезпечує ефективне використання пропускної здатності каналу Bluetooth.

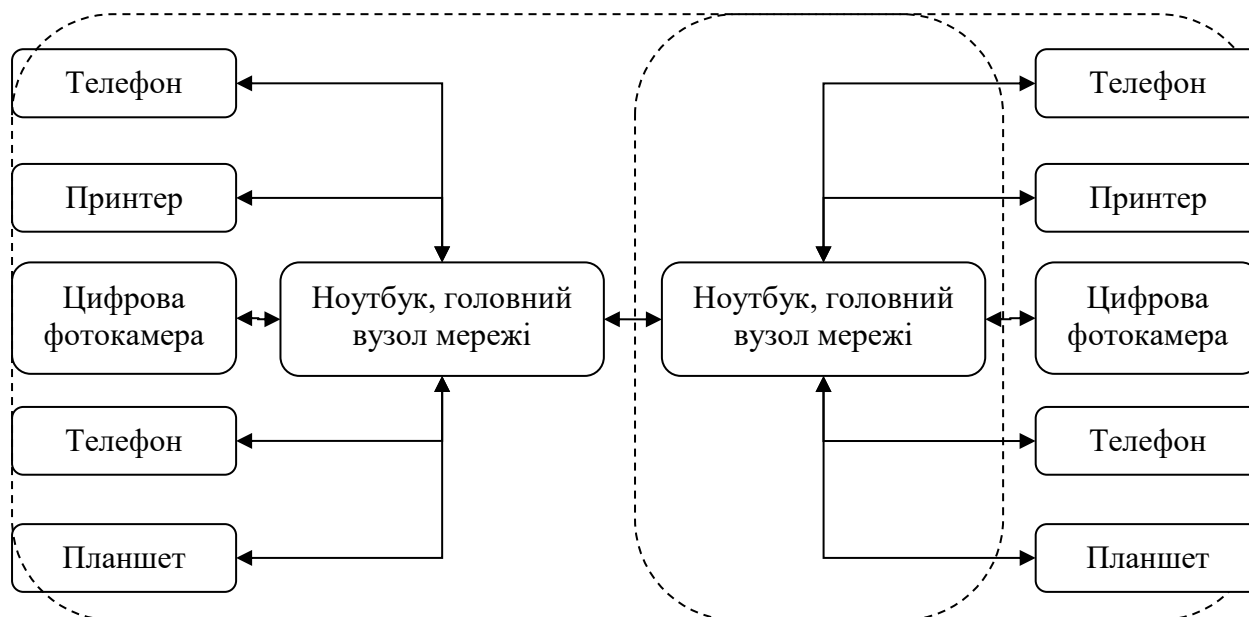


Рис. 2 – Розсіяна мережа Bluetooth

Протокольний стек технології Bluetooth ґрунтується на чотирьох шарах або рівнях. До їх складу варто віднести:

- програмний рівень;
- рівень проміжного програмного забезпечення;
- канальний рівень даних;
- фізичний рівень.

Стек протоколів Bluetooth є основною архітектурою, яка складається з ядра протоколів. Головними протоколами та такими що є обов'язковими відносять в основному LMP, L2CAP і SDP. Крім того, пристрої, які спілкуються за допомогою Bluetooth, майже повсюдно можуть використовувати протоколи, такі як HCI і RFCOMM. Рівень додатків дозволяє користувачеві або будь-якій особі взаємодіяти з додатком, встановленим для використання технології Bluetooth.

Сфери застосування технології Bluetooth масштабні, так Bluetooth:

- використовується для передачі різних файлів, зображень і MP3 або MP4 між мобільними телефонами, планшетами, ноутбуками;
- використовується для додатків із низькою пропускною здатністю, де більша пропускна здатність USB часто не потрібна, а підключення без кабелю є пріоритетним;
- використовується в обладнанні для реєстрації даних та передачі даних на комп'ютер через технологію Bluetooth;
- використовується для реалізації бездротового керування та зв'язку між мобільним телефоном і Bluetooth-сумісною стереосистемою автомобіля;
- використовується для елементів керування, де часто присутні інфрачервоні датчики або технології;
- використовується у рамках системи визначення місцезнаходження в режимі реального часу. Даний принцип використання засновано в основному на відстеженні та ідентифікації місцезнаходження різних об'єктів, що працюють у реальному часі, за допомогою «тегів», прикріплених до відстежуваних об'єктів або вставлених на їх базі, і «зчитувачів», які отримують і одночасно обробляють бездротові сигнальні мережі з цих тегів, щоб визначити їх точне розташування;
- використовується у випадку бездротового зв'язку, типовим прикладом якого є WAN (Wireless Area Network);
- використовується у випадку бездротової миші, клавіатури, навушників та всіх найновіших бездротових гаджетів на ринку ІТ технологій.

Першою версією Bluetooth була, версія 1.0-1.2. Дана розробка була заміною серійного порту комп'ютера RS-232. З появою версії Bluetooth 1.2 технологія була встановлена на різні пристрої такі як бездротові навушники, мобільні телефони, ноутбуки, автомобілі та цифрові фотоапарати. Основна функціональність версії Bluetooth 1.0 полягала у максимальній швидкості передачі даних близько 732,2 Кб/с, а дистанція підключення становила 10 м. Версія 1.2 підвищила швидкість передачі даних до 1 Мбіт/с. Однак незважаючи на вдосконалення версії Bluetooth 1.0 вона була недостатня для передачі високоякісного аудіо через власну пропускну здатність. Причина в тому, що в той час стандарт призначався головним чином для телефонних розмов, а не для прослуховування музики.

У 2005 році вийшла оновлена версія Bluetooth 2.0, що посприяла більш ширшому розширенню технології. Найбільш значним удосконаленням цієї версії стала покращена швидкість передачі даних. Вона зросла до 3 Мбіт/с. Також відбулося підвищення діапазону дії до 30 м, технологія характеризувалась низьким енергоспоживанням та підвищеною автономністю бездротових пристроїв. Проте недоліки залишились, якість звуку була посередньою, також більшість пристроїв використовували кодек SBC, а він, у свою чергу, відомий низькою якістю стиснення цифрових файлів, що призводило до низької якості та затримки звуку.

Bluetooth 3.0 + HS (High Speed) вийшов у 2009 році. Ця версія отримала можливість підключення до Wi-Fi, що дозволило підвищити швидкість передачі даних, зокрема аудіоданих. Серед інших удосконалень варто наголосити на появі режимів L2CAP Enhanced та альтернативи MAC та PHY для передачі цифрових файлів великого розміру. Проте недоліком стало високе енергоспоживання та тривалість роботи пристроїв із підтримкою цього стандарту бездротового зв'язку стала нижчою.

2010 рік приніс нову версію Bluetooth 4.0-4.2, яка отримала покращення у вигляді Bluetooth Low Energy (BLE) або Bluetooth Smart. Останній дозволяв невеликим пристроям на зразок фітнес-трекерів, слухових апаратів та навушників довше залишатися підключеними при невеликій витраті енергії. Підтримка кодека aptX підвищила швидкість передачі аудіо даних, діапазон дії розширився до 100 м., також відбулося покращення зв'язування та повторного зв'язування пристроїв, збільшення ємності пакетів та діапазону даних для пристроїв Інтернету речей.

Bluetooth 5.2 представлена на ринку у 2016 році. Це найефективніша версія стандартів бездротового зв'язку Bluetooth. Проте вона ефективна при використанні з сумісними пристроями або периферійними пристроями. Однак Bluetooth має зворотну сумісність, тому користувач може продовжувати використовувати існуючий Bluetooth 4.2 і старіший пристрій із телефоном стандарту Bluetooth 5.2. Bluetooth 5.2 забезпечує нову і сучасну функцію, яка дозволяє користувачеві відтворювати аудіо на кількох підключених пристроях одночасно. Нова технологія Bluetooth дозволяє одночасно передавати два різних джерела звуку на два різні аудіопристрої, тож двоє або кілька людей можуть слухати два різних жанри музики, але потоково з одного пристрою.

До головних переваг нової Bluetooth 5.2 варто віднести:

- діапазон, швидкість і висока пропускну здатність;
- дальність бездротового зв'язку Bluetooth 5.2 перевищує 120 метрів у порівнянні з попередніми версіями. Це розширення діапазону та, крім того, можливість передавати аудіо на два пристрої, означає, що люди можуть передавати аудіо в кілька областей кімнати, що створює стереоефект в одному обмеженому просторі, або обмінюватися звуками між двома різними наборами навушників. Розширений діапазон також сприяє кращому зв'язку між пристроями.

Bluetooth версії 5.3 був представлений 13 липня 2021 року. Покращення функцій Bluetooth 5.3 полягають у наступному:

- покращення класифікації каналів;
- наявність функції віднімання з'єднання;
- покращення в управлінні розміром ключа шифрування.

Проте на базі даної версії біло видалено функцію альтернативного розширення MAC та PHY (AMP).

Порівняльний аналіз різних версій Bluetooth за технологічними параметрами наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз різних версій Bluetooth

Технологія	Рік виходу	Стандарт	Частота	Пропускна здатність	Радіус дії
Bluetooth v.1.0	1999	IEEE 802.15.1	2.4 ГГц	До 1 Мбіт/с	До 10 метрів
Bluetooth v.2.0	2005	IEEE 802.15.3	2.4 ГГц	До 2.1 Мбіт/с	До 30 метрів
Bluetooth v.3.0	2009	IEEE 802.11	2.4 ГГц	Від 3 до 24 Мбіт/с	До 60 метрів
Bluetooth v.4.0	2010	IEEE 802.11	2.4 ГГц	Від 3 до 24 Мбіт/с	До 100 метрів
Bluetooth v.5.0	2016	IEEE 802.11n	2.4 ГГц	Від 3 до 48 Мбіт/с	До 240 метрів
Bluetooth v.5.3	2021	IEEE 802.11n	2.4 ГГц	Від 3 до 48 Мбіт/с	До 240 метрів

Bluetooth 5.3 перевершує стару версію Bluetooth 4.2 майже в усіх аспектах. Завдяки збільшеному радіусу дії, потужності, надійності та продуктивності. Усі інноваційні пристрої Інтернету речей оснащені технологією Bluetooth, яка забезпечує ефективну роботу та точні результати.

**Висновки.** У роботі здійснено порівняльний аналіз різних версій Bluetooth з відокремленням як переваг так і недоліків технології. На сьогоднішній день, технологія Bluetooth визнана потужною бездротовою технологією, яка використовує повітряний інтерфейс, для формування спеціальної мережі передачі даних. Технологію Bluetooth, з її інноваційними функціями, є можливість ефективно використовувати як портативний або стаціонарний пристрій, а оновлені та високоякісні методи безпеки формують надійність каналів для передачі приватних та конфіденційних даних.

Перспективами подальшої роботи є дослідження принципів з'єднання окресленої технології з відомими аналогами та розробка механізмів підвищення пропускної здатності.

#### Список бібліографічного опису

1. Віннікова Ю.О. Аналіз перспектив використання технології Bluetooth / Ю.О. Віннікова, Т.Р. Шмельова // Інфокомунікації – сучасність та майбутнє: матеріали 7-ої Міжнар. наук-практ. конф., 26-27 жовтня 2017 р., Одеса. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2017. – Ч. 1. – С. 132-134.
2. Суровцев, О. А. Порівняння сучасних бездротових технологій обміну інформацією / О. А. Суровцев, О. М. Павловський // XI Науково-практична конференція студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2018 р., м. Київ, Україна : збірник статей / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ. – Київ : Центр учбової літератури, 2018. – С. 64–66.
3. Грудзинський, Ю. Є. Побудова сенсорної mesh-мережі промислового інтернету речей на основі технології Bluetooth 4.2 / Ю. Є. Грудзинський, Я. Ю. Лукомський // Вісник НТУ «ХП», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХП». – 2018. – № 16 (1292). – С. 107-111.
4. Камаєв В.Р. Аналіз комунікації пристроїв побудованих на базі технології Bluetooth Low Energy / Камаєв В.Р. // Матеріали VII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (11-12 грудня 2019 року) – Тернопіль, ТНТУ – 2019 – с. 52.
5. Камаєв В.Р. Управління електроенергією у системах розумного будинку на базі технології Bluetooth Low Energy / Камаєв В.Р. // Матеріали VIII міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (27-28 листопада 2019 року) – Тернопіль, ТНТУ – 2019 – с. 96.
6. Kaiser, Marilia. (2022). Bluetooth Orgasms. *MedieKultur: Journal of media and communication research*. 37. 143-160. 10.7146/mediekultur.v37i71.125253.
7. P., Raja & Singh, Dushyant & Jerath, Himani. (2021). Bluetooth Robotics. 10.1201/9781003161097-8.
8. Qian, Yi & Ye, Feng & Chen, Hsiao-Hwa. (2021). Bluetooth Security. 10.1002/9781119244400.ch8.
9. Sauter, Martin. (2021). Bluetooth and Bluetooth Low Energy. 10.1002/9781119714712.ch8.
10. James, Alice & Seth, Avishkar & Mukhopadhyay, Subhas. (2022). Bluetooth Based IoT System. 10.1007/978-3-030-85863-6\_7.
11. Salah, Khaled. (2022). Verification of the Integrated Bluetooth Modem. 10.1007/978-3-030-88626-4\_5.
12. Lounis, Karim. (2021). Cut It: Deauthentication Attack on Bluetooth. 1-8. 10.1109/SIN54109.2021.9699265.
13. Ward, Hubert. (2022). Using Bluetooth with PIR Motion Sensors. 10.1007/978-1-4842-7230-5\_8.
14. S., Ashwini & R., Krithick. (2021). Bluetooth based Home Automation. IARJSET. 8. 10.17148/IARJSET.2021.8974.
15. Nilsson, Daniel & Yan, Wenqing. (2021). Identifying Bluetooth Low Energy Devices. 375-376. 10.1145/3485730.3492880.

16. Cäsar, Matthias & Pawelke, Tobias & Steffan, Jan & Terhorst, Gabriel. (2022). A survey on Bluetooth Low Energy security and privacy. *Computer Networks*. 205. 108712. 10.1016/j.comnet.2021.108712.

#### References

1. Yu.O. Vinnikova Analysis of prospects for the use of Bluetooth technology / Yu.O. Vinnikova, T.R. Shmelova // *Infocommunications - modernity and future: materials of the 7th International science and practice conference*, October 26-27, 2017, Odesa. – Odesa: ONAZ named after O.S. Popova, 2017. - Part 1. - P. 132-134.
2. Surovtsev, O. A. Comparison of modern wireless information exchange technologies / O. A. Surovtsev, O. M. Pavlovsky // *XI Scientific and practical conference of students and postgraduates "Looking into the future of instrument engineering"*, May 15-16, 2018. , Kyiv, Ukraine: collection of articles / KPI named after Igor Sikorskyi, PBF. – Kyiv: Center for Educational Literature, 2018. – P. 64–66.
3. Grudzinskiy, Yu. Ye. Construction of a sensor mesh network of the industrial Internet of things based on Bluetooth 4.2 technology / Yu. Ye. Grudzinskiy, Ya. Yu. Lukomskiy // *Bulletin of NTU "KhPI"*, Series: New solutions in modern technologies. - Kharkiv: NTU "KhPI". – 2018. – No. 16 (1292). - P. 107-111.
4. Kamaev V.R. Communication analysis of devices built on the basis of Bluetooth Low Energy technology / Kamaev V.R. // *Materials of the VII scientific and technical conference "Information models, systems and technologies"* (December 11-12, 2019) - Ternopil, TNTU - 2019 - p. 52.
5. Kamaev V.R. Electricity management in smart home systems based on Bluetooth Low Energy technology / V.R. Kamaev. // *Materials of the 8th international scientific and technical conference of young scientists and students "Actual tasks of modern technologies"* (November 27-28, 2019) - Ternopil, TNTU - 2019 - p. 96.
6. Kaisar, Marilia. (2022). Bluetooth Orgasms. *MedieKultur: Journal of media and communication research*. 37. 143-160. 10.7146/mediekultur.v37i71.125253.
7. P., Raja & Singh, Dushyant & Jerath, Himani. (2021). Bluetooth Robotics. 10.1201/9781003161097-8.
8. Qian, Yi & Ye, Feng & Chen, Hsiao-Hwa. (2021). Bluetooth Security. 10.1002/9781119244400.ch8.
9. Sauter, Martin. (2021). Bluetooth and Bluetooth Low Energy. 10.1002/9781119714712.ch8.
10. James, Alice & Seth, Avishkar & Mukhopadhyay, Subhas. (2022). Bluetooth Based IoT System. 10.1007/978-3-030-85863-6\_7.
11. Salah, Khaled. (2022). Verification of the Integrated Bluetooth Modem. 10.1007/978-3-030-88626-4
12. Lounis, Karim. (2021). Cut It: Deauthentication Attack on Bluetooth. 1-8. 10.1109/SIN54109.2021.9699265
13. Ward, Hubert. (2022). Using Bluetooth with PIR Motion Sensors. 10.1007/978-1-4842-7230-5
14. S, Ashwini & R, Krithick. (2021). Bluetooth based Home Automation. *IARJSET*. 8. 10.17148/IARJSET.2021.8974.
15. Nilsson, Daniel & Yan, Wenqing. (2021). Identifying Bluetooth Low Energy Devices. 375-376. 10.1145/3485730.3492880.
16. Cäsar, Matthias & Pawelke, Tobias & Steffan, Jan & Terhorst, Gabriel. (2022). A survey on Bluetooth Low Energy security and privacy. *Computer Networks*. 205. 108712. 10.1016/j.comnet.2021.108712.