

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Г.Г. Киричек

Конспект лекцій з дисципліни
"Бездротові технології"
для студентів спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія,
усіх форм навчання

2024

Конспект лекцій з дисципліни “Бездротові технології” для студентів спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія, усіх форм навчання / Укл. Г.Г. Киричек. – Запоріжжя: Національний університет «Запорізька політехніка», 2024. – 30 с.

Укладач:

Г.Г. Киричек, доцент, к.т.н.

Рецензент:

М.Ю. Тягунова, доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск:

Г.Г. Киричек, доцент, к.т.н.

Затверджено
на засіданні кафедри КСМ
Протокол № 7 від 22.03.2024

Затверджено
на засіданні НМК КНТ
Протокол № 8 від 27.03.2024

ЗМІСТ

1 Основи бездротових мереж	4
1.1 Основи бездротової передачі.....	4
1.2 Модуляція сигналів.....	6
1.3 Пропускна спроможність каналів	9
1.4 Класифікація бездротових каналів	11
1.5 Бездротові мережі	12
1.6 Метод CSMA/CA	15
2 Широкополосні мережі WiFi.....	16
2.1 Технологія WiFi	16
2.2 Wi-Fi та модель OSI.....	18
2.3 Формат кадру Wi-Fi	20
2.4 Топології Wi-Fi мереж	21
3 Технології мереж малого радіусу дії.....	24
3.1 Самоорганізовані мережі.....	24
3.2 Бездротова сенсорна мережа	25
3.3 Бездротовий стандарт Bluetooth Low Energy (BLE)	28
Рекомендована література.....	30

1 ОСНОВИ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ

1.1 Основи бездротової передачі

Перші моделі пристроїв для радіозв'язку з'явилися ще на початку 1900-х років, а до 1920 року вони досить часто використовувалися на поліцейських автомобілях в США. Оригінальний автомобільний телефон важив близько 36 кілограмів. Дзвінки безперервно здійснювалися між «комірками» (або стільниками) покриття та вздовж доріг, а віддалені приймачі були встановлені у шафах внизу телефонних стовпів, які були стійкими до погодних умов.

У 40-х роках радіотелефони – це був такий собі набір декількох масивних пристроїв, які встановлювалися в автомобілях та деякі з них (це головні пристрої) були схожі на стаціонарні телефони. До 1948 року така комерційна послуга вже була доступна в 60 містах США і Канади; 4000 абонентів мобільного зв'язку здійснювали близько 117 000 дзвінків на місяць. Так народилася концепція мобільного телефону.

Спочатку користувачі мали тримати кнопку на телефоні натиснутою, щоб говорити, і відпускати її, коли хотіли почути співрозмовника. Безперервності в обслуговуванні тоді не існувало, оскільки телефони переміщалися різними зонами, і лише обмежена кількість людей могла скористатися послугою в будь-який час. Тим не менш, зі зростанням мобільності американського населення в післявоєнні роки, раптово, кожен почав потребувати телефону у своїй машині. За п'ять-десять років почали формуватися черги на цю послугу. Попит був великим, тому технологія швидко розвивалася.

У 1960-х роках розмір та вага обладнання зменшилися, але попит все ще випереджав можливості. Наприклад, у Нью-Йорку 2000 абонентів користувалися лише 12-тю радіоканалами, і зазвичай їм доводилося чекати 30 хвилин, щоб зателефонувати. Вже до 1964 року у США було вже понад 1,5 мільйона автомобілів із встановленими радіотелефонами.

Точкою відліку в галузі розробки стандартів бездротових мереж стало утворення всесвітньою організацією IEEE (Інститут інженерів з електрики та електроніки) в межах стандарту 802, на базові технології локальних мереж, комітету 802.11. Це відбулось у 1990 році. Бездротові мережі розгортаються у аеропортах, університетах, готелях, ресторанах, на підприємствах.

Наприкінці 90-х років користувачам запропонована WAP-послуга (Wireless Application Protocol (WAP) - протокол бездротового доступу до інформаційних та сервісних ресурсів Інтернету безпосередньо з мобільних телефонів), - це спочатку не викликало великого інтересу - основні інформаційні послуги - новини, погода, всілякі розклади і т. ін. Також спочатку не мали попиту і такі технології як Bluetooth, і створення WLAN (бездротових локальних мереж) - в основному через високу вартість цих засобів зв'язку. Однак у міру зниження цін зростає і інтерес населення до цих сервісів. До 2005р. кількість користувачів бездротового Інтернет-сервісу нараховували вже десятки мільйонів.

Бездротові технології передбачають передачу інформації між кінцевими пристроями у повітрі, за допомогою електромагнітних хвиль. Безпроводні мережі – метод, що дозволяє реалізовувати мережі передачі даних, які повністю відповідають стандартам (або технологіям) провідних мереж, наприклад, Ethernet без використання кабелю.

Істотний вклад у розвиток бездротових технологій внесла можливість їх застосування домашніми користувачами. Це підвищення ступеня комфортності сучасного будинку, об'єднання в одне ціле всіх його структур та об'єктів (комп'ютера, телевізора, цифрової фотокамери, домашнього розважального центру, системи охорони, кліматичної системи, побутової техніки) – основа самої ідеї – це створення такого собі інтелектуального цифрового будинку – реалізується за допомогою бездротових пристроїв.

Дані – розглядаємо як об'єкти, які передають зміст чи інформацію.

Сигнали – є електромагнітним представленням цих даних (або це є електромагнітні хвилі різної фізичної природи - електричні, оптичні, радіо).

Передача - процес переміщення даних шляхом поширення сигналів за фізичним середовищем передачі та їх обробка (перетворення, відправка та детектування).

Аналогові дані приймають безперервні значення з деякого діапазону - це звукові та відеосигнали, є величинами, які безперервно змінюються.

Цифрові дані приймають дискретні значення – це, як приклад, текст і цілі числа.

Аналоговий сигнал – є безперервною електромагнітною хвилею - яка може поширюватися через безліч видів фізичних середовищ (провідних, безпроволових), і залежить від частоти.

Цифровий сигнал – (на прикладі електричного сигналу), це є послідовність імпульсів напруги - які можуть передаватися по кабельній лінії; (наприклад, постійний позитивний рівень напруги використовується для представлення двійкового нуля, а негативний - для представлення двійкової одиниці та навпаки) (для радіосигналу – використовується таке поняття як частота, для оптики – рівень освітленості).

Бездротові технології використовують цифрові дані та аналогові сигнали – цифрові сигнали загасають сильніше, ніж аналогові.

Будь який цифровий сигнал має нескінченну ширину смуги пропускання. Якщо ми спробуємо передати сигнал через якесь середовище, система, що передає, буде накладати обмеження на ширину смуги, яку можна передати.

Для кожного конкретної середовища справедливим є наступне: чим більше смуга сигналу, який передається, тим більше вартість передачі. Тому з економічних і практичних міркувань слід апроксимувати (представляти) цифрову інформацію сигналом з обмеженою шириною смуги. Але при обмеженні ширини смуги можуть виникати зміни сигналу, і це вже ускладнює інтерпретацію сигналу. Чим більше обмежена смуга, тим більше змінюється сигнал і тим більше потенційна можливість виникнення помилок при прийомі такого сигналу.

1.2 Модуляція сигналів

Модуляція є перенесенням спектра сигналу в іншу область частот (з низькочастотної в високочастотну), використовується для застосування дискретного подання сигналів, тощо.

В цьому випадку для реалізації процесу перетворення первинного сигналу застосовується додатковий стаціонарний сигнал переносник - несучий сигнал (аналоговий або дискретний) (це сигнал, який не несе інформації, або не є інформаційним), а той сигнал, що передається завжди є модулюючим сигналом.

Види модуляції залежать від природи несучого та модулюючого сигналу.

Історично модуляція почала використовуватися для аналогової інформації, потім – для дискретної.

Аналогова (АМ, ЧМ, ФМ) – низько-частотний аналоговий сигнал (сигнал, який є інформаційним) та несуча (синусоїда) – обидва сигнали аналогові.

Аналогово-імпульсна (АІМ, ЧІМ, ФІМ, ШиротноІМ) – низько-частотний (або сигнал, який є інформаційним) це аналоговий сигнал, а несуча (є послідовністю прямокутних імпульсів), таким чином інформаційний сигнал є аналоговим сигналом, а несуча цифровим. У результаті сигнал все одно залишається аналоговим, тільки представленим у вигляді «стовпчиків», висота яких є амплітудою сигналу в момент вибірки.

Дискретна модуляція (АМаніпуляція, ЧМ, ФМ, Відносна ФМ) – цей вид модуляції застосовує низько-частотний цифровий сигнал та несуча (є синусоїдою) – щоб не плутати з модуляцією ввели визначення - маніпуляція – інформаційний сигнал є цифровим сигналом (послідовність прямокутних імпульсів), а несуча аналоговий сигнал.

Цифрова (ІКМ, ДиференціальноІКМ, дельта модуляція) – низько-частотний аналоговий сигнал та несуча (є послідовністю прямокутних імпульсів) – на виході цифровий двійковий код – (семплювання - вибірка (амплітуди сигналу) через рівні проміжки часу, квантування - округлення результату виміру до найближчого значення ступеня квантування, кодування - отримані кванти необхідно представити у цифровій формі, тобто. закодувати тим чи іншим способом).

У бездротовій технології в процесі модулювання використовується одна або декілька характеристик несучого сигналу: амплітуда, частота і фаза – звідси три основні технології кодування або модуляції, що виконують перетворення цифрових даних на аналоговий сигнал (рис. 1.1):

- амплітудна модуляція (Amplitude-Shift Keying - ASK);
- частотна модуляція (Frequency-Shift Keying – FSK);
- фазова модуляція (Phase-Shift Keying – PSK).

Амплітудна модуляція - вид модуляції, при якій змінним параметром несучого сигналу є його амплітуда. Амплітуда-

максимальне значення зміщення або зміни змінної величини від середнього значення при коливальному або хвильовому русі.

Частотна модуляція (ЧМ) - вид аналогової модуляції, при якому інформаційний сигнал керує частотою коливання. Порівняно з амплітудною модуляцією тут амплітуда залишається постійною.

Фазова модуляція - вид модуляції, при якій фаза коливання змінюється прямо пропорційно інформаційному сигналу.

У всіх випадках результуючий сигнал є центрованим на несучій частоті.

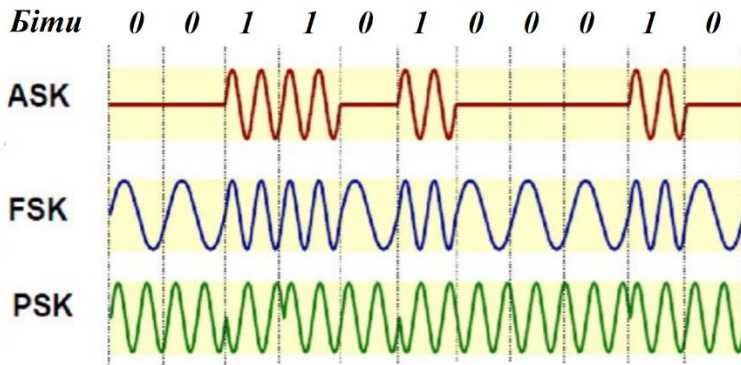


Рис. 1.1. Модуляція цифрових даних аналоговими сигналами

Приклад. Потік даних, що передається в мережах X, відповідає частоті ≈ 11 кГц.

Передача цього низькочастотного сигналу повітрям вимагає наявності антени наступних розмірів:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 * 10^8 \frac{m}{s}}{11 * 10^3 Hz} = 27 km$$

Антену довжиною 27 кілометрів не достатньо зручна у користуванні. Якщо передаємо сигнал накладеним на несучу частоту ≈ 2.5 ГГц, то знадобиться антена довжиною 12 см.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 * 10^8 \frac{m}{s}}{2.5 * 10^9 Hz} = 0,12 m$$

1.3 Пропускна спроможність каналів

Існує безліч факторів, здатних змінити або пошкодити сигнал. Найбільш поширеними з них є перешкоди або шуми, які представлені будь-яким небажаним сигналом, що змішується із корисним сигналом, призначеним для передачі або прийому, і цей небажаний сигнал спотворює (чи змінює) корисний.

Для цифрових даних постає питання: наскільки ці некоректні втручання та пошкодження сигналу обмежують можливу швидкість передачі?

Так от, пропускною здатністю каналу як раз і є максимально можлива за певних умов швидкість, при якій інформація може передаватися по конкретному каналу зв'язку.

Існує чотири поняття, які ми спробуємо пов'язати воедино:

- швидкість передачі даних – це є швидкість у бітах за секунду (біт/с), з якою можуть ці дані передаватися;
- ширина смуги - ширина смуги сигналу, який передається, смуга обмежується передавачем і природою середовища в якому сигнал передається. Вимірюється у періодах на секунду, або герцах (Гц);
- шум – або середній рівень шуму в каналі зв'язку;
- рівень помилок – або частота появи помилок. Помилкою вважається прийом одиничного біту при переданому 0 і навпаки.

Проблема полягає в наступному: засоби зв'язку є недешевими і, в загальному випадку, чим ширша смуга, яку вони забезпечують для передачі даних, тим дорожче вони коштують. Понад те, всі канали передачі даних, які мають практичний інтерес, мають обмежену ширину лінії пропускання. Обмеження обумовлені фізичними властивостями середовища, в якому сигнал передається або навмисними обмеженнями ширини смуги в самому передавачі. Ці обмеження застосовуються для запобігання інтерференції із іншими джерелами.

Звичайно, при передачі, хотілося б максимально ефективно використовувати смугу пропускання. Для цифрових даних це означає, що для якоїсь конкретної лінії бажано отримати максимально можливу, при існуючому рівні помилок, швидкість передачі даних.

Головним обмеженням для досягнення такої ефективності є перешкоди. Окрім того, смуга пропускання залежить від типу лінії і її довжини. На рисунку 1.2 показані смуги пропускання ліній зв'язку різних типів, а також ті частотні діапазони, які найбільш часто використовуються в техніці зв'язку.

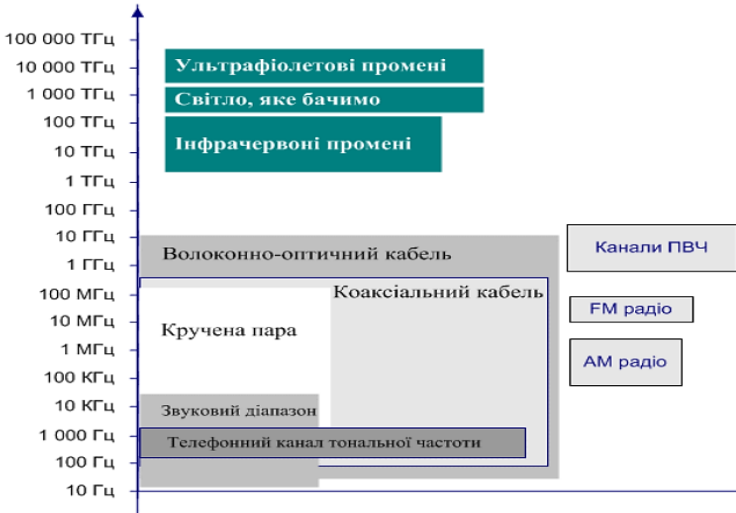


Рис. 1.2. Смуги пропускання ліній зв'язку та частотні діапазони

Пропускна здатність (throughput) лінії, характеризує максимально можливу швидкість передачі даних по лінії зв'язку. Вона залежить не тільки від характеристик лінії зв'язку, таких як амплітудно-частотна характеристика, але і від спектра сигналів, які передаються.

Якщо значимі гармоніки сигналу (тобто ті гармоніки, амплітуди яких вносять основний вклад у результуючий сигнал) попадають у смугу пропускання лінії, то такий сигнал буде добре передаватися даною лінією зв'язку і приймач зможе правильно розпізнати інформацію, відправлену по цій лінії передавачем.

Якщо ж значимі гармоніки виходять за границі смуги пропускання лінії зв'язку, то сигнал буде значно пошкоджуватися, приймач буде помилятися при розпізнаванні інформації, а інформація не зможе передаватися із заданою пропускнуою здатністю.

1.4 Класифікація бездротових каналів

Залежно від природи середовища, при класифікації, маємо чотири типи каналів бездротової передачі даних.

Радіоканали стільникового зв'язку – реалізовані таким чином, що передавач формує радіоімпульс певної частоти та амплітуди, коливання випромінюється у простір. Приймач фільтрує та обробляє сигнал, після цього – отримує потрібну інформацію. Радіохвилі частково поглинаються атмосферою, тому такий зв'язок може спотворюватися (пошкоджуватися) при підвищеній вологості або коли їде дощ. Що стосовно мобільного зв'язку, то він працює саме на основі радіохвильових стандартів. Приклад, протоколи: GSM. Частота – 900/1800 МГц, максимальна швидкість передачі даних – 270 Кбіт/с. CDMA із робочою частотою – 450 МГц. UMTS із двома робочими смугами частот: 1885-2012 МГц і 2110-2200 МГц.

Супутникові канали – передбачають використання супутника, у якому встановлена антена зі спеціальним устаткуванням. Сигнал надходить від абонента на найближчу наземну станцію, потім виконується переадресація сигналу на супутник. Супутникові канали і радіозв'язок використовуються найчастіше в тих випадках, коли кабельні зв'язки застосувати не можна - наприклад, при проходженні каналу через малонаселену місцевість чи для зв'язку з мобільним користувачем мережі, таким як, наприклад, шофер вантажівки або лікар, який робить обхід, тощо. Кожен вузол оснащується антеною, яка одночасно є передавачем і приймачем електромагнітних хвиль. Електромагнітні хвилі поширюються в атмосфері або вакуумі зі швидкістю 3×10^8 м/с у всіх напрямках або ж у межах певного сектора. Направленість або ненаправленість розповсюдження залежить від типу антени.

Деякі діапазони надвисоких частот (НВЧ) радіочастотного діапазону від 300 МГц до 300 ГГц мають спільну назву – мікрохвильовий діапазон (microwave). Мікрохвильові системи охоплюють найширший клас систем, які об'єднує радіорелейні лінії зв'язку, супутникові канали, бездротові локальні мережі (WLAN) та системи фіксованого бездротового доступу, що мають назву - системи бездротових абонентських закінчень (Wireless Local Loop, WLL).

Інфрачервоні канали - зв'язок встановлюється між приймачем та передавачем на близькій відстані один від одного. Такий канал для бездротової передачі працює за допомогою світлодіодного випромінювання. Інфрачервоний діапазон широко використовують для бездротового передавання інформації. Але оскільки, інфрачервоне випромінювання не може проникати через стіни, то системи на базі інфрачервоних хвиль служать для побудови невеликих сегментів локальних мереж в межах одного приміщення. Для обміну інформацією між пристроями за допомогою інфрачервоного випромінювання використовують спеціалізований комунікаційний порт IrDA (Infrared Direct Access). Підключення по інфрачервоному каналу може бути тільки двоточковим. Інфрачервоне випромінювання використовують пристроями дистанційного керування, бездротовими мишами і клавіатурами. При цьому ІЧ-сигнали можуть відбиватися від поверхні об'єктів, і це зазвичай збільшує радіус їх дії. Та для забезпечення більшої дальності зв'язку потрібні більш низькі частоти електромагнітного випромінювання. Головна перевага інфрачервоного випромінювання в порівнянні з радіоканалом - нечутливість до електромагнітних перешкод, що дозволяє застосовувати його, наприклад, в виробничих умовах, де завжди багато перешкод від силового обладнання. Швидкості передачі інформації по інфрачервоному каналу зазвичай не перевищують 5-10 Мбіт/с, але при використанні інфрачервоних лазерів може бути досягнута швидкість більше 100 Мбіт/с.

Лазерні канали – це той випадок, коли замість світлодіодів використовується лазерний промінь. Також, об'єкти передачі та прийому повинні бути в безпосередній близькості один від одного. Системи видимого світла використовують як високошвидкісну альтернативу мікрохвильовим двоточковим каналам для організації доступу на невеликих відстанях.

1.5 Бездротові мережі

Бездротові мережі передачі даних (рис.1.3) базуються на сукупності двох груп технологій – бездротової передачі інформації та мережної взаємодії і класифікуються за наступними параметрами:

- спосіб обробки первинних даних – цифрові та аналогові;
- ширина смуги передачі – вузькосмугові, широкосмугові та зверхширокосмугові;
- локалізація абонентів – мобільні та фіксовані;
- географічна віддаленість – персональні, локальні, регіональні та глобальні;
- вид інформації, що передається – системи передачі речі, відео та даних.

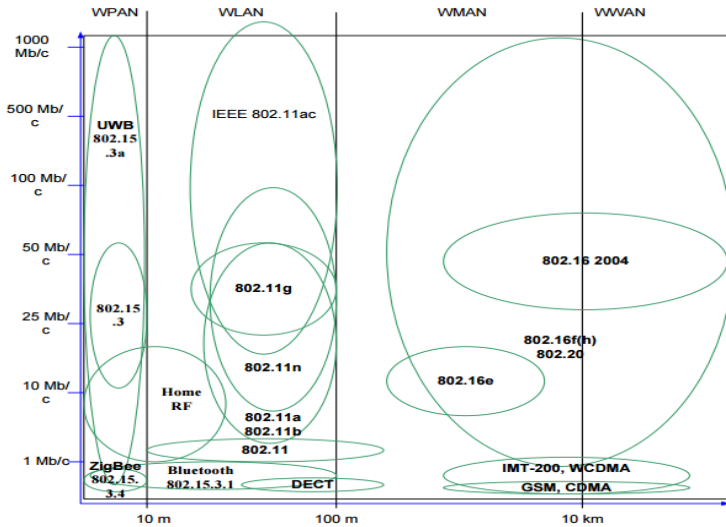


Рис. 1.3. Класифікація технологій бездротових мереж

Однією з основних проблем бездротових систем є організація доступу багатьох користувачів до єдиного ресурсу середовища передачі даних. Задача множинного доступу надати кожному каналу зв'язку простір, час, частоту та/або код з мінімумом взаємних перешкод і максимальним використанням характеристик середовища передачі.

Множинний доступ з просторовим розділенням (Space або Spatial Division Multiplexing – SDM), заснований на розділенні сигналів у просторі, коли кожний бездротовий пристрій може вести передачу даних тільки в межах однієї визначеної території, на якій іншому пристрою заборонено вести передачу даних.

Множинний доступ із частотним розділенням (Frequency Division Multiplexing – FDM) кожний пристрій працює на строго визначеній частоті завдяки чому декілька пристроїв можуть вести передачу на одній території.

Більш гнучким є множинний доступ з часовим розділенням (Time Division Multiplexing – TDM), канали розподіляються за часом. Кожний пристрій передає дані на одній частоті але у різні інтервали часу, при обов'язковій синхронізації процесу передачі.

Ще один множинний доступ - мультиплексування з кодовим розділенням (Code Division Multiplexing – CDM). Кожний пристрій передає дані на одній частоті але з різними базовими кодами. У цій схемі доступу пристрій, при передачі даних, змінює кожний біт вихідного потоку даних на CDM-символ – кодову послідовність довжиною 11, 16, 32, 64 і т.д. біт (чипів). Кодова послідовність є унікальною для кожного пристрою, що передає дані. Пристрій, що приймає дані, знає CDM-код пристрою, сигнали якого він може прийняти.

Розглянуті механізми є способами поділення єдиного ресурсу на канали передачі. Однак ці канали треба призначати усім окремим пристроям. Цім розподіленням, різними методами займається базова станція (центральний пристрій).

Бездротові мережі класифікуються за різними характеристиками, найбільш поширеними є за територією охоплення сигналу:

– WPAN. Бездротові персональні мережі – це мережі, які працюють на коротких відстанях, радіусом до 10-20 м, мережі, які пов'язують кінцеві вузли і інші пристрої - КПК, мобільні телефони, принтери і т. ін. За допомогою таких мереж реалізується проста синхронізація даних, усуваються проблеми з великою кількістю кабелів в офісах, реалізується простий обмін інформацією в невеликих робочих групах.

– WLAN. Бездротові локальні мережі, - радіус дії цих мереж є більшим - до 100 м. З їх допомогою реалізується бездротовий доступ до групових ресурсів різного призначення. Зазвичай, такі мережі використовуються для подовження кабельних корпоративних локальних мереж та мереж SOHO. У невеликих компаніях WLAN можуть повністю замінити дротові з'єднання.

– WMAN. Мережі міського масштабу - тип мережі, яка має більший діапазон дії, ніж у мереж WLAN, покриваючи десятки кілометрів для передачі сигналу, щоб покрити все населення. Таким чином, WMAN в основному використовується для з'єднання WLAN один з одним, тим самим розширюючи їх дію у межах регіону.

– WWAN. Глобальні мережі, - бездротовий зв'язок, який забезпечує мобільним користувачам доступ до їх корпоративних мереж і мережі Інтернет.

1.6 Метод CSMA/CA

Метод CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance). Це клас протоколів доступу до середовища передачі даних в бездротових мережах. Множинний доступ з контролем несучої та униканням колізій CSMA/CA - резервує канал для кожного сеансу зв'язку. Це особливо важливо для бездротових мереж, де виявлення зіткнення альтернативним CSMA/CD є ненадійним через проблеми з прихованим вузлом. CSMA/CA - це протокол, який працює на рівні каналу передачі даних (рівень 2) моделі OSI.

Перед передачею даних в "ефір", станція відправляє спеціальний фрейм, RTS (Ready To Send), який сповіщає інших про те, що вузол готовий передати дані, а також передбачувану тривалість передачі і вузол призначення. Вузол призначення відповідає фреймом CTS (Clear To Send), повідомляючи про готовність до прийому (рис. 1.4).

Якщо канал зарезервований, ніякий пристрій не зможе передавати дані – це дозволить уникнути можливих колізій.

Якщо пристрій потребує спеціального каналу зв'язку в базовому наборі послуг, він звертається до точки доступу за роздільною здатністю - протоколом готовності до передачі (Request To Send, RTS).

Якщо канал вільний, точка доступу надішле пристрою повідомлення - готовність до прийому (Clear to Send, CTS) - пристрою дозволена передача цим каналом.

CTS передається всім пристроям в базовому наборі послуг (basic service set, BSS) - всі пристрої знають, що запитується, канал в даний момент зайнятий.

Після завершення сеансу зв'язу пристрій, що запросив канал, відправляє в точку доступу повідомлення - підтвердження (ACK) - повідомляє точці доступу, що канал може бути звільнений - розсилається всім пристроям у мережі WLAN - отримують ACK - цей канал знову вільний.

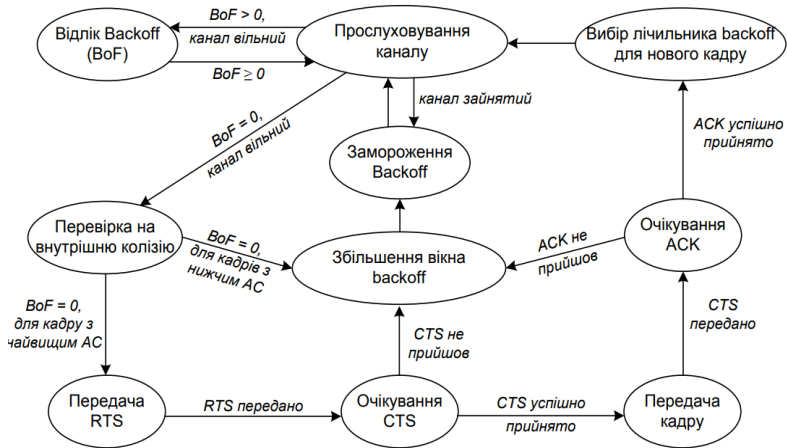


Рис.1.4. Класифікація технологій бездротових мереж

2 ШИРОКОПОЛОСНІ МЕРЕЖІ WIFI

2.1 Технологія WiFi

Технологія WiFi - ближче до особистого використання, для надання послуг, як правило, використовує неліцензовані частоти 2,4 ГГц та 5 ГГц (сучасний WiFi, ще ряд інших частот) – і ці частоти доступні звичайним користувачам – вони дозволяють гнучко планувати роботу мережі та створювати свою мережу самостійно, а також, використовуючи на обладнанні відкриті методи та алгоритми, самим здійснювати політику безпеки, налаштовувати її і керувати цією мережею в цілому.

Перший етап, пов'язаний з технологією Wi-Fi це поява першого стандарту 802.11 1991-1996 рр. – і це є появою Wi-Fi як

широкосмугової технології бездротового мережного доступу до Інтернет – першим був стандарт 802.11a – із швидкістю 2Мбіт/с, з модуляцією DSSS – технологія розширення спектру.

Другий, 802.11b, 1999 р., із швидкістю 11Мбіт/с зараз використовується як обернено сумісний із сучасними стандартами, які його використовують для покращення якості зв'язку. У разі поганого прийому або поганих радіоумов, обладнання перемикається на цей режим роботи з підтримкою першого типу модуляції DSSS (direct sequence spread spectrum) - широкосмугова модуляція з прямим розширенням спектра.

Основна ідея методу розширеного спектру полягає у тому, щоб розподілити інформаційний сигнал, і це в результаті дозволить значно ускладнити подавлення або перехоплення сигналу. Першою була розроблена схема розширеного спектра, яка відома як метод перебудови частоти - FHSS, а наступною схемою розширеного спектра є як раз метод прямого послідовного розширення - DSSS.

Далі, розробка більш потужних процесорів, призвела до появи нового стандарту 802.11a/g, - із швидкістю 54Мбіт/с, вже з підтримкою нової технології модуляції – це модуляція OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) - цифрова схема модуляції, яка використовує велику кількість близько розташованих піднесучих (або орт). Дана модуляція дозволила збільшити швидкість, і по суті на даний момент є основною модуляцією широкосмугових мереж (як провідних, так і бездротових технологій) – WiFi, LTE, xDSL, DVB.....

Основні (поширені) на даний момент:

- 802.11b – покращено, підтримка 5,5 та 11 Мбіт/с;
- 802.11g – 54 Мбіт/с, 2,4 ГГц стандарт (сумісний з b);
- 802.11n (WiFi 4 покоління) – застосовує збільшення швидкості передачі (до 600 Мбіт/с). Використовує частотні діапазони 2,4 чи 5 ГГц. Сумісний з 802.11a/b/g;
- 802.11ac (WiFi 5) – 5 ГГц, теоретична швидкість передачі можлива до 6,77 Гбіт/с для пристроїв, які мають 8 антен;
- 802.11ad - WiGig (Wireless Gigabit Alliance - альянс гігабітного бездротового зв'язку) розробляється організацією зі сприяння прийняття WiGig, мультигігабітної технології бездротового зв'язку, яка працює вже на неліцензійній полосі частот (60 ГГц), цим стандартом підтримується теоретична швидкість передачі даних до 7 Гбіт/с;

– 802.11ax (WiFi 6) – із заявленою теоретичною швидкістю до 11 Гбіт/с, використовує частоти у діапазнах 2,4 ГГц та 5 ГГц, але може включати додаткові смуги частот у діапазонах від 1 до 7 ГГц;

– 802.11be (Wi-Fi 7 покоління) - стандарт у розробці. Підтримує частотні діапазони 2,4 ГГц, 5 ГГц та 6 ГГц. Швидкість передачі даних – до 30 Гбіт/с для пристроїв з 16 антенами. Wi-Fi 7 буде підтримувати канали шириною 320 МГц, 16 просторових потоків MU-MIMO, а також технології 4096-QAM, Multi-RU та Multi-Link, завдяки чому його максимальна швидкість буде в 4,8 рази вищою, ніж у Wi-Fi 6 і в 13 разів вище, ніж у Wi-Fi 5.

2.2 Wi-Fi та модель OSI

Технологія працює на каналному та фізичному рівні, використовуючи по 2 підрівні як на каналному так і на фізичному рівнях (рис. 2.1).

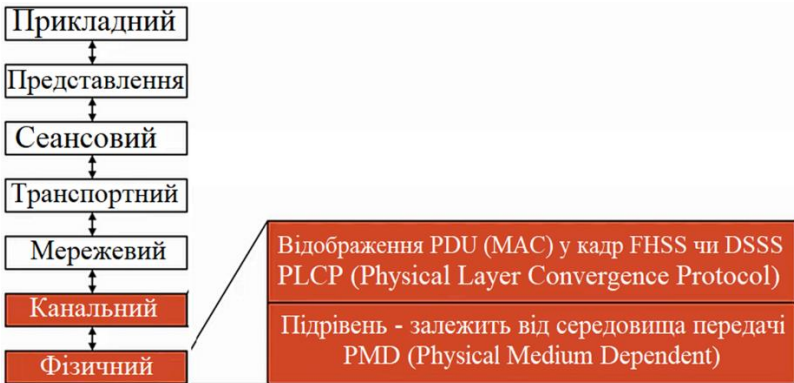


Рис. 2.1. Структура фізичного рівня

Фізичний рівень складається з двох підрівнів:

– PLCP (Physical Layer Convergence Protocol) - виконує процедуру відображення PDU (Protocol Data Unit – блок даних) MAC рівня (як ви пам’ятаєте, це елемент протоколу даних каналного рівня)

у фрейм формату який підтримує розширення спектру або із застосуванням FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum - Псевдовипадкове переналаштування робочої частоти) або DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum - розширення спектру методом прямої послідовності). Цій підрівень виконує передачу, виявлення несучої і прийом сигналу;

– PMD (Physical Medium Dependent) – це підрівень, що залежить від середовища передачі. А так, як фізичне середовище передачі є однаковим, то Він буде різним для різних швидкостей передачі і різних стандартів із серії стандартів IEEE 802.11 (га бездротові технології локальних мереж). Підрівень PMD забезпечує дані і сервіс для підрівня PLCP (Physical Layer Convergence Protocol) і функції радіопередачі і прийому, результатом яких є потік даних, інформація про час та параметри прийому сигналу.

Основним робочим станом рівнів PLCP (Physical Layer Convergence Protocol) є виявлення несучої і оцінка незайнятості каналу. Для виконання передачі PLCP перемикає PMD (Physical Medium Dependent) з режиму "прийом" в режим "передача" і посилає елемент даних PPDU (PLCP Data Unit).

Фізичний рівень виконує скремблювання, кодування і чергування. Передача сигналів по радіоканалу виконується двома методами: FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum - Псевдовипадкове переналаштування робочої частоти) і DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum - розширення спектру методом прямої послідовності). При цьому використовується диференціальна фазова модуляція DBPSK і DQPSK із застосуванням кодів Баркера, комплементарних кодів (ССК - Complementary Code Keying) і технології подвійного згортчного кодування (ПВСС).

На підрівні LLC формат кадру відповідає формату кадру технології Ethernet (і дорівнює 1500 байт).

На підрівні MAC формат кадру вже є іншим та відповідає технології WiFi (і дорівнює 2304 байти).

При реальній передачі кадрів у бездротовій мережі використовується рівень MAC та відповідний формат кадру. А при отриманні кадру рівнем LLC кадр перетворюється на формат технології Ethernet. Перетворює його мережний адаптер або його драйвер.

Далі розглянемо кадр стандарту 802.11. Він складніший за формат кадру технології Ethernet. І основна відмінність кадру пов'язана

із застосування не двох, а 4-х адрес пристроїв (ми звикли, що в мережі є дві адреси – кінцевого пристрою, який передає та пристрою який приймає кадри). Але в цьому випадку технологія оперує чотирма адресами.

2.3 Формат кадру Wi-Fi

Керування кадром. Вказується тип кадру та надається керуюча інформація. Поле містить 11 вкладених полів.

Поле управління кадром складається з наступних полів:

- версія протоколу. Версія 802.11, поточна версія – 0;
- тип. Визначає тип кадру: контроль (для забезпечення роботи), керування (сервіси) або дані;
- підтип. Подальша ідентифікація функцій кадру;
- до DS. Координаційна функція MAC надає цьому біту значення 1 якщо кадр призначений розподільчій системі. – визначає Напрямок передачі кадру;
- від DS. Координаційна функція MAC надає цьому біту значення 0 якщо кадр відправлений від розподільної системи;
- MF - Більше фрагментів. 1, якщо за цим фрагментом слід ще кілька застосовується з полем Управління черговістю;
- RT - Повтор. 1, якщо цей кадр є повторною передачею попереднього;
- PM - Управління потужністю. Біт дорівнює 1, якщо передавальна станція знаходиться в режимі очікування (сплячому);
- MD - Більше даних. Вказує, що станція передала не всі дані. При цьому кожен блок даних може передаватися як один кадр або група фрагментів в декількох кадрах;
- PF (W). 1, якщо реалізовано один з алгоритмів конфіденційності провідного еквівалента (Wired Equivalent Privacy, WEP). Протокол WEP використовується для обміну ключами шифрування при безпечному обміні даними;
- O – Порядок кадрів. 1, якщо використовується послуга суворого впорядкування, яка вказує адресату, що кадри повинні оброблятися по порядку.

Ідентифікатор тривалості/з'єднання. Якщо використовується поле тривалості, вказується час (у мікросекундах), на який потрібно виділити канал для успішної передачі MAC кадру. У деяких кадрах управління в цьому полі вказується ідентифікатор асоціації, або з'єднання.

Адреси. Число та значення полів адрес залежить від контексту. Можливі такі типи адрес: відправника, призначення, станції, що передає, приймаючої станції.

Управління чергою. Містить 4-бітове поле номера фрагмента, - воно використовується для фрагментації пакету та потім його збирання (або складання), та 12-бітовий порядковий номер, який використовується для нумерації кадрів, що передаються між приймачем та передавачем.

Далі вміст (тіло) кадру. Містить модуль даних LLC або керуючу інформацію MAC.

Контрольна послідовність кадру (контрольна сума) – 32-бітова перевірка парності із надмірністю.

2.4 Топології Wi-Fi мереж

Стандарт IEEE 802.11 встановлює три варіанти топології мереж:

– незалежні базові зони обслуговування (Independent Basic Service Sets, IBSS);

– базові зони обслуговування (Basic Service Sets, BSS);

– розширені зони обслуговування (Extended Service Sets, ESS).

Під зоною обслуговування тут розуміється набір логічно згрупованих пристроїв.

Кожна зона обслуговування має свій ідентифікатор (Service Set Identifier, SSID). Станція-приймач використовує SSID для визначення того, із якої зони обслуговування приходить сигнал.

У першій архітектурі (або топології) IBSS станції зв'язуються безпосередньо одна з одною, без використання точки доступу і без можливості приєднання до дротової локальної мережі. Зона обслуговування SSID використовується зазвичай для об'єднання в мережу малої кількості станцій, оскільки в ній не передбачена

можливість ретрансляції сигналу для збільшення дальності зв'язку і механізми для вирішення проблеми прихованого вузла.

При використанні BSS станції спілкуються один з одним через загальний центральний вузол зв'язку, названий точкою доступу. Точка доступу зазвичай підключається до дротової локальної мережі Ethernet.

І розширену зону обслуговування отримаємо при об'єднанні кількох BSS в єдину систему (або мережу) за допомогою розподільної системи, в якості якої може виступати дротова мережа технології Ethernet.

Далі розглянемо схеми та методи передачі, які застосовує технологія WiFi. На рисунку 2.2 бачимо адреси, які використовуються під час передачі кадрів у провідне середовище та в мережу інтернет

У першому полі адреса Reciever Address – що є MAC адресою точки доступу – або обладнання, яке приймає кадри із бездротового середовища. Далі MAC адреса кінцевого вузла (у цьому випадку Transmitter Address та Source збігаються, відправник сам відправляє дані) і остання - це адреса одержувача.

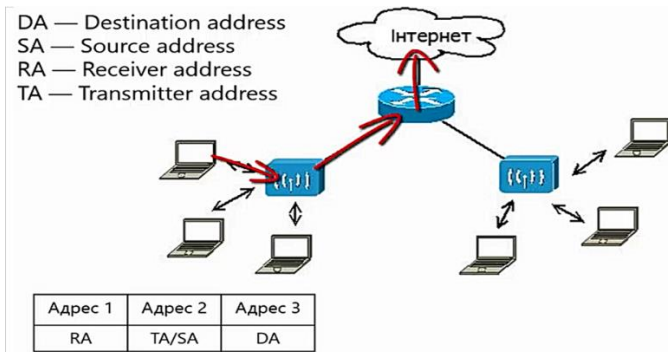


Рис. 2.2. Передача кадрів у провідне середовище

На рисунку 2.3 бачимо адреси, які використовуються під час передачі кадрів із дротового середовища до бездротового (найчастіше із зовнішньої кабельної мережі у внутрішню безпроводову).

У першому полі вказані адреси Reciever Address/DA - це є MAC адреса комп'ютера (як кінцевого вузла одержувача) та як пристрою, який приймає кадри з бездротового середовища.

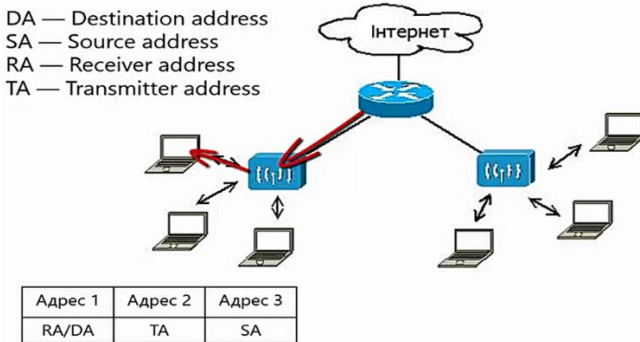


Рис. 2.3. Передача кадрів з дротового середовища

Далі MAC адреса точки доступу – (Transmitter Address яка приймає кадри із дротової мережі) та SA це адреса відправника (або MAC маршрутизатора, який відправив дані до мережі).

При організації безпроводового мосту в таблиці бачимо адреси, які використовуються під час передачі кадрів (рис. 2.4). Це всі чотири адреси в ситуації, коли два провідні клієнти підключені до бездротових точок доступу – зв'язок між самими точками доступу здійснюється по бездротовій мережі. Адреса 1. Reciever Address, MAC адреса точки доступу одержувача. Адреса 2. Transmitter Address, MAC адреса точки доступу відправника. Адреса 3. Destination Address, MAC адреса одержувача. Адреса 4. Source Address, MAC адреса відправника.

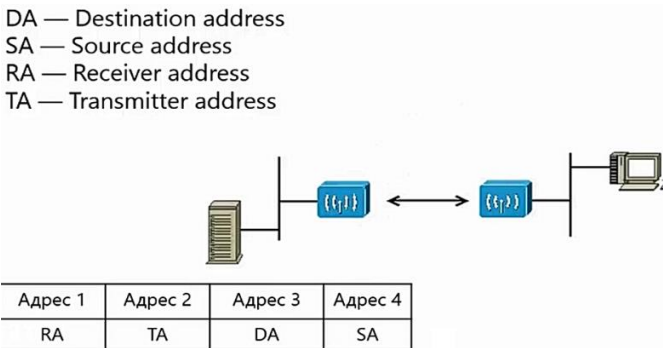


Рис. 2.4. Передача кадрів з дротового середовища

3 ТЕХНОЛОГІЇ МЕРЕЖ МАЛОГО РАДІУСУ ДІЇ

3.1 Самоорганізовані мережі

Самоорганізовані мережі в класифікації поділяються на Ad-hoc мережі та мережі з відносно стійкою архітектурою. До класу Ad-hoc мереж віднесені мережі в яких зміна архітектури відбувається автоматично при настанні деяких нових умов її функціонування або навіть існування. По суті, це мобільні мережі довільної структури. Тобто бездротові ad-hoc мережі є динамічними мережами, що самоналаштовуються та в яких вузли можуть вільно переміщатися у просторі. Що стосовно мереж із відносно стійкою архітектурою, то до них віднесено бездротові mesh мережі – це мережі, які побудовані на основі бездротової локальної мережі, найчастіше, одного зі стандартів Wi-Fi мережі і, як до неінфраструктурних, відносять ще мережі, побудовані за технологію Bluetooth та інші.

До цих двох видів мереж, що самосинхронізуються, додамо WSN (Wireless Sensor Networks) - бездротові сенсорні (або телеметричні) мережі, які складаються з малогабаритних сенсорних вузлів із функціями обробки та передачі даних по радіоканалах. Особливість їх у тому, що вони можуть, залежно від завдання, поставленого проектувальником відповідно до технічного завдання, будуватися як mesh або ad hoc мережі. Бездротові сенсорні мережі – це мережі, що складаються з просторово-розподілених автономних пристроїв, які використовують сенсори для спільного контролю фізичного стану та умов навколишнього середовища. Кожен вузол сенсорної мережі зазвичай оснащений радіопередавачем, невеликим мікроконтролером та батареєю.

Бездротова мережа ad-hoc – є децентралізованою (одноранговою) мережею без постійної структури. Основний принцип її роботи – це коли пристрої з'єднуються "на льоту" в мережу, в будь-якому місці і в будь-який час, і намагаються переслати дані для інших вузлів. Пошук (або визначення) вузла, якому необхідно переслати дані, виконується динамічно, виходячи з поточних зв'язків мережі – і це є основною відмінністю від дротових мереж і керованих (або фіксованих) бездротових мереж.

Є декілька видів таких мереж, це: MANET (Mobile Ad-hoc мобільні однорангові мережі), VANET (Vehicular ad-hoc – транспортні

мережі), HANET (Home ad-hoc - домашні мережі), SPAN (Smartphone ad-hoc - мережі смартфонів), FANET (Flying Ad-Hoc - мережі безпілотних літальних апаратів). MANET мережі (Mobile Ad-hoc) – це радіомережі з випадковими мобільними абонентами, які реалізують повністю децентралізоване управління за відсутності базових станцій або опорних вузлів. Топологія, яку вони використовують, швидко змінюється та підтримує випадкове з'єднання вузлів.

Mesh мережа – це така мережева структура, в якій вузли (або точки доступу) поєднуються між собою одним чи декількома з'єднаннями (або mesh лініями) (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Mesh мережа

Mesh мережі – це радіомережі комірчастої (сіткової) структури, що складаються з бездротових стаціонарних маршрутизаторів, які створюють бездротову магістраль та зону обслуговування мобільних/або стаціонарних абонентів, які мають доступ до одного з маршрутизаторів за топологією – зірка, з випадковим з'єднанням опорних вузлів (і це відбувається у межах зони радіозв'язку). Зазвичай, топологія визначається завданнями для яких будується mesh мережа.

3.2 Бездротова сенсорна мережа

Бездротова сенсорна мережа (wireless sensor network) – це бездротова мережа з низькою швидкістю передачі даних та наднизьким енергоспоживанням вузлів (рис. 3.2). Основне завдання – збирання

інформації від розподілених у просторі датчиків та передача команд управління.

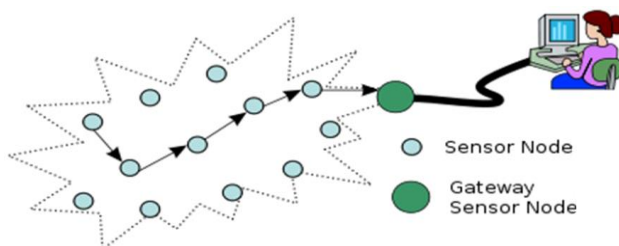


Рис. 3.2. Бездротова сенсорна мережа

Відповідно до класифікації їх ділять:

- за мобільністю: на стаціонарні; рухомі та гібридні;
- за організацією: на децентралізовані, ієрархічні та гібридні сенсорні мережі;
- за середовищем моніторингу: на наземні, повітряні, морські, підземні;
- за параметром моніторингу: на акустичні, оптичні, сейсмічні, хімічні та інші мережі.

При цьому сенсорні вузли тактичних мереж повинні швидко адаптуватися до частих змін топології мережі, трафіків і ефективно використовувати обмежені мережеві ресурси.

Розподілена мережа, що самоорганізується (SON - self-organization), це мережа, яка складається з безлічі датчиків (сенсорів) і виконавчих пристроїв, які об'єднані між собою радіоканалом. Область покриття - від кількох метрів до кількох кілометрів за рахунок можливості ретрансляції повідомлень від одного елемента до іншого.

Датчик (сенсор) – поняття, що використовується в системах управління – це чутливий елемент вимірювального, сигнального, регулюючого або керуючого пристрою системи, що перетворює вимірювану величину (будь-якої фізичної природи) в зручний для використання сигнал. Він самоорганізується та працює як єдиний організм (який існує самостійно і вважається самостійним об'єктом).

До найбільш поширених і застосовуваних на даний момент відносяться такі технології:

- Wi-Fi, Bluetooth та Bluetooth LE (Bluetooth Low Energy – це Bluetooth з низькими енергетичними витратами) – найчастіше їх використовують домашні пристрої автоматизації: камери, які використовують протокол IP; автоматичні дверні замки; тощо;

- Sub-1 GHz – використовують різні системи автоматизації, завдання яких передавати дані на великі відстані та економити енергію Sub-1 GHz - прилади для діапазону до 1 ГГц;

- ZigBee, Thread – підтримують масштабованість розміру мережі, низьке енергоспоживання, відмовостійкість і відсутність повністю вбудованої моделі взаємодії між пристроями;

- NFC - технологія, що підтримує безконтактний обмін даними.

У даних технологій є багато спільного і звичайно ж є відмінності, які можна відстежити використовуючи їх порівняння за тими чи іншими параметрами і характеристиками, а далі вже самостійно визначитися за яких умов краще користуватися конкретною технологією.

Технологія Sub-1 GHz – промисловість, наука, медицина, частотні діапазони нижче 1 GHz (регіональні). Можуть використовуватися безкоштовно за умови дотримання вимог по ширині смуги, випромінюваної потужності (до 10мВт – частота 434 МГц та до 25мВт – частота 868 МГц). У частотному діапазоні 433.075 - 434.750 МГц = 1675 КГц використовуючи вузькосмуговий CC1125 (Трансвер-прийомо-передавач) можна створити до 268 мереж працюючих одночасно. Технологія задовольняє жорстким вимогам, що кидають виклик розробникам систем IoT. У неї є чотири переваги: далекодія, спектр, низька потужність і гнучкість програмного забезпечення.

Далекодія прийомопередавачів та бездротових мікроконтролерів (МК) поставила Sub-1 GHz в особливе положення в порівнянні з альтернативними технологіями. Передачі Sub-1 GHz мають ефективний діапазон, що перевищує 100 км. Займаючи частотні ISM-діапазони у бездротовому спектрі нижче 1 ГГц, зв'язок за технологією Sub-1 GHz унікає значно більш перевантаженого частотного діапазону 2,4 ГГц де працюють Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee та інші протоколи зв'язку. Додаткова ефективність від роботи в неперевантаженому частотному діапазоні та інші фактори знижують потужність споживану пристроями Sub-1 GHz - вузли можуть працювати до 10 років на одній батарейці.

3.3 Бездротовий стандарт Bluetooth Low Energy (BLE)

Однією з бездротових мережних технологій, що найбільш часто зустрічаються в повсякденному житті після стільникового зв'язку, є Bluetooth. Завдяки відносно високій швидкості передачі даних і непоганим енергетичним показникам технологія Bluetooth отримала широке поширення в мобільних електронних пристроях, персональних комп'ютерах, ноутбуках, бездротових навушниках, гарнітурі, мультимедійних центрах. Стандарт дозволяє підтримувати досить розгалужену і складну мережу пристроїв. Однак, для застосування в сенсорних мережах класичний Bluetooth підходить мало через значне енергоспоживання для автономних джерел живлення, внаслідок особливостей роботи стека протоколів.

Технологія Bluetooth Low Energy (BLE) - Bluetooth 4.0 є, розробленою групою Bluetooth Special Interest Group (SIG), технологією бездротового зв'язку для ближніх комунікацій. На відміну від попередніх стандартів - Bluetooth 2.0, Bluetooth 2.1 + EDR, Bluetooth 3.0, стандарт BLE з самого початку орієнтований на застосування в системах збору даних та моніторингу з автономним живленням. На відміну від технологій сенсорних мереж, таких як ZigBee, 6LoWPAN або Z-Wave, орієнтованих на розгалужені розподілені мережі з численними передачами даних між вузлами мережі, Bluetooth Low Energy орієнтований на топології типу точка-точка і зірка. Основними областями застосування BLE є пристрої забезпечення безпеки, управління електроприладами і відображення показань, датчиків на батареях, домашніх медичних приладах, спортивних тренажерах.

Успіх попередніх версій Bluetooth, підтверджено практично масовим застосуванням бездротових інтерфейсів даних стандартів. Зокрема IETF 6LoWPAN Working Group розглядає BLE як одну із значних складових "Інтернету речей" і розробляє специфікацію, що дозволяє транслювати пакети IPv6 за допомогою BLE.

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 каналний рівень і реалізується у вигляді систем-на-кристалі (СНК) і інтегрованим бездротовим трансивером. Частина стека, яка 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). Додаткова функціональність прикладного рівня реалізується поверх рівня вузла мережі. На рисунку 3.3 представлена структура стека протоколів BLE.

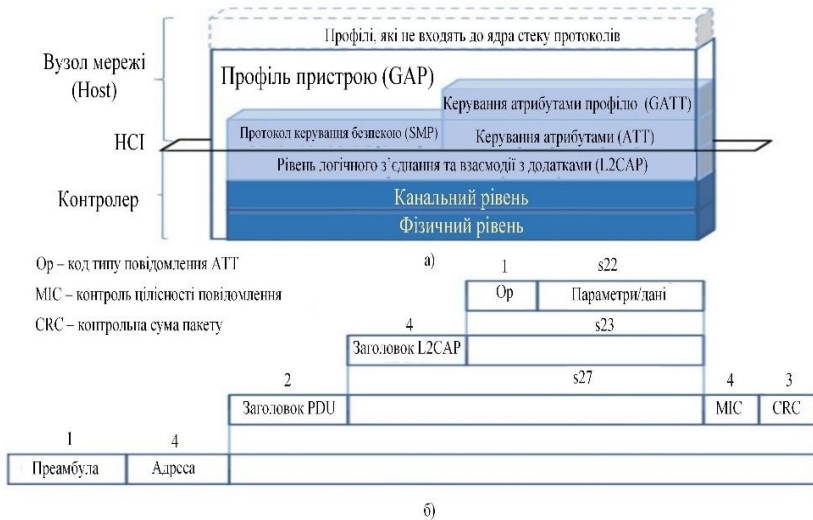


Рис. 3.3. Структура стека протоколів BLE

Незважаючи на те, що деякі функції контролера BLE запозичені від класичного Bluetooth, вони не сумісні між собою, тобто пристрій, який підтримує тільки BLE (однорежимний пристрій - single-mode device) не зможе взаємодіяти з пристроєм, який підтримує тільки Bluetooth 2.x/3.0. Для здійснення взаємодії між ними хоча б один з них має підтримувати обидва стека протоколів (дворежимні пристрої - dual-mode device).

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Киричек Г.Г. Конспект лекцій з дисципліни «Комп'ютерні мережі» для студентів спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія, усіх форм навчання. – Запоріжжя: Національний університет «Запорізька політехніка», 2024. – 58 с.

2. Методичні вказівки до виконання самостійних робіт з дисципліни "Бездротові технології" для студентів спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія, усіх форм навчання. Використання стенду Емона Telecoms-Trainer / Укл. Г.Г Киричек. – Запоріжжя: Національний університет «Запорізька політехніка», 2024. – 30 с.

3. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Бездротові технології" для студентів спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія, усіх форм навчання. Бездротові мережеві з'єднання. Частина 1 / Укл. Г.Г Киричек. – Запоріжжя: Національний університет «Запорізька політехніка», 2024. – 30 с.

4. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Бездротові технології" для студентів спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія, усіх форм навчання. Бездротові мережеві з'єднання. Частина 2 / Укл. Г.Г Киричек. – Запоріжжя: Національний університет «Запорізька політехніка», 2024. – 30 с.

5. Boukerche, Azzedine. Algorithms and protocols for wireless, mobile ad hoc networks / Azzedine Boukerche. – New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., 2009. – 495 p.

6. Cordeiro, Carlos de Moraes. Ad hoc & Sensor Networks. Theory and Applications [Text] / Carlos de Moraes Cordeiro, Dharma Prakash Agrawal. – Singapore : World Scientific Publishing Co, 2006. – 642 p.

7. Hucaby D. CCNP Routing and Switching SWITCH 300-115 Official Cert Guide / D. Hucaby. – 2nd Edition. – USA: Cisco Press, 2015. – 578 p.

8. Odom, W. CCNA 200-301 Official Cert Guide, Volume 1. Cisco Press. 2019.

9. Odom, W. CCNA 200-301 Official Cert Guide, Volume 2. Cisco Press. 2019.

10. Бездротовий зв'язок (лише деякі моделі). Посібник користувача: <http://h10032.www1.hp.com/ctg/Manual/c01430367>.