



ХАРЬКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ СЕМЕНА КУЗНЕЦЯ

# ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ І КЛАСИФІКАЦІЯ БЕЗДРОТОВИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

## ЛЕКЦІЯ 1

Доцент кафедри кібербезпеки та ІТ  
к.т.н. Лимаренко Вячеслав Володимирович  
к.т. 066-0708586 (Viber, Telegram)

## Розподіл балів

**Лекції:** 12 лекцій, не оцінюються.

**Лабораторні роботи:** 6 робіт (12 «пар»),  $6 \times 10 = 60$  балів.

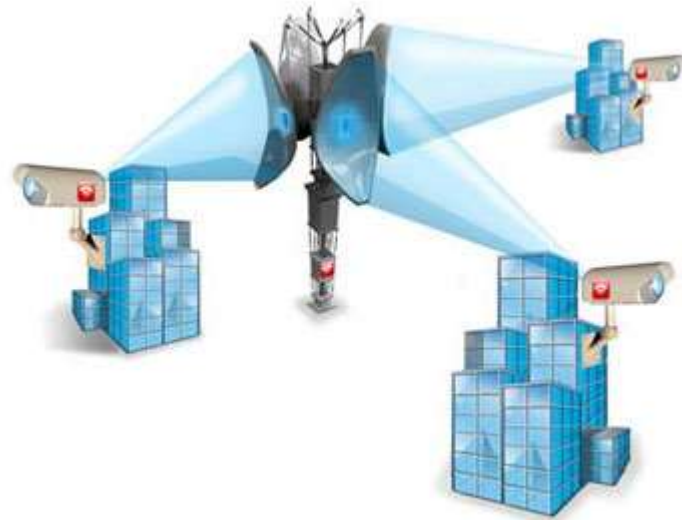
**Іспит:** 40 балів (допуск до іспиту: 35 балів за лабораторні роботи).

Ранок, лекція. Викладач запитує:  
- У вас очі червоні, всю ніч гуляли?  
- Ні!! За лекціями сумував, плакав!



Бездротові технології - підклас інформаційних технологій, що служать для передачі інформації на відстань між двома і більше точками, не вимагаючи зв'язку їх дротами. Для передачі інформації може використовуватися інфрачервоне випромінювання, радіохвилі, оптичне або лазерне випромінювання.

В даний час існує безліч бездротових технологій, найбільш часто відомих користувачам по їх маркетинговим назвам, таким як Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth. Кожна технологія має певні характеристики, які визначають її область застосування.



### **Класифікація бездротових технологій:**

1.Радіохвилі (Bluetooth, Wi-Fi, ...)

2.Оптичне / лазерне / ІК випромінювання (FSO, Li-Fi, IrDA)

3.Звукові хвилі (передача даних ультразвуком, протокол Dhwani)

**За дальності дії:**


**1.Бездротові персональні мережі** (WPAN - Wireless Personal Area Networks). Приклади технологій - Bluetooth, ZigBee. Стандарт WPAN розроблений робочою групою IEEE 802.15. WPAN застосовуються для зв'язку різних пристроїв, включаючи комп'ютерну, побутову та оргтехніку, засоби зв'язку і т. д. Радіус дії WPAN становить від кількох метрів до кількох десятків сантиметрів. WPAN використовується як для об'єднання окремих пристроїв між собою, так і для зв'язку їх з мережами більш високого рівня, наприклад, глобальною мережею інтернет.

**2.Бездротові локальні мережі** (WLAN - Wireless Local Area Networks).

Приклади технології - Wi-Fi.

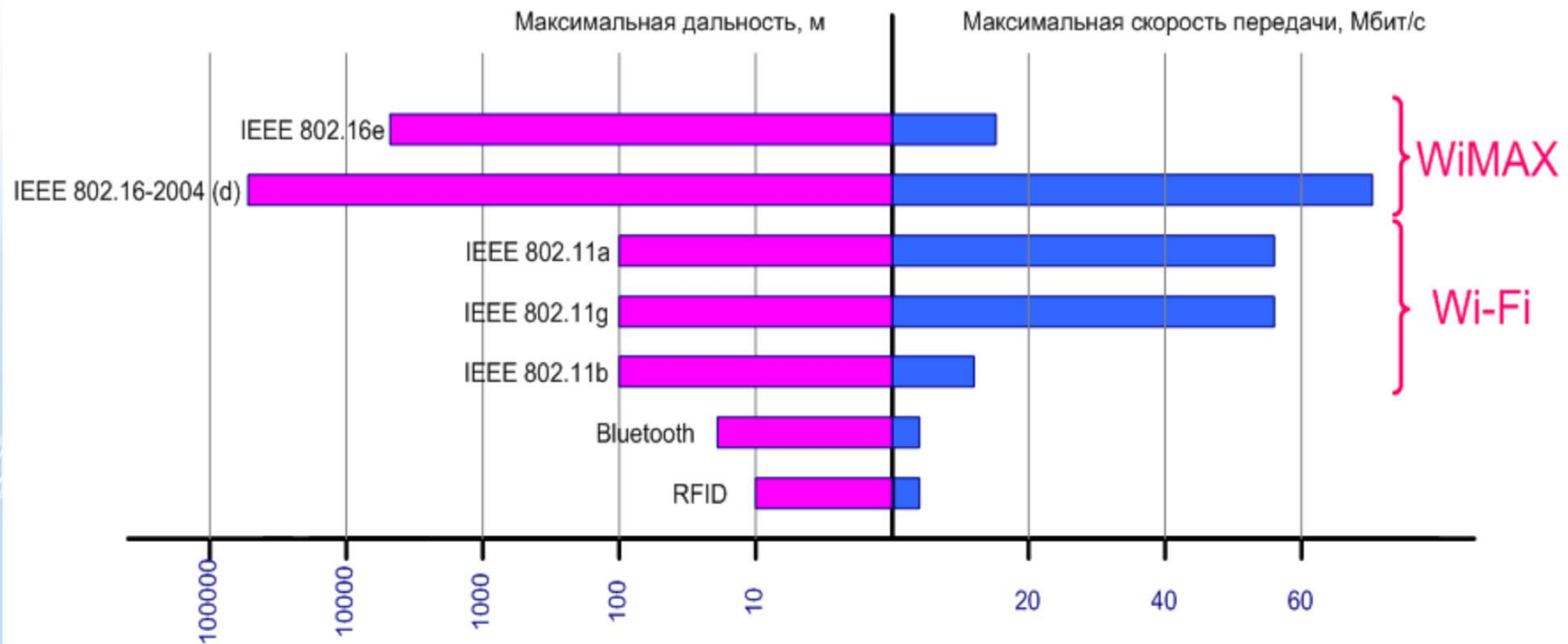
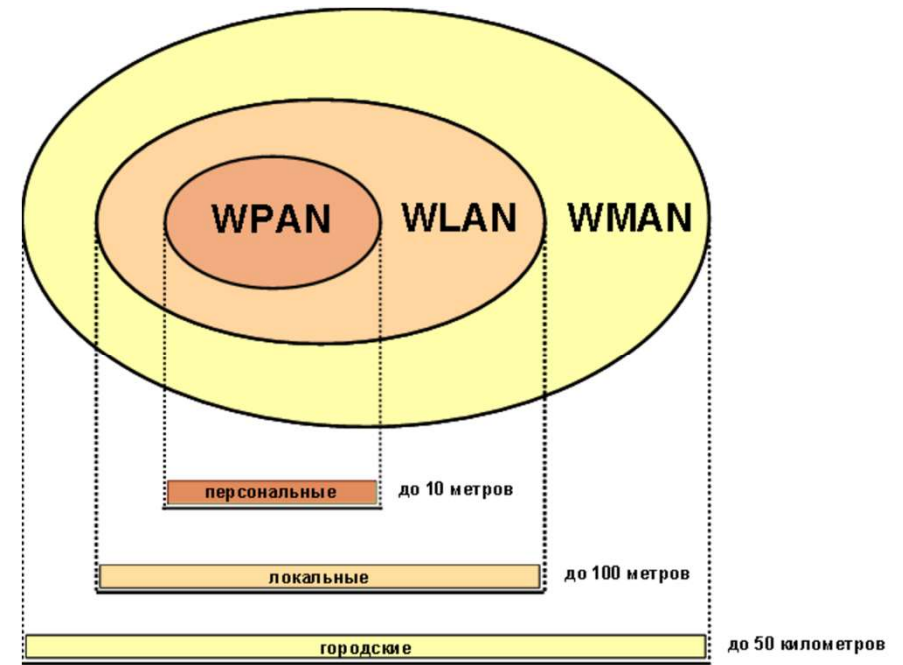
**3.Бездротова мережа масштабу кампусу** (WCAN - Wireless Campus Area Networks). Об'єднує кілька близько розташованих будівель. Такий варіант виділяється далеко не завжди і зазвичай є збільшеною мережею, що побудована за технологією WLAN із залученням додаткових технологій для забезпечення зв'язку між будівлями. Наприклад, в будівлях - Wi-Fi, а між будинками - АОЛС (FSO).





**4.Бездротові мережі масштабу міста** (WMAN - Wireless Metropolitan Area Networks). Приклади технологій - WiMAX. Надають широкосмуговий доступ до мережі через радіоканал. Основний стандарт - IEEE 802.16. Опублікований в 2002, описує wireless MAN Air Interface. 802.16 - це так звана технологія «останньої милі», яка використовує діапазон частот від 10 до 66 GHz. Так як це сантиметровий і міліметровий діапазон, то необхідна умова «прямої видимості».

**5.Бездротові глобальні мережі** (WWAN - Wireless Wide Area Network). Для передачі даних в них використовуються технології ПД по мережах мобільного зв'язку - CSD, GPRS, EDGE, EV-DO, HSPA. Відповідні послуги зв'язку пропонуються, як правило, на платній основі операторами регіонального, національного або навіть глобального масштабу. З точки зору видів комутації в мережах передачі даних мережі WWAN можуть бути побудовані на основі комутації пакетів (GPRS) або комутації каналів (CSD, HSCSD).



## ЗА ТОПОЛОГІЄЮ:



1. «Точка-точка».

2. «Кожен-з-кожним» або «повнозв'язна топологія».

3. «Зірка».

У такій топології всі дані передаються через центральний вузол, - бездротовий комутатор - точку доступу.

4. «Дерево» або «ієрархічна зірка».

Перший вузол дерева прийнято називати коренем, вузли високого рівня - батьківськими, а вузли нижчого рівня - дочірніми. Таким чином кожен дочірній вузол, який має зв'язок з більш низькими вузлами, є для цих вузлів батьківським.

5. «Осередкова / комірчаста» або «mesh-мережа».

Виходить з повнозв'язаної топології шляхом видалення деяких зв'язків. Побудована на принципі осередків, в яких робочі станції мережі з'єднуються одна з одною і здатні приймати на себе роль комутатора для інших учасників. Дана організація мережі є досить складною в налаштуванні, проте, в ній реалізується висока відмовостійкість. Велика кількість зв'язків забезпечує широкий вибір маршруту слідування трафіку всередині мережі - отже, обрив одного з'єднання не порушить функціонування мережі в цілому.

## ПО ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ:



**1.Корпоративні (відомчі) бездротові мережі** - створювані компаніями для власних потреб.

**2.Операторські бездротові мережі** - створювані операторами зв'язку для платного надання послуг.

**3.Бездротові сенсорні мережі або бездротові мережі датчиків** (WSN - Wireless Sensor Networks). Приклади технологій - ZigBee. Це розподілена мережа, що самоорганізується, і складається з безлічі датчиків і виконавчих пристроїв, об'єднаних між собою за допомогою радіоканалу. Область покриття подібної мережі може становити від декількох метрів до декількох кілометрів за рахунок здатності ретрансляції повідомлень від одного вузла до іншого.



**Wi-Fi** - торгова марка організації Wi-Fi Alliance для локальних бездротових мереж WLAN на базі специфікацій сімейства IEEE 802.11. Під аббревіатурою Wi-Fi (від англійського словосполучення Wireless Fidelity - «бездротова якість») розуміють ціле сімейство стандартів передачі цифрових потоків даних по радіоканалах. Будь-яке обладнання, що відповідає одному з стандартів сімейства IEEE 802.11, може бути протестовано в Wi-Fi Alliance і отримати відповідний сертифікат і право нанесення логотипу Wi-Fi.



**Wi-Fi Alliance** або - об'єднання найбільших виробників комп'ютерної техніки і бездротових пристроїв, що працюють за технологією Wi-Fi. Альянс розробляє сімейство стандартів 802.11 і методи побудови WLAN. Заснований в 1999 компаніями 3Com, Aironet (Cisco), Harris Semiconductor (Intersil), Lucent (Agere), Nokia і Symbol Technologies як альянс **WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance)**. У 2000 перейменований в Wi-Fi Alliance. На сьогоднішній день альянс об'єднує близько 600 компаній, що працюють в області бездротових технологій.



**IEEE 802.11** - набір стандартів зв'язку для комунікації в WLAN в частотних діапазонах 0,9; 2,4; 3,6 і 5 ГГц.



### **СПИСОК СТАНДАРТІВ (ЧАСТКОВО)**

При описі стандарту в дужках вказано рік його прийняття. Швидкість вказана брутто, тобто з урахуванням службового трафіку. Як правило, в самих ідеальних умовах корисна швидкість передачі даних по Wi-Fi не перевищує 50% каналної.

**802.11** - початковий 1 Мбіт/с і 2 Мбіт/с, 2,4 ГГц і ІК стандарт (1997). **802.11a** - 54 Мбіт / с, 5 ГГц стандарт (1999, вихід продуктів в 2001).

**802.11b** - поліпшення до 802.11 для підтримки 5,5 і 11 Мбіт/с, 2,4 ГГц (1999). **802.11g** - 54 Мбіт/с, 2,4 ГГц стандарт (назад сумісний з **b**) (2003).

**802.11n** - збільшення швидкості передачі даних (600 Мбіт/с). 2,4 або 5 ГГц. Сумісні з **802.11a/b/g** (вересень 2009).

**802.11u** - взаємодія з не-802 мережами (наприклад, стільниковими).

**802.11v** - управління бездротовими мережами.

**802.11y** - додатковий стандарт зв'язку, що працює на частотах 3,65 -3,70 ГГц. Забезпечує швидкість до 54 Мбіт / с на відстані до 5000 м на відкритому просторі.

**802.11ac** - Швидкість передачі даних - до 6,77 Гбіт / с для пристроїв, що мають 8 антен. (січень 2014).

**802.11ad** - новий стандарт з додатковим діапазоном 60 ГГц (частота не потребує ліцензування). Швидкість передачі даних - до 7 Гбіт / с.

**802.11ah** - стандарт, призначений для роботи в діапазоні ~ 900 МГц. Передбачається, що він дозволить забезпечити швидкість до 40 Мбіт / с. Основне призначення - інтернет-речей. (2007). З 2016 Wi-Fi Alliance анонсував розширення стандарту, що отримало назву Wi-Fi HaLow.



WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) - телекомунікаційна технологія, розроблена з метою надання універсального бездротового зв'язку на великих відстанях для широкого спектру пристроїв (від робочих станцій і портативних комп'ютерів до мобільних телефонів). Заснована на стандарті IEEE 802.16, який також називають Wireless MAN (WiMAX слід вважати жаргонною назвою, так як це не технологія, а назва форуму, на якому Wireless MAN і був узгоджений).

Назву «WiMAX» було створено організацією WiMAX Forum, яка була заснована в червні 2001 року з метою просування і розвитку WiMAX. Форум описує WiMAX як «засновану на стандарті технологію, яка надає високошвидкісний бездротовий доступ до мережі, альтернативний виділеним телефонним лініям і DSL». Максимальна швидкість - до 1 Гбіт/сек на осередок.





## ВАРІАНТИ WiMAX

### 802.16-2004 ( 802.16d, фіксований WiMAX або WiMAX<sup>pre</sup> ).

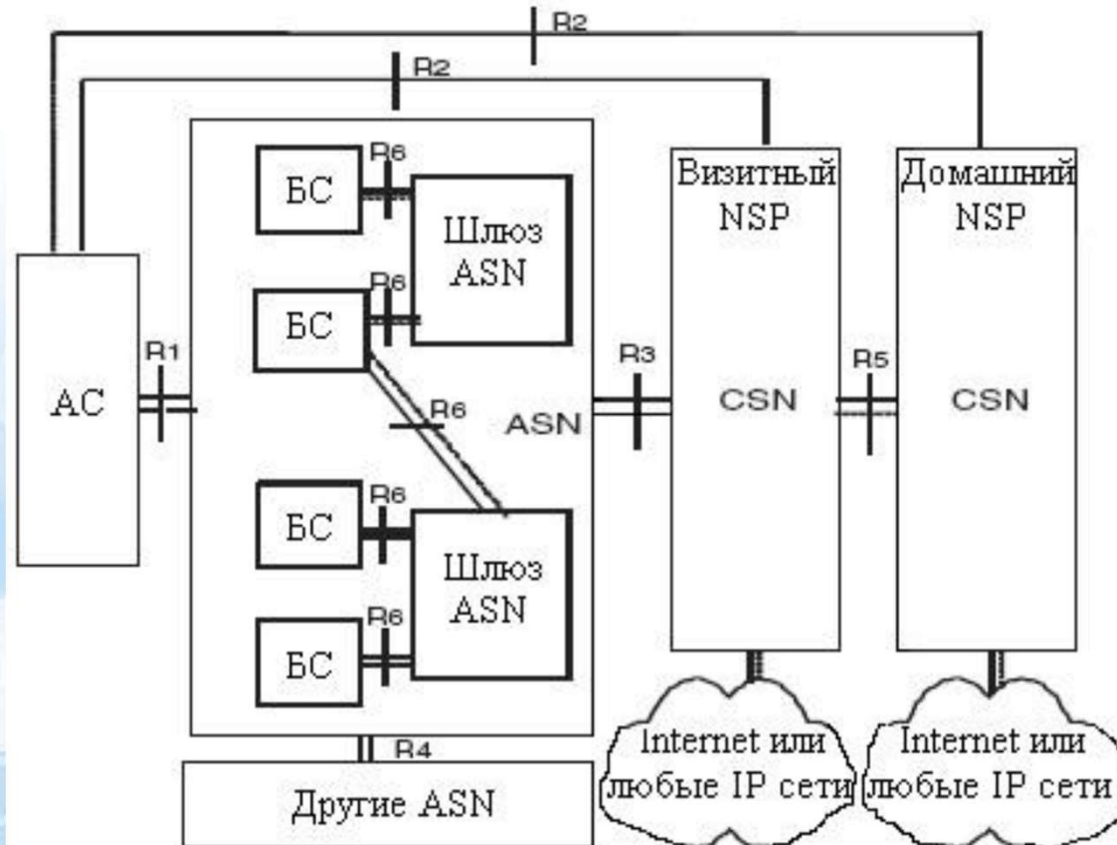
Специфікація затверджена в 2004 році. Використовується ортогональне частотне мультиплексування (OFDM), підтримується фіксований доступ в зонах з наявністю або відсутністю прямої видимості. Пристрої являють собою стаціонарні модеми для встановлення поза і всередині приміщень, а також PCMCIA-карти для ноутбуків. У більшості країн під цю технологію відведені діапазони 3,5 і 5 ГГц.

**802.16-2005 ( 802.16e, мобільний WiMAX).** Специфікація затверджена в 2005 році. Є розвитком технології фіксованого доступу (802.16d). Оптимізована для підтримки мобільних користувачів і підтримує ряд специфічних функцій, таких як хендовер, idle mode і роумінг. Застосовується масштабований OFDM-доступ (SOFDMA), можлива робота при наявності або відсутності прямої видимості. Частотні діапазони для мереж Mobile WiMAX: 2,3 -2,5; 2,5 -2,7; 3,4 -3,8 ГГц.

Основна відмінність двох технологій полягає в тому, що фіксований WiMAX дозволяє обслуговувати тільки «статичних» абонентів, а мобільний орієнтований на роботу з користувачами, що пересуваються зі швидкістю до 150 км/г. Мобільність означає наявність функцій роумінгу і «безшовного» перемикання між базовими станціями при пересуванні абонента (як відбувається в мережах стільникового зв'язку). В окремому випадку мобільний WiMAX може застосовуватися і для обслуговування фіксованих користувачів. WiMAX-системи, засновані на версіях стандарту IEEE 802.16 e і d, практично несумісні.

## Базова модель мережі WiMAX

Специфікації стандарту WiMAX описують передачу трафіку і сигнальний обмін тільки на радіоінтерфейсі. Щодо з'єднання БС з Інтернетом, мережами бездротового доступу і мережами сторонніх операторів, рішення по структурі мережі приймає оператор спільно з вендором (постачальником обладнання). З метою уніфікації та оптимізації WiMAX Forum запропонована базова структура мережі WiMAX - NRM (Network Reference Model) - є логічним поданням мережевої архітектури.



## **NRM поділяє систему на три логічні частини:**

-*Абонентські станції* (AC, SS / MS - the Subscriber Station / Mobile Station), що використовуються клієнтами для отримання доступу до мережі;

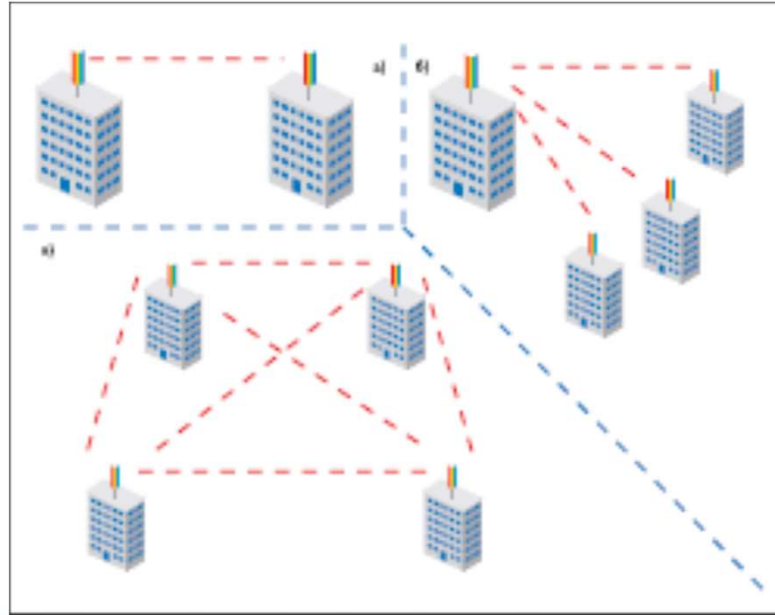
-*ASN (Access Services Network)* - мережа доступу до послуг, що є власністю оператора доступу до мережі (NAP - Network Access Provider); ASN включає одну або декілька базових станцій (БС), якими керує один або кілька шлюзів ASN (ASN-GW).

-*CSN (Connectivity Services Network)* - підмережа оператора, що сприяє виходу на IP і інші мережі для реалізації абонентських послуг. Ця підмережа реалізує необхідні комутаційні та безпекові функції. Абонента може обслуговувати оператор домашньої мережі NSP (Network Services Provider). Крім того, абонент може перебувати в роумінгу. В даному випадку його обслуговує оператор візитної мережі; при цьому здійснюється обмін сигнальною інформацією CSN візитного і домашнього оператора.

## Функції ASN:

- з'єднання на рівні L2 з AC;
- пошук і вибір мережі, ґрунтуючись на перевагах абонента про CSN / NSP;
- реалізація безпеки: передача інформації про пристрої, користувачів і послуги сервера безпеки, тимчасове зберігання профілів абонентів;
- створення наскрізних IP-з'єднань між AC і CSN;
- управління радіоресурс (RRM) відповідно до класу трафіку і необхідним QoS;
- підтримка мобільності, т. е. виконання процедур хендовера, локалізації та пейджинга.

## ТОПОЛОГІЯ МЕРЕЖІ



Для з'єднання «точка -точка» використовуються дві спрямовані один на одного антени; так будуються, наприклад, радіорелейні лінії передач, в яких відстань між сусідніми релейними вежами може обчислюватися десятками кілометрів.

При топології «точка -многоточка» в центрі «осередку» поміщається базова станція з всенаправленою або секторною антеною, а всі обслуговуємі абоненти забезпечуються сфокусованими на неї спрямованими антенами

Інший тип зв'язку вийде при використанні тільки всеспрямованих антен. У цьому випадку буде досягнута можливість з'єднання «кожного з кожним», або «багатоточка-багатоточка» (mesh).



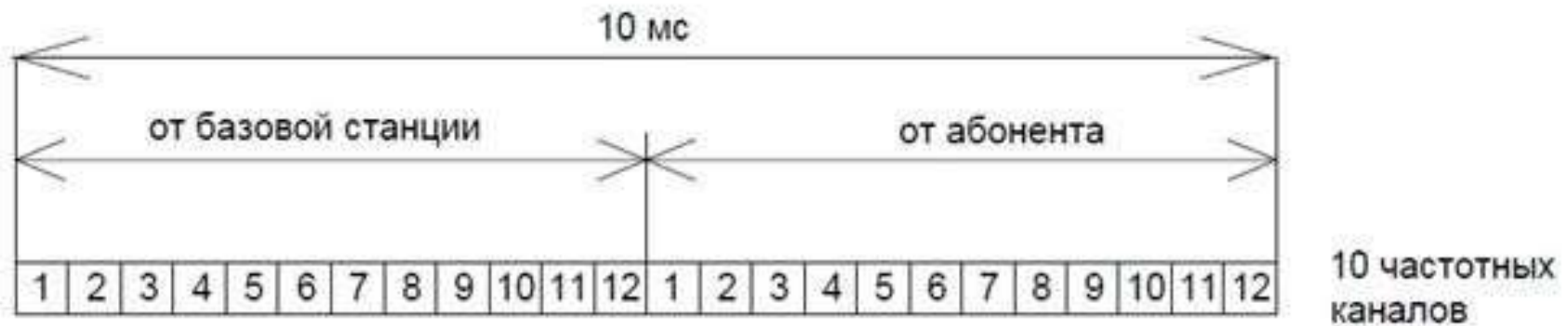
## **ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ В WiMAX**

У відповідності зі стандартом, для запобігання несанкціонованого доступу і захисту даних здійснюється шифрування всього переданого через мережу трафіку. БС WiMAX являє собою модульний конструктив, в який при необхідності можна встановити кілька модулів зі своїми типами інтерфейсів, але при цьому має підтримуватися адміністративне програмне забезпечення для управління мережею. Це програмне забезпечення забезпечує централізоване управління всією мережею. Логічне додавання в існуючу мережу абонентських комплектів здійснюється також через цю адміністративну функцію.

Абонентська станція (АС) являє собою пристрій, що має унікальний серійний номер, MAC-адреса, а також цифровий підпис X.509, на підставі якої відбувається аутентифікація АС на БС. При цьому, згідно зі стандартом, термін дієвості цифрового підпису АС становить 10 років. Після установки АС у клієнта і подачі живлення АС авторизується на БС, використовуючи певну частоту радіосигналу, після чого БС, ґрунтуючись на перерахованих вище ідентифікаційних даних, передає абоненту конфігураційний файл TFTP-протоколу. У цьому файлі конфігурації знаходиться інформація про поддіапазон передачі (прийому) даних, типі трафіку і доступною смузі, розклад розсилки ключів для шифрування трафіку і інша необхідна для роботи АС інформація. Необхідний файл з конфігураційними даними створюється автоматично, після занесення адміністратором системи АС в базу абонентів, з призначенням останньому певних параметрів доступу.

**DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunication)** - технологія бездротового зв'язку на частотах 1880 -1900 МГц з модуляцією GMSK ( $BT = 0,5$ ), використовується в сучасних радіотелефонах. Стандарт DECT є найбільш популярним стандартом бездротового телефону в світі завдяки простоті розгортання DECT-мереж, широкому спектру призначених для користувача послуг і високій якості зв'язку. За оцінками 1999 року, DECT прийнятий більш ніж в 100 країнах, а число абонентських пристроїв DECT в світі наближається до 50 мільйонам.

Радіоінтерфейс DECT ґрунтується на методології радіодоступу з використанням декількох несучих, принципу множинного доступу з поділом часу, дуплекса з поділом часу (Multy Carrier / Time-Division Multiple Access / Time-Division Duplexing - MC / TDMA / TDD). Виділення базової частоти DECT використовує 10 частотних каналів (MC) в діапазоні 1880 -1900 МГц. Тимчасовий спектр для DECT підрозділяється на тимчасові фрейми, що повторюються кожні 10 мс. Фрейм складається з 24 тимчасових слотів, кожен з яких індивідуально доступний (TDMA), слоти можуть використовуватися або для передачі або для прийому. У базовій мовній послугі DECT два тимчасових слота - з поділом в 5 мс - утворюють пару для забезпечення підтримуючої ємності зазвичай для повнодуплексних 32 kbps з'єднань (ADPCM - адаптивна диференціальна ІКМ - аудіокодек G.726). Для полегшення реалізацій базового стандарту DECT часовий фрейм в 10 мс розділяється на дві половини (TDD); перші 12 таймслотов використовуються для передачі фіксованої частини (downlink), а решта 12 - для передачі переносної частини (uplink).



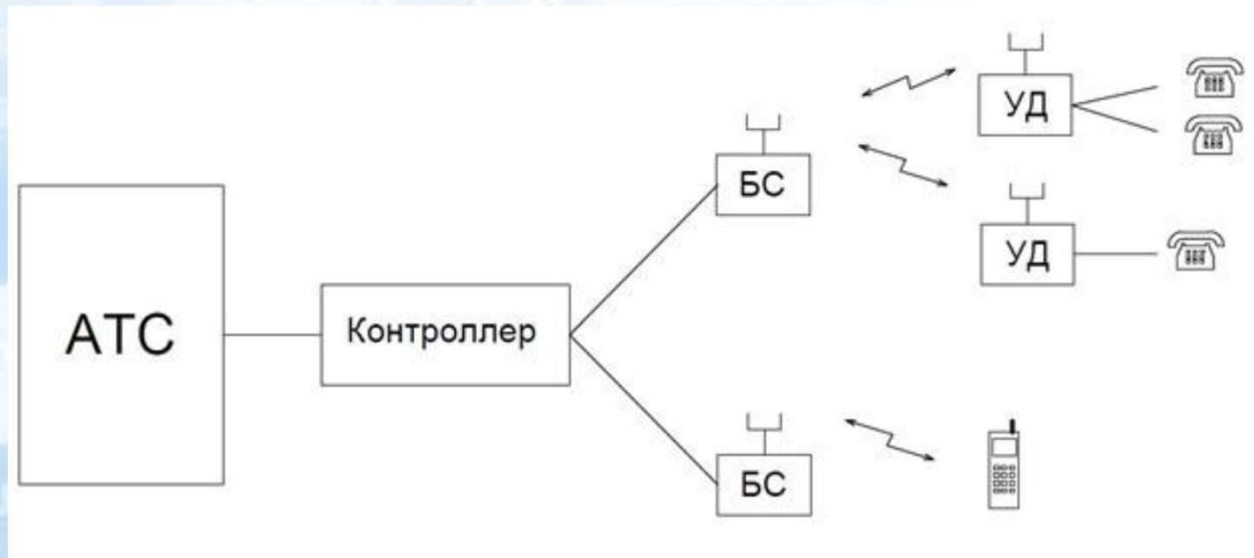
Структурою TDMA забезпечується до 12 одночасних голосових з'єднань DECT (повний дуплекс) на кожен трансивер, що дає значні цінові переваги в порівнянні з технологіями, що дозволяють тільки одне з'єднання на трансивер. Завдяки вдосконаленому радіопротоколу, DECT може пропонувати смуги частот різної ширини, з'єднуючи кілька каналів в одну несучу. Для цілей передачі даних досягаються захищені від помилок чисті швидкості в  $n \times 24$  kbps максимально до 552 kbps, при цьому, як обумовлено стандартом DECT, забезпечується повна безпека.

## Архітектура DECT

Основними складовими частинами будь-DECT-системи є:

- контролер управління;
- базові станції (ретранслятори); переносні (мобільні) телефони.

Завдяки параметрам базових станцій систем DECT можлива організація зон обслуговування (сот), розміри яких становлять 10 -30 м в будівлях і до 300 м на відкритому просторі. При використанні спрямованих антен (витягнута стільника) дальність зв'язку збільшується до декількох кілометрів, що забезпечує широке застосування систем DECT - від побудови домашніх односотових систем до мікростільникових мереж загального доступу.





**БС** - базова станція DECT забезпечує необхідне радіопокриття. БС підключається до контролера по одній або двом парам проводів. Вона являє собою приймач, що забезпечує одночасну роботу по 4 -12 частотним каналах, що працює на дві просторово рознесені антени. БС виконуються в двох варіантах - для внутрішнього і зовнішнього розміщення.

**УД** - пристрої доступу є мобільною трубкою або стаціонарний абонентський термінал, який іноді іменується «радіорозетка». Зустрічається також назва - абонентський радіоблок (АРБ).

БС DECT постійно передає сигнал, по крайній мірі, по одному каналу, таким чином виступаючи в якості маяка для з'єднання з УД. Передача може бути частиною активного зв'язку, а може бути холостий. Передача маяка БС містить службову інформацію про ідентифікацію БС, можливості системи, статус БС і пейджингову інформацію для встановлення вхідного зв'язку. УД, підключені до передачі маяка, проаналізують передану інформацію і визначають, чи є у УД права доступу до системи (лише ті УД, у яких є права доступу, можуть встановити зв'язок), чи відповідають можливості системи послуг, що вимагаються УД і - в тому випадку, якщо зв'язок необхідний - чи є у БС вільна ємність для встановлення радіозв'язку з УД.



## Види мереж DECT

Системи DECT розрізняються за розмірами і кількістю підключаються абонентських пристроїв.

### **ОСНОВНИМИ Є:**

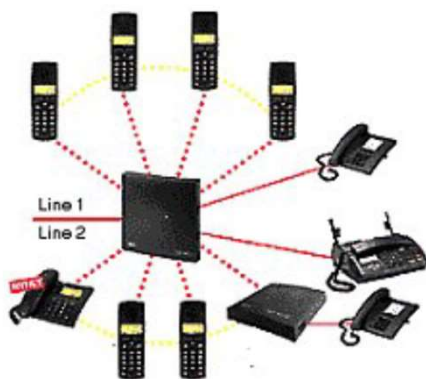
*Домашні багатотермінальні системи* (Home) - односотові системи домашнього використання, що підключаються безпосередньо до ТМЗК, з обмеженою кількістю абонентських трубок.

*Бізнес-системи* (Business) застосовуються для побудови бездротових офісних і відомчих мереж зв'язку, як правило, з використанням одного контролера і декількох базових станцій.

*Системи рівня підприємства* (Enterprise) використовуються для побудови територіально-розподілених корпоративних мереж зв'язку і забезпечують бездротовий зв'язок для великої кількості абонентів на обмеженій території.

*Мікростільникові системи загального користування* (Cordless Terminal Mobility - CTM) дозволяють обслуговувати велику кількість мобільних абонентів, що переміщаються з невеликою швидкістю (до 30 км / ч).

*Системи фіксованого абонентського радіодоступу* (Wireless Local Loop - WLL, Radio Local Loop - RLL) використовуються для швидкого бездротового підключення абонента або групи абонентів до ТМЗК в місцях, де не розвинені кабельні лінії зв'язку, або в місцях з малою щільністю абонентів, коли прокладка кабелів економічно недоцільна або фізично неможлива.



**Класична Home System** складається з одного базового блоку, що підключається зазвичай через звичайну аналогову лінію (1 або 2 лінії).

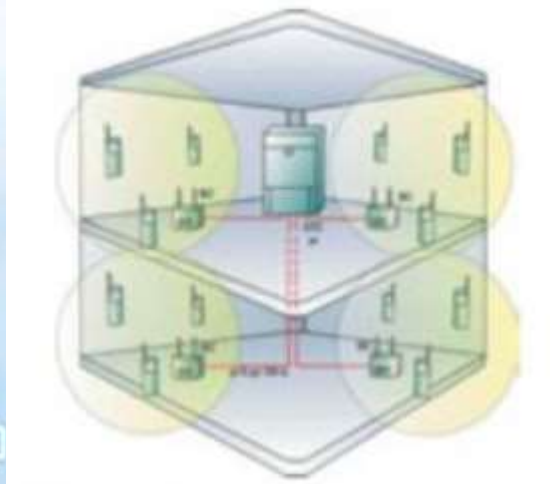
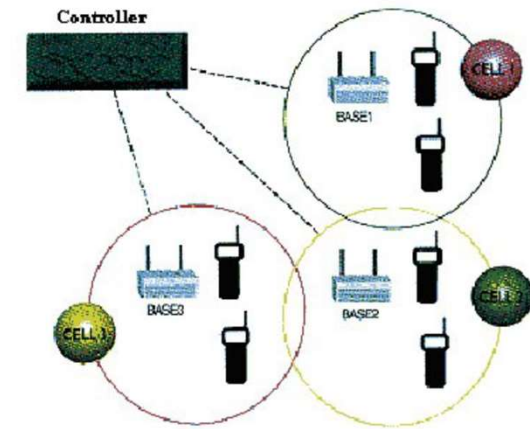
Встановлюється зазвичай в приватних квартирах. Доступно до підключення до 8 -10 мобільних трубок.

Забезпечують в рамках однієї бази 2 з'єднання між 2 трубками і 1 з'єднання між однією трубкою і аналоговою лінією одночасно. Мають розширений сервіс, такий як автовідповідач або АВН. Часто інтегрується з факсимільним апаратом. Приклади такої системи: Siemens Gigaset і Goodwin Lund.

Подібні системи випускають також LG і Sagem. Всі ці системи об'єднує одна неприємна властивість - Home System не підтримують хендовер (handover) - здатність системи "передавати" мобільного абонента з БС в БС і здатність мобільного трубки переключитися з БС в БС при погіршенні сигналу. Також існуюча здатність DECT-трубок реєструватися в багатьох системах це функція, відмінна від хендовера.<sup>25</sup>

**Стандартна Business System** складається з одного DECT контролера (часто контролер інтегрований в УАТС) і досить великої кількості БС.

БС підключаються до контролера по різних протоколах і різних лініях. Наприклад, компанія Matra Telecom підключає свої БС по ISDN-BRI зі швидкість 128 кбіт / с, що з урахуванням 32 kbps кодування ADPCM G.726 забезпечує чотири мовних каналу. Компанія DeTeWe підключає базові станції на свій власний протоколу, аналогічного ISDN-BRI. До БС можливо підключити до 2 таких ліній, що забезпечують в сумі 8 одночасних з'єднань на базу.



Типова схема організації  
естанов мережі зв'язку

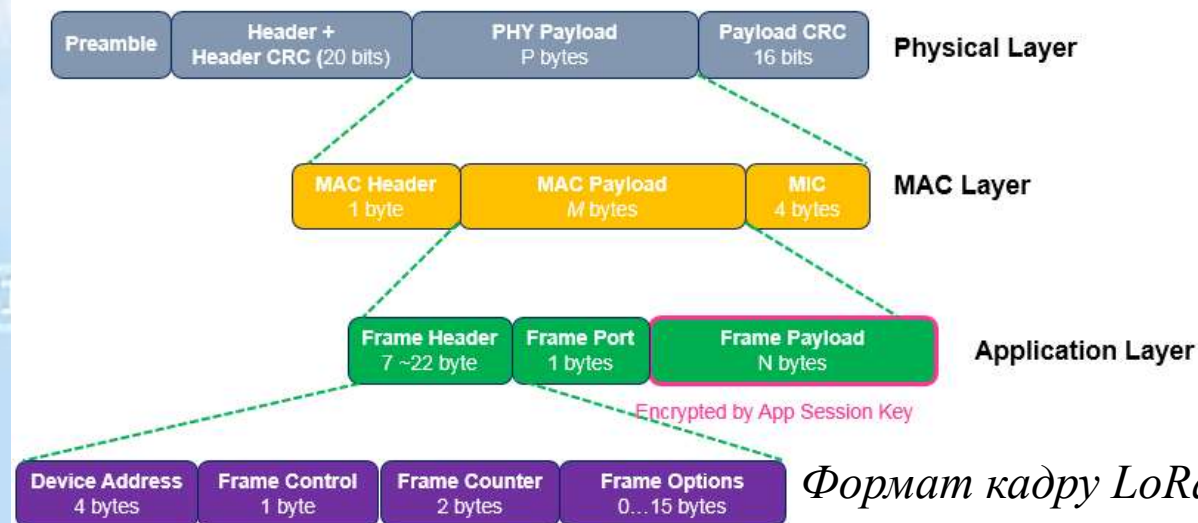
Компанія Philips розробила 6 і 12 каналні бази, що підключаються до контролера по 2 Mbps G.703. Максимальне видалення БС від контролера визначається характеристиками інтерфейсу сполучної лінії і може бути від 1,7 км до 5 км в залежності від виробника. Способи електроживлення також відрізняються: десь воно подається дистанційно, а десь - від окремого джерела.

## Технологія LoRa і мережа LoraWAN

LoRa (Long Range) - радіотехнологія і однойменний метод модуляції, розроблені і запатентовані компанією Semtech.

Технологія LoRa і побудована на її основі мережу LoraWAN були представлені широкій публіці в 2015 році компанією Semtech і дослідницьким центром IBM Research. Також на Всесвітньому мобільному конгресі MWC 2015 Барселоні було заявлено про створення консорціуму LoRa Aliance, в який увійшли Semtech, IBM, Cisco і багато інших компаній. На сьогодні в консорціум входять більше 500 компаній виробників електроніки і операторів зв'язку. Зокрема в консорціум входять оператор МТТ і інженерна компанія «Россмо».

### LoRa Frame Format

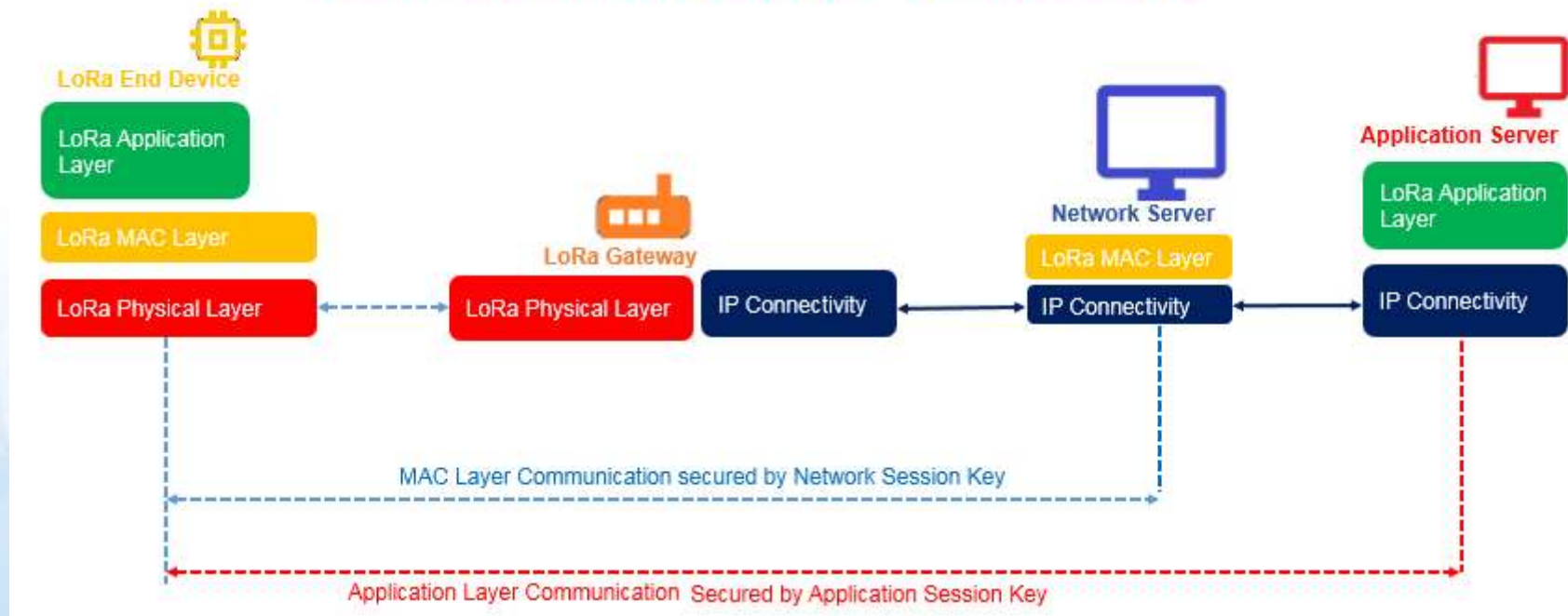




## Мережа та протокол LoraWAN

Мережа та однойменний протокол LoraWAN дозволяють сформувати бездротову мережу передачі даних для обміну інформацією між кінцевими вузлами LoRa і

### LoRa Network Protocols



*Взаємодія в мережі*



LoraWAN Типова мережа LoRaWAN складається з наступних елементів:

**1. Кінцевий вузол (End Node / Device)** призначений для здійснення керуючих або вимірювальних функцій. Він містить набір необхідних датчиків і керуючих елементів.

**2. Шлюз LoRa (Gateway / Concentrator)** - пристрій, що приймає дані від кінцевих пристроїв за допомогою радіоканалу і передає їх в транзитну мережу. В якості такої мережі можуть виступати Ethernet, WiFi, стільникові мережі та будь-які інші телекомунікаційні канали. Шлюз і кінцеві пристрої утворюють мережеву топологію типу зірка. *Зазвичай даний пристрій містить багатоканальні приймач для обробки сигналів в декількох каналах одночасно або декількох сигналів в одному каналі - частотне, тимчасове і кодове розділення.* Відповідно, кілька таких пристроїв забезпечує зону покриття мережі та прозору двосторонню передачу даних між кінцевими вузлами і сервером.

**3. Мережевий сервер (Network Server)** призначений для управління мережею: завданням розкладу, адаптацією швидкості, зберіганням і обробкою отриманих даних.

**4. Сервер додатків (Application Server)** може віддалено контролювати роботу кінцевих вузлів і збирати необхідні дані з них.

Для вирішення різних завдань і застосувань в мережі LoRaWAN передбачено три класи пристроїв:

**1.Двонаправлені кінцеві пристрої «класу А» (Bi-directional end-devices, Class A).** Пристрої цього класу застосовуються, коли необхідна мінімальна споживана потужність при переважанні передачі даних до сервера. Ініціатором сеансу зв'язку виступає кінцевий вузол, відправляючи пакет з необхідними даними, а потім виділяє два вікна, в перебігу яких чекає даних від сервера. Таким чином, передача даних від сервера можлива тільки після виходу на зв'язок кінцевого пристрою.

**2.Двонаправлені кінцеві пристрої «класу Б» (Bi-directional end-devices, Class B).** Основна відмінність від пристроїв «класу А» полягає в виділенні додаткового вікна прийому, яке пристрій відкриває за розкладом. Для складання розкладу кінцеве пристрій здійснює синхронізацію за спеціальним сигналом від шлюзу. Завдяки цьому вікну сервер має можливість почати передачу даних в заздалегідь певний час.

**3.Двонаправлені кінцеві пристрої «класу С» з максимальним прийомним вікном (Bi-directional end-devices, Class C).** Пристрої цього класу мають майже безперервне вікно прийому даних і закриває його лише на час передачі даних, що дозволяє їх застосовувати для вирішення завдань, що вимагають одержання великого обсягу даних.

## Протокол ZigBee



**ZigBee®** - це відкритий стандарт бездротового зв'язку для систем збору даних і управління. Технологія ZigBee дозволяє створювати самоорганізуються і самовідтворюваними бездротові мережі з автоматичною ретрансляцією повідомлень, з підтримкою батарейних і мобільних вузлів. Базується на бездротовому стандарті IEEE 802.15.4. Технологія відноситься до бездротових персональних обчислювальних мереж (WPAN).

Специфікація ZigBee орієнтована на програми, що вимагають гарантованої безпечної передачі даних при відносно невеликих швидкостях і можливості тривалої роботи мережевих пристроїв від автономних джерел живлення (батарей).

## **ЗАСТОСУВАННЯ**

Протоколи ZigBee розроблені для використання у вбудованих додатках, що вимагають низьку швидкість передачі даних і низьке енергоспоживання. Мета ZigBee - це створення недорогий, самоорганізується мережі з комірчастою топологією призначеної для вирішення широкого кола завдань. Мережа може використовуватися в промисловому контролі, вбудованих датчиках, зборі медичних даних, сповіщенні про вторгнення або задимлення, будівельної та домашньої автоматизації і т. п. Створена в результаті мережа споживає дуже мало енергії - індивідуальні пристрої згідно з даними сертифікації ZigBee дозволяють енергобатареям працювати два роки.

### **Типові області застосування:**

- Домашні розваги і контроль** - раціональне освітлення, просунутий температурний контроль, охорона і безпека, фільми і музика.
- Домашнє оповіщення** - датчики води та енергії, моніторинг енергії, датчики задимлення і пожежі, раціональні датчики доступу і переговорів.
- Мобільні служби** - мобільні оплата, моніторинг і контроль, охорона і контроль доступу, охорона здоров'я і телепомощь.
- Комерційне будівництво** - моніторинг енергії, HVAC (Heating, Ventilation, & Air Conditioning - Опалення, вентиляція і кондиціювання - ОВК), світла, контроль доступу.
- Промислове обладнання** - контроль процесів, промислових пристроїв, управління енергією і майном.



## Топологія мережі ZigBee

ZigBee підтримує прості топології мережі, такі як «точка-точка», «дерево» і «зірка». Однак, основним варіантом топології є самоорганізується і самовідновлюється порожнисту (mesh) топологію з ретрансляцією і маршрутизацією повідомлень. У такій мережі, кожен пристрій може зв'язуватися з будь-яким іншим пристроєм як безпосередньо, так і через проміжні вузли мережі. Mesh-мережі пропонує альтернативні варіанти вибору маршруту між вузлами. Повідомлення надходять від вузла до вузла, поки не досягнуть кінцевого одержувача. Можливі різні шляхи проходження повідомлень, що підвищує доступність мережі в разі виходу з ладу того чи іншого ланки. В мережі ZigBee існує 3 типи вузлів: координатор (ZC), роутер / маршрутизатор (ZR), кінцеві пристрої (ZED), які діляться на сплячі пристрої та мобільні пристрої.



Головний пристрій в ZigBee-мережі - це координатор. У кожній мережі є один координатор ZigBee. Координатор виконує функції по формуванню мережі, а також є одночасно довірчим центром (trust-центром). Довірчий центр встановлює політику безпеки, зберігає ключі безпеки і задає налаштування під час підключення пристрою до мережі.