



ЛЕКЦІЯ 8

Побудова та алгоритми функціонування бездротових сенсорних мереж

1. Способи передачі даних в БСМ.
2. Протоколи і технології передачі даних в БСМ.
3. Типи вузлів БСМ.



1. Способи передачі даних в БСМ

- У сенсорній мережі вузли зазвичай спілкуються за допомогою бездротового зв'язку. Зв'язок може здійснюватися за допомогою радіо, інфрачервоного випромінювання (ІЧ-порту) або оптичних сигналів. Одним з найбільш поширених варіантів радіозв'язку є використання смуг частот для промислових, наукових і медичних цілей ISM (Industrial, Scientific and Medical), які визначені Сектором радіозв'язку Міжнародного союзу електрозв'язку ІТУ-Р і доступні без ліцензій в більшості країн (табл.8.1). Деякі з цих частот вже використовуються в бездротових локальних мережах (WLAN).
- Для сенсорних мереж малого розміру і низької вартості підсилювач сигналу не потрібно. Апаратні обмеження і знаходження компромісу між ефективністю антени і споживанням енергії накладають певні обмеження на вибір частоти передачі в діапазоні надвисоких частот. Найчастіше використовуються такі частоти ISM – 433 МГц в Європі і 915 МГц в Північній Америці. Основними перевагами використання радіочастот ISM є широкий спектр частот і доступність по всьому світу. Вони не прив'язані до конкретного стандарту, тим самим дають велику свободу для реалізації енергозберігаючих стратегій в сенсорних мережах.

Рис.8.1 – Полосы частот ISM, визначені ІТУ-Р

Диапазон частот		Полоса	Центральная частота	Область применения
6.765 МГц	6.795 МГц	30 КГц	6.780 МГц	Локальное применение
13.553 МГц	13.567 МГц	14 КГц	13.560 МГц	
26.957 МГц	27.283 МГц	326 КГц	27.120 МГц	
40.660 МГц	40.700 МГц	40 КГц	40.680 МГц	
433.050 МГц	434.790 МГц	1.84 МГц	433.920 МГц	Европа, Африка, Ближний Восток, Россия
902 МГц	928 МГц	26 МГц	915 МГц	Северная и Южная Америка
2.4 ГГц	2.5 ГГц	100 МГц	2.45 ГГц	
5.725 ГГц	5.875 ГГц	150 МГц	5.8 ГГц	
24 ГГц	24.25 ГГц	250 МГц	24.125 ГГц	
61 ГГц	61.5 ГГц	500 МГц	61.25 ГГц	Локальное применение
122 ГГц	123 ГГц	1 ГГц	122.5 ГГц	Локальное применение
244 ГГц	246 ГГц	2 ГГц	245 ГГц	Локальное применение

- Іншим можливим способом зв'язку в сенсорних мережах є використання ІЧ-портів. ІЧ-зв'язок доступний без ліцензії і захищений від перешкод електричних приладів. ІЧ передавачі дешевше і простіше у виробництві. Багато сьогоднішніх ноутбуків, КПК і мобільних телефонів використовують ІЧ-інтерфейс для передачі даних. Основним недоліком такого зв'язку є вимога прямої видимості між відправником і одержувачем. Це робить ІЧ-зв'язок небажаним для використання в сенсорних мережах через середовища передачі.
- Є також вузли БСМ, які використовують для передачі оптичне середовище.
- Застосовуються дві схеми передачі - пасивна з використанням світловідбивачів ССР (Corner-Cube Retroreflector) і активна з використанням лазерного діода і керованих дзеркал. У першому випадку не потрібно інтегроване джерело світла, для передачі сигналу використовується конфігурації з трьох дзеркал ССР. Активний метод використовує лазерний діод і систему активного лазерного зв'язку для відправки світлових променів приймача.
- Особливі вимоги до застосування сенсорних мереж роблять вибір середовища передачі складним завданням. Наприклад, морські додатки вимагають використання водного середовища передачі. Тут потрібно використовувати довгохвильові випромінювання, які можуть проникати крізь поверхню води. У важкодоступній місцевості або на поле бою можуть виникнути помилки і великі перешкоди. Крім того може виявитися, що антени вузлів не володіють потрібною висотою і потужністю випромінювання для зв'язку з іншими пристроями. Отже, вибір передавального середовища повинен супроводжуватися надійними схемами модуляції і кодування, що залежить від характеристик передавального каналу.

2. Протоколи і технології передачі даних в БСМ

- За розмірами фізичної зони розміщення БСС відносяться до класу бездротових персональних обчислювальних мереж WPAN (Wireless Personal Area Networks). Найважливішим фактором при роботі бездротових сенсорних мереж є обмежена ємність батарей, що встановлюються на сенсорні вузли. Слід враховувати, що замінити батареї найчастіше неможливо. У зв'язку з цим необхідно виконувати на сенсорах тільки найпростішу первинну обробку, орієнтовану на зменшення обсягу інформації, що передається, і, що найголовніше, мінімізувати число циклів прийому і передачі даних. Для вирішення цього завдання розроблені спеціальні комунікаційні протоколи.
- Найбільш відомими з протоколів БСС є протоколи альянсу ZigBee. Для вироблення стандарту стека протоколів для бездротових сенсорних мереж альянс ZigBee використовував розроблений раніше стандарт IEEE 802.15.4, який описує фізичний рівень і рівень доступу до середовища для бездротових мереж передачі даних на невеликі відстані (до 75 м) з низьким енергоспоживанням, але з високим ступенем надійності.
- Стандарт IEEE 802.15.4 є базовою основою не тільки для протоколів ZigBee, але і інших більш високорівневих протоколів (6LoWPAN, DigiMesh і ін.), і дозволяє будувати за допомогою програмних надбудов на мережевому рівні і вище будь-яку топологію мережі.

- На даний момент альянс ZigBee розробив єдиний в цій області стандарт, який підкріплений наявністю виробництва повністю сумісних апаратних і програмних продуктів. Протоколи ZigBee дозволяють створювати сенсорні мережі, що самоорганізуються і самовідтворюються. Пристрої ZigBee мережі завдяки вбудованому програмному забезпеченню мають здатність при включенні живлення самі знаходити один одного і формувати мережу, а в разі виходу з ладу будь-якого з вузлів можуть встановлювати нові маршрути для передачі повідомлень. Протоколи ZigBee дозволяють пристроям перебувати в сплячому режимі більшу частину часу, що значно подовжує термін служби батареї. Дальність впевненої передачі радіосигналу вузлів ZigBee мережі залежить від багатьох параметрів (в першу чергу - від чутливості приймача і потужності передавача), але в середньому відстань між вузлами мережі Zigbee на відкритому просторі становить сотні, а в приміщенні - десятки метрів.
- Сенсорні мережі, що самоорганізуються, можуть бути реалізовані також на основі бездротової технології Bluetooth. Такі мережі складаються з ведучих та ведених пристроїв (ці ролі можуть поєднуватися), здатних передавати дані як в синхронному, так і в асинхронному режимах. Синхронний режим передачі передбачає прямий зв'язок між ведучим і веденим пристроями із закріпленим каналом і часовими слотами доступу.

- Даний режим використовується в разі обмежених за часом передач. Асинхронний режим передбачає обмін даними між ведучим і декількома веденими пристроями з використанням пакетної передачі даних. Один пристрій (як ведучий, так і ведений) може підтримувати до 3-х синхронних з'єднань.
- Спеціально для реалізації БСМ є версія специфікації ядра бездротової технології Bluetooth v.4.0, що отримала назву Bluetooth з низьким енергоспоживанням (Bluetooth low energy або Bluetooth LE або BLE). Пристрої, що використовують BLE, можуть працювати більше року на одній мініатюрній батарейці типу таблетка без підзарядки. Таким чином, можна мати, наприклад, невеликі датчики, що працюють безперервно (наприклад, датчик температури), спілкуються з іншими пристроями, такими як стільниковий телефон або КПК. Ця версія специфікації Bluetooth дає можливість підтримки широкого діапазону додатків і зменшує розмір кінцевого пристрою для зручного використання в області охорони здоров'я, фізкультури і спорту, охоронних систем і домашніх розваг.

- Для реалізації БСМ може бути використаний також набір стандартів зв'язку IEEE 802.11 (більш відомий під торговою маркою WiFi). Бездротові мережі WiFi спочатку були задумані як спосіб заміни провідних обчислювальних мереж. Однак, відносно високі швидкості передачі (до 108 Мбіт/с) роблять перспективним можливе застосування в сенсорних мережах, що самоорганізуються, в яких необхідно передавати великі обсяги інформації в реальному часі (наприклад, відеосигналу).
- Для організації ієрархічних бездротових ad-hoc мереж з мобільними і статичними вузлами (mesh-мережі) розробляється протокол IEEE 802.11s. У ньому запропоновано новий протокол MAC рівня для бездротових mesh-мереж і визначено, крім усього іншого, протоколи вибору шляху і пересилання повідомлень.
- На відміну від традиційних мереж WiFi, в яких існує тільки два типи пристроїв - «точка доступу» і «термінал», стандарт 802.11s передбачає наявність так званих «вузлів мережі» і «порталів мережі». Вузли можуть взаємодіяти один з одним і підтримувати різні служби. Вузли можуть бути суміщені з точками доступу, портали ж служать для з'єднання з зовнішніми мережами. На основі вже існуючих стандартів IEEE 802.11 можна будувати MANET-мережі (мобільні мережі, що самоорганізуються), відмінною рисою яких можна назвати велику зону покриття (кілька квадратних кілометрів). Порівняння характеристик БСМ приведено в табл. 8.2.

Таблица 8.2 - Характеристики радиотехнологий БСС

Технология (стандарт)	ZigBee (IEEE 802.15.4)	WiFi (IEEE 802.11b)	Bluetooth (IEEE 802.15.1)
Частотный диапазон	2.4-2,483 ГГц	2.4-2,483 ГГц	2.4-2,483 ГГц
Пропускная способность, кбит/с	250	11000	7131,1
Размер стека протоколов, кбайт	32-64	более 1000	более 250
Время непрерывной автономной работы от батареи, дни	100-1000	0,5-5	1-10
Максимальное число узлов в сети	65536	10	7
Диапазон действия, м	10-100	20-300	10-100
Области применения	Удаленный мониторинг и управление	Передача мультимедийной информации	Замещение проводного соединения

- БСМ можуть бути реалізовані також на базі бездротової технології зв'язку на малих відстанях при низьких витратах енергії UWB (Ultra-Wide Band, надширока смуга), що використовує в якості несучої надширокопосмугові сигнали з вкрай низькою спектральною щільністю потужності. Для безліцензійного використання надширокопосмугових сигналів в Російській Федерації рішенням ГКРЧ від 15 грудня 2009 р № 09-05-02 виділений діапазон 2,85 ... 10 ГГц. При цьому спектральна щільність потужності $S_{\text{нп}}$ прийомопередавача при роботі в приміщенні не повинна перевищувати -47 ... -45 дБм/МГц. Використання надширокої смуги частот (не менше 500 МГц) дозволяє UWB досягти швидкості передачі до 480 Мбіт/с на відстані до 3 м. На дистанціях до 10 м технологія дозволяє досягти лише 110 Мбіт/с.

3. Типи вузлів БСМ

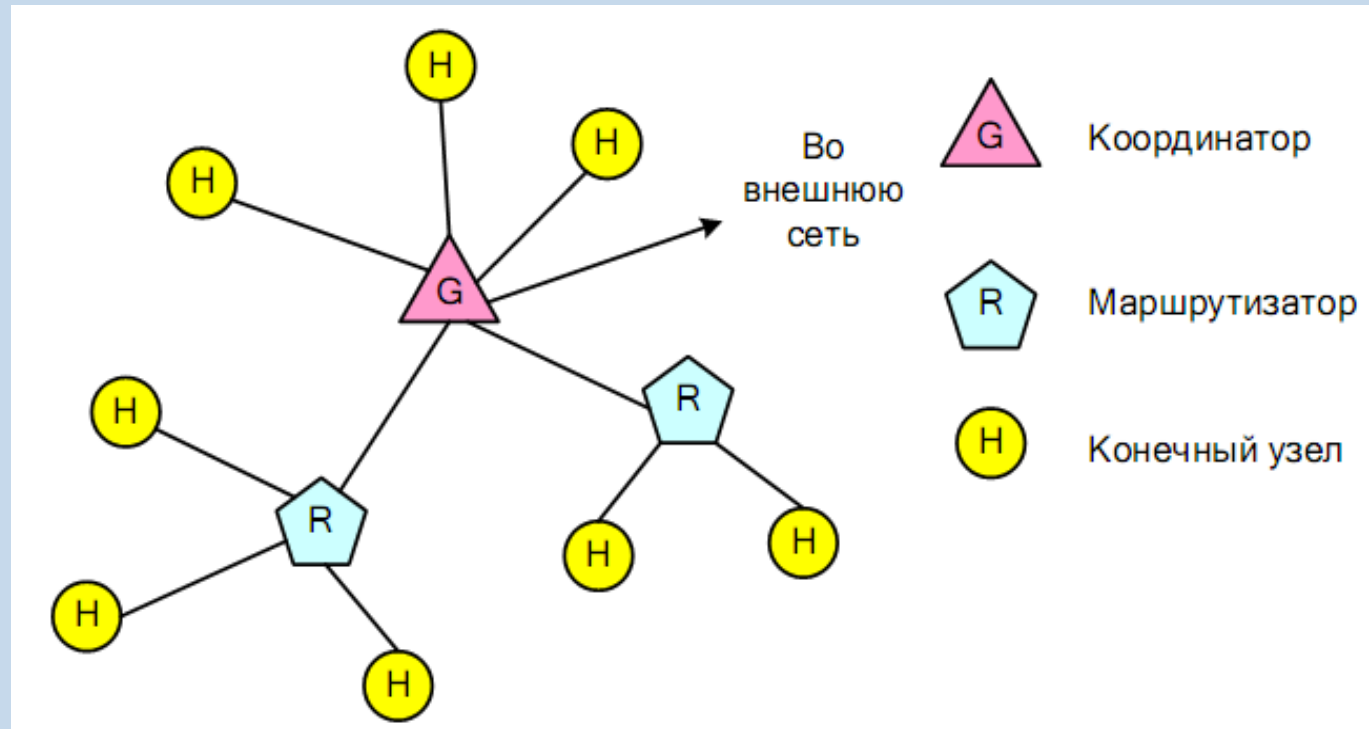


Рис.8.1 - Типы вузлів БСМ

Координатор - здійснює глобальну координацію, організацію та установку параметрів мережі, є найбільш складним пристроєм БСМ, вимагає найбільший об'єм пам'яті і найбільшу потужність джерела живлення. В одній мережі повинен бути присутнім тільки один координатор. З координатора здійснюється вихід в зовнішню мережу (він реалізує функцію шлюзу - gateway). Часто координатор називають базовою станцією (БС).

Координатор виконує наступні функції:

- визначає незадіяні канали з переліку каналів, доступних для організації мережі і визначаються розробником і організовує мережу;
- передає мережеві сигнальні пакети з інформацією про існуючої мережі;
- управляє мережевими підлеглими пристроями, встановлює параметри мережі - визначає максимальну глибину вкладених підмереж, число мережевих маршрутизаторів і число підлеглих пристроїв;
- забезпечує маршрутизацію інформації між підлеглими пристроями;
- більшу частину часу перебуває в режимі прийому;
- забезпечує організацію таблиць маршрутизації;
- дозволяє маршрутизаторів і кінцевим пристроям входити в мережу.

Маршрутизатор - приймає, буферизує і передає дані від інших вузлів БСМ, а також визначає напрямок передачі.

Маршрутизатор виконує наступні функції:

- визначає активні канали, підключається до мережі і дозволяє кінцевим пристроям входити в мережу - використовує додаткові, визначені додатком, списки активних каналів;
- ретранслює сигнальні мережеві пакети з параметрами мережі від координатора;
- адмініструє мережеві адреси підключених до маршрутизатора підлеглих пристроїв;
- підтримує наступні класи пристроїв маршрутизації: пристрій з таблицею маршрутизації і з функцією деревовидної маршрутизації, пристрій тільки з функцією деревовидної маршрутизації, підтримка функції аварійної деревовидної маршрутизації;
- підтримує два режими роботи пристроїв: без переходу в «сплячий режим» і з переходом в «сплячий» режим в періоди, які визначаються координатором мережі і параметрами мережевої синхронізації;
- підтримує функції маршрутизації багато чарункових мереж: створює таблиці сусідніх мережевих вузлів з параметром якості зв'язку з кожним з них, створює таблиці мережевої маршрутизації, ретранслює пакети запиту і підтвердження визначення маршрутів між пристроями;
- підтримує функції маршрутизації по деревовидному принципу - транслює повідомлення вгору і вниз по ієрархічній структурі дерева гілки в залежності від адреси одержувача повідомлення.

Кінцевий пристрій (сенсорний вузол) - виконує тільки прикладні дії (збір інформації та управління віддаленим об'єктом) і не здійснює ретрансляцію даних.

Сенсорний вузол має такі особливості:

- завжди шукає і намагається увійти в існуючу мережу - використовує додаткові, визначені додатком, списки активних каналів і сигнальні пакети синхронізації існуючої мережі для визначення параметрів мережі та маршрутизатора для входу в мережу;
- живиться від автономного джерела (батареї);
- з пакетів синхронізації визначає наявність даних від координатора;
- запрошує дані від координатора;
- здатний знаходитися тривалий час в «сплячому» режимі (до 99,99% від всього часу роботи).

По виконуваних наборах функцій все вузли БСС можна віднести до двох видів:

1. Пристрій з повним набором функцій FFD (Fully Function Device):

- підтримка стандарту IEEE 802.15.4;
- додаткова пам'ять і енергоспоживання дозволяють виконувати роль координатора мережі;
- підтримка всіх типів топологій («точка-точка», «зірка», «дерево», «чарункова мережа»);
- здатність виконувати роль координатора мережі;
- здатність звертатися до інших пристроїв в мережі.

2. Пристрій з обмеженим набором функцій RFD (Reduced Function Device):

- підтримує обмежений набір функцій стандарту IEEE 802.15.4;
- підтримка топології «точка-точка», «зірка»;
- не виконує функції координатора;
- звертається до координатора мережі і маршрутизатора.
- Координатори та маршрутизатори завжди відносяться до пристроями FFD, кінцеві пристрої можуть бути FFD або RFD.