

ЛЕКЦІЯ № 5

з навчальної дисципліни

Тема лекції: БЕЗДРОТОВІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ WSN

Питання лекції

1. Основні поняття і принципи сенсорних мереж
- 2 Базова архітектура сенсорної мережі
- 3 Вузли бездротової сенсорної мережі
- 4 Способи передачі даних в БСС
- 5 Протоколи і технології передачі даних в БСС
- 6 Типи вузлів БСС

ВСТУП

Одним із цікавих напрямків розвитку IoT є розвиток сенсорних мереж. Розглянемо особливості сенсорних мереж.

1 Основні поняття і принципи сенсорних мереж

Визначимо основні поняття сенсорних мереж.

Сенсор (англ., Sensor) - пристрій, який сприймає контрольоване вплив (світло, тиск, температуру і т. п.), вимірює його кількісні та якісні характеристики і перетворює дані вимірювання в сигнал. Сигнал може бути електричний, хімічний або іншого типу.

Датчик (англ., Transducer) - пристрій, який використовується для перетворення одного виду енергії в інший. Отже, сенсор також є датчиком, який перетворює фізичну інформацію в електричну, яка може бути передана обчислювальній системі чи контролеру для обробки.

Актуатор (англ., Actuator) - виконавчий пристрій, що реагує на сигнал, який надійшов, для зміни стану керованого об'єкта. В актуаторі відбувається перетворення типів енергії, наприклад, електрична енергія, або енергія стисненого (розрідженого) повітря (рідини, твердого тіла) перетворюється в механічну.

Сенсорний вузол (англ., Sensor node) - це пристрій, який складається, принаймні, з одного сенсора (може також включати один або декількох актуаторів), і має обчислювальні та дротові або бездротові мережеві можливості.

Сенсорна мережа - система розподілених сенсорних вузлів, взаємодіючих між собою, а також з іншими мережами для запитів, обробки, передачі та надання інформації, отриманої від об'єктів реального фізичного світу з метою вироблення відповідної реакції на цю інформацію. Таким чином, сенсорна мережа включає в себе як мінімум сенсори, актуатори і

комунікаційні вузли. Основною областю застосування сенсорної мережі є контроль і моніторинг реальних показників фізичних середовищ і об'єктів та в деяких випадках - управління цими об'єктами (активація в них певних процесів). Приклади сенсорних мереж: всепроникні сенсорні мережі (USN - Ubiquitous Sensor Network), мережі для транспортних засобів (VANET - Vehicular Ad Hoc Network), муніципальні мережі (HANET - Home Ad hoc Network), медичні мережі (MBAN (S) - Medicine Body Area Network (services)) і ін. Основні дії, що виконуються при роботі сенсорних мереж, представлені на рис.1 (пунктиром показані необов'язкові процеси).

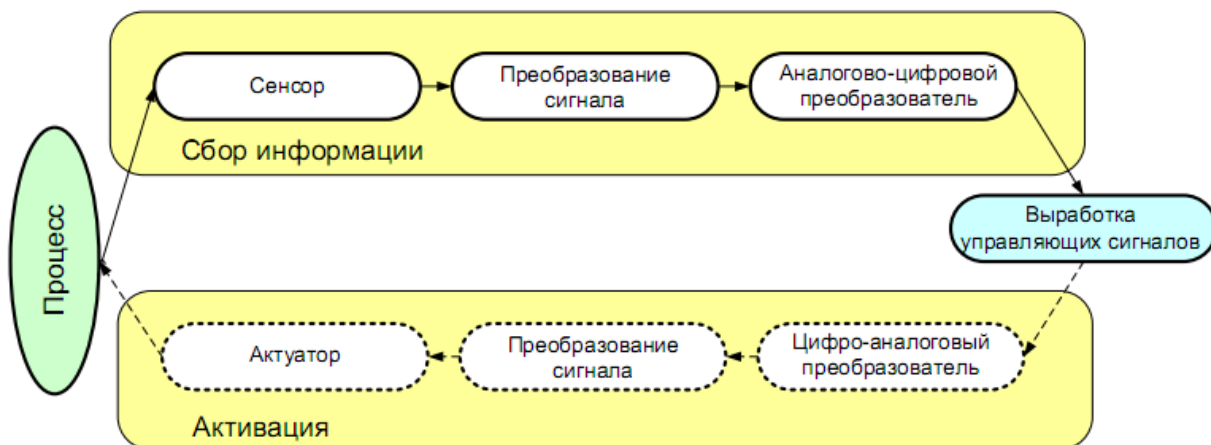


Рис.1 - Збір даних і управління в сенсорних мережах

Область покриття сенсорної мережі може становити від декількох метрів до декількох кілометрів за рахунок здатності ретрансляції повідомлень від одного елемента мережі до іншого. Сенсорна мережу має здатність до ретрансляції повідомлень по ланцюжку від одного вузла до іншого, що дозволяє в разі виходу з ладу одного з вузлів організувати передачу інформації через сусідні вузли без втрати якості. Сама мережа визначає оптимальний маршрут руху інформаційних потоків (рис. 2).

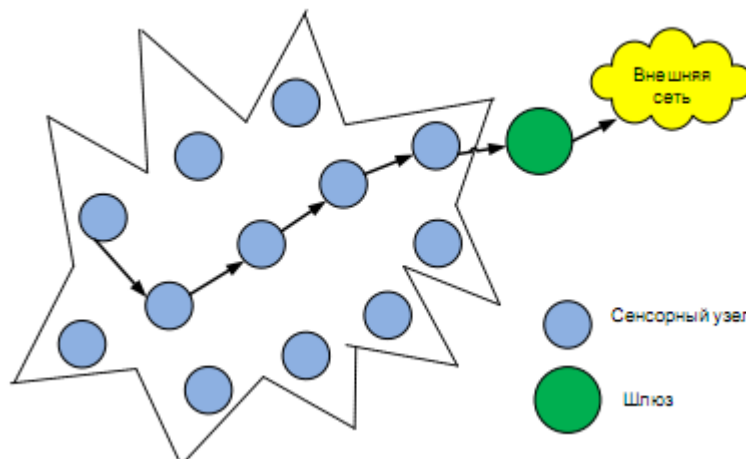


Рис. 2 - Маршрутизація інформації в сенсорній мережі

Самоорганізована (лат. Ad hoc - «за місцем») мережа зв'язку - мережа, в якій число вузлів є випадковою величиною в часі і може змінюватися від 0 до деякого максимального значення. Взаємозв'язки між вузлами в такій мережі також випадкові у часі і утворюються для передачі інформації між подібними вузлами і в зовнішню мережу зв'язку.

Бездротова сенсорна мережа (БСС) (англ. WSN - Wireless Sensor Network) – розподілена сенсорна мережа множини сенсорів і виконавчих пристроїв, що самоорганізується, об'єднаних між собою за допомогою радіоканалів.

Переваги бездротових сенсорних мереж:

- здатність до самовідновлення та самоорганізації;
- здатність передавати інформацію на значні відстані при малій потужності передавачів (шляхом ретрансляції);
- низька вартість вузлів і їх малий розмір;
- низьке енергоспоживання і можливість електроживлення від автономних джерел;
- простота установки, відсутність необхідності в прокладанні кабелів (завдяки бездротовій технології і живленню від батарей);
- можливість установки таких мереж на вже існуючий і експлуатується об'єкт без проведення додаткових робіт;
- низька вартість технічного обслуговування.

Так як на практиці в найбільшій мірою поширені бездротові сенсорні мережі, тому основна частина матеріалу глави присвячена саме таким мережам.

2 Базова архітектура сенсорної мережі

Стандартизацією сенсорних мереж займаються багато міжнародних організацій, серед яких ISO, IEC, ITU-T, IEEE і ін. Так дослідницька група по сенсорним мереж SGSN (Study Group on Sensor Networks) об'єднаного технічного комітету №1 ISO/IEC JTC1 (Joint Technical Committee 1) визначила базову архітектуру сенсорної мережі і її основні інтерфейси (рис.3).

Як видно з малюнка, сенсорний вузол складається з:

- апаратного забезпечення;
- базового програмного забезпечення;
- прикладного програмного забезпечення.

У складі архітектури визначені чотири базових інтерфейси:

1. Інтерфейс між базовим і прикладним програмним забезпеченням сенсорного вузла.
2. Інтерфейс між базовим програмним забезпеченням і апаратним забезпеченням сенсорного вузла (сенсори, актуатори і/або комунікаційний вузол і т.д.).
3. Бездротові або провідні інтерфейси між вузлами в сенсорній мережі.

4. Інтерфейс між сенсорної мережею і зовнішнім середовищем (провайдери послуг, користувачі).

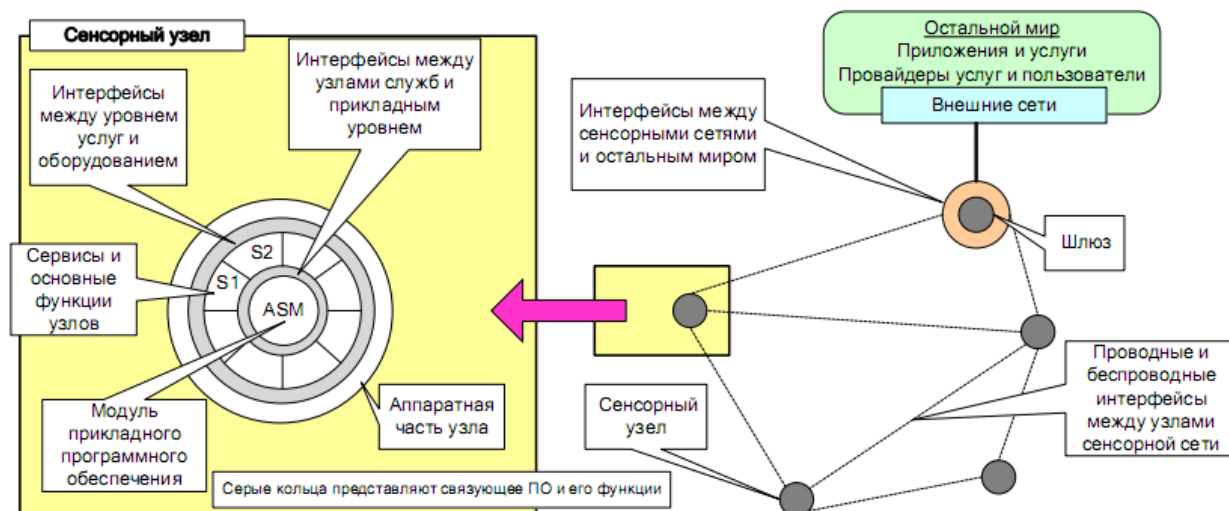


Рис.3 - Основні елементи і інтерфейси сенсорної мережі

3 Вузли бездротової сенсорної мережі

БСС складаються з мініатюрних обчислювальних пристроїв, оснащених датчиками, актуаторами і трансиверами (приймопередавачами), що працюють в заданому діапазоні радіочастот. Такий вузол БСС називають сенсорним вузлом або просто сенсором. Сенсорний вузол являє собою плату розміром звичайно не більше одного кубічного дюйма. На платі розміщуються процесор, пам'ять - флеш і оперативна, цифро-аналогові і аналого-цифрові перетворювачі, радіочастотний приймач, джерело живлення і різні датчики, актуатори. Таким чином, апаратна частина вузла бездротової мережі може бути розділена на наступні чотири підсистеми (рис. 4):

1) комунікаційна підсистема - забезпечує безпроводне з'єднання з іншими вузлами в сенсорній мережі і містить радіо трансивер;

2) обчислювальна підсистема - забезпечує обробку даних і функціональність вузла і складається з мікроконтролера MCU, до складу якого входять процесор, оперативна SRAM, незалежна EEPROM і флеш-пам'ять, аналого-цифровий перетворювач ADC, таймер, порти введення/виведення;

3) сенсорна підсистема - забезпечує з'єднання сенсорного бездротового вузла із зовнішнім світом, до складу якої можуть входити аналогові і цифрові сенсори, актуатори;

4) підсистема електроживлення - забезпечує енергетичне постачання всіх елементів бездротового сенсорного вузла і включає пристрої генерації і акумулювання енергії, а також регулювання напруги.

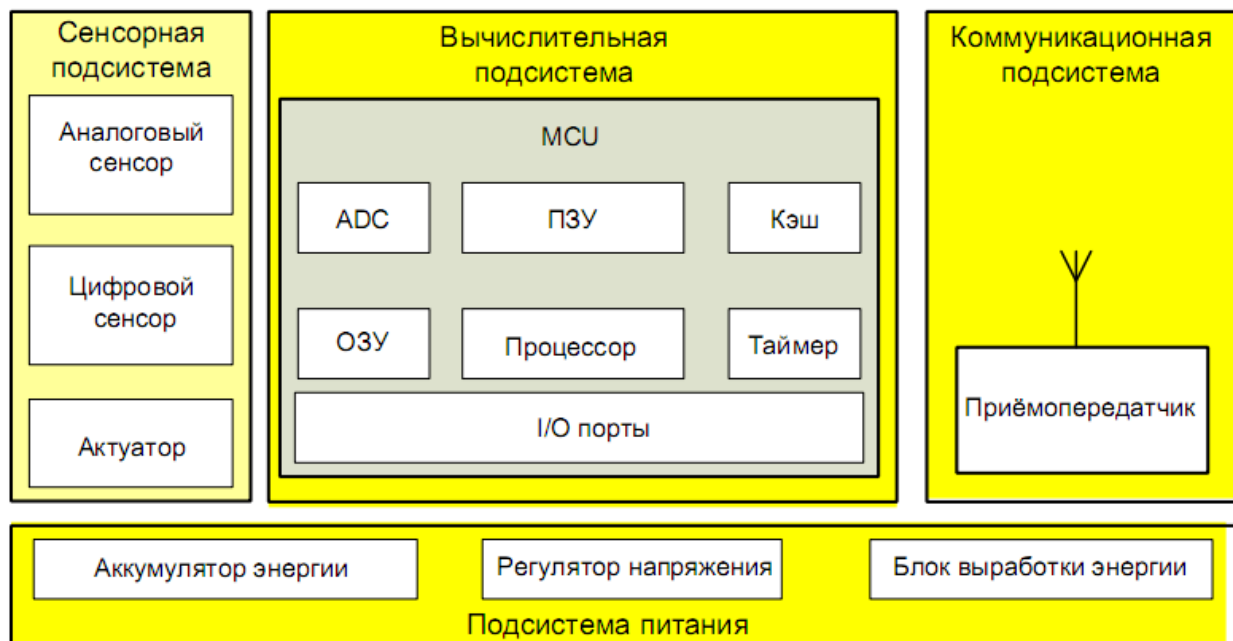


Рис.4 - Вузол бездротової сенсорної мережі

Датчики можуть бути найрізноманітнішими. Частіше за інших використовуються датчики температури, тиску, вологості, освітленості, вібрації, розташування, рідше - магнітоелектричні, хімічні (наприклад, що вимірюють вміст CO, CO₂, рівень радіаційного фону), звукові і деякі інші. Набір застосовуваних датчиків залежить від функцій, які виконуються бездротовими сенсорними мережами.

Отримані від датчика електричні сигнали часто не готові для обробки, тому вони проходять через стадію перетворення. Наприклад, сигнал часто вимагає посилення для збільшення амплітуди, можливе застосування фільтрів для усунення небажаного шуму в певних діапазонах частот і т.п. Перетворений сигнал трансформується за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП) в цифровий сигнал. В результаті сигнал виходить в цифровій формі і він готовий до подальшої обробки в процесорі і зберігання в пам'яті мікроконтролера. При наявності виконавчих механізмів можлива також передача керуючих впливів від вузлів мережі до зовнішнього середовища через актуатор. Живлення сенсорного вузла здійснюється зазвичай від невеликої батареї.

Крім розміру, є й інші жорсткі обмеження для вузлів БСС. Вони повинні:

- споживати дуже мало енергії;
- працювати з великою кількістю вузлів на малих відстанях;
- мати низьку вартість виробництва;
- бути автономними і працювати без обслуговування;
- адаптуватися до навколишнього середовища.

Зовнішній вигляд сенсорних вузлів наведено на рис.5.



Рис.5 - Зовнішній вигляд сенсорних вузлів

Для виконання функцій на кожен сенсорний вузол встановлюється спеціалізована операційна система (ОС). Прикладом широко відомої операційної системи для сенсорних вузлів є розроблена в Університеті Берклі система з відкритим кодом **TinyOS** - це керована подіями операційна система реального часу, розрахована на роботу в умовах обмежених обчислювальних ресурсів. Ця ОС дозволяє сенсорам автоматично встановлювати зв'язки з сусідами і формувати сенсорну мережу заданої топології.

Як приклад в табл.1 наведені параметри сенсорних вузлів ML-Node-Z (компанії MeshLogic, Росія) і ZigBit (компанії Atmel, США). Варто зазначити, що інтегрованих сенсорних датчиків на цих платах немає.

Таблица 3.1 Характеристики сенсорных узлов

Параметры	Тип сенсорного узла:	
	ML-Node-Z	ZigBit
Микроконтроллер		
Процессор	Texas Instruments	ATmega1281

	MSP430	
Тактовая частота	От 32,768 кГц до 8 МГц	4 МГц
Оперативная память, Кбайт	10	8
Flash-память, Кбайт	48	128
Приемопередатчик		
Тип	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.4
Диапазон частот, МГц	2400 - 2483,5	2400 - 2483,5
Скорость передачи данных, Кбит/с	250	250
Выходная мощность, дБм	От -24 до 0	От -28 до 3
Чувствительность, дБм	-95	-101
Антенна	Чип	1 или 2 чипа
Внешние интерфейсы		
АЦП	12-разрядный, 7 каналов	10-разрядный, 3 канала
Цифровые интерфейсы	I2C/SPI/UART /USB	I2C/SPI/UART/IR Q/JTAG
Другие параметры		
Напряжение питания, В	От 0,9 до 6,5	От 1,8 до 3,6
Размеры, мм	44x33x10	19x14x3
Температурный диапазон, °С	От -40 до 85	От 0 до 85

Оскільки однією з найважливіших функцій сенсорів є автоматичний вибір схеми організації мережі і маршрутів передачі даних, бездротові сенсорні мережі по суті є самоналагоджувальними. Найчастіше сенсорний вузол повинен мати можливість самостійно визначити своє місце розташування, по крайній мірі, по відношенню до того іншого сенсора, якому він буде передавати дані. Тобто спочатку відбувається ідентифікація всіх сенсорів, а потім вже формується схема маршрутизації.

Сенсорні вузли можуть закріплюватися стаціонарно, а також мати відносну мобільність, тобто довільно переміщатися один відносно одного в деякому просторі, не порушуючи при цьому логічної зв'язаності мережі. В останньому випадку сенсорна мережа не має фіксованої постійної топології, і її структура динамічно змінюється з плином часу.

4 Способи передачі даних в БСС

У сенсорної 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. 2). 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.

Таблица 3.2 – Полосы частот ISM, определенные ITU-R

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 сьогодишніх 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 БСС, які використовують для передачі оптичне середовище.

Застосовуються дві схеми передачі - пасивна з використанням світловідбивачів CCR (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 CCR. 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.

5 Протоколи і технології передачі даних в БСС

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 БСС 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 БСС 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 БСС приведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Характеристики радіотехнологій 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

БСС 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.

6 Типи вузлів БСС

Типова архітектура БСС включає три типи вузлів (рис. 6):

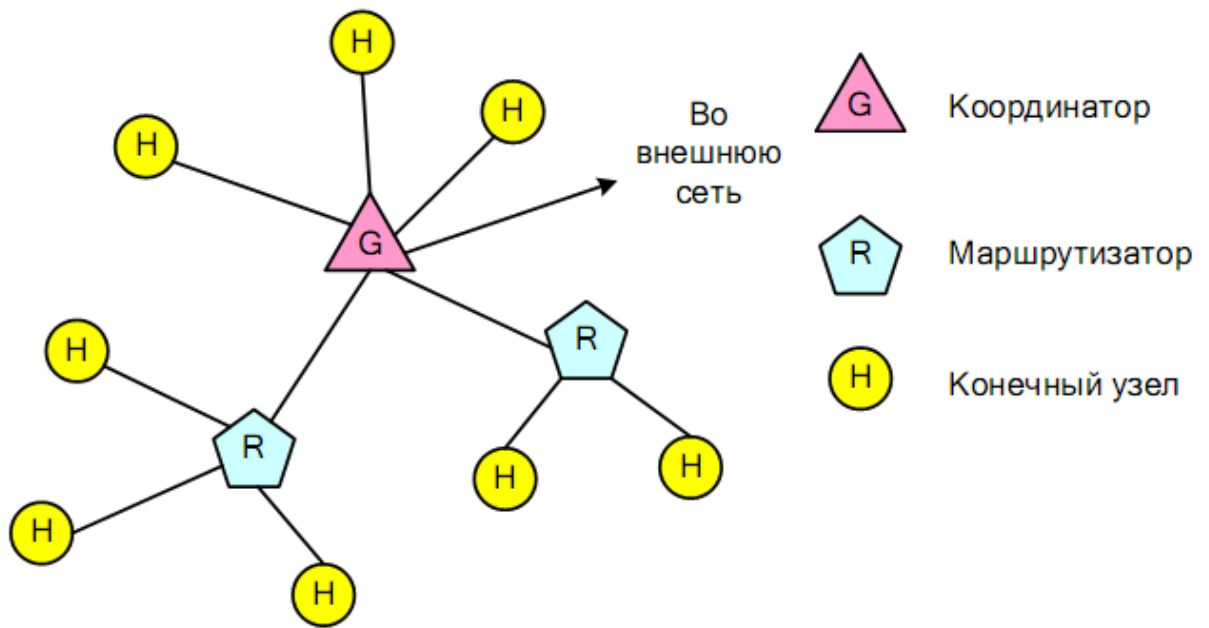


Рис. 6 - Типи вузлів БСС

1. **Координатор** - здійснює глобальну координацію, організацію та установку параметрів мережі, є найбільш складним пристроєм БСС, 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 мережеских 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.

2. **Маршрутизатор** - приймає, буферизує і передає дані від інших вузлів БСС, 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.

3. 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 RFD або FFD.

ВИСНОВКИ

Перспективним напрямком досліджень в області IoT є розвиток бездротових сенсорних мереж (БСС), які активно розвиваються на сьогодні.

Контрольні питання по лекції 5

1. Що таке сенсорна мережа? З яких елементів вона складається?
2. У чому особливість мережі зв'язку, що самоорганізується (ad hoc)?
3. Які компоненти входять до складу базової архітектури сенсорної мережі?
4. З яких підсистем складається апаратна частина вузла бездротової сенсорної мережі?
5. Які обмеження існують для вузлів БСС?
6. Які способи передачі даних використовуються в БСС?
7. Які протоколи і технології передачі даних використовуються в БСС?
8. Вкажіть відмінності основних типів вузлів БСС.