ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА | 100 РОКІВ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЛЕКЦІЯ 7

Побудова та алгоритми функціонування бездротових сенсорних мереж

1. Основні поняття і принципи сенсорних мереж.
2. Базова архітектура сенсорної мережі.
3. Вузли бездротової сенсорної мережі.



1. Основні поняття і принципи 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.

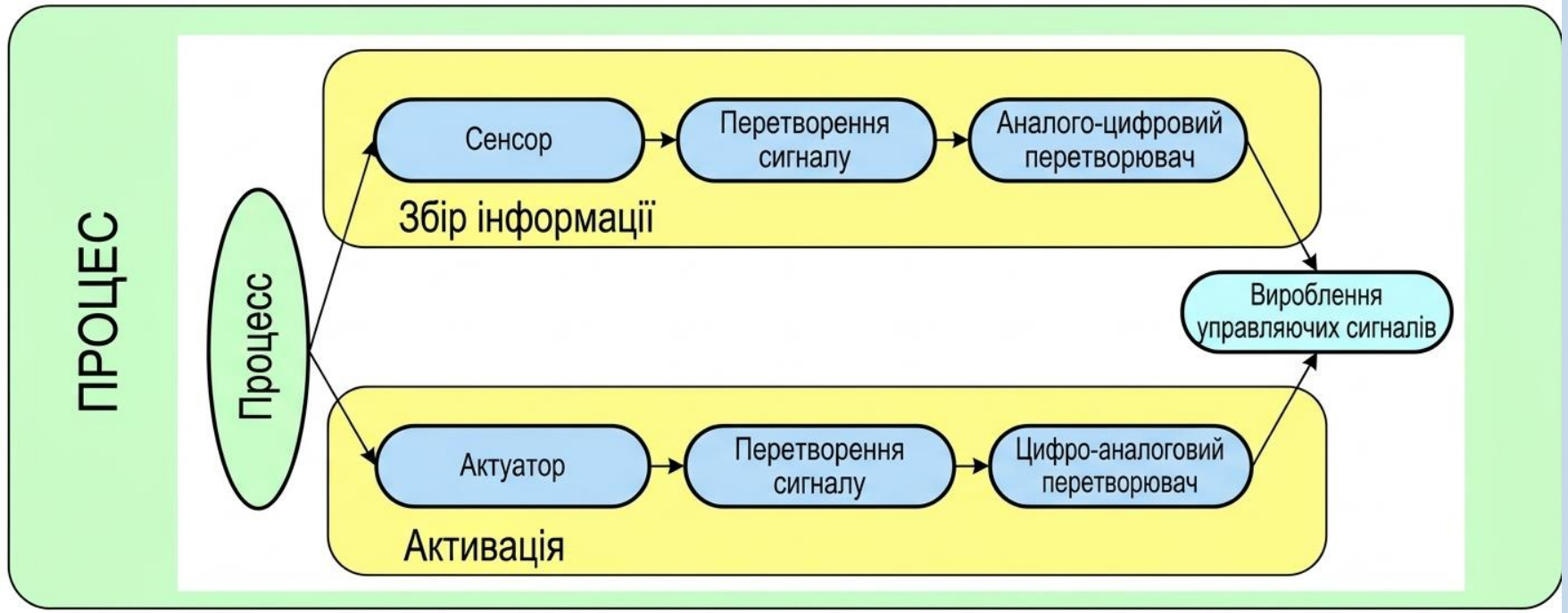


Рис.7.1 - Збір даних і управління в сенсорних мережах

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.7.1 (пунктиром показані необов'язкові процеси).

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. 7.2).

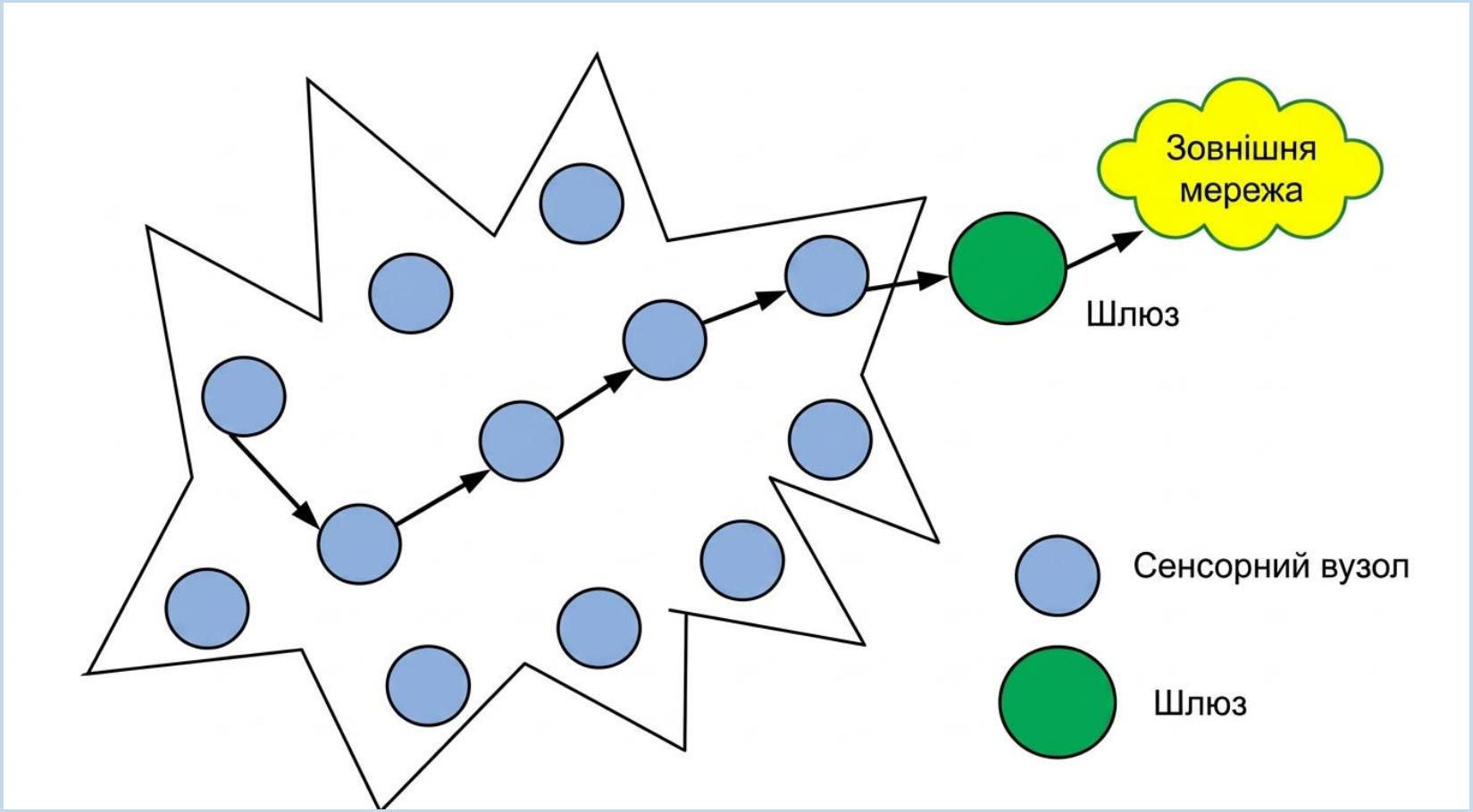


Рис.7.2 - Маршрутизація інформації в сенсорній мережі

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 (БСМ) (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:

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

Так як на практиці в найбільшою 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.7.3).

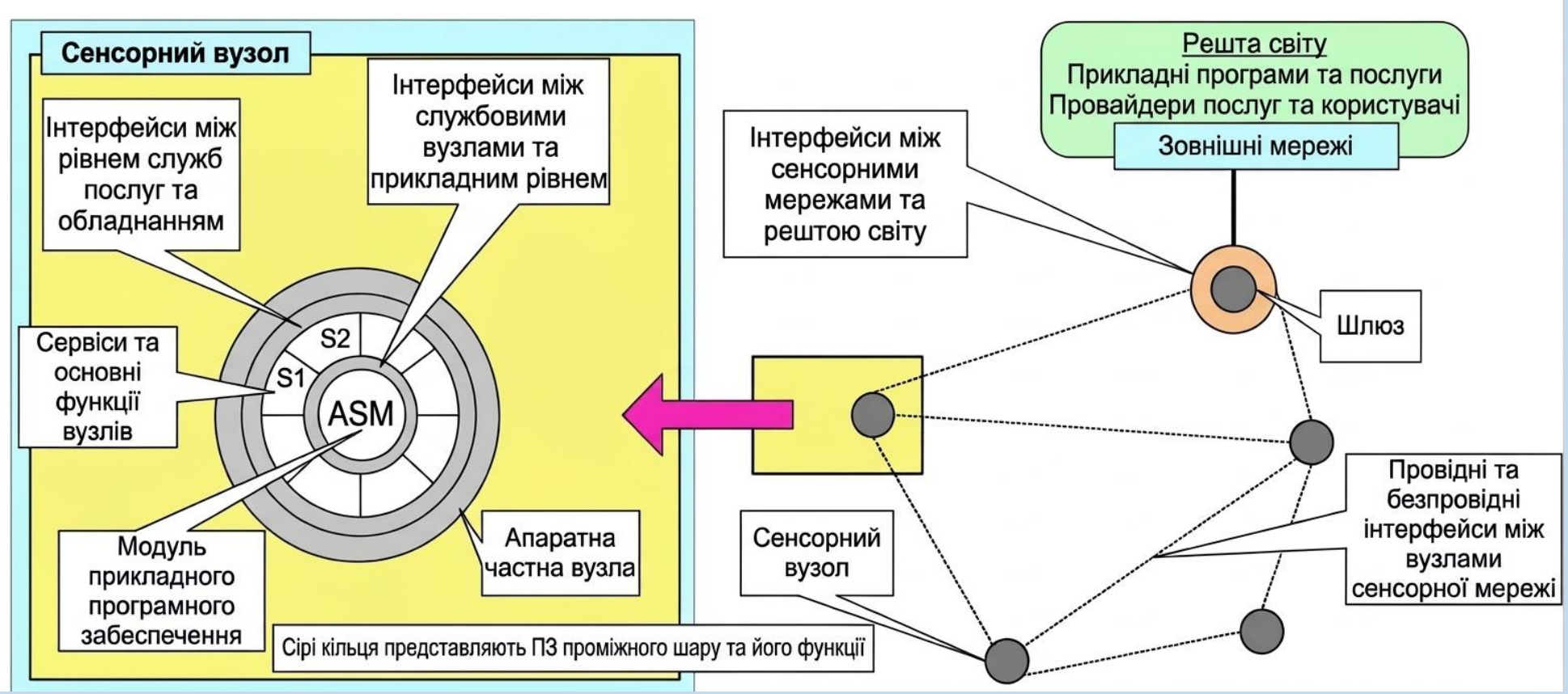


Рис.7.3 - Основні елементи і інтерфейси сенсорної мережі

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 сенсорної мережі.

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

3. Вузли бездротової сенсорної мережі

БСм складаються з мініатюрних обчислювальних пристроїв, оснащених датчиками, актуаторами і трансиверами (прийомопередавачами), що працюють в заданому діапазоні радіочастот. Такий вузол БСм 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. 7.4)

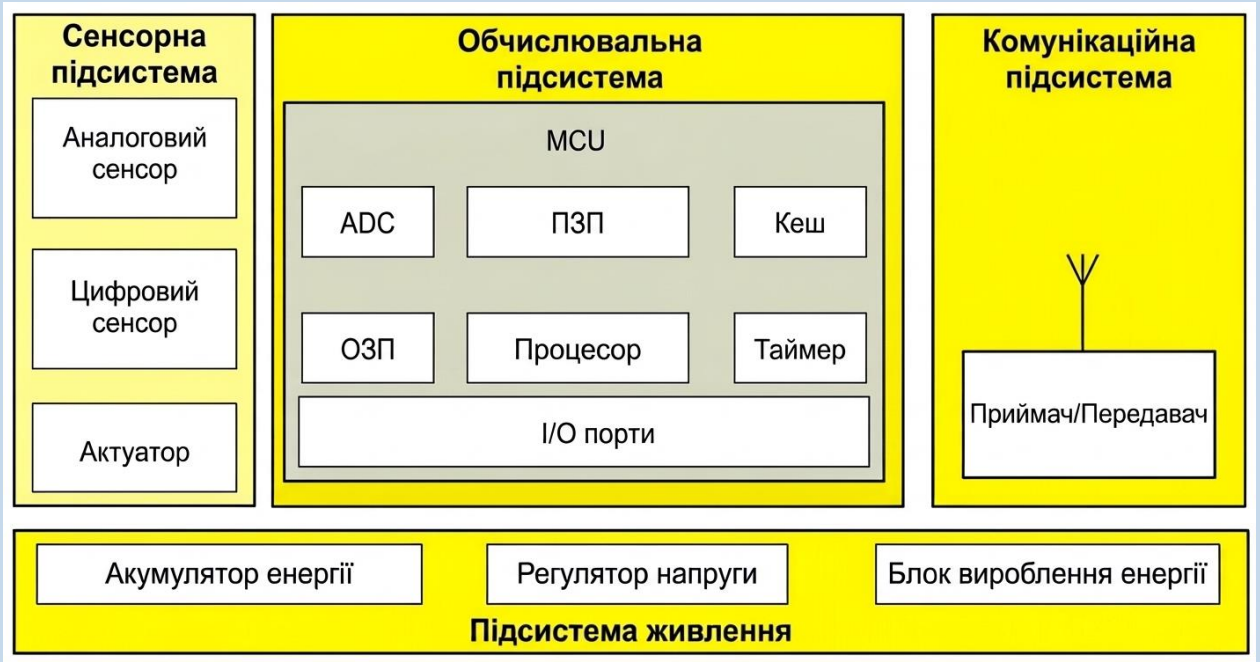


Рис.7.4 - Вузол бездротової сенсорної мережі

1) комунікаційна підсистема - забезпечує безпровідне з'єднання з іншими вузлами в сенсорної 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.

Датчики можуть бути найрізноманітнішими. Частіше за інших використовуються датчики температури, тиску, вологості, освітленості, вібрації, розташування, рідше - магнітоелектричні, хімічні (наприклад, що вимірюють вміст CO, CO_2, 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 БСМ. 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.

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.



Рис.7.5 - Зовнішній вигляд сенсорних вузлів

Як приклад в табл.7.1 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.

Таблиця 7.1. Характеристики сенсорних вузлів

Параметри	**Тип сенсорного вузла: ML-Node-Z**	**Тип сенсорного вузла: ZigBit**
Мікроконтролер		
Процесор	Texas Instruments MSP430	ATmega1281
Тактова частота	Від 32,768 кГц до 8 МГц	4 МГц
Оперативна пам'ять, Кбайт	10	8
Flash-пам'ять, Кбайт	48	128
Приймач/Передавач		
Тип	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.4
Діапазон частот, МГц	2400 – 2483,5	2400 – 2483,5
Швидкість передачі даних, Кбіт/с	250	250
Вихідна потужність, дБм	Від –24 до 0	Від –28 до 3
Чутливість, дБм	–95	–101
Антена	Чіп	1 або 2 чіпи
Зовнішні інтерфейси		
АЦП	12-розрядний, 7 каналів	10-розрядний, 3 канали
Цифрові інтерфейси	I2C/SPI/UART/USB	I2C/SPI/UART/IRQ/JTAG
Інші параметри		
Напруга живлення, В	Від 0,9 до 6,5	Від 1,8 до 3,6
Розміри, мм	44x33x10	19x14x3
Температурний діапазон, °С	Від –40 до 85	Від 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.