

---

---

## ОГЛЯДИ

УДК 621.396.67

### БЕЗПРОВІДНІ МЕРЕЖІ. СТАНДАРТ ZIGBEE (НА ПРИКЛАДІ ПРОДУКЦІЇ ATMEL)

*Ляшук О.М., магістрант; Дяченко С.М., к.т.н., доцент  
Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна*

Безпроводні мережі все частіше використовуються у різних сферах людської діяльності. Розглянемо основні типи безпроводних мереж:

Wi-Fi (англ. Wireless Fidelity - «безпроводна точність») використовується для створення стаціонарних комп'ютерних мереж високої пропускної здатності. Дозволяє створювати мережі у місцях, де не можна прокласти кабель. Працює на частоті 2.4 ГГц, на відстанях до 250 м [4]

WiMAX (англ. Worldwide Interoperability for Microwave Access) — стандарт безпроводного зв'язку, що забезпечує широкосмуговий зв'язок на значні відстані зі швидкістю, порівняною з кабельними з'єднаннями. Застосовується для надання високошвидкісних сервісів передачі даних (до 70мб/с) і телекомунікаційних послуг, використовує високочастотний діапазон радіохвиль від 1,5 до 11 ГГц, максимальна відстань – 48 км. [3]

ZigBee (назва походить від комірчастої структури, яка схожа на структуру стільників бджіл) - назва набору протоколів, що застосовуються у пристроях, де потрібний великий час автономної роботи і велика захищеність при низьких швидкостях передачі даних. Працює на частотах 800, 900 МГц, 2.4 ГГц, відстань – до 1350 м. [1]

Bluetooth (назва походить від прізвища середньовічного короля Данії Гаральда I Синьозубого) – технологія для забезпечення відносно економного та дешевого радіозв'язку між різноманітними типами електронних пристроїв, таких як мобільні телефони та аксесуари до них, портативні та настільні комп'ютери, принтери. Використовується частота 2,4 ГГц, максимальна відстань становить 100 м.

#### **Технологія безпроводної передачі даних ZigBee**

Специфікація ZigBee розроблена на базі міжнародного стандарту IEEE 802.15.4 для створення недорогих безпроводних мереж передачі невеликих об'ємів даних із низьким енергоспоживанням.

Сфери застосування таких мереж:

- автоматизація будівель, де технологія ZigBee використовується для зв'язку з датчиками температури, вологості, освітлення, вентиляції і т.д.;
- діагностичне медичне устаткування [2];

- системи охоронної і пожежної безпеки [5];
- побутова електроніка і периферія персональних комп'ютерів.

Основна особливість технології ZigBee полягає в тому, що вона при відносно невисокому енергоспоживанні підтримує не тільки прості топології безпроводного зв'язку, але і складні безпроводні мережі з комірчастою топологією з ретрансляцією і маршрутизацією повідомлень ("mesh-мережі"). При цьому ZigBee-мережі здатні до самоналаштування при відключенні окремих вузлів (наприклад, якщо розрядився акумулятор). Стандарт IEEE 802.15.4 передбачає використання 16 каналів в діапазоні 2,4 ГГц, 10 каналів в діапазоні 915 МГц (для США) і одного каналу в смузі 868 МГц (для Європи) відповідно до неліцензійованих частотних діапазонів, прийнятих в різних країнах. Швидкість передачі даних між пристроями залежить від числа зайнятих каналів і складає від 20 до 250 кбіт/с. Окрім спрощеної 16-бітової адресації, можлива розширена 64-бітова, що дозволяє розміщувати в одній мережі до 65 тис. пристроїв.

Заявлена дальність зв'язку між двома пристроями – до 75 м, але, враховуючи, що дані в ZigBee-мережах можуть передаватися по ланцюжку пристроїв, це не є перешкодою для розгортання мережі на великих площах. У мережі можуть працювати пристрої різного функціонального призначення. Зокрема, координатор мережі здатний керувати роботою мереж різної топології, зберігати дані про їх структуру (тобто має достатній об'єм пам'яті) і в деяких випадках бути мостом до мереж іншого роду. Ретранслятор мережі просто приймає і передає дані. Є також і прийомопередавачі, здатні переговорюватися тільки з координатором. [1]

Всі безпроводні стандарти останніх версій можуть автоматично вибирати несучу частоту в своєму робочому діапазоні, яка забезпечує найкраще функціонування. Для систем, що працюють в смузі 2,4 ГГц, це особливо важливо, оскільки вони мають бути стійкі до завад, наприклад, від мікрохвильових печей, що використовують той самий діапазон. Необхідна також коректна робота мереж IEEE 802.11 і Bluetooth. Окрім ZigBee існують і інші типи мереж, засновані на стандарті IEEE 802.15.4. Наприклад, 6LoWPAN або RF4CE. Стандарт 6LoWPAN був розроблений для здійснення передачі даних за протоколом IPv6 у малопотужних безпроводних персональних мережах стандарту IEEE802.15.4. Основною метою розробки було забезпечення взаємодії безпроводних персональних мереж IEEE 802.15.4 з широко поширеними мережами IP, у тому числі і для доступу в Інтернет.

Стандарт RF4CE – новий стандарт управління споживчою електронікою на базі безпроводної технології, продукт консорціуму найбільших виробників побутової електроніки (Panasonic, Philips, Samsung, Sony). Він, як і ZigBee, є програмною надбудовою над стандартом 802.15.4. В порівнянні з традиційними інфрачервоними пультами нова технологія забезпечує безліч переваг, основні з яких – відсутність необхідності прямої видимості

між пультом і приймачем і можливість двостороннього обміну даними. Багато сучасних пристроїв для мереж ZigBee підтримують ще і стандарти 6LoWPAN і RF4CE, що дає розробникам нові можливості для проектування кінцевого продукту.

Корпорація Atmel пропонує повнофункціональні 802.15.4/ZigBee рішення з підтримкою 6LoWPAN і RF4CE – сімейство MCU Wireless (AVR Z-link), що базується на AVR-мікроконтролерах і РЧ-трансиверах власної розробки.

#### **Продукція Atmel для мереж ZigBee – MCUWireless (AVR Z-link)**

З 2006 року базовим рішенням компанії Atmel для мереж IEEE 802.15.4/ZigBee є комбінація РЧ-трансивера AT86RF230 і AVR-мікроконтролера. Такий пристрій відрізняється низькою сумарною споживаною потужністю і високою чутливістю (-101 дБм), працює на частоті 2,4 ГГц і повністю сумісний зі стандартом IEEE 802.15.4 і його надбудовами – ZigBee, 6LoWPAN і RF4CE. AT86RF230 – повнофункціональне рішення для передачі даних з послідовного інтерфейсу SPI на антену. Всі компоненти, необхідні для роботи РЧ-трансивера, за винятком антени, кварцевого резонатора і блокувальних конденсаторів, інтегровані в мікросхему, що знижує вартість комплектації кінцевого пристрою.

Таблиця 1. Особливості AT86RF230

Особливості	Опис
РЧ-характеристики	Чутливість приймача 101 дБм. Вихідна потужність +3 дБ (програмується в діапазоні -17...+3 дБм)
Малий споживаний струм	В сплячому режимі 20 нА. В режимі приймання 13,2 мА В режимі передачі 14,3 мА
Функція вибору оптимальної антени	Ця функція дозволяє використовувати дві антени та підтримує автоматичний вибір тієї, яка забезпечує найбільш надійне РЧ-з'єднання
Криптографічний модуль AES-128	У трансивер інтегрований криптографічний модуль захисту даних AES, що покращує загальносистемну економічність і характеристики при шифрації даних. транзакцій
Висока швидкість передачі даних	Підтримуються режими 500 кбит/с, 1 Мбит/с, 2 Мбит/с

Чутливість приймача мікросхеми AT86RF230 складає -101 дБм при потужності передачі до 3 дБм, при цьому сумарний бюджет каналу зв'язку становить 104 дБм. Висока чутливість досягається без застосування зовнішніх підсилювачів, що дозволяє вирішити задачу меншою кількістю зовнішніх компонентів. Струм споживання приймача при робочій напрузі 1,8 В і 16,5 мА в режимі передачі на максимальній потужності, 15,5 мА – в режимі прийому, і 20 нА – в сплячому режимі. Подібні характеристики дозволяють кінцевому пристрою на базі AT86RF230 працювати декілька ро-

ків від одного комплекту батарей. Приймач AT86RF230 випускається в компактному 32-вивідному корпусі QFN розміром 5x5 мм, який економить місце на платі кінцевого пристрою.

Пристрої Atmel 802.15.4/ZigBee/6LoWPAN підтримуються сімейством мікроконтролерів Atmel AVR 8-бит RISC з об'ємом інтегрованої флеш-пам'яті від 32 до 256 Кбайт. Проте слід зазначити, що вибір мікроконтролерів, що використовуються спільно з РЧ-трансивером, не обмежується перерахованими базовими комплектами. Компанія Atmel регулярно випускає на ринок нові моделі AVR-мікроконтролерів з різним функціоналом, знижуючи їх енергоспоживання і підвищуючи продуктивність. Враховуючи, що всі мікроконтролери AVR сумісні за кодом, перехід на новіші моделі не вимагає переробки програмного забезпечення.

### Розвиток сімейства MCU Wireless (AVR Z-link)

В середині 2008 року компанія Atmel повідомила про випуск нового приймача AT86RF231, сумісного з ZigBee/IEEE 802.15.4, який призначений для високошвидкісної безпроводної передачі даних в діапазоні частот 2,4 ГГц. Новий приймач орієнтований на промислове застосування, де потрібна висока швидкість передачі даних. Він є повною pin-to-pin заміною трансивера AT86RF230, що дозволяє покращити функціональність існуючих систем без принципової переробки. Приймач AT86RF231 розроблений для широкого діапазону кінцевих безпроводних застосувань – від простих з'єднань до складних мереж для стандартів IEEE 802.15.4 і ZigBee або 6LoWPAN.

Таблиця 2. Порівняння приймопередавача AT86RF231 з аналогами

Характеристика	AT86RF231	AT86RF230	TI/CC2420 [10]	ST250	MC1320x [11]
Діапазон напруг	1,8–3,6 В	1,8–3,6 В	2,1–3,6 В	2,1–3,6 В	2,0–3,4 В
Чутливість	-101 дБм	-101 дБм	-95 дБм	-97,5 дБм	-92 дБм
Вихідна потужність	+3 дБм	+3 дБм	0 дБм	+3 дБм	+3 дБм
Споживаний струм в режимі сну	0,02 мкА	0,02 мкА	20 мкА	1 мкА	1 мкА
Споживаний струм в режимі приймання	13,2 мА	15,5 мА	18,8 мА	35,5 мА	42 мА
Споживаний струм в режимі передавання	14,3 мА	16,5 мА	17,4 мА	35,5 мА	35 мА
Функція вибору оптимальної антени	Є	Нема	Нема	Нема	Нема
Апаратний прискорювач AES-128	Є	Нема	Є	Є	Нема
Макс. швидкість	2 Мбіт/с	250 кбіт/с	250 кбіт/с	250 кбіт/с	250 кбіт/с

Новий AT86RF231, як і AT86RF230, інтегрує всі необхідні елементи, за

винятком самої антени, кварцевого резонатора і декількох конденсаторів. Проте він має також і ряд відмінних особливостей, в порівнянні з даними в табл.1, і перевершує аналоги за багатьма показниками (табл.2). Так, у нього знижено енергоспоживання і додані нові функції, що дають розробникові велику свободу при проектуванні безпроводних систем. Як приклад енергоспоживання розглянемо датчик температури на базі приймача AT86RF231 і нового компактного (44 виводи) AVR-мікроконтролера ATmega1284P, виробленого із застосуванням енергозберігаючої технології компанії Atmel *risoPower* [7]. Сумарний струм споживання системи в сплячому режимі з активним лічильником реального часу складає менше 600 нА, в режимі передачі – близько 20 мА. При контролі температури кожні 30 хвилин датчик зможе працювати більше восьми років від одного літій-йонного акумулятора формату AA. Для того, щоб задовольнити вимоги різних безпроводних застосувань, у AT86RF231 передбачена підтримка декількох швидкостей передачі. Підтримуються режими передачі на швидкостях 20/40 кбіт/с і 100/250 кбіт/с сумісні із стандартом IEEE 802.15.4-2006. Крім того, є можливість передачі на ще вищих швидкостях (500/1000/2000 кбіт/с). У приймач інтегрований 128-бітовий прискорювач AES-шифрування/дешифрування. Це дозволяє розвантажити керуючий мікроконтролер і покращити енергоефективність систем, що використовують захищену передачу даних. Доступ до 128-бітового AES-прискорювача організований через інтерфейс SPI і можливий у будь-який момент, незалежно від виконуваних трансивером дій. Для отримання завершеного рішення Atmel рекомендує доповнювати їх трансивери мікроконтролером з сімейства AVR, які характеризуються важливими для малопотужних мікроконтролерів особливостями: висока обчислювальна потужність і мале енергоспоживання. [9]

В червні 2008 року, компанія Atmel повідомила про випуск нового IEEE 802.15.4-сумісного РЧ-трансивера діапазону 800/900 МГц AT86RF212, призначеного для пристроїв безпроводної передачі даних малої потужності, зокрема виконаних за стандартом ZigBee і 6LoWPAN. А з кінця лютого 2009 року в трансивер AT86RF212 інтегрована підтримка роботи в китайському діапазоні WPAN 779–787 МГц. AT86RF212 характеризується кращими в промисловості РЧ-характеристиками: сумарний бюджет каналу зв'язку може досягати 120 дБ при роботі в ISM-діапазонах 700/800/900 МГц, що використовуються в Китаї, Європі і Північній Америці, відповідно. Даний бюджет утворений чутливістю тракту прийому -110 дБм і максимальною вихідною потужністю передавача +10 дБм. Такий високий бюджет каналу зв'язку у поєднанні з меншими втратами в трактах обробки РЧ-сигналів 700/800/900 МГц дозволять підвищити дальність безпроводного зв'язку без використання додаткового зовнішнього малошумного підсилювача або підсилювача потужності. Більш того, оскільки даль-

ність зв'язку залежить від багатьох параметрів, зокрема від швидкості передачі даних, чутливості приймача і потужності передавача, варіюючи ці складові, можна досягти величезної дальності – до 15–20 км на відкритій місцевості. AT86RF212 в даний момент є єдиним пристроєм на ринку, що підтримує РЧ-діапазон 700/800/900 МГц і відповідає стандарту IEEE 802.15.4.

Таблиця 3. Порівняння прийомопередавача AT86RF212 з розповсюдженим аналогом ZmD44101 компанії ZMD.

Характеристика	AT86RF212	ZMD44101
Напруга живлення	1,8V–3,6 В	2,2–2,7 В
Чутливість приймача	-110 дБм	-100 дБм
Вихідна потужність	10 дБм	3 дБм
Струм споживання у режимі сну	0,2 мкА	2 мкА
Струм споживання приймання	9 мА	28 мА
Струм споживання передавання	17 мА	32 мА
Апаратний прискорювач AES-128	Так	Ні
Макс. швидкість	1 Мбит/с	40 кбит/с

По цьому параметру у нього немає конкурентів. Порівняння з аналогом ZMD44101 приведено в табл. 3.

Як і приймач AT86RF230, мікросхеми Atmel сімейства MCU Wireless (AVR Z-link) AT86RF231 і AT86RF212 доступні в компактному 32-вивідному корпусі QFN розміром 5x5 мм.

#### Модулі безпроводного зв'язку ZigBit

У лютому 2009 року компанія Atmel придбала права на програмне забезпечення (стек) BitCloud™ ZigBee PRO і серію модулів безпроводного зв'язку ZigBit компанії MeshNetics [6]. Протягом п'яти місяців компанія MeshNetics реалізовувала модулі ZigBit через дилерську мережу, але з кінця червня 2009 року дане сімейство остаточно увійшло до складу сімейства продуктів компанії Atmel для мереж ZigBee – MCU Wireless (AVR Z-link) (порівняння в табл. 4). В даний час модулі доступні для замовлення у офіційних дистриб'юторів Atmel. Модулі ZigBit є закінченими рішеннями, сертифікованими і протестованими виробником. Отже, їх застосування в кінцевому продукті з невеликим або середнім обсягом виробництва скорочує час і витрати на розробку. Модулі ZigBit виконані на основі мікроконтролера ATmega1281 і трансивера AT86RF230. Вони підтримують застосування безпроводного зв'язку в ISM-діапазоні, що використовується по всьому світу. Збільшити дальність зв'язку і поліпшити проникнення крізь стіни допомагає модуль, виконаний на основі мікроконтролера ATmega1281 і трансивера AT86RF212, який підтримує регіональні ISM-діапазони 700/800/900 МГц для Китаю, Європи і США, відповідно.

Таблиця 4. Порівняння модулів ZigBit з найбільш популярними аналогами

Компанія	Діапазон напруг, В	Частота, МГц	Габарити, мм	Бюджет каналу зв'язку, дБм	Струм споживання у режимі прийому, мА	Струм споживання у режимі передачі, мА
Atmel 2,4 ГГц	1,8–3,6	2400	18,8×13,5	104	19	18
Digi/Max XBee	2,8–3,4	2400	27,6×24,4	92	50	45
Jennic 5139-xxx-M00/01/03	2,7–3,6	2400	30,0×18,0	98,5	37	37
Telegesis ETRX2	2,1–3,6	2400	37,5×20,5	101	35	28
Radiocrafts RC230x	2,0–3,6	2400	25,4×12,7	92	27	27
RFM/Cirronet ZMN2430	3,3–5,5	2400	25×20,3	92	27	28
Digi/Max XBee-PRO	2,8–3,4	2400	32,9×24,4	118	55	215
Jennic 5139-xxx-M02/04	2,7–3,6	2400	41×18	119	45	125
Telegesis ETRX2-PA	2,7–3,5	2400	37,5×20,5	114	37	130
RFM/Cirronet ZMN2430HP	3,3–5,5	2400	30,4×20,3	110	33	130
Atmel 900 МГц	1,8–3,6	700/800/900	18,8×13,5	120	11	26

### Висновки

Стандарт ZigBee використовується для створення недорогих безпроводних мереж передачі невеликих об'ємів даних з низьким енергоспоживанням. Технологія краща за Bluetooth тим, що є більш автономною та дешевшою, ніж попередня. Найкраще ZigBee підтримується продукцією компанії Atmel. Застосовується у системах промислового контролю, у медичному устаткуванні, інтегрується у системи автоматизації виробничих процесів.

### Література

1. Б. Сидоренко. Продукция компании Atmel для беспроводных сетей IEEE 802.15.4/ ZigBee/6LoWPAN // Электроника. – 2009.-№4. –С. 70-77.
2. Mark A. Hanson, Harry C. Powell Jr. Body area sensor networks: challenges and opportunities. // IEEE Computer. – 2009.-№2. –pp. 58-62.
3. Alan Taylor. Next-gen 3G/4G/LTE base station platforms. // Electronic Products. – 2010.-№2. –pp. 34-42.
4. Sixto Ortiz Jr. Body IEEE 802.11n: The Road Ahead. // IEEE Computer. – 2009.-№7. –pp. 13-15.
5. Неплохов А.Г. Технологии безопасности – 2010 // Системы безопасности. – 2010.-№2. –С. 106–109.

6. Офіційний сайт компанії Atmel. <http://www.atmel.com>
7. V.Korbel, S.Janes. Interesting applications of Atmel AVR microcontrollers // Digital System Design. –2009. –pp. 499-506.
8. Othman, A.K. Lee, K.M. Zen, H. Zainal. Wireless sensor networks for swift bird farms monitoring. // Ultra Modern Telecommunications & Workshops. –2009. –pp. 1-7.
9. Jianming Liao, Yu Liu. Distributed flowmeter data acquisition system based on WirelessHART networks. // Apperceiving Computing and Intelligence Analysis –2009. –pp. 383-386.
10. Радіотрансивер Chipcon's SmartRF.  
[//www-inst.eecs.berkeley.edu/~cs150/Documents/CC2420.pdf](http://www-inst.eecs.berkeley.edu/~cs150/Documents/CC2420.pdf)
11. Радіотрансивер Freescale MC1320x.  
[http://cache.freescale.com/files/wireless\\_comm/doc/fact\\_sheet/MC1320X24GZFS.pdf](http://cache.freescale.com/files/wireless_comm/doc/fact_sheet/MC1320X24GZFS.pdf)

*Ляшук О.М., Дяченко С.М. Безпроводні мережі. Стандарт ZigBee. (на прикладі продукції Atmel).* В даній роботі розглядається стан та перспективи розвитку безпроводних радіоприймачів та радіопередавачів, які використовують стандарт ZigBee. Специфікація ZigBee розроблена на базі міжнародного стандарту IEEE 802.15.4 для створення недорогих безпроводних мереж передачі невеликих об'ємів даних з низьким енергоспоживанням. Основна особливість технології ZigBee полягає в тому, що вона при відносно невисокому енергоспоживанні підтримує не тільки прості топології безпроводного зв'язку, але і складні безпроводні мережі. Найкраще ZigBee підтримується продукцією компанії Atmel. Застосовується у системах промислового контролю, у медичному устаткуванні, інтегрується у системи автоматизації виробничих процесів.

**Ключові слова:** Передача даних, безпроводні комп'ютерні мережі, стандарти безпроводних мереж

*Ляшук А.Н., Дяченко С.М. Беспроводные сети. Стандарт ZigBee.(на примере продукции Atmel)* В данной работе рассматривается состояние и перспективы развития беспроводных радиоприемников и радиопередатчиков, которые используют стандарт ZigBee. Спецификация ZigBee разработана на базе международного стандарта IEEE 802.15.4 для создания недорогих беспроводных сетей для передачи небольших объемов данных с низким энергопотреблением. Основная особенность технологии ZigBee заключается в том, что она при относительно невысоком энергопотреблении поддерживает не только простые топологии беспроводной связи, но и сложные беспроводные сети. Лучшее всего ZigBee поддерживается продукцией компании Atmel. Применяется в системах промышленного контроля, в медицинском оборудовании, интегрируется в системы автоматизации производственных процессов.

**Ключевые слова:** Передача данных, беспроводные компьютерные сети, стандарты беспроводных сетей

*Lyashuk O.M., Dyachenko S.M. Wireless networks. Standard ZigBee. (on the example of products of Atmel)* The situation and prospects of wireless radio receivers and radio transmitters which use standard ZigBee is examined in this work. The specification of ZigBee is developed on the base of international standard of IEEE 802.15.4 for creation inexpensive wireless networks for transmission small amount of information with low-power consumption. Main feature of ZigBee is support of not only simple topologies of wireless connection but also difficult wireless networks at relatively low energy consumption. Products of company Atmel have the best support of ZigBee technology. ZigBee is used in the industrial monitoring systems, in a medical equipment, can be integrated in the systems of production process automation.



*Keywords: data transmission, wireless computer networks, standards are wireless networks*