

УДК 004.725/004.725.7

Ю.В. Веренич, А.П. Здолбіцький

Луцький національний технічний університет

## СУЧАСНА ЕЛЕМЕНТНА БАЗА ДЛЯ ПОБУДОВИ БЕЗПРОВІДНИХ МЕРЕЖ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ ZIGBEE

*У роботі проведено дослідження над мережевою технологією ZigBee та сучасною елементною базою для її побудови. Оцінено доцільність її використання та основні переваги у порівнянні з іншими бездротовими технологіями. Розглянуто кілька видів трансиверів та готових модулів. Оцінено їх основні особливості.*

Ключові слова: ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi, WPAN, IEEE, трансивер.

Будовані системи стали частиною повсякденного життя. Спостерігається бурхливе зростання мікропроцесорних технологій та постійне зниження їх вартості. Автоматизація різних процесів, завдяки цьому, застосовується не тільки на виробництві, а й у побуті. У кожному будинку є не менше 30 пристроїв на базі мікроконтролерів, тому актуальним стає завдання їх комунікації. Дротові рішення в даному випадку незастосовні. У свою чергу, бездротові мережі вигідно відрізняються гнучкістю архітектури, зручністю монтажу і легкістю обслуговування. Таким чином, з'являється новий клас бездротових мереж малої дальності. Ці мережі мають ряд особливостей. Пристрої, що входять в ці мережі, мають невеликі розміри і живляться в основному від батарей. Ці мережі є Ad-Hoc мережами – високоспеціалізованими мережами, з динамічною зміною кількісного складу мережі. У зв'язку з цим виникають завдання створення та функціонування даних мереж – організація додавання і видалення пристроїв, аутентифікація пристроїв, ефективна маршрутизація, безпека даних, що передаються, «живучість» мережі, продовження часу автономної роботи кінцевих пристроїв.

Актуальність роботи визначається актуальністю використання бездротових технологій. Одним з головних напрямів впровадження бездротового зв'язку є бездротові мережі датчиків, що застосовуються в промислових системах управління та контролю SCADA, а також у побуті у вигляді систем автоматизації типу «Розумний будинок». Ринок подібних систем щороку зростає, а це означає актуальність дослідження елементної бази та визначення основних відмінностей елементів.

### Технологія ZigBee

Прогресивним кроком у розвитку бездротового зв'язку є розробка стандартних міжнародних протоколів передачі даних, що дозволяють об'єднати досвід спеціалістів різних країн і забезпечити сумісність пристроїв різних виробників. Життєздатність БТ підтверджують з успіхом використовуються Bluetooth і Wi-Fi.

У даній статті розглядаються бездротові мережі, що реалізуються за допомогою технології ZigBee, яка базується на стандарті IEEE 802.15.4, та сучасну елементну базу, яка дозволяє їх організувати. ZigBee є наймолодшою і найперспективнішою технологією для побудови бездротових мереж, в яких треба передавати невеликий об'єм інформації.

Спочатку ZigBee розроблялася для об'єднання в мережу великої кількості автономних приладів, наприклад датчиків і вимикачів, які живляться батарейками. Технологія ZigBee дозволяє створювати бездротові мережі з автоматичною ретрансляцією повідомлень, які самоорганізуються і самовідновлюються. У даний час технологія ZigBee виходить за межі дослідних лабораторій і починає широко застосовуватися на практиці для створення бездротових мереж датчиків, систем автоматизації будівель, пристроїв автоматичного зчитування показань лічильників, охоронних систем, систем управління у промисловості. Такі мережі при відносно невеликих швидкостях передачі даних забезпечують гарантовану доставку пакетів і захист переданої інформації.

Стандарт 802.15.4 описує фізичне середовище передачі сигналу (PHY-рівень) і способи доступу до нього (MAC-рівень). Іншими словами, стандарт 802.15.4 обговорює наступні параметри радіомережі – діапазон частот, тип модуляції, структуру пакетів, правила формування

контрольної суми, способи запобігання колізій і т.д. Всі ці характеристики, у більшій чи меншій мірі, реалізуються в мікросхемі прийомопередавача (трансивера). Трансивери, що відповідають стандарту 802.15.4, можуть використовуватися як самостійні пристрої, якщо розробнику потрібно організувати зв'язок точка-точка або зірка. Для організації повноцінної мережі ZigBee необхідно додати мікроконтролер, у який повинен бути завантажений набір керуючих програм, так званий стек протоколів ZigBee.

Протоколи ZigBee розроблені з урахуванням максимального енергозбереження, що дозволяє пристроям перебувати основну частину часу в сплячому режимі. Тому пристрої ZigBee здатні працювати від одного акумулятора рік і більше.

Мережі ZigBee є самоутворюваними і самовідновлюваними. Технологія ZigBee може бути використана не тільки для реалізації простих з'єднань типу "точка-точка" і "зірка", але також і для утворення складних мереж з топологіями "дерево" та "комірчаста мережа". Радіус зони покриття пристроїв ZigBee залежить від декількох факторів, але в першу чергу – від чутливості приймача та потужності передавача. При цьому, за рахунок ретрансляції повідомлень, зона покриття мережі ZigBee може бути значно ширше, ніж відстань між вузлами.

Таким чином, мережа ZigBee є динамічною децентралізованою енергонезалежною бездротовою мережею з можливістю ретрансляції повідомлень, будучи підходящою технологією для комунікації вбудованих систем.

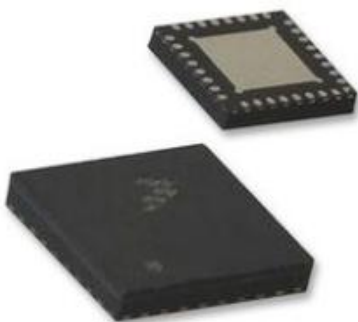
### Елементна база

Протокол ZigBee визначає характер роботи мережі датчиків. Пристрої утворюють ієрархічну мережу, яка може містити координатор, маршрутизатори і кінцеві пристрої. Коренем мережі являється координатор ZigBee. Маршрутизатори можуть враховувати ієрархію, можлива також оптимізація інформаційних потоків. Координатор ZigBee визначає мережу і встановлює для неї оптимальні параметри. Маршрутизатори ZigBee підключаються до мережі або через координатор ZigBee, або через інші маршрутизатори, котрі вже входять у мережу. Кінцеві пристрої можуть з'єднуватися з довільним маршрутизатором ZigBee або координатором ZigBee. По замовчуванню трафік повідомлень розповсюджується по віткам ієрархії. Якщо маршрутизатори мають відповідні можливості, вони можуть визначати оптимізовані маршрути до визначеної точки і зберігати їх для подальшого використання в таблицях маршрутизації.

В основі будь-якого елементу для мережі ZigBee лежить трансивер. Активно розробляються різного роду трансивери та мікроконтролери, в які потім завантажуються ряд керуючих програм (стек протоколів ZigBee). Так як розробки ведуться багатьма компаніями, то розглянемо та порівняємо новинки трансиверів тільки кількох виробників: CC2530 (Texas Instruments), AT86RF212 (Atmel), MRF24J40 (Microchip) (таблиця 1).



Texas Instruments випускає широкий асортимент трансиверів. Основні з них: CC2480, CC2420, CC2430, CC2431, CC2520, CC2591. Всі вони відрізняються за характеристиками та якісними показниками. Новинка від TI, мікросхема CC2530, що підтримує стандарт IEEE 802.15.4, призначена для організації мереж стандарту ZigBee Pro, а також засобів дистанційного керування на базі ZigBee RF4CE і обладнання стандарту Smart Energy. IC CC2530 об'єднує в одному кристалі РЧ-трансивер і мікроконтролер, ядро якого сумісне зі стандартним ядром 8051 і відрізняється від нього поліпшеною швидкодією. IC випускається в чотирьох виконаннях CC2530F32/64/128/256, що розрізняються обсягом флеш-пам'яті – 32/64/128/256 Кбайт, відповідно. В усьому іншому всі IC ідентичні: вони поставляються в мініатюрному RoHS-сумісному корпусі QFN40 розмірами 6x6 мм і мають однакові робочі характеристики. CC2530 представляє собою істотно покращений варіант мікросхеми CC2430. З точки зору технічних параметрів і функціональних можливостей мікросхема CC2530 перевершує або не поступається CC2430. Однак через підвищену вихідну потужність (4,5 дБм) незначно вище струм споживання (з 27 до 34 мА) при передачі. Крім того, ці мікросхеми мають різні корпуси і кількість виводів.



AT86RF212 – малопотужний і низьковольтний РЧ-трансивер діапазону 800/900 МГц, який спеціально розроблений для недорогих IEEE 802.15.4 ZigBee-сумісних пристроїв, а

також для ISM-пристроїв з підвищеними швидкостями передачі даних. Працюючи в діапазонах частот менше 1 ГГц, він підтримує передачу даних на малих швидкостях (20 і 40 кбіт / сек) за стандартом IEEE 802.15.4-2003, а також має опціональну можливість передачі на підвищених швидкостях (100 і 250 Кбіт/сек) при використанні модуляції O-QPSK у відповідності зі стандартом IEEE 802.15.4-2006. Більше того, при використанні спеціальних високошвидкісних режимів, можлива передача на швидкості до 1000 Кбіт/сек. AT86RF212 можна вважати функціональним блоком, який з'єднує антену з інтерфейсом SPI. Всі критичні для РЧ тракту компоненти, за винятком антени, кварцового резонатора і блокувальних конденсаторів, інтегровані в ІС. Для поліпшення загальносистемної енергоефективності та розвантаження керуючого мікроконтролера в ІС інтегровані прискорювачі мережевих протоколів (MAC) і AES-шифрування.



Компанія Microchip Technology виробляє 8-, 16- і 32-розрядні мікроконтролери та цифрові сигнальні контролери, а також аналогові мікросхеми і мікросхеми Flash-пам'яті. На даний момент фірма випускає передавачі, приймачі та трансивери для реалізації рішень для IEEE 802.15.4/ZigBee, IEEE 802.11/Wi-Fi, а також субгігагерцевого ISM-діапазону. Наявність у "портфелі" компанії PIC-мікроконтролерів, аналогових мікросхем і мікросхем пам'яті дозволяє їй запропонувати клієнтам комплексні рішення для бездротових рішень. MRF24J40 – однокристальний приймач, що відповідає стандарту IEEE 802.15.4

для бездротових рішень ISM-діапазону 2,405-2,48 ГГц. Цей трансивер містить фізичний (PHY) і MAC-функціонал. Разом з мікроспоживаючими PIC-мікроконтролерами і готовими стеками MiWi і ZigBee трансивер дозволяє реалізувати як прості (на базі стека MiWi), так і складніші (сертифіковані для роботи в мережах ZigBee) персональні бездротові мережі (Wireless Personal Area Network, WPAN) для портативних пристроїв з батарейним живленням. Наявність MAC-рівня допомагає зменшити навантаження на керуючий мікроконтролер і дозволяє використовувати недорогі 8-розрядні мікроконтролери для побудови радіомереж.

Ряд компаній випускає завершені модулі ZigBee. Це невеликі плати (2...5 кв.см.), на яких встановлено чіп трансивера, керуючий мікроконтролер і необхідні дискретні елементи. У керуючий мікроконтролер, у залежності від бажання і можливості виробника закладається або повний стек протоколів ZigBee, або інша програма, що реалізує можливість простого зв'язку між однотипними модулями. В останньому випадку модулі іменуються ZigBee-готовими (ZigBee-ready) або ZigBee-сумісними (ZigBee compliant). Всі модулі дуже прості в застосуванні – вони містять широко поширені інтерфейси (UART, SPI) і управляються за допомогою невеликого набору нескладних команд. Застосовуючи такі модулі, розробник позбавлений від роботи з високочастотними компонентами, так як на платі присутній ВЧ трансивер, вся необхідна "обв'язка" і антена. Модулі містять цифрові й аналогові входи, інтерфейс RS-232 і, в деяких випадках, вільну пам'ять для прикладного програмного забезпечення.

Для прикладу, компанія Jennic випускає лінійку ZigBee-сумісних радіомодулів, побудованих на низькоспоживаючому бездротовому мікроконтролері JN5121. Застосування радіомодуля значно полегшує процес розробки ZigBee-мережі, звільняючи розробника від необхідності конструювання високочастотної частини виробу. Використовуючи готовий радіомодуль, розробник отримує доступ до всіх аналогових і цифрових портів вводу-виводу чіпа JN5121, таймерам, послідовного порту і інших послідовних інтерфейсів. У серію входять модулі з керамічної антеною або SMA-коннектором з дальністю зв'язку до 200 метрів. Розмір модуля 18x30 мм. Версія модуля з підсилювачем потужності і підсилювачем вхідного сигналу має розмір 18x40 мм і забезпечує дальність зв'язку більше 1 км. Кожен модуль поставляється з вбудованим стеком протоколу рівня 802.15.4 MAC або ZigBee-стеком.

Таблиця 1

Особливості розглядуваних трансиверів

Параметр	CC2530	AT86RF212	MRF24J40
Робочий температурний діапазон (°C)	-40...+125	-40...+85	-40...+85

Робоча напруга, В	2,0...3,6	1,8...3,6 В	2,4...3.6
Діапазон частот	2.4 ГГц	от 863 до 928 МГц	2,405–2,48 ГГц
Метод шифрування	AES-128	AES-128	AES-128
Інтерфейси	USART, SPI	SPI, вихід синхронізації з програмною частиною	4-проводний SPI
Споживаний струм	Tx (+4.5 дБм), 34 мА Tx (0 дБм), 29 мА Rx, 24 мА	Tx (+5 дБм), 19 мА Tx (0 дБм), 9 мА Rx, 0,4 мА	Tx, 23 мА Tx (0 дБм), 2 мкА Rx, 19 мА
Корпус	6x6 мм, QFN-40	5x5 мм, QFN-32	6x6 мм, QFN-40
Особливості	21 порт GPIO, 2 порта USART	Сумісність з IEEE 802.15.4-2003, IEEE 802.15.4-2006, ETSI EN 300 220-1, а також FCC 47 CFR (секція 15.247)	Підтримка протоколів ZigBee, MiWi P2P і MiWi;

Також потребує уваги SPZB250 – ZigBee-модуль, що включає в себе систему-на-кристалі SN250, необхідний набір пасивних компонентів і антену. Він є оптимальним за вартістю і енергоспоживанням вузлом ZigBee-мережі, здатним виконувати додаток користувача. Модуль здатний працювати як координатор, роутер або кінцевий пристрій. Широкий спектр підтримуваних інтерфейсів вводу / виводу дозволяє сполучати SPZB250 з будь-якими датчиками і периферійними пристроями. Модуль SPZB250 дозволяє розробнику відмовитися від проектування високочастотної апаратної частини, і зосередитися на розробці програмної частини власного додатка. Модуль побудований на базі мікросхеми SN250, яка є системою-на-кристалі і включає в себе трансивер 2,4 ГГц стандарту IEEE 802.15.4/ZigBee, малошумний підсилювач та інтегрований мікроконтроллер на базі 16-розрядного ядра XAP2.

Microchip також виготовляє готові модулі. Прикладом є MRF24J40MA, на основі розглянутого вище трансивера MRF24J40. На платі розміром 18x28 мм знаходяться: антена, власне чіп, кварц на 20 МГц, ВЧ-обв'язка (конденсатори і дроселі) і буфер виходу. Буфер вбудований через помилки: чіп не переводить вихід у високоомний стан при неактивності. Зв'язок з хост-контроллером – по SPI, плюс піни на переривання і пробудження. Робота ведеться на частоті 2.4 ГГц (канали 11-26). Споживає 18-22мА.

### Висновки

Розглянувши навіть таку невелику кількість трансиверів вия, що всі вони перевершують один одного але, враховуючи їх відмінності у відстані передачі і енергоспоживанню, сфери їх застосування дещо відрізняються (хоча всіх їх можна застосовувати де нам потрібно).

Трансивер CC2530 компанії TI має широке застосування і є ідеальним вибором для конструювання закінченого пристрою. Зручні засоби розробки і готовий зразок дизайну полегшують роботу інженера і скорочують час виведення кінцевого продукту на ринок. Області застосування: охоронні системи, "розумний будинок", медичне, спортивне обладнання, системи M2M (міжмашинна взаємодія).

Мікросхема MRF24J40 це ідеальне рішення для побудови мереж бездротових датчиків, домашньої автоматики, систем збору даних і інших додатків. Вона надає ефективні за ціною бездротові рішення.

Так, як AT86RF212 має найнижче енергоспоживання і дуже велику дальність передачі, то області його застосування досить широкі. Можна застосовувати як на виробництві, так і у великих будинках, де це найбільше підходить.

1. [www.zigbee.org](http://www.zigbee.org).
2. <http://www.microchip.com>.
3. <http://catalog.gaw.ru>.
4. <http://www.wless.ru/technology/?tech=1>.
5. <http://www.efo.ru/cgi-bin/go?2512>.
6. <http://spectron.com.ua/zigbee.html>.