

УДК 621

О. І. КОВТУН¹, В. Л. ПЛЕСКАЧ¹, О. П. ТКАЛІЧ²¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна² Навчально-науковий інститут авіонавігації

Національного авіаційного університету, Київ, Україна

БЕЗДРОТОВІ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ СТАНДАРТІВ ZIGBEE, BLUETOOTH, WI-FI

Проведено огляд стандартів бездротових мереж та розглянуто класифікацію протоколів бездротового передавання даних на основі стандартів ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi з метою забезпечення швидкого підключення користувачів до бездротових мереж, їх мобільності і гнучкості. Приведено декілька способів організації бездротової сенсорної мережі, в тому числі на базі мікроконтролерів Arduino та відповідних адаптерів різних стандартів. Розроблено логічні топології сенсорних мереж. В роботі проведено аналіз мікроконтролерів Arduino для виконання певних функцій та завдань. Розглянуто можливість роботи стандартів ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi в межах однієї мережі з використанням шлюзів. Запропоновано використання мікрокомп'ютера Raspberry Pi в якості маршрутизатора та трьохстандартного шлюзу.

Ключові слова: сенсорні мережі, стандарт ZigBee, стандарт Bluetooth, датчики.

Введення

Сенсорна мережа – це розподілена, самоорганізована мережа низки датчиків і виконавчих пристроїв, об'єднаних між собою за допомогою радіоканалу. Такі мережі можуть використовувати у різних прикладних застосуваннях: охоронно-пожежних системах, контролюванні мікроклімату, автоматизації бізнес-процесів, обліку та оптимізації споживання водо- та інших ресурсів тощо. Сфера покриття таких мереж складає від одного метра до кількох кілометрів. Приклад, IEEE 802.11ac – це стандарт бездротових локальних мереж Wi-Fi на частотах 5-6 ГГц.

Все різноманіття протоколів бездротового передавання даних можна класифікувати за кількома різними ознаками, обравши як параметр, наприклад, топологію мережі, швидкість роботи чи алгоритм підтримання безпеки.

Найбільш поширений метод класифікації – це радіус дії бездротової мережі. WWAN (Wireless Wide area network), в основному – це мережі стільникового зв'язку, їх радіус дії становить десятки кілометрів, до цих мереж відносять такі протоколи як GSM, CDMAone, iDEN, PDC, GPRS, UMTS.

WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks) – це бездротові мережі масштабу міста, радіус дії таких мереж кілька кілометрів, прикладом протоколу цієї мережі є Wi-Fi та WiMAX мережі.

Wireless LAN (Wireless Local Area Network) –

це бездротова локальна обчислювальна мережа, радіус дії цього класу мереж кілька сотень метрів. До них належать такі протоколи як UWB, Wi-Fi.

WPAN застосовують для зв'язку різних пристроїв, включаючи комп'ютери, побутові прилади та оргтехніку, засоби зв'язку, радіус дії WPAN становить від кількох метрів до декількох десятків метрів. Його використовують як для об'єднання окремих пристроїв між собою, так і для зв'язку їх з мережами на основі протоколів RuBee, X10, Insteon, Bluetooth, ZigBee, Z-Wave, ANT, RFID.

Одним із базових стандартів реалізації цих мереж є стандарт IEEE 802.15.4 ZigBee, який, згідно з Альянсом ZigBee [1], має значно більшу гнучкість порівняно зі своїми аналогами. Реалізація стандарту ZigBee базується на трьох типах пристроїв: координаторі, маршрутизаторі та виконавчому пристрої (сенсорі чи датчику) [2]. Головним елементом у бездротовій сенсорній мережі стандарту ZigBee є єдиний координатор. Він керує всією мережею і до нього надходить вся інформація з мережі. Маршрутизатори керують потоками інформації між пристроями мережі і забезпечують найоптимальніші маршрути для подальшого передавання інформаційних пакетів. Збиранням інформації та передаванням її в мережу займаються виконавчі пристрої.

Мета роботи: організувати сенсорну мережу з використанням трьохстандартного шлюзу.

Один із способів організації бездротової сенсорної мережі є застосування мікроконтролера Arduino [3], який є доволі зручним у використанні та підк-

люченні кінцевих пристроїв. Це відкрита електронна платформа, призначена для швидкого створення інтерактивних електронних пристроїв, сформована на основі мікроконтролерів Atmel, використовуваних для отримання сигналів від аналогових і цифрових датчиків, керування різними виконавчими пристроями та обміну інформацією з комп'ютером за допомогою різних інтерфейсів. Модулі XBee з'єднують згідно з конфігурацією PAN, базовою

топологією таких систем є point-to-point або point-to-multipoint. Коли необхідно замінити дротовий послідовний зв'язок між двома віддаленими пристроями бездротовим зв'язком, тоді є зручною схема point-to-point, в інших випадках за використання розподілених мереж датчиків використовують конфігурацію point-to-multipoint. Схему бездротової сенсорної мережі стандарту IEEE802.15.4 ZigBee на основі мікроконтролерів Arduino зображено на рис. 1.

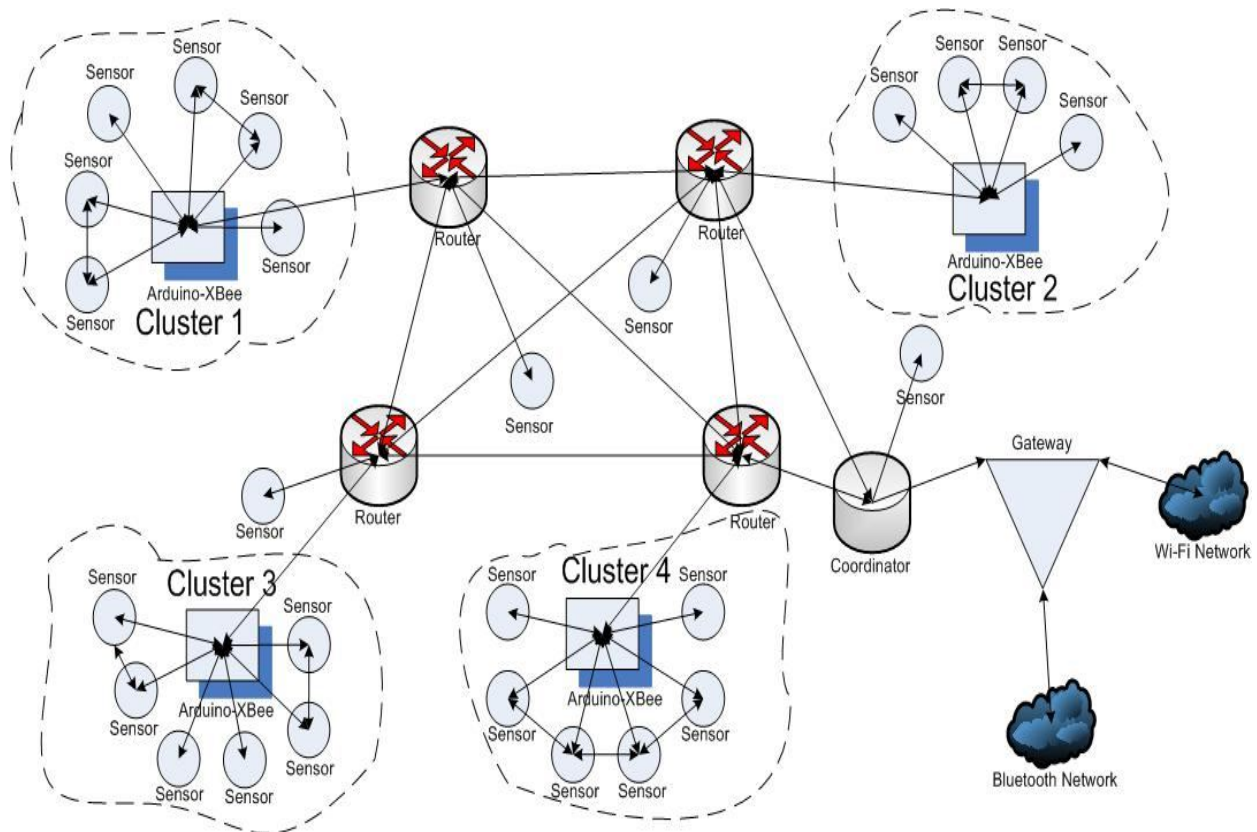


Рис. 1. Бездротова сенсорна мережа стандарту ZigBee, реалізована на мікроконтролерах Arduino

До складників мережі входять: координатор, що керує бездротовою мережею стандарту IEEE 802.15.4 ZigBee; маршрутизатори, що керують потоками інформації між різними пристроями; сенсори, що збирають інформацію звідусіль і передають її в мережу; плата Arduino-XBee. Остання складається з плати Arduino, плати розширення Arduino-XBee та радіомодуля XBee.

Мікроконтролери Arduino виконують оброблення інформації, агрегування даних від вузлів мережі та керування іншими вузлами бездротової сенсорної мережі за допомогою API інтерфейсу, чим значно знижують навантаження з координатора, який в цьому випадку виконує тільки підтримувальні, сервісні функції: моніторинг, конфігурацію, налаштування та адресацію мережі.

Кластеризація полегшує керування та моніторинг інформації з кінцевих приладів, саме тому запропоновано розподілити мережу на певні кластери. Кластери сенсорної мережі можуть формувати з різних типів призначення датчиків. Так, в кластері 1 можуть бути об'єднані датчики температури та відеоспостереження, датчики освітлення і вологості, в кластері 2 – датчики температури і вологості, в кластері 3 – датчики відкриття дверей і відеоспостереження, датчики освітлення, а в кластері 4 – датчики освітлення та температури і датчик відкриття дверей. У мережі адресацію здійснюють за допомогою 16-бітового ідентифікатора мережі. Бездротова сенсорна мережа є сегментом корпоративної мережі, яка також охоплює бездротову мережу стандарту Wi-Fi і бездротову мережу стандарту Bluetooth.

Через шлюз проходить взаємодія між трьома бездротовими мережами.

Стандарт IEEE 802.15.1 Bluetooth [5] надає бездротове з'єднання невеликої дії. Він добре розвинутий і його застосовують для комунікації мобільних телефонів, планшетних ПК, периферійного обладнання. Проте він не розрахований на мережі з низьким енергоспоживанням, що істотно обмежує його поширення в сенсорних мережах.

Технологія Bluetooth Low Energy (BLE) – Bluetooth 4.0 [6] є технологією бездротового зв'язку для ближніх комунікацій, розробленою групою Bluetooth SpecialInterest Group. На відміну від стандарту Bluetooth 3.0, BLE орієнтовано на застосування в системах збирання даних, моніторингу з автономним живленням. На відміну від технологій сенсорних мереж, таких як ZigBee, 6LoWPAN або Z-Wave, орієнтованих на розподілені мережі з численними передачами даних між вузлами мережі, Bluetooth Low Energy орієнтовано на топології типу point-to-point і зірка. Основними сферами застосування BLE є облаштування забезпечення безпеки, керування електроприладами і відображення даних, датчиками з батарейним живленням, домашніх медичних приладів, спортивних тренажерів.

Мережа стандарту Bluetooth, як і бездротова сенсорна мережа стандарту ZigBee, може бути реалізована на базі мікроконтролерів Arduino [7]. Згідно з BLE112 Datasheet [8], для взаємодії плати Arduino з мережею стандарту Bluetooth Low Energy використовують радіомодуль BLE112. Модуль BLE112 є однорежимним BLE-модулем, який призначено для сенсорних систем та BLE-аксесуарів з батарейним живленням. Цей модуль підтримує практично всі можливості налагоджень BLE, тому можлива робота модуля BLE без зовнішнього контролера.

BLE112 вирізняє досить низьке енергоспоживання та широкий діапазон напруги живлення. Він може безпосередньо працювати від 3В батареї типу "монета" або від пари батареї типу AAA. BLE112 базовано на BLE-процесорі від Texas Instruments CC2540, і в доповненні до самого бездротового процесора, має вбудовані кварцеві резонатори на 32 МГц і на 32.678 КГц. Схему бездротової сенсорної мережі стандарту IEEE 802.15.1 Bluetooth за допомогою мікроконтролерів Arduino зображено на рис. 2.

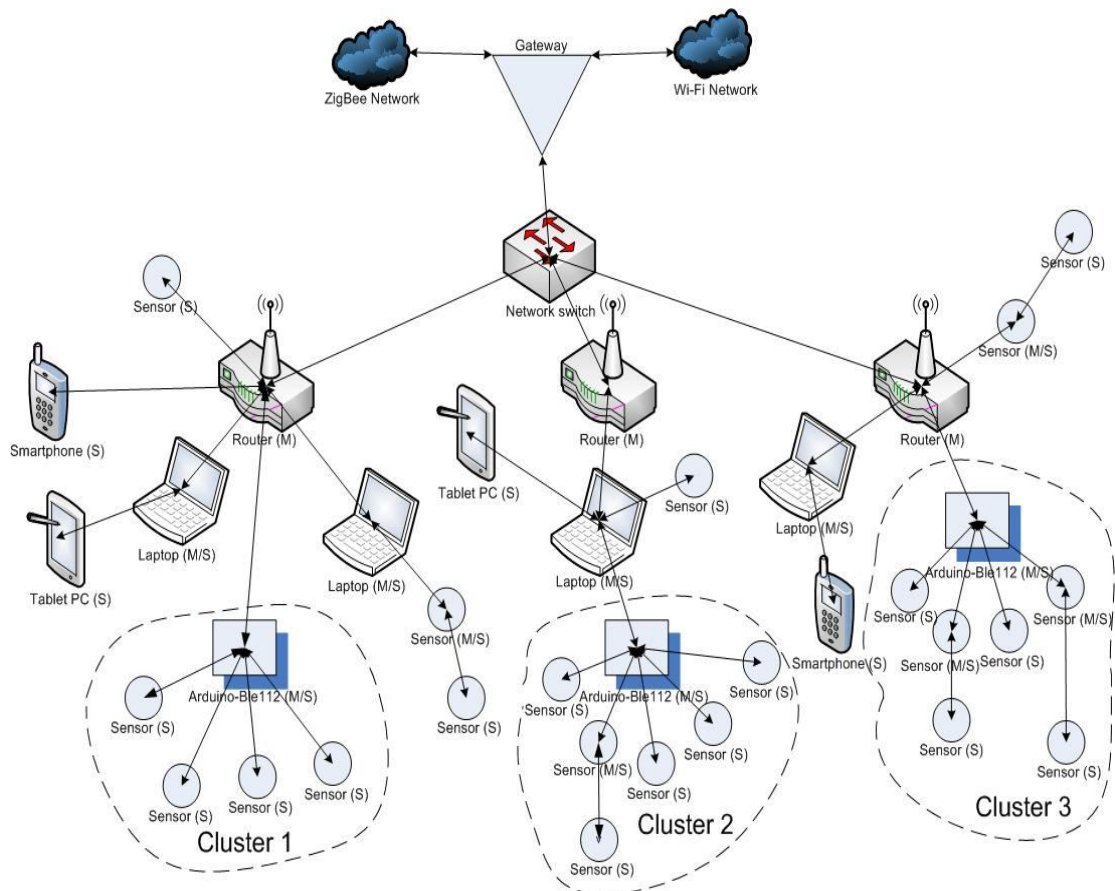


Рис. 2. Бездротова сенсорна мережа стандарту Bluetooth Low Energy, реалізована за допомогою мікроконтролерів Arduino

До мережі входять: маршрутизатори, які керують даними у мережі; сенсори, які взаємодіють з різноманітними пристроями, передають інформацію в мережу; плати Arduino – BLE 112, що містять мікроконтролер Arduino та радіомодуль BLE112. Мікроконтролери Arduino виконують оброблення інформації, агрегування даних від вузлів мережі і керування іншими вузлами бездротової сенсорної мережі за допомогою API інтерфейсу.

Кластери сенсорної мережі стандарту Bluetooth LowEnergy формують, виходячи з типів призначення датчиків. Наприклад, в кластері 1 і кластері 3 можуть бути об'єднані датчики безпеки та керування електроприладами, а в кластері 2 – датчики медичних приладів. Топологія мережі є ієрархічною і багаторівневою. Інформація від маршрутизаторів надходить до комутатора, що є кореневим в мережі, та у свою чергу, передає ці дані через шлюз до корпоративної мережі.

У мережі адресацію реалізують за допомогою 48-біткової адреси Bluetooth. Оскільки в мережі стандарту ZigBee адреса має 16 біт, то для міжмережевої адресації з мережею Bluetooth Low Energy біти доповнюють нулями. Магістральні лінії зв'язку для сенсорних мереж доцільно будувати на базі технології Wi-Fi. Це пов'язано з особливостями пристроїв для роботи в мережах, вказаних в стандарті IEEE Std 802.11 [9]. Плату розширення Arduino Wi-Fi Shield використовують для роботи контролера Arduino в мережах Wi-Fi. Це дозволяє контролерам Arduino здійснювати мережеве підключення шляхом використання бездротової мережі формату 802.11 стандартів b/g. Для зберігання і передавання файлів мережею на платі Wi-Fi є слот для мікро- SD карт.

Бібліотеку SD Library використовують для доступу до даних на карті. Шиною SPI на роз'ємі ICSP здійснюють підключення процесора плати розширення Wi-Fi і вбудованої карти SD. У бездротових мережах та в мережах з використанням шифрування WPA2 Personal або WEP використовують плату Wi-Fi. Можливо також використати модуль на чіпсеті ESP8266, який дозволяє використати його як шлюз доступу до мережі, так і як окремий пристрій, який можна запрограмувати для взаємодії з окремими вузлами, сенсорами, які не підтримують цей стандарт зв'язку при підключенні до мережі Wi-Fi. Пристрій комунікує з ESP8266 через UART-порт за допомогою низки AT-команд. Тому робота з модулем нескладна для будь-якої плати з UART-інтерфейсом: можливе використання Arduino, Raspberry Pi. Робота над прийомом і передаванням даних – це взаємодія з TCP-сокетом або з serial-портом комп'ютера. Через Arduino IDE, як і при роботі з Arduino можна завантажувати прошивку та повному перепрограмувати. Реакція на AT-команди – це функція прошивання, що встановлюється виробником. При потребах проекту можна написати свою власну програму. На модулі є два порти введення-виведення загального призначення, тоді можна підключити периферію безпосередньо до них.

Пропонується застосувати трьохстандартний шлюз в центрі мережі для об'єднання різних бездротових мереж. В якості шлюза буде виступати мікрокомп'ютер Raspberry Pi, який також може бути і координатором сенсорної мережі з налаштованими на ньому декількома серверами, необхідних для забезпечення адресації в мережі. Побудову сегменту сенсорної мережі Wi-Fi зображено на рис. 3.

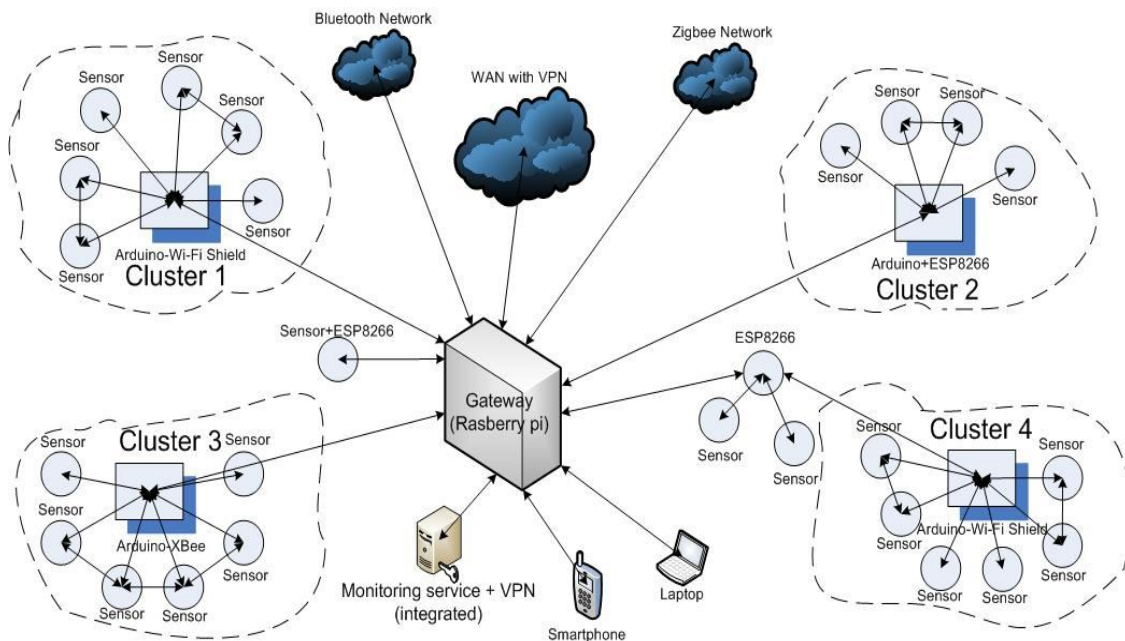


Рис. 3. Бездротова сенсорна мережа Wi-Fi, реалізована через мікроконтролери Arduino

Висновки

У статті запропоновано використовувати трьоштандартний шлюз, який дозволить об'єднати три різних стандарти бездротового зв'язку. Організовано підключення кластерів сенсорів і окремих сенсорів до мікроконтролерів Arduino, які залежно від функціональності програмного прошивання виконують передавання інформації на кореневий шлюз із виходом у розподілену мережу або виконують запрограмовані дії з підключеними до них пристроями у мережі. Доцільно використати функціональні пристрої з можливістю програмної комутації. Такими пристроями можуть бути сервера, комп'ютери, ноутбуки, мінікомп'ютери, а платформа Raspberry Pi виконуватиме цю роль якнайкраще. Підтримання 802.11b/g/n. забезпечують за допомогою USB Wi-Fi доповнення. Для мереж Zigbee та Bluetooth можливі розширення.

Розподіл за кластерами можна виконати за критеріями територіальної віддаленості. Для віддаленого передавання даних і керування реалізують віртуальну приватну мережу VPN, через яку можна передати інформацію певних типів сенсорів виділеними каналами, що дозволить структурувати трафік у мережі, що спростить керування мережею. Відтак, бездротові мережі є комфортними та забезпечують просте підключення користувачів, мобільність, гнучкість і масштабованість мережі.

Література

1. ZigBee Alliance [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zigbee.org/>. – 20.06.2106.
2. Побудова сенсорної мережі аеропорту та її інтеграція з бездротовою мережею аеропорту стандарту 802.11 [Текст] / О. П. Ткалич, Р. С. Одарченко, О. Ю. Устинов, Д. О. Колодинський // Современный научный вестник. – 2013. – Т. 2, № 1. – С. 139–143.
3. Блум, Д. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства [Текст] / Д. Блум. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2015. – 336 с.
4. XBee Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.digi.com/lp/xbee>, <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Datasheet.pdf>. – 20.06.2016.
5. 802.15.1-2005 - IEEE Standard for Information technology-- Local and metropolitan area networks-- Specific requirements-- Part 15.1a: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications for Wireless Personal Area Networks (WPAN) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=1490827&filter=AND%28p_Publication_Number:9980%29. – 20.06.2106.

<http://www.digi.com/lp/xbee>, <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Datasheet.pdf>. – 20.06.2106.

6. Bluetooth Low Energy Alliance [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/bluetooth-technology-basics/low-energy>. – 20.06.2106.

7. Петин, В. Проекты с использованием контроллера Arduino [Текст] / В. Петин. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2014. – 400 с.

8. BLE112 Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bluegiga.com/en-US/products/ble112-bluetooth-smart-module/>, https://www.bluetooth.org/tpg/RefNotes/BLE112_Datasheet1.pdf. – 20.06.2106.

9. IEEE 802.11™ WIRELESS LOCAL AREA NETWORKS. The Working Group for WLAN Standards [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ieee802.org/11/>. – 20.06.2106.

10. Raspberry Pi [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.raspberrypi.org/>. – 20.06.2106.

References

1. ZigBee Alliance. Available at: <http://www.zigbee.org/> (accessed 20.06.2106).
2. Tkalich, O. P., Odarchenko, R. S., Ustinov, O. Yu., Kolodinskiy, D. O. Construction of sensory me-rezhi airport and his integration with the wireless network of airport of standard 802.11. *Sovremennyj nauchnyj vestnik – Modern scientific bulletin*, 2013, vol. 2, no. 1, pp. 139–143.
3. Blum, D. *Izuchaem Arduino: instrumenty i metody tehničeskogo volshebstva* [Learning Arduino: tools and methods of technical wizardry]. St. Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2015. 336 p.
4. XBee Datasheet. Available at: <http://www.digi.com/lp/xbee>, <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Datasheet.pdf> (accessed 20.06.2016).
5. 802.15.1-2005 - IEEE Standard for Information technology - Local and metropolitan area networks-- Specific requirements - Part 15.1a: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications for Wireless Personal Area Networks (WPAN). Available at: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=1490827&filter=AND%28p_Publication_Number:9980%29 (accessed 20.06.2016).
6. Bluetooth Low Energy Alliance. Available at: <http://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/bluetooth-technology-basics/low-energy> (accessed 20.06.2106).
7. Petin, V. *Proekty s ispol'zovaniem kontrollera Arduino*. St. Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2014. 400 p.
8. BLE112 Datasheet. Available at: <https://www.bluegiga.com/en-US/products/ble112-bluetooth-smart-module/>, https://www.bluetooth.org/tpg/RefNotes/BLE112_Datasheet1.pdf (accessed 20.06.2106).

9. *IEEE 802.11TM WIRELESS LOCAL AREA NETWORKS. The Working Group for WLAN Standards.* Available at: <http://www.ieee802.org/11/> (accessed 20.06.2106).

10. *Raspberry Pi.* Available at: <https://www.raspberrypi.org/> (accessed 20.06.2106).

Поступила в редакцію 1.09.2015, рассмотрена на редколлегии 09.12.2016

БЕСПРОВОДНЫЕ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАНДАРТОВ ZIGBEE, BLUETOOTH, WI-FI

О. І. Ковтун, В. Л. Плєскач, О. П. Ткаліч

Проведен обзор стандартов беспроводных сетей и рассмотрена классификация протоколов беспроводной передаваемости данных на основе стандартов ZIGBEE, Bluetooth, Wi-Fi с целью обеспечения быстрого подключения пользователя к беспроводным сетям, их мобильности и гибкости. Приведено несколько способов организации беспроводной сенсорной сети, в том числе на базе микроконтроллеров Arduino и соответствующих адаптеров разных стандартов. Разработана логическая топология сенсорных сетей. В работе проведен анализ микроконтроллеров Arduino для выполнения определенных функций и заданий. Рассмотрена возможность работы стандартов ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi в пределах одной сети использованных шлюзов. Предложено использование микрокомпьютера Raspberry Pi в качестве маршрута-затора и трехстандартного шлюза.

Ключевые слова: сенсорные сети, стандарт ZigBee, стандарт Bluetooth, датчики.

WIRELESS OF NETWORK WITH THE USE OF STANDARDS ZIGBEE, BLUETOOTH, WI-FI

О. І. Ковтун, В. Л. Плєскач, О. П. Ткаліч

The review of standards for wireless networks and wireless protocols was revised the and classification of data based on standards ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi was proposed in order to quickly connect users to wireless networks with aim of mobility and flexibility. The several ways of sensor network, including on the basis of Arduino microcontrollers and related adapters of different standards were used for this approach. In the article were analyzed the Arduino microcontroller to perform certain functions and tasks. The possibilities of standards ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi within the network were considered using gateways and the usage of Raspberry Pi microcomputer as a router and gateway also was considered.

Key words: sensory networks, standard of ZigBee, standard of Bluetooth, sensors.

Ковтун Оксана Іванівна – канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри прикладних інформаційних систем, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна, e-mail: kovok@ukr.net.

Плєскач Валентина Леонідівна – канд. техн. наук, професор, завідувач кафедри прикладних інформаційних систем, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна, e-mail: v_pleskach@ukr.net.

Ткаліч Олег Петрович – канд. техн. наук, доцент кафедри телекомунікаційних систем Навчально-наукового інституту аеронавігації, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, e-mail: tkalich@nau.edu.ua.

Kovtun Oksana Ivanivna – Candidate of Physics and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Applied Information Systems, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine, e-mail: kovok@ukr.net.

Pleskach Valentyna Leonidivna – PhD, Professor, Head of Department of Applied Information Systems, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine, e-mail: v_pleskach@ukr.net.

Tkalich Oleg Petrovych – PhD, assistant professor of telecommunication systems educational and research institute of the national aviation university of air navigation, e-mail: tkalich@nau.edu.ua.