

УДК 502.175:004.7:638.1

doi: 10.32620/reks.2019.3.04

Д. Д. СОКОЛОВ, В. Ю. МЕРЛАК, О. О. ОРЕХОВ, А. П. ПЛАХТЕЕВ

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Україна***ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ: РОЗРОБЛЕННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТИ**

Стаття присвячена розробці системи моніторингу на базі бездротових сенсорних мереж. Мета статті – реалізувати систему для екологічного моніторингу за допомогою безпроводних сенсорних мереж, а також застосування її на пасіці. Було досліджено бездротові сенсорні мережі та їх участь у екологічному моніторингу та описано взаємодію бездротової мережі та протоколів передачі даних. Була розглянута і проаналізована система моніторингу, а також розглянуті системи в яких вже застосовується моніторинг. Був проведений експеримент в якому перевірялося на яку максимальну відстань можуть передаватися параметри температури і вологості, експеримент проводився з перешкодами і без перешкод. Були розглянуті алгоритми маршрутизації як вони працюють і як відбувається передача параметрів (температури і вологості) від датчиків до сервера. Було досліджено і розроблено макет наземної системи моніторингу для екологічного моніторингу на основі бездротової технології побудови сенсорних мереж Zigbee з урахуванням того, що у дану мережу можуть додаватися нові вузли або їх повна заміна. Також було знайдено рішення як можна застосувати безпроводну мережу в такій області як бджільництво. Була обрана Mesh-топологія і визначені розділені фізичні пристрої, що є вузлами цієї мережі. Також було спроектовано вузли з використанням у якості базової станції для датчиків Arduino та у якості бази передачі даних ZigBee модулі від компанії Digi під назвою XBee. Проведено дослідження даних вузлів на заводостійкість та стабільність передачі даних з використанням датчиків полум'я, диму та температури з вологістю. Під час дослідження було виявлено, що XBee вузли дуже нестабільно працюють поруч з Wi-Fi роутерами та при перешкодах у вигляді лісового масиву. Була сформована постановка задачі, в якій показана актуальність даної системи, навіщо вона потрібна, хто зможе її використовувати, а також що містить система і як вона працює. Також перераховані функції які виконує програма. Сформульовано висновок про результат експерименту, а також як можна надалі модернізувати систему, що можна додати і за якими параметрами можна ще спостерігати.

Ключові слова: моніторинг; Інтернет Речей; екологічний моніторинг; мережа; zigbee; вулик; пасіка.

Вступ

Інтернет Речей є однією з самих актуальних тенденцій розвитку інформаційних технологій та має велику важливість і популярність при розробці сучасних проектів та вирішень різноманітних задач. У статті розглядається передача даних між вузлами мережі з використанням певних протоколів та технологій як сектор Інтернету Речей. Використання безпроводних сенсорних мереж (БСМ) дозволять зробити наше життя безпечнішим та простішим.

Існує безліч працюючих систем екологічного моніторингу. Бездротові сенсорні мережі є технологією - піонером для повсюдного моніторингу. При їх використанні проводиться моніторинг вулканів в Південній Америці, виноградників в Італії, вивчення міграцій в тварин популяціях, спостереження за рідкісними видами качок на островах недалеко від узбережжя США, детектування пожеж і витоків газів, спостереження за дрейфом крижин в Норвегії.

Можна встановити бездротові датчики на крижини і спостерігати за їх міграцією. До речі, точно таким же способом в США відстежували переміщення сміттєвих відходів - і виявили їх через деякий час десь в Китаї. І стало зрозуміло, що сміття з США якимось чином утилізується там.

Якщо встановити в лісі датчики диму і отримувати від них інформацію про займання то це може запобігти пожежі в лісах. Також залишається актуальною проблема моніторингу лісових пожеж [1, 2].

На вулканах теж зручніше поставити бездротові датчики, а не тягнути кабель. І тоді дистанційно можна оцінювати газовий склад навколо вулкана. Перед виверженням завжди з'являються специфічні газові пари або починається вібрація. Знаючи цю інформацію в режимі реального часу, можна завчасно змоделювати процес виверження [3].

Також цю технологію можна застосовувати в сільському господарстві - якщо поставити датчики в поле і налаштувати їх на контроль за станом ґрунту,

то в залежності від мінливих умов можна регулювати полив і кількість внесених добрив [4].

Не менш корисними будуть БСМ на дорогах. Спілкуючись один з одним, вони зможуть регулювати потік машин, що дозволить знизити кількість правопорушень на дорогах.

Також використання сенсорних мереж для управління електропостачанням дозволить досягти неймовірної економії електроенергії, якщо використовувати їх для контролю освітлення вулиць і доріг.

1. Огляд літератури

Екологічний моніторинг - комплексні спостереження за станом навколишнього середовища, в тому числі компонентів природного середовища, природних екологічних систем, явищами, що відбуваються в них, оцінка та прогноз змін стану навколишнього середовища [5].

Геоінформаційна система моніторингу регіональних ресурсів та інформаційно - аналітичної підтримки управлінських рішень, розглядається у ресурсі [6].

Про проблеми екологічного моніторингу довіклія та їх вирішення йде річ у ресурсі [7].

У статті [8] йдеться про питання розвитку систем екологічного моніторингу в зонах зведення і функціонування будівельних комплексів і споруд. Автор розкрив цілі та завдання моніторингу будівництва за рівнем техногенного впливу на компоненти навколишнього середовища. У статті зроблено акцент на такому компоненті навколишнього природного середовища як приземний шар атмосфери - найбільш потужного чинника впливу на людський організм і його здоров'я. Запропоновано адаптувати штучні нейронні мережі для обробки величезної кількості вхідних даних по забрудненню території та прогнозування ситуації можливого забруднення.

У статті [9] розглядаються питання проектування високоефективних бездротових мереж для систем екологічного моніторингу в умовах складного рельєфу. Планування структури мережі, вибір антен, визначення необхідних висот їх установки і оцінка можливих швидкостей передачі даних проводиться за результатами математичного моделювання. Автори пропонують використання технології Wi-Fi для вирішення проблеми.

У статті [10] розглянуто цілі та технології дистанційного моніторингу параметрів навколишнього середовища. Показані обмеження щодо параметрів, які можуть відстежувати в дистанційному режимі. Проаналізовано переваги та недоліки використання дротяних і бездротових мереж для передачі даних, управління засобами дистанційного моніторингу. Досліджено можливі напрямки використання даних,

отриманих при дистанційному моніторингу. Автори використовують технологію передачі даних GSM.

Мета статті – реалізувати систему для екологічного моніторингу за допомогою безпроводних сенсорних мереж.

2. Проектування безпроводної сенсорної мережі

Звичайно БСМ розгортаються для контролю або моніторингу протягом тривалого періоду часу (кілька місяців або років), в разі чого часто заміна джерел живлення (акумуляторів) в сотнях сенсорних пристроях є неможливою і доцільною.

Таким чином, енергія, що споживається кожним сенсорним вузлом мережі, є одним з обмежень, якій треба враховувати при проектуванні БСМ, бо цей фактор впливає на термін служби сенсорної системи та її компонентів.

Для забезпечення такої максимальної ефективності роботи, сенсорний вузол повинен знаходитися в сплячому режимі більше 90 відсотків робочого часу і «прокидатися» лише згідно з розкладом, або в зв'язку з примусовою активацією [11].

Так як протоколи ZigBee дозволяють створювати саме такі сенсорні мережі для проекту було вибрано саме їх.

2.1. Алгоритм маршрутизації

Основний алгоритм маршрутизації в мережах ZigBee - «Ad hoc On Demand Distance Vector» (AODV) заснований на понятті «вектор відстані» маршруту, коли кожен маршрутизатор, який бере участь в трансляції запиту маршруту від конкретного джерела до певного пункту призначення створює свій запис в маршрутній таблиці. Ця запис як мінімум містить «логічне відстань» від джерела запиту і адреса попереднього маршрутизатора.

Передача параметрів від датчика до сервера відбувається таким чином. Arduino Uno з'єднана з датчиками, температури (t) та вологості (φ). Xbee модуль підключається до Arduino Uno і за допомогою AT-команд йде спілкування між Arduino Uno і Xbee модулем. Arduino дає команду модулю Xbee відправити дані на координатор Zigbee, а координатор відправляє дані на сервер. Ідеальною топологією підключення мереж слугує Mesh топологія, тому що вона має велику надійність та відмовостійкість [12].

Координатором мережі повинен виступати лише один модуль, тому що саме з нього будуть передаватися дані з датчиків у мережу Інтернет або на локальний сервер.

На рисунку 1 наведено приклад як можуть бути передані параметри від датчиків на сервер.

2.2. Протоколи передачі даних

Пристрої, об'єднані в мережу, встановлюють зв'язок один з одним за допомогою власних протоколів, відповідних їх потреби та рівнем продуктивності. Для спрощення інтеграції з Інтернетом Речей розроблені протоколи на базі IPv4, IPv6, адаптовані до вимог мереж нового типу.

RPL (Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks) є простим протоколом для забезпечення передачі даних про стан для малопотужних і ненадійних мереж. RPL не тільки забезпечує економічні маршрутизацію для мікро пристроїв з обмеженими можливостями електроживлення, а і підтримує найрізноманітніші способи використання мереж з "розумними" об'єктами: Multipoint-to-Point Traffic (MP2P), Point-to-Multipoint Traffic (P2MP), Point-to-Point Traffic (P2P) [13].

6LoWPAN (стандарт IPv6 over Low power Wireless Personal Area Network) [14] дозволяє пристроям отримати свій власний IP-адреса, заснований на стандарті IPv6, і використовується для простої інтеграції техніки в існуючі мережі.

2.3. Експеримент

Експеримент було проведено в лісі та у полі для того щоб поспостерігати як відбувається передача параметрів з перешкодами (в лісі) і без перешкод (у полі).

Було підключено програматор і модуль XBee Series 2 до комп'ютера, який виступає в якості сервера на який повинні надходити дані про температуру і вологість. Також підключили датчик температури і вологості до плати Arduino Uno і модуль Xbee Series 2, які живились від акумулятора.

Обладнання:

Модулі XBee Series 2, програматор, датчик вологості та температури DHT11, плата Arduino Uno, кабель підключення до комп'ютеру або до живлення, power bank (був використаний у експерименті, але можна було використовувати інше джерело живлення).

Під час проведення експерименту вийшло, що без перешкод передача параметрів відбувається наступним чином, результат виміру без перешкод наведено в таблиці 1.

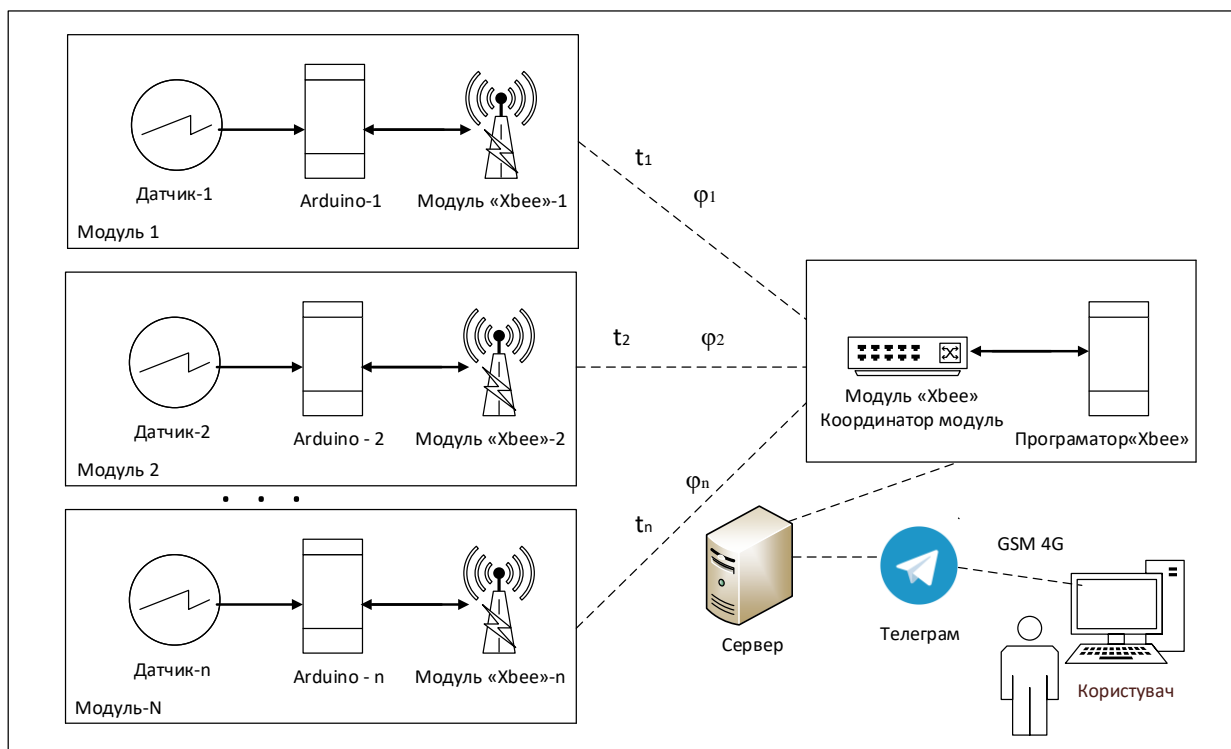


Рис. 1. Процес передачі інформації від датчиків на сервер

Таблиця 1
Результат проведення експерименту без перешкод

Відстань	Результат
10 метрів	В межах норми.
20 метрів	В межах норми.
30 метрів	В межах норми.
43 метра	З'являється затримка в 5 секунд.
55 метрів	З'являється затримка в 15 секунд.
60 метрів	Затримка в 1 хвилину.
62 метра	Передача параметрів не відбувається.

З перешкодами передача параметрів відбувається наступним чином, результат виміру з перешкодами наведено в таблиці 2.

Дослід був проведений в зоні розташування дерев і суцільних заростах чагарників.

Таблиця 2
Результат проведення експерименту з перешкодами

Відстань	Результат
10 метрів	В межах норми.
20 метрів	З'являється затримка в 5 секунд.
25 метрів	З'являється затримка в 30 секунд.
30 метра	З'являється затримка в 1 хвилину.
35 метрів	З'являється затримка в 1 хвилину.
40 метрів	Затримка в 1 хвилину.
62 метра	Передача параметрів не відбувається.

3. Система Розумний вулик (пасіка)

3.1. Постановка завдання

Україна є другою в Європі державою з експорту меду. В країні велика кількість людей займається бджільництвом і присвячує цьому життя, так що завдання моніторингу пасіки є дуже актуальним завданням. Бджоляру потрібно щоб кожна бджолосім'я була в порядку і правильно створювала свій продукт життєдіяльності, тому потрібно стежити за двома основними параметрами це температура і вологість вулика, допустима температура в весняно - літній період 34-35 °, а в період зими 14-25 ° і вологість повітря повинна бути 66-75 %.

За допомогою мобільного додатку «Telegram» бджоляр вводить спеціальні команди своєму телеграм боту і в результаті отримує інформацію про стан його вуликів.

Система має сервер, на якому зберігається сервіс, який реалізовує отримання інформації від вуликів і «Telegram bot». Емулятор та «Telegram bot» реалізовані на мові JavaScript. Інтерфейсом програми є вікно програми «Telegram».

Також проект має базу даних, яка містить три таблиці:

- вулики (Beehives);
- статистика вуликів (Beehivestatistics);
- пасічники (Beekeepers).

Таблиця Beehives містить інформацію про вулики, тип вулика, номер вулика та id власників. Таблиця Beehivestatistics містить id вулика і зберігає статистику видачі інформації користувачеві про такі параметри як температура, вологість, вага вуликів і час. Таблиця Beekeepers містить основну інформацію про пасічника і id власника чату Telegram.

У системах [15, 16] використовується дороге обладнання з великою функціональною складністю, тому було вирішено реалізувати систему з більш простим набором обладнання і функціоналом.

На рисунку 2 представлена архітектура системи, коли у користувача кілька пасік. З вулика параметри температури та вологості поступають до сервіса, а вже після обробки даних, якщо параметри критичні, інформація надходить до користувача.

3.2. Функції які виконує додаток

Користувач заходить в додаток «Телеграм» і дізнатися у свого бота параметри температури та вологості.

Система забезпечує можливість виконання наступних функцій:

- введення команди і отримання інформації про параметри вулика;
- отримання попередження, коли значення вологості і температури в вулику близькі до критичних;
- отримання повідомлення, коли значення вологості і температури у вулику критичне;
- отримання повідомлення про помилку, коли користувач запитує інформацію про неіснуючий вулик;
- підключення до бази даних;
- ведення статистики і запис її в базу даних;
- додавання нового користувача в базу даних.

Зараз програма виконує такі функції, тому що їх простіше реалізувати ніж в інших більш складних системах [17].

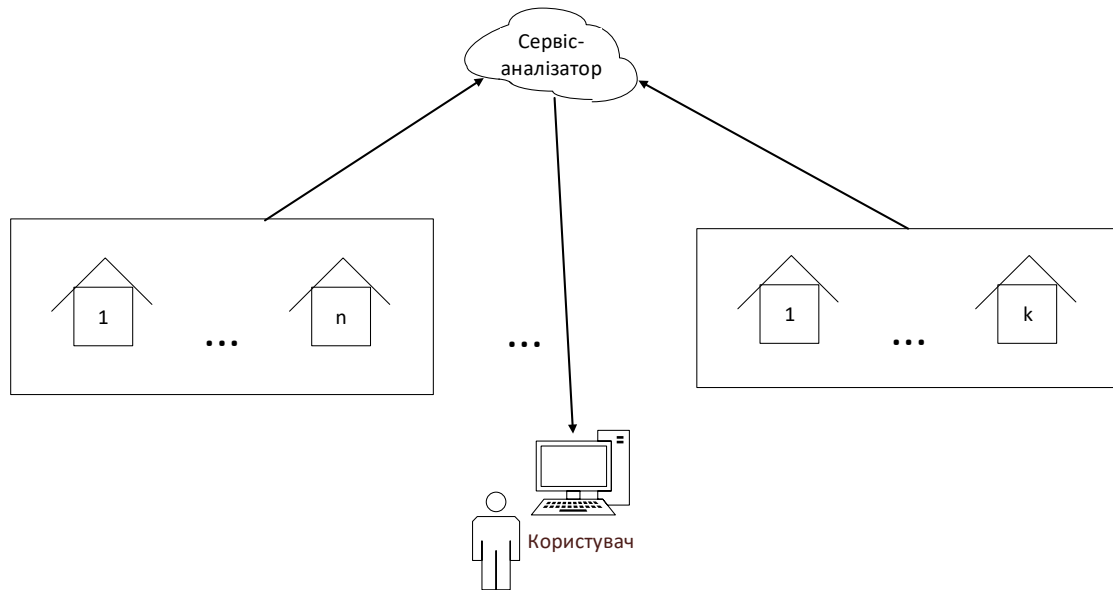


Рис. 2. Архітектура системи «Розумний вулик»

На рисунку 3 представлена віконна форма додатка, на якому відбувається процес запиту параметрів вулика (температури та вологості), та отримання відповіді, а також отримання попереджувального повідомлення, коли параметри вулика критичні або близькі до критичних.



Рис. 3. Запит параметрів вуликів пасіки і отримання відповіді

3.3. Кількісні показники

Перевага системи в тому, що вузли з яких складається система можуть розташовуватися близько один до одного, передача даних може відбуватися на 50 метрів, на кожній пасіці вулики повинні

стояти так, щоб один вулик не перекривав інший вулик, до кожного вулика повинен бути вільний доступ, не можна розташовувати вулики біля парканів або стін, так як на стінах може збиратися волога, що призводить до несприятливого клімату в вулику вулики повинні стояти так щоб не було поруч ніяких великих будівель і була відкрита місцевість. Обладнання яке використовується для системи не дороге, що дозволяє будь-якій людині придбати його, на відміну від аналогічних систем, які коштують набагато дорожче [16, 17].

Висновки

Стаття присвячена розробленню системи моніторингу на базі бездротових сенсорних мереж. Було проаналізовано бездротові сенсорні мережі та їх участь у екологічному моніторингу. Описано як взаємодіє бездротова мережа, протоколи передачі даних.

Був розроблений макет наземної системи моніторингу для екологічного моніторингу на основі бездротової технології побудови сенсорних мереж Zigbee з урахуванням того, що у дану мережу можуть додаватися нові вузли, або їх повна заміна. Була обрана Mesh-топологія і визначені розподілені фізичні пристрої, що є вузлами цієї мережі.

Було спроектовано вузли з використанням у якості базової станції для датчиків Arduino та у якості бази передачі даних ZigBee модулі від компанії Digi під назвою XBee.

Проведено дослідження даних вузлів на завадостійкість та стабільність передачі даних з використанням датчиків полум'я, диму та температури з вологістю. Під час дослідження було виявлено, що

XВee вузли дуже нестабільно працюють поруч з Wi-Fi роутерами та при перешкодах, також в процесі проведення експерименту, можна зробити висновок про те, що сенсорні мережі можуть бути використані на пасіці в якості передачі основних параметрів вулика, температури і вологості на сервер, а далі з сервера надходять параметри в «Телеграм», за запитом користувача. Також сенсорні мережі можна використовувати в спостереженні будь яких інших екологічних процесів таких як спостереження за погодою, екологічний моніторинг, запобігання природних катаклізмів.

Надалі можна реалізувати моніторинг не тільки температури і вологості, а також рівня шуму в вулику та вагу вулика, також можна зробити систему більше з додатковими вуликами, кількома пасіками і доступом до інформації нових користувачів.

Зараз система моніторингу пасіки розглядається тільки для одного вулика, але в майбутньому, буде розглядатися коли у користувача є багато вуликів і пасічник зможе зробити з цієї кількості ще кілька пасік і додати їх у систему.

Література

1. Hefeeda, M. Forest fire modeling and early detection using wireless sensor networks [Text] / M. Hefeeda, M. Bagher // *Ad Hoc & Sensor Wireless Networks*. – 2009. – vol. 7. – P. 169–224.
2. Pripuzic, K. Early forest fire detection with sensor networks: sliding window skylines approach [Text] / K. Pripuzic, H. Belani, M. Vukovic // *Proceedings 12th International Conference, KES 2008 Zagreb*. – Part 1–2008. – P. 725–732.
3. Экологический мониторинг [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://postnauka.ru/longreads/86264> – 2.05.2019.
4. Марюшко, М. В. Моніторинг сільськогосподарських культур із застосуванням космічних знімків Sentinel-2 [Текст] / М. В. Марюшко, Р. Е. Пащенко, Н. С. Коблюк // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2019. – № 1 (89). – С. 99–108. – DOI: 10.32620/reks.2019.1.11.
5. Экологический мониторинг [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B3. – 2.05.2019.
6. Геоинформационная система мониторинга региональных ресурсов и информационная – аналитического сопровождения управленческий решений [Электронный ресурс] / И. В. Шишко, А. В. Прохоров, В. П. Прохоров, М. П. Бурьянова, А. О. Матюшко, Е. О. Алилуенко // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2016. – № 1 (75). – С. 105–113. – Режим доступа: <http://nti.khai.edu/ojs/index.php/reks/article/view/894>. – 15.05.2019.
7. Сапаев, М. С. Проблемы экологического мониторинга окружающей среды [Электронный ре-

сурс] / М. С. Сапаев, Е. А. Борисова, Л. Э. Байжонова. – Режим доступа: http://xn--80aai1dk.xn--p1ai/images/nauka/forum7/forum7_109-111.pdf – 2.05.2019.

8. Пушилина, Ю. Н. Развитие систем экологического мониторинга в зонах возведения и функционирования строительных комплексов и сооружений [Электронный ресурс] / Ю. Н. Пушилина // *Интернет-журнал «Науковедение»*. – 2017. – Том 9, № 4. – <http://naukovedenie.ru/PDF/80TVN417.pdf> – 2.05.2019.

9. Ефремов, А. Ю. Вопросы проектирования беспроводной вычислительной сети системы экологического мониторинга [Текст] / А. Ю. Ефремов, Ю. С. Легович, Д. Ю. Максимов // *Экологические системы и приборы*. – 2012. – № 8. – С. 7–14.

10. Фомина, А. О. Дистанционный мониторинг параметров окружающей среды: некоторые вопросы получения, передачи и использования данных [Текст] / А. О. Фомина, Д. Д. Васильева, Ю. М. Брумштейн // *Астраханский вестник экологического образования*. – 2014. – № 1. – С. 120–125.

11. Li, L. Minimum-energy mobile wireless networks revisited [Electronic resource] / L. Li, J. Y. Halpern // *ICC 2001. IEEE International Conference on Communications. Conference Record (Cat. No.01CH37240)*. – Helsinki, Finland, Finland, 2001. – Access mode: <https://ieeexplore.ieee.org/document/936317>. – 2.05.2019.

12. Бражук, А. Построение беспроводных локальных сетей на основе ячеистой топологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wireless-e.ru/wireless-networks/mesh/> – 2.05.2019.

13. RPL (IPv6 Routing Protocol for LLNs) [Electronic resource]. – Access mode: [https://en.wikipedia.org/wiki/RPL_\(IPv6_Routing_Protocol_for_LLNs\)](https://en.wikipedia.org/wiki/RPL_(IPv6_Routing_Protocol_for_LLNs)) – 2.05.2019.

14. IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPANs): Overview, Assumptions, Problem Statement, and Goals [Electronic resource] / N. Kushalnagar, et al. – Access mode: <https://tools.ietf.org/pdf/rfc4919.pdf> – 2.05.2019.

15. Умный улей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.smartbhive.com>. – 16.08.2019.

16. Arnia. Remote hive monitoring [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.arnia.co.uk>. – 16.08.2019

17. Умный улей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://yulei.ru>. – 6.09.2019.

References

1. Hefeeda, M., Bagher, M. Forest fire modeling and early detection using wireless sensor networks Ad Hoc & Sensor Wireless Networks. *Ad Hoc & Sensor Wireless Networks*, 2009, vol. 7, pp. 169–224.
2. Pripuzic, K., Belani, H., Vukovic, M. Early forest fire detection with sensor networks: sliding window skylines approach. *Proceedings 12th International Conference, KES 2008 Zagreb*, 2008, Part 1, pp. 725–732.
3. *Ekologicheskii monitoring* [Environmental monitoring]. Available at: <https://postnauka.ru/longreads/86264> (accessed 2.05.2019).

4. Maryushko, M. V., Pashchenko, R. E., Koblyuk N. S. *Monitorynh silskohospodarskykh kultur iz zasto-suvannyam kosmichnykh znimkiv Sentinel-2* [Monitoring agricultural crops using Sentinel-2 satellite imagery]. *Radioelektronni i komp'uterni sistemi – Radioelectronic and computer systems*, 2019, no. 1(89), pp. 99-108. DOI: 10.32620/reks.2019.1.11.

5. *Ekologicheskii monitoring* [Environmental monitoring]. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B3. (accessed 2.05.2019).

6. Shishko, I. V., Prokhorov, A. V., Prokhorov, V. P., Bur'yanova M. P., Matyushko, A. O., Aliluenko, E. O. *Geoinformatsionnaya sistema monitoringa regional'nykh resursov i informatsionnaya – analiticheskogo soprovozhdeniya upravlencheskii reshenii* [Geoinformation system for regional resources monitoring and management decision information-analytical support]. *Radioelektronni i komp'uterni sistemi – Radioelectronic and computer systems*, 2016, no. 1(75), pp. 105-113. Available at: <http://nti.khai.edu/ojs/index.php/reks/article/view/894>. (accessed 15.05.2019).

7. Sapaev, M. S., Borisova, E. A., Baizhonova, L. E. *Problemy ekologicheskogo monitoringa okruzhayushchei sredi* [Problems of environmental monitoring]. Available at: http://xn--80aai1dk.xn--p1ai/images/nauka/forum7/forum7_109-111.pdf (accessed 2.05.2019).

8. Pushilina, Yu. N. *Razvitie sistem ekologicheskogo monitoringa v zonakh vozvedeniya i funktsionirovaniya stroitel'nykh kompleksov i sooruzhenii* [Development of environmental monitoring systems in the zones of construction and operation of construction complexes and structures]. *Internet-zhurnal «Naukovedenie» – Internet journal "Science"*, 2017,

vol. 9, no. 4. Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/80TVN417.pdf> (accessed 02.05.2019).

9. Efremov, A. Yu., Legovich, Yu. S., Maksimov, D. Yu. *Voprosy proektirovaniya besprovodnoi vychislitel'noi seti sistemi ekologicheskogo monitoringa* [The issue of designing a wireless computing network for an environmental monitoring system]. *Ecological systems and devices*, no. 8, 2012, pp. 7-14.

10. Fomina, A. O., Vasil'eva, D. D., Brumshstein, Yu. M. *Dstantsionnyi monitoring parametrov okruzhayushchei sredi: nekotorye voprosy polucheniya, peredachi i ispol'zovaniya dannykh* [Remote monitoring of environmental parameters: some issues of data acquisition, transmission and use]. *Astrakhan Bulletin of Ecological Education*, no. 1, 2014, pp. 120-125.

11. Li, L., Halpern, J. Y. *Minimum-energy mobile wireless networks revisited*. *ICC 2001. IEEE International Conference on Communications. Conference Record (Cat. No.01CH37240)*. Helsinki, Finland, Finland, 2001. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/936317> (accessed 2.05.2019).

12. Brazhuk, A. *Postroenie besprovodnykh lokal'nykh setei na osnove yacheistoi topologii* [Building wireless LANs based on mesh topology]. Available at: <https://wireless-e.ru/wireless-networks/mesh/> (accessed 2.05.2019).

13. *RPL (IPv6 Routing Protocol for LLNs)*. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/RPL_\(IPv6_Routing_Protocol_for_LLNs\)](https://en.wikipedia.org/wiki/RPL_(IPv6_Routing_Protocol_for_LLNs)). (accessed 2.05.2019).

14. *IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPANs): Overview, Assumptions, Problem Statement, and Goals*. Available at: <https://tools.ietf.org/html/rfc4919>. (accessed 2.05.2019).

15. *Umnyi ulei* [Smart hive]. Available at: <http://www.smartbhive.com>. (accessed 16.08.2019).

16. *Arnia. Remote hive monitoring*. Available at: <https://www.arnia.co.uk>. (accessed 16.08.2019).

17. *Umnyi ulei* [Smart hive]. Available at: <http://yylei.ru>. (accessed 6.09.2019).

Поступила в редакцию 6.09.2019, рассмотрена на редколлегии 23.09.2019

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ: РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Д. Д. Соколов, В. Ю. Мерлак, А. А. Орехов, А. П. Плахтеев

Статья посвящена разработке системы мониторинга на базе беспроводных сенсорных сетей. Цель статьи – реализовать систему для экологического мониторинга с помощью беспроводных сенсорных сетей, а также применение её на пасеке. Были исследованы беспроводные сенсорные сети и их участие в экологическом мониторинге, а также было описано взаимодействие беспроводной сети и протоколов передачи данных.

Была рассмотрена и проанализирована система мониторинга, а также рассмотрены системы в которых уже применяется мониторинг. Был проведен эксперимент в котором проверялось на какое максимальное расстояние могут передаваться параметры температуры и влажности, эксперимент проводился с препятствиями и без препятствий. Были рассмотрены алгоритмы маршрутизации как они работают и как происходит передача параметров (температуры и влажности) от датчиков к серверу. Был разработан макет наземной системы мониторинга для экологического мониторинга на основе беспроводной технологии построения сенсорных сетей Zigbee с учетом того, что в данную сеть могут добавляться новые узлы или их полная замена. Также было найдено решение как можно применить беспроводную сеть в такой области как пчеловодство. Была выбрана Mesh-топология и определены разделены физические устройства, являющимися узлами сети. Также были спроектированы узлы с использованием в качестве базовой станции для датчиков Arduino и в качестве базы передачи данных ZigBee модули от компании Digi под названием XBee. Проведено исследование данных узлов на помехоустойчивость и стабильность передачи данных с использованием

датчиков пламени, дыма и температуры с влажностью. В ходе исследования было выявлено, что XBee узлы очень нестабильно работают рядом с Wi-Fi роутерами и при помехах в виде лесного массива. Была сформулирована постановка задачи, в которой показана актуальность данной системы, зачем она нужна, кто сможет её использовать, а также, что содержит система и как она работает. Перечислены функции, которые выполняет программа. Сформулирован вывод о результате эксперимента, а также как можно в дальнейшем модернизировать систему, что можно добавить и за какими параметрам можно еще наблюдать.

Ключевые слова: мониторинг; Интернет вещей; экологический мониторинг; сеть; zigbee; улей; пасека.

ENVIRONMENTAL MONITORING WITH WIRELESS SENSOR NETWORKS APPLICATION: DEVELOPMENT AND EXPERIMENTS

D. D. Sokolov, V. Yu. Merlak, A. A. Orekhov, A. P. Plakhtyev

The article is devoted to the development of a monitoring system based on wireless sensor networks. The purpose of the article is to implement a system for environmental monitoring using wireless sensor networks, as well as its application in an apiary. Wireless sensor networks and their participation in environmental monitoring were investigated, and the interaction of a wireless network and data transfer protocols were described.

The monitoring system was reviewed and analyzed, as well as systems in which monitoring is already applied. An experiment was conducted in which it was checked at what maximum distance the temperature and humidity parameters can be transmitted, the experiment was conducted with obstacles and without obstruction. Routing algorithms were examined how they work and how parameters (temperature and humidity) are transferred from sensors to the server. A prototype of a ground-based monitoring system for environmental monitoring was developed based on the wireless technology of building Zigbee sensor networks, taking into account the fact that new nodes can be added to this network or completely replaced. It was also found a solution to how to apply a wireless network in such an area as beekeeping. A mesh topology was selected and the physical devices that are the nodes of the network are separated. Nodes were also designed using as the base station for Arduino sensors and as ZigBee database modules from Digi called XBee. A study of these nodes on the noise immunity and stability of data transmission using sensors of flame, smoke, and temperature with humidity. The study revealed that XBee nodes are very unstable working next to Wi-Fi routers and in case of interference in the form of a forest. A statement of the problem was formed, which showed the relevance of the given system, why it is needed, who will be able to apply it, and also what the system contains and how it works. The functions that the program performs are listed. The conclusion is formulated on the result of the experiment, as well as how the system can be further upgraded, what can be added and what parameters can still be observed.

Keywords: monitoring; Internet of things; environmental monitoring; network; ZigBee; hive; apiary.

Соколов Дмитро Дмитрович – магістрант кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Мерлак Вікторія Юрїївна – аспірантка кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Орхов Олександр Олександрович – канд. техн. наук, доцент, проф. кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Плахтеєв Анатолій Павлович – канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Sokolov Dmitro Dmitrovich – PhD student of Dept. of Computer Systems, Networks and Cybersecurity, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: d.sokolov@student.csn.khai.edu, ORCID Author ID: 0000-0002-4558-9598.

Merlak Viktoriia Yuriyivna – PhD student of Dept. of Computer Systems, Networks and Cybersecurity, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: v.merlak@csn.khai.edu, ORCID Author ID: 0000-0003-4096-0797.

Orekhov Aleksandr Aleksandrovich – candidate of tech. sciences, docent, Professor of Dept. of Computer Systems, Networks and Cybersecurity, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: a_orehov@rambler.ru, ORCID Author ID: 0000-0001-6957-1934.

Plakhtyev Anatoliy Pavlovich – candidate of technical sciences, associate, docent of Dept. of Computer Systems, Networking and Cybersecurity, National Aerospace University “Kharkov Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: a.plakhtyev@csn.khai.edu.