

УДК 621.039

Є. М. СНИЖКО – к.т.н, доцент, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, kef.dnu@gmail.com

Н. П. БОЦЬВА – к.б.н, доцент, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, kef.dnu@gmail.com

Ю. А. ПАЛАМАРЧУК – аспірант, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, kef.dnu@gmail.com

Б. В. ЧЕРНЯВСЬКИЙ – магістр, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, kef.dnu@gmail.com

СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО БЕЗДРОТОВОГО РАДІАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ

Вступ

Іонізуючі випромінювання становлять значну небезпеку для здоров'я людини, тому радіаційний контроль стає обов'язковою складовою не тільки загального екологічного моніторингу стану навколишнього середовища, але й моніторингу безпечних умов роботи персоналу промислових та транспортних підприємств.

Регламентом радіаційної безпеки в Україні є Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97), які виділяють три категорії осіб щодо ризику іонізуючого опромінення [1]:

– А – персонал, який безпосередньо працює з радіоактивними речовинами;

– Б – персонал, що не працює з радіоактивними речовинами, але за умови розміщення на робочих місцях або за місцем проживання потрапляє під опромінення;

– В – все населення України.

Для осіб категорій А і Б встановлено ліміти ефективної та еквівалентної доз опромінення за календарний рік (табл. 1).

Сучасні технології створення систем екологічної безпеки

Останнім часом системи моніторингу стану навколишнього середовища створюються із застосуванням сучасних датчиків, мікропроцесорних систем та технологій комп'ютерних мереж [2–6]. Це дозволяє зменшити вартість таких систем, зробити їх універсальними та адаптивними, розшири-

ти область застосування завдяки віддаленому моніторингу через мережу.

Головні переваги комунікаційних мереж у системах моніторингу такі:

– доступ до інформації (HTTP, FTP, BD);

– сигналізація (електронна пошта, месенджери, сервіси повідомлень);

– сумісне використання технічних ресурсів (сховища даних, хмарні додатки);

– розподілене навантаження (кластеризація, розподілення, масштабування);

– віддалене керування (моніторинг, віддалене виконання процесів);

– забезпечення надійності (резервація пристроїв та каналів).

Класифікують мережі за географічним положенням або за розміром і виділяють такі основні типи: персональна, локальна, кампусна та глобальна мережа [7].

Локальні мережі зазвичай використовують в межах одного або декількох поряд розміщених споруд з кількістю мережевих пристроїв не більше декількох тисяч.

Таблиця 1

Ліміти доз для категорій осіб ризику

Ліміти доз, мЗв / рік	А	Б	В
Ліміт ефективної дози	20	2	1
Ліміти еквівалентної дози			
кришталік ока	150	15	15
шкіра	500	50	50
кисть і стопа	500	50	–

Кампусні мережі об'єднують кілька локальних мереж і територіально можуть охоплювати кілька кварталів або невелике місто. Кампусна мережа може нараховувати десятки тисяч пристроїв і найчастіше використовуються підприємствами або операторами мобільного зв'язку. Основними рисами кампусної мережі є єдина служба підтримки та адміністрування, загальна технічна політика.

Комунікаційні мережі можуть класифікуватись за типом з'єднання пристроїв. Нараховують чотири основні типи топології: шина, кільце, зірка, комбінована, – та похідні від основних: подвійне кільце, стільникова топологія, решітка, дерево, розгалужене дерево, сніжинка, повнозв'язна мережа (рис. 1) [7].

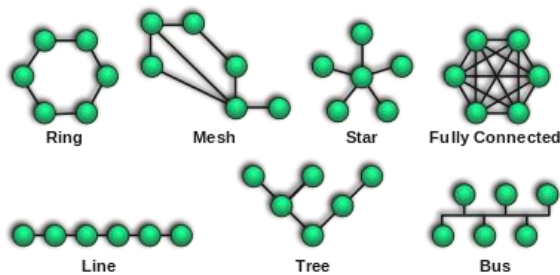


Рис.1. Топології комп'ютерних мереж

Характерною рисою розглянутих топологій є можливість їх типового застосування на обмеженій території, оскільки зростання довжини комунікаційних каналів призводить до зниження їхньої ефективності та зростання ціни.

У системах моніторингу можливо використання різних типів з'єднання – як дротового, так і бездротового. Найвигіднішою конструкцією системи є використання бездротової мережі для об'єднання датчиків, оскільки це забезпечує автономність та портативність.

Гнучка архітектура, відносно низькі витрати на монтаж, висока енергоефективність дозволяють виділити бездротові мережі як ефективні системи моніторингу. Постійне зниження цінових характеристик бездротових технологій дозволяє швидко та ефективно масштабувати таку систему гео-

графічно та розширювати кількість датчиків. Дане рішення дозволяє будувати систему на основі вузлів та організовувати стійку до відмови систему. Кожен з вузлів може складатися з різноманітних датчиків для моніторингу потрібних характеристик, мікроконтролера та передавача, що забезпечують перший шар обчислень, аналізу та зберігання даних перед відправкою до основного вузла системи.

Ідея бездротового середовища вельми приваблива, оскільки її компоненти:

- забезпечують тимчасове підключення до кабельної мережі;
- допомагають організувати резервне копіювання у кабельну мережу;
- гарантують певний рівень мобільності;
- дозволяють зняти обмеження на максимальну протяжність мережі, що накладаються мідними або навіть оптоволоконними кабелями.

За способом об'єднання точок доступу в єдину систему можна виділити:

- автономні точки доступу (самостійні, децентралізовані, розумні);
- точки доступу, що працюють під управлінням контролера (централізовані);
- безконтрольні, але не автономні (керовані без контролера).

За способом організації і управління радіоканалами можна виділити бездротові локальні мережі:

- зі статичними налаштуваннями радіоканалів;
- з динамічними (адаптивними) налаштуваннями радіоканалів;
- з «шаруватою» або багатошаровою структурою радіоканалів.

Невід'ємною частиною багатьох сучасних моніторингових систем є хмарні сервіси для зберігання та оперативного аналізу показників [8]. За оцінками експертів, використання хмарних технологій в багатьох випадках дозволяє скоротити витрати в два-три рази в порівнянні з утриманням власної розвиненої ІТ-структури.

Постановка задачі

Для України актуальною є задача створення сучасної, нескладної та дешевої системи радіаційного моніторингу, придатної як для виробництва і транспортних систем, так і для індивідуального застосування.

Метою роботи є розробка сенсора радіоактивного випромінювання та програмного забезпечення хмарних сервісів передачі та аналізу даних для системи дистанційного бездротового радіаційного моніторингу.

Досягнення вказаної мети передбачає:

- розробку сенсора радіоактивного випромінювання на базі лічильника Гейгера-Мюллера як основного елемента бездротової системи моніторингу;
- розробку програмного забезпечення відправки результатів вимірювання радіаційного фону до хмари;
- розробку програмного забезпечення хмарного сервісу аналізу даних;
- розробку веб-додатку для відображення результатів моніторингу.

Апаратно-програмне забезпечення системи радіаційного моніторингу

Система складається з чотирьох функціональних блоків:

- датчик на основі дозиметра СБМ-20;
- мікроконтролер керування ChipKIT;
- хмарний сервіс для обробки даних;
- веб-інтерфейс для перегляду статистики.

Сенсор вимірювання рівня радіації побудовано на основі датчика СБМ-20 та мікроконтролера ChipKIT.

Датчик працює за принципом лічильника Гейгера-Мюллера та придатний для детектування β - і γ -випромінювання. Він забезпечує діапазон потужностей експозиційних доз γ -випромінювання 0,004...40 мкР/с, 0,014...144 мР/год та чутливість 4 імп/с. Згідно з характеристиками СБМ-20, для інтерпретації результату вимі-

рювання в зівертах або берах чи рентгенах треба здійснити перерахунок [9]

$$1 \text{ імп/с} = 4 \text{ мкР/с} = 4 \text{ мкбер/с} = 0.04 \text{ мкЗв/с}.$$

Потужне мікроконтролерне рішення ChipKIT Wi-FIRE на PIC32MZ2048EFG, оснащеному 32-розрядним процесором MIPS M5150 з частотою 200 МГц, 2 МБ флеш-пам'яті, 512 КБ оперативної пам'яті та WiFi модулем, дозволяє виконувати будь-які задачі, пов'язані з моніторингом.

Підключення датчика до мікроконтролера здійснюється за допомогою штатних роз'ємів ChipKIT WiFire (рис. 2). Результати вимірювання знімаються з другого аналогового входу, а для роботи датчика потрібно під'єднати живлення 5 В та GND.

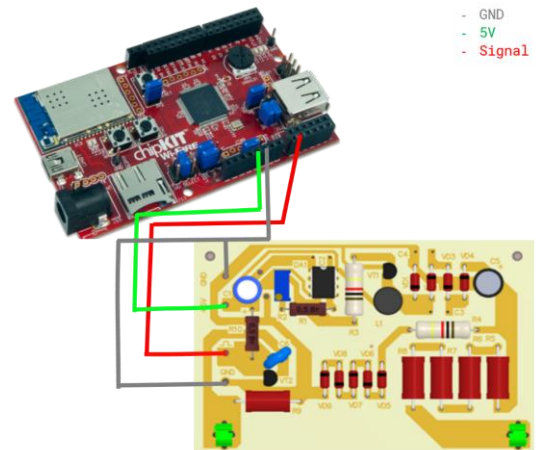


Рис.2. Схема підключення датчика до ChipKIT

Мікроконтролер призначено для відправки даних до хмари в вигляді буферу з використанням WebSocket або HTTP запитів. Обраний протокол дозволяє мати стабільне з'єднання та швидку роботу. За допомогою Arduino IDE для мікроконтролера розроблено відповідне програмне забезпечення з використанням Ethernet.h та SPI.h [10]. Відправка даних до хмари для подальшого аналізу та моніторингу зібраної інформації здійснюється кожні 5 хвилин.

Основними складовими програмного забезпечення для хмарного сервісу є сервер та база даних, котрі виконують обробку та збереження результатів вимірювань, відправку повідомлень при фіксації змін.

Хмару представляє платформа Node.js з відкритим кодом для виконання високопродуктивних мережевих додатків, написаних мовою JavaScript, додаток з веб-інтерфейсом та база даних MongoDB.

Сервер отримує дані через API, зберігає та здійснює їх візуалізацію в веб-додатку, який є буферною невід'ємною частиною системи, що дозволяє користувачу взаємодіяти з сенсорами. Кожний датчик в системі має свій ід для отримання даних. Кожний користувач має можливість додавати нові датчики, знаючи ідентифікатор обладнання або IP адресу датчика.

API веб-сервера розділено на два прошарки – перший відповідає за користувача та його взаємодію з набором сенсорів, а другий – за відправку даних кожного сенсора на сервер. Даний підхід використано для забезпечення гнучкої розробки, масштабування та використання системи моніторингу. В такій конфігурації сервер зможе підтримувати до 1000 активних з'єднань, завдяки асинхронному режиму, що не блокує роботу бази даних та самого сервера.

Публічне API розроблено для додавання нових сенсорів та нових користувачів до системи моніторингу, оскільки розширення системи є дуже важливим питанням для систем моніторингу [11].

Роботу з базою даних результатів моніторингу організовано на основі mongoose – інструмента моделювання об'єктів MongoDB для роботи в асинхронному оточенні. Для роботи з MongoDB розроблено три схеми зберігання даних (колекції):

- Users – зберігання користувача;
- Sensors – зберігання доступних сенсорів;
- Measures – зберігання результатів вимірювань сенсорів.

Програмно реалізована стратегія обробки вимірювань сенсора дозиметра, яка дозволяє обчислювати дані для подальшої візуалізації у вигляді графіка, аналізу та відправки сигнальних повідомлень при погіршенні екологічної ситуації та перевищенні допустимих значень радіаційного фону.

Для перегляду графіка (рис. 3) на будь-якій платформі користувачу не потрібно додаткове програмне забезпечення.

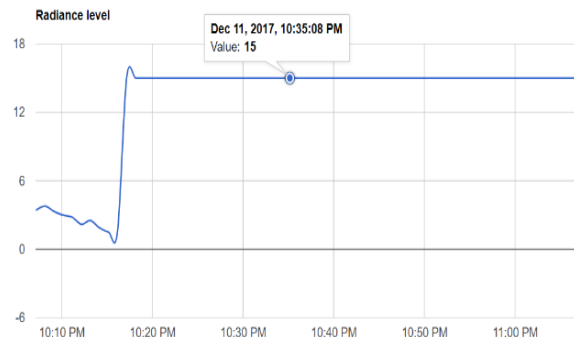


Рис. 3. Скриншот головної сторінки користувача

Для зв'язку з сервером використовується технологія Ajax – підхід до побудови користувацьких інтерфейсів веб-додатків, за якого веб-сторінка, не перезавантажується, у фоновому режимі надсилає запити на сервер і сама звітти довантажує потрібні користувачеві дані.

У разі отриманні критичних показників після аналізу та обробки даних за допомогою node-mailer здійснюється відправка повідомлень на електронну пошту, але за необхідності також передбачена можливість підключення сервісу відправки SMS-повідомлень.

Для масштабування додатку можливо використання вбудованих методів кластерного масштабування.

Для успішної роботи бібліотек використана мережа доправлення контенту (CDN) – географічно розподілена мережева інфраструктура, що дозволяє оптимізувати доправлення контенту в мережі Internet. Використання CDN гарантує підвищення швидкості завантаження цифрового контенту.

Випробування розробленої системи моніторингу здійснено на відкритій місцевості з покриттям Wi-Fi або з доступом до контролера з комп'ютера у різних районах м. Дніпро сеансами по 30 хвилин. Визначено, що рівень радіоактивного забруднення

знаходиться на допустимому рівні. Критичних показників не виявлено. Вимірювання показали, що у парковій зоні м. Дніпро (парк ім. Ю. Гагаріна, вул. Казакова) рівень радіаційного забруднення майже в 2 рази менше, ніж в промислових вузлах (площа Вокзальна, завод ім. Бабушкіна).

Висновки

Сучасний рівень розвитку елементної бази датчиків та мікроконтролерної техніки дозволяє розробити та виготовити компактні та зручні системи моніторингу стану навколишнього середовища та радіаційного забруднення для використання як у промисловості та на транспорті, так і побутовій сфері.

Апаратна частина розробленої системи дистанційного бездротового моніторингу на базі потужного мікроконтролера здатна адаптуватись до датчиків різних типів, а не лише дозиметра. Передбачено збільшення кількості сенсорів за рахунок вільних аналогових виходів на платі мікроконтролера.

Програмне забезпечення системи розроблено з використанням хмарних технологій, що дозволяє отримувати та зберігати дані в великих об'ємах, централізовано та незалежно від інших систем.

Розроблена структура системи має високу стабільність, ефективність, підтримує масштабування як на рівні сенсорів, так і на рівні підсистем, оскільки моніторинг додаткових параметрів середовища потребує лише однієї хмари.

Розроблене програмне забезпечення є універсальним та може бути використано в принципово інших моніторингових системах, на будь-якому сервері або локальній машині. Рішення Node.js + MongoDB дозволяє масштабувати додаток в промислових цілях та економно використовувати ресурси, забезпечуючи потрібну автономність та стабільність.

Розроблена система може використовуватись для моніторингу житлової зони всередині будівель та відкритої території, на

промислових підприємствах, транспорті, в лікарнях тощо.

Бібліографічний список

1. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97); Державні гігієнічні нормативи [Текст]. – К.: Відділ поліграфії Українського центру держсанепіднагляду МОЗ України, 1997. – 121 с.
2. Виноградов, Ю. А. Ионизирующая радиация: Обнаружение, контроль, защита [Текст] / Ю. А. Виноградов. – М.: СОЛОН-Р, 2002. – 224 с.
3. Sarangapani, O. Wireless Ad Hoc and Sensor Networks [Text] / O. Sarangapani. – CRC Press, 2007. – 486 p.
4. Verdone, R. Wireless Sensor and Actuator Networks [Text] / R. Verdone, D. Dardari, G. Mazzini, A. Conti. – Academic Press, 2008. – 392 p.
5. Qing, L. Design of a distributed energy-efficient clustering algorithm for heterogeneous wireless sensor network [Text] / L. Qing, Q. Zhu, M. Wang // Computer Communications. – 2006. – Vol. 29. – P. 2230-2237.
6. Energy-balanced density control to avoid energy hole for wireless sensor networks [Text] / J. Jia et al. // International Journal of Distributed Sensor Networks. – 2012. – Vol. 20. – P. 112.
7. Буров, Є. М. Комп'ютерні мережі [Текст]: підручник / Є. В. Буров. – Львів: Магнолія, 2010. – 262 с.
8. Mell, P. The NIST Definition of Cloud Computing [Text] / P. Mell, T. Grance // Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. – NIST, 2011. – 7 p.
9. Бараночников, М. Л. Приёмники и детекторы излучений [Текст]. Справочник / М. Л. Бараночников. – М: ДМК Пресс, 2012. – 640 с.
10. Соммер, Д. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freduino [Текст] / Д. Соммер. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 256 с.
11. Голощапов, А. Л. Google Android. Создание приложений для смартфонов и планшетных ПК [Текст] / А. Л. Голощапов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2014. – 928 с

Ключові слова: радіоактивне випромінювання, радіаційна безпека, датчик Гейгера-Мюллера, хмарні технології, мікроконтролер, моніторинг.

Ключевые слова: радиоактивное излучение, радиационная безопасность, датчик Гейгера-Мюллера, облачные технологии, микроконтроллер, мониторинг.

Keywords: radiation, radiation safety, Geiger-Muller sensor, cloud technology, microcontroller, monitoring.

Рецензенти:

д.ф.-м.н., проф. В. І. Гаврилюк,
д.т.н., проф. А. Б. Бойнік.

Надійшла до редколегії 13.11.2017.
Прийнята до друку 27.11.2017.