

УДК 004.77

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.3.1/36>

**Скрипка К.І.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Гуйда О.Г.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Омецинська Н.В.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Лісовець С.М.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Юсупів Т.В.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

## ВІДДАЛЕНИЙ МОНІТОРИНГ ТА КЕРУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИМ СТАНОМ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

*Сучасні системи моніторингу та керування параметрами навколишнього середовища усе частіше замість кабельних мережевих з'єднань використовують бездротові мережі та технології інтернету речей.*

*Бездротова сенсорна мережа або бездротова датчикова мережа – розподілена мережа, яка складається з безлічі датчиків і виконавчих пристроїв, об'єднаних між собою за допомогою радіоканалу для моніторингу фізичних процесів. Бездротова сенсорна мережа зазвичай складається з великої кількості дешевих енергоефективних бездротових модулів, датчиків і виконавчих пристроїв, також часто виділяють сервер для збору та обробки інформації (може бути не один). Такі сервери, зазвичай, виконують функції шлюзів у меш-топологіях бездротових мереж.*

*Вузли сенсорної мережі розташовані на невеликій відстані один від одного і обмінюються інформацією за допомогою радіоканалу, передаючи необхідну інформацію, таку як показники датчиків (температура, вологість і т.д.) і сигнали виконавчим механізмам. Основна ідея сенсорних бездротових мереж полягає в тому, що, в той час як можливості одного вузла обмежені, загальна потужність всієї мережі достатня для виконання поставлених завдань.*

*Це зумовлено тим, що, окрім зменшення витрат на будівництво початкової мережі, бездротові сенсорні мережі дозволяють оперативно змінювати топологію мережі відповідно до вирішення необхідних задач, автоматично підключати додаткові вузли без втрати загальної працездатності мережі.*

*Хоча сенсорні бездротові мережі мають деякі подібності з іншими розподіленими системами, у них також є різноманіття власних проблем і обмежень, що виникають при розробці мережі. Ці обмеження впливають на дизайн сенсорних бездротових мереж, приводячи до використання протоколів і алгоритмів, що відрізняються від інших розподілених систем.*

*Використання бездротових сенсорних мереж разом з кабельними дозволяє розвивати топологію мережі без її перепланування і переробки.*

**Ключові слова:** моніторинг навколишнього середовища, бездротові сенсорні мережі, інтернет речей (IoT), датчик, керуючий модуль, сервер збору і аналізу інформації.

**Постановка проблеми.** Дослідження можливостей використання бездротових сенсорних мереж для віддаленого моніторингу та керування параметрами навколишнього середовища у теперішній час є вкрай актуальним питанням, особливо після перемоги у війні проти росії. Бездротова сенсорна мережа або бездротова датчикова мережа – розподілена мережа безлічі датчиків

і виконавчих пристроїв, об'єднаних між собою за допомогою радіоканалу для моніторингу фізичних процесів. Бездротова сенсорна мережа зазвичай складається з великої кількості дешевих енергоефективних бездротових модулів, датчиків і виконавчих пристроїв, також часто виділяють сервер для збору та обробки інформації. Вузли сенсорної мережі розташовані на невеликій відстані один від

одного і спілкуються за допомогою радіоканалу, передаючи необхідну інформацію, таку як показники датчиків (температура, вологість і т.д.) і сигнали виконавчим механізмам. Основна ідея сенсорних бездротових мереж в тому, що, в той час як можливості одного вузла обмежені, загальна потужність всієї мережі достатня для виконання поставлених завдань [1].

Зазвичай сенсорні мережі будуються без явного завдання топології мережі, одного разу встановлена мережа, повинна самоорганізуватися і додавання нових вузлів повинно відбуватися автоматично.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Термін Інтернет речей (Internet of Things – IoT) вперше був придуманий британським підприємцем Кевіном Ештоном ще в 1999 році. Цим терміном він описав поняття міжнародної мережі RFID пристроїв. Сьогодні IoT знаходить застосування в різних сферах нашого життя – в проектах безпечних міст і інтелектуальних будівель. Що все це означає для ринку безпеки?

Для початку варто відзначити, що фізична безпека у великій мірі залежить від стану екології навколишнього середовища і нерозривно пов'язана з IoT. Це стає особливо очевидно, якщо звернути увагу на те, що галузь безпеки масово переходить до IP технологій, які дозволяють інтегрувати пристрої в Інтернет-середовище. Відеоспостереження, мобільні пристрої, системи контролю доступу, охоронні системи, датчики моніторингу стану навколишнього середовища – все це обладнання, яким ми оточені в нашому повсякденному житті, може бути пов'язано між собою за допомогою інтернету.

Інтеграція різних пристроїв для роботи в мережі Інтернет надає багато переваг. Вони включають в себе підвищену безпеку, кращі інтелектуальні можливості і зручність для користувачів.

З відеокамерою спостереження яка тільки здійснює відеоспостереження ваші можливості обмежені, тому що ви не можете поговорити з людьми. Але якщо ви додасте інтегрований динамік, ви можете поспілкуватися з людиною, – наприклад, якщо він підозріло себе веде. Ви можете зробити це через єдину систему, яка управляє відео і вам не доведеться перемикатися між різними системами або інтерфейсами. Недавнє дослідження говорить, що 74 відсотків людей, які знають, що за ними спостерігають, припиняють свої протиправні дії.

IoT надає набагато більше, ніж тільки захист безпеки життя і моніторинг комфортних умов існування. Отримані за допомогою пристроїв

систем безпеки та інших датчиків дані можна використовуватися також для цілей аналітики. Наприклад, відеокамери спостереження встановлені в магазинах і супермаркетах, тепер можуть не тільки запобігати крадіжкам, а й брати участь у вивченні споживчої поведінки. Це дозволяє власникам бізнесу в сфері роздрібної торгівлі приймати більш зважені маркетингові рішення.

Все частіше аналіз даних виконується в хмарі. В цьому випадку ви можете використовувати централізоване рішення з практично нескінченними можливостями хмарних обчислень.

Інтеграція між системами контролю доступу і системами управління будівлею підвищує зручність його жителів. В даний час технологія може контролювати температуру і освітлення в будинках або офісних будівлях. Ви можете налаштувати свою домашню систему автоматизації таким чином, щоб коли ви заходите до будинку – світло автоматично вмикалося, а коли йдете – автоматично вимикалося [2].

Технологія IoT, в цілому, орієнтована на забезпечення взаємодії різних підключених до мережі пристроїв для надання користувачам додаткових переваг.

На закінчення хочемо відзначити, що гравці на ринку безпеки і комфорту людини роблять великі зусилля щоб не відставати за тенденціями IoT, роблячи свою продукцію різноманітною, інтегративною та інтуїтивно зрозумілою. Існують прогнози, що до 2025 року буде використовуватися не менше, ніж 50 мільярдів підключених пристроїв. IoT – це наше майбутнє, і гравці на ринку безпеки існування людини, які не визнають цю тенденцію, можуть багато втратити.

**Постановка завдання.** Метою дослідження, результати якого обговорюються в статті, є показати як за допомогою бездротових сенсорних мереж можна побудувати сучасну розгалужену систему моніторингу та керування параметрами навколишнього середовища.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Бездротові сенсорні мережі відрізняються від інших мереж і систем. Вони мають безліч власних проблем і обмежень, серед яких є багато помітних при проектуванні конкретного типу бездротової сенсорної мережі. Наприклад, вузли можуть бути розміщені на рухомих об'єктах, таких як автомобілі або роботи, що призводить до постійного змінювання топології мережі, до чого бездротова сенсорна мережа повинна адаптуватися, а це включає маршрутизацію, управління доступом до середовища (MAC), тому що змінюється

щільність вузлів і збір даних, змінюється покриття регіонів, частина з них може перекривати один одного, частина може бути покрита недостатньо. Також деякі типи бездротових сенсорних мереж мають вимоги до продуктивності і якості, це може бути, наприклад, низька затримка при передачі інформації.

Сімейство стандартів IEEE 802.11 було представлено в 1997 і зараз є найбільш поширеним для бездротових мереж в мобільних системах. Можуть використовуватися різні діапазони частот, наприклад 2.4ГГц використовується в IEEE 802.11b, протокол IEEE 802.11a використовує частоту 5ГГц.

IEEE 802.11 часто використовувався в ранніх бездротових сенсорних мережах і його все ще можна зустріти там, де пред'являються високі вимоги до пропускної здатності. Проте високе споживання електроенергії мережами на основі IEEE 802.11, робить цей стандарт не придатним для тих мереж, де важлива енергоефективність. Зазвичай необхідну швидкість передачі даних в сенсорних мережах можна порівняти з наданою dial-up модемом, отже швидкість передачі даних, що надається IEEE 802.11 зазвичай надлишкова.

Це призводить нас до безлічі протоколів, які краще задовольняють вимогам таких мереж, а саме низьке енергоспоживання і низька пропускна здатність. Наприклад, протокол IEEE 802.15.4 був розроблений спеціально для взаємодії малопотужних сенсорних мереж на коротких відстанях і багато сенсорних бездротових мереж реалізовані на основі даної технології.

Також для реалізації сенсорних бездротових мереж використовується ZigBee – специфікація протоколів верхнього рівня, в основі яких лежить IEEE 802.15.4, особливістю ZigBee є те, що ця технологія підтримує не тільки прості топології «точка-точка», «дерево», «зірка», але і меш-топологію, яка самоорганізується. На основі стандарту IEEE 802.15.4 також засновані такі технології, як WirelessHART, MiWi, Open-Source проект OpenWSN, серед менш поширених реалізацій сенсорних бездротових мереж реалізації на основі Bluetooth, WiMAX та інші.

Коли потужність передачі всіх модулів сенсорних вузлів досить велика і сенсори можуть передавати дані безпосередньо до базової станції, вони формуються по топології «зірка», як показано на рисунку 1 [3].

У даній топології кожен сенсор взаємодіє безпосередньо з базовою станцією. Однак, сенсорні мережі часто покривають великі території

і потужність передавача повинна бути зменшена до мінімуму, щоб зберегти енергію. Як наслідок, передача даних через кілька вузлів – більш поширена ситуація для сенсорних мереж, як показано на рисунку 2. У такій меш-топології, вузол сенсорної мережі повинен не тільки отримувати і передавати свої дані, але і грати роль шлюзу для зв'язку інших вузлів з базовою станцією. Як можна помітити, це породжує одну з найважливіших проблем – проблему маршрутизації в сенсорних бездротових мережах, над якою працюють багато дослідників з усього світу.



Рис. 1. Топологія «зірка»

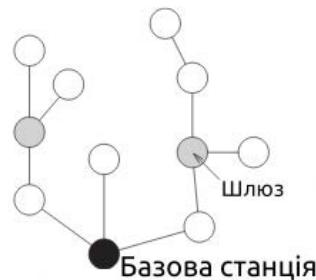


Рис. 2. Меш-топологія

Той факт, що в основі більшості бездротових сенсорних мереж лежать радіохвилі, створює окремі обмеження і завдання для розробників. Наприклад, радіосигнал згасає у міру поширення через середу.

Відношення між переданою і отриманою енергією може бути виражено за допомогою закону зворотних квадратів:

$$P_{np} \propto \frac{P_{nep}}{d^2}$$

Що означає, що енергія прийнятого сигналу обернено пропорційна квадрату відстані до джерела сигналу. Тобто, якщо  $P_x^{np}$  – енергія на відстані  $x$ , збільшення відстані до  $y = 2x$  зменшує енергію сигналу до  $P_y^{np} = P_x^{np} / 4$  [4].

Як наслідок, збільшення відстані між сенсором і базовою станцією стрімко збільшує необхідну для передачі енергію. Отже, більш ефективно

розділити велику відстань на кілька коротких, прийшовши до проблеми підтримки передачі пакетів через транзитні вузли. Така передача вимагає, щоб вузли в мережі «спілкувалися» один з одним для визначення найбільш оптимальних маршрутів, а також виступали в якості проміжних вузлів, передаючи дані від вузлів до базової станції. Також ці обмеження актуальні в тих мережах, де вузли економлять енергію за допомогою переказу бездротових передавачів в режим сну на деякий час, протягом якого неможлива передача повідомлень від сусідніх вузлів. З цієї причини в основі деяких мереж лежить стратегія «прокинутися на вимогу». Зазвичай для цього використовуються пристрої з двома передавачами: передавач з низьким споживанням використовується для приймання сигналів на «пробудження», а передавач з більш високим – для безпосередньо передачі даних. Інша стратегія полягає в тому, що вузли мережі не йдуть в «режим сну» всі одночасно, натомість частка вузлів залишається активною для передачі (рис. 2) [5, 6].

Головним елементом вузла сенсорної бездротової мережі, що впливає на такі характеристики, як дальність та енергоспоживання, є бездротовий модуль. Бездротові модулі бувають у вигляді окремих мікросхем, або на одному чіпі з мікроконтролером (так звана система на чіпі (SoC)). Як бездротові модулі розглядалися nRF24L01, ESP8266, ESP32, XBee і XBee Pro.

Зазвичай, сенсорна бездротова мережа може працювати в двох режимах, : mesh (рис. 3) і «зірка» (рис. 4). І влаштована таким чином: вузли сенсорної мережі періодично опитують датчики і переводять показники в цифровий вид, наприклад, якщо це датчик температури, то в цифрове представлення температури за Цельсієм, потім в залежності від режиму, вони передають ці дані іншому вузлу (в режимі mesh), а кореневий вузол через роутер відправляє на сервер(а), або відразу на сервер(а) через роутер (в режимі «зірка»), де дані зберігаються в базі даних для подальшого надання користувачеві, а також аналізу і при необхідності повідомлення персоналу.

Також можливий зворотний процес, коли сервер відправляє дані вузлів сенсорної мережі для активації механізмів, наприклад включення системи підвищення/пониження температури.

Вузол сенсорної мережі складається з мікроконтролера, бездротового модуля, датчика, акумулятора і мікросхем заряду і підвищення напруги з 3.3В до 5В. Мікроконтролер і бездротовий модуль об'єднані в одному пристрої – ESP32. Дані з датчика зчитуються мікроконтролером і відправ-

ляються на сервер за допомогою бездротового модуля. Завдяки наявності акумулятора, вузол сенсорної мережі може працювати в автономному режимі до 10 годин при використанні mesh топології і до декількох місяців при використанні топології «зірка» та режиму «глибокий сон» [7].

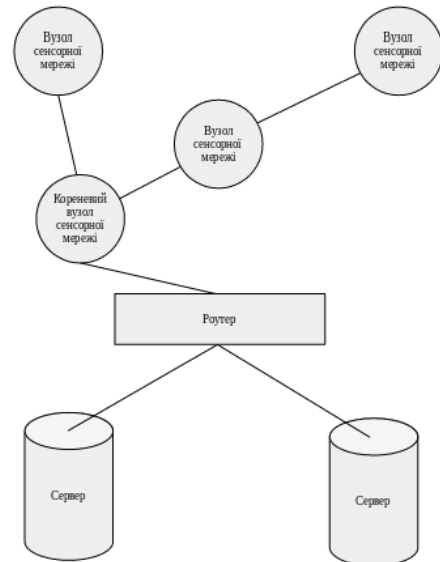


Рис. 3. Загальна схема сенсорної мережі в режимі «mesh»

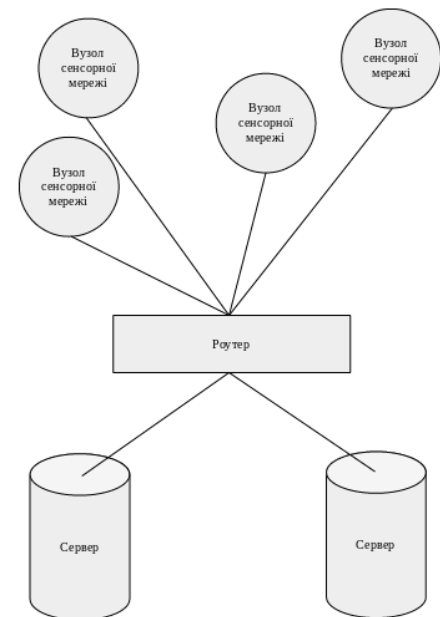


Рис. 4. Загальна схема сенсорної мережі в режимі «зірка»

Вузол сенсорної бездротової мережі підтримує практично будь-які датчики, наприклад:

- Датчик температури;
- Датчик вологості;
- Датчик рівня метану;
- Датчик вібрації;



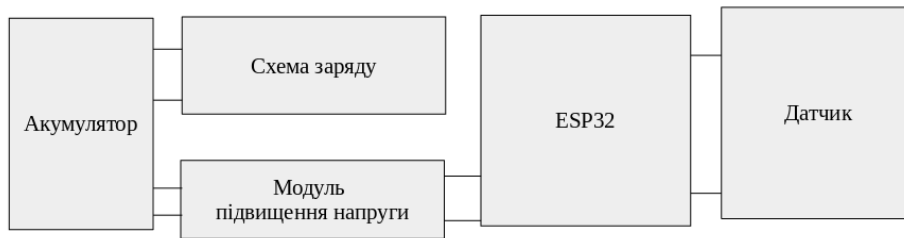


Рис. 5. Схема вузла сенсорної мережі

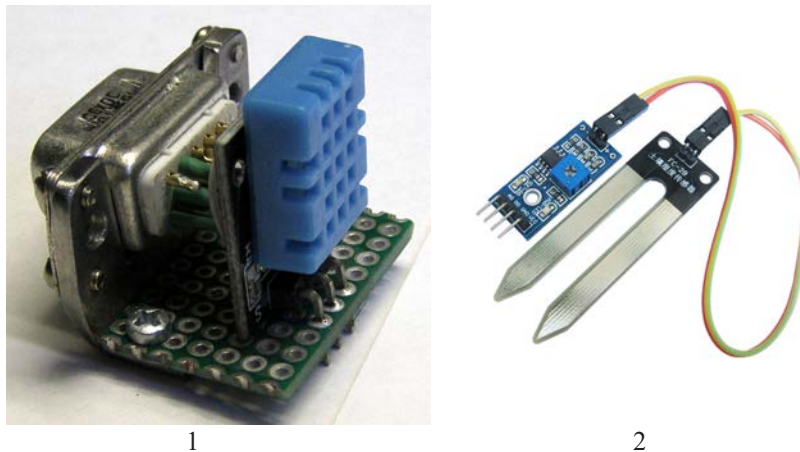


Рис. 6. Датчик температури і вологості DHT11 (1), датчик вологості ґрунту (2)

- Пожежний датчик;
- Датчик відстані;
- Та ін.

Для підключення датчиків до пристрою використовується універсальний 15-контактний VGA роз'єм. Одночасно можуть бути підключені до 10 датчиків до одного вузла сенсорної мережі. Для функціонування вузла сенсорної мережі було написано програмне забезпечення на мові програмування C++, що дозволяє працювати з різними типами датчиків а також в двох режимах мережі: mesh і зірка. Передача даних на сервер відбувається по протоколу HTTP. Все спілкування між вузлами в режимі mesh відбувається по шифрованому протоколу для забезпечення безпеки. Дані можуть бути відправлені на більш, ніж один сервер для забезпечення надійності.

При зборці коду можна налаштувати такі параметри, як:

- SSID WiFi мережі
- Пароль WiFi мережі
- Чи використовувати для даної мережі режим mesh або «зірка»
- Ідентифікатор mesh мережі
- Пароль mesh мережі
- Вивід світлодіода для відображення успішного відправлення пакета
- IP або домен сервера
- Логін для авторизації на сервері
- Пароль для авторизації на сервері

- Чи використовувати дублюючий сервер
- IP або домен дублюючого сервера
- Логін для авторизації на дублюючому сервері
- Пароль для авторизації на дублюючому сервері
- Чи використовувати датчик dht11
- Номер виводу для датчика dht11

А також настройки лежачого в основі фреймворку ESP-IDF і параметри самого ESP32, такі як потужність бездротового модуля і частота процесора.

**Висновки.** У статті були вивчені принципи побудови сенсорних бездротових мереж, розглянуті рішення, що існують на сьогоднішній день, обрані найбільш оптимальні компоненти і розроблена сенсорна бездротова мережа, яка може бути застосована в різних областях, таких як: збір даних про екологічний стан навколишнього середовища, система «розумний будинок», моніторинг показань температури і вологості при зберіганні сільськогосподарської продукції, моніторинг показань на виробництві і т. д.

Створена сенсорна бездротова мережа може працювати в двох режимах: «зірка» та «mesh», що дозволяє створити як мережу, де критично енергоспоживання, яка буде працювати без перезарядки акумуляторів кілька місяців, так і мережу, де потрібно охопити велику територію.

Також були описані приклади реалізації отриманої сенсорної бездротової мережі на практиці і проведені відповідні розрахунки.

**Список літератури:**

1. Лисенко О. І., Чумаченко С. М., Явіся В. С., Гуйда О. Г., Новіков В. І., Сушин І. О. Моделі використання інформації від мобільних безпроводових сенсорних мереж в алгоритмах оцінювання та прогнозування стану екологічних систем ускладнених техногенним навантаженням. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського, серія «Технічні науки»* : зб. наук. праць. Одеса. Видавничий дім «Гельветика» Том 33 (72) № 4 2022. С. 103-112
2. Лисенко О.І., Турейчук А.М., Гуйда О.Г., Новіков В.І., Сушин І.О., Нідченко І.А. Методологія обґрунтування вимог до складу сенсорів безпроводової сенсорної мережі інформаційного забезпечення процедур та алгоритмів системи екологічного моніторингу розподіленого техногенного об'єкту. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського, серія «Технічні науки»* : зб. наук. праць. Одеса. Видавничий дім «Гельветика» Том 33 (72) № 1 2022. С. 133-149.
3. Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice / Christian Poellabauer, Waltenege Dargie – Wiley, 2010. С. 28 – 34.
4. Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks / Holger Karl, Andreas Willig – Wiley, 2005. С. 9, 13, 51 – 57.
5. Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols, and Applications / Kazem Sohraby, Daniel Minoli, Taieb Znati – Wiley-Interscience, 2007.
6. Building Wireless Sensor Networks: with ZigBee, XBee, Arduino, and Processing / Robert Faludi – O'Reilly Media, 2011.
7. Wireless Sensor Networks: From Theory to Applications / Ibrahiem M. M. El Emary, S. Ramakrishnan – CRC Press, 2013.

**Skrypka K.I., Guida O.G., Ometsynska N.V., Lisovets S.M., Yusyiv T.V. REMOTE MONITORING AND MANAGEMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF ENVIRONMENT USING MODERN TECHNOLOGIES OF THE INTERNET OF THINGS**

*The modern systems of monitoring and management of environment parameters, that needs it, use wireless networks and technologies of the internet of things more often instead of cable network.*

*A wireless sensor network is the up-diffused network, that consists of enormous amount of sensors and executive mechanisms united by means of radio channel for monitoring of physical processes. A wireless sensor network usually consists of plenty of the cheap energyeffective wireless modules, sensors and executive devices, also often distinguish a server for collecting and treating of information (there can be not the one). Such servers, usually, execute the functions of sluices in the mesh-topologies of wireless networks. The knots of sensor network are located on small distances one from others and share information by the radio channel, passing necessary information, such as testimonies of sensors (temperature, humidity, etc) and signals to the executive mechanisms. The basic idea of sensor wireless networks consists in that, while the possibilities of one knot are limited, the general power of the whole network is enough for solving of the necessary tasks.*

*It is predefined by that, except reduction of charges on building of initial network, wireless sensor networks allow operative changes of the network's topology in accordance with the decision of necessary tasks, automatical connection of additional knots without the loss of general capacity of the network.*

*Although sensor wireless networks have a lot of differences from the distributed systems, they have a variety of own problems and limitations . These limitations influence on the design of sensor wireless networks, resulting in the usadge of protocols and algorithms that differ from other distributed systems.*

*The usage of wireless sensor networks together with the cable ones allows to develop the topology of network without of it's replanning and rebuilding.*

**Key words:** *monitoring of environment, wireless sensor networks, internet of things (IoT), sensor, managing module, server of collection and analysis of information.*