

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КОТЕЛЯНЕЦЬ Віталій Володимирович



УДК 004.716:504.064.36 (043.3)

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ МОНІТОРИНГУ
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА БАЗІ КОНЦЕПЦІЇ
ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ**

05.13.06 – «Інформаційні технології»

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Черкаси – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі кібербезпеки та програмного забезпечення Центральноукраїнського національного технічного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Смірнов Олексій Анатолійович,
Центральноукраїнський національний
технічний університет, завідувач кафедри
кібербезпеки та програмного забезпечення.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кучук Георгій Анатолійович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
професор кафедри обчислювальної техніки
та програмування;

доктор технічних наук, професор
Оксіюк Олександр Глібович,
Київський національний університет
імені Тараса Шевченка, завідувач кафедри
кібербезпеки та захисту інформації.

Захист відбудеться «29» березня 2019 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 73.052.04 при Черкаському державному технологічному університеті за адресою: 18000, Черкаси, бульвар Шевченка, 460.

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці Черкаського державного технологічного університету за адресою: 18000, Черкаси, бульвар Шевченка, 460.

Автореферат розісланий «28» лютого 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
к.т.н., доцент



Е.В. Фауре

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сьогодні існує нагальна необхідність контролю та вимірювання майже всіх фізичних величин у великій кількості і майже в усіх галузях діяльності людини. Застосування сенсорів та пов'язаних з ними комунікаційних вузлів дає уявлення про універсальність проблеми розвитку бездротових сенсорних мереж (Wireless Sensors Network, WSN), зокрема, у будинках та будівлях; на промислових об'єктах; на складах; у природному довкіллі (у лісах, на полях, над річками, в горах, у ґрунті, в повітрі і т.д.); в середовищі, ураженому біологічною та хімічною зброєю; в автомобілях і літаках; на рухомих перехрестях; на дні океану; всередині великих машин, обертових сфер, куль; на поверхні океану під час торнадо; на полі бою за лінією фронту; як індикатор для тварин та товарів; у річках в поєднанні з енергією води тощо.

Розвиток електроніки, інформаційних та комунікаційних технологій (ІКТ) дав підстави для реалізації ідеї вимірювань і контролю будь-яких необхідних фізичних величин середовища, промислових процесів, процесів керування, моніторингу тощо. Такий величезний обсяг застосувань вимірювальної техніки, який також реалізовується у рухомих (мобільних) об'єктах, вимагає рішень, що відносяться до техніки збирання, передавання та обробки інформації для різного типу використовуваних процесів. Розроблено і впроваджено багато мережових рішень на базі попереднього досвіду з реалізації ІКТ в концепції Інтернету речей (ІоТ), що являють собою обчислювальні мережі фізичних предметів (тобто власне, речей), які оснащені технологіями для взаємодії один з одним. У цих рішеннях домінують детерміністичні алгоритми доступу функціонування мережі. Кількість рішень є достатньо великою і різноманітною (мережі LAN, MAN, WAN, WLAN, Wi-Fi, мобільна телефонія, Bluetooth, ZigBee і т.д.).

Серед вчених, які зробили вагомий внесок у розвиток сучасних інформаційних систем моніторингу, варто відмітити таких вітчизняних і закордонних фахівців, як Бертсекас Д., Болгер Дж., Гандел Р., Девід Е., Комарова Л., Романюк А., Райба С., Шахгільдян В. та ін. Проте, для окремого виду застосувань з багатьох причин попередні рішення, такі як, наприклад, детерміністичні рішення, є мало придатними (витрати на обладнання, складність, високі енергетичні потреби, складність алгоритмів, широка займана радіосмуга) – це значно обмежує можливість їх застосування. У той же час, пошуки стохастичних рішень відкривають широкі можливості доповнення, які до цього були мало придатними мережевими рішеннями у деяких застосуваннях (для неможливої до цього часу реалізації). Вони поширюють категорію рішень для сучасних застосувань, наприклад, моніторинг навколишнього середовища, лікарняний моніторинг тощо. З огляду на це, розроблення інформаційних технологій моніторингу навколишнього середовища в концепції ІоТ є *актуальною науково-технічною задачею*, що має важливе наукове та практичне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження проводились у відповідності із Законом України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» (№ 75/98-ВР від 04.02.1998 р.) та Концепцією розвитку зв'язку України (№ 2238 від 9.12.1999 р.), а отримані здобувачем результати

відображені у звітах держбюджетних науково-дослідних робіт Національного авіаційного університету («Організація систем захисту інформації від кібератак», д.р. № 0111U000171, виконавець) та Центральноукраїнського національного технічного університету («Розробка методів синтезу тестових моделей поведінки програмних об'єктів, підвищення оперативності передачі та захисту інформації у телекомунікаційних системах», д.р. № 0115U003103, виконавець).

Метою дослідження є розроблення стохастичної інформаційної технології моніторингу параметрів навколишнього середовища в сучасній концепції Інтернету речей з урахуванням апріорної невизначеності джерел інформації та можливості виникнення кризових ситуацій.

Для досягнення цієї мети необхідне розв'язання наступних задач:

1. Провести аналіз принципів побудови, технологічних рішень і напрямів розвитку систем моніторингу в концепції IoT та можливого використання для вирішення поставленого завдання.

2. Розробити і дослідити стохастичні моделі функціонування бездротових сенсорних мереж для оцінювання ймовірності колізії сигналів у системі.

3. Удосконалити метод моніторингу параметрів навколишнього середовища з урахуванням нестационарної просторово-часової локалізації первинних джерел вимірювань.

4. Розробити інформаційну технологію і відповідний програмно-технічний комплекс моніторингу параметрів навколишнього середовища реального часу в сучасній концепції IoT.

Об'єкт дослідження – процес моніторингу параметрів навколишнього середовища.

Предмет дослідження – математичні моделі, методи, інструментальні засоби та інформаційні технології моніторингу параметрів навколишнього середовища в концепції IoT.

Методи дослідження: методи теорії ймовірностей і випадкових процесів (для розробки стохастичних моделей з випадковим доступом), математичної статистики (для збирання, оброблення та інтерпретації експериментальних даних), методи теорії зв'язку (для розробки і реалізації топологій WSN) і мікропроцесорів (для реалізації запропонованої інформаційної технології на Arduino).

Наукова новизна одержаних результатів:

1. *Вперше* розроблено стохастичні моделі функціонування бездротових сенсорних мереж, які використовують рандомізовані мережеві параметри (зі змінною кількістю вузлів і випадковою участю вузлів в окремих групах мережевих вузлів), що дозволило оцінити ймовірність колізії сигналів і більш ефективно проектувати протоколи комунікації IoT.

2. *Удосконалено* метод моніторингу параметрів навколишнього середовища, який враховує нестационарну просторово-часову локалізацію первинних джерел вимірювань та оптимізацію процесу динамічного моніторингу, що дало можливість забезпечити своєчасне та оперативне надходження інформації від первинних джерел інформації із заданими показниками якості для ефективного прийняття управлінських рішень.

3. *Отримала подальший розвиток* інформаційна технологія моніторингу, яка за рахунок використання стохастичних моделей функціонування бездротових сенсорних мереж та удосконаленого методу моніторингу, дозволила забезпечити ефективне спостереження і контроль параметрів навколишнього середовища реального часу в сучасній концепції IoT із урахуванням апріорної невизначеності джерел інформації та можливості виникнення кризових ситуацій.

Практичне значення отриманих автором результатів:

1. Розроблені стохастичні моделі дозволи оцінити ймовірність колізії сигналів: максимальна кількість вузлів, які забезпечують якість передавання на рівні ймовірності колізії не вище 10^{-2} , становить 50 шт., причому кількість задіяних в колізії вузлів нехтовно мала в порівнянні з середньою кількістю передавань, зокрема відношення середньої кількості задіяних в колізії вузлів до середньої кількості передавань становить 10^{-7} .

2. Створений і апробований програмно-технічний комплекс (ПТК) моніторингу параметрів навколишнього середовища реального часу (із використанням засобів Arduino, JavaScript, NodeJs, HTML та CSS) може використовуватись як прототип для організації моніторингу в динамічно змінюваних середовищах та при виникненні критичних ситуацій різного характеру.

3. Розроблено спеціалізовані UML-діаграми прецедентів моделювання та послідовності моделювання запропонованої інформаційної технології.

4. Результати дисертації використані та впроваджені в Національному авіаційному університеті, Центральноукраїнському національному технічному університеті та телекомунікаційній компанії Local Students Networks.

Особистий внесок здобувача. Усі результати, які формують основний зміст дисертації, автор отримав особисто. У друкованих працях, опублікованих в співавторстві, здобувачеві належать: [1, 5, 6] – розробка і експериментальне дослідження методу моніторингу параметрів навколишнього середовища з метою забезпечення своєчасного та оперативного надходження інформації від первинних джерел; [2] – аналіз обфускаційних алгоритмів і оцінювання їх придатності в програмно-технічному комплексі моніторингу в системі Інтернету речей; [3] – дослідження ефективної архітектури і топології сенсорної мережі в концепції Інтернету речей; [4] – дослідження моделей функціонування бездротових сенсорних мереж, оцінювання ймовірності колізії сигналів; [7, 10] – визначення показників якості функціонування та рівня кібербезпеки бездротових сенсорних мереж; [8] – аналіз концепції Інтернету речей в контексті можливості побудови інтелектуалізованих систем моніторингу параметрів навколишнього середовища.

З робіт, що опубліковані дисертантом у співавторстві, у дисертаційній роботі використовуються виключно результати, отримані особисто здобувачем.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на низці науково-технічних і науково-практичних конференціях в Україні та закордоном, серед яких: International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (Харків, 2017 р.), Międzynarodowa Konferencja Studentów oraz Doktorantów «Inżynier XXI wieku» (Бельсько-Бяла, 2017 р.), Всеукраїнська науково-

практична конференція молодих учених і студентів з міжнародною участю «Проблеми та перспективи розвитку авіації та космонавтики» (Київ, 2017 р.), Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційна безпека та комп'ютерні технології» (Кропивницький, 2018 р.), Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні питання забезпечення кібербезпеки та захисту інформації» (Верхній Студений, 2018 р.), наукові семінари НАН України («Технічні засоби захисту інформації», Київ, 2017-2018 рр.), Національного авіаційного університету та Центральноукраїнського національного технічного університету та ін.

Публікації. Основні результати дисертаційних досліджень опубліковані у 11 наукових роботах: 2 статтях у міжнародних виданнях, що включені до наукометричної бази Scopus (1 з яких у періодичному виданні); 1 розділі у колективній монографії англійською мовою, що видана закордоном (Польща); 3 наукові статті у фахових вітчизняних спеціалізованих виданнях; 5 публікацій в матеріалах міжнародних і всеукраїнських наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку джерел із 123 найменувань та додатків. Загальний обсяг дисертації 162 сторінки, з яких основний текст викладений на 127 сторінках, містить 36 рисунків, 14 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** представлена загальна характеристика роботи, обґрунтована актуальність наукової теми, сформульовані мета і задачі дослідження, відображено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, наведено дані щодо їх апробації та впровадження.

У **першому** розділі, на базі огляду літератури, проведено аналіз принципів побудови, технологічних рішень і напрямів розвитку систем моніторингу в концепції IoT, що складається з фізичних пристроїв оснащених вбудованими технологіями для взаємодії один з одним або з зовнішнім середовищем за допомогою стандартних протоколів зв'язку. Зазначені пристрої можуть автоматично зчитуватися, комунікувати та приводитися в дію за допомогою високоінтелектуального інтерфейсу, без участі людини. Завдяки інтенсивному розвитку ІКТ, зокрема, розповсюдженню WSN, появі хмарних обчислень, розвитку технологій взаємодії між машинами та початку активного переходу на IPv6, концепція IoT розширилася за допомогою впровадження практичних рішень для її реалізації та технологічного змісту.

Встановлено, що концепція IoT має три взаємопов'язані базові проблеми – це забезпечення інформаційної безпеки (IoT Security), масштабування зростаючого обсягу технічних пристроїв і даних (IoT Scalability), а також урахування вимог до зниження енергоспоживання (IoT Technical Solutions and Low-Power Consumption).

Також, проведено аналіз протоколи для вирішення завдань IoT:

- 1) MQTT: протокол для збору даних пристроїв і передавань їх серверів (D2S);
- 2) XMPP: протокол для з'єднання пристроїв з людьми, частковий випадок D2S-схеми, коли люди з'єднуються з серверами;
- 3) DDS: швидка шина для інтегрування інтелектуальних пристроїв (D2D);

4) AMQP: система організація черг для з'єднання серверів між собою (S2S).

На рис. 1 наведено екосистему типової мультирівневої архітектури IoT згідно міжнародного стандарту ITU-T Y. 2060 «Overview of the Internet of Things».

Зазначені недоліки IoT негативно впливають на її базові функції, зокрема, її застосування для моніторингу, крім проблем безпеки, стикається з проблемою виникнення колізій під час масштабування, а також високими енергетичними потребами відомих рішень, які у переважній більшості є детерміністичними.

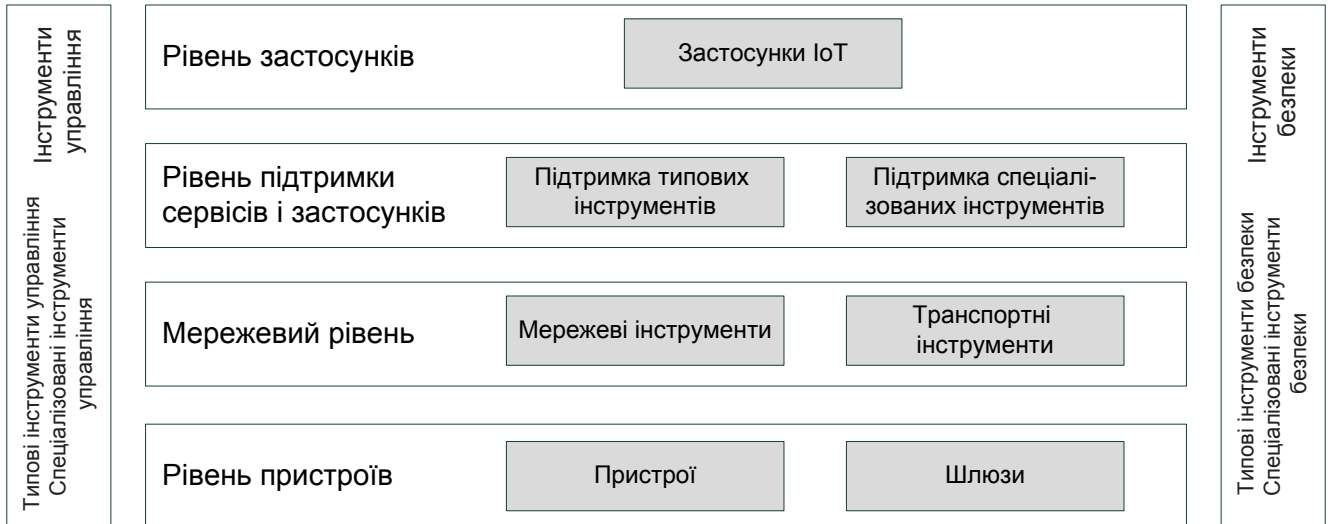


Рисунок 1 – Мультирівнева архітектура IoT відповідно до сучасних міжнародних стандартів

У табл. 1 відображено результати проведеного аналізу відомих підходів до моніторингу параметрів навколишнього середовища в концепції IoT за такими критеріями: *Manag.* – врахування аспектів управління (зворотні зв'язки з IoT системою); *Collis.* – врахування колізій і розробка засобів їх блокування; *Determ.* – розробки на базі детерміністичних підходів; *Stoch.* – розробки на базі стохастичних підходів; *HSC* – спеціалізовані програмно-апаратні комплекси (або ПТК) на базі IoT.

Таблиця 1

Багатокритеріальний аналіз підходів до моніторингу в концепції IoT

Підхід	Критерії				
	<i>Manag.</i>	<i>Collis.</i>	<i>Determ.</i>	<i>Stoch.</i>	<i>HSC</i>
Бертсекас Д.	-	+	+	-	-
Болгер Дж.	+	-	+	-	-
Гандел Р.,	-	+	+	-	+
Девід Е.,	-	-	+	-	-
Комарова Л.	+	-	+	-	+
Романюк А.	-	-	-	+	-
Райба С.	+	+	-	+	-
Шахгільдян В.	-	+	+	-	-

Таким чином, у першому розділі роботи виявлено недоліки відомих підходів і доведено необхідність створення математичних моделей, методів, комунікаційних протоколів мереж WSN з випадковим доступом і відповідних інформаційних

технологій моніторингу для забезпечення високої продуктивності, якості і живучості їх функціонування.

У другому розділі дисертації розроблено стохастичні моделі функціонування WSN для оцінювання ймовірності колізії сигналів у системі. Розглянемо більш детально зазначені моделі. Нехай A_s' буде подією, яка означатиме відсутність колізії в інтервалі $[0, s]$ ($s > 0$), а $P(A_s')$ – ймовірність відсутності колізії на проміжку $[0, s]$, де $s > t_p$. Припустимо, що $N(s) = j$, тобто кількість передавань в інтервалі $[0, s] \in j$ ($j \geq 1$). Випадковий вектор (U_1, \dots, U_j) часу між передаваннями є рівномірно розподілений на множині $\Omega_t^* = \{(u_1, \dots, u_j) : u_1 + \dots + u_j \leq s\}$ з умовною густиною $f(u_1, \dots, u_j | N(s) = j) = j! / s^j$ для $(u_1, \dots, u_j) \in \Omega_t^*$, а також 0 поза тим. Тоді умовна густина відсутності колізії в інтервалі $[0, s]$, припускаючи $N(s) = j$, дорівнює $P(A_s' / N(s) = j) = P(U_1 > t_p, \dots, U_j > t_p) = \left(1 - \frac{jt_p}{s}\right)_+^j$, де вираз x_+ визначається наступним чином: $x_+ = x$ для $x \geq 0$ та $x_+ = 0$ для $x < 0$.

Умовна ймовірність колізії в інтервалі s ($s > t_p$), за умови $N(s) = j$, задається так:

$$P(A_s / N(s) = j) = 1 - \left(1 - \frac{jt_p}{s}\right)_+^j. \quad (1)$$

Ймовірність колізії в інтервалі довжини s ($s > t_p$) визначається виразом:

$$P(A_s) = \sum_{j=2}^{\infty} e^{-\frac{ns}{T}} \frac{\left(\frac{nS}{T}\right)^j}{j!} [1 - (1 - j \frac{t_p}{s})_+^j], \quad (2)$$

де n – кількість вузлів, T – середній час між передаваннями вузла, t_p – час передавання протоколу.

Також, у цьому розділі роботи проаналізовано питання кількості вузлів, які залишаються у колізії в інтервалі s для випадку $s > t_p$. Досліджено ймовірність колізії в інтервалі s для випадку $s > t_p$. Нижче представлено моделі, що характеризують нижні та верхні оцінки умовної ймовірності кількості передавань, які залишаються у колізії, в інтервалі s , припускаючи, що кількість передавань в інтервалі передавання в інтервалі s ($s > t_p$) дорівнює j . Нехай Y_s буде кількістю передавань, які залишаються у колізії в інтервалі s . Тоді

$$\left(j \frac{t_p}{s}\right)^{\kappa-1} \left(1 - j \frac{t_p}{s}\right)^{j-\kappa} \leq P(Y_s = \kappa / N(s) = j) \leq \left(j \frac{t_p}{s}\right)^{\left[\frac{\kappa+1}{2}\right]} \left(1 - \frac{t_p}{s}\right)^{j - \left[\frac{\kappa+1}{2}\right]},$$

$$\sum_{j=2}^{\infty} e^{-\frac{ns}{T}} \cdot \frac{\left(\frac{nS}{T}\right)^j}{j!} \left(j \frac{t_p}{s}\right)^{\kappa-1} \left(1 - j \frac{t_p}{s}\right)_+^{j-\kappa} \leq P(Y_s = \kappa) \leq \sum_{j=2}^{\infty} e^{-\frac{ns}{T}} \cdot \frac{\left(\frac{nS}{T}\right)^j}{j!} \left(j \frac{t_p}{s}\right)^{\left[\frac{\kappa+1}{2}\right]} \left(1 - \frac{t_p}{s}\right)_+^{j - \left[\frac{\kappa+1}{2}\right]}.$$

Наведено моделі, що характеризують нижні та верхні оцінки очікуваної кількості передавань, які перебувають у колізії, та дисперсії кількості передавань, які перебувають у колізії в інтервалі довжиною s ($EY_s, D^2(Y_s)$). Нехай $s > t_p$. Тоді

$$\sum_{\kappa=2}^{\infty} \kappa \sum_{j=2}^{\infty} e^{-\frac{n}{T}} \cdot \frac{\left(\frac{n}{T}\right)^j}{j!} \left(j \frac{t_p}{s}\right)^{\kappa-1} \left(1 - j \frac{t_p}{s}\right)_+^{j-\kappa} \leq EY_s \leq \sum_{\kappa=2}^{\infty} \kappa \sum_{j=2}^{\infty} e^{-\frac{n}{T}} \cdot \frac{\left(\frac{n}{T}\right)^j}{j!} \left(j \frac{t_p}{s}\right)^{\lceil \frac{\kappa+1}{2} \rceil} \left(1 - j \frac{t_p}{s}\right)_+^{j - \lceil \frac{\kappa+1}{2} \rceil},$$

$$\sum_{\kappa=2}^{\infty} \kappa^2 \sum_{j=2}^{\infty} e^{-\frac{n}{T}} \cdot \frac{\left(\frac{n}{T}\right)^j}{j!} \left(j \frac{t_p}{s}\right)^{\kappa-1} \left(1 - j \frac{t_p}{s}\right)_+^{j-\kappa} - \left[\sum_{\kappa=2}^{\infty} \kappa \sum_{j=2}^{\infty} e^{-\frac{n}{T}} \cdot \frac{\left(\frac{n}{T}\right)^j}{j!} \left(j \frac{t_p}{s}\right)^{\lceil \frac{\kappa+1}{2} \rceil} \left(1 - j \frac{t_p}{s}\right)_+^{j - \lceil \frac{\kappa+1}{2} \rceil} \right]^2 \leq$$

$$\leq D^2(Y_s) \leq \sum_{\kappa=2}^{\infty} \kappa^2 \sum_{j=2}^{\infty} e^{-\frac{n}{T}} \cdot \frac{\left(\frac{n}{T}\right)^j}{j!} \left(j \frac{t_p}{s}\right)^{\lceil \frac{\kappa+1}{2} \rceil} \left(1 - j \frac{t_p}{s}\right)_+^{j - \lceil \frac{\kappa+1}{2} \rceil} - \left[\sum_{\kappa=2}^{\infty} \kappa \sum_{j=2}^{\infty} e^{-\frac{n}{T}} \cdot \frac{\left(\frac{n}{T}\right)^j}{j!} \left(j \frac{t_p}{s}\right)^{\kappa-1} \left(1 - j \frac{t_p}{s}\right)_+^{j-\kappa} \right]^2.$$

Отже, отримано дві залежності для ймовірності колізії (рис. 2). Вираз (1) описує ймовірність колізії в короткому часі тривання t_p надавання протоколу, визначаючи ймовірність непорушеного надання протоколу. Вираз (2) виведено, використовуючи інші властивості процесу Пуассона щодо ймовірності колізії в досить довгому часі тривання передавання. На графіках проілюстровано ймовірність колізії в залежності від кількості вузлів (сенсорів) для встановленого середнього часу між передаваннями повідомлень, а також представлено залежність від середнього часу передавання протоколу, якщо встановлено кількість вузлів (рис. 2а). Для середнього часу між передаваннями вузла, що дорівнює 10 с, максимальна кількість вузлів, за якої забезпечується якість на рівні ймовірності не більше 10^{-2} , становить 10, а для середнього часу між передаваннями вузла, що дорівнює 30 с, максимальна кількість вузлів – 50.

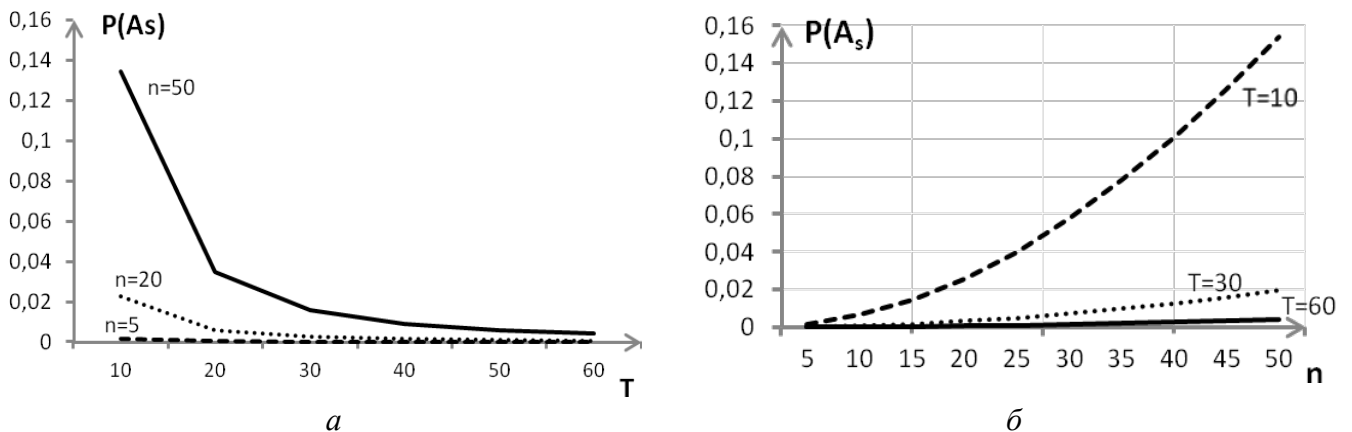


Рисунок 2 – Ймовірність колізії в інтервалі довжини s ($s > t_p$) в залежності від часу спостереження $s = 180$ с та: а) середнього часу між передаваннями вузла для $n = 5, 20, 50$; б) кількості вузлів, де $T = 10$ с, 30 с, 60 с

Подальше зростання середнього часу між передаваннями вузла дає змогу збільшити max кількість вузлів. Для заданої кількості вузлів збільшення середнього часу між колізіями зумовлює зменшення ймовірності колізії. Користуючись рис. 2, можна знайти оптимальні значення параметрів, які впливають на правильність передавання (n , T , t_p). Графіки дають змогу встановити в якому діапазоні забезпечується якість передавання на заданому рівні або для яких величин (n , T , t_p) ймовірність колізії різко зростає. Можна визначити порядок значень ймовірності колізії для довільних параметрів. Наприклад, для $t_p = 3,2 \times 10^{-5}$, кількості сенсорів-надавачів, яка дорівнює 10, і надавання кожним сенсором із середнім часом передавання кожні $T = 60$ с ймовірність колізії – $1,65 \times 10^{-4}$.

У **третьому розділі** роботи удосконалено метод моніторингу параметрів навколишнього середовища з метою своєчасного та оперативного надходження інформації від первинних джерел інформації із заданими показниками якості для ефективного прийняття управлінських рішень

Методологічні засади удосконаленого методу, схема реалізації якого представлена на рис. 3, спрямовані на функціонування в умовах кризових ситуацій і охоплюють чотири базових режими:

1. Звичайний (стандартне функціонування, штатний режим роботи);
2. Підвищеної готовності (нестандартне функціонування, активна підготовка та практична імплементація низки превентивних / попереджувальних заходів);
3. Кризовий (дії в умовах виникнення кризової ситуації);
4. Післякризовий (ліквідація довгострокових наслідків кризового режиму).

Зазначений метод (рис. 3) реалізується за допомогою ієрархічної структури вертикально і горизонтально інформаційно поєднаних компонентів:

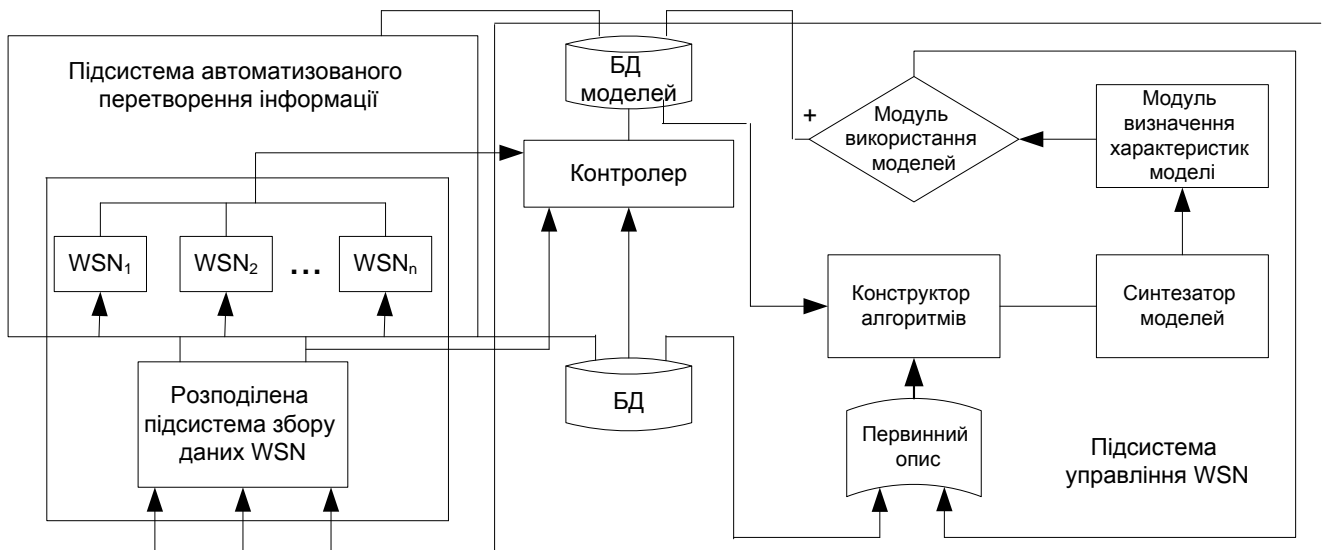


Рисунок 3 – Схема реалізації удосконаленого методу моніторингу

- розподілена система збору даних (від локального до глобального рівнів);
- база даних, з розподіленою технологією побудови (для реалізації завдань аналізу даних і прогнозування розвитку контрольованої ситуації);
- складову обробки (перетворення) та візуалізації інформації моніторингу;

– підсистема реагування на зміни кризи, що відобразить управління діями осіб, які перебувають на об'єкті моніторингу.

Алгоритм роботи методу об'єднує завдання його функціонування логікою активізації роботи складових методу з N рівнів і P полюсів: $P = \sum_{i=1}^N n_i$. Структурна схема алгоритму (в контексті прийняття управлінських рішень) подана на рис. 4.

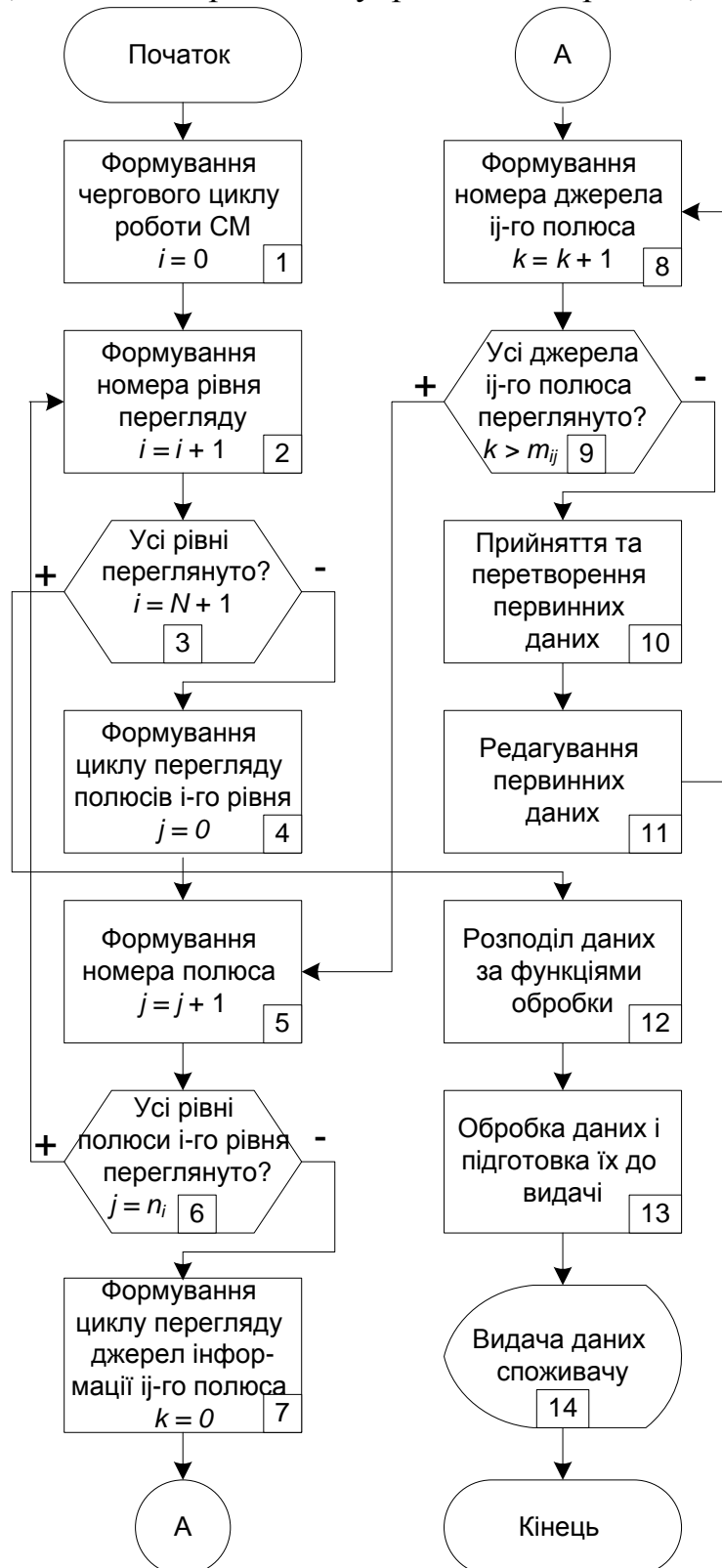


Рисунок 4 – Алгоритм роботи методу моніторингу в контексті прийняття управлінських рішень

Зазначений алгоритм реалізується у 14 основних кроків. Після того як формується запит (крок 1), реалізується активізація функціонування вузлів і полюсів як локального, так і глобального рівня WSN (кроки 2-9). Далі, джерела отримують запити про стан навколишнього середовища, компоненти систем обробки інформації зазначених рівнів WSN – фактично за допомогою кроків 10-14 первинний інформаційний трафік (крок 10) перетворюється в дані, які надаються у зручному вигляді споживачеві (крок 14) відповідно до його запиту (крок 1).

Для опису первинного інформаційного трафіку від джерел вимірювання в системах моніторингу, що має фрактальні властивості, вводиться узагальнений броунівський рух, який характеризується залежністю:

$$B_H(t) = \frac{1}{\Gamma\left(H + \frac{1}{2}\right)} \int_{-\infty}^t h(t-\tau) dB(\tau), \quad (3)$$

де $dB(\tau)$ – приріст вінерівського процесу; $\Gamma(\dots)$ – гамма-функція; H – параметр Херста.

Імпульсна перехідна функція дорівнює:

$$h(t-\tau) = \begin{cases} (t-\tau)^{H-\frac{1}{2}}, & 0 \leq \tau \leq t \\ (t-\tau)^{H-\frac{1}{2}} - (-\tau)^{H-\frac{1}{2}}, & \tau < 0 \end{cases}. \quad (4)$$

Функція (3) приводить до сильної корельованої залежності процесу $B_H(t)$ від попередніх його значень, а також вказує на самоподібний характер фрактального броунівського руху.

На основі $h(bt-b\tau) = b^{H-\frac{1}{2}}h(t-\tau)$ та залежності для вінерівського процесу $dB(b\tau) = b^{\frac{1}{2}}dB(\tau)$ з (2) отримуємо $B_H(bt) = b^H B_H(t)$ або $b^{-H} B_H(bt) = B_H(t)$.

Це підтверджує самоподібний характер фрактального броунівського руху. Для приростів вінерівського процесу маточікування і дисперсія на основі (4) з урахуванням $M\{dB(T)\} = 0$, $M\{dB(\tau_1)dB(\tau_2)\} = M\{n(\tau_1)n(\tau_2)\}d\tau_1d\tau_2 = N_0\delta(\tau_2 - \tau_1)d\tau_1d\tau_2$ відповідно рівні:

$$M\{B_H(t) - B_H(t_0)\} = 0, \quad (5)$$

$$M\{[B_H(t) - B_H(t_0)]^2\} \approx (t - t_0)^{2H}. \quad (6)$$

Нормована кореляційна функція стаціонарних приростів фрактального броунівського руху для двох сусідніх інтервалів часу (t_0, t_1) і (t_1, t_2) , які не перекриваються становить:

$$r_H(t) = \frac{M\{[B_H(t_1) - B_H(t_0)][B_H(t_2) - B_H(t_1)]\}}{M\{[B_H(t_1) - B_H(t_0)]^2\}},$$

або при $B_H(t_0) = 0$:

$$r_H = \frac{M\{B_H(t)B_H(2t)\} - M\{B_H^2(t)\}}{M\{B_H^2(t)\}}. \quad (7)$$

Після відповідних підстановок та перетворень в (7), отримуємо

$$r_H = \frac{M \left\{ \left[B_H(t) - B_H(2t) + B_H(2t) \right] \left[B_H(2t) - B_H(t) + B_H(t) \right] \right\}}{M \left\{ B_H^2(t) \right\}} - 1 =$$

$$= \frac{M \left\{ B_H^2(2t) \right\}}{M \left\{ B_H^2(t) \right\}} - \left[\frac{M \left\{ B_H(t) B_H(2t) \right\}}{M \left\{ B_H^2(t) \right\}} - 1 \right] - 2 \quad (8)$$

Враховуючи (6) – (8) маємо

$$r_H(t) = 2^{2H-1} - 1. \quad (9)$$

Помноживши (9) на $M \left\{ B_H^2(t) \right\} \sim t^{2H}$, отримуємо кореляційну функцію приростів вінеровського процесу на інтервалах $(0, t)$ і $(t, 2t)$: $K_{2H}(t) \approx (2^{2H-1} - 1)t^{2H}$.

Останнє співвідношення вказує на кореляційну залежність приростів, що збільшується із зростанням параметра t .

При $H = 1/2$ процес (4) стає вінерівським і можливий перехід вінерівського процесу до фрактального броунівського руху. Тоді кореляційну функцію фрактального броунівського руху можливо подати у формі

$$K_{2H}(t_1, t_2) \sim \frac{1}{2} \left[t_1^{2H} + t_2^{2H} - |t_1 - t_2|^{2H} \right]. \quad (10)$$

Коефіцієнт кореляції для стаціонарних приростів фрактального броунівського руху на інтервалах $(t_n, t_n - T)$ і $(t_{n+k}, t_{n+k} - T)$ заданої тривалості T , можна представити співвідношенням $r_H(k, T) \sim \frac{1}{2} \left[(k+1)^{\alpha+1} - 2k^{\alpha+1} + (k-1)^{\alpha+1} \right]$.

При великих значеннях k коефіцієнт кореляції можливо апроксимувати:

$$r(k, T) \sim \frac{1}{2} \alpha(\alpha+1) k^{\alpha-1},$$

$$r_H(k, T) \sim \frac{1}{2} \alpha(\alpha+1) k^{\alpha-1} = H(2H-1) k^{2H-2}. \quad (11)$$

Зауважимо, що із збільшенням параметру H , збільшується протяжність залежності $r_H(k, T)$. Однією з головних особливостей первинного інформаційного трафіку систем динамічного моніторингу реального часу є його чутливість до часових параметрів. Прогнозування часових параметрів первинного інформаційного трафіку дозволяє одержати додаткові відомості для керування системою моніторингу та формування рішень щодо запобігання поширення наслідків кризової ситуації.

Крім того, у цьому розділі дисертації розроблено спеціалізовані UML-діаграми прецедентів моделювання (відображена на рис. 5) та послідовності моделювання розробленої інформаційної технології, що більш детально описується в останньому розділі дисертаційної роботи.

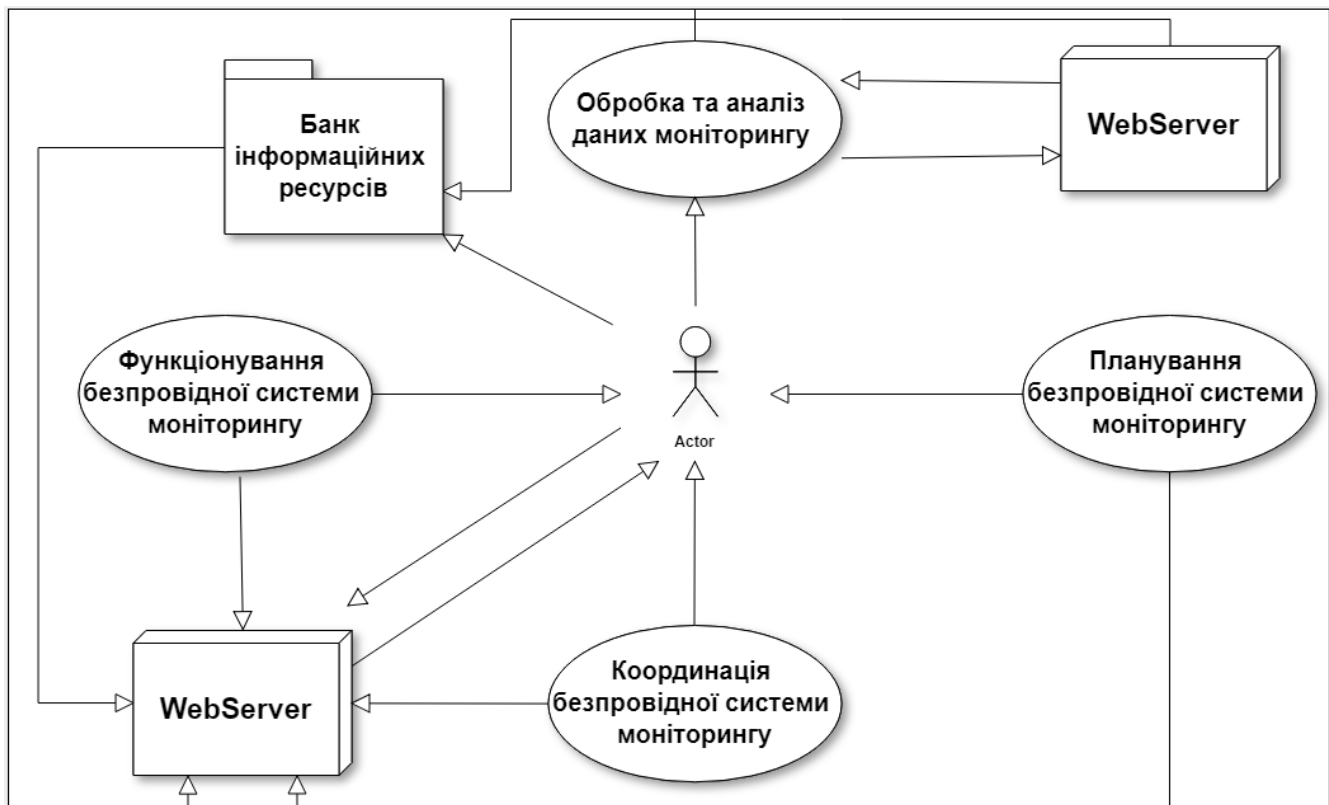


Рисунок 5 – Діаграма прецедентів моделювання запропонованої ІТ

У четвертому розділі, базуючись на стохастичних моделях функціонування WSN та удосконаленому методі моніторингу, розроблено інформаційну технологію моніторингу параметрів, що характеризують стан навколишнього середовища реального часу в сучасній концепції IoT (рис. 6).

На основі зазначеної ІТ із використанням засобів Arduino, JavaScript, NodeJs, HTML та CSS було розроблено спеціалізований ПТК моніторингу необхідних параметрів, що характеризують стан навколишнього середовища.

До складу зазначеного ПТК включені наступні підсистеми:

1) *Акумуляування даних.* Ця підсистема поєднує віддалені автоматизовані робочі місця (АРМ) суб'єктів загальної системи моніторингу, які збирають дані і передають за визначеними комунікаційними (мережевими) протоколами до центру системи управління.

2) *Інфокомунікацій.* Ця підсистема є синтезом сучасної продуктивної і надійної серверної частини, високошвидкісних мереж зв'язку (у тому числі й WSN) та комунікаційних протоколів. У складі ПТК вона забезпечує приймання даних від АРМ, їх обробку і запис до відповідних баз даних, ефективну комунікацію з відокремленим інформаційно-аналітичним центром, а також з особами, що приймають управлінські рішення тощо.

3) *Обробки первинного інформаційного трафіку та аналітики.* Зазначена підсистема включає в себе АРМ адміністраторів баз даних і відповідних фахівців, які приймають, обробляють та аналізують первинний інформаційний трафік. АРМ адміністраторів розподіляють доступ відповідно до фіксованих повноважень, узгоджують надходження і видачу даних, а також забезпечують захист даних і їх вчасне відновлення у випадку збоїв і аварій різноманітного характеру. АРМ

фахівців, які є забезпеченими необхідними технічними / програмними засобами і сучасним високошвидкісним зв'язком, здійснюють попередній аналіз первинного інформаційного трафіку, його уніфікацію, занесення до відповідних баз даних, моделюють кризові ситуації і відпрацьовують плани виходу з них.

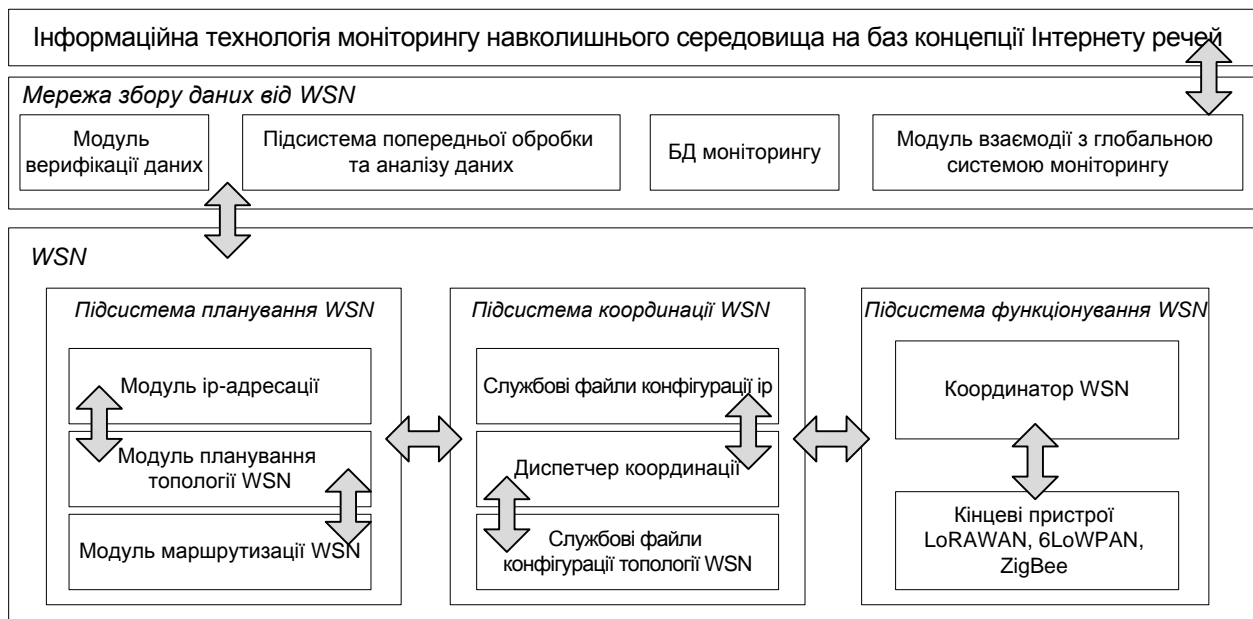


Рисунок 6 – Інформаційна технологія моніторингу навколишнього середовища на базі IoT

4) *Відображення і аналізу даних.* Ця підсистема містить цифрові карти (локальні та глобальні); інформаційно-пошукові засоби; модулі синтезу цифрових карт та баз даних; засоби картографічного аналізу і візуального представлення результатів у зручному для кінцевих користувачів вигляді.

5) *Підтримки баз даних.* Зазначена підсистема базується на спеціальному програмному забезпеченні і є орієнтованою на створення, збереження і забезпечення доступу користувачів до інформаційних ресурсів. Також, вона виконує певні функції захисту інформації, зокрема, архівування і створення резервних копій на випадок виникнення кризових ситуацій чи інцидентів.

Також, у цьому розділі було проведено експериментальне дослідження отриманих результатів на прикладі ПТК моніторингу параметрів повітря на основі IoT, архітектура якого відображена на рис. 7.

Зокрема, рис. 7 відображає архітектуру з використанням різних бездротових технологій таких як LoRAWAN, 6LoWPAN, Z-хвилі, ZigBee тощо. При передаванні даних на короткі відстані (наприклад, в приміщенні) пристрої можуть використовувати PAN, що може надаватися такими технологіями бездротової передавання даних, як BLE (Bluetooth Low Energy), ZigBee, 6LoWPAN і провідний інтерфейс USB. Якщо йдеться про передавання даних на досить великі відстані (наприклад, в офісі чи у великій будівлі), то можна задіяти локальну мережу LAN. Дротові локальні мережі у більшості випадків будуються на базі технології Ethernet і оптоволокна, а бездротові – на базі технології Wi-Fi. Для організації глобальної обчислювальної мережі WAN в цілях моніторингу можна використати технології LTE, LPWAN та WiMAX, хоча остання на сьогодні не довела свою

придатність для практичного застосування і поступається іншим технологіям телекомунікаційних стандартів наступного покоління.

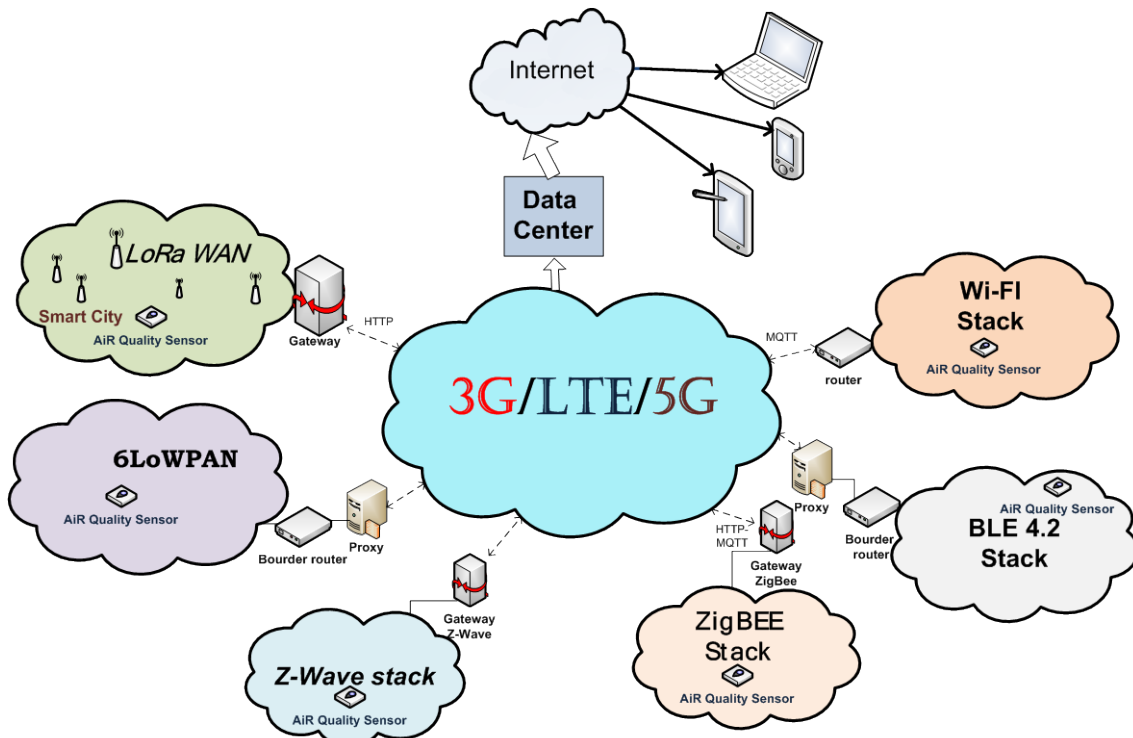


Рисунок 7 – мережева архітектура IoT системи моніторингу параметрів повітря

Відповідно до запропонованої методики експерименту усі дослідження проводились у приміщенні, дані фіксувались для подальшої статистичної обробки.

На рис. 8 показано зміну вологості (рис. 8а) і температури (рис. 8б) повітря протягом доби (як приклад) у окремій кімнаті. Ці графіки побудовані запропонованим у роботі програмним забезпеченням, яке входить до складу ПТК, у режимі реального часу. Вимірювані параметри не обмежуються вологістю і температурою повітря, можуть бути використані будь-які параметри з огляду на доступні (наявні) сенсори, що входять до складу ПТК.

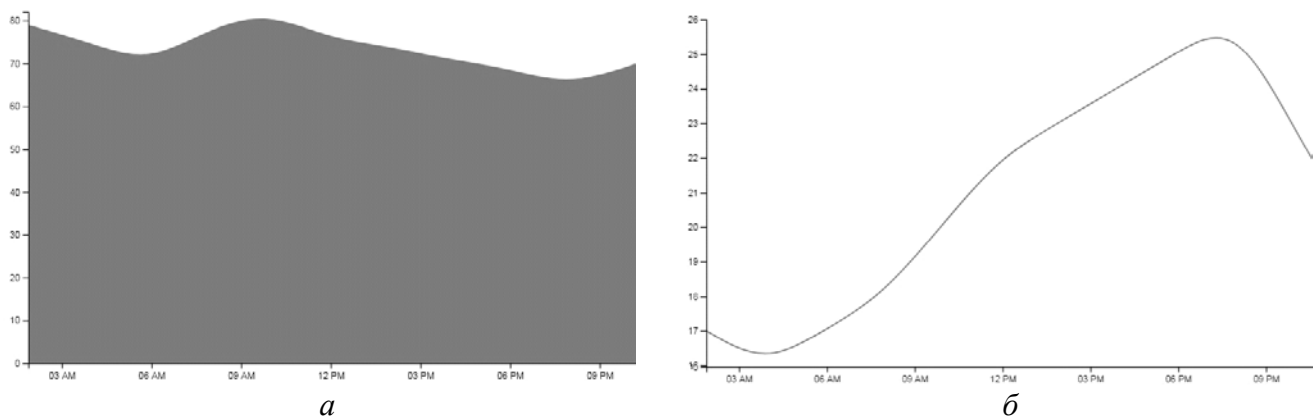


Рисунок 8 – Графік зміни вологості (а) та температури (б)

Отже, запропонований у роботі ПТК моніторингу параметрів навколишнього середовища реального часу може використовуватись як прототип для організації

моніторингу в динамічно змінюваних середовищах та при виникненні критичних ситуацій різного характеру.

У **додатках** вміщено акти впровадження результатів дисертаційної роботи, а також результати вимірювань, отримані в процесі верифікації запропонованого ПТК моніторингу параметрів навколишнього середовища.

ВИСНОВКИ

Результатом виконаної роботи є розв'язання актуальної й важливої науково-технічної задачі розроблення стохастичної інформаційної технології моніторингу параметрів навколишнього середовища в сучасній концепції Інтернету речей з урахуванням апріорної невизначеності джерел інформації та можливості виникнення кризових ситуацій.

У процесі виконання дисертаційної роботи було отримано такі вагомі наукові і практичні результати:

1. Проведено аналіз принципів побудови, технологічних рішень і напрямів розвитку систем моніторингу в концепції IoT, у результаті чого виявлено недоліки відомих підходів і доведено необхідність створення математичних моделей, методів, комунікаційних протоколів мереж WSN з випадковим доступом і відповідних інформаційних технологій моніторингу для забезпечення високої продуктивності, якості і живучості їх функціонування.

2. Удосконалено стохастичні моделі функціонування бездротових сенсорних мереж, які використовують рандомізовані мережеві параметри (зі змінною кількістю вузлів і випадковою участю вузлів в окремих групах мережевих вузлів), що дозволило оцінити ймовірність колізії сигналів і більш ефективно проектувати протоколи комунікації IoT. Зазначені моделі дозволили оцінити ймовірність колізії сигналів: максимальна кількість вузлів, які забезпечують якість передавання на рівні ймовірності колізії не вище 10^{-2} , становить 50 шт., причому кількість задіяних в колізії вузлів нехтовно мала в порівнянні з середньою кількістю передавань, зокрема відношення середньої кількості задіяних в колізії вузлів до середньої кількості передавань становить 10^{-7} .

3. Удосконалено метод моніторингу параметрів навколишнього середовища, який враховує нестационарну просторово-часову локалізацію первинних джерел вимірювань та оптимізацію процесу динамічного моніторингу, що дало можливість забезпечити своєчасне та оперативне надходження інформації від первинних джерел інформації із заданими показниками якості для ефективного прийняття управлінських рішень.

4. Отримала подальший розвиток інформаційна технологія моніторингу, яка за рахунок використання стохастичних моделей функціонування бездротових сенсорних мереж та удосконаленого методу моніторингу, дозволила забезпечити ефективне спостереження і контроль параметрів навколишнього середовища. Ця технологія із використанням засобів Arduino, JavaScript, NodeJs, HTML та CSS дала можливість розробити відповідний ПТК моніторингу реального часу в

сучасній концепції IoT. Зазначений ПТК може використовуватись як прототип для організації моніторингу в динамічно змінюваних середовищах та при виникненні критичних ситуацій різного характеру.

5. Проведено експериментальне дослідження запропонованих моделей, методу та інформаційної технології моніторингу. Розроблено спеціалізовані UML-діаграми прецедентів моделювання та послідовності моделювання запропонованої інформаційної технології. Результати дисертації використані та впроваджені в Національному авіаційному університеті, Центральнотукраїнському національному технічному університеті та телекомунікаційній компанії Local Students Networks.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Hu Z., Gizun A., Gnatyuk V., Kotelianets V., Zhyrova T., «Method for rules set forming of cyber incidents extrapolation in network-centric monitoring», *Proceedings of 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T 2017)*, pp. 121-132, 2017 DOI: 10.1109/INFO COMMST.2017.8246435 (*Scopus*)

2. S. Gnatyuk, V. Kinzeryavyu, I. Stepanenko, Ya. Gorbatyuk, V. Kotelianets, «Code obfuscation technique for enhancing software protection against reverse engineering», *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, pp. 232-239, 2018 (*Scopus, Web of Science*)

3. V. Gnatyuk, N. Dyka, V. Kotelianets, S. Dakov, «IoT architecture for air pollution monitoring system», *Proceedings of VII Międzynarodowa Konferencja Studentów oraz Doktorantów «Inżynier XXI wieku»*, Bielsko-Biala, pp. 83-97, 2017.

4. Смірнов О.А., Котелянець В.В., «Стійкі до колізій стохастичні моделі функціонування бездротових сенсорних мереж», *Вісник інженерної академії України*, №3, с. 145-152, 2018.

5. Гнатюк С.О., Котелянець В.В., Кищенко В.В., Бауиржан М.Б., «Мережево-центричний моніторинг інцидентів кібербезпеки у секторах критичної інфраструктури держави», *Кібербезпека: освіта, наука і техніка*, №2, с. 80-89, 2018.

6. Котелянець В.В., Усик П.С., Кищенко В.В., Гнатюк В.О., «Інтелектуалізована система моніторингу параметрів навколишнього середовища на базі технології інтернету речей», *Вісник інженерної академії України*, №4, с. 133-140, 2018.

7. Odarchenko R., Gnatyuk V., Sydorenko V., Kotelianets V., «Quality of service assessment rules development for mobile operators», *збірник тез доповідей III міжнародної наук.-практ. конференції «Інформаційна безпека та комп'ютерні технології»*, 19-20 квітня 2018 р., м. Кропивницький: ЦНТУ, с. 168-169, 2018.

8. Смірнов О.А., Котелянець В.В., «Застосування концепції Інтернету речей для побудови інтелектуалізованих систем моніторингу параметрів навколишнього середовища», *матеріали VI всеукраїнської наук.-практ. конференції молодих учених і студентів з міжнародною участю «Проблеми та перспективи розвитку авіації та космонавтики»*, 29-30 листопада 2017 р., К. : НАУ, с. 47-48, 2017.

9. Котелянець В.В., «Базові аспекти побудови сучасних систем моніторингу довкілля на основі концепції Інтернету речей», *матеріали X міжнародної наук.-практ. конференції «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2017)»*, 16-17 травня 2017 р., К.: НАУ, с. 184-186, 2017.

10. Котелянець В.В., Ткаліч О.П., Гнатюк С.О., «Метод підвищення кібербезпеки ір-телефонії», *матеріали III міжнародної наук.-техн. конференції «Інформаційна безпека у сучасному суспільстві»*, 29-30 листопада 2018 р., м. Львів: Видавництво ЛДУБЖД, с. 16-18, 2018.

11. Котелянець В.В., «Розробка і дослідження програмно-технічного комплексу моніторингу параметрів навколишнього середовища реального часу», *збірник матеріалів IV міжнародної наук.-практ. конференції «Актуальні питання забезпечення кібербезпеки та захисту інформації»*, 21-24 лютого 2018 р., с. Верхній Студений: Видавництво Європейського університету, с. 26-28, 2018.

АНОТАЦІЯ

Котелянець В.В. Інформаційна технологія моніторингу навколишнього середовища на базі концепції Інтернету речей. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології. – Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, 2019.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуальної й важливої науково-технічної задачі розроблення стохастичної інформаційної технології моніторингу параметрів навколишнього середовища в сучасній концепції IoT з урахуванням апріорної невизначеності джерел інформації та можливості виникнення кризових ситуацій. У роботі проведено аналіз принципів побудови, технологічних рішень і напрямів розвитку систем моніторингу в концепції IoT, у результаті чого виявлено недоліки відомих підходів і доведено необхідність створення математичних моделей, методів, комунікаційних протоколів мереж WSN з випадковим доступом і відповідних інформаційних технологій моніторингу для забезпечення високої продуктивності, якості і живучості їх функціонування. Удосконалено стохастичні моделі функціонування бездротових сенсорних мереж, що дозволило оцінити ймовірність колізії сигналів і більш ефективно проектувати протоколи комунікації IoT. Удосконалено метод моніторингу параметрів навколишнього середовища, що дало можливість забезпечити своєчасне та оперативне надходження інформації від первинних джерел інформації із заданими показниками якості для ефективного прийняття управлінських рішень. Отримала подальший розвиток інформаційна технологія моніторингу, яка дозволила розробити програмно-технічний комплекс моніторингу параметрів навколишнього середовища реального часу із використанням ефективних засобів Arduino, JavaScript, NodeJs, HTML та CSS.

Ключові слова: інформаційна технологія, моніторинг навколишнього середовища, Інтернет речей, стохастичні моделі, метод моніторингу, програмно-технічний комплекс моніторингу, бездротова сенсорна мережа.

АННОТАЦИЯ

Котелянец В.В. Информационная технология мониторинга окружающей среды на базе концепции Интернета вещей. – Рукопис.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Информационные технологии. – Черкасский государственный технологический университет, Черкассы, 2019.

Диссертация посвящена решению актуальной и важной научно-технической задачи разработки стохастической информационной технологии мониторинга параметров окружающей среды в современной концепции IoT с учетом априорной неопределенности источников информации и возможности возникновения кризисных ситуаций. В работе проведен анализ принципов построения, технологических решений и направлений развития систем мониторинга в концепции IoT, в результате чего выявлены недостатки известных подходов и доказана необходимость создания математических моделей, методов, коммуникационных протоколов сетей WSN со случайным доступом и соответствующих информационных технологий мониторинга для обеспечения высокой производительности, качества и живучести их функционирования. Усовершенствованы стохастические модели функционирования беспроводных сенсорных сетей, что позволило оценить вероятность коллизии сигналов и более эффективно проектировать протоколы коммуникации IoT. Усовершенствован метод мониторинга параметров окружающей среды, что позволило обеспечить своевременное и оперативное поступление информации от первичных источников информации с заданными показателями качества для эффективного принятия управленческих решений. Получила дальнейшее развитие информационная технология мониторинга, которая позволила разработать программно-технический комплекс мониторинга параметров окружающей среды реального времени с использованием эффективных средств Arduino, JavaScript, NodeJs, HTML и CSS.

Ключевые слова: информационная технология, мониторинг окружающей среды, Интернет вещей, стохастические модели, метод мониторинга, программно-технический комплекс мониторинга, беспроводная сенсорная сеть.

ABSTRACT

Kotelianets V. Information Technology for Environmental Monitoring Based on Internet of Thing Concept. – Manuscript.

Thesis for a Candidate of Technical Science (PhD) degree on specialty 05.13.06 – Information Technology. – Cherkasy State Technological University, Cherkasy, 2019.

Thesis is devoted to solving the urgent and important scientific and technical task of developing stochastic information technology for monitoring environmental parameters in the modern Internet of Thing (IoT) concept, taking into account the a priori uncertainty of the sources of information and the possibility of emerging crisis situations.

The analysis of principles of construction, technological decisions and directions of development of monitoring systems in the IoT concept was carried out. As a result of

this analysis shortcomings of known approaches were identified and the necessity of creating mathematical models, methods, communication protocols of WSN networks with random access and corresponding information monitoring technologies for ensuring high productivity, quality and the vitality of their functioning was proved.

It has been established that the IoT concept has three interrelated basic issues: providing information security (IoT Security), scaling up the growing volume of technical devices and data (IoT Scalability), and also IoT Technical Solutions and Low-Power Consumption. Also, the analysis of protocols for solving IoT tasks was carried out: 1) MQTT: protocol for collecting data of devices and transmitting their servers (D2S); 2) XMPP: protocol for connecting devices to humans, partial case of D2S-schemes when people connect to servers; 3) DDS: fast bus for integrating smart devices (D2D); 4) AMQP: The system organizes queues for connecting servers to each other (S2S).

Stochastic models of the functioning of wireless sensor networks that use randomized network parameters (with variable number of nodes and random participation of nodes in separate groups of network nodes) have been improved. It allowed to estimate the probability of collision of signals and to more effectively design communications protocols of the IoT. These models allowed to estimate the probability of collision of signals: the maximum number of nodes that provide the quality of transmission at the level of the probability of collision no higher than 10^{-2} is 50, with the number of nodes involved in the collision is negligible in comparison with the average number of transmissions, in particular the ratio of the average number involved in the collision of nodes to the average number of transmissions is 10^{-7} .

The method of monitoring environmental parameters has been improved. It takes into account the unsteady spatial and temporal localization of primary sources of measurement and optimization of the dynamic monitoring process, which made it possible to ensure the timely and prompt receipt of information from primary sources of information with specified quality indicators for effective management decision-making.

The development of information monitoring technology, which, due to the use of stochastic models of the operation of wireless sensor networks and the advanced monitoring method, has allowed the software-technical complex (using Arduino, JavaScript, NodeJs, HTML and CSS) to monitor real-time environment parameters in the modern IoT concept. The designated software-technical complex for monitoring of real-time environmental parameters can be used as a prototype for monitoring organization in dynamically changing environments and in case of emergencies of a different nature (in various spheres).

The experimental research of proposed models, method and information technology of monitoring was carried out. It has been found that when transmitting data at short distances (for example, indoors – laboratory, office, home), devices can use the PAN provided by wireless technologies such as BLE (Bluetooth Low Energy), ZigBee, 6LoWPAN and the leading USB interface. When it comes to transmitting data over long distances (for example, in a large office or in a large building), you can use a Local Area Network. Wired LAN in most cases is based on Ethernet and fiber optic

technology, and wireless one can be based on Wi-Fi technology. Also can be used WiMAX, LTE, and LPWAN to organize global WAN. Measured parameters are not limited to humidity and air temperature (as it was performed in experimental part of this thesis). Any parameters can be used in view of available sensors, which are part of the software-technical complex.

Besides, specialized UML diagrams of simulation precedents and simulation sequences of the proposed information technology have been developed. The results of the dissertation have been used and implemented at the National Aviation University, the Central Ukrainian National Technical University and the telecommunication company Local Students Networks (special implementation acts are attached to thesis).