

Факультет Електротехнічного інженерства та інформаційних технологій
(назва факультету)
Факультет електротехнічних систем та енергетики
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА до дипломного проекту (роботи)

Магістр
(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))
на тему: Методи та засоби підвищення енергоефективності безпровідних
та електричних мереж

Виконав: студент (ка) 6 курсу, групи См-62
спеціальності (напрямку підготовки) 113

Богданівська Імелена І.
(ім'я і прізвище студента (напрямку підготовки))

Керівник	<u>[Підпис]</u> (підпис)	<u>Зима О.В.</u> (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>[Підпис]</u> (підпис)	<u>Гришук Б.В.</u> (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u>[Підпис]</u> (підпис)	<u>Кучук Н.С.</u> (прізвище та ініціали)
		<u>Шоломчик Г.М.</u> (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Всесвітніх інформаційних систем та інформаційних технологій

Кафедра Всесвітніх систем та мереж

Освітній ступінь Магістр

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)

Спеціальність 123 Всесвітні інформаційні системи та мережі

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

К-2
Григорук І.І.
« 30 » _____ 2013 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**

Зимо Олександр Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Методи та засоби підвищення ефективності бездротових телеметричних мереж

Керівник проекту (роботи) Тим Євген Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від «27» 09 2019 року №47-84

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 27.12.19

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Методи підвищення ефективності телеметричних мереж засоби підвищення ефективності бездротових телеметричних мереж

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Частина Розділ 1. Аналіз методів та засобів підвищення ефективності бездротових телеметричних мереж. Розділ 2. Вибір алгоритмів в ефективності бездротових телеметричних мереж. Розділ 3. Аналіз алгоритмів та тестування телеметричних бездротових мереж. Розділ 4. Визначення ефективності ефективності. Розділ 5. Аналіз праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях. Розділ 6. Бачення висновки. Список використаних джерел. Додатки А, Б, В

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Лист 1. Методи та засоби підвищення ефективності бездротових телеметричних мереж (1 лист). Лист 2. Аналіз методів та засобів підвищення ефективності бездротових телеметричних мереж (1 лист). Лист 3. Вибір алгоритмів в ефективності бездротових телеметричних мереж (2 листи). Лист 4. Аналіз алгоритмів та тестування телеметричних бездротових мереж (3 листи). Лист 5. Висновки

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Обґрунтування економічної ефективності	К. Е. Н., доц. Мосій С. Б.		
Безпека в НС	Ситюков В. С., ст. викл. каф. ОС		
Екологія	Людська В. П., доц.		
Оборона країни	Осундська Т. М.		

7. Дата видачі завдання 30.09.19

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ уп	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1.	Оформлення завдання	30.09.19	
2.	Аналіз завдання	07.10.19	
3.	Написання Розділу 1	15.10.19	
4.	Написання Розділу 2	30.10.19	
5.	Написання Розділу 3	20.11.19	
6.	Обґрунтування економічної ефективності	30.11.19	
7.	Оборона країни та безпека в національній безпеці	1.12.19	
8.	Екологія	12.12.19	
9.	Оформлення наукової записки	22.12.19	
10.	Оформлення графічної частини	23.12.19	
11.	Пояснювальні записки	23.12.19	
11.	Захист	27.12.19	

Студент

(підпис)

Зима О. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Людська В. П.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема дипломної роботи: «Методи та засоби підвищення ефективності безпроводних телеметричних мереж» // Дипломна робота // Зима Олег Васильович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, група СІм-62 // Тернопіль, 2019 // с. –118, рис. – 20, табл. -16, аркушів А1 -10, додат. –3, бібліогр. –25.

Ключові слова: критерії ефективності, безпроводна телеметрична мережа.

Дипломну роботу магістра присвячено розробленню методів та засобів підвищення ефективності безпроводних телеметричних мереж.

Проведено огляд методів та засобів побудови бездротових телеметричних мереж. Проаналізовано технології безпроводних телеметричних мереж.

Обґрунтовано вибір критеріїв ефективності та надійності телеметричних мереж. Розглянуто методи підвищення ефективності передачі даних в безпроводних телеметричних мережах та можливості їх комбінацій.

Між критеріями продуктивності та надійності телеметричної мережі існує тісний зв'язок. Ненадійна робота телеметричної мережі призводить до зниження її продуктивності. Це пов'язано тим, що збої в системі зв'язку призводять до втрати або спотворення пакетів, після чого комунікаційний протокол виконує повторну передачу втрачених даних.

Проведено налаштування безпроводної телеметричної мережі на базі модулів Xbee. Засобами пакету Matlab проведено моделювання цифрової системи зв'язку із застосуванням методу симетричного шифрування AES-128 та OFDM модуляції

ANNOTATION

The theme of the thesis: «Methods and tools of wireless telemetric networks efficiency increase» // Master thesis // Zyma Oleh Vasyl'ovych // Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Faculty of Computer Information Systems and software engineering, group CIm – 62 // Ternopil, 2019// p. –118, fig. – 20, tab. – 16, Sheets A1 – 10, Add. – 3, Ref. – 25.

Key words: efficiency criteria, wireless telemetry network.

The master's thesis is devoted to the development of methods and means of improving the efficiency of wireless telemetry networks.

The methods and means of construction of wireless telemetry networks have been reviewed. The technologies of wireless telemetry networks are analyzed.

The choice of criteria of efficiency and reliability of telemetry networks is substantiated. The methods of increasing the efficiency of data transmission in wireless telemetry networks and the possibilities of their combinations are considered.

There is a close relationship between the performance and reliability criteria of the telemetry network. The unreliable operation of the telemetry network results in poor performance. This is because communications failures cause the packets to be lost or distorted, after which the communication protocol retransmits the lost data.

Setting up the wireless telemetry network based on XBee modules. Matlab package simulated a digital communication system using the AES-128 symmetric encryption method and OFDM modulation

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БЕЗПРОВІДНИХ ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ МЕРЕЖ	10
1.1. Методи побудови безпроводних телеметричних мереж.....	10
1.2. Технології безпроводних телеметричних мереж.....	16
1.2.1. Технологія Z-Wave.....	16
1.2.2. Технологія ZigBee	16
1.2.3. Технологія LoRa.....	20
1.3. Висновки до розділу 1	25
РОЗДІЛ 2. ВИБІР КРИТЕРІЇВ ЕФЕКТИВНОСТІ БЕЗПРОВІДНИХ ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ МЕРЕЖ.....	27
2.1. Критерії ефективності та надійності телеметричних мереж	27
2.1.1. Час реакції мережі.....	27
2.1.2. Пропускна здатність мережі	29
2.1.3. Критерії надійності та відмовостійкості мережі.....	31
2.2. Критерії ефективності передачі даних в безпроводних телеметричних мережах	33
2.3. Методи підвищення ефективності передачі даних в безпроводних телеметричних мережах	36
2.4. Побудова безпроводної телеметричної мережі за протоколом ZigBee	38
2.5. Висновки до розділу 2	44
РОЗДІЛ 3. НАЛАШТУВАННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ БЕЗПРОВІДНИХ МЕРЕЖ	46
3.1. Налаштування безпроводної телеметричної мережі на базі XBee	46
3.2. Особливості моделювання безпроводних телеметричних мереж в середовищі Matlab	49
3.2.1. Моделювання та шифрування сигналів безпроводної мережі.....	52
3.2.2. Модуляція й демодуляція в безпроводній мережі.....	54

	6
3.2.3. Моделювання каналів безпроводного зв'язку	55
3.2.4. Спеціальні фільтри сигналів	55
3.3. Моделювання цифрової системи зв'язку із застосуванням методу симетричного шифрування AES-128	56
3.4. Результати моделювання цифрової системи зв'язку з шифруванням AES-128.....	61
3.5. Висновки до розділу 3	64
РОЗДІЛ 4. ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	65
4.1. Науково-технічна актуальність науково-дослідної роботи	65
4.2. Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи.....	65
4.3. Науково-технічна ефективність науково-дослідної роботи	72
4.4. Висновки до розділу 4	76
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	77
5.1 Охорона праці.....	77
5.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	81
5.2.1. Методи захисту від дії ЕМІ, що базуються на врахуванні його можливого негативного впливу.....	81
5.2.2. Шкідливі та небезпечні фактори на виробництві та захист від них працюючих.....	83
РОЗДІЛ 6. ЕКОЛОГІЯ	87
6.1. Індексний метод в екології.....	87
6.2. Програмне забезпечення еколога - статистичних досліджень.....	91
ВИСНОВКИ.....	97
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	99
Додаток А. Опубліковані тези конференції за темою дипломної роботи магістра.....	103
Додаток Б. Програма для моделювання каналу зв'язку з OFDM та 16-QAM	111
Додаток В. Програма для шифрування методом AES-128.....	115

ВСТУП

Актуальність теми роботи. Вимірювання різних параметрів оточуючого середовища, технічних та технологічних параметрів здавна використовуються в побуті та виробництві. Зазвичай ці вимірювання проводяться на віддалі за допомогою телеметричних систем із використанням проводового, оптичного або радіоканалу зв'язку. В сучасних системах розумного будинку або Інтернету речей для вимірювань та керування все частіше використовується радіоканал зв'язку, який забезпечує простоту та гнучкість побудови безпроводних мереж. Однак безпроводні мережі для таких задач мають низьку швидкість передачі даних, яка становить 200-300 кбіт/с по радіоканалу. Тобто, якщо відняти службові біти з кожного пакету, то в кращому випадку отримаємо 100 кбіт/с. Така швидкість передачі даних достатня для невеликих та нерозгалужених безпроводних телеметричних мереж з невеликою кількістю вимірюваних параметрів. Для складніших безпроводних телеметричних мереж необхідно розробити методи та засоби підвищення їх ефективності, особливо ефективності передачі даних.

Серед методів підвищення ефективності передачі даних використовують методи, що дозволяють збільшити співвідношення інформаційних до службових бітів.

Іншими не менш важливими параметрами ефективності безпроводних телеметричних мереж є надійність передачі даних, енергоефективність, ефективність використання каналу зв'язку та ін.

Оцінка ефективності застосування кожного з методів підвищення пропускної здатності та інших параметрів безпроводних телеметричних мереж потребує подальших досліджень та порівнянь за критеріями ефективності передачі даних.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є розроблення методів та засобів підвищення ефективності безпроводних телеметричних мереж.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- аналіз відомих методів та засобів підвищення ефективності безпроводних телеметричних мереж для вибору напрямку дослідження;
- обґрунтування і вибір методів та засобів підвищення ефективності безпроводних телеметричних мереж;
- обґрунтування і вибір критеріїв ефективності безпроводних телеметричних мереж;
- налаштування та тестування телеметричних безпроводних мереж засобами Matlab та оцінка їх ефективності.

Об'єкт дослідження — процес передавання даних в безпроводних телеметричних мережах.

Предмет дослідження — методи та засоби підвищення ефективності безпроводних телеметричних мереж.

Методи дослідження базуються на положеннях:

- теорії інформації та статистична радіотехніка для побудови методів та засобів підвищення ефективності безпроводних телеметричних мереж.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше отримано оцінку ефективності безпроводних телеметричних мереж, які отримано за результатами застосування при передачі даних OFDM модуляції та методу симетричного шифрування AES-128, що уможлиблює вибір методів та засобів для побудови ефективних безпроводних телеметричних мереж.

2. Набуло подальшого розвитку використання методів оцінювання ефективності цифрових систем зв'язку, шляхом їх адаптації до задачі побудови методів та засобів підвищення ефективності безпроводних телеметричних мереж, що уможливило вибір методів та побудову ефективних безпроводних телеметричних мереж.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:
отримані результати моделювання уможливили вибір методів та побудову ефективних безпроводних телеметричних мереж.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
БЕЗПРОВІДНИХ ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ МЕРЕЖ

1.1. Методи побудови безпроводних телеметричних мереж

Безпровода телеметрична мережа — розподілена мережа, що самоорганізується та складається із безлічі датчиків (сенсорів) і виконуючих пристроїв, об'єднаних між собою за допомогою радіосигналу. Область покриття подібної мережі може становити від декількох метрів до декількох кілометрів за рахунок здатності ретрансляції повідомлень від одного елемента до іншого.

Із самого початку розвитку індустрії телеметричних мереж для об'єднання різнопланових пристроїв була необхідна технологія для об'єднання усіх пристроїв у єдину мережу на базі протоколу безпроводного зв'язку, котра мала бути простою та дешевою у використанні, проте, у той же час, достатньо надійною для передачі даних на відстані рис.1.1, відповідні до розміру окремої будівлі.

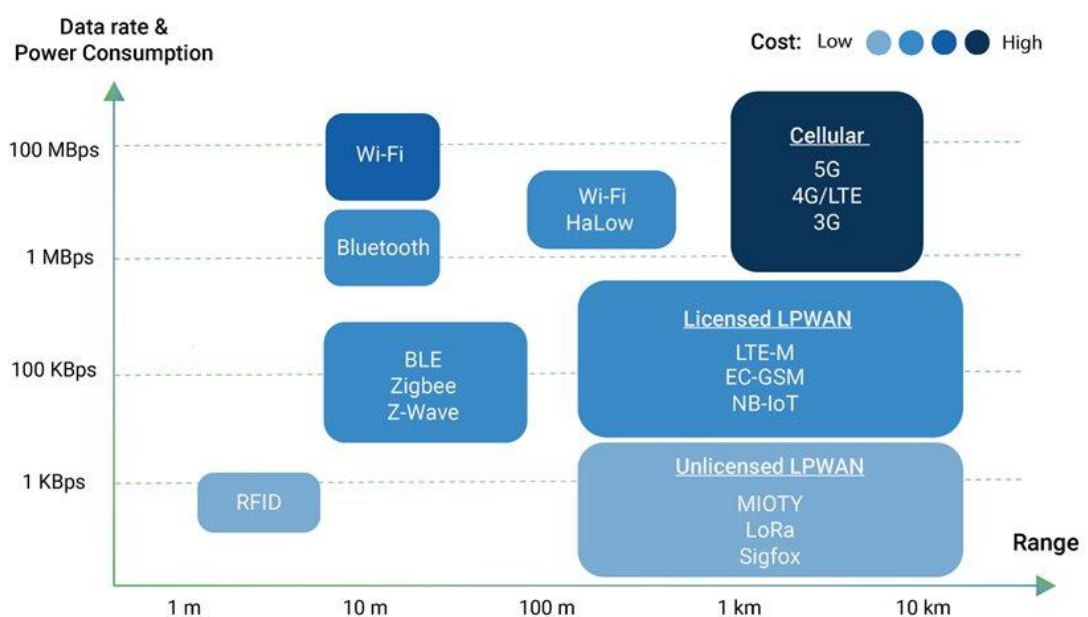


Рис.1.1. Переваги безпроводних телеметричних мереж

Однак, після того як у травні 2003 року було випущено першу версію стандарту 802.15.4, у наступні два роки було створено одразу два консорціуму, котрі розробляли та використовували технології, засновані на цьому стандарті, та призвані впровадити ці технології в сферу автоматизації – Z-Wave Alliance і ZigBee Alliance.

Типовий Z-Wave Alliance чип містить:

- радіо трансивер;
- 32кб flash пам'яті, включно Z-Wave протокол та додатки;
- системні інтерфейси, включаючи цифрові та аналогові інтерфейси для приєднання зовнішніх пристроїв, таких як сенсори;
- 3DES ядро для забезпечення конфіденційності та аутентифікації;
- Триак контроллер, для зменшення вартості додатків, вмикаючих світло.

ZigBee Alliance. визначає три види пристроїв:

- мережевий координатор. У кожній мережі може бути лише один, знаходиться в корені мережевого дерева;
- FFD (Full Function Devices). Повнофункціональні пристрої, які можуть виконувати функції маршрутизаторів;
- RFD (Reduced Function Devices). Кінцеві пристрої, які не можуть бути маршрутизаторами.

При класифікації телеметричних мереж виникають об'єктивні складнощі, пов'язані із дуже широким переліком завдань, вирішуваних подібними системами. Пропонується використовувати наступну модель 3-х факторної класифікації:

За потребами до оперативності передачі показань пристроїв апаратних та програмних датчиків:

- миттєвої передачі: передача показників ініціюється одразу після моменту їх фіксації;

- із низькою латентністю: передача показників відбувається із незначною затримкою у часі, яка складає одиниці або десятки секунд;

- із високою латентністю: передача одиничних показань або груп вибірок відбувається із значною затримкою у часі.

За типом організації живлення мережі:

- стаціонарні: живлення всіх вузлів, незалежно від функціонального навантаження, здійснюється від зовнішньої мережі живлення або від елементів живлення високої ємності;

- напівстаціонарні: живлення вузлів, які піддаються найбільшому мережевому навантаженню, здійснюється від зовнішньої мережі живлення або від елементів живлення високої ємності; кінцеві вузли мають автономні елементи живлення;

- автономні: ретранслятори та рядові вузли мережі мають особисті обмежені автономні джерела живлення.

За розрахунком строку служби мережі:

- короткострокового функціонування: від кількох годин до кількох днів;

- середньострокового функціонування: до кількох місяців;

- довгострокового функціонування: до кількох років.

Найбільш поширеними поширеними є два типу систем: довгострокового функціонування із низьким рівнем латентності та стаціонарні системи довгострокового функціонування з миттєвою реакцією. Зрозуміло, що підходи, які використовуються при побудові подібних систем, розрізняються діаметрально. Найбільший інтерес представляє перший клас систем. Дослідження показують, що в цьому випадку необхідно застосовувати найбільш прості мережеві топології (зірка та кластерне дерево), складні алгоритми маршрутизації та часової синхронізації, специфічні методи розділення каналу передачі даних.

Організація доступу до каналу передачі даних. Основні особливості безпроводних телеметричних мереж у порівнянні з іншими системами організованої передачі даних очевидні – малий радіус радіозв'язку окремого вузла, обмежені та не відновлювальні джерела живлення, низькі обчислювальні можливості та малий об'єм доступної пам'яті; високі вимоги до масштабування застосованих алгоритмів, адаптивність хаотичних змін топології. Усі наведені особливості накладають певні обмеження на використанні у безпроводних телеметричних мережах стеки протоколів у цілому та на алгоритми часової синхронізації зокрема.

Для вузлів телеметричної мережі необхідно забезпечити синхронізацію внутрішні систем тактування з глобальним часом мережі, адже кожен вузол має бути абсолютно автономним. У той же час, ємність автономних джерел живлення складає, у кращому випадку, 1-2 А/год. При цьому енергоспоживання сучасних мікросхем трансиверів, що відповідають потребам використання в телеметричних мережах, у межах прийому та передачі складає 30-80 мА, що дозволяє пристрою безперебійно працювати у активному режимі 1-3 дні. У енергозберігаючих режимах споживання пристроїв складає лише десятки наноампер або одиниці мікроампер. Проте, необхідно щоб пристрої знали очікуваний час виходу в ефір сусідніх пристроїв. Тобто необхідна чітка часова синхронізація.

Традиційні методи часової синхронізації абсолютно неприйнятні в безпроводних телеметричних мережах. Адже вони орієнтовані на досягнення максимальних параметрів синхронізації за рахунок загального навантаження мережі та обчислювальної потужності окремих вузлів, а з точки зору телеметричних мереж необхідно дотримуватися лише одного критерію – найменше енергоспоживання кінцевого пристрою в складі системи.

Часова синхронізація, організація доступу до каналу передача даних напряму залежить від топології побудови мережі, адже вона накладає значні обмеження на алгоритми. Найбільш сприятливими, з енергетичної точки зору, є топології "точка-точка", "зірка" та "кластерне дерево". Основною

перевагою цих топологій є те, що кожен пристрій заздалегідь знає час очікування до виходу на зв'язок своїх сусідів, оскільки їх, як правило, обмежена кількість.

Найбільш складною є мережа, побудована за топологією "кластерного дерева". Доступ до фізичної середи передачі даних у мережах цього класу відбувається вже в синхронному режимі. Проте, є можливим розбиття суперкадру на відповідні інтервали, кожен з яких має свій тип доступу до каналу. У цьому випадку доступ до радіоканалу в мережі відбувається під керуванням координатора, який періодично передає сигнали-маяки. При цьому доступ до радіоканалу та розклад "сну" мережевих пристроїв "прив'язані" до сигналів маяків від координатора. Часовий інтервал між двома сигналами маяків від координатора розбито на дві частини: активну та неактивну. Під час неактивної частини координатор і всі інші пристрої можуть знаходитися у режимі сну. Під час активної частини координатор дозволяє доступ мережевим пристроям. Активна частина сигналу і називається суперкадром. Тривалість суперкадру поділена на два інтервали: під час першого інтервалу (CAP) надається доступ на конкурентній основі відповідно з алгоритмом CSMA/CA; під час другого (CFP) – надається доступ із часовим розподіленням. При цьому пристрій отримує доступ під час закріпленого за ним часового слота (GTS). Виділення пристрою слота відбувається координатором після попереднього запиту від пристрою MAC командою, який відправляється під час інтервалу CAP. Використання алгоритму CSMA/CA за наявності синхронізації має особливості, пов'язані з прив'язкою випадкових параметрів алгоритму до інтервалів часу (слотам) CAP. Якщо на поточному слоті CAP приймається рішення про наявність вільного каналу, то кадр даних передається у слоті, який відрізняється від поточного за номером на перше випадкове число. Якщо прийнято рішення, що канал зайнято, спроба відновлюється на слоті, який відрізняється від поточного за номером на друге випадкове число.

У загальному випадку для мережі з топологією типу кластерне дерево наявність довгострокового періоду конкурентного доступу до каналу не є бажаним, адже може призвести до значних втрат енергії. Одним із рішень може бути відмова від подібного інтервалу або звести його період до мінімально можливої тривалості.

Розглянувши особливості можна сформулювати наступні вимоги до системи часової синхронізації:

- бажано проводити часову синхронізацію в межах регулярного обміну інформацією, не використовуючи спеціальні сигнали – маяки, які підвищують завантаження мережі та енергоспоживання системи в цілому;
- синхронізацію необхідно проводити між пристроями за парами, з урахуванням затримок розповсюдження сигналу між пристроями. Затримки розповсюдження можна вважати функцією від рівня потужності сигналу;
- синхронізація повинна містити кілька етапів:
- початкове жорстке вирівнювання основних частот тактових імпульсів за рахунок зміни зовнішнього лічильника;
- точне вирівнювання протягом кількох сеансів зв'язку;
- коригування десинхронізації усієї ієрархії мережі, зачіпаючи координатори.

Структура типового вузла телеметричної мережі

Варто окремо роздивитися, що представляє із себе окремий вузол телеметричної мережі.

Датчик телеметричної мережі містить у собі:

Радіомодем, який включає в себе малопотужний приймач/передавач та мікроконтролер (МК). МК, в свою чергу, містить обчислювальне ядро, оперативну і флеш-пам'ять, EEPROM, АЦП, блок обробки переривань, певну номенклатуру інтерфейсів та ряд інших периферійних пристроїв, в залежності від конкретного пристрою;

Вузол живлення. У ланцюгах живлення реалізовано захист від перенапруги та від переполюсовки клем. Можлива додаткова схема для подачі живлення від зовнішнього джерела;

Блок візуалізації для зображення поточного стану пристрою (опціонально);

Блок вводу для зміни режимів роботи, перезавантаження і т.д.;

Інтерфейсний блок, що містить порти вводу/виводу, наприклад програмування або підключення зовнішнього датчика.

1.2. Технології безпроводних телеметричних мереж

1.2.1. Технологія Z-Wave. Z-Wave — це протокол безпроводного зв'язку, який використовується переважно для домашньої автоматизації. Це мережева сітка, що використовує радіохвилі низької енергії для зв'язку від пристрою до приладу, що дозволяє здійснювати безпроводний контроль житлових приладів та інших пристроїв, таких як управління освітленням, системи безпеки, термостати, вікна, замки, басейни та гаражні двері. Як і інші протоколи та системи, призначені для ринку домашнього і офісного автоматизації, система автоматизації Z-Wave може керуватись через Інтернет за допомогою безпроводної клавіатури, настінної клавіатури або через смартфони, планшети або комп'ютери з шлюзом Z-Wave або центральним контрольним пристроєм, який служить як контролер концентратора, так і порталом назовні. Це забезпечує сумісність між домашніми системами управління різних виробників, які входять до його альянсу. Станом на травень 2017 р. Налічується понад 1700 суміжних продуктів Z-Wave.

1.2.2. Технологія ZigBee. ZigBee - специфікація мережевих протоколів верхнього рівня (рівня додатків API і мережевого рівня NWK), що використовують сервіси нижніх рівнів - рівня управління доступом до середовища MAC і фізичного рівня PHY, регламентованих стандартом IEEE 802.15.4. ZigBee і IEEE 802.15.4 описують безпроводні персональні

обчислювальні мережі (WPAN). Специфікація ZigBee орієнтована на задачі, що вимагають гарантованої безпечної передачі даних при відносно невеликих швидкостях і можливості тривалої роботи мережевих пристроїв від автономних джерел живлення (батарей).

Модуль ZigBee. Основна особливість технології ZigBee полягає в тому, що вона при малому енергоспоживанні підтримує не тільки прості топології мережі («точка-точка», «дерево» і «зірка»), а й самоорганізована і самовідновлювана стільникова (mesh) топологія з ретрансляцією і маршрутизацією повідомлень рис.1.2. Крім того, специфікація ZigBee містить можливість вибору алгоритму маршрутизації, в залежності від вимог програми та стану мережі, механізм стандартизації пристроїв - профілі пристроїв, бібліотеки стандартних кластерів, кінцеві точки, прив'язки, гнучкий механізм безпеки, а також забезпечує простоту розгортання, обслуговування та модернізації.

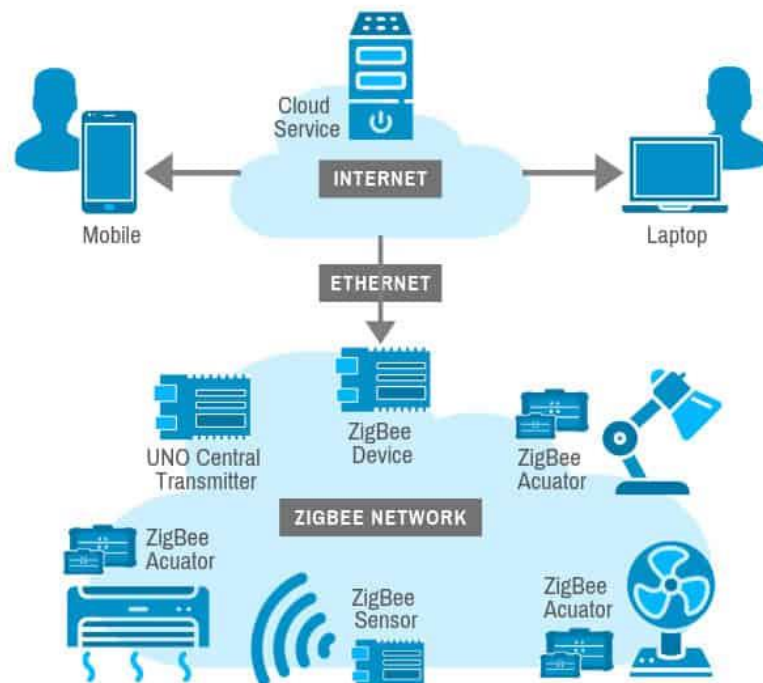


Рис.1.2. Архітектура мережі ZigBee

Області застосування Основними областями застосування технології ZigBee є безпроводні сенсорні мережі, автоматизація житла («Розумний будинок» і «Інтелектуальна будівля»), медичне обладнання, системи промислового моніторингу та управління, а також побутова електроніка і «периферія» персональних комп'ютерів.

Переваги

- Здатність до самоорганізації та самовідновлення,
- стільникова (mesh-) топологія,
- захищеність,
- висока стійкість перед завадами,
- низьке енергоспоживання
- відсутність необхідності отримання частотного дозволу
- можливість побудови безпроводної інфраструктури систем позиціонування в режимі реального часу (RTLS).

Опис. ZigBee - стандарт високорівневих протоколів зв'язку, що використовують невеликі, малопотужні цифрові трансівери (прийомопередавачі), заснований на стандарті IEEE 802.15.4-2006 для безпроводних персональних мереж. Технологія визначається специфікацією ZigBee, розробленої з метою бути простішою і дешевшою, ніж інші персональні мережі, такі як Bluetooth. ZigBee призначений для радіочастотних пристроїв, де необхідна тривала робота від батарейок і безпека передачі даних по мережі.

Використання: Протоколи ZigBee розроблені для використання у вбудованих пристроях, що вимагають низьку швидкість передачі даних і низьке енергоспоживання. Мережа може використовуватися в промисловому контролі, вбудованих датчиках, зборі медичних даних, сповіщенні про вторгнення або задимлення, будівельної та домашньої автоматизації і т. д.

Типові області програми:

- Домашні розваги і контроль - раціональне освітлення, температурний контроль, охорона і безпека, фільми і музика.

— Домашнє оповіщення - датчики води та енергії, моніторинг енергії, датчики задимлення і пожежі.

— Мобільні служби - мобільні оплата, моніторинг і контроль, охорона та контроль доступу, охорона здоров'я та теле- медицина.

— Комерційне будівництво - моніторинг енергії, світла, контроль доступу.

— Промислове обладнання - контроль процесів, промислових пристроїв, управління енергією і майном.

Існують три різних типи пристроїв ZigBee рис.1.3.

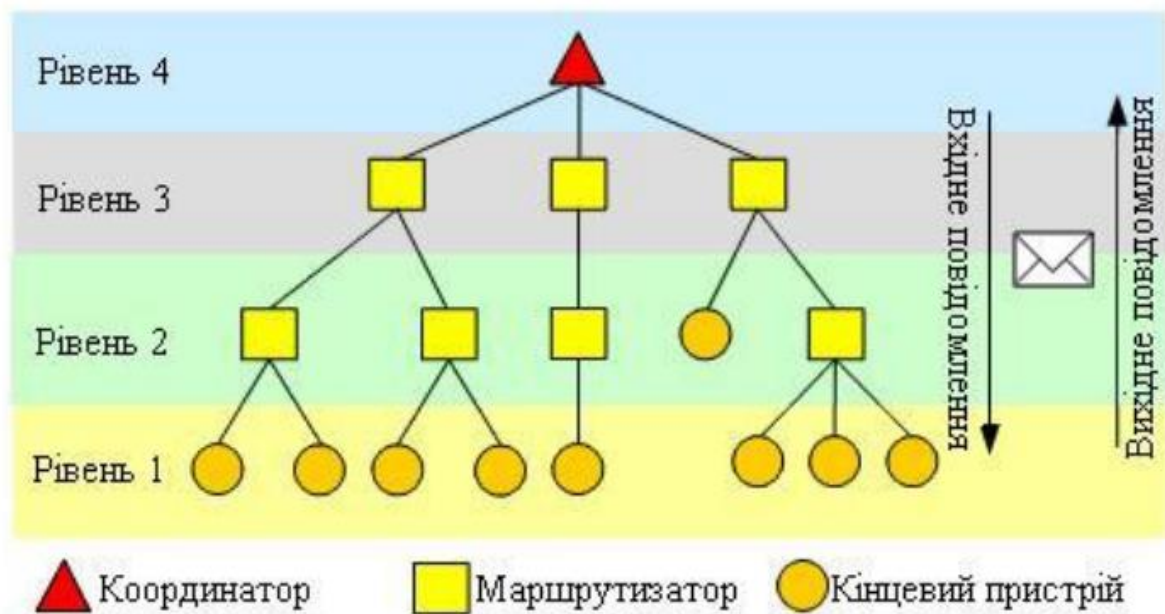


Рис.1.3. Архітектура та пристрої в мережі ZigBee

Координатор ZigBee (ZC) - найбільш відповідальний пристрій, формує шляхи древа мережі і може зв'язуватися з іншими мережами. У кожній мережі є один координатор ZigBee. Він і запускає мережу від початку. Він зберігає інформацію про мережу, виступає як довірений центр і зберігає ключі безпеки.

Маршрутизатор ZigBee (ZR) - Маршрутизатор може виступати в якості проміжного маршрутизатора, передаючи дані з інших пристроїв. Він також може запускати функцію для кожного пристрою.

Кінцеве пристрій ZigBee (ZED) - його функціональна навантаженість дозволяє йому обмінюватися інформацією з координатором або маршрутизатором, він не може передавати дані з інших пристроїв. Таке стан дозволяє пристрою перебувати в сплячому стані, що економить енергію батарей. ZED вимагає мінімальну кількість пам'яті, і тому може бути дешевшим у виробництві, ніж ZR або ZC.

1.2.3. Технологія LoRa. LoRa, створений на «далекій відстані» ("long range"), є запатентованою модуляцією з розширеним спектром, розробленої Semtech для безпроводного зв'язку з низькою швидкістю передачі даних, низьким енергоспоживанням і великою дальністю. Це альтернатива іншим модуляціям, таким як FSK і PSK, що адаптована до унікальних вимогам, необхідним для Інтернету речей.

LoRaWAN - це специфікація протоколу глобальної мережі для використання з модуляцією LoRa. LoRaWAN призначений для безпечної двобічної зв'язку, мобільності і локалізації рис.1.4. Специфікація LoRaWAN публікується Альянсом LoRa.

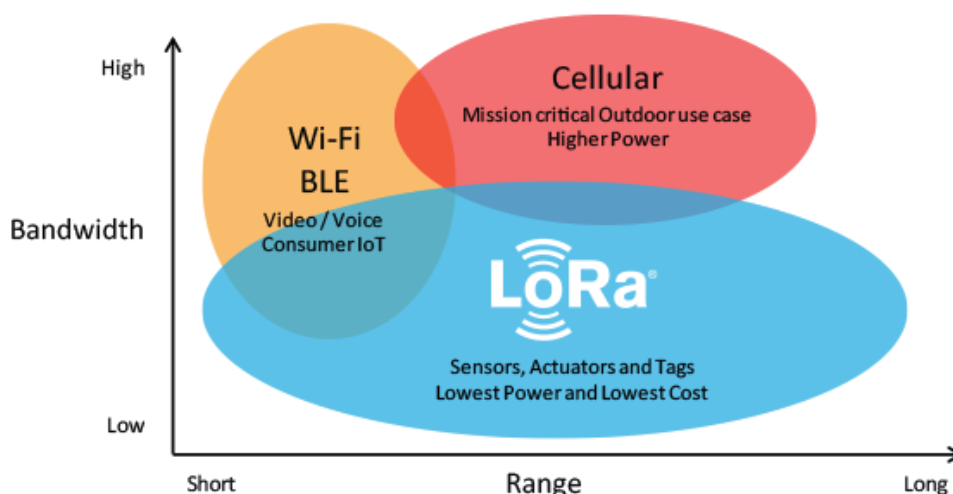


Рис.1.4. Переваги LoRaWAN над іншими мережами

Публічні мережі LoRaWAN зазвичай представляють собою топологію типу «зірка», де шлюзи передають повідомлення між кінцевими пристроями і

сервером центральної мережі. У цій конфігурації кінцеві пристрої обмінюються даними через безпроводний зв'язок з одним або декількома шлюзами, які, в свою чергу, підключаються до сервера центральної мережі через стандартні IP-з'єднання. Точка доступу MultiConnect Conduit є шлюзом для мереж загального користування рис 1.5.

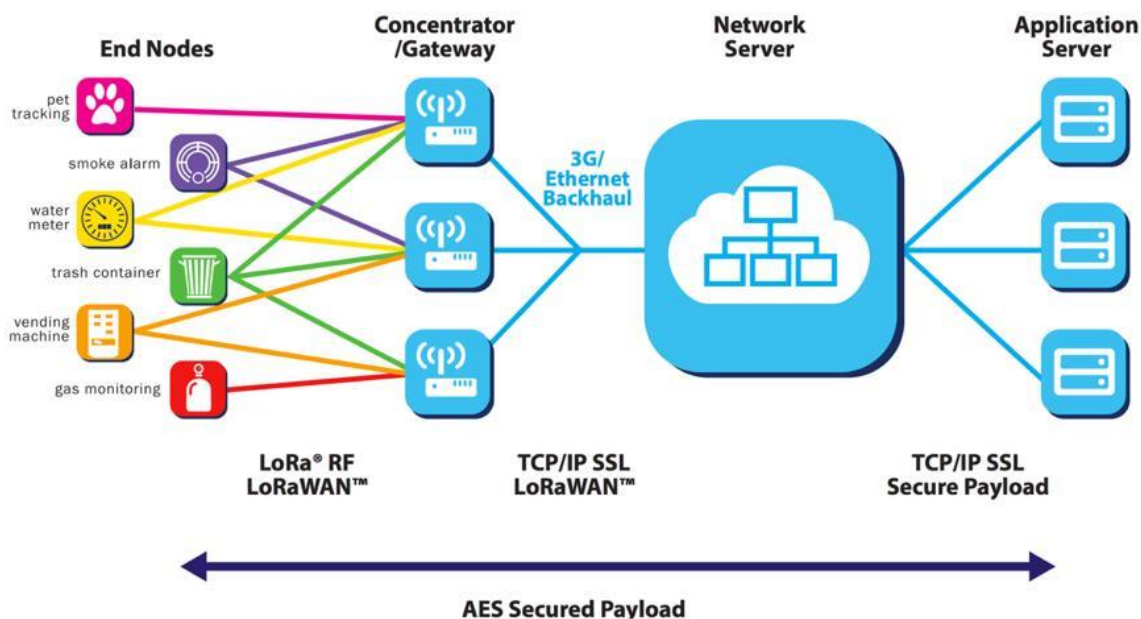


Рис.1.5. Архітектура мережі LoRaWAN

В приватній мережі LoRaWAN від MultiRech, MultiConnect Conduit (з LoRa mCard) функціонує як шлюз та сервер центральної мережі. Conduit має широкі можливості налаштувань і може публікувати дані у хмарі через вбудоване мобільне радіо чи Ethernet. Крім того, Conduit може бути налаштований як шлюз для пересилання пакетів на віддалений сервер центральної мережі. Операції LoRaWAN, такі як передача багато адресних повідомлень і оновлення FOTA кінцевих пристроїв mDot, доступні в Conduit.

За замовчуванням пристрій налаштований в режимі Public LoRaWAN, де радіостанція може приймати пакети, призначені для великої глобальної мережі з сервером центральної мережі. Але його можна налаштувати для роботи в режимі Private LoRaWAN для фільтрації пакетів загальнодоступної мережі на радіо.

Приватний режим MTS є традиційним режимом за замовчуванням для кінцевих пристроїв Multitech до версії 3.1, затримка з'єднання була скорочена до 1 секунди, щоб використовувати з локальним сервером з'єднання, а частоти низхідній лінії зв'язку США / AC встановлені відповідно до Frequency Sub Band (uplink / 8), а не відповідно до LoRaWAN (uplink% 8). Цей режим призначений для забезпечення сумісності з існуючим вбудованим ПО кінцевого пристрою. Він призначений для 8-канальної мережі LoRaWAN. Якщо потрібна підтримка більше 8 каналів або сервера хмарного з'єднання в майбутньому може використовуватися режим Public або Private LoRaWAN.

Відмінності між Private LoRaWAN, Public LoRaWAN і Private MTS полягають в наступному:

Зв'язок між кінцевими пристроями LoRa і шлюзом поширюється по численним частотним каналах і швидкостям передачі даних, тому один шлюз може розмістити велику кількість кінцевих пристроїв в складних безпроводних середовищах.

З точки зору продуктивності, ви можете вибрати один показник для оптимізації: великий діапазон, високу пропускну здатність і швидку передачу. Оптимізація одного принесе в жертву два інших.

Залежно від регіону роботи швидкість передачі даних налаштовується від 0,25 кбіт / с до 11 Кбіт / с і впливає як на діапазон, так і на максимальний розмір навантаження. Найдовший діапазон досягається при використанні найнижчої швидкості передачі даних і розміру навантаження. І навпаки, досягнення максимальної швидкості передачі даних і розміру навантаження призводить до найкоротшому діапазону.

Швидкість передачі даних безпосередньо пов'язана з коефіцієнтом поширення. Коефіцієнт поширення визначає кількість надлишкових даних, розподілених по передачі. Високий коефіцієнт поширення означає, що передається великий обсяг даних, що призводить до збільшення дальності, але до більш низької швидкості передачі даних.

Специфікація LoRaWAN деталізує схему адаптивної швидкості передачі даних (ADR), яка максимізує термін служби батареї кінцевого пристрою і ємність мережі шляхом динамічного регулювання швидкості передачі даних для кожного кінцевого пристрою на основі поточних умов мережі.

Для підтвердження прийому пакета, від пристрою одержувача можуть запитуватися підтвердження, але зменшується ефективна пропускна здатність.

Кінцеві точки mDot і xDot версії 2.0.14 і новіше підтримують класи А і С. Код мережевого сервера MultiTech Conduit версії 1.0.8 і новіше підтримують класи А і С. Більш ранні версії кінцевих точок і Conduit підтримують тільки клас А. MultiTech буде додавати підтримку для класу В в майбутньому.

Клас А: Отримати слот після передачі

Кінцеві пристрої класу А ідеальні для додатків з мінімальним енергоспоживанням, де велика частина даних передається на мережевий сервер тільки по випадковим низхідним лініях. За кожною передачею по висхідній лінії зв'язку слідує два коротких вікна прийому по низхідній лінії зв'язку, в яких може бути прийнятий тільки один пакет. Друге вікно прийому відкривається тільки тоді, коли пакет не отримано в першому вікні. Зв'язок по низхідній лінії зв'язку з сервером повинна чекати наступного прийнятого висхідній лінії зв'язку.

Клас В: Слоти за розкладом

Кінцеві пристрої класу В працюють відповідно до класу А і додатково відкривають вікна прийому в запланований час.

Клас С: Постійне прослуховування

Кінцеві пристрої класу С мають завжди відкрите вікно прийому, крім випадків передачі.

За суті, в Європі можливий довшій діапазон через більш високий допустимий коефіцієнт поширення. Проте, пропускна здатність даних до

Північній Америці, як правило, вище через обмеження робочого циклу в Європі, але майже на увазі, що використання найвищого коефіцієнта розширення висхідної лінії зв'язку для Північної Америки (10) обмежує розмір навантаження до 11 байтів. У той час як в Європі навантаження може становити 51 байт при найвищому коефіцієнті розширення (12)

Ефективна швидкість передачі даних в Європі - це, як правило, швидкість передачі даних, поділена на 10 після врахування обмежень робочого циклу. Отже, пропускна здатність з SF₁₂ буде близько 25 біт / с.

Адаптивна швидкість передачі даних (ADR). LoRaWAN надає MAC-команди для підтримки адаптивної швидкості передачі даних (ADR)

Команди ADR MAC LinkADRReq і LinkADRAns дозволяють мережному серверу змінювати параметри пристрою Datarate, Tx Power і Repetition.

Мережевий сервер виробляє вибірку SNR з кожного пакета і обчислює можливий набір даних на основі кожної вибірки. Шість пакетів повинні бути отримані мережевим сервером, перш ніж він буде коригувати дані пристрої. Семпли для останніх 11 пакетів зберігаються, і при відправленні LinkADRAns максимальну кількість даних буде відправлено на пристрій для зміни.

Потужність Tx повинна бути встановлена на максимум, щоб ADR міг правильно оцінити SNR. Велика економія енергії досягається за рахунок найвищої потужності / найвищого рівня даних, ніж при найнижчій потужності / найнижчому рівні даних. Кожен крок у SF / BW буде збільшувати бюджет каналу приблизно на 3 дБ.

Мережева аутентифікація та безпека. Для участі в мережі LoRaWAN кінцевий пристрій повинен бути аутентифікуватися за допомогою безпроводної технології або через автономну конфігурацію.

MultiTech DOT призначається на заводі унікальним 8-байтовий DevEUI. На додаток до DevEUI для аутентифікації потрібні 8-байтовий ідентифікатор мережі (AppEUI) і 16-байтовий ключ (AppKey).

AppEUI і AppKey визначаються користувачем і повинні бути встановлені на мережевому сервері і на кожному кінцевому пристрої. AppEUI передається по повітрю і використовується для розрізнення мереж. Це можна порівняти з Wi-Fi SSID. Однак AppKey ніколи не передається по повітрю і використовується для незалежної генерації ключів шифрування AES-128 на мережевому сервері і на кінцевому пристрої. Ці ключі шифрування також ніколи не передаються по повітрю.

Кожне кінцеве пристрій має свій набір ключів шифрування. Це гарантує, що інша частина мережі залишиться захищеною, якщо один набір ключів буде зламаный. Після об'єднання, всі пакети, що передаються між кінцевим пристроєм і сервером, шифруються цими ключами.

MultiTech надає простий інтерфейс для налаштування AppEUI і AppKey. Замість створення 8- і 16-байтових шістнадцятирічних ключів ви можете встановити рядки для ідентифікатора мережі (AppEUI) і мережевого ключа (AppKey).

1.3. Висновки до розділу 1

Розробка моделей і алгоритмів збору інформації для безпроводної телеметричної мережі дозволить скоротити час збору даних з її давачів, а також її енергоспоживання. Завдяки чому підвищиться енергоефективність безпроводної телеметричної мережі та оптимізується трафік.

Процес створення безпроводної телеметричної мережі потребує у загальному випадку застосування методів обробки та передачі даних, що забезпечують високу надійність передачі, що призводить до зниження продуктивності мережі або зростання обчислювальної складності і, відповідно, підвищення енергозатрат.

Передача даних у безпроводній телеметричній мережі потребує багато енергії, якщо ж застосувати локальну обробку даних у вузлах мережі, це

дасть змогу зменшити енергозатрати на передачу даних за рахунок використання ефективних методів обробки та протоколів передачі даних.

РОЗДІЛ 2

ВИБІР КРИТЕРІЇВ ЕФЕКТИВНОСТІ БЕЗПРОВІДНИХ ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ МЕРЕЖ

2.1. Критерії ефективності та надійності телеметричних мереж

Серед множини часто використовуваних критеріїв ефективності роботи телеметричної мережі виділяють дві великі групи. Одна група характеризує продуктивність роботи телеметричної мережі, друга — надійність [11].

Продуктивність телеметричної мережі вимірюється за допомогою характеристик двох типів — часових, які оцінюють як затримку зумовлену мережею при виконанні обміну даними та характеристик пропускну здатності, що показують кількість інформації, яку мережа передає за одиницю часу. Ці два типи характеристик є взаємно оберненими, тобто знаючи одну з них, можна обчислити іншу.

2.1.1. Час реакції мережі. Часовою характеристикою продуктивності телеметричної мережі є час реакції. Поняття час реакції використовується в широкому сенсі, тому уточнимо, що мається на увазі [11, 12].

Загалом час реакції — це інтервал часу між запитом пристрою до мережі та відповіддю на цей запит (рис. 2.1). Величина часу реакції залежить від типу вузла, до якого звертається пристрій та від стану елементів телеметричної мережі, їх завантаженості і т.д.

При оцінці продуктивності телеметричної мережі не до двох окремих вузлів, а до всіх вузлів мережі використовують критерії двох типів: середньозважені та граничні.

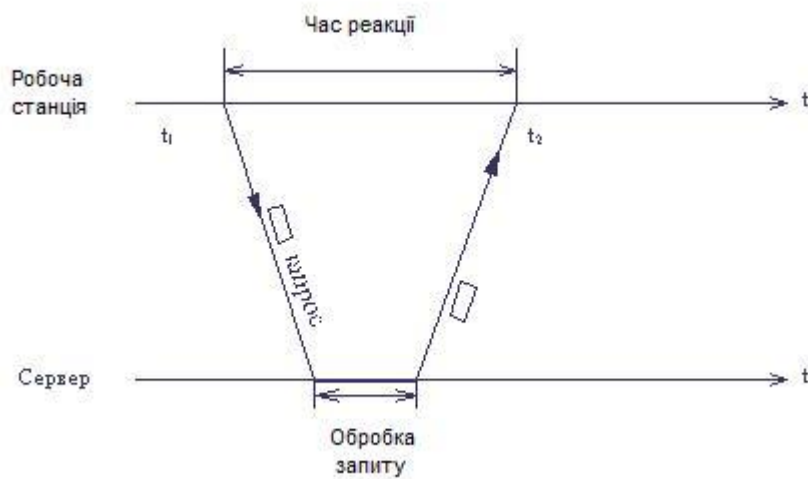


Рис. 2.1. Ілюстрація часу реакції

Середньозважений критерій — це загальна сума часів реакції всіх або деяких вузлів телеметричної мережі при звертанні до інших її вузлів за їх власним протоколом, яка обчислюється за виразом [11, 12]:

$$\left(\sum_i \sum_j T_{ij} \right) / (n \cdot m),$$

де T_{ij} — час реакції кожного i —го вузла при звертанні до іншого j —го вузла,
 n — кількість вузлів які звертаються,
 m — кількість вузлів до яких звертаються.

Оптимізація телеметричної мережі за таким критерієм полягає в пошуку оптимальних параметрів, за яких критерій набуває мінімального значення або не перевищує деякий заданий поріг.

Граничний критерій відштовхується від найгіршого часу реакції по всіх можливих комбінаціях пар вузлів [13]:

$$\max_{ijk} T_{ijk},$$

де i — кількість вузлів які звертаються, j — кількість вузлів до яких звертаються, k — позначає тип запиту.

Оптимізація в такому випадку проводиться з метою мінімізації критерію, або для досягнення заданої величини, що задається технічним завданням.

На практиці частіше застосовують граничні критерії ефективності, оскільки вони забезпечують усім пристроям деякий мінімальний чи задовільний рівень реакції телеметричної мережі на їх запити. Крім того їх легше оцінити і перевірити практично не перевіряючи всі вузли мережі. Середньозважені критерії можуть бути незручними або неінформативними для пристроїв, для яких час реакції є занадто критичним, однак при усередненні ці критерії показують задовільний результат.

2.1.2. Пропускна здатність мережі. Основне завдання мережі — це швидка передача інформації між пристроями та вузлами. Тому критерій пропускної здатності телеметричної мережі або частини мережі відображають ефективність її основної функції [14].

Критерій пропускної здатності можуть відрізнятися одиницями вимірювання кількості інформації. Зазвичай використовують пакети (кадри) або біти. Тому пропускну здатність мереж вимірюють в пакетах за секунду або бітах за секунду.

Розмірність пакетів за секунду застосовують здебільшого для комунікаційного обладнання, яке працює на каналному рівні і вищих рівнях. В таких мережах для тестування використовують пакети мінімальної довжини через те, що вони створюють для комунікаційного обладнання найбільше навантаження. Оскільки обчислювальні операції виконуються для кожного пакету і не значно залежать від його довжини, тому для опрацювання пакетів мінімальної довжини необхідно більше операцій за одиницю часу ніж для пакетів максимальної довжини.

Вимірювання пропускної здатності безпроводних мереж в бітах за секунду (для комп'ютерних мереж використовують мільйони біт за секунду — МБ/с) дає більш точну величину швидкості передачі даних, ніж при використанні пакетів.

Також при обчисленні пропускної здатності можуть враховувати службову інформацію. Кожен протокол передачі даних має заголовок, що містить службову інформацію і поле даних для перенесення інформації. При вимірюванні пропускної здатності в пакетах за секунду відокремити службову інформацію неможливо, а при використанні біт за секунду це можливо.

Якщо не враховувати і не виділяти службову інформацію при вимірюванні пропускної здатності то не можливо вибрати протокол для телеметричної мережі з максимальною пропускною здатністю. Оскільки зміна одного протоколу на іншій може не дати зростання пропускної здатності телеметричної мережі, якщо частка службової інформації в ньому буде більшою.

Пропускню здатність вимірюють між будь-якими двома вузлами телеметричної мережі. Отримувані при цьому величини пропускної здатності будуть змінюватися залежно від того, між якими двома вузлами проводяться вимірювання. Оскільки в мережі одночасно працює значна кількість вузлів, тому повноцінну характеристику пропускної здатності телеметричної мережі дає лише матриця трафіка вузлів телеметричної мережі. Для побудови матриці трафіка використовують спеціальні методи засоби вимірювання, які визначають пропускню здатність для кожного вузла телеметричної мережі.

Оскільки в мережах дані проходять через кілька транзитних проміжних вузлів, то за критерій ефективності розглядають пропускна здатність окремого проміжного елемента телеметричної мережі, тобто окремого каналу, сегмента або комунікаційного пристрою.

Інформація про загальну пропускню здатність між двома вузлами мережі не вказівки на шляхи її підвищення, оскільки із загальної величини не

зрозуміло, який із проміжних етапів проходження даних найбільше гальмує роботу телеметричної мережі. Тому лише інформація про пропускну здатність окремих елементів телеметричної мережі корисні для визначення кращих методів її оптимізації.

2.1.3. Критерії надійності та відмовостійкості мережі [11, 14]. Найважливішою характеристикою телеметричної мережі є надійність — здатність виконувати свої функції протягом тривалого періоду часу. Цей критерій має три складових: надійність роботи, готовність до передачі і зручність її обслуговування.

Підвищення надійності полягає зменшенні ймовірності відмов, поломок і збоїв за рахунок надійних компонентів, зниження рівня завод, зменшення навантаження та перегріву під час роботи, а також за рахунок удосконалення методів конструювання мережевого обладнання. Надійність вимірюється ймовірністю відмов і середнім часом напрацювання на відмову. Надійність розподілених систем і мереж визначається надійністю каналу зв'язку і комутуючого обладнання.

Підвищення готовності передачі передбачає зменшення впливу відмов і збоїв на роботу мережі за допомогою методів корекції помилок, а також засобів автоматичного відновлення роботи телеметричної мережі в разі збою чи відмови. Підвищення готовності це зменшення часу простою мережі в разі збою чи відмови.

Критерієм готовності є коефіцієнт, який дорівнює часу працездатного стану мережі або імовірності її працездатного стану. Коефіцієнт готовності визначається відношенням середнього часу напрацювання на відмову до суми цього часу та середнього часу відновлення працездатності. Мережі з високою готовністю називають відмово стійкими.

Заходами з підвищення готовності є створення надлишковості в архітектурі (дублювання систем) та в кодї (застосування заводостійкого кодування). Так для забезпечення високої готовності безпровідної

телеметричної мережі створюють Mesh мережу яка гарантує проходження даних за рахунок прокладання маршрутів через сусідні вузли та надлишковості службової інформації (адресації) в пакеті.

Визначають різні степені відмовостійкості комп'ютерних систем, до яких відносяться як комп'ютерні так і телеметричні мережі, зокрема [15]:

— висока готовність (high availability) — характеризує системи, побудовані за звичайною технологією з апаратною надлишковістю в яких час відновлення становить від 2 до 20 хвилин;

— стійкість до відмов (fault tolerance) — характеризує системи з гарячим резервуванням, тобто створює надлишковість апаратури для всіх важливих блоків системи, час відновлення такої системи може бути менше однієї секунди;

— безперервна готовність (continuous availability) — характеризує системи, які не тільки зменшують простої при появі відмови, але також зменшують заплановані простої при обслуговуванні системи. Такі системи також забезпечують час відновлення до однієї секунди, а заплановане обслуговування системи проводиться в режимі online. Ще однією вимогою до систем безперервної готовності є регулярне обслуговування для уникнення деградації, і збереження продуктивності і функціональних можливостей незалежно від виникнення відмов.

Між критеріями продуктивності та надійності телеметричної мережі існує тісний зв'язок. Ненадійна робота телеметричної мережі призводить до зниження її продуктивності. Це пов'язано тим, що збої в системі зв'язку призводять до втрати або спотворення пакетів, після чого комунікаційний протокол виконує повторну передачу втрачених даних.

2.2. Критерії ефективності передачі даних в безпроводних телеметричних мережах

При виборі критеріїв ефективності безпроводних телеметричних мереж необхідно вибрати такі, які забезпечують мережі найбільш ефективне виконання її задач за заданих умов. Критерії показують співвідношення затрат енергії, частотного діапазону, часу та ін., до отриманого результату, тобто показують наскільки ефективно використовується витрачений ресурс при передачі даних. Серед найважливіших є критерії ефективності використання каналу зв'язку [11, 15, 16]:

1) критерій ефективності використання каналу зв'язку за потужністю, тобто яка частина енергії сигналу припадає на 1 біт переданих даних при заданому відношенні сигнал/шум [15, 16];

$$\beta = \frac{R}{\rho_0}, \quad (2.1)$$

де R – швидкість передачі даних; ρ_0 – відношення потужності або енергії сигналу до спектральної густини потужності завади N_0 ;

2) критерій ефективності використання каналу зв'язку за смугою частот, тобто яка частина смуги частот сигналу припадає на 1 біт переданих даних [15, 16];

$$\gamma = \frac{R}{F}, \quad (2.2)$$

де F – ширина смуги частот сигналу;

3) критерій ефективності використання каналу зв'язку за пропускною здатністю [15, 16]:

$$\eta = \frac{R}{F}, \quad (2.3)$$

Цей критерій показує наскільки вся система передачі даних ефективно використовує канал зв'язку.

Також важливими є критерії ефективності методів, які забезпечують надійність передачі даних:

1) ефективність кодування, тобто наскільки зменшується об'єм даних при застосування методу кодування [15, 16];

$$\lambda = \frac{H(x)}{l_s}, \quad (2.4)$$

де $H(x)$ – ентропія повідомлення, яке передається,

l_s – усереднена довжина кодової комбінації для,

$$l_s = \sum_{i=1}^M P_i \cdot l_i, \quad (2.5)$$

M – кількість використовуваних кодових комбінацій,

P_i – ймовірність появи символу з кодової комбінації,

l_i – загальна кількість бітів в кожній кодовій комбінації;

2) ефективність коректуючи кодів, тобто наскільки зменшується імовірність втратити дані та при якій надлишковості коду [15, 16];

$$r = \frac{k}{n}, \quad (2.6)$$

де k – кількість символів, що містять інформацію в переданому пакеті,

n – загальна довжина коду пакету даних;

3) ефективність протоколу передачі даних, тобто яке співвідношення між інформаційними та службовими бітами [15, 16]:

$$\mu = \frac{d}{d + d_s}, \quad (2.7)$$

де d – кількість бітів поля пакету даних, що містять інформацію згідно протоколу передачі,

d_s – кількість бітів поля пакету службових даних в структурі протоколу передачі.

4) в телеметричних безпроводних системах передачі даних за критерій ефективності також використовують відношення сигнал/шум E_b/N_0 , де E_b — енергія переданого по радіоканалу біту, N_0 — спектральна густина потужності шуму, що спостерігається в використовуваному радіоканалі [15, 16].

5) критерій ефективності кодування інформації G визначається, як зменшення відношення сигнал/шум E_b/N_0 , яке отримуємо при застосовуванні завадостійкого кодування [17]

$$G = \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_u - \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_c \text{ (dB)}, \quad (2.8)$$

де $(E_b/N_0)_u$ — відношення сигнал/шум E_b/N_0 без кодування, $(E_b/N_0)_c$ — відношення сигнал/шум E_b/N_0 із застосуванням кодування.

Частину цих критеріїв доцільно використовувати при визначенні і порівнянні ефективності телеметричних безпроводних систем зв'язку побудованих на базі цифрових модемів, які реалізують протокол XВее та інших протоколів безпроводного зв'язку. Всі наведені критерії ефективності

телеметричних безпроводних систем зв'язку використовують при створенні та проектуванні безпроводних систем зв'язку або розробці нових протоколів зв'язку.

2.3. Методи підвищення ефективності передачі даних в безпроводних телеметричних мережах

Серед методів підвищення ефективності передачі даних використовують методи, що дозволяють збільшити співвідношення інформаційних до службових бітів. Зокрема використовують такі методи [11-17]:

1) Об'єднання малих пакетів даних у великі. Особливо це ефективно, коли один вузол безпроводної телеметричної мережі передає інформацію з декількох давачів та вони опитуються одночасно, тоді їх інформація об'єднується в один пакет. Та коли мережа містить типові елементи і проміжні роутери, які об'єднують пакети від декількох кінцевих пристроїв в один. Такий метод потребує чіткої організації мережі, що зменшує її гнучкість. Крім того, не всі протоколи передачі даних мають можливість передавати великі пакети.

2) Кодування та стиснення даних. Ці методи дозволяють зменшити об'єми інформації особливо тоді, коли вона є повторювана в одному пакеті. Але такі методи є малоефективними при стисненні коротких повідомлень розміром 2-3 байти. Операції кодування та декодування збільшують загальну затримку передачі даних системи вимірювань, а, отже, унеможливають роботу в реальному масштабі часу.

3) Агрегування даних, тобто передавання тільки мінімальних, максимальних та середніх значень. За такого підходу втрачаються миттєві значення, які також є важливі при тривалих вимірюваннях. Тому такий метод можна використовувати лише при спостереженні повільних явищ і процесів.

4) Зменшення кількості службових бітів по відношенню до інформаційних або навпаки збільшення кількості інформаційних бітів у пакеті, що підвищує корисну пропускну здатність безпроводної мережі. Однак цей метод призводить до втручання в протокол передачі даних та зменшення надійності мережі.

5) Застосування коректуючи кодів та алгоритмів контролю помилок, що підвищує надійність передачі даних в безпроводних мережах, однак збільшує надлишковість даних в пакеті.

6) Застосування багато шляхової маршрутизації від одного або декількох поруч розміщених вузлів безпроводної системи зв'язку, це підвищує загальну пропускну здатність та надійність передачі даних однак потребує планування безпроводної мережі з перекриванням зони радіозв'язку та апаратної надлишковості маршрутизуючих вузлів мережі.

Або застосування OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) — це метод комутування (мультиплексування) кількох потоків даних, який ділить частотний діапазон на набір ортогональних несучих частот, через які передається інформація із наступним їх об'єднанням. Цей метод збільшує загальну пропускну здатність системи зв'язку при збереженні надійності передачі даних і витрати енергії на один переданий біт.

7) Застосування завадостійких методів передачі інформації із розширенням спектру DSSS, FHSS або CSS. Ці методи підвищують завадостійкість передачі даних однак збільшують частотний діапазон який займає безпроводна мережа.

Наведені методи підвищення ефективності потребують перевірки в умовах тестування наближених до реальних, а також необхідно перевірити їх взаємний вплив та можливості комбінування для отримання максимального приросту від застосування.

2.4. Побудова безпроводної телеметричної мережі за протоколом ZigBee

Протокол ZigBee побудований на стандарті IEEE802.15.4 [18-20], крім мережевих рівнів, які подібних протоколу TCP/IP. Цей протокол має можливість самостійно виявляти пристрої та об'єднувати їх у мережу, керувати мережею та забезпечувати її безпеку. Також він має можливості самовідновлення оскільки є mesh- мережею. Переваги протоколу ZigBee у порівнянні з іншими стандартами наведено на рис. 2.2.

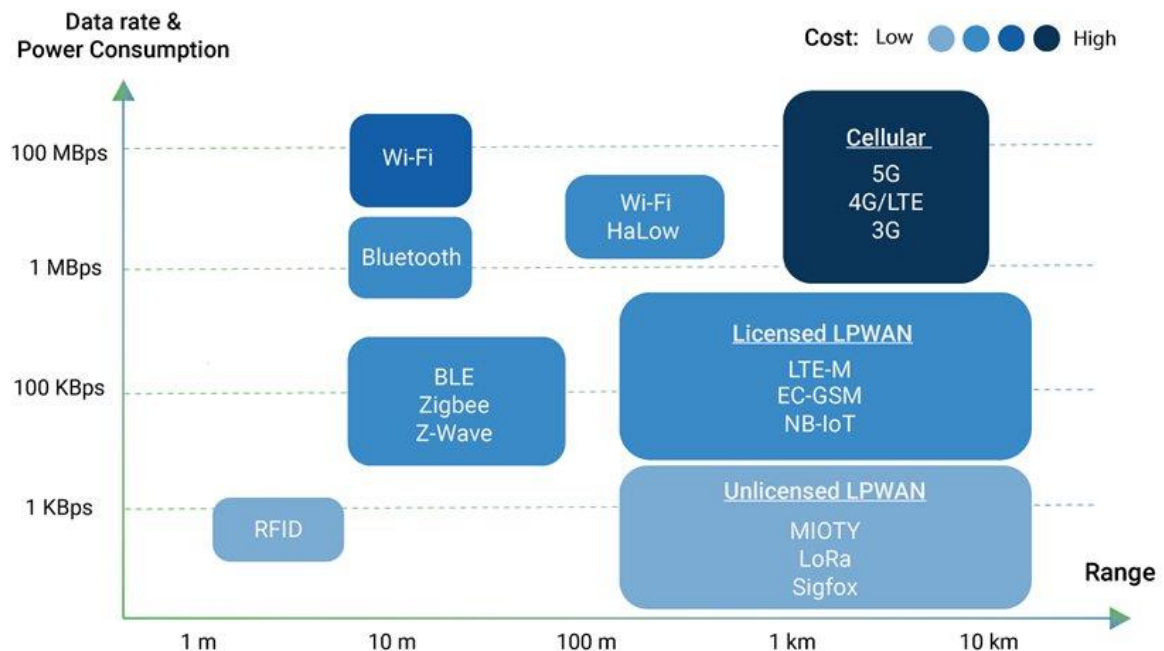


Рис. 2.2. Переваги протоколу ZigBee у порівнянні з іншими стандартами

Протокол ZigBee призначений для роботи з трьома різними типами трафіка даних.

1) Періодичні дані, які передаються зі швидкістю заданою додатками (періодична передача даних з давачів). Періодичні дані зумовлені зовнішнім стимулом який генерується з випадковою затримкою додатком.

2) Разові або переривчаті дані, від є перемикача обладнання.

3) Повторювані дані з низькою затримкою в часі. ZigBee виділяє часові інтервали для передачі даних і має низьку затримку, яка підходить для комп'ютерної миші або клавіатури, або керування якимось рухомих пристроєм.

ZigBee підтримує три основні топології (рис. 2.3):

1) Мережа типу зірка – один координатор з одним або декількома кінцевими пристроями. Тільки збільшує зв'язок між двома вузлами, а дальність роботи обмежена відстанню до вузла. Така мережа потребує надійного зв'язку з координатором;

2) Мережа типу кластерне дерево – мережа з декількома переходами, яка використовує роутер і розширює розмір мережі за рахунок декількох зірок. Координатор і роутер можуть мати дочірні елементи, але кінцеві пристрої далі не мають продовження в мережі. Вузли роутери взаємодіють тільки зі своїм координатором. Роутери можуть передавати дані вниз до кінцевих пристроїв або нагору до роутера. Така мережа також потребує надійного зв'язку з координатором;

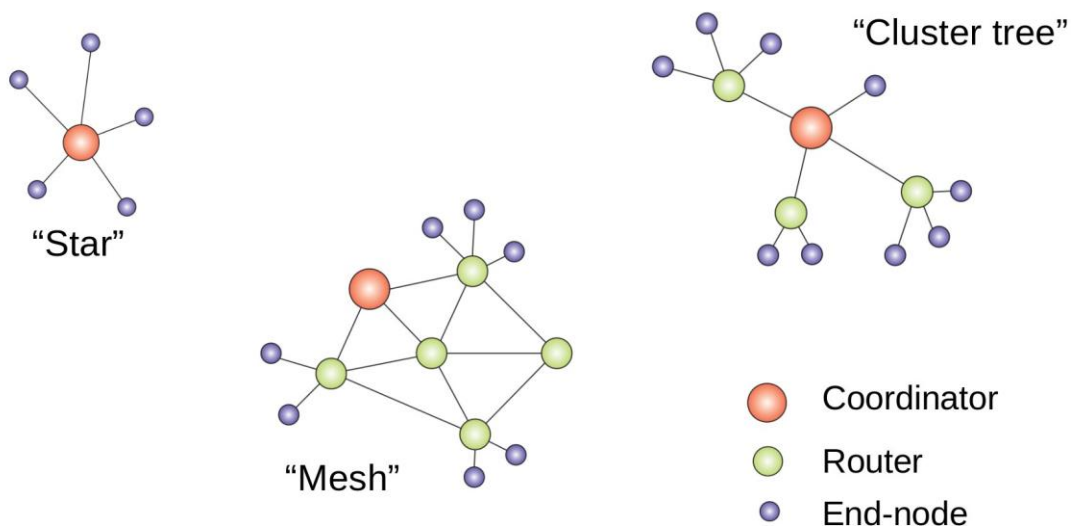


Рис. 2.3. Приклади топології мережі ZigBee

3) Мережа типу mesh – динамічне формування що змінює маршрути і форму. Маршрутизація відбувається з будь-якого роутера на будь-який інший роутер в межах досяжності зв'язку. Використовує алгоритми

маршрутизації дерева й таблиці. Координатор і роутери мають бути постійно включеними, щоб виконувати маршрутизацію зменшуючи при цьому час автономної роботи мережі. Крім того, обчислення затримки та пропускної здатності в mesh-мережі є складною задачею.

Координатор (ZC) — це найголовніший вузол мережі, який створює мережу та вибирає на якому каналі працювати і може бути як центр довіри (trust center). Роутери (ZR)— пристрої які виконують функції ретрансляторів повідомлень від кінцевих пристроїв. Кінцеві пристрої (ZED) — пристрої які об'єднуються в мережу тобто здавачі та виконавчі пристрої телеметричної системи.

Стек протоколу ZigBee ключає в себе мережевий рівень (NWK) і прикладний рівень (APS). Додаткові компоненти включають постачальника послуг безпеки, площину керування ZDO і об'єкт пристрою ZigBee (ZDO) (див. рис. 2.4).

Мережевий рівень NWK використовується для всіх основних компонентів протоколу ZigBee (ZR, ZC, ZED). Цей рівень керує пристроєм і побудовою маршруту. Крім того він управляє реальною динамічною mesh-мережею також він відповідає за обслуговування та відновлення маршруту при появі збою. Головною функцією NWK є передача мережевих пакетів і маршрутизація повідомлень. Під час процесу з'єднання вузлів з mesh-мережею ZigBee NWK забезпечує логічне створення мережевої адреси для ZC і забезпечує з'єднання.

APS забезпечує інтерфейс між мережевим рівнем і рівнем додатка. Він управляє базою даних таблиці прив'язки, яка використовується для пошуку правильного пристрою залежно від необхідної служби й пропонованої послуги. Додатки моделюються тим, що називають об'єктами додатка. Об'єкти додатка обмінюються даними один з одним через карту атрибутів об'єкта, названих кластерами. Зв'язок між об'єктами створюється в стислому файлі XML, щоб забезпечити загальну доступність. Усі пристрої повинні

підтримувати базовий набір методів; однак може існувати в цілому 240 кінцевих точок на пристрій ZigBee.

APS зв'язує пристрій ZigBee з користувачем. Тут присутні більшість компонентів протоколу ZigBee, включаючи об'єкт пристрою ZigBee (ZDO). Кінцева точка протоколу називається ZDO і є критичним компонентом, який відповідає за загальне керування пристроями в мережі. Цей блок містить у собі керування ключами, політиками та ролями пристроїв. Він також може виявляти нові (у межах одного вузла) пристрої в мережі й сервіси, пропонувані цими пристроями. ZDO ініціює й відповідає на всі запити на прив'язку до пристрою до мережі. Він також встановлює безпечний зв'язок між мережевими пристроями шляхом керування політикою безпеки й ключами для пристрою.

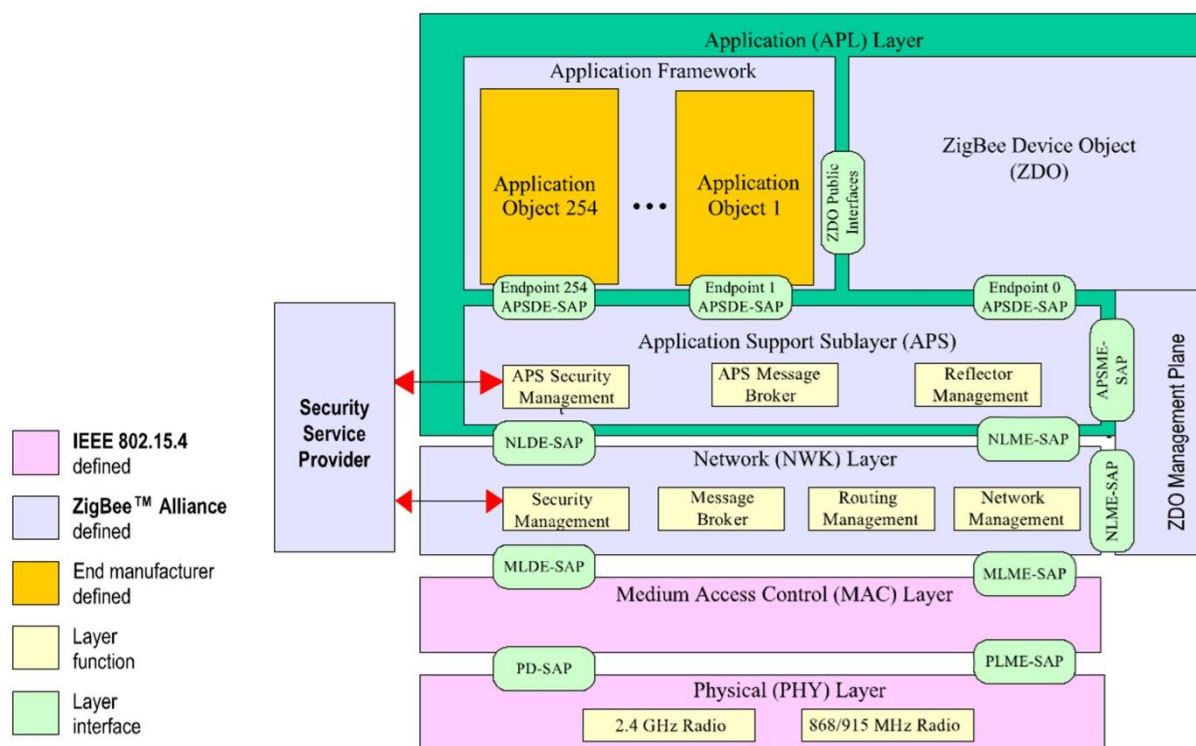


Рис. 2.4. Стэк архітектури мережі ZigBee

Фізичний рівень протоколу ZigBee базується на стандарті IEEE 802.15.4. і може працювати в трьох частотних діапазонах рис.2.5.

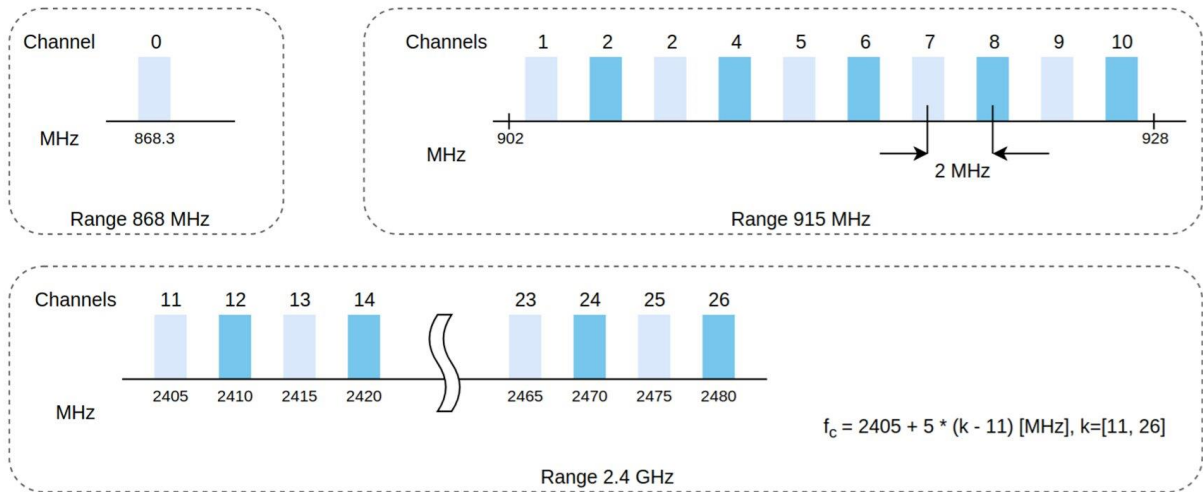


Рис. 2.5. Можливі розподіли частот між каналами в ZigBee

Якщо ZigBee буде працювати на частоті 2,4 ГГц, то Wi-Fi і ZigBee можуть почати заважати один одному. Для зменшення перехресних завад між Wi-Fi і ZigBee краще вибирати наступні канали рис.2.6.

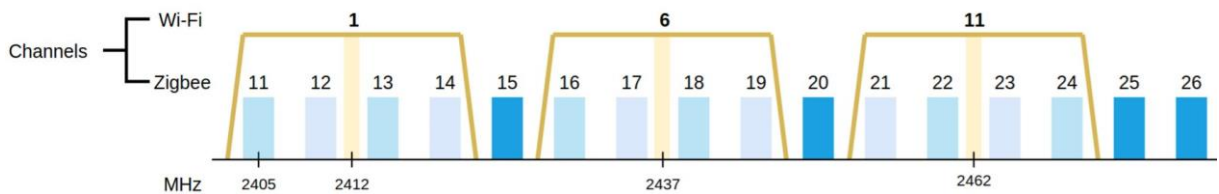


Рис. 2.6. Можливе співпадіння частот між каналами ZigBee та Wi-Fi

В стандарті ZigBee є таке поняття, як ED — Energy Detection. Ця функція використовується в координаторі для вибору каналів з найменшими завадами.

Загальний вид пакету для фізичного рівня має такий вигляд рис.2.7.

Octets: 4	1	1		variable
Preamble	SFD	Frame length (7 bits)	Reserved (1 bit)	Data Payload PSDU
Synchronization Header		PHY Header		PHY payload max 127 Byte
PPDU				

Рис. 2.7. Структура пакету ZigBee

На фізичному рівні модуляція стандарту ZigBee виконується за схемою рис.2.8.

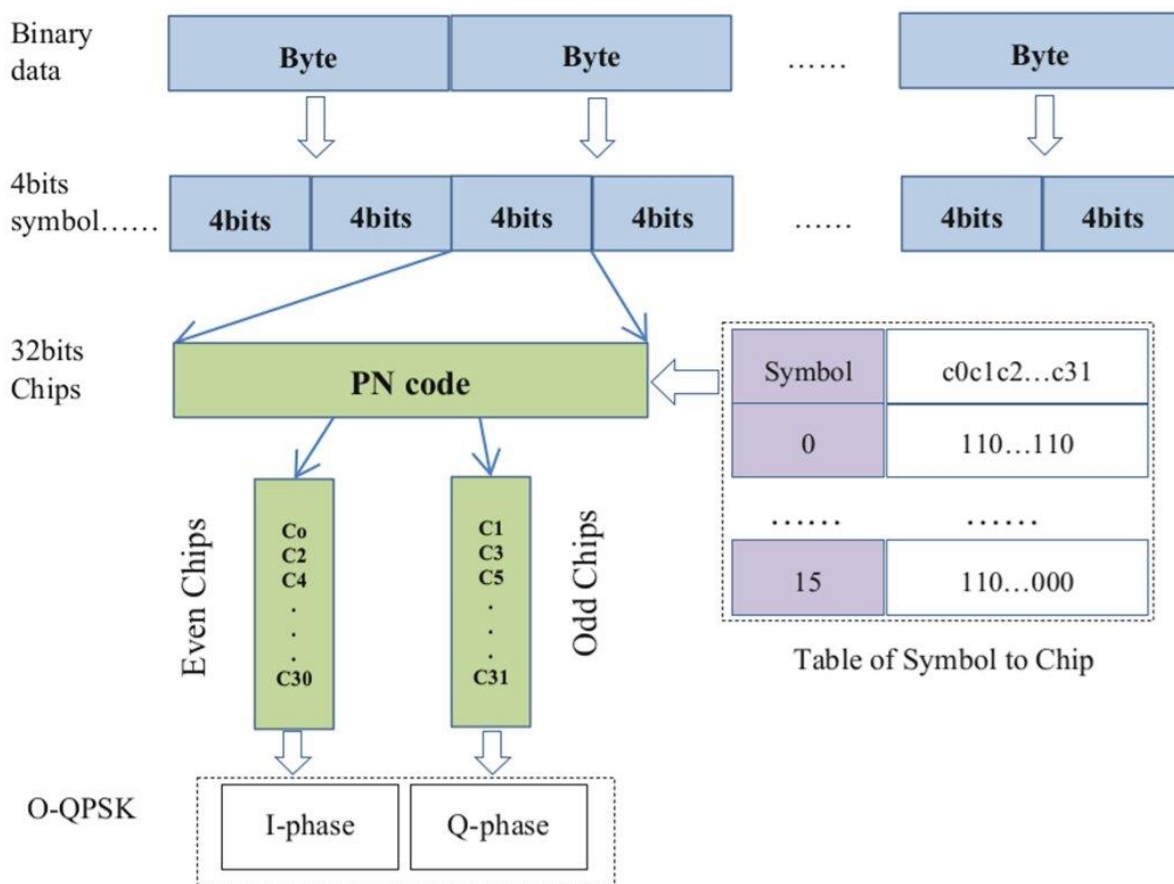


Рис. 2.8. Схема модуляція стандарту ZigBee

В стандарті ZigBee використовується завадостійка квадратурна модуляція.

Остання редакція стандарту ZigBee дозволяє створювати мережі з підключенням до декількох тисяч вузлів. Цього досягають завдяки використанню стохастичної адресації та нового механізму маршрутизації Many-to-One і Source Routing, а також технології виявлення асиметричних зв'язків у мережі.

При розробці mesh-мережі стандарту ZigBee потрібно правильно налаштовувати ключові параметри стека архітектури, які будуть впливати на затримки та пропускну здатність мережі. Конкретні величини затримок і максимальної швидкості передачі даних в мережі стандарту ZigBee найкраще

перевіряти на практиці тестуючи обладнання в умовах, близьких до реальних. Пропускна здатність мережі Zigbee залежить від її топології, напрямку передачі даних, рівня сигналу і завад, та навіть співвідношення кількості роутерів і кінцевих пристроїв.

Стандарт ZigBee широко використовується для побудови безпроводних телеметричних мереж, які мають можливості оптимального налаштування для ефективної роботи. Також стандарт ZigBee має можливість автоматичного відновлення роботи при збої та автоматичний вибір частотного каналу з меншими завадами.

2.5. Висновки до розділу 2

Між критеріями продуктивності та надійності телеметричної мережі існує тісний зв'язок. Ненадійна робота телеметричної мережі призводить до зниження її продуктивності. Це пов'язано тим, що збої в системі зв'язку призводять до втрати або спотворення пакетів, після чого комунікаційний протокол виконує повторну передачу втрачених даних.

Частину цих критеріїв доцільно використовувати при визначенні і порівнянні ефективності телеметричних безпроводних систем зв'язку побудованих на базі цифрових модемів, які реалізують протокол XBee та інших протоколів безпроводного зв'язку. Всі наведені критерії ефективності телеметричних безпроводних систем зв'язку використовують при створенні та проектуванні безпроводних систем зв'язку або розробці нових протоколів зв'язку.

При розробці mesh-мережі стандарту ZigBee потрібно правильно налаштовувати ключові параметри стека архітектури, які будуть впливати на затримки та пропускну здатність мережі. Конкретні величини затримок і максимальної швидкості передачі даних в мережі стандарту ZigBee найкраще перевіряти на практиці тестуючи обладнання в умовах, близьких до реальних. Пропускна здатність мережі Zigbee залежить від її топології,

напрямку передачі даних, рівня сигналу і завад, та навіть співвідношення кількості роутерів і кінцевих пристроїв.

Стандарт ZigBee широко використовується для побудови безпроводних телеметричних мереж, які мають можливості оптимального налаштування для ефективної роботи. Також стандарт ZigBee має можливість автоматичного відновлення роботи при збої та автоматичний вибір частотного каналу з меншими завадами.

Одним з методів підвищення ефективності безпроводних телеметричних систем є застосування OFDM. Цей метод збільшує загальну пропускну здатність системи зв'язку при збереженні надійності передачі даних і витрати енергії на один переданий біт.

РОЗДІЛ 3

НАЛАШТУВАННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ БЕЗПРОВІДНИХ МЕРЕЖ

3.1. Налаштування безпроводної телеметричної мережі на базі XBee

Для побудови безпроводної телеметричної мережі на базі модулів XBee необхідно використати програму X-CTU від компанії Digi, яка дозволяє прошивати та налаштовувати модулі XBee. Для продовження роботи необхідно її скачати з сайту виробника та встановити на ПК [21].

Спочатку запрограмуємо перший модуль. Встановлюємо його в Usb-serial адаптер і за допомогою mini-usb кабелю підключаємо адаптер до ПК рис.3.1.



Рис.3.1. Підключення адаптера до ПК

Запускаємо програму X-CTU і на вкладці PC Settings вибираємо Com-Порт, відповідний до адаптера, рис.3.2. Якщо не зрозуміло який саме порт, то необхідно опитати пристрої натиснувши кнопку Test / Query .

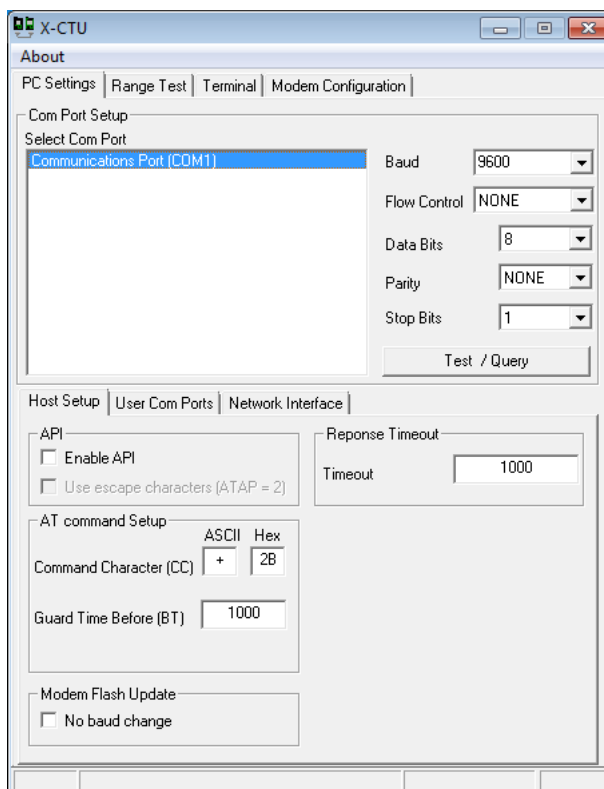


Рис.3.2. Налаштування порта

Далі, на вкладці **Modem Configuration** необхідно натиснути кнопку **Download new versions**, щоб скачати нові версії прошивок до модулів.

Виберіть у поле **Modem** рис.3.3, тип модуля **XB24-B** для базової версії або **XBP24-B** для версії **pro**. Виберіть виконувану функцію **ZNET 2.5 COORDINATOR AT** у поле **Function Set**. Ці 2 поля разом визначають модель **XBee**, сімейство прошивок і роль модуля в мережі.

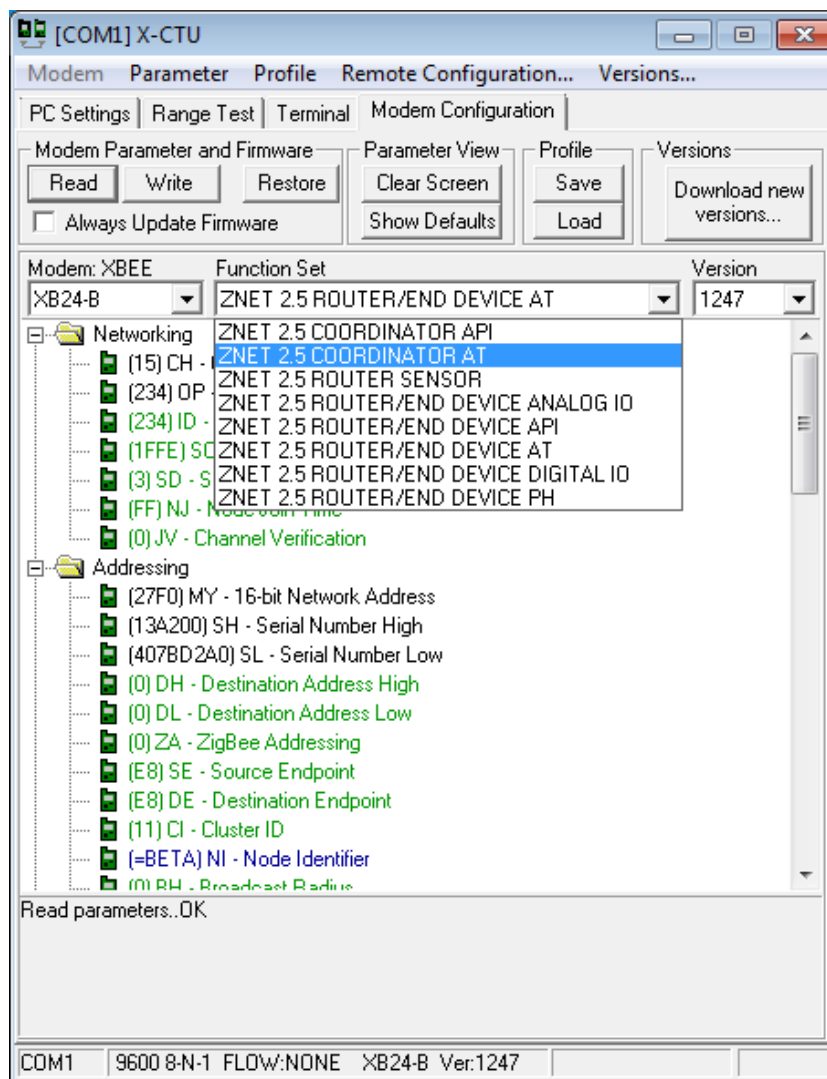


Рис.3.3. Вибір прошивки модуля

Необхідно запам'ятати та зберегти значення ID у дереві налаштувань — для модулів однієї мережі, цей ідентифікатор повинен бути однаковим.

Встановити галочку *Always update firmware* і запустити процес перепрошивання натиснувши кнопку *Write*.

По закінченню процесу цей модуль буде координатором. Відключити USB кабель, витягнути модуль із адаптера.

Тепер необхідно повторити такі ж операції для другого модуля. За винятком пункту вибору прошивки в якому виберемо тип прошивки *ZNET 2.5 ROUTER/END DEVICE AT*.

По закінченню процесу прошивання отримуємо модуль, який виконує функцію кінцевого пристрою.

Усі доступні в X-CTU прошивки можна класифікувати за наступними ознаками:

1) Сімейство: Zigbee, Znet 2.5 і ще багато інших. Сімейство визначає набір доступних можливостей та має значення при створенні складних мереж зі специфічними вимогами. З модулями XBee Series 2 сумісні модулі сімейства Zigbee, які маркують як XB24-ZB та Znet 2.5 марковані як XB24-B.

2) Роль: Coordinator, Router, End Device. Роль визначає призначення пристрою в мережі, у мережі може бути один координатор і багато роутерів і кінцевих пристроїв.

3) Спосіб взаємодії з модулем: AT, API, RH, Analog IO, Digital IO. Він визначає яким чином можна командувати модулем: можливо використовувати стандартні At- команди, а можна використовувати власний протокол (API). Спосіб важливий, якщо необхідно міняти налаштування модулів на гарячо: адресу одержувача, змінювати власну адресу, режим енергозбереження і т.д. At-Команди можна посилати стандартними інструментами тому їх просто застосовувати. Арі- команди швидші, але вимагають програмної реалізації протоколу.

3.2. Особливості моделювання безпроводних телеметричних мереж в середовищі Matlab

Для моделювання систем зв'язку в MATLAB є можливості і функції: здійснення розрахунків, що відображають передачу даних та динамічне моделювання за допомогою програмного блоку Simulink [22, 23]. Ці можливості реалізуються спеціалізованими блоками: Communications Toolbox з пакету MATLAB. А в Simulink за моделювання систем зв'язку відповідає блок Communications Blockset. Блоки та функції виконують моделювання двох складових семирівневої моделі OSI, фізичного та каналного рівнів безпроводних мереж.

Робота вказаних спеціалізованих пакетів опирається на функції та блоки з пакетів розширення Signal Processing Toolbox і DSP Blockset, які реалізують функції цифрової обробки сигналів.

На рис. 3.4 показана загальна структурна схема цифрової системи зв'язку [22, 23].

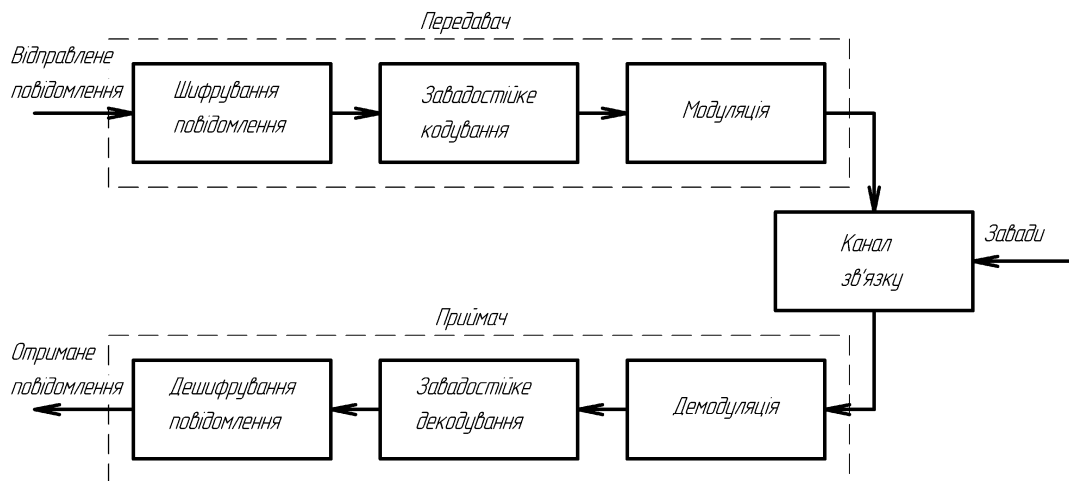


Рис 3.4. Структурна схема цифрової системи зв'язку.

Система зв'язку призначена для передачі даних з однієї точки в іншу через канал зв'язку, що з певними властивостями згідно моделі. Для виконання цього завдання виконуються такі перетворення.

Відправлене повідомлення кодується (кодуванню джерела), тобто перетворення аналогового сигналу в цифрове або стискання даних з наступним завадостійким кодуванням. При цьому до повідомлення додається надлишковість із метою виправлення помилок на приймальній стороні які виникли у процесі передачі. Далі виконується модуляція для перетворення цифрового повідомлення в аналоговий високочастотний сигнал із заданою смугою частот.

Проходячи через канал зв'язку сигнал піддається впливу шумів і завад згідно моделі каналу зв'язку. Спотворений завадами сигнал надходить на антену приймача.

Прийомна частина системи зв'язку дзеркально повторює структуру передавача, а з сигналом відбуваються перетворення обернені до тих які відбувались при передачі. Тобто радіосигнал піддається демодуляції та перетворюється в цифрові дані.

Наступним кроком декодуємо дані завадостійкого коду, при цьому завдяки властивостям коду відбувається виправлення та коригування помилок, що виникли в каналі зв'язку. Далі, за потреби, виконується декодування джерела сигналу.

Відповідно до наведеної схеми можна виділити наступні основні групи функцій, реалізованих як в Communications Toolbox, так і в Communications Blockset:

- функції моделювання й аналізу сигналів;
- функції кодування/декодування каналу зв'язку (завадостійкого кодування/декодування);
- функції модуляції/демодуляції;
- функції моделювання каналів зв'язку.

Крім того, у пакеті розширення Communications Toolbox і наборі блоків Communications Blockset є додаткові функції й бібліотеки, що реалізують більше спеціалізовані можливості.

3.2.1. Моделювання та шифрування сигналів безпроводної мережі. Пакет розширення Communications призначений для виконання в середовищі MATLAB розрахунків, пов'язаних з моделюванням телекомунікаційних систем [22, 23]. Відповідно до схеми рис. 3.1 можна виділити наступні групи функцій пакета:

- функції моделювання й аналізу сигналів;
- функції завадостійкого кодування/декодування;
- функції модуляції/демодуляції;
- функції моделювання каналів зв'язку.

Функції моделювання й аналізу сигналів.

Для моделювання телекомунікаційної системи необхідно мати можливість створювати моделі сигналів і шумів. Шуми є випадковими процесами. Випадковими є й повідомлення, що підлягають передачі. Розходження між корисними й шумовими випадковими процесами полягає в їхніх статистичних властивостях.

Функція `randint` дозволяє створити матрицю випадкових чисел, рівномірно розподілених у заданому інтервалі. Близькою за змістом, але більше гнучкою є функція `randsrc`, що дозволяє задавати алфавіт (тобто безліч використовуваних цілих чисел, що не обов'язково є складовими безперервного діапазону) і ймовірності появи в повідомленні окремих символів цього алфавіту.

Функція `randerr` призначена для формування помилок у цифровому сигналі. Вона дає матрицю, у кожному рядку якої є задане число випадково розташованих ненульових елементів.

За допомогою функції `wgn` моделюється дискретний білий гаусівський шум із заданою потужністю.

Для оцінки завадостійкості системи зв'язку необхідно зробити порівняння вихідного (переданого) повідомлення з повідомленням, отриманим у результаті прийому, і визначити число й імовірність помилок, що виникли в процесі передачі. Ці дії виконуються функціями `symerr` і `biterr`, перша з яких підраховує число незбіжних символів у двох повідомленнях, а друга - число незбіжних бітів у двійкових поданнях цих символів. Крім числа помилок, обидві функції можуть повертати частку помилок у загальному числі символів (бітів) і індикатори місць виникнення помилок.

Останні дві функції даної групи призначені для графічного відображення сигналів із квадратурною маніпуляцією. Функція `eyediagram` виводить так звану індикаторну діаграму, а функція `scatterplot` - діаграму розсіювання.

Функції кодування/декодування джерела призначені для того, щоб перетворити вихідну форму повідомлення в придатний для передачі формат.

Пакет Communications містить функції, що виконують наступні операції кодування/декодування джерела:

- нерівномірне квантування й оптимізація параметрів такого квантування;
- логарифмічне й експонентне перетворення;
- диференціальна імпульсно-кодова модуляція і оптимізація її параметрів.

Нерівномірне квантування здійснюється функцією `quantiz`.

Функція `drstenco` робить диференціальне кодування повідомлення, при цьому задаються коефіцієнти передбачуваного фільтра, і параметри квантування помилки пророкування. Функція `drstdeco` відновлює вихідне повідомлення.

Функції завадостійкого кодування/декодування реалізують роботу з довільними лінійними блоковими кодами. Є також додаткова підтримка декількох більш вузьких класів кодів - циклічних кодів, кодів Боуза-Чоудхурі-Хоквінгема, кодів Гемінга й кодів Ріда-Соломона.

Функції високого рівня `encode` і `decode` здійснюють, відповідно, кодування й декодування повідомлення з використанням блокового коду. Тип використовуваного коду задається в числі параметрів функцій.

Функція `gfweight` дозволяє визначити кодову відстань для лінійного блокового коду по коду, що його породжує або перевіірочній матриці.

Для роботи із циклічними кодами в пакеті Communications є дві функції: за допомогою функції `suclpoly` можна одержати породжуваний поліном циклічного коду, а використавши цей поліном у якості одного з параметрів функції `suclgen`, можна одержати й перевіірочну матриці для даного коду.

Коди БЧХ є одним з підкласів циклічних блокових кодів. Для роботи з ними функції високого рівня викликають спеціалізовані функції `bchenco` (кодування) і `bchdeco` (декодування). Крім того, функція `bchpoly` дозволяє розраховувати параметри або породжуваний поліном для двійкових кодів БЧХ.

Коди Гемінга є одним з підкласів циклічних блокових кодів. Довжина кодованого блоку для них дорівнює $2m - 1$. Породжувані і перевірна матриці для кодів Гемінга генеруються функцією `hamngen`.

Для роботи з кодами Ріда-Соломона функції високого рівня викликають спеціалізовані функції `rsenco` (кодування) і `rsdeco` (декодування). Крім того, функції `rsencode` і `rsdecode` дозволяють використати при кодуванні й декодуванні експонентний формат даних, а функції `rsencof` і `rsdecof` здійснюють кодування й декодування текстового файлу. Нарешті, функція `rspoly` генерує породжувані поліноми для кодів Ріда-Соломона.

3.2.2. Модуляція й демодуляція в безпроводній мережі. Пакет `Communications` має функції для реалізації аналогової й цифрової модуляції й демодуляції [22, 23]. При аналоговій модуляції вхідним сигналом є відліки деякої функції, при цифровий - послідовність символів. Відповідно до наведеної класифікації є 8 функцій:

- `amod` - аналогова модуляція, звичайний вихідний сигнал;
- `amodce` - аналогова модуляція, вихідний сигнал у вигляді комплексної огибаючої;
- `ademod` - аналогова демодуляція, звичайний вхідний сигнал;
- `ademodce` - аналогова демодуляція, вхідний сигнал у вигляді комплексної огибаючої;
- `dmod` - цифрова модуляція, звичайний вихідний сигнал;
- `dmodce` - цифрова модуляція, вихідний сигнал у вигляді комплексної огибаючої;
- `ddemod` - цифрова демодуляція, звичайний вхідний сигнал;
- `ddemodce` - цифрова демодуляція, вхідний сигнал у вигляді комплексної огибаючої;

Цифрова модуляція й демодуляція містять у собі дві стадії. При модуляції цифрове повідомлення спочатку перетворюється в аналоговий сигнал, що модулює, за допомогою функції `modmap`, а потім здійснюється

аналогова модуляція. При демодуляції спочатку виходить аналоговий демодульований сигнал, а потім він перетворюється в цифрове повідомлення за допомогою функції `demodmp`.

Три останніх функції цієї групи призначені для роботи з конкретними сигнальними типами квадратурної маніпуляції. Функції `qaskenco` і `qaskdeco` проводять кодування й декодування повідомлення з використанням квадратного типу, а функція `arkconst` дозволяє вивести на екран зображення концентричного типу.

3.2.3. Моделювання каналів безпроводного зв'язку. Функції пакета `Communications` у представлена функцією `awgn`, що дозволяє додати до сигналу адитивний білий нормальний шум, реалізувавши при цьому задане відношення сигнал/шум. При цьому потужність сигналу, знати яку необхідно для розрахунку необхідного рівня шуму, може задаватися в явному вигляді або вимірятися автоматично.

3.2.4. Спеціальні фільтри сигналів. У системах зв'язку використовується велика кількість фільтрів різноманітного призначення. В основному потреби розрахунків фільтрів в `MATLAB` задовольняються засобами пакетів `Signal Processing` і `Filter Design`, тому пакет `Communications` містить лише функції для розрахунку спеціалізованих фільтрів двох типів.

Функція `hilbiir` виконує розрахунки рекурсивного фільтра, що апроксимує перетворення Гільберта. Фільтр Гільберта вносить на всіх частотах однаково фазове зрушення, рівне 90° , зберігаючи при цьому незмінними амплітуди всіх спектральних складових. Цей фільтр використовується функцією аналогової модуляції `amod` при одному зі способів формування сигналу з односмугової модуляцією. Крім того, перетворення Гільберта використовується для розрахунку уявної частини комплексного аналітичного сигналу, що володіє однобічним спектром.

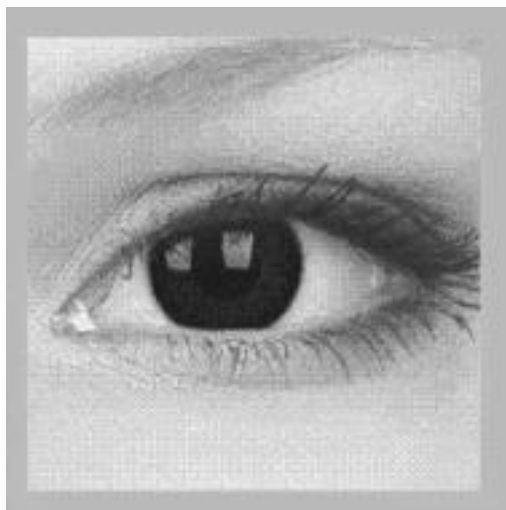
Функція `rcosine` виконує розрахунки фільтра з косинусоїдальним згладжуванням амплітудно-частотної характеристики (`raised cosine filter`), що широко використовується для формування спектра сигналу при квадратурній маніпуляції. Для розрахунків викликаються дві функції більш низького рівня: `rcosfir` (нерекурсивний варіант) і `rcosfir` (рекурсивний варіант).

Функція `rcosflt` підвищує частоту дискретизації сигналів у ціле число раз, здійснюючи інтерполяцію з використанням фільтра з косинусоїдальним згладжуванням АЧХ.

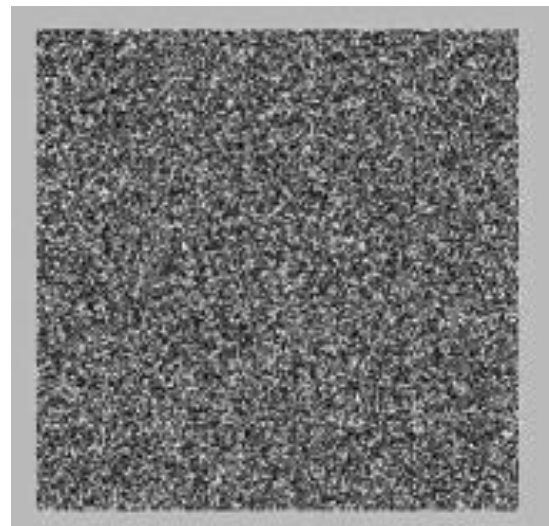
3.3. Моделювання цифрової системи зв'язку із застосуванням методу симетричного шифрування AES-128

Для моделювання цифрової системи зв'язку розроблено програмне забезпечення див. додаток Б.

Моделювання цифрової системи зв'язку з OFDM модуляцією будемо проводити використовуючи як вхідний сигнал тестове зображення, див рис.3.5.



а)



б)

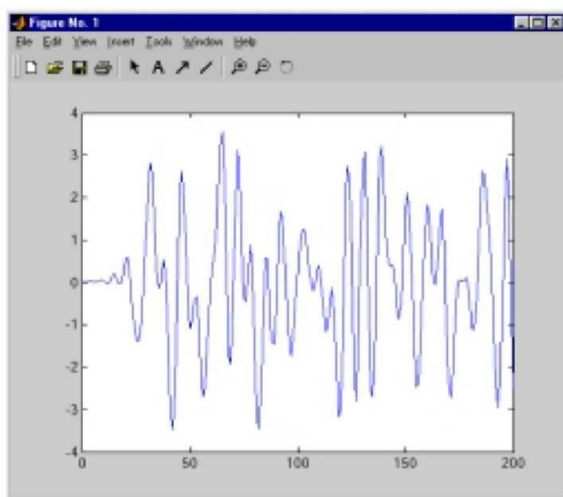
Рис. 3.5. Зображення для тестування цифрової системи зв'язку: а) не зашифроване; б) зашифроване за допомогою алгоритму AES-128.

Оскільки модуль шифрування та дешифрування алгоритму AES-128 знаходиться за межами приймачів і передавачів, то тестове зображення в одному випадку не шифруємо (див. рис.3.5, а), а в другому випадку шифруємо (див. рис.3.5, б) за допомогою алгоритму AES-128 використовуючи програму див. додаток В.

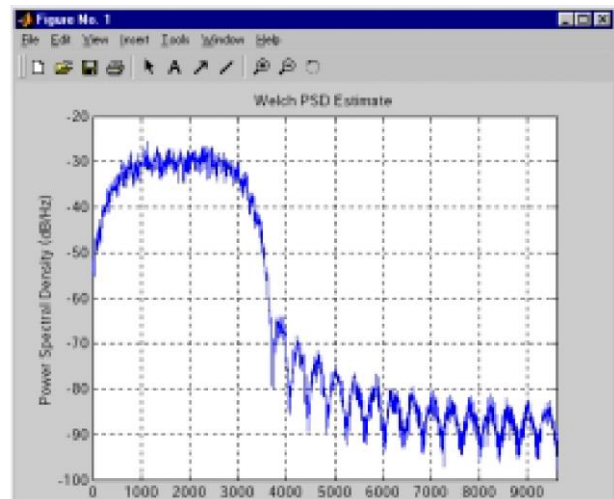
На приймальній стороні будемо порівнювати кількість помилок при передачі зображення без шифрування і з шифруванням.

Моделювання впливу каналу зв'язку передбачає створення моделі передавача, моделювання впливу каналу зв'язку та моделі приймача.

Сигнал на виході передавача з OFDM модуляцією є багатоканальним, причому кожен канал модулюється квадратурною модуляцією QAM, див рис.3.6.



а)



б)

Рис. 3.6. Сформований сигнал на виході передавача з OFDM модуляцією із використанням QAM (а) і його спектр потужності (б).

В каналі зв'язку до сигналу додається шум ефіру див рис.3.7.

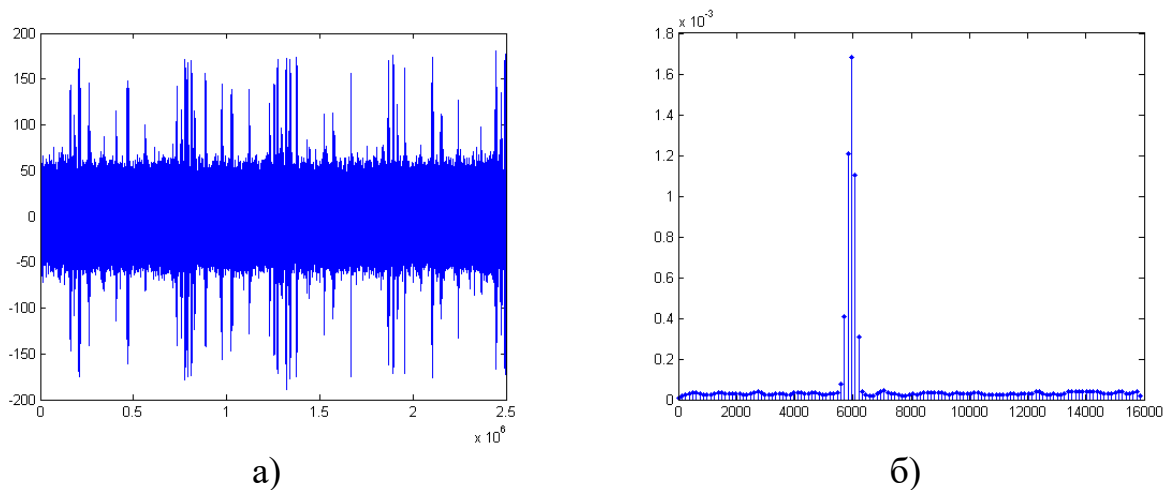


Рис. 3.7. Зашумлений переданий сигнал з QAM: а) тестовий сигнал (вісь абсцис – час с., вісь ординат – напруга мВ.); б) його спектр потужності (вісь абсцис – частота Гц., вісь ординат – потужність мВт.)

Моделювання впливу каналу зв'язку є однією з важливих завдань, що виникають при моделюванні системи приймання-передачі даних. При моделюванні каналів у повітряному просторі звичайно використовують статистичні моделі.

Розрахунки ефективності проводилися для двох типів каналів зв'язку: для каналу зв'язку з адитивним гаусовим білим шумом (AWGN) і для релеєвського каналу зв'язку. Також при обчисленні параметрів ефективності зв'язку введений параметр відсікання амплітуди сигналу в каналі - CC .

Модель каналу зв'язку з адитивним гаусовим білим шумом використовується при оцінці параметрів каналу зв'язку, якщо є пряма видимість між передавачем і приймачем, тоді при передачі сигналів відсутні відбиття і завмирання.

При оцінці шумової складової в каналі з адитивним гаусовим білим шумом дисперсія шуму визначається за наступною формулою [22, 24]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{P_w}{SNR}}, \quad (3.1)$$

де σ – середньоквадратичне значення шуму в каналі, P_w – потужність сигналу в каналі, SNR – відношення сигнал/шум в каналі.

Величина відсікання амплітуди сигналу в каналі розраховується за виразом [25]:

$$SC = 10^{-CC/20} \max(|T_x|) \quad (3.2)$$

де SC – амплітуда відсікання амплітуди, CC – рівень відсікання в децибелах, T_x – вектор переданих даних.

В реальному середовищі сигнал поширюється за рахунок багаторазового відбивання, причому енергія сигналу буде розподілятися нерівномірно в середовищі. Це явище називають багатопробним поширенням сигналів. Для оцінки параметрів таких каналів за умов багатопробного поширення сигналу в середовищі в якому спостерігається інтерференція, як модель каналу використовується релеевський.

Використання моделі каналу зв'язку з релеевським законом розподілу доцільне, коли немає прямої видимості між передавачем і приймачем. У цьому випадку енергія сигналу на антені, має багато відбитих компонент, жодна з яких не має значної, домінуючої енергії щодо інших відбитих компонент.

Модель каналу зв'язку з релеевським законом розподілу використовується при моделюванні та оцінці параметрів більшості мобільних пристроїв УКХ та НВЧ діапазонів, тобто Wi-Fi, XBee, GSM безпроводних мереж.

Змінюючи параметри моделі отримуємо можливість змінювати ймовірне значення σ для розрахунків наступних параметрів [25]:

- стандартної девіації шуму

$$\sigma = \sqrt{2 - \frac{\pi}{2}}, \quad (3.3)$$

- бітова помилка

$$P_b \approx \frac{2(1-L^{-1})}{\log_2 L} \cdot \Phi \left[\sqrt{\frac{3 \log_2(L)}{L^2 - 1} \cdot \frac{E_b}{N_0}} \right] \quad (3.4)$$

- функції інтегральної густини розподілу ймовірностей

$$\Phi(x) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du \quad (3.5)$$

Прийнятий сигнал, що містить випадковий шум, піддається зворотньому перетворенні в приймачі (див.п.1.3). На виході приймача оцінюємо кількість помилок в отриманому повідомленні та порівнюємо їх кількість без шифрування і з шифруванням.

Отримане та відновлене (дешифроване) за допомогою алгоритму AES-128 зображення наведено на рис.3.8.

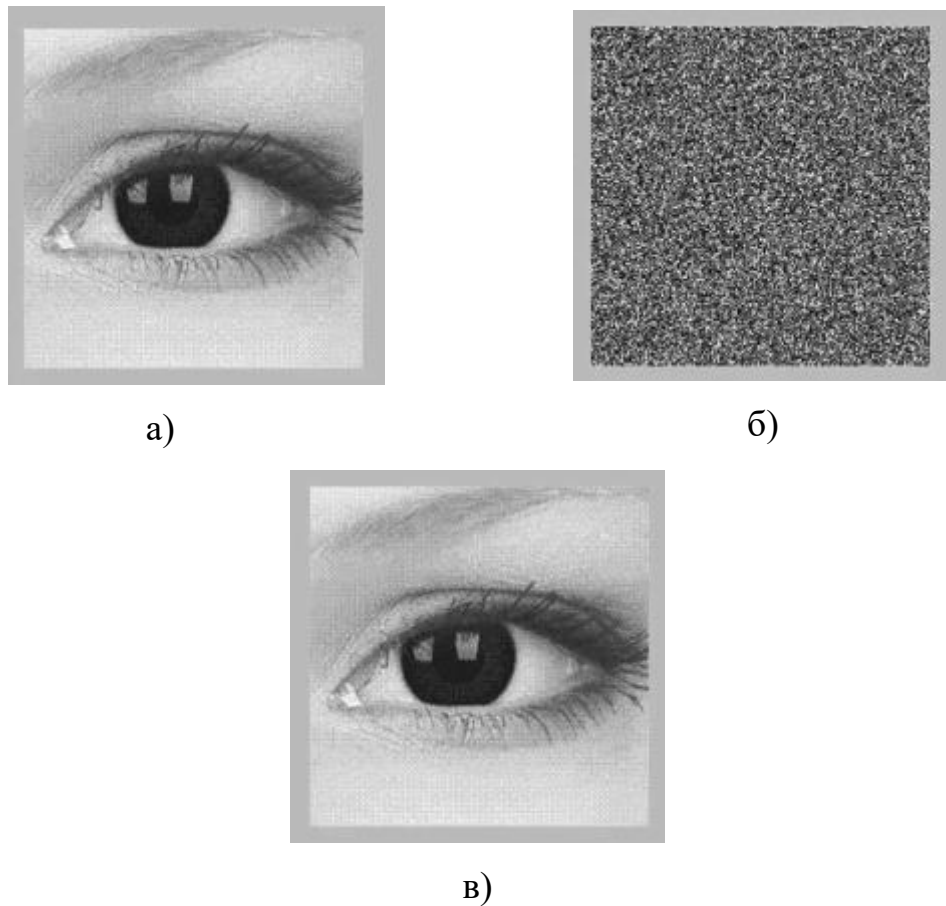


Рис. 3.8. Отримані зображення на виході приймача цифрової системи зв'язку: а) не зашифроване; б) зашифроване за допомогою алгоритму AES-128; в) відновлене, дешифроване за допомогою алгоритму AES-128.

Візуально спотворення що могли виникнути при передачі зображення не помітні, оскільки наведений приклад був змодельований при високому відношенні сигнал/шум (10дБ).

3.4. Результати моделювання цифрової системи зв'язку з шифруванням AES-128.

Вихідними параметрами для моделі є: графічне зображення у відтінках сірого із глибиною пікселя $N_{word} = 8$ біт, з розмірами по висоті $h = 512$, ширині $w = 512$; змінювані параметри моделі - розмірність БПФ N_{FFT} , кількість піднесучих частот N_c , SNR, значення відсічення CC .

На рис. 3.9 показані сигнальні сузір'я для QAM-16 при різних значеннях параметра сигнал-шум (SNR).

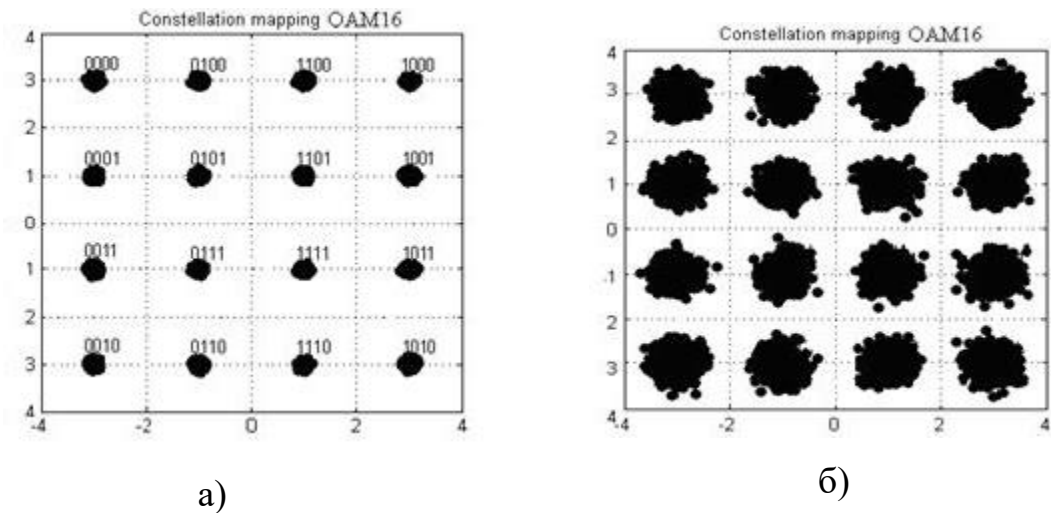


Рис. 3.9. Сигнальні сузір'я для: а) QAM-16 (Snrdb = 20 дБ); б) QAM-16 (Snrdb = 15 дБ).

На рис. 3.9 видно, що отримані точки сигнального сузір'я, при зменшенні відношення сигнал/шум, розмиваються і зміщаються на деяку величину, при цьому утворюючи більш розмиту зону отриманих значень сигналу, як результат можна отримати неправильну демодуляцію даних і виникнення помилкових бітів у вихідній послідовності даних.

Для оцінки ефективності передачі даних та параметрів сигналу використано залежність помилки отриманого символу SER від відношення сигнал/шум, тобто відношення енергії символу до спектральної густини шуму E_s/N_0 [25].

На рис. 3.10 наведено графіки залежності помилки отриманого символу SER від відношення сигнал/шум E_s/N_0 при різних типах модуляції (суцільними лініями виділені залежності, які отримані з довідкових даних для відповідних видів модуляцій QAM, [24]).

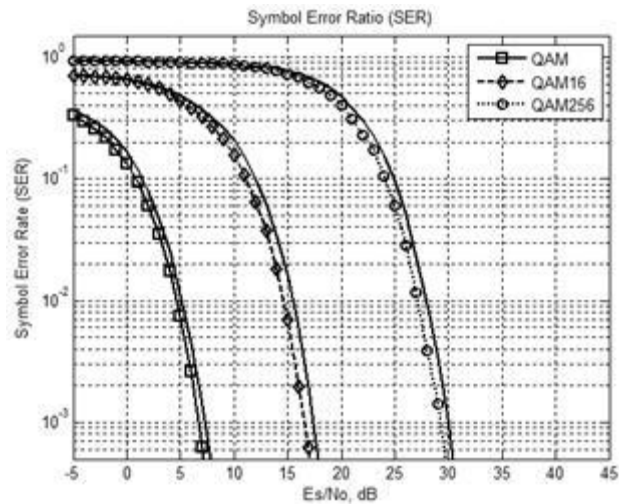


Рис. 3.10. Залежності символної помилки від типу модуляції для QAM ($N_s = 1, 4, 8$).

Із графіків рис.3.7 видно, що для більш високих порядків використання QAM модуляції є кращою, оскільки помилка демодулювання символу при фіксованому відношенні енергії символу до щільності шуму (E_s/N_0) буде менше, оскільки в якості модульованого параметра виступає не тільки амплітуда, але й фаза. Для забезпечення більш високої швидкості передачі необхідно підвищувати порядок модуляції, але це приводить до зсуву характеристики вправо.

На рис. 3.11 представлена залежність бітової помилки BER від E_s/N_0 для OFDM системи при різних вхідних зображеннях.

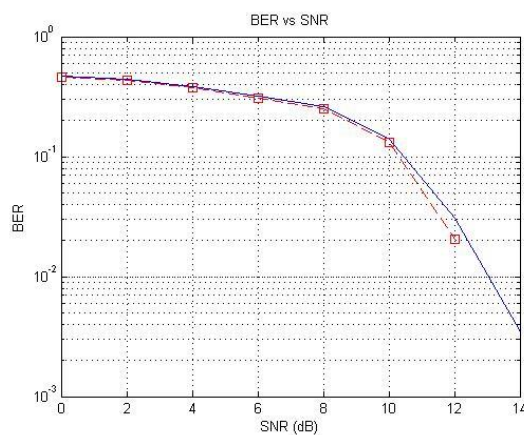


Рис. 3.11. Бітова помилка для QAM-16 при різних відношеннях сигнал/шум, для нешифрованого зображення (суцільна лінія) і для зашифрованого (штрихова лінія).

Характеристики отримано з урахуванням каналу поширення сигналів при наступних параметрах вихідних даних: $NFFT = 4096$, тип модуляції – QAM-16, кількість піднесучих частот $N_c = 1013$.

3.5. Висновки до розділу 3

Проведено моделювання методів симетричного шифрування та цифрових систем зв'язку з використанням програмних засобів Communication Toolbox та Signal Processing Toolbox в MATLAB. Ці методи підвищують захищеність безпроводних телеметричних мереж однак збільшують надлишковість передаваних даних.

Змодельовано застосування одного з методів підвищення ефективності безпроводних телеметричних систем — застосування OFDM. Цей метод збільшує загальну пропускну здатність системи зв'язку при збереженні надійності передачі даних і витрати енергії на один переданий біт.

Результати моделювання цифрової безпроводної системи зв'язку із застосуванням методу симетричного шифрування AES-128 показують, що бітова помилка для системи зв'язку з OFDM QAM-16 модуляцією не залежить від застосування методів шифрування, але залежить від відношення сигнал/шум. Тобто ефективнішим буде застосування більш завадостійкого методу модуляції ніж використання методів шифрування, хоча для побудови сучасних безпроводних телеметричних мереж необхідно використовувати обидва методи, оскільки вони виконують різні функції.

РОЗДІЛ 4

ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

4.1. Науково-технічна актуальність науково-дослідної роботи

Науково-дослідна робота – це чітко організований комплекс дій, спрямований на отримання нових знань, що розкривають суть процесів та явищ у природі і суспільстві, з метою використання їх у практичній діяльності людини. Під час науково-дослідної роботи вирішується ряд емпіричних та теоретичних питань.

Одним з етапів процесу створення інноваційного продукту є розробка, тобто процес, який власне включає технологічні, дослідно-конструкторські, проектні, організаційні роботи, які включають створення документації, необхідної для освоєння нововведень (нових технологій, нової продукції та виробництв, споруд, прогресивних методів організації та управління виробництвом) та їх дослідно-експериментального випробування.

4.2. Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Для встановлення вартості НДР розраховують всі витрати організації-виконавця, які складають собівартість або кошторисну вартість проекту за певною тематикою. Кошторисна вартість – це фінансово-плановий акт, який визначає обсяг, цільове направлення та поквартальний розподіл асигнувань, передбачених для виконання НДР.

При формуванні кошторису на проведення робіт по темі НДР враховуються наступні статті витрат: витрати на оплату праці працівників; внески на соціальні заходи; матеріальні витрати пов'язані з обладнанням, яке буде використовуватися; витрати на утримання та експлуатацію приміщень, обладнання, тощо; інші витрати. Встановлення величини витрат на проведення робіт по темі НДР наводяться нижче.

Витрати за цією статтею включають заробітну плату безпосередніх виконавців теми, а заробітна плата адміністративно-управлінського персоналу, працівників дослідних виробництв включаються в кошторисну вартість теми через статтю «Накладні витрати».

Витрати на оплату праці розраховують на основі даних про трудомісткість окремих робіт по темі (табл. 4.1) та посадових окладів безпосередніх їх виконавців.

Таблиця 4.1

Трудомісткість робіт по темі НДР

Найменування робіт по темі дослідження	Трудомісткість за виконавцями, людино-днів					
	Провідний науковий співробітник	Старший науковий співробітник	Молодший науковий співробітник	Інженер	Лаборант	Студент
1	2	3	4	5	6	7
1.Уточнення та конкретизація завдань по темі НДР	2	2	1	–	–	2
2.Аналіз науково-технічних публікацій з теми	1	1	2	–	–	5
3.Розроблення математичної моделі мережі	2	3	4	–	–	7
4.Розроблення імітаційної моделі мережі	2	2	4	–	–	3
5.Розроблення методу моделювання	3	3	4	–	–	5
6.Експериментальні дослідження методів моделювання	1	2	1	3	3	7

Продовж. табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7
7.Аналіз та інтерпретація отриманих результатів	2	3	2	–	2	3
8.Формування звіту по НДР	5	6	6	1	2	7
Разом за виконавцями теми	18	22	23	4	7	39

Середньоденна заробітна плата за категоріями виконавців розраховується шляхом ділення їх посадового місячного окладу на 21,2 (де 21,2 – усереднене число робочих днів за місяць). Згідно з розпорядженням президії національної академії наук України №232 від 18 квітня 2016р. посадові оклади працівників нараховуються виходячи із займаної посади і наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Розрахунок витрат на оплату праці

Посада виконавців теми	Планова трудомісткість, люд-днів	Заробітна плата, грн		
		Посадовий місячний оклад	Середньоденна зарплата	Усього за виконавцями
1.Провідний науковий співробітник	18	5141	242,5	4365
2.Старший науковий співробітник	22	4673	220,4	4848,8
3. Молодший науковий співробітник	23	3535	166,7	3838,1
4. Інженер	4	2442	115,2	460,8
5. Лаборант	7	2044	96,4	674,8
6. Студент	39	1732	81,7	3186,3
Разом оплата праці з теми				17373,8

Відрахування на соціальні заходи. До цієї статті витрат належать виплати у вигляді єдиного соціального внеску (ЄСВ), який складається з пенсійного страхування, страхування на випадок тимчасової втрати працездатності, страхування пов'язане з виникненням нещасних випадків на виробництві. Розмір ЄСВ складає 37,26%, що становить 6506,42 грн. від загальних витрат на оплату праці.

Базою вказаного нарахування слугують загальні витрати на оплату праці по темі НДР (табл.4.2).

Обладнання, необхідне для проведення досліджень. В даній статті враховують вартість усіх видів матеріалів, необхідних для проведення НДР, з вирахуванням вартості зворотних відходів.

Тематика дослідницьких робіт, які виконуються на факультеті комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, передбачає використання, перш за все, програмного забезпечення, комп'ютерів для опрацювання моделювання, опрацювання результатів та формування матеріалів звітності, оргтехніки та інші.

Розрахунки зведено за формою у табл.4.3

Таблиця 4.3

Розрахунки витрат на обладнання

Найменування обладнання	Одиниця виміру	Кількість	Ринкова ціна за одиницю, грн	Сума, грн.
1. ПК (системний блок, монітор, клавіатура, мишка, кабель живлення)	шт	1	11900	11900
Загальні витрати на матеріали				11900

Енергоносії для проведення досліджень. При виконанні НДР по темі дослідження електроенергія використовується для освітлення, живлення медобладнання, комп'ютерної техніки та оргтехніки. Витрати на електроенергію обчислюються за формулою 5.1:

$$Z_{cm} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot C_i, \quad (4.1)$$

де P_i – витрати i -го виду матеріального ресурсу, натуральні одиниці;

C_i - ціна за одиницю i -го виду матеріального ресурсу, грн.;

k_i - коефіцієнт використання потужності i -го виду матеріального ресурсу;

t_i - час роботи i -го виду матеріального ресурсу;

i - вид матеріального ресурсу;

n - кількість видів матеріальних ресурсів.

Для проведення НДР використовується електрообладнання, тому необхідно розрахувати витрати на електроенергію, які проводяться за формулою (4.1). Дані та результати розрахунку наведено в табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Паспортна потужність, Вт	Коефіцієнт використання потужності	Час роботи обладнання для розробки АІС, год	Ціна електроенергії, грн/ (кВт/год)	Сума, грн.
ПК (системний блок, монітор, клавіатура, мишка, кабель живлення)	370	0,25	110	1,57	15,97
Лампи розжарювання (освітлення)	100	0,85	50	1,57	6,67
РАЗОМ витрати на електроенергію					22,64

Витрати на службові відрядження. Дані витрати складаються із фактичних витрат на службові відрядження для штатних працівників.

Витрати на відрядження складаються із фактичних витрат штатних працівників, зайнятих виконанням НДР: витрат на проїзд до місця відрядження і назад; витрат на проживання у готелі; добових витрат, які розраховуються на кожний день перебування у відрядженні, враховуючи час перебування в дорозі та деякі інші. Під час виконання НДР здійснюються ряд відряджень, які пов'язанні із доповідями на конференціях, які наведено у таб. 4.5.

Таблиця 4.5

Приблизні витрати на службові відрядження

Тип відрядження	Кількість	Приблизна вартість відрядження
Конференція	3	800
Здача звітів НДР	1	500
Впровадження результатів НДР	4	900
Всього	—	2200

Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми. Планова калькуляція вартості проведення досліджень по темі складається на підставі виконаних розрахунків та нормативних даних (табл.4.6).

Таблиця 4.6

Планова калькуляція кошторисної вартості НДР

Найменування статей витрат	Сума, грн.	Обґрунтування
1	2	3
1.Витрати на оплату праці	17373,8	Відповідно до розрахунків
2.Відрахування на соціальні заходи	6506,42	Відповідно до діючих загальнодержавних нормативів
3.Обладнання для проведення досліджень	11900	Відповідно до розрахунків
4.Енергоносії для проведення досліджень	22,64	Відповідно до розрахунків
5.Витрати на службові відрядження	2200	Відповідно до розрахунків

Продовження таблиці 4.6

1	2	3
6.Інші невраховані прямі витрати по темі	3800,2	10% від суми прямих розрахованих витрат по темі
7.Кошторисна вартість теми	41803,06	Сума попередніх статей

Кінцевим результатом науково-дослідних робіт є досягнення наукового, науково-технічного, економічного, соціального, екологічного та інших ефектів.

Науковий ефект від виконання теми передбачає приріст наукових знань у певній сфері науки, а науково-технічний ефект характеризує можливість використання цих наукових знань в інших наукових напрямках та при розробці принципово нових технічних рішень. Економічний ефект відображає потенціал НДР в досягненні кращого співвідношення результатів виробництва до витрат і має прогностичний характер. Соціальний ефект заводить до збільшення числа робочих місць, поліпшення умов праці та побуту, скорочення тривалості робочого тижня, розвитку охорони здоров'я, науки, культури, освіти. Екологічний ефект полягає в поліпшенні стану навколишнього середовища, зменшенні електромагнітного та іонізуючого випромінювання, тощо.

4.3. Науково-технічна ефективність науково-дослідної роботи

Економічна оцінка фундаментальних та пошукових НДР визначається на основі наукового та науково-технічного ефектів, який враховує результати наукових досліджень та їх значущість для прискорення науково-технічного прогресу та розвитку національної економіки. Оскільки економічна оцінка таких досліджень у вартісному вимірі, як правило, неможлива, бо ймовірність доведення результатів таких досліджень до конкретного практичного застосування невелика.

Науковий та науково-технічний ефект рекомендується оцінювати коефіцієнтом науково-технічної ефективності за допомогою формули (4.2):

$$E_{нт} = \frac{\sum B_i \cdot B_{ij}}{\sum B_i \cdot B_{ij}^{\max}}, \quad (4.2)$$

де B_i – нормативні значення коефіцієнтів вагомості факторів науково-технічної ефективності (табл. 4.7);

B_{ij} – середнє значення балу, який виставляється експертами i -му фактору;

B_{ij}^{\max} – максимально можливе значення балу (табл. 4.8);

i – порядковий номер фактору;

j – відповідна характеристика i -го фактора.

Нормативні значення коефіцієнтів вагомості факторів науково-технічної ефективності наведені в табл. 4.7.

Таблиця 4.7

**Нормативні значення коефіцієнтів вагомості факторів
науково-технічної ефективності**

Фактори (i)	Коефіцієнти вагомості (B_i)
1.Новизна очікуваних або одержаних результатів	0,25
2.Глибина наукового опрацювання	0,16
3.Ступінь ймовірності успіху	0,09
4.Перспективність використання результатів	0,25
5.Масштаб можливої реалізації результатів	0,15
6.Завершеність одержаних результатів	0,10
Разом	1,00

Характеристика факторів науково-технічної ефективності НДР наведена в табл. 4.8.

Характеристика факторів науково-технічної ефективності НДР

Фактор наукової та науково-технічної ефективності	Характеристика фактора	Оцінка фактора	
		Якісна	Бальна A_{ij}^{\max}
1	2	3	4
1.Новизна одержаних або передбачуваних результатів	Одержані принципово нові результати, раніше невідомі в науці, розроблена нова теорія, відкрита нова закономірність	Висока	10
	Встановлені деякі часткові закономірності, методи, способи, які дозволяють створити принципово нові види техніки	Середня	7
	Позитивне вирішення поставлених задач на підставі простих узагальнень, аналіз зв'язків між факторами, розповсюдження відомих наукових принципів на об'єкти	Недостатня	3
	Опис окремих елементарних фактів, передача та поширення отриманих раніше результатів, реферативні огляди	Тривіальна	1
2.Глибина наукового опрацювання	Проведена значна кількість експериментів по нетрадиційним методикам, виконані складні теоретичні розрахунки, підтверджені експериментальними даними	Істотна	10
	Проведена обмежена кількість розрахунків по відомих методикам, виконані теоретичні розрахунки невисокої складності,	Середня	5
	Проведена недостатня кількість експериментів, виконані прості теоретичні розрахунки без експериментальної перевірки	Несуттєва	1
3.Ступінь ймовірності успіху	Висока ймовірність повного вирішення поставлених задач НДР	Значна	10
	Середня ймовірність вирішення більшості експериментальних або теоретичних задач	Помірна	7
	Низька ймовірність вирішення поставлених задач, отримання позитивних результатів сумнівне	Незначна	1

1	2	3	4
4. Масштаб використання результатів	Результати можуть бути використані в багатьох наукових напрямках, мають значення для розвитку суміжних наук	Широкий	10
	Результати можуть бути використані в конкретному науковому напрямку при розробці нових технічних рішень, спрямованих на суттєве підвищення продуктивності суспільної праці	Достатньо широкий	9
	Результати будуть використані при проведенні наступних НДР, при розробці нових технічних рішень	Достатній	6
5. Ступінь реалізації результатів	Строк впровадження, роки: До 2	Висока	10
	До 4	Середня	6
	До 6	Достатня	3
6. Завершення одержаних результатів	Авторське свідоцтво, стаття в фаховому виданні, методика, інструкція, класифікатор, стандарти, нормативи.	Висока	10
	Технічне завдання на прикладну НДР	Середня	8
	Рекомендації, розгорнутий аналіз, пропозиції	Достатня	6
	Огляд, інформаційне повідомлення	Достатня	5

Кількісна оцінка факторів науково-технічної ефективності НДР здійснюється експертним шляхом за десятибальною шкалою і визначається як середньоарифметичне. Отримані результати зводять за формою табл. 4.9.

Таблиця 4.9

Результати розрахунків науково-технічної ефективності НДР

Фактори науково-технічної ефективності	Характеристика фактора	Розрахунок B_{ij}			B_{ij}^{\max}
		Експертні оцінки		B_{ij}	
		1	2		
1	2	3	4	5	6
1. Новизна очікуваних або одержаних результатів	Встановлені деякі часткові закономірності, методи, способи, які дозволяють створити принципово нові види техніки	5	5	5	10

Продовження таблиці 4.9

1	2	3	4	5	6
2.Глибина наукового опрацювання	Проведена обмежена кількість розрахунків по відомим методикам, виконані теоретичні розрахунки	6	6	6	10
3.Ступінь ймовірності успіху	Середня ймовірність вирішення більшості експериментальних або теоретичних задач	6	6	6	10
4.Перспективність використання результатів	Результати можуть бути використані в конкретному науковому напрямку при розробці нових рішень	8	8	8	10
5.Масштаб можливої реалізації результатів	До 2 років	10	10	10	10
6.Завершеність одержаних результатів	Рекомендації, розгорнутий аналіз, пропозиції	7	7	7	10

Розраховане за виразом 4.2 значення буде відображати рівень наукової та науково-технічної ефективності конкретної теми фундаментального чи пошукового дослідження:

$$E_{нт} = \frac{0.25 \cdot 5 + 0.16 \cdot 6 + 0.09 \cdot 6 + 8 \cdot 0.25 + 10 \cdot 0.15 + 7 \cdot 0.1}{1 \cdot 10} = 0,673.$$

Загальну оцінку магістерської НДР можна здійснити, користуючись даними табл. 4.10.

Таблиця 4.10

Загальна оцінка наукової та науково-технічної ефективності фундаментальних та пошукових НДР

Загальна оцінка наукової та науково-технічної ефективності		Можливі рекомендації по результатам виконання НДР
Розраховане значення $E_{нт}$	Загальна якісна оцінка ефективності	
0,91-1,00	Відмінно	Оформлення авторського свідоцтва, публікація у фаховому виданні, продовження досліджень по даній тематиці
0,76-0,90	Дуже добре	
0,61-0,75	Добре	Рекомендації можуть бути сформульовані після ретельного аналізу отриманих результатів
0,36-0,60	Достатня	Переглянути технічне завдання у разі продовження досліджень по даній темі
Менш 0,35	Незадовільна	Здійснити всебічний аналіз отриманих результатів по темі

4.4. Висновки до розділу 4

У розділі на підставі виконаних розрахунків та нормативних даних встановлено, що планова калькуляція вартості проведення досліджень по темі НДР становить 41803,06 грн.. Кількісна оцінка науково-технічної ефективності науково-дослідної роботи, яка здійснювалася експертним шляхом за десятибальною шкалою і визначалася як середньоарифметичне від всіх експертних оцінок, складає 0,673 від максимального числа 1, а тому рекомендації по результатах виконання НДР можуть бути сформульовані лише після ретельного аналізу отриманих даних.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Охорона праці

Оскільки в даній дипломній роботі магістра розглядається питання пов'язане з монтажем засобів радіозв'язку, тому наведено інструкцію з охорони праці при монтажі засобів комп'ютерної системи (КС) безпроводного зв'язку. Інструкція розроблена на підставі наступних нормативних документів.

Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань, и затверджених наказом Міністерства охорони здоров'я України від 01.08.96 N 239, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 29.08.96 за N 488/1513.

НПАОП 0.004.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці». Наказ Держнагляддохоронпраці від 26.01.2005 р. No 15 (зі змінами від 16 листопада 2007 року N 273)

ДСанПіН 3.3.2.007-1998 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин.

ДСНіП № 239-96 «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань».

При розробці інструкції з охорони праці необхідно виконувати санітарні правила і норми ДСанПіН 3.3.2.007-98 “Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин”.

Заходи з безпеки працівників мають відповідати вимогам НПАОП 0.00-7.15-18 “Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями”.

Директива Ради Європейських Співтовариств 89/391/ЕЕС «Про впровадження заходів, що сприяють поліпшенню безпеки й гігієни праці працівників»

Для приладів, які працюють у складі або разом з медичними приладами, характерне створення складних вимірювальних комплексів, функціональних кабінетів, обчислювальних центрів, обладнаних різноманітною електронною технікою.

Розроблювана комп'ютерна система повинна бути безпечною при всіх передбачених функціональними можливостями і вказаних у правилах користування умовах її експлуатації. Захист досягається дотриманням таких основних вимог:

- 1) правильною конструкцією апарата, яка гарантує безумовну безпеку;
- 2) використанням спеціальних засобів зовнішнього захисту, які забезпечують умовну безпеку;
- 3) вказівкою умов, за яких робота з обладнанням є безпечною (описова безпека).

За способом захисту персоналу і пацієнта від електроудару і електротравми все медичне устаткування, яке використовує зовнішнє живлення, ділиться на п'ять класів (окремо виділяється устаткування з внутрішніми джерелами живлення, наприклад, батареями).

Роботодавець повинен створити для кожного працівника безпечні і нешкідливі умови праці шляхом належного облаштування робочих місць відповідно до Загальних вимог стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників, затверджених наказом Міністерства надзвичайних ситуацій України від 25 січня 2012 року № 67, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 14 лютого 2012 року за № 226/20539 (НПАОП 0.00-7.11-12).

Параметри мікроклімату в межах робочої зони повинні відповідати вимогам Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99. Рівень шуму на робочих місцях повинен відповідати нормам,

встановленим Санітарними нормами виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99.

Загальні вимоги безпеки до захисту від шуму на робочих місцях, шумові характеристики машин та механізмів повинні відповідати вимогам. А роботодавець повинен здійснювати контроль рівня шуму відповідно до вимог ДСТУ 2867-94 «Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги».

Рівень вібрації на робочих місцях не повинен перевищувати норм, встановлених Державними санітарними нормами виробничої загальної та локальної вібрації ДСН 3.3.6.039-99.

Параметри електромагнітних полів на робочих місцях повинні відповідати вимогам Державних санітарних норм і правил при роботі з джерелами електромагнітних полів, затверджених наказом Міністерства охорони здоров'я України від 18 грудня 2002 року № 476, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 13 березня 2003 року за № 203/7524 (ДСН 3.3.6.096-2002).

У робочій зоні виробничих приміщень вміст шкідливих речовин не повинен перевищувати граничнодопустимих концентрацій, встановлених ГОСТ 12.1.005-88 Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони.

До приміщень із підвищеною небезпекою, у яких не рекомендується розміщення КС. До приміщень з підвищеною небезпекою відносяться приміщення, у яких є один або більше з наступних небезпечних чинників: - висока вологість (відносна вологість довгостроково перевищує 80 %) або струмопровідний пил; - струмопровідні підлоги (металеві, земляні тощо) - висока температура, що довгостроково перевищує +30 градусів Цельсія; - хімічно активне середовище (постійно або довгостроково втримуються вибухонебезпечні пари або пил, відкладення які руйнують ізоляцію або струмонесучі частини радіоапаратури, створюють пожежне та вибухове небезпечне середовище).

КС установлюються на робочих столах операторів (за винятком мобільної й носимої апаратури). Вихідні каскади (підсилювачі потужності) і блоки живлення можуть розміщатися в тій же кімнаті, або в окремих ізольованих приміщеннях. Кожний радіопристрій повинен бути розміщений в корпус, який виключає можливість випадкового дотику до струмонесучих частин апаратури. Корпуса апаратури, які мають живлення від мережі змінного струму повинні бути надійно заземлені.

КС які встановлюються на автомобілях, повинні розміщуватися таким чином, щоб дисплеї та органи керування були легко доступні для оператора, не заважали управлінню автомобілем, доступу до органів його управління та дозволяли вільному огляду водія.

Заземлення апаратури КС повинне виконуватися шляхом підключення до спеціально влаштованого зовнішнього заземлення, або до контуру заземлення будинку (житлового будинку). Для пристрою зовнішнього заземлення в яму розмірами 1х1 метр і глибиною не менш 1,5 м міститься сталевий або мідний пластині з товщиною менше 5 мм. До пластини повинен бути приварений сталевий (мідний) провідник перетином не менше 16 кв. мм. Якщо яма для заземлення вирита в сухому ґрунті, перед засипанням у неї необхідно помістити шар золи або деревного вугілля й рясно полити водою.

Вихід провідника заземлення до висоти 2,5 м над землею повинен бути захищений металевією трубою. Застосовувати для заземлення алюмінієві провідники без ізоляційної оболонки не рекомендується.

5.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

5.2.1. Методи захисту від дії ЕМІ, що базуються на врахуванні його можливого негативного впливу

Ідеальним захистом від ЕМІ стало б повне укриття приміщення, в якому розміщена радіоелектронна апаратура, металевий екран.

Разом з тим ясно, що практично забезпечити такий захист у ряді випадків неможливо, тому що для роботи апаратури часто потрібно забезпечити її електричний зв'язок із зовнішніми пристроями. Тому використовуються менш надійні засоби захисту, такі, як струмопровідні сітки або плівкові покриття для вікон, стільникові металеві конструкції для повітрязбірників і вентиляційних отворів і контактні пружинні прокладки, які розміщуються по периметру дверей і люків. Більш складною технічною проблемою вважається захист від проникнення ЕМІ в апаратуру через різні кабельні вводи. Радикальним вирішенням цієї проблеми міг би стати перехід від електричних мереж зв'язку до практично не схильним до дії ЕМІ волоконно-оптичних. Однак заміна напівпровідникових приладів у всьому спектрі виконуваних ними функцій електронно-оптичними пристроями можливо тільки у віддаленому майбутньому. Тому в даний час як засобів захисту кабельних входів найбільш широко використовуються фільтри, в тому числі волоконні, а також іскрові розрядники, металоокисні варистори і високошвидкісні зенеровські діоди.

Всі ці засоби мають як переваги, так і недоліки. Так, ємнісно-індуктивні фільтри досить ефективні для захисту від ЕМІ малої інтенсивності, а волоконні фільтри захищають у відносно вузькому діапазоні надвисоких частот. Іскрові розрядники володіють значною інерційністю і в основному придатні для захисту від перевантажень, що виникають під впливом напруг і струмів, що наводяться в обшивці літака, кожусі апаратури і оплітці кабелю.

Металоокисні варистори, являють собою напівпровідникові прилади, різко підвищують свою провідність при високій напрузі.

Однак, при застосуванні цих приладів як засоби захисту від ЕМІ слід враховувати їх недостатньо високу швидкодію і погіршення характеристик при неодноразовому дії навантажень. Ці недоліки відсутні у високошвидкісних зенеровських діодах, дія яких заснована на різкій лавиноподібній зміні опору від відносно високого значення практично до

нуля при перевищенні прикладеної до них напруги певної порогової величини. Крім того на відміну від варисторів характеристики зенерівських діодів після багаторазових впливів високих напруг і перемикаць режимів не погіршуються. Найбільш раціональним підходом до проектування засобів захисту від ЕМІ кабельних ввідів є створення таких роз'ємів, в конструкції яких передбачені спеціальні заходи, що забезпечують формування елементів фільтрів і встановлення вбудованих зенерівських діодів. Подібне рішення сприяє отриманню дуже малих значень ємності та індуктивності, що необхідно для забезпечення захисту від імпульсів, які мають незначну тривалість і, отже, потужну високочастотну складову. Використання роз'ємів подібної конструкції дозволить вирішити проблему обмеженням масо-габаритних характеристик пристрою захисту.

Складність вирішення завдання захисту від ЕМІ і висока вартість розроблених для цих цілей коштів і методів змушують піти на перших парах по шляху їх вибіркового застосування в особливо важливих системах зброї і військової техніки. Першими цілеспрямованими роботами в цьому напрямку були програми захисту від ЕМІ стратегічної зброї. Такий самий шлях обраний і для захисту мають велику протяжність систем управління та зв'язку. Проте основним методом вирішення даної проблеми зарубіжні фахівці вважають створення так званих розподілених мереж зв'язку (типу "Гвен"), перші елементи яких вже розгорнуто на континентальній частині США.

Сучасний стан проблеми ЕМІ можна оцінити таким чином. Досить добре досліджені теоретично і підтверджено експериментально механізми генерації ЕМІ і параметри його вражаючої дії. Розроблено стандарти захищеності апаратури і відомі ефективні засоби захисту. Однак для досягнення достатньої впевненості в надійності захисту систем і засобів від ЕМІ необхідно провести випробування за допомогою імітатора. Що стосується повномасштабних випробувань систем зв'язку та управління, то це завдання навряд чи буде вирішене в доступному для огляду майбутньому.

Потужний ЕМІ можна створити не тільки в результаті ядерного вибуху. Сучасні досягнення в області неядерних генераторів ЕМІ дозволяють зробити їх достатньо компактними для використання з звичайними і високоточними засобами доставки.

В даний час у деяких західних країнах ведуться роботи по генерації імпульсів електромагнітного випромінювання магнітодинамічними пристроями, а також високовольтними розрядами. Тому питання захищеності від впливу ЕМІ будуть залишатися в центрі уваги фахівців при будь-якому результаті переговорів про ядерне роззброєння.

5.2.2. Шкідливі та небезпечні фактори на виробництві та захист від них працюючих

Електромагнітне поле (ЕМП) – особлива форма матерії, за допомогою якої здійснюється взаємодія між електрично зарядженими частинками. Воно складається з двох окремих полів – електричного та магнітного. Силкові лінії цих полів взаємно перпендикулярні. Через електромагнітне поле передаються всі види електромагнітного випромінювання – від низькочастотного (радіохвилі) до високочастотного (рентгенівське та гамма-випромінювання).

Електромагнітна енергія використовується у радіо-, радіорелейному і космічному зв'язках, телебаченні, радіолокації, радіонавігації. Вона застосовується у металургії та металообробних галузях промисловості для індукційного плавлення, зварювання, напилення металів, у деревообробній, текстильній, легкій та харчовій промисловості, у радіоспектроскопії, сучасній обчислювальній техніці, медицині (терапевтичні і діагностичні установки) тощо.

Джерелами електромагнітного випромінювання у виробничому приміщенні можуть бути неекрановані робочі елементи високочастотних установок (індуктори, конденсатори, ВЧ-трансформатори, фідерні лінії, батареї конденсаторів, котушки коливальних контурів тощо). Під час експлуатації ВЧ-, ДВЧ-, УВЧ-передавачів на радіо- та телецентрах

джерелами електромагнітного випромінювання є високочастотні генератори, антенні комутатори, пристрої складання потужностей електромагнітного поля, комунікації (від генератора до антенного пристрою), антени.

Джерела енергії ЕМП радіочастотного діапазону поділяються на технологічні (основні) та додаткові. До технологічних належать плавильні або гартувальні контури, пластини конденсаторів, фідерні лінії. У радіотехнічних пристроях це генератори та ЗВЧ-блоки, антенні системи, елементи хвилеводних трактів. До додаткових джерел належать виносні трансформатори, батареї конденсаторів змінного струму. У радіотехнічних пристроях додатковими джерелами є неякісно екрановані ВЧ-елементи передатчиків і пристроїв складання потужностей та роздільних фільтрів, неекрановані лінії передачі електромагнітної енергії на антени.

Електромагнітні поля особливо негативно впливають на організм людини, яка безпосередньо працює з джерелом випромінювання. В діапазоні промислових частот більше негативний вплив на біологічний об'єкт має електрична складова поля.

Найчутливішими до ЕМП є нейродинамічні процеси, які прямо чи побічно перемикають хронобіологічні процеси організму на патологічний або стресовий режим функціонування.

При дії ЕМП на людину можливі гострі та хронічні форми порушення фізіологічних функцій організму. Такі порушення виникають в результаті дії електричної складової ЕМП на нервову систему, а також на структуру кори головного та спинного мозку, серцево-судинної системи.

У більшості випадків такі зміни в діяльності нервової та серцево-судинної системи мають зворотній характер, але в результаті тривалої дії вони накопичуються, підсилюються з плином часу, але, як правило, зменшуються та зникають при виключенні впливу та поліпшенні умов праці. Тривалий та інтенсивний вплив ЕМП призводить до стійких порушень в організмі людини та захворювань.

Тяжкість її наслідків прямо залежить від напруженості ЕМП, фізичних особливостей різних діапазонів частот, тривалості впливу, умов навколишнього середовища, а також від функціонального стану та стійкості організму до впливу різних чинників, можливостей адаптації. Збільшується ризик виникнення загальних захворювань, захворювань органів дихання, травлення тощо. Це може відбуватися також і за дуже невеликої інтенсивності ЕМП, яка незначно перевищує гігієнічні нормативи.

Результатом дії на організм людини електромагнітних випромінювань в діапазоні 30 кГц – 300 МГц є: загальна слабкість, підвищена втома, порушення сну, головний біль та біль в ділянці серця. З'являється роздратованість, втрачається увага, сповільнюються рухово-мовні реакції.

Виникає ряд симптомів, які свідчать про порушення роботи окремих органів – шлунку, печінки, підшлункової залози. Погіршуються харчові та статеві рефлекси, діяльність серцево-судинної системи, фіксуються зміни показників білкового та вуглеводного обміну, змінюється склад крові, зафіксовані зміни на рівні клітин. Систематична дія ЕМП високої та надвисокої частоти на організм людини викликає підвищення кров'яного тиску, трофічні явища (випадіння волосся, ламкість нігтів). ЕМП викликають зміну поляризації молекул та атомів, які є складовою частиною клітин, в результаті чого виникає небезпечний нагрів. Надмірне тепло наносить шкоду як окремим органам, так і всьому організму людини.

Професійні захворювання виникають у працівників при тривалому та інтенсивному опроміненні.

При інтенсивності випромінювань близько 20 мкВт/см² реєструється зменшення частоти пульсу, знижується артеріальний тиск, тобто явна реакція на опромінення. Така реакція сильніша й може навіть виражатися у підвищенні температури шкіри в осіб, які раніше потрапляли під дію опромінення.

При інтенсивності 6 мВт/см² з'являються зміни у статевих залозах, у складі крові, відбувається помутніння кришталика ока. В подальшому –

зміни у здатності крові зсідатися, в умовно-рефлекторній діяльності, вплив на клітини печінки, зміни у корі головного мозку. Потім – підвищення кров'яного тиску, розрив капілярів та крововиливи у легені та печінку.

Випромінювання інтенсивністю до 100 мВт/см² викликають стійкі гіпотонію та зміни серцево-судинної системи, двосторонню катаракту. Подальше опромінення помітно впливає на тканини організму, викликає больові відчуття.

Якщо інтенсивність перевищує 1 Вт/см², це спричинює дуже швидко втрату зору, як один із серйозних ефектів дії НВЧ на організм людини. На більш низьких частотах такі ефекти не відбуваються, і тому їх треба вважати специфічними для НВЧ діапазону. Ступінь пошкодження залежить, в основному, від інтенсивності та тривалості опромінення.

Інтенсивне НВЧ опромінення відразу викликає сльозотечу, подразнення, звуження зіниці ока. Після нетривалого (до 2-х діб) прихованого періоду спостерігається погіршення зору, яке посилюється під час повторного опромінення і свідчить про кумулятивний характер пошкоджень.

У разі прямого впливу на око випромінювання відбувається пошкодження рогівки. серед усіх тканин ока найбільшу чутливість в діапазоні 1-10 ГГц має кришталик. Сильні пошкодження кришталика зумовлені тепловим впливом НВЧ (при щільності потоку енергії понад 100 мВт/см²). За малої інтенсивності помутніння спостерігаються тільки у задній ділянці, за великої – по всьому об'єму кришталика. Для попередження професійних захворювань, які виникають у результаті тривалої дії електромагнітних випромінювань, встановлені гранично допустимі рівні електромагнітних випромінювань, які необхідно контролювати не рідше 1 разу на рік. Якщо вводиться в дію новий об'єкт або здійснюється реконструкція діючих об'єктів, то заміри рівня електромагнітних випромінювань проводяться перед введенням їх в експлуатацію.

РОЗДІЛ 6

ЕКОЛОГІЯ

6.1. Індексний метод в екології

Сутність індексів і основи індексного методу. Індекс англійський термін «index number» означає число-показник. Статистичні індекси — це відносні величини, які одержують внаслідок порівняння складних екологічних явищ, утворених з різнорідних елементів, що не підлягають безпосередньому підсумовуванню.

Індекс у статистиці - узагальнюючий відносний показник, який характеризує співвідношення в часі чи просторі соціально-екологічних явищ і процесів. За своєю суттю статистичний індекс характеризує зміну рівня будь-якого суспільного явища в часі, просторі чи порівняно з планом, нормою, стандартом. У цих випадках зіставляються між собою числові значення однойменних показників, що мають однаковий екологічний зміст.

За допомогою індексів можна характеризувати зміну в часі і просторі найрізноманітніших показників: обсяги викидів в атмосферу, скидів шкідливих речовин у водне середовище, інтенсивність забруднень і т. д. Їх поділяють на дві групи: до першої належать об'ємні (сумарні) показники (наприклад, обсяг викидів та скидів кількість забруднювачів, площа забрудненої території та ін.), які виражаються абсолютними величинами; до другої — показники, розраховані на певну одиницю (наприклад, викиди в розрахунку на одиницю земельної площі або на одного жителя, працівника і т.д.). Останні умовно можна назвати якісними показниками, і виражаються вони у вигляді середніх величин. Ця особливість зумовлює поділ індексів на індекси кількісних та індекси якісних показників.

За допомогою статистичних індексів можна відображувати зміну в часі і просторі як окремих простих показників (наприклад, обсяг викидів вуглецю, окислів азоту, сірки і т.д.), так і однойменних показників за

складними сукупностями (наприклад, зміна обсягу викидів по місту, району, області в цілому і т.д.).

За допомогою індексного методу вирішуються такі завдання:

- характеризують загальну зміну складного економічного явища чи окремих його елементів (складових);
- виділяють вплив одного з факторів через елімінування впливу інших;
- відокремлюють вплив зміни структури явища на зміну індексованої величини.

При цьому сама міра впливу може бути визначена як у відносних вимірниках, так і в абсолютних.

Обчислення загальних індексів, що дають змогу співвіднести між собою показники за складними сукупностями, являє собою особливий прийом дослідження, який називається індексним методом. За його допомогою можна не тільки вивчати динаміку показників, а й вимірювати вплив окремих факторів на динаміку складного показника. При цьому залежно від завдань аналізу можна фактори вивчати ізольовано, абстрагуючись від дії інших, або розглядати їх взаємопов'язано.

Для побудови статистичного індексу необхідно мати вихідну інформацію, як мінімум, за два періоди. Один з таких періодів називається базисним, другий — поточним. Базисний — це період, з яким порівнюють досліджувані явища, поточний — період, що порівнюється. Так, в індексах динаміки базисним є показник попереднього періоду (моменту) часу, в індексах порівняння з нормативною базою - нормативний рівень, а в індексах порівняння (в просторі) базисним може бути показник, що належить до якоїсь з територій. Якщо досліджуються дані за кілька періодів, то один з них (як правило, початковий) буде базисним, а решта — поточними, або звітними.

У теорії індексів показник, зміну якого характеризує індекс, називають індексованою величиною, а пов'язану з нею величину, що використовують як

постійну, — елімінованою величиною, або вагою. Остання відіграє роль сумірника. Використання цих двох видів величин вважається особливістю індексного методу аналізу. При побудові статистичних індексів насамперед необхідно вирішити такі питання:

- який набір різнорідних елементів досліджуватиметься;
- які показники виступатимуть індексованими величинами;
- які величини виступатимуть сумірниками (вагами).

При цьому встановлюють, які досліджувані показники при побудові індексів вважаються базисними, а які — поточними.

Види і форми індексів. Серед багатьох видів індексів найбільш простими, елементарними індексами є індивідуальні індекси.

Індивідуальні індекси характеризують зміну в динаміці або відображають співвідношення в просторі якогось одного показника, наприклад, обсягу викидів певного виду шкідливої речовини чи токсиканта. Використавши наведені умовні позначення, індивідуальні індекси можна визначити за формулами:

Зведені індекси - це співвідношення рівнів показника, до складу якого входять різнорідні елементи. Такими елементами є окремі сфери навколишнього середовища, окремі види природних ресурсів, окремі види забруднень середовища тощо. Якщо сукупність, що вивчають, складається з декількох груп, то в цьому випадку можна визначити зведені групові індекси і зведений індекс по всій сукупності, тобто загальний індекс. Так, прикладом загального індексу може бути індекс динаміки забруднення повітря, води, земель, індексу ресурсного потенціалу, індексу еколого-ресурсного потенціалу тощо. Зведені індекси забруднення визначені для кожної із сфер, називають груповими.

За своєю формою загальні індекси поділяють на агрегатні і середньозважені. Вибір тієї чи іншої форми залежить від мети дослідження та наявної інформації.

Агрегатний індекс вважається основною формою загального індексу. Його застосовують для вивчення складних суспільних явищ, які містять у собі різнойменні елементи. Особливу групу становлять індекси середніх величин (індекси змінного та фіксованого складу, індекс структурних зрушень).

Загальні індекси позначають буквою I , а підрядковий знак вказує на показник, зміну якого характеризує той чи інший індекс. Методика побудови і розрахунку загального індексу більш складна. Щоб розрахувати загальний індекс, необхідно подолати несумірність окремих елементів досліджуваної сукупності. Це досягається введенням в індекс сумірника (ваги). Побудова формули загального індексу — одне з головних питань теорії індексів.

Екологічні явища і показники, що їх характеризують, можуть бути порівнянними, якщо вони мають якусь спільну міру, і непорівнянними, якісними і об'ємними. Так показники забруднення атмосфери і показники забруднення гідросфери або літосфери непорівнянні і безпосередньо підсумовувати їх не можна. Непорівнянність зумовлюється тим, що окремі види забруднень мають різні одиниці виміру. В той же час різні види викидів у повітря є порівнянними і загальну кількість їх можна підсумувати. Тому перш ніж будувати той чи інший загальний індекс, слід привести різні види забруднення до порівнянного виду. Це можна здійснити за допомогою таких коефіцієнтів - сумірників. Перемноживши обсяг викидів кожного виду на відповідний сумірник, дістанемо показники, які можна підсумувати, а отже, і порівняти їх у цілому по сукупності. Слід відзначити, що дія множення в цьому випадку дозволяє не лише вирішити проблему порівнянності, а й врахувати ваги сумірників у реальних екологічних процесах.

Правила побудови загальних індексів. Побудову загальних індексів здійснюють за таким правилом:

- індексована величина у формулі індексу завжди стоїть на першому місці після знака суми; за її назвою визначається назва індексу;

- індексована величина в чисельнику завжди фіксуються - на рівні поточного періоду, у знаменнику - базисного;
- в індексах динаміки якісних показників ваги фіксуються на рівні поточного періоду, вагою виступає такий абсолютний показник, в розрахунку на одиницю якого обчислювалася індексована величина;
- в індексах динаміки об'ємних показників - сумірники фіксуються на рівні базисного періоду.

Таким чином, агрегатним індексом називається загальний індекс, одержаний зіставленням підсумків, які виражають величину складного показника у звітному та базисному періодах, за допомогою сумірників (незмінних). Сам спосіб обчислення загального індексу називають агрегатним. Порівнювані суми в агрегатному індексі відрізняються між собою за індексованими величинами; сумірники тут незмінні.

Такі індекси дають змогу дати порівняльну характеристику рівнів складного явища, до якого входить ряд різнорідних елементів. Це узагальнюючі показники, за допомогою яких можна охарактеризувати динаміку того чи іншого складного суспільно-економічного явища.

6.2. Програмне забезпечення еколого - статистичних досліджень

Програмне забезпечення (ПЗ) для статистичного аналізу можна розділити на 3 основних групи: універсальні пакети, або пакети загального призначення; професійні пакети; спеціалізовані пакети. Наприклад, професійні пакети - SAS, BMDP; універсальні пакети - STATGRAPHICS, SPSS, STATISTICA; спеціалізовані - BIOSTAT, DATASCOPE.

Статистичні програми відносяться до наукомісткого ПЗ, ціна їх часто недоступна індивідуальному користувачеві. Професійні пакети мають велику кількість методів аналізу, популярні пакети - кількість функцій, достатню для універсального застосування. Спеціалізовані пакети орієнтовані на конкретну вузьку область аналізу даних. Творці програмних статистичних

пакетів заявляють, що їх продукт перевершує аналоги. Відсутність у більшості дослідників часу для освоєння декількох програм, робить непростим вибір необхідного ПЗ.

BMDP - BioMeDical Package (Statistical Software, Inc.). BMDP - це статистичний біомедичний пакет і бібліотека із більш ніж сорока статистичних процедур. Забезпечує такі функції: ступенева регресія, всі можливі підмножини регресії, поліноміальна регресія, ступенева логістична регресія, дисперсійний та коваріаційний аналіз.

Maple (Waterloo Maple, Inc.). Комерційна система комп'ютерної алгебри. Містить понад 5000 функцій для більшості розділів сучасної математики, моделювання та інтерактивної візуалізації, підтримує мову програмування Maple, дозволяє комбінувати алгоритми, результати обчислення, математичні формули, текст, графіку, діаграми та анімацію зі звуком в електронному документі. Можливості пакета: символні обчислення і чисельні методи; математичні функції та методи; розв'язування рівнянь; диференціальні рівняння; лінійна алгебра; оптимізація; програмування; операції з розмірностями та одиницями вимірювання величин; редактор математичних формул; візуалізація, графіки, інтерактивні меню та асистенти; шаблони-прикладі для стандартних проблем; елементи для розробки графічних інтерфейсів; доступ до MapleCloud-сховища для обміну документами між користувачами та колегами; понад 30 палітр відсортованих для створення та редагування математичних виразів; розпізнавання рукописних формул; інструментарій для фінансового моделювання; статистичне моделювання; фізичні моделі; високопродуктивні обчислення; автоматичне розпаралелювання; багатонитеве програмування; обчислення в Грід-мережах; підтримка CUDA; інтерфейс для Matlab; експорт в інші мови програмування; системи доступу до баз даних; інтерфейс до математичної бібліотеки NAG.

MathCAD (Parametric Technology Corp.). Потужний пакет для математичних розрахунків, розв'язання рівнянь, побудови графіків тощо. Є

системою комп'ютерної алгебри з класу систем автоматизованого проектування, орієнтована на підготовку інтерактивних документів з обчисленнями і візуальним супроводженням, відрізняється легкістю використання і застосування для колективної роботи. Незважаючи на те, що ця програма орієнтована на користувачів-непрограмістів, також використовується в складніших проектах, щоб візуалізувати результати математичного моделювання, шляхом використання найбільш поширених обчислень і традиційних мов програмування. Mathcad зручно використовувати для навчання, обчислень і інженерних розрахунків. Відкрита архітектура у поєднанні з підтримкою технологій NET і XML дозволяють легко інтегрувати Mathcad практично в будь-які ІТ-структури та інженерні застосування. Є можливість створення електронних книг (e-Book).

MATLAB (MathWorks, Inc.) — комп'ютерна оболонка для інтерактивних та командних обчислень і візуалізації. Містить пакет прикладних програм для числового аналізу, а також мова програмування, що використовується в даному пакеті. Об'єднує в собі чисельний аналіз, операції з матрицями, сигнальні процеси та графіки в зручному для використання середовищі, де задачі та розв'язки подаються у математичному запису без використання традиційного програмування. Є зручним засобом для роботи з математичними матрицями, малюванням функцій, роботи з алгоритмами, створенням робочих оболонок (user interfaces) з програмами в інших мовах програмування. Спеціалізується на чисельному обчисленні, спеціальні інструментальні засоби працюють з програмним забезпеченням Maple, що робить його повноцінною системою для роботи з алгеброю.

MATLAB надає користувачеві велику кількість функцій для аналізу даних, які покривають майже всі області математики, Це професіональний пакет розв'язування математичних задач різної складності, моделювання, рішення рівнянь, побудова графіків тощо.

MS Excel (Microsoft Corp.). Найбільш поширений додаток з пакету офісних програм MS Office. Причини - наявність російськомовної версії та

тісна інтеграцією з MS Word і PowerPoint. Проте, MS Excel - це електронна таблиця з досить потужними математичними можливостями, де деякі статистичні функції є просто додатковими вбудованими формулами. Розрахунки зроблені при її допомозі не визнаються авторитетними науковими журналами. Також у MS Excel неможливо побудувати якісні наукові графіки. Безумовно, MS Excel добре підходить для накопичення даних, проміжного перетворення, попередніх статистичних обчислень, для побудови деяких видів діаграм. Проте остаточний статистичний аналіз необхідно робити в програмах, які спеціально створені для цих цілей. Існують макроси-доповнення для MS Excel, що включають додаткові статистичні функції, які в основних випадках є достатніми для звичайного застосування. Пробну версію макросів можна узяти на сайті виробника.

SAS (SAS Institute, Inc.) — інтерактивне та командне програмне середовище, що утворене з модулів для аналізу даних, статистики та написання звітів. SAS також забезпечує підключення до баз даних ORACLE та INGRES, забезпечує аналіз часових рядів та прогнозування, відтворює кольорові графіки, забезпечує матричне програмування та розвинену статистику, виконує експертну підтримку. Допоможе при дослідженні дисперсійного аналізу та таких регресій як лінійна, нелінійна, RSQUARE-регресія, ступенева.

SPSS - Statistical Package for the Social Sciences, PASW Statistics - Predictive Analytics SoftWare (SPSS: An IBM Company, Inc.). Потужний, але й дорогий статистичний пакет обробки даних. Один із лідерів ринку в області комерційних статистичних продуктів, призначених для проведення прикладних досліджень в соціальних науках. Найбільш відомий і найстаріший пакет статистичної обробки даних. Модульний, повністю інтегрований, має усі необхідні можливості програмного комплексу, охоплює всі етапи аналітичного процесу: планування, збір даних, доступ до даних і керування даними, аналіз, створення звітів та поширення результатів. Можливості: введення і зберігання даних; можливість використання змінних

різних типів; частотність ознак, таблиці, графіки, таблиці зв'язаності, діаграми; первинна описова статистика; маркетингові дослідження; аналіз даних маркетингових досліджень. SPSS має якісні прогностичні моделі і різні методи аналізу. Включає широкий набір функцій для простого управління і аналізу великих об'ємів даних. Програма може аналізувати усі надані дані і створювати графіки та діаграми для їх представлення в зручному вигляді. Усі аналізовані дані і результати представляються в окремих діалогових вікнах. Редактор даних - це ще одна відмінна функція IBM SPSS Statistics Base. Редактор включає багатофункціональне меню для редагування файлів, аналізу ризиків, ідентифікації клієнта, аналізу витрат і прибутку, а також аналіз трендів для кращого планування стратегії організації і майбутніх виробничих процесів. IBM SPSS Statistics Base також здатний виявляти шахрайські дані, щоб мінімізувати ризики. Програма дозволяє проаналізувати, які характеристики клієнти зв'язує з торговою маркою. Серед основних функцій цього пакету - можливість використання широкого набору математичних методів статистичної обробки даних, формування різних типів звітів, підтримка роботи з більшістю форматів даних, у тому числі підготовлених в електронних таблицях.

Statistica (StatSoft, Inc.) — добре збалансоване за співвідношенням «потужність/зручність» ПЗ. Має широкий спектр функціональних алгоритмів і розвинену графіку, а також відповідні засоби для редагування графічних матеріалів. Містить більше 250 статистичних функцій. Користувач має знати статистичну термінологію, а об'ємна довідкова система дає змогу досить повно ознайомлюватися з алгоритмами, що використовуються. Широко розповсюджена. Вбудовані функції об'єднані спеціалізованими статистичними модулями: основні статистики і таблиці, непараметрична статистика, дисперсійний аналіз, множинна регресія, нелінійне оцінювання, аналіз часових рядів і прогнозування, кластерний аналіз, факторний аналіз, функціональний аналіз, дискримінанта, аналіз тривалості життя, канонічна кореляція, багатовимірні шкали, моделювання структурними рівняннями

тощо. STATISTICA має суттєві переваги перед іншими статистичними пакетами: за допомогою реалізованих в системі STATISTICA мов програмування (SCL, STATISTICA BASIC), забезпечених спеціальними засобами підтримки, легко створюються закінчені рішення, що вбудовуються в різні інші застосування або обчислювальні середовища. Пакет перекладено російською мовою і можна придбати ліцензійну, русифіковану версію, видана велика кількість книг з детальним описом системи STATISTICA; можливе розширення користувачем бібліотеки функцій, що дозволять вирішувати більшість завдань по теорії вірогідності; реалізовано обмін даними між STATISTICA і Windows додатками; пакет має сенс використати при рішенні досить трудомістких, математично складних і громіздких в реалізації методів багатовимірного аналізу; будь-яка графічна і текстова інформація в STATISTICA може бути виведена у файл формату RTF, який відкривається і редагується в Microsoft Office Word .

StatGraphics - Statistical Graphics System (Manugistics, Inc.). Повний універсальний статистичний пакет для діалогового аналізу (interactive analysis) статистичних даних з широкими можливостями візуалізації. Функції ПЗ: проста регресія, аналіз часових рядів, багатофакторна лінійна та нелінійна регресія, авторегресійні моделі. Переваги STATGRAPHICS: поєднання наукових методів обробки різнотипних даних з можливістю створення сучасної високоякісної інтерактивної графіки; широкі можливості взаємодії з іншими програмними продуктами (електронними таблицями, базами даних); високоякісна двовимірна і тривимірна графіка, інтегрована графіка, в якій усі елементи графічних представлень результатів аналізу можуть бути перетворені. Після завершення процедури статистичного аналізу даних можна обрати графічні відображення результатів, релевантні використовуваній процедурі аналізу.

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі магістра розроблено методи та засоби підвищення ефективності безпроводних телеметричних мереж.

1.3 аналізу існуючих методів та засобів підвищення ефективності безпроводних телеметричних мереж можна зробити висновок, що розробка моделей і алгоритмів збору інформації для безпроводної телеметричної мережі дозволить скоротити час збору даних з її давачів, а також її енергоспоживання. Завдяки чому підвищиться енергоефективність безпроводної телеметричної мережі та оптимізується трафік.

2. Між критеріями продуктивності та надійності телеметричної мережі існує тісний зв'язок. Ненадійна робота телеметричної мережі призводить до зниження її продуктивності. Це пов'язано тим, що збої в системі зв'язку призводять до втрати або спотворення пакетів, після чого комунікаційний протокол виконує повторну передачу втрачених даних..

3. Одним з методів підвищення ефективності безпроводних телеметричних систем є застосування OFDM. Цей метод збільшує загальну пропускну здатність системи зв'язку при збереженні надійності передачі даних і витрати енергії на один переданий біт.

4. Проведено моделювання методів симетричного шифрування та цифрових систем зв'язку з використанням програмних засобів Communication Toolbox та Signal Processing Toolbox в MATLAB. Ці методи підвищують захищеність безпроводних телеметричних мереж однак збільшують надлишковість передаваних даних.

5. Змодельовано застосування одного з методів підвищення ефективності безпроводних телеметричних систем — застосування OFDM. Цей метод збільшує загальну пропускну здатність системи зв'язку при збереженні надійності передачі даних і витрати енергії на один переданий біт.

6. Результати моделювання цифрової безпроводної системи зв'язку із застосуванням методу симетричного шифрування AES-128 показують, що

бітова помилка для системи зв'язку з OFDM QAM-16 модуляцією не залежить від застосування методів шифрування, але залежить від відношення сигнал/шум. Тобто ефективнішим буде застосування більш завадостійкого методу модуляції ніж використання методів шифрування, хоча для побудови сучасних безпроводних телеметричних мереж необхідно використовувати обидва методи, оскільки вони виконують різні функції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Беспроводные сенсорные сети [Электронный ресурс] // Режим доступа до ресурсу: <https://habr.com/ru/post/95011/>.
2. Использование конечных спящих узлов в сети ZigBee [Электронный ресурс] // Режим доступа до ресурсу: <http://www.russianelectronics.ru/developer-r/review/2187/doc/56442/>.
3. ZigBee-модули XBee: вопросы практического применения [Электронный ресурс] // Режим доступа до ресурсу: <https://wireless-e.ru/wpan/zigbee/zigbee-moduli/>.
4. ZigBee-модули XBee: новые возможности [Электронный ресурс] // Режим доступа до ресурсу: <https://wireless-e.ru/wpan/zigbee/xbee/>.
5. Беспроводные сети ZigBee и Thread [Электронный ресурс] // Режим доступа до ресурсу: <http://www.wless.ru/technology/?tech=1>
6. Интернет речей у бізнес-середовищі: виклики для кібербезпеки [Электронный ресурс] // Eset. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://eset.ua/ua/news/view/669/Internet-veshchey-v-biznes-srede-vyzovy-dlya-kiberbezopasnosti>.
7. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 4-е изд. [Текст]/ Э. Таненбаум. – СПб.: Питер, 2008. – 992 стр.
8. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / Олифер В. Г., Олифер Н. А.– СПб.: Питер, 2007. – 960 с.
9. Френкс Л. Теория сигналов. Нью-Джерси, 1969 г. Пер. с англ., под ред. Д. Е. Вакмана. – М.: Сов. радио, 1974. – 344 с.
10. ZigBee VS Thread: Технологии построения беспроводных mesh-сетей [Электронный ресурс] // Режим доступа до ресурсу: <https://www.compel.ru/lib/92808>.
11. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 5-е изд. / Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл. – СПб.: Питер, 2012. – 960 с.

12. Зюко А. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / А.Г. Зюко. – М: Радио и связь, 1985. – 272 с.

13. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, 2-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.

14. Столлингс В. Беспроводные линии связи и сети.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 640 с.

15. Цыбизов, А. А. Оценка эффективности сетей связи // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2009. – Вып. 3(29). – С. 19–24.

16. Тужилкин О.В., Ульянин Н.С. Методы оценки эффективности работы беспроводной сенсорной сети. Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2012. – № 130.5. – С.28-32.

17. Чекмарев Ю. В. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации. Издание второе, исправленное и дополненное. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 184 с.

18. ZigBee Alliance. IEEE 802.15.4, ZigBee Standard. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.zigbee.org>.

19. Hammoodi, I. S., Stewart, B. G., Kocian, A., & McMeekin, S. G. A comprehensive performance study of OPNET modeler for ZigBee wireless sensor networks. Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, 2009. NGMAST'09. Third International Conference on. IEEE, 2009. – Pp. 357-362.

20. Су Цзюнь. Спосіб організація “зеленого коридору” для автомобілів спеціального призначення на основі ZigBee модулів/ Су Цзюнь, Яцків В.В. // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції “Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія” (26-27 травня 2011 р.). – Харків: ХНЕУ, 2011. – С.51-52.

21. ZIGBEE VS. WI-FI ИЛИ КАК НАСТРОИТЬ ЗИГБИ СЕТЬ В УСЛОВИЯХ МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА [Электронный ресурс] //

Режим доступа до ресурсу:<https://smart-life.online/smart-home/lifehack/zigbee-vs-wi-fi/>

21. Гонсалес Р., Вудс Р., Эдинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. – Москва: Техносфера, 2006. – 616 с.

22. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения. Полное руководство пользователя/Дьяконов В. П. М.: СОЛОН-Пресс. — 2002.— 768 с.

23. Айфичер Э., Джервис С., Барри У. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2004. – 992 с., ил. – Парал. тит. англ.

24. Bernardo L., Lopes P.B. Quadrature chaotic symbolic OFDM communication over radio channels / "Communications (LATINCOM) – 2012. IEEE Latin-America Conference", pp.1-6, 2012.

25. Dogan H., Yildiz H., Cooklev T., Acar Y. Coded OFDM wireless systems with generalized prefix /"Application of Information and Communication Technologies (AICT) ", 2012 6th International Conference., pp.1-4. 2012.

Додатки

Додаток А

Опубліковані тези конференцій за напрямом дипломної роботи магістра

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)
Національна академія наук України
Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет у Кошице (Словаччина)
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)
Шяуляйська державна колегія (Литва)
Жешувський політехнічний університет ім. Лукасевича (Польща)
Білоруський національний технічний університет (Республіка Білорусь)
Міжнародний університет цивільної авіації (Марокко)
Національний університет біоресурсів і природокористування України (Україна)
Наукове товариство ім. Шевченка
ГО «Асоціація випускників Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя»

АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Збірник

тез доповідей

Том II

**VIII Міжнародної науково-технічної
конференції молодих учених та студентів**

27-28 листопада 2019 року



**УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2019**

УДК 001
A43

Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей VIII міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 27–28 листоп. 2019.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2019. – 143.

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Голова: Ясній Петро Володимирович – д.т.н., проф., ректор ТНТУ ім. І. Пулюя (Україна).

Заступник голови: Рогатинський Роман Михайлович – д.т.н., проф. ТНТУ ім. І. Пулюя. (Україна)

Вчений секретар: Дзюра Володимир Олексійович – к.т.н., доц. ТНТУ ім. І. Пулюя. (Україна)

Члени: Вухерер Т. – професор факультету інженерної механіки Маріборського університету (Словенія); Фресард Ж. – професор університету П'єра і Марії Кюрі (Франція); Вінаш Я. – професор кафедри технології металів Технічного університету у Кошице (Словаччина); Прентковскіс О. – декан факультету Вільнюського технічного університету ім. Гедимінаса (Литва); Шяджювене Н. – директор Шауляйської державної колегії (Литва); Стахович Ф. – завідувач кафедри обробки матеріалів тиском Жешувського політехнічного університету ім. Лукасевича (Польща); Богданович А. – професор кафедри механіки Білоруського національного технічного університету (Республіка Білорусь); Меню А. – д.т.н., професор Міжнародного університету цивільної авіації (Марокко); Ловейкій В. – д.т.н., професор, завідувач кафедри конструювання машин національного університету біоресурсів і природокористування України; Андрейків О. – д.т.н., професор кафедри механіки Львівського національного університету ім. І. Франка, член-корр. НАН України.

Адреса оргкомітету: ТНТУ ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, 46001,
тел. (096) 2366752, факс (0352) 254983

E-mail: yolodymyrdzyura@gmail.com

Редагування, оформлення, верстка: Дзюра В.О.

СЕКЦІЇ КОНФЕРЕНЦІЇ, ЯКІ ПРЕДСТВЛЕНІ В ЗБІРНИКУ

– компютерно-інформаційні технології та системи зв'язку.

УДК 621.391.1

Є.В. Тиш, канд. техн. наук, О.В. Зима

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БЕЗПРОВІДНИХ ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Ie.V. Tysh, Ph.D., O.V. Zyma

METHODS AND MEANS OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF WIRELESS TELEMETRY NETWORKS

Вимірювання різних параметрів оточуючого середовища, технічних та технологічних параметрів здавна використовуються в побуті та виробництві. Зазвичай ці вимірювання проводяться на віддалі за допомогою телеметричних систем із використанням провідного, оптичного або радіоканалу зв'язку. В сучасних системах розумного будинку або Інтернету речей для вимірювань та керування все частіше використовується радіоканал зв'язку, який забезпечує простоту та гнучкість побудови безпроводних мереж. Однак безпроводні мережі для таких задач мають низьку швидкість передачі даних, яка становить 200-300 кбіт/с по радіоканалу. Тобто, якщо відняти службові біти з кожного пакету, то в кращому випадку отримаємо 100 кбіт/с. Така швидкість передачі даних достатня для невеликих та нерозгалужених безпроводних телеметричних мереж з невеликою кількістю вимірюваних параметрів. Для складніших безпроводних телеметричних мереж необхідно розробити методи та засоби підвищення їх ефективності, особливо ефективності передачі даних.

Серед методів підвищення ефективності передачі даних використовують методи, що дозволяють збільшити співвідношення інформаційних до службових бітів. Зокрема використовують такі методи:

1) Об'єднання малих пакетів даних у великі. Особливо це ефективно, коли один вузол безпроводної телеметричної мережі передає інформацію з декількох давачів та вони опитуються одночасно, тоді їх інформація об'єднується в один пакет. Та коли мережа містить типові елементи і проміжні роутери, які об'єднують пакети від декількох кінцевих пристроїв в один. Такий метод потребує чіткої організації мережі, що зменшує її гнучкість. Крім того, не всі протоколи передачі даних мають можливість передавати великі пакети.

2) Кодування та стиснення даних. Ці методи дозволяють зменшити об'єми інформації особливо тоді, коли вона є повторювана в одному пакеті. Але такі методи є малоефективними при стисненні коротких повідомлень розміром 2-3 байти. Операції кодування та декодування збільшують загальну затримку передачі даних системи вимірювань, а, отже, унеможливають роботу в реальному масштабі часу.

3) Агрегування даних, тобто передавання тільки мінімальних, максимальних та середніх значень. За такого підходу втрачаються миттєві значення, які також є важливі при тривалих вимірюваннях. Тому такий метод можна використовувати лише при спостереженні повільних явищ і процесів.

Іншими не менш важливими параметрами ефективності безпроводних телеметричних мереж є надійність передачі даних, енергоефективність, ефективність використання каналу зв'язку та ін.

Оцінка ефективності застосування кожного з методів підвищення пропускної здатності та інших параметрів безпроводних телеметричних мереж потребує подальших досліджень та порівнянь за критеріями ефективності передачі даних.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ
КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ВИРОБНИЦТВА СОКУ

- | | | |
|-----|--|-----|
| 64. | В.В. Семенюк
ЗАСТОСУВАННЯ ФАКТОГРАФІЧНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ПОШУКУ
ПОВ'ЯЗАНИХ ТА АКТУАЛЬНИХ ДАНИХ В СИСТЕМІ КОНСОЛІДАЦІЇ
СОЦІОКОМУНІКАЦІЙНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ З
ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБКИ ПРИРОДНОЇ МОВИ ТА
ВЕЛИКИХ ДАНИХ | 84 |
| 65. | Д.А. Сікора
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗАСОБІВ СИМУЛЮВАННЯ РОБОТИ
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ | 86 |
| 66. | О.В. Мацюк, Т.Р. Склярова
ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ З
ВИКОРИСТАННЯМ КАРТ GOOGLE ТА ДОДАТКІВ НА ЇХ ОСНОВІ | 88 |
| 67. | Б.В. Скоропад
ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ | 89 |
| 68. | В.М.Онищук, М.В.Сліпенко
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОМПЛЕКСІВ ПРОЕКТУВАННЯ
ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ У СТАНДАРТІ ІЕС 61131-3 | 90 |
| 69. | А.А.Станько, О.В.Мацюк
РОЗУМНЕ МІСТО ЯК КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА ІНТЕГРАЦІЇ ПОСЛУГ
ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ МІСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ | 92 |
| 70. | А.С.Стецюра, А.А.Сергієнко
АНАЛІЗ ТА ВИБІР МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ТИСКУ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ
ПРОЦЕСІ ЕКСТРУЗІЇ ПОЛІМЕРНИХ ТРУБ | 94 |
| 71. | В. П. Судомир, А. М. Луцків
ПОТОКОВА МОДЕЛЬ ДАНИХ ПРИ ФУНКЦІЙНОМУ ПРОГРАМУВАННІ
МІКРОКОНТРОЛЕРІВ | 96 |
| 72. | Р.Я. Сус, О.А. Юр'єв, А.А. Микитишин, О.С. Голотенко
РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ БУДІВЛІ | 98 |
| 73. | М.Р. Петрик, П.П. Теслюк
МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ПЛАНУВАННЯ РЕСУРСІВ
ПІДПРИЄМСТВА | 99 |
| 74. | Є.В. Тиш, О.В. Зима
МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БЕЗПРОВІДНИХ
ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ МЕРЕЖ | 101 |
| 75. | Є.В. Тиш, Є.В. Сов'як
МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПОПЕРЕДНЬОГО ОПРАЦЮВАННЯ І | 102 |

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

МАТЕРІАЛИ

VII НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



11–12 грудня 2019 року

**ТЕРНОПІЛЬ
2019**

УДК 001
МЗ4

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Голова: Лупенко Сергій Анатолійович – докт. техн. наук, професор.

Співголова: Баран Ігор Олегович – канд. техн. наук, доцент, декан факультету ФІС.

Науковий секретар: Семенишин Галина Мирославівна – старший викладач.

Члени: докт. фіз.-мат. наук, професор В. Кривень; докт. техн. наук, професор М. Приймак; канд. техн. наук, доцент, Г. Осухівська; докт. техн. наук, професор М. Карпінський; канд. пед. наук, доцент Ж. Баб'як; докт. фіз.-мат. наук, професор М. Петрик; канд. техн. наук, доцент Н. Загородна.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова: Скоренький Юрій Любомирович – канд. техн. наук, доцент.

Члени: канд. екон. наук, доцент І. Струтинська; канд. техн. наук, доцент Я. Кінах; асистент М. Стадник; асистент Н. Шаблій; ст. викладач Л. Джиджора.

Матеріали VII науково-технічної конфіції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, (Тернопіль, 11 – 12 грудня 2019 р.). – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 196 с.

Адреса оргкомітету: ТНТУ ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, 46001, тел. (0352) 52-41-33, факс (0352) 254983.

E-mail: conferencefis@gmail.com

Редагування, оформлення, верстка: Сіткар О.А.

СЕКЦІЇ КОНФЕРЕНЦІЇ, ЯКІ ПРЕДСТВЛЕНІ В ЗБІРНИКУ

- Математичне моделювання;
- Інформаційні системи та технології;
- Комп'ютерні системи та мережі;
- Програмна інженерія та моделювання складних розподілених систем;
- Новітні фізико-технічні та освітні технології.

В збірнику надруковано тези доповідей VII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (Тернопіль, 11 – 12 грудня 2019 р.) за такими науковими напрямками: математичне моделювання; інформаційні системи та технології; комп'ютерні системи та мережі; програмна інженерія та моделювання складних розподілених систем; новітні фізико-технічні та освітні технології.

Розрахований на науковців, викладачів та студентів вузів.

За зміст тез та дотримання норм академічної доброчесності відповідальність несе автор.

© Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019

УДК 621.391.1

Є. Тиш, О. Зима

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

ВИБІР КРИТЕРІЇВ ЕФЕКТИВНОСТІ БЕЗПРОВІДНИХ ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ МЕРЕЖ

UDC 621.391.1

Ie. Tysh, O. Zyma

(Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine)

SELECTION CRITERIA OF WIRELESS TELEMETRY NETWORKS EFFICIENCY

Вимірювання різноманітних параметрів за допомогою датчиків є частиною багатьох технологічних процесів у виробництві, елементом побудови розумного будинку в побуті і т.д. Якщо об'єкт, на якому проводяться такі вимірювання, має значну площу, то вимірювання проводяться за допомогою телеметричних систем із використанням проводового, оптичного або радіоканалу зв'язку. Найчастіше для таких об'єктів для вимірювання та керування використовується радіоканал зв'язку, який забезпечує простоту і гнучкість побудови безпроводних мереж. Однак безпроводні мережі для таких задач мають низьку швидкість передачі даних, яка становить 200-300 кбіт/с по радіоканалу. Тобто, якщо відняти службові біти та надлишкові біти шифрування з кожного пакету, то в кращому випадку отримаємо 100 кбіт/с. Така швидкість передачі даних достатня для невеликих та нерозгалужених безпроводних телеметричних мереж з невеликою кількістю вимірюваних параметрів. Для складніших мереж необхідно розробити методи та засоби підвищення їх ефективності, і одним із завдань при цьому є вибір критеріїв ефективності, за якими можна найкраще оцінити розроблені методи.

При виборі критеріїв ефективності безпроводних телеметричних мереж необхідно вибрати такі, які забезпечують мережі найбільш ефективне виконання її задач за заданих умов. Серед найважливіших є критерії ефективності використання каналу зв'язку [1, 2]:

1) використання каналу зв'язку за потужністю, тобто яка частина енергії сигналу припадає на 1 біт переданих даних при заданому відношенні сигнал/шум;

2) використання каналу зв'язку за смугою частот, тобто яка частина смуги частот сигналу припадає на 1 біт переданих даних;

3) використання каналу зв'язку за пропускною здатністю.

Також важливими є критерії ефективності методів, які забезпечують надійність передачі даних:

1) ефективність кодування, тобто наскільки зменшується об'єм даних при застосування методу кодування;

2) ефективність коректуючи кодів, тобто наскільки зменшується імовірність втратити дані та при якій надлишковості коду;

3) ефективність протоколу передачі даних, тобто яке співвідношення між інформаційними та службовими бітами.

Використовуючи наведені критерії можливо визначити ефективність застосування методів підвищення пропускної здатності безпроводних телеметричних мереж, що потребує подальших досліджень та порівнянь.

Література

1. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 5-е изд. / Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл. – СПб.: Питер, 2012. – 960 с.
2. Зюко А. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / А.Г. Зюко. – М: Радио и связь, 1985. – 272 с.

В. Лукашук ЗАСОБИ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ВАНТАЖУ В ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМАХ	128
А. Мельничук, М. Хвостівський, І. Горбовий ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ	129
К. Моха, М. Хвостівський, А. Кравчук КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ГЕНЕРУВАННЯ ТЕСТОВИХ СИГНАЛІВ КРОВОНОСНИХ СУДИН ТА СІТКІВКИ ОКА ЛЮДИНИ	130
В. Нестор, В. Яцишин ПРОЦЕДУРА КЛАСИФІКАЦІЇ АТРИБУТІВ ЗА ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЯКОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ	131
А. Паламар ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ ДЖЕРЕЛ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ	132
Н. Паляниця, В. Дорофей РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ПАКЕТУ ДЛЯ РОЗМІЧУВАННЯ МЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ У МАШИННОМУ НАВЧАННІ	133
Л. Пуляк, С. Лупенко МЕТОДИ ОПРАЦЮВАННЯ МЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ	135
Б. Равчак ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОЛОГІЇ JAMSTACK	136
Є. Сов'як, Є. Тиш МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПОПЕРЕДНЬОГО ОПРАЦЮВАННЯ ЕКГ ДЛЯ СИСТЕМИ ТЕЛЕМОНІТОРИНГУ	137
В. Стеблик, У. Поливана МЕРЕЖЕВИЙ МОНІТОРИНГ ЯК ЗАСІБ АНАЛІЗУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ЛОКАЛЬНІЙ І ГЛОБАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ	138
Є. Тиш, О. Зима ВИБІР КРИТЕРІЇВ ЕФЕКТИВНОСТІ БЕЗПРОВІДНИХ ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ МЕРЕЖ	139
С. Туркот НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ В СИСТЕМАХ БІОМЕТРИЧНОЇ АУТЕНТИФІКАЦІЇ	140
О. Цебрик МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПОБУДОВИ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ БЕНЗИНУ	141
Б. Цюприк, О. Ясній БЕЗПЕКА МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ	142
В. Часник, Н. Луцик ПРОЦЕС АВТОМАТИЧНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ МОВИ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ	143
Я. Чирський, В. Яцишин АНАЛІЗ МОДЕЛІ ЗРУЧНОСТІ ВИКОРИСТАННІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЛЮДИНО-МАШИННОЇ ВЗАЄМОДІЇ	144
Х. Юркевич, А. Луцків, Н. Попович АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОГО ОПРАЦЮВАННЯ ВЕЛИКИХ ТЕКСТОВИХ ДАНИХ ЗАСОБАМИ ХМАРНИХ СЕРВІСІВ	145
Я. Юськів, Є. Тиш БАЗА ДАНИХ ПІДТРИМКИ ПРОЦЕСУ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ДЕФЕКТІВ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА НАДІЙНІСТЬ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ	146

Додаток Б

Програма для моделювання каналу зв'язку з OFDM та 16-QAM

```

% OFDM Code
% No.of Carriers: 64
% coding used: Convolutional coding
% Single frame size: 96 bits
% Total no. of Frames: 100
% Modulation: 16-QAM
% No. of Pilots: 4
% Cyclic Extension: 25%(16)

close all
clear all
clc

%%
% Generating and coding data
t_data=randint(9600,1)';
x=1;
si=1; %for BER rows
%%
for d=1:100;
data=t_data(x:x+95);
x=x+96;
k=3;
n=6;
s1=size(data,2); % Size of input matrix
j=s1/k;

%%
% Convolutionally encoding data
constlen=7;
codegen = [171 133]; % Polynomial
trellis = poly2trellis(constlen, codegen);
codedata = convenc(data, trellis);

%%
%Interleaving coded data

s2=size(codedata,2);
j=s2/4;
matrix=reshape(codedata,j,4);

intlvddata = matintrlv(matrix',2,2)'; % Interleave.
intlvddata=intlvddata';

% Binary to decimal conversion

dec=bi2de(intlvddata','left-msb');

%%
%16-QAM Modulation

M=16;
y = qammod(dec,M);

```



```

% scatterplot(y);
% Pilot insertion

lendata=length(y);
pilt=3+3j;
nofpits=4;

k=1;

for i=(1:13:52)

    pilt_data1(i)=pilt;

    for j=(i+1:i+12);
        pilt_data1(j)=y(k);
        k=k+1;
    end
end

pilt_data1=pilt_data1'; % size of pilt_data =52
pilt_data(1:52)=pilt_data1(1:52); % upsizing to 64
pilt_data(13:64)=pilt_data1(1:52); % upsizing to 64

for i=1:52

    pilt_data(i+6)=pilt_data1(i);

end

% IFFT

ifft_sig=ifft(pilt_data',64);

% Adding Cyclic Extension

cext_data=zeros(80,1);
cext_data(1:16)=ifft_sig(49:64);
for i=1:64

    cext_data(i+16)=ifft_sig(i);

end

% Channel
% SNR

o=1;
for snr=0:2:50

ofdm_sig=awgn(cext_data,snr,'measured'); % Adding white Gaussian Noise
% figure;
% index=1:80;
% plot(index,cext_data,'b',index,ofdm_sig,'r'); %plot both signals
% legend('Original Signal to be Transmitted','Signal with AWGN');

%
% RECEIVER
%Removing Cyclic Extension

```

```

for i=1:64
    rxed_sig(i)=ofdm_sig(i+16);
end

% FFT
ff_sig=fft(rxed_sig,64);

% Pilot Synch%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=1:52
    synched_sig1(i)=ff_sig(i+6);
end

k=1;

for i=(1:13:52)
    for j=(i+1:i+12);
        synched_sig(k)=synched_sig1(j);
        k=k+1;
    end
end

% scatterplot(synched_sig)
% Demodulation
dem_data= qamdemod(synched_sig,16);

% Decimal to binary conversion

bin=de2bi(dem_data','left-msb');
bin=bin';

% De-Interleaving

deintlvddata = matdeintrlv(bin,2,2); % De-Interleave
deintlvddata=deintlvddata';
deintlvddata=deintlvddata(:)';

%Decoding data
n=6;
k=3;
decodedata =vitdec(deintlvddata,trellis,5,'trunc','hard'); % decoding
datausing veterbi decoder
rxed_data=decodedata;

% Calculating BER
rxed_data=rxed_data(:)';
errors=0;

c=xor(data,rxed_data);
errors=nnz(c);

% for i=1:length(data)

```

```
%
%   if rxed_data(i)~=data(i);
%       errors=errors+1;
%
%   end
% end

BER(si,o)=errors/length(data);
o=o+1;

end % SNR loop ends here
si=si+1;
end % main data loop

% Time averaging for optimum results

for col=1:25;           %%%change if SNR loop Changed
    ber(1,col)=0;
for row=1:100;
    ber(1,col)=ber(1,col)+BER(row,col);
end
end
ber=ber./100;

figure
i=0:2:48;
semilogy(i,ber,i,ber-0.01,'--rs');
title('BER vs SNR');
ylabel('BER');
xlabel('SNR (dB)');
grid on
```

Додаток В

Програма для шифрування методом AES-128

```

function [out] = aesencrypt(s, in)
% AESENCRYPT Encrypt 16-bytes vector.
% Usage:          out = aesencrypt(s, in)
% s:              AES structure
% in:             input 16-bytes vector (plaintext)
% out:           output 16-bytes vector (ciphertext)

% Stepan Matejka, 2011, matejka[at]feld.cvut.cz
% $Revision: 1.1.0 $ $Date: 2011/10/12 $

if (nargin ~= 2)
    error('Bad number of input arguments.');
```

end

```

validateattributes(s, {'struct'}, {});
validateattributes(in, {'numeric'}, {'real', 'vector', '>=', 0, '<',
256});

% copy input to local
% 16 -> 4 x 4
state = reshape(in, 4, 4);

% Initial round
% AddRoundKey keyexp(1:4)
state = bitxor(state, (s.keyexp(1:4, :))');

% Loop over (s.rounds - 1) rounds
for i = 1:(s.rounds - 1)
    % SubBytes - lookup table
    state = s.s_box(state + 1);
    % ShiftRows
    state = shift_rows(state, 0);
    % MixColumns
    state = mix_columns(state, s);
    % AddRoundKey keyexp(i*4 + (1:4))
    state = bitxor(state, (s.keyexp((1:4) + 4*i, :))');
end

% Final round
% SubBytes - lookup table
state = s.s_box(state + 1);
% ShiftRows
state = shift_rows(state, 0);
% AddRoundKey keyexp(4*s.rounds + (1:4))
state = bitxor(state, (s.keyexp(4*s.rounds + (1:4), :))');

% copy local to output
% 4 x 4 -> 16
out = reshape(state, 1, 16);

% -----
----
function out = mix_columns(in, s)
```

```

% Each column of the state is multiplied with a fixed polynomial
mod_pol

% Slow version
% out = zeros(size(in));
% for col = 1:4
%     for row = 1:4
%         % for each element
%         temp = 0;
%         for i = 1:4
%             % Multiplication in a finite field of
%             % row vector of poly_mat and
%             % column vector of the in
%             % finally xor
%             temp = bitxor(temp,...
%                 poly_mult(s.poly_mat(row, i),...
%                     in(i, col),...
%                     s.mod_pol, s.aes_logt,s.aes_ilogt));
%         end
%         % place to out
%         out(row, col) = temp;
%     end
% end

% Faster implementation
% out = zeros(size(in));
% for col = 1:4
%     temp = bitxor(in(3,col),in(4,col));
%     temp = bitxor(temp,
poly_mult(2,in(1,col),s.mod_pol,s.aes_logt,s.aes_ilogt));
%     out(1,col) = bitxor(temp,
poly_mult(3,in(2,col),s.mod_pol,s.aes_logt,s.aes_ilogt));
%     temp = bitxor(in(1,col),in(4,col));
%     temp = bitxor(temp,
poly_mult(2,in(2,col),s.mod_pol,s.aes_logt,s.aes_ilogt));
%     out(2,col) = bitxor(temp,
poly_mult(3,in(3,col),s.mod_pol,s.aes_logt,s.aes_ilogt));
%     temp = bitxor(in(1,col),in(2,col));
%     temp = bitxor(temp,
poly_mult(2,in(3,col),s.mod_pol,s.aes_logt,s.aes_ilogt));
%     out(3,col) = bitxor(temp,
poly_mult(3,in(4,col),s.mod_pol,s.aes_logt,s.aes_ilogt));
%     temp = bitxor(in(2,col),in(3,col));
%     temp = bitxor(temp,
poly_mult(3,in(1,col),s.mod_pol,s.aes_logt,s.aes_ilogt));
%     out(4,col) = bitxor(temp,
poly_mult(2,in(4,col),s.mod_pol,s.aes_logt,s.aes_ilogt));
% end

% Faster faster implementation
% out = zeros(size(in));
% for col = 1:4
%     temp = bitxor(in(3,col),in(4,col));
%     temp = bitxor(temp, s.mix_col2(in(1,col) + 1));
%     out(1,col) = bitxor(temp, s.mix_col3(in(2,col) + 1));
%     temp = bitxor(in(1,col),in(4,col));
%     temp = bitxor(temp, s.mix_col2(in(2,col) + 1));
%     out(2,col) = bitxor(temp, s.mix_col3(in(3,col) + 1));

```

```

%     temp = bitxor(in(1,col),in(2,col));
%     temp = bitxor(temp, s.mix_col2(in(3,col) + 1));
%     out(3,col) = bitxor(temp, s.mix_col3(in(4,col) + 1));
%     temp = bitxor(in(2,col),in(3,col));
%     temp = bitxor(temp, s.mix_col3(in(1,col) + 1));
%     out(4,col) = bitxor(temp, s.mix_col2(in(4,col) + 1));
% end

% Faster faster faster implementation
% slice1 = zeros(4,4);
% slice2 = slice1;
% slice3 = slice1;
% slice4 = slice1;
% for col = 1:4
%     slice1(1,col) = in(3,col);
%     slice2(1,col) = in(4,col);
%     slice3(1,col) = s.mix_col2(in(1,col) + 1);
%     slice4(1,col) = s.mix_col3(in(2,col) + 1);
%     slice1(2,col) = in(1,col);
%     slice2(2,col) = in(4,col);
%     slice3(2,col) = s.mix_col2(in(2,col) + 1);
%     slice4(2,col) = s.mix_col3(in(3,col) + 1);
%     slice1(3,col) = in(1,col);
%     slice2(3,col) = in(2,col);
%     slice3(3,col) = s.mix_col2(in(3,col) + 1);
%     slice4(3,col) = s.mix_col3(in(4,col) + 1);
%     slice1(4,col) = in(2,col);
%     slice2(4,col) = in(3,col);
%     slice3(4,col) = s.mix_col3(in(1,col) + 1);
%     slice4(4,col) = s.mix_col2(in(4,col) + 1);
% end
% out = bitxor(bitxor(bitxor(slice1, slice2), slice3), slice4);

% Faster faster faster faster implementation
out = bitxor(bitxor(bitxor([in(3,1:4); in(1,1:4); in(1,1:4);
in(2,1:4)],...
[in(4,1:4); in(4,1:4); in(2,1:4); in(3,1:4)]),...
[s.mix_col2(in(1,1:4) + 1); s.mix_col2(in(2,1:4) + 1);
s.mix_col2(in(3,1:4) + 1); s.mix_col3(in(1,1:4) + 1)]),...
[s.mix_col3(in(2,1:4) + 1); s.mix_col3(in(3,1:4) + 1);
s.mix_col3(in(4,1:4) + 1); s.mix_col2(in(4,1:4) + 1)]);

% -----
----
function p = poly_mult(a, b, mod_pol, aes_logt, aes_ilogt)
% Multiplication in a finite field

% Old slow implementation
% p = 0;
% for counter = 1:8
%     if (rem(b,2))
%         p = bitxor(p,a);
%         b = (b - 1)/2;
%     else
%         b = b/2;
%     end
%     a = 2*a;
%     if (a>255)

```

```

%         a = bitxor(a,mod_pol);
%     end
% end

% Faster implementaion
if (a && b)
    p = aes_ilogt(mod((aes_logt(a + 1) + aes_logt(b + 1)), 255) + 1);
else
    p = 0;
end

% -----
----
function out = shift_rows(in, dir)
% ShiftRows cyclically shift the rows of the 4 x 4 matrix.
%
%     dir = 0 (to left)
% | 1 2 3 4 |
% | 2 3 4 1 |
% | 3 4 1 2 |
% | 4 1 2 3 |
%
%     dir ~= 0 (to right)
% | 1 2 3 4 |
% | 4 1 2 3 |
% | 3 4 1 2 |
% | 2 3 4 1 |
%
if (dir == 0)
    % left
    % use linear indexing in 2d array
    out = reshape(in([1 6 11 16 5 10 15 4 9 14 3 8 13 2 7 12]),4,4);
    % old safe method
    %     temp = reshape(in,16,1);
    %     temp = temp([1 6 11 16 5 10 15 4 9 14 3 8 13 2 7 12]);
    %     out = reshape(temp,4,4);
else
    % right
    % use linear indexing in 2d array
    out = reshape(in([1 14 11 8 5 2 15 12 9 6 3 16 13 10 7 4]),4,4);
    % old safe method
    %     temp = reshape(in,16,1);
    %     temp = temp([1 14 11 8 5 2 15 12 9 6 3 16 13 10 7 4]);
    %     out = reshape(temp,4,4);
end

% -----
----
% end of file

```