

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний економічний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

КРИВИЙ Петро Андрійович

САМООРГАНІЗУЮЧА БЕЗПРОВІДНА СЕНСОРНА СИСТЕМА ЗБОРУ
ДАНИХ.
/ SELF-ORGANIZING WIRELESS SENSOR SYSTEM FOR DATA
COLLECTION

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
магістерська програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

Магістерська робота

Виконав студент групи АКІТм-21
П.А. Кривий

Науковий керівник:
к.т.н., О.М. Заставний

Магістерську роботу допущено до захисту:
" ____ " _____ 20__ р.

Завідувач кафедри
_____ Я.М. Николайчук

Тернопіль 2018

Тернопільський національний економічний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "магістр"

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
магістерська програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри СКС

Я.М.Николайчук

“___” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

КРИВИЙ Петро Андрійович

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема магістерської роботи

___ Самоорганізуюча безпроводна сенсорна система збору даних / Self-organizing wireless sensor system for data collection.

___ керівник роботи к.т.н., О.М. Заставний

затверджені наказом по університету від "14" листопада 2017 р. № 804

2. Строк подання студентом закінченої магістерської роботи 16 листопада 2018р.

3. Вихідні дані до магістерської роботи:

___ 1. Безпроводна сенсорна система

___ 2. Методи самоорганізації в безпроводних мережах

___ 3. Закони регулювання

___ 4. Вимоги до технічної експлуатації системи

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

___ 1. Дослідження самоорганізуючих безпроводних сенсорних мереж

___ 2. Розробка системи збору даних на базі сенсорної мережі

___ 3. Реалізація компонентів системи

___ 4. Контроль параметрів технологічного процесу

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

6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 14 листопада 2017 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Дослідження самоорганізуючих безпроводних сенсорних мереж	11.2017р. – 01.2018р.	
2	Розробка системи збору даних на базі сенсорної мережі	02.2018р. – 04.2018р.	
3	Реалізація компонентів системи	05.2018р. – 07.2018р.	
4	Контроль параметрів технологічного процесу	08.2018р. – 11.2018р.	

Студент

(підпис)

П.А. Кривий

Керівник магістерської роботи

(підпис)

к.т.н., О.М. Заставний

РЕФЕРАТ

Робота виконана на 69 сторінках та містить 33 рисунків, 3 таблиці, 37 джерел за переліком посилань.

Мета роботи: є розробка самоорганізуючої сенсорної мережі збору даних.

Методи дослідження. Методи, методика та технології створення самоорганізуючих сенсорних мереж та комплексів різного призначення. Інструментальні засоби моделювання, планування, математичного, алгоритмічного і програмного забезпечення задач аналізу та синтезу складних розподілених у просторі гнучких комп'ютерно-інтегрованих систем.

Результати роботи та їх новизна. Розроблена сенсорна мережа системи збору даних з можливостями самоорганізації шляхів проходження сигналів в залежності від різних умов.

Рекомендації по використанню результатів роботи: полягає у тому, що розроблена сенсорна мережа системи збору даних дозволяє автоматизувати процес збору технологічних даних, та підвищити надійність роботи системи за рахунок алгоритмів самоорганізації використовуючи дані про кількість вузлів мережі та рівня проходження сигналу між ними в залежності від поточної обстановки.

Можливі напрямки розвитку. Результати роботи служитимуть інструментом для створення нових комп'ютеризованих систем керування та контролю стану технологічних процесів, розробки інформаційно-вимірювальних систем, адаптованих до автоматичної зміни конфігурації безпроводної мережі в залежності від динамічної обстановки, включаючи програмне забезпечення верхнього рівня з функціями контролю та діагностування стану роботи систем.

Ключові слова: ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, БЕЗПРОВІДНА СЕНСОРНА МЕРЕЖА, МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА, MESH МЕРЕЖІ, КЕРУВАННЯ, КОНТРОЛЬ.

ABSTRACT

Work is executed on 69 pages and including 33 illustrations, 3 tables, 37 source after the list of references.

Purpose of work. The purpose of the work is to develop a self-organizing sensor data collection network.

Research methods. Methods, techniques and technologies for the creation of SAU processes and complexes of various purposes. Instrumental means of modeling, planning, mathematical, algorithmic and software of problems of analysis / synthesis of complex distributed in the space of flexible integrated systems.

Results of work and their novelty. The sensory network of the system of data collection with the possibilities of self-organizing of the passage of signals according to different conditions is developed.

Recommendations after the use of job performances: The developed sensor network of the data collection system allows to automate the process of gathering technological data, and increase the reliability of the system through self-organizing algorithms using data on the number of nodes in the network and the level of signal passage between them, depending on the current situation.

Possible development directions. The results of the work will serve as a tool for the creation of new computerized systems for control and monitoring of technological processes, the development of information and measurement systems adapted to automatically change the configuration of the wireless network, depending on the dynamic environment, including top-level software with control functions and diagnostics of system operation.

Keywords: TECHNOLOGICAL PROCESS, WIRELESS SENSOR NETWORK, MESH NETWORK, MANAGEMENT, CONTROL.

ПЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
1 ДОСЛІДЖЕННЯ САМООРГАНІЗУЮЧИХ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ	10
1.1 Аналіз методів маршрутизації в безпроводних мережах.....	10
1.2 Протоколи маршрутизації БСМ	13
1.3 Стандарт IEEE 802.15.4.....	23
2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЗБОРУ ДАНИХ НА БАЗІ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ....	30
2.1 Розробка структури охоронно-пожежної системи на основі сенсорної мережі	30
2.2 Розроблення структур безпроводного модуля системи системи збору даних	33
2.3 Розроблення структури абонентської станції	36
3 РЕАЛІЗАЦІЯ МОДУЛІВ БЕЗПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ	37
3.1 Аналіз елементної бази	37
3.2 Проектування апаратних засобів безпроводної мережі	43
4. КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	45
4.1 Функції комп'ютеризованих систем моніторингу.....	45
4.2 Моніторинг станів об'єктів управління автоматизованих систем управління.....	47
4.3. Аналіз станів технологічних об'єктів (ТО).....	48
4.4 Визначення ентропії даних	59
ВИСНОВКИ	65
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66

ПЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БСМ – безпроводна сенсорна мережа;

ГКВ – головний кластерний вузол;

БС – базова станція;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

МКС - мікропроцесорна система;

СІВС - стаціонарні інформаційно-вимірювальні системи;

ТП – технологічний процес;

ЦПП - центральний процесорний пристрій.

ВСТУП

Актуальність теми. Безпроводні сенсорні мережі набувають все більшої популярності, оскільки надають можливість збору даних і моніторингу в різних областях людської діяльності, при цьому забезпечують можливість їх швидкого розгортання та надійність передавання інформації.

Засоби автоматика та автоматизації широко використовуються в різних областях. При цьому реалізація систем автоматизації неможлива без систем моніторингу та збору даних. Так безпроводні мережі набувають все більшої популярності не тільки у промисловості, але й в системах охоронної та пожежної сигналізації, системах екомоніторингу та системах моніторингу сільськогосподарських угідь та лісів.

Важливим в таких мережах є можливість автономної роботи системи, а також властивість самоорганізації мережі, в залежності від різних обставин, таких як зміна потужності проходження сигналу, зниження заряду батарей, та інше.

При цьому властивість самоорганізації значно спрощує інсталяцію таких систем, а також підвищує їх надійність та живучість, оскільки система сама може переконфігуруватися в залежності від різних чинників. А тому дослідження та розроблення методів і способів самоорганізації сенсорних мереж є важливою і актуальною науковою задачею.

Мета і завдання дослідження. Метою досліджень є вирішення актуальної задачі створення нових сенсорних безпроводних систем збору даних. Для досягнення мети в ході досліджень вирішувалася низка завдань, головними з яких є:

- дослідження методів самоорганізації в безпроводних сенсорних мережах;
- розробка модуля безпроводної сенсорної мережі;
- контроль параметрів технологічного процесу.

Об'єктом дослідження самоорганізуюча безпроводна сенсорна система.

Предмет дослідження є модуль безпроводної сенсорної мережі, як елемент системи безпроводного збору даних.

Методи дослідження. Методи, методики та технології створення САУ процесами та комплексами різного призначення. Інструментальні засоби моделювання, планування, математичного, алгоритмічного і програмного забезпечення задач аналізу та синтезу складних розподілених у просторі гнучких комп'ютерно-інтегрованих систем.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що розробка самоорганізуючих сенсорних систем, адаптованих як для роботи від зовнішніх джерел живлення так і від автономних дозволяє проводити безперервний моніторинг відповідно до заданих параметрів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що для реалізації розробленої безпроводної системи збору даних потрібно порівняно небагато затрат, а ефективність керування виробничими процесами чи дослідницькими при цьому може суттєво покращитися.

Публікації. Кривий П.А. Побудови кореляційних моделей в сферичній системі координат / А.І. Сегін, О.І. Перхалюк, Д.В. Стельмашук // Збірник матеріалів конференції "Автоматизоване управління багатовимірними об'єктами на засадах обчислювального інтелекту".-Івано-Франківськ.- 2018. - с. 183-184.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ САМООРГАНІЗУЮЧИХ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

Безпроводні сенсорні мережі отримали великий розвиток останнім часом. Такі мережі, що складаються з множини мініатюрних вузлів, оснащених малопотужним прийомо-передавачем, мікропроцесором і сенсором, можуть зв'язати воедино глобальні комп'ютерні мережі і фізичний світ. Концепція бездротових сенсорних мереж привертає увагу багатьох вчених, дослідницьких інститутів і комерційних організацій, що забезпечило великий потік наукових робіт з даної тематики. Великий інтерес до вивчення таких систем обумовлений широкими можливостями застосування сенсорних мереж. Бездротові сенсорні мережі, зокрема, можуть використовуватися для передбачення відмови обладнання в аерокосмічних системах і автоматизації будівель. Через свою здатність до самоорганізації, автономності та високою відмовостійкості такі мережі активно застосовуються в системах безпеки і військових додатках. Успішне застосування бездротових сенсорних мереж в медицині для моніторингу здоров'я пов'язано з розробкою біологічних сенсорів сумісних з інтегральними схемами сенсорних вузлів. Але найбільшого поширення бездротові сенсорні мережі отримали в області моніторингу навколишнього середовища і живих істот.

1.1 Аналіз методів маршрутизації в безпроводних мережах

Розрізняють три види маршрутизації - просту, фіксовану і адаптивну. Принципова різниця між ними полягає в ступені обліку зміни топології і навантаження мережі при вирішенні завдання вибору маршруту[1,2].

Проста маршрутизація відрізняється тим, що при виборі маршруту не враховується ні зміна топології мережі, ні зміна її стану (навантаження). Вона не забезпечує спрямованої передачі пакетів і має низьку ефективність. Її перевагами є простота реалізації алгоритму маршрутизації і забезпечення стійкої роботи

мережі при виході з ладу окремих її елементів. Деяке практичне застосування отримали різновиди простої маршрутизації: випадкова і лавинна.

Особливість випадкової маршрутизації полягає в тому, що для передачі пакета з вузла зв'язку вибирається один, випадково вибраний вільний напрям. Пакет "блукає" по мережі і з кінцевою ймовірністю коли-небудь досягає адресата. При цьому не забезпечується ні оптимальний час доставки пакета, ні ефективне використання пропускної здатності мережі[4].

Лавинна маршрутизація (або: заповнення пакетами всіх вільних вихідних напрямків) передбачає передачу пакета з вузла по всім напрямками, крім того звідки пакет надійшов в даний вузол. Оскільки це відбувається в кожному вузлі, має місце явище "розмноження" пакета, що різко погіршує використання пропускної здатності мережі. щоб цього не відбулося, необхідно позначати копії пакета і знищувати в кожному вузлі де повторно проходять через нього дублікати. Основна перевага такого методу - гарантоване забезпечення оптимального часу доставки пакету адресату, так як з усіх напрямків, за якими передається пакет, хоча б один забезпечує такий час. Метод може використовуватися в ненавантажених мережах, коли вимоги щодо мінімізації часу і надійності доставки пакетів досить високі[2,4].

Фіксована маршрутизація характеризується тим, що при виборі маршруту враховується зміна топології мережі і не враховується зміна її навантаження. Для кожного вузла призначення напрямку передачі вибирається по таблиці маршрутів (каталогу), яка визначає найкоротші шляхи.

Каталоги складаються в центрі управління мережею. Вони складаються заново і модифікуються при зміні топології мережі. Відсутність адаптації до зміни навантаження призводить до затримок пакетів мережі. Розрізняють одношляхову і багатокільні різновиди фіксованої маршрутизації.

Перша будується на основі єдиного шляху передачі пакетів між двома абонентами, що пов'язане з нестійкістю до відмов і перевантажень, а друга - на основі кількох можливих шляхів між двома абонентами, з яких вибирається кращий шлях. фіксована маршрутизація застосовується в мережах з мало що змінюється топологією і усталеними потоками пакетів.

Адаптивною називається маршрутизація, при якій прийняття рішення про направлення передачі пакетів здійснюється з урахуванням зміни як топології, так і навантаження мережі. Існує кілька модифікацій адаптивної маршрутизації, що розрізняються тим, яка саме інформація використовується при виборі маршруту. Набули поширення такі модифікації як локальна, розподілена, централізована і гібридна маршрутизації.

Локальна адаптивна маршрутизація базується на використанні інформації, наявної в даному вузлі і включає: таблицю маршрутів, яка визначає всі напрямки передачі пакетів з цього вузла; дані про стани вихідних ліній зв'язку (працюють або не працюють); довжину черги пакетів, які мають бути надіслані. Інформація про стан інших вузлів зв'язку не використовується. Таблиця маршрутів визначає найкоротші маршрути, забезпечують доставку пакета адресату за мінімальний час.

Перевага такого методу полягає в тому, що прийняття рішення про вибір маршруту проводиться з використанням самих останніх даних про стани вузла. Недолік методу в його "короткозорості", оскільки вибір маршруту здійснюється без урахування глобального стану всієї мережі[4].

Отже, завжди є небезпека передачі пакета по перевантаженому маршруту. Розподілена адаптивна маршрутизація базується на використанні інформації, зазначеної для локальної маршрутизації, і даних, одержуваних від сусідніх вузлів мережі. У кожному вузлі формується таблиця маршрутів (каталог) до всіх вузлів призначення, де вказуються маршрути з мінімальним часом затримки пакетів. До початку роботи мережі цей час оцінюється виходячи з топології мережі. В процесі роботи мережі вузли періодично обмінюються з сусідніми вузлами, так званими таблицями затримки, в яких вказується навантаження (довжина черги пакетів) вузла. Після обміну таблицями затримки кожен вузол перераховує затримки і коригує маршрути з урахуванням даних, що надійшли і довжини черг в самому вузлі. Обмін таблицями затримки може здійснюватися не тільки періодично, але і асинхронно в разі різких змін навантаження або топології мережі. Облік стану сусідніх вузлів при виборі маршруту істотно підвищує ефективність алгоритмів маршрутизації, але це досягається за рахунок збільшення навантаження мережі

службовою інформацією. Крім того, відомості про зміну стану вузлів поширюються по мережі порівняно повільно, тому вибір маршруту проводиться за дещо застарілим даними. Централізована адаптивна маршрутизація характеризується тим, що завдання маршрутизації для кожного вузла мережі вирішується в центрі маршрутизації (ЦМ). Кожен вузол періодично формує повідомлення про свій стан (довжині черг і працездатності ліній зв'язку) і передає його в ЦМ. За цими даними в ЦМ для кожного вузла складається таблиця маршрутів. Природно, що передача повідомлень в ЦМ, формування та надання таблиць маршрутів - все це пов'язане з тимчасовими затримками, отже, з втратою ефективності такого методу, особливо при великій пульсації навантаження в мережі. Крім того, є небезпека втрати управління мережею при відмові ЦМ. Гібридна адаптивна маршрутизація базується на використанні таблиць маршрутів, що розсилаються ЦМ вузлам мережі, в поєднанні з аналізом довжини черг у вузлах. Отже, тут реалізуються принципи централізованої та локальної маршрутизації. Гібридна маршрутизація компенсує недоліки централізованої маршрутизації (маршрути, що формуються центром, є дещо застарілими) і локальної ("короткозорість" методу) і сприймає їх переваги: маршрути центру відповідають глобальному стану мережі, а облік поточного стану вузла забезпечує своєчасність виконання завдання[4].

1.2 Протоколи маршрутизації БСМ

Протоколи маршрутизації відіграють значну роль в роботі бездротових сенсорних мереж (БСМ). Завдяки їм здійснюється самоорганізація вузлів і доставка пакетів оптимальними маршрутами відповідно до алгоритмів, декларованими в використовуваному в мережі Протоколі. За допомогою протоколів маршрутизації можна оптимізувати використання ресурсів сенсорної мережі, таких як витрата енергії, використання процесорного часу, пам'яті та ін.

Отже, застосування ефективних протоколів маршрутизації дозволяє максимізувати час життя мережі. Це дуже важливо для БСМ, оскільки вузли часто

є необслуговуваними, і час життя мережі визначається як часом від початку її роботи до моменту виходу з ладу першого вузла. У більшості випадків вихід з ладу вузлів мережі обумовлений виснаженням джерела енергії[3].

Протоколи маршрутизації в БСС вирішують такі завдання як:

1. Самоорганізація вузлів мережі (самоконфігурування, самовідновлення та оптимізація).
2. Маршрутизація і адресація вузлів.
3. Мінімізація енергоспоживання вузлів мережі і збільшення загального часу життя всієї мережі.
4. Збір і агрегація даних.
5. Швидкість передачі та обробки даних в мережі.
6. Максимізація зони покриття мережі.
7. Якість обслуговування (QoS).
8. Захист від несанкціонованого доступу.

Протоколи маршрутизації для БСС відповідають за підтримку маршрутів в мережі і повинні гарантувати надійний зв'язок навіть в жорстких несприятливих умовах. Багато протоколи маршрутизації, управління електроживленням, поширення даних, були спеціально розроблені для БСС, де енергозбереження є суттєвою проблемою, на вирішення якої спрямовано протокол. Інші ж були розроблені для загального застосування в бездротових мережах, але знайшли своє застосування і в БСС.

Протоколи маршрутизації для БСС можуть бути розділені на сім категорій, як показано в табл. 1.1.

Згідно з наведеною класифікацією, розглянуті деякі протоколи з наступних категорій:

Таблиця 1.1 – Протоколи маршрутизації БСМ

№	Категорія протоколів	Протоколи
1	Базовані на місцях розташуванні вузлів	MECH, SMECN, GAF, GEAR, Span, TBF, BVGF, GeRaF
2	Направлені на агрегацію даних	SPIN, Directed Diffusion, Rumor Routing, COUGAR, ACQUIRE, EAD, Information-Directed Routing, Gradient-Based Routing, Energy-aware Routing, Quorum-Based Information Dissemination, Home Agent Based Information Dissemination
3	Ієрархічні	LEACH, PEGASIS, HEED, TEEN, APTEEN
4	Базовані на мобільності	SEAD, TTDD, Joint Mobility and Routing, Data MULES, Dynamic Proxy Tree-Base Data Dissemination
5	Мульти-орієнтовані	Sensor-Disjoint Multipath, Braided Multipath, N-to-1, Multipath Discovery
6	Базовані на гетерогенності	IDSQ, CADR, CHR
7	Базовані на якості обслуговування (QoS)	SAR, SPEED, Energy-aware routing

1.2.1 Ієрархічні протоколи

Вся множина сенсорів в ієрархічних протоколах ділиться на кластери (групи, шари) - рисунок 1.1. Кожним кластером управляє спеціальний вузол, званий головним кластерним вузлом (ГКВ), який відповідає за координування передачі і маршрутизацію детектованих даних в своєму кластері, а також до базових станцій. Об'єднання в кластери дозволяє продовжити життя БСМ [1].

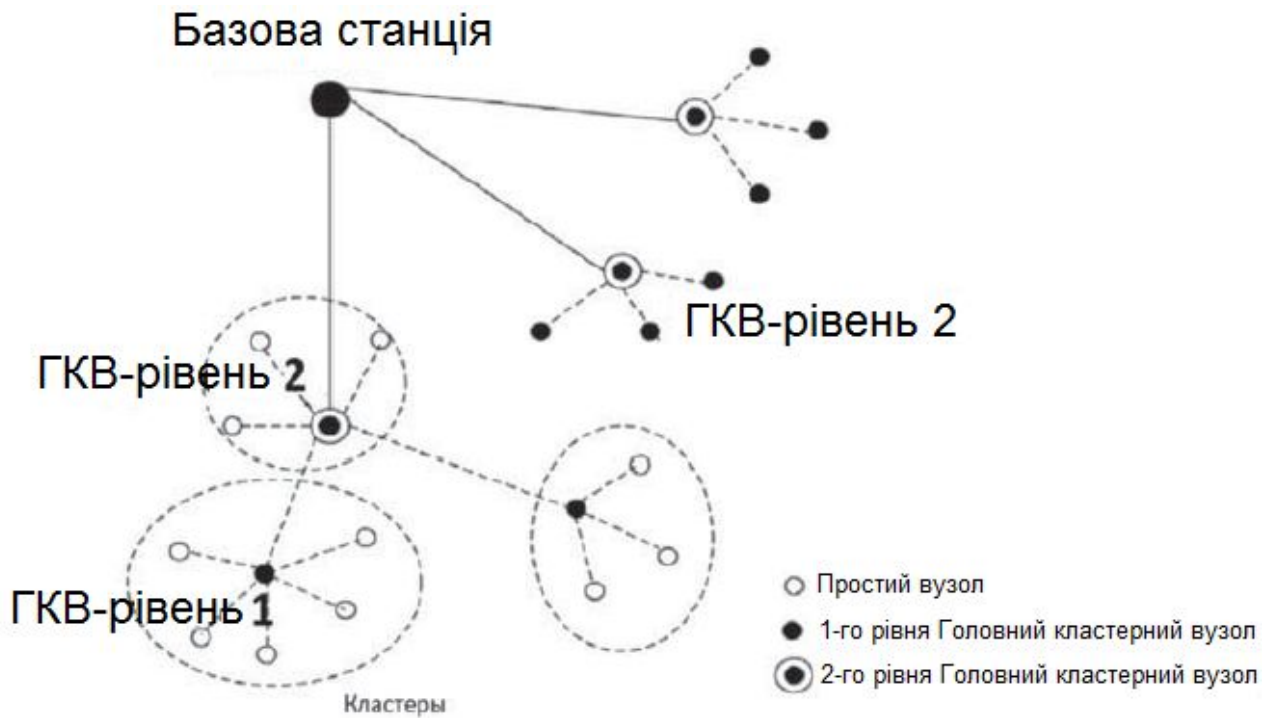


Рисунок 1.1 – Базована на кластерах ієрархічна модель

Low-energy adaptive clustering hierarchy (LEACH)

На початку роботи LEACH [2], вузли самоорганізуються в кластери за допомогою вибору головних кластерних вузлів (ГКВ), при цьому кожен вузол пропонує себе в якості ГКВ з певною ймовірністю. Після вибору ГКВ всі вузли починають передавати детектовані дані свого ГКВ. Таким чином, утворюються кластери на чолі з вузлами, яким передаються всі детектовані із зовнішнього середовища дані. Кожен ГКВ приймає дані, виконує їх обробку і відправляє на базову станцію (БС). Періодично в LEACH відбувається перевибір ГКВ на підставі випадкової вибірки високоенергоєфективних вузлів. В результаті відбувається перекластеризація, що необхідно для розподілу енергетичного навантаження по мережі.

Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems (PEGASIS)

PEGASIS [3] є розширенням протоколу LEACH, який формує ланцюги (рисунок 1.2) з сенсорних вузлів замість кластерів в LEACH так, щоб кожен вузол передавав і отримувал дані від сусіда. При цьому, тільки один вузол обирається з ланцюга для здійснення передачі даних на базову станцію (БС, приймач). Дані

агрегуються і переміщуються від вузла до вузла, з'єднуючись, і в кінцевому рахунку, потрапляючи на БС.



Рисунок 1.2 – Маршрутизація в PEGASIS

Hybrid, Energy-Efficient Distributed Clustering (HEED)

HEED[4,5] розширює базову схему протоколу LEACH, використовуючи залишкову енергію і рівень вузла або ж щільність як метрики для вибору кластера, з метою досягнення балансу енергії в кластерах. Відповідно до алгоритму, в HEED, періодично відбувається вибір головних кластерних вузлів згідно комбінації двох параметрів кластеризації. Основний параметр - остаточно енергія кожного сенсорного вузла (використовується в обчисленні ймовірності присвоєння йому статусу ГКВ), і другий параметр - внутрішньокластерна комунікаційна вартість як функція щільності кластера або ж використовується рівень вузла (тобто число сусідів). Основний параметр використовується для того, щоб ймовірно вибрати початковий набір головних кластерних вузлів, в той час як другий параметр використовується для того, щоб розірвати зв'язки.

Кластеризація HEED збільшує час життя краще, ніж LEACH, оскільки останній, випадково вибирає головні кластерні вузли (і, отже, розмір кластера), що може призвести до більш швидкого виходу з ладу деяких вузлів.

Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol (TEEN)

TEEN [6,7] є ієрархічним протоколом кластеризації, який групує сенсорні вузли в кластери з вибором відповідного ГКВ. При цьому використовується кілька ієрархічних рівнів кластерів зі своїм ГКВ відповідно, кожен з яких агрегує дані і передає ГКВ більш вищого рівня. На найвищому рівні ГКВ передають дані БС.

До важливих особливостей TEEN відноситься його придатність для роботи критичних по часу додатків для сенсорів. Крім того, так як передача повідомлення

витрачає більше енергії, ніж детектування даних. Однак, TEEN не підходить для збору даних, де існує необхідність в частій передачі повідомлень, так як користувач може взагалі не отримати дані, якщо пороги спрацьовування не досягнуті.

Adaptive Periodic Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol (ARTEEN)

ARTEEN - гібридний, заснований на кластеризації протокол маршрутизації, який є просунутою версією TEEN. У протоколі сенсорні вузли періодично передають свої дані і реагують на будь-яку раптову зміну значення вимірюваного параметру, повідомляючи про відповідне значення своїм ГКВ. Архітектура ARTEEN є такою ж як і в TEEN, використовуючи концепцію ієрархічної кластеризації для забезпечення енергоефективного зв'язку між сенсорами джерела і приймачем. ARTEEN підтримує три різних запити, а саме: історичний запит для аналізу попередніх значень даних; одноразовий запит для отримання знімка представлення мережі; постійні запити для моніторингу подій протягом заданого проміжку часу ARTEEN гарантує більш низьке енергоспоживання, ніж TEEN і більше число діючих сенсорних вузлів [8].

1.2.2 Протоколи, базовані на мобільності

Базовані на мобільності протоколи передбачають мобільність приймача. Тут висувається вимога гарантованої доставки даних, породжених сенсорами джерелами, мобільної БС.

Joint Mobility and Routing Protocol

В даному протоколі [9], сенсорні вузли, що оточують мобільну БС, в результаті її руху, змінюють своє місце розташування відносно неї протягом часу. При цьому кожен сенсорний вузол періодично може працювати в якості ретранслятора даних, які направляються до БС. Це дозволяє здійснювати балансування навантаження маршрутизації даних на всіх сенсорних вузлах.

У протоколі існує кілька стратегій руху БС, при цьому, передбачається, що поле з сенсорних вузлів - коло: рух по концентричних колах; переміщення в колах; симетрична стратегія (рух по границі мережі). Найбільш оптимальною в більшості випадків вважається остання стратегія.

Scalable Energy "Efficient Asynchronous Dissemination (SEAD)

У протоколі [21] поширення даних від сенсорів_джерел може здійснюватися до різних БС. Протокол складається з трьох головних компонентів: побудова дерева поширення (d_дерево); поширення даних; підтримання зв'язків з мобільними БС.

Передбачається, що сенсори знають про своїх власних географічних місцях розташування. Кожен сенсор_джерело будує своє дерево поширення даних, де коренем є він сам. Всі дерева поширення для всіх сенсорів_джерел будуються окремо.

Dynamic Proxy Tree-Based Data Dissemination

Протокол [11] будує дерево для кожного сенсора_джерела, що з'єднує його з декількома мобільними БС. При цьому, вважається, що самі сенсори_джерела стаціонарні, але цільові об'єкти детектування є мобільними. Внаслідок мобільності цільового об'єкта може змінитися сенсор_джерело, з якого БС отримує дані. Це відбувається при досягненні величини відстані деякого порога.

Отже, найближчий до цільового об'єкту сенсорний вузол може стати джерелом. Кожне джерело є проксі_джерелом. Аналогічне вірно для БС (приймачів). Джерело і проксі_приймачі є тимчасовими в тому сенсі, що вони змінюються в міру того, як змінюються джерела в залежності від положення цільового об'єкту, а також в залежності від того, як переміщаються приймачі. Проксі зменшують вартість передачі і запиту даних у джерела і проксі_приймачів.

Мультиорієнтовані (багатоколіїні) протоколи При розгляді передачі даних між сенсорами_джерелами і приймачами, мають місце бути дві парадигми маршрутизації: одношляхова маршрутизація і багатоколіїна маршрутизація. У одношляховій маршрутизації, кожен сенсор_джерело посилає свої дані до

приймача через найкоротший шлях. У багатокільній маршрутизації, кожен сенсор_джерело знаходить перші k найкоротших шляхів до приймача і ділить його навантаження рівномірно серед цих шляхів.

Disjoint Paths

Є [12,14] багатокільним протоколом маршрутизації незв'язаних сенсорів, де обчислюється кілька альтернативних шляхів передачі даних, у яких немає жодного спільного з основним маршрутом сенсорного вузла. В маршрутизації незв'язаних сенсорів, основний шлях є найкращим з наявних, тоді як альтернативні шляхи менш бажані, оскільки у них є більш тривалий час очікування. Незв'язність робить ці альтернативні шляхи незалежними від основного. Таким чином, якщо відмова відбувається на основному шляху, то це залишається локальною проблемою і не зачіпає ні один з альтернативних шляхів. Приймач може визначити, хто з сусідніх сенсорних вузлів може йому надати дані найвищої якості, де останнім характеризується низькими втратами або найменшій затримкою селевого флудинга. Хоча незв'язні шляхи гнучкіші до відмов сенсорів, вони можуть бути потенційно більш довгими, ніж основний шлях і, таким чином, менш енергозберігаючими.

Braided Paths

Є протоколом маршрутизації [13,14] з безліччю плетених шляхів, будучи в свою чергу версією протоколу Disjoint Paths з більш ослабленими правилами побудови альтернативних шляхів. Відмінність полягає в тому (рисунок 1.3), що альтернативні шляхи можуть включати в себе деякі вузли основного шляху.

При цьому, перед побудовою альтернативних шляхів, спочатку повинен бути обчислений основний маршрут. Таким чином, такі альтернативні шляхи називаються частково незв'язними шляхами.

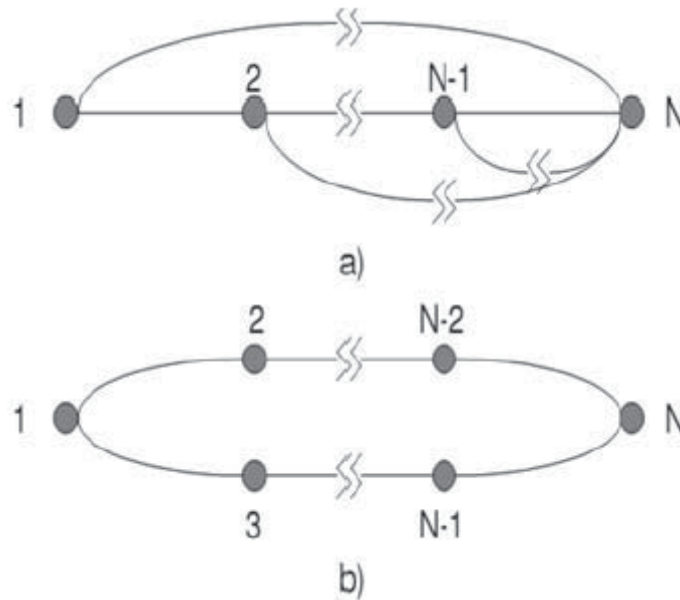


Рисунок 1.3 – Порівняння шляхів протоколів Disjoint Paths(a) і Braided Paths (b)

Базовані на гетерогенності протоколи

В архітектурі гетерогенної сенсорної мережі існує два типи сенсорних вузлів: сенсори з лінією живлення, які не мають ніякого обмеження енергії; сенсори з живленням від батареї, що мають обмеження часу роботи і, отже, повинні використовувати свій доступний енергоресурс економно, мінімізуючи витрати на обчислення і передачу даних.

Information "Driven Sensor Query (IDSQ)

У протоколі [13,14] для збереження енергії, необхідно, щоб в активному стані знаходилося тільки деяку підмножину сенсорів, які вводяться в дію в міру наявності в різних частинах мережі певних подій. Вибір підмножини активних сенсорів, у яких є найбільш корисна інформація, збалансований комунікаційної вартістю, необхідної між цими сенсорами. Корисна інформація може бути знайдена на основі апроксимації часу і простору, - де і коли можуть відбутися події. У протоколі IDSQ першим кроком повинен бути обраний один сенсор в якості ведучого в кластері сенсорів. Цей провідний буде відповідальний за оптимальний вибір сенсорів на підставі деякої міри службової інформації.

Cluster "Head Relay Routing (CHR)

Протокол передбачає формування гетерогенної мережі за допомогою використання двох категорій сенсорів: великої кількості низькоякісних і невеликої високоякісних. Перші позначаються як L, а останні як H. Всі сенсори мають інформацію про своїх місцях розташування. Протокол ділить мережу на кластери, які формуються за допомогою L_сенсорів, на чолі яких ставиться один з числа H_сенсорів. L_сенсори детектують дані і передають між собою за допомогою "мультихопів" на малі відстані до свого головного сенсора в рамках даного кластера, який обирається з числа H_сенсорів. Останні передають дані на далекі відстані до інших H_сенсорів, на шляху до приймача [15].

Ієрархічна маршрутизація є ефективним способом зниження споживання енергії всередині кластера, завдяки агрегуванню і злиттю даних. Це дозволяє зменшити кількість переданих повідомлень БС.

Ієрархічна маршрутизація є двошаровою. При цьому, один шар використовується для вибору ГКВ, а інший для маршрутизації. Базовані на мобільності протоколи дозволяють використовувати БС, в якості якої може служити пересувна техніка, планшетний, портативний комп'ютер і ін. Такі протоколи забезпечують гарантовану доставку даних до БС, яка може періодично виходити із зони досяжності БСС. Мультиорієнтування (багатоколіїні) протоколи є альтернативою одношляховій маршрутизації. Принцип роботи протоколів полягає у виборі декількох шляхів для доставки даних від джерел до БС. Внаслідок цієї особливості багатоколіїні маршрутизації - використання надлишкових шляхів, в значній мірі вирішуються проблеми, властиві одношляховій маршрутизації - це надійність, безпеку і балансування навантаження на один маршрут.

Базовані на гетерогенності протоколи ефективні при використанні в мережі двох типів вузлів - з необмеженим джерелом живлення і автономних.

Однією з головних проблем в розробці протоколів маршрутизації для БСМ є ефективність використання енергії, внаслідок обмежених енергетичних ресурсів сенсорних вузлів. Протокол повинен підтримувати працездатність мережі настільки довго, наскільки це є можливим, тим самим, продовжуючи час життя

мережі. При цьому, важливо помітити, що споживання енергії, в основному, переважає під час прийому або передачі даних.

Таким чином, протоколи маршрутизації в БСМ повинні забезпечувати збереження енергії настільки, наскільки це можливо, для того щоб продовжити час життя окремих вузлів, і отже, час життя всієї мережі.

Другою проблемою є забезпечення самоорганізації, при якій в роботу мережі буде включено якомога більше вузлів. При цьому, кінцевою метою є залучення всіх вузлів мережі. Ця проблема виникає, оскільки при дислокації вузлів в цільову область, внаслідок перешкод, можливі проблеми з виявленням вузлами один одного і в результаті, невірної або неповної самоорганізацією мережі.

Важливим аспектом є відповідність використовуваного протоколу маршрутизації розв'язуваної задачі. Отже, необхідний правильний вибір протоколу в залежності від умов, в яких передбачається його робота, а також тип і спосіб збору, обробки і передачі даних.

1.3 Стандарт IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 - стандарт, який визначає фізичний шар і управління доступом до середовища для бездротових персональних мереж з низьким рівнем швидкості. Стандарт підтримується робочою групою IEEE 802.15. Є базовою основою для протоколів ZigBee, WirelessHART, і MiWi, кожен з яких, в свою чергу, пропонує рішення для побудови мереж за допомогою побудови верхніх шарів, які не регламентуються стандартом. В якості альтернативи він може бути використаний спільно зі стандартом 6LoWPAN і стандартними протоколами Інтернету для побудови вбудованого бездротового Інтернету.

Мета стандарту IEEE 802.15 - запропонувати нижні шари основи мережі для мереж типу бездротових персональних мереж, орієнтованих на низьку вартість, низьку швидкість зв'язку між пристроями (за контрастом з багатьма більш кінцево-орієнтованих на користувача мережами, як наприклад Wi-Fi). Акцент

робиться на дуже низькій вартості зв'язку з найближчими пристроями, зовсім без (або з невеликою) базовою структурою, з метою експлуатації на досі небувалому низькому рівні енергії.

Основний межа прийому - 10-метрова область зв'язку зі швидкістю передачі 250 кбіт/с. Компроміси можливі на користь більш радикально вбудованих пристроїв з ще більш низькою потребою в енергії, шляхом визначення не одного, а декількох фізичних рівнів. Спочатку були визначені низькі швидкості передачі в 20 і 40 кбіт/с, швидкість в 100 кбіт/с була додана в поточному перевипуску.

Ще більш низькі швидкості передачі можуть бути розглянуті з результиуючим ефектом зниження енергоспоживання. Як уже згадувалося, головною відмітною особливістю стандарту 802.15.4 серед бездротових персональних мереж важливим є низька вартість виробництва і витрат по експлуатації, простота технології.

В ряду найважливіших функцій знаходяться забезпечення роботи в режимі реального часу за допомогою збереження часових слотів, запобігання одночасного доступу і комплексна підтримка захисту мереж. Пристрої також включають функції управління витратою енергії, такі як якість з'єднань і детектування енергії. Сумісні зі стандартом 802.15.4 пристрої можуть використовувати одну з трьох можливих частотних смуг для роботи.

архітектура протоколу

Пристрої розроблені з метою взаємодії один з одним за допомогою зрозумілої простої бездротової мережі. Визначення шарів мережі базоване на мережевий моделі OSI, хоча тільки нижні шари визначені в стандарті, взаємодія з верхніми шарами передбачається, з можливим використанням підрівнів управління логічним зв'язком, допускаючи MAC крізь підрівень збіжності. Реалізовані пристрої можуть покладатися на зовнішні пристрої або бути просто вбудовані як самостійно функціонуючі пристрої.

фізичний шар

Фізичний шар, в кінцевому рахунку, надає послуги передачі даних, також як і інтерфейс організації управління фізичним шаром і забезпечує базу даних інформації відповідної персональної мережі. Таким чином фізичний шар управляє

трансиверною радіостанцією і виконує вибір каналів і енергії і сигнальні функції управління. Він працює в одній з трьох можливих неліцензованих радіочастотних смугах.

- 868.0-868.6 МГц: Європа, дозволяється один канал зв'язку (2003, 2006)
- 902-928 МГц: Північна Америка понад десять каналів (2003), розширено до тридцяти (2006)
- 2400-2483.5 МГц: використовується в усьому світі понад шістнадцять каналів (2003, 2006)

Первісна версія 2003 стандарту визначає два фізичних шари, базованих на широкосмуговій модуляції з прямим розширенням спектру, один працює на смузі 868/915 МГц зі швидкістю передачі в 20 і 40 кбіт/с, а інший на смузі 2450 МГц зі швидкістю 250 кбіт/с.

Перевипуск 2006 підвищує максимальні швидкості передачі даних на частотах 868/915 МГц, також надаючи їм швидкості в 100 і 250 кбіт/с. Крім того, він йде далі, визначаючи чотири фізичні рівня в залежності від методу модуляції. Три з них зберігають підхід широкосмугового модуляції, в діапазоні 868/915 МГц використовується як двійкова так і квадратурна фазова маніпуляція (остання виглядає більш оптимальною) в діапазоні 2450 МГц. Як альтернатива оптимальний шар на частоті 868/915 МГц визначається використовуючи комбінацію двійкового кодування і амплітудної маніпуляції (таким чином, на основі паралельного, а не послідовного розширення спектру). Можливо динамічне перемикання між підтримуваними шарами 868/915 МГц.

Крім цих трьох діапазонів IEEE 802.15.4c дослідницька група IEEE 802.15.4c бере до уваги недавно відкриті діапазони 314-316 МГц, 430-434 МГц, і 779-787 МГц в Китаї, в той час як цільова група IEEE 802.15.4d визначає поправку до існуючого стандарту 802.15.4-2006 щоб підтримувати новий діапазон 950-956 МГц в Японії. Перші поправки до стандарту, внесені цими групами були випущені в квітні 2009.

У серпні 2007 IEEE 802.15.4a розширила чотири фізичні шару доступних в ранній версії 2006 до шести, включаючи один фізичний шар, який використовує послідовну радіо-технологію для високошвидкісної передачі даних Ultra-wideband

(UWB) та іншу, яка використовує частотне розширення спектра (CSS). Фізичний шар UWB виділено частотами в трьох діапазонах: нижче 1 ГГц, між 3 і 5 ГГц, і між 6 і 10 ГГц. На фізичний шар CSS виділений спектр в смузі 2450 МГц діапазону ISM.

У квітні 2009 стандарти IEEE 802.15.4c і IEEE 802.15.4d розширили доступні фізичні шари додавши кілька шарів, один з додаткових для частоти 780 МГц використовуючи квадратурну фазову маніпуляцію (Quadrature phase-shift keying, QPSK) або фазову маніпуляцію більш високих порядків (M-PSK), іншу для частоти 950 МГц, використовуючи Гаусову частотну маніпуляцію (Gaussian frequency-shift keying, GFSK) або двійкову фазову маніпуляцію (Binary phase-shift keying, BPSK).

шар MAC

Шар механізму доступу (Media Access Control, MAC) дозволяє передачу фрагментів даних структури MAC за допомогою використання фізичного каналу. Крім інформаційних послуг він пропонує управління інтерфейсом і сам по собі управляє розміщенням маячків на каналах. Він також контролює перевірку фрагментів структури, гарантує множинний доступ з поділом за часом і управляє зв'язками вузлів. Нарешті він пропонує точки-пастки для послуг безпеки.

вищі шари

Стандарт не визначає інші вищі шари і сумісність проміжних шарів. Існують специфікації, такі як ZigBee, побудовані на даному стандарті для того, щоб пропонувати інтегральні рішення. Стеки TinyOS також використовують деякі види апаратного забезпечення IEEE 802.15.4.

модель мережі

типи вузлів

Стандарт визначає два типи вузлів мережі: перший - повнофункціональний пристрій (FFD). Воно може служити як координатор персональних мереж, так само може функціонувати в якості загального вузла. Він реалізує загальну модель зв'язку, яка дозволяє спілкуватися з іншими пристроями, також може передавати далі повідомлення, в цьому випадку він називається координатором (координатор PAN, коли він відповідає за всю мережу).

Інший - пристрої з полегшеними функціями. Визначення означає надзвичайно прості пристрої з дуже скромним ресурсом і вимогами до мережі, в зв'язку з цим вони можуть тільки зв'язуватися з повнофункціональними пристроями і ніколи не можуть діяти в якості координаторів.

топології

Мережі можуть бути побудовані як по часовій (рівноправній) структурі так і по зірці. Однак у кожній мережі повинен бути щонайменше один повнофункціональний пристрій для роботи в якості координатора. Таким чином мережі формуються групами пристроїв, розділених на відповідні дистанції. Кожен пристрій має унікальна 64-бітний номер і якщо дозволяють деякі умови короткий 16-бітний ідентифікатор, який використовується в обмеженому середовищі. А саме, в межах кожного домена PAN, зв'язку, ймовірно, використовують короткі ідентифікатори.

Однорангові мережі можуть формувати довільні структури з'єднань і їх розширення обмежені тільки дистанцією між кожною парою вузлів. Вони покликані служити в якості основи для бездротових самоорганізуючих мереж, здатних до управління і організації. З того часу як стандарт не визначає шар мережі, маршрутизація не підтримується прямо, але такий додатковий шар може здійснити підтримку для мультихопових мереж. Можуть бути додані топологічні обмеження, стандарт згадує про дерево кластерів, так як структура, яка використовує факт, що RFD можуть тільки бути пов'язаними з одним FFD під час формування мережі, де RFD є виключно листям дерева, і більшість вузлів є FFD. Структура може бути розширена в якості загальної коміркової мережі, в якій вузли дерева кластерів з локальним координатором для кожного кластера. До того ж для глобального координатора.

Також підтримується більш структурований шаблон зірки, де координатор мережі обов'язково повинен бути центральним вузлом. Така мережа може виникнути, коли FFD вирішує створити свій власний PAN і оголосити себе його координатором, після вибору унікального ідентифікатора PANa. Після цього інші пристрої можуть приєднатися до мережі яка повністю незалежна від інших мереж зіркової структури.

Архітектура передачі даних

Фрагменти даних - основа для передачі даних, яка здійснюється за чотирма основними типами: (дані, підтвердження, маячок і фрагменти команд механізму доступу), що забезпечує розумний баланс між простотою і міцністю. До того ж може використовуватися суперфрагментна структура обумовлена координатором, в цьому випадку два маячка діють як її межі і забезпечують синхронізацію інших пристроїв, також як і інформацію про конфігурацію. Суперфрагмент складається з шістнадцяти слотів однакової довжини, які можуть бути в подальшому розділені на активну і неактивну частини, в ході яких координатор може входити в енергозберігаючий режим, в якому не потрібно контроль мережі.

Затвердження меж суперфрагментів проводиться системою CSMA/CA. Кожна передача повинна закінчуватися перед появою подальшого маячка. Як згадувалося вище додатки що потребують чітко визначеної ширини діапазону можуть використовувати сім областей з однієї або більше беззмістових гарантованих областей множинного доступу йдуть в кінці суперфрагменту. Зазвичай суперфрагменти використовуються при роботі пристроїв з низьким прихованим станом, чий зв'язки повинні зберігатися, навіть протягом довгого періоду неактивності.

Передачі даних до координатора вимагають фази маячкових синхронізацій, за допомогою передачі режиму CSMA/CA, якщо це можливо (за допомогою множинного доступу, якщо використовуються суперфрагменти), сигнал підтвердження необов'язковий. Передача даних від координатора зазвичай супроводжує запити до пристроїв, якщо маячки використовуються, то використовуються сигнали-запити, координатор підтверджує запит і позику посилає інформаційні пакети, які підтверджуються пристроєм. Те ж відбувається, якщо суперфрагменти не використовуються, тільки в цьому випадку немає маячків, щоб зберігати шляхи передачі інформації. Однорангові мережі можуть також використовувати режим CSMA/CA або механізми синхронізації, в цьому випадку зв'язок між двома пристроями можливий, в той час як в «структурованих» режимах один з пристроїв має бути координатором мережі.

Загалом всі наступні процедури супроводжуються звичайним запитом-підтвердженням/індикацією-класифікацією відповіді.

Надійність і безпека

Фізичний носій можна отримати через протокол CSMA/CA. Мережі, які не використовують маячковий механізм використовують варіант, базований на прослуховуванні носія, який зазнав впливу алгоритму зниження швидкості передачі, підтвердження не підкоряються цим порядком. Загальна передача даних використовує вільні слоти, де використовуються маячки, процес не супроводжується підтвердженнями.

Повідомлення про підтвердження можуть носити необов'язковий характер при деяких обставинах, якщо зроблено припущення про успіх. У будь-якому випадку якщо пристрій не може обробити фрагмент в даний момент, він просто не підтверджує його отримання: ретрансляція базована на перерві може виконатися кілька разів, супроводжуючи після цього рішення або припинити або продовжити спроби.

Так як передбачене обладнання для цих пристроїв вимагає максимального збільшення життя батарей, для протоколів вибираються методи які цьому сприяють, здійснюють періодичні перевірки для очікування повідомлень, частота яких залежить від застосування.

Що стосується захисту зв'язків, підрівень MAC пропонує можливості, які можуть бути використані в верхніх шарах для досягнення бажаного рівня безпеки. Процеси в верхніх шарах можуть визначати ключі для виконання симетричної криптографії для захисту навантаження і обмеження її для груп пристроїв або просто для часового зв'язку, ці групи пристроїв можуть бути описані в списках контролю доступу.

Крім того MAC обчислює давність перевірки між послідовними прийомами для запобігання можливого виходу старих кадрів, дані яких (які більше не вважається дійсними) не виходять на більш високі рівні. На додаток до цього захищеному режиму захисту є інший незахищений режим MAC, який дозволяє списки контролю доступу тільки як засіб для вирішення про прийняття фрагментів відповідно до їх передбачуваного джерела.

2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЗБОРУ ДАНИХ НА БАЗІ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ

2.1 Розробка структури охоронно-пожежної системи на основі сенсорної мережі

Основу бездротової мережі утворюють інтелектуальні об'єктні системи (ОС), що складаються з двох незалежних систем передачі:

- високошвидкісна мережа передачі даних, наприклад, в діапазоні 2,4 ГГц, із застосуванням широкодоступних апаратних засобів сенсорів, прийомо-передавачів, включаючи спеціалізовані охоронно-пожежні модулі з WiFi;
- захищена радіомережа із застосуванням шумоподібних сигналів, що працює в іншому частотному діапазоні. Захист даних передбачає завадостійке і криптостійке кодування інформаційних повідомлень.

Таким чином кожна ОС має основний і резервний модулі передачі інформації. У разі відмови основної (високошвидкісної) системи передачі інформації, функціонування охоронно-пожежної мережі здійснюється із застосуванням захищених каналів зв'язку.

В рамках роботи розробляється ОС, що забезпечує введення, обробку, кодування і передачу даних від сенсорів і сенсорів охоронного і пожежного призначення (на практиці ОСs кодує і передає вимірювальні і звукові сигнали, вихідні дворівневі сигнали і послідовності вихідних даних датчиків, сенсорів).

Основу ОС утворюють мікроконтролери (STM32F417 на ядрі Cortex-M4 з FPU, що дозволяють працювати з DSP інструкціями, мають 24 каналні 12-бітові АЦП, комунікаційні інтерфейси USB, UART, I2C, SPI, контролер камери і зовнішньої пам'яті, модуль шифрування), які реалізують :

- стиснення і криптозахист даних моніторингу;
- завадостійке кодування даних;
- накопичення даних моніторингу в об'єктний flash-накопичувач;
- формування кодово-сигнальних послідовностей пакетів даних, що підлягають передачі по каналах:
- сенсорні радіомережі ISM діапазону радіочастот;

- мереж передачі даних Wi-Fi, GSM, CDMA і ін.

Перевагою ОС є реалізація в місцях установки охоронних систем комплексу взаємодоповнюючих алгоритмів оперативного стиснення і захисту (крипто - і завадо-) даних, оптимізованих за швидкодією і точністю кодування даних, накопичення і передачі даних моніторингу з урахуванням використання низькошвидкісних каналів зв'язку сенсорних мереж з каналною швидкістю сотні Кбіт/с - одиниці Мбіт/с, застосування технології самоорганізації передачі пакетів даних з виходом до засобів ретрансляції даних моніторингу на великі відстані (Застосування роутерів з направленими антенами, вихід на мережі Wi-Fi і ін.). В результаті на великих територіях охоронні об'єкти охоплюються за допомогою спеціалізованих засобів сенсорних мереж і стандартних мереж передавання даних (WLAN, GSM, CDMA і ін.) Таким чином, в радіоканалах направляються компактні криптостійкі і завадодостійкі дані моніторингу у вигляді псевдохаотичних даних. У разі виявлення підвищеної шумової обстановки в радіоканалах (відсутності зв'язку між ОС, роутерами, абонентськими системами і центральною станцією охоронної мережі) абоненти сенсорної мережі переходять в режим передачі даних шумоподібним сигналами з адаптивною базою. При цьому компактні, пакети даних передаються по одному з альтернативних шляхів доставки (передачі) моніторингових даних абонентам верхнього рівня охоронної мережі.

Мережу утворюють об'єктні системи, які представляють собою малогабаритні (портативні пристрої з автономним живленням) абонентські системи локально-регіональної радіомережі, що встановлюються поблизу місць збору, обробки, кодування і передачі моніторингової інформації (точок знімання контрольованих даних). ОС встановлюється біля кожної точки знімання моніторингових даних або поряд є ще кілька точок знімання. Контрольовані сигнали або вихідні дані відповідних сенсорів через сполучні пристрої надходять в модуль ОС, і далі, відповідно до протоколу передачі даних, передаються на центральний сервер підприємства.

Структура радіомережі представлена на рис. 2.1. Мережа розгортається на території порту. Контрольована інформація від ОС, розподілених по точках

знімання інформації, передається в межах ближньої зони радіозв'язку (десятки - сотні метрів), тобто в межах осередку сенсорної мережі, яку утворюють сусідні ОС. Передача інформації в осередку здійснюється в режимі передачі коротких повідомлень (пакетів інформації) "від сусіда до сусіда", при цьому кожен портативний пристрій мережі має зв'язок з відповідною кількістю сусідніх ОС. Таким чином, в осередкових мережах забезпечуються умови для формування альтернативних шляхів передачі пакетів інформації. За рахунок цього забезпечуються різні шляхи доставки контрольованих даних в віддалений сервер, що підвищує надійність роботи моніторингової мережі.

Рисунок 2.1 - Структура радіомережі охоронно-пожежного моніторингу віддалених об'єктів

Контрольована інформація від віддалених ОС передається через роутери (Р) сенсорних мереж (проміжних ОС) для ретрансляції пакетів інформації до абонентських систем мереж загального застосування. Живлення роутерів здійснюється з використанням автономних або стаціонарних засобів електроживлення. В результаті розгортання розподілених на заданій території ОС

сенсорних мереж забезпечуються умови надійної передачі пакетів абонентам верхнього рівня локально-регіональної мережі, який утворюють засоби міжмережевої взаємодії (точок доступу мереж Wi-Fi, абонентські системи з доступом до ресурсів мереж Intranet, Internet).

Моніторингова мережа складається з двох рівнів: нижнього, що утворюються з ОС, розташованих на об'єктах, і верхнього, що утворюються з абонентських систем, на які передається вся контрольована інформація.

Як правило, при нормальній охоронно-пожежної ситуації віддалені ОС із заданою періодичністю передають абонентам верхнього рівня охоронної мережі. При виникненні ненормальної охоронно-пожежної ситуації на об'єктах (за результатами спрацювання відповідних сенсорів) з урахуванням завантаженості каналів зв'язку на верхній рівень охоронної мережі передаються пакети даних поточного стану об'єктів.

2.2 Розроблення структур безпроводного модуля системи збору даних

Для систем збору даних: контролю різноманітних параметрів, збір даних про оточуючу обстановку запропонована наступна структура безпроводного радіомодуля, яка наведена на рисунку 2.2.

В завдання об'єктного модуля входить збір моніторингової інформації з сенсорів; аналіз даної інформації, визначення рівня її важливості, наприклад в системі охоронно-пожежної сигналізації, якщо інформація надходить не з дискретних сенсорів, а аналогових, та передавання її до центральної станції для подальшого аналізу та обробки.

Рисунок 2.2 - Структурна схема модуля вводу, обробки і передавання інформації

На структурній схемі можна виділити наступні функціональні блоки: мікроконтролер, який призначений для обробки інформації та керування роботою модуля, радіомодуль для передавання та прийому інформації та автономне джерело живлення, яке забезпечує енергією даний модуль.

Для вводу інформації використовуються аналогові і цифрові входи, так на цифрові входи подаються сигнали від дискретних сенсорів, наприклад геконів, які сигналізують про відкриття вікон чи дверей, сенсорів диму і т.д., на аналогові входи подаються відповідно різноманітні сигнали від аналогових сенсорів: наприклад сенсору рівня CO₂, CO, CH₄.

Що дозволяє не тільки сигналізувати про небезпеку, але й встановлювати клас цієї небезпеки.

Також окрім сигналізаційних сенсорів до модуля можна також під'єднувати різноманітні інформаційні сенсори, наприклад сенсори температури, вологості, освітленості і т.д., що дозволяє його використовувати як універсальний модуль збору інформації.

Для можливості роботи системи в режимі моніторингу, при якому значна частина інформації не є необхідною для передавання в реальному часі, а може

просто фіксуватися та надаватися за запитом. Наприклад графіки зміни температури і вологості, можна записувати її в флеш пам'ять та передавати її одним пакетом, або за запитом, що дозволить зберегти енергію сенсора при роботі від автономного джерела живлення. Дана структурна схема такого модуля наведена на рисунку 2.3.

Рисунок 2.2 - Структурна схема модуля з додатковою пам'ятю

На даній структурі на додано флеш-пам'ять та радіомодуль DP1203. Флеш-пам'ять призначена для зберігання результатів моніторингу та різних таблиць додаткової обробки даних, якщо їх розмір не дозволяє розміщувати їх у внутрішній пам'яті мікроконтролера. Радіомодуль DP1203 підтримує низько швидкісну передачу інформації на частоті 433МГц, а також підтримує режим роботи з DSSS, з використанням кодів Баркера для кодування інформаційних сигналів, що дозволяє виконувати передавання і прийом даних в умовах високого рівня завад.

2.3 Розроблення структури абонентської станції

Абонентська станція призначена, як для роботи в якості роутера сенсорної мережі, оскільки її встановлення зазвичай передбачає наявність зовнішнього джерела живлення, а акумулятор використовується лише у випадках пропадання основного живлення. Також дана станція призначена для ретрансляції даних з сенсорів в комп'ютерну мережу чи мережу інтернет.

Структура даної станції наведена на рисунку 2.3

Рисунок 2.3 – Структура абонентської станції з можливістю ретрансляції через мережу WiFi чи Ethernet

В структуру даного модуля окрім радіомодуля сенсорної мережі входять модулі WiFi та Ethernet які дозволяють виконувати ретрансляцію даних з сенсорної мережі в мережу інтернет чи комп'ютерну мережу.

Також оскільки робота модулів WiFi та Ethernet потребує значних енергозатрат то в модулі передбачає наявність безперебійного джерела живлення, яке дозволяє деякий час працювати модулю при відсутності основного живлення.

3 РЕАЛІЗАЦІЯ МОДУЛІВ БЕЗПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ

3.1 Аналіз елементної бази

Для побудови об'єктних систем був обраний мікроконтролер фірми ST Microelectronic ST32F103VGT6. Структура цієї лінійки мікроконтролерів зображена на рисунку 3.1.

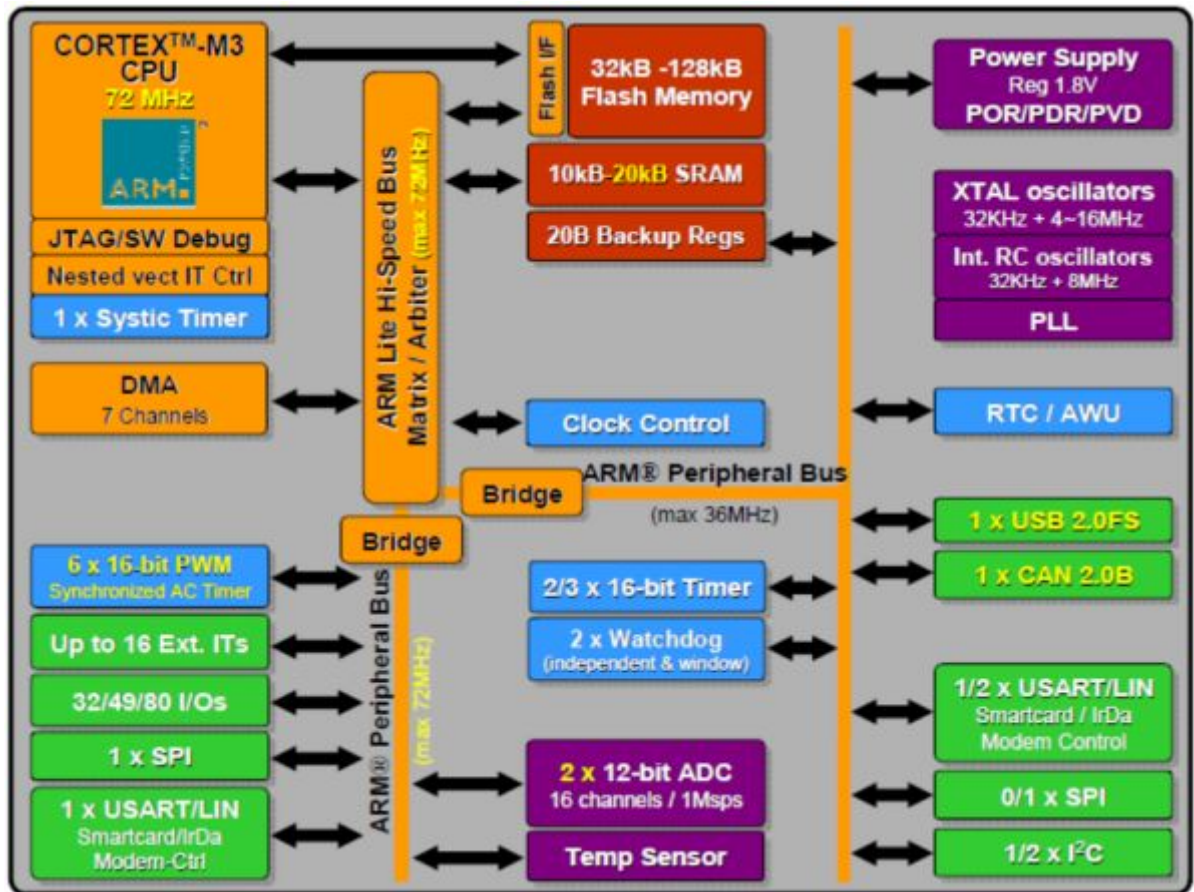


Рисунок 3.1 - Структура мікроконтролера STM32

При цьому крім потужного процесорного 32 розрядного ядра Cortex-M3 також слід виділити потужний набір периферії:

- до п'яти USART 4,5Мбіт / с з функціями LIN master/slave, ISO7816, IrDa, Modem Control;
- до трьох SPI 18МГц master/slave, SD/MMC;
- до двох I2C SMBus/PMBus;
- до чотирьох 16-розрядних таймерів;

- до двох розширених ШІМ-таймерів з виробленням комплементарних ШІМ-сигналів і генерацією часу затримки включення (dead time) по 4ІС/ОС або 6 ШІМ-сигналів з дозволом 13,8нс кожен;

- до трьох АЦП до 21 каналу з 12-розрядних дозволом і часом вибірки 1мкс;

- ЦАП двоканальний 12-розрядний;

- I2S master/slave з частотою вибірки від 8 до 48кГц;

- SDIO-інтерфейс для SD (Secure Digital), SDIO (Secure Digital Input / Output) і MMC (Multi-Media Card);

- FSMC- гнучкий контролер статичної пам'яті. Інтерфейс для роботи з NOR і NAND flash, SRAM. Дозволяє виконувати код з зовнішньої пам'яті.

Також слід зазначити таку важливу деталь мікроконтролерів цієї фірми як підтримка pin to pin сумісності. Що дозволяє в межах одного корпусу використовувати різні контролери, наприклад серії STM32F2 ядро якого має тактову частоту 120МГц або навіть STM32F4 де використовується ядро Cortex M4 з частотою 168МГц.

Наприклад, мікроконтролер STM32F407 який має ARM ядро Cortex M4, робочу частоту 168МГц, 3х12-бітних багатоканальних АЦП, 1Мб ПЗУ и 192кб ОЗУ, а також математичний модуль для роботи з числами з плаваючою точкою. На рисунку 3.2 представлений зовнішній вигляд мікроконтролера.



Рисунок 3.2 - Зовнішній вид мікроконтролера STM32F407VGT6

Що дозволяє попередньо виконувати складну цифрову обробку вхідних сигналів з контрольованих датчиків.

При цьому, незважаючи на використання 3-х вольтів живлення для значного числа виводів є режим сумісності з 5 вольтовими рівнями сигналів.

Для роботи системи безпроводної системи охоронно-пожежної сигналізації окрім самих модулів, які забезпечують роботу мережі, необхідно оснастити їх відповідними сенсорами, які забезпечать достатню про стан об'єктів контролю.

Димові протипожежні сповіщувачі

Принцип роботи димових датчиків досить простий. Він являє собою свого роду очима протипожежної системи сигналізації. Це прилад, структура якого включає в себе світлодіод, а також приймач, який відповідає за управління його роботою. Перший елемент призначений для вироблення світлових імпульсів, причому навіть в тій ситуації, коли диму мінімальна кількість. В цьому випадку фотоприймач приймає незначний обсяг енергії, за рахунок чого виробляється сигнал першого рівня.

Коли відбувається спалах і виникає дим, він надходить в основний елемент оптичної камери і за рахунок цього процесу починає функціонувати фотоприймач. При виникненні сигналу останнього рівня на пульт сигналізації надходить сповіщення про виникнення пожежі. Варто звернути увагу, що існують найрізноманітніші модифікації сенсорів диму: вони розрізняються своїми технічними параметрами, а також функціональними особливостями зовнішній вигляд сенсорів диму наведено на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд сенсору диму

Для забезпечення систем охоронної сигналізації існують наступні типи сенсорів:

- об'ємний сенсор або сенсор руху;
- магнітно-контактний сенсор або датчик відкриття;
- радіохвильовий сенсор;

- сенсор розбиття скла.

Принцип роботи теплового сенсора руху базується на визначенні температури об'єкта, яка відрізняється від температури навколишнього середовища. Інфрачервоне або теплове випромінювання фокусується спеціальною оптичною системою і направляється на чутливий напівпровідниковий елемент, який називається PIR-сенсор.

Для того щоб сенсор не реагував на нагріті, але нерухомі об'єкти типу радіаторів опалення, лінзи розбивають зону чутливості датчика на кілька окремих променів. У горизонтальній площині, діаграма чутливості інфрачервоного сенсора найбільше нагадує розгорнуте віяло. Сенсор спрацює в тому випадку, якщо об'єкт послідовно перетне кілька променів. За підрахунок числа імпульсів відповідає мікроконтролер пристрою.

Теплове випромінювання об'єкта викликає зміну електричного потенціалу PIR-сенсора. Схема порівняння або компаратор фіксує різницю між температурою навколишнього середовища і температурою об'єкта. Ця різниця обробляється за певним алгоритмом і в кінцевому підсумку викликає спрацювання реле, що вмикає сигнал тривоги.

Таким чином, для спрацювання інфрачервоного детектора руху необхідне дотримання двох умов:

Об'єкт повинен випускати теплове випромінювання

Об'єкт повинен переміщатися

Одним з важливих параметрів, що впливають на роботу теплових сенсорів, є швидкість руху фізичного тіла. Пересування з дуже малою швидкістю може не зафіксуватися, як порушення контрольованої зони. Зовнішній вигляд сенсора руху наведено на рисунку 3.4



Рисунок 3.4 – Сенсор руху. Зовнішній вигляд

Для контролю відкривання дверей чи вікон використовуються магнітоконтактні сенсори (рисунок 3.5).

Сенсор магнітного типу, складається з двох елементів, кожен з яких поміщений в власний корпус. Один елемент це геркон, а другий - постійний магніт. Геркон або герметичний контакт являє собою дві або три пластини з залізонікелевого сплаву пермалой, який володіє високою магнітною проникністю. Вузькі і тонкі пластини з пермалою запаяні в скляну ампулу, яка заповнена азотом або інертним газом.



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд магнітоконтактних сенсорів

Пластини розташовані паралельно і утворюють контактну пару. Контакти можуть бути наступних типів:

- нормально розімкнуті;
- нормально замкнуті;
- перемикаючі.

Для забезпечення надійного контакту і з метою запобігання обгорання пластин в процесі комутації, їх кінці покриваються тонким шаром тугоплавких металів платинової групи. Зазвичай це родій або рутеній. Оскільки відстань між контактними пластинами не перевищує 300-400 мкм, вони практично не згинаються і не деформуються. Завдяки цьому термін служби Магнітоконтактних сенсорів перевищує 10 років, а кількість спрацьовувань на відмову може досягати декількох мільйонів. Застосування спеціального покриття на контактах і заповнення скляної ампули інертними газами повністю виключає окислення і корозію пластин.

Другим елементом датчика є постійний магніт невеликого розміру. Коли геркон виявляється в магнітному полі магніту, його контакти переходять в інший стан. Так нормально розімкнуті контакти замикаються, а нормально замкнуті розмикаються. Два елементи магнітоконтактного сенсора встановлюються таким чином, щоб один елемент (геркон) розташовувався на нерухомій частині будівельної конструкції, а другий елемент (магніт) монтується на рухомій частині.

Таким чином, можна блокувати такі елементи:

- ворота
- двері
- вікна
- стельові люки
- Вентиляційні решітки повітроводів

Для вимірювання температур існують цифрові напівпровідникові сенсори. На рисунку 3.6 представлений цифровий сенсор температури DS18B20.



а)



б)

Рисунок 3.6 – Цифровий сенсор температури (а - у вигляді чіпа; б - в герметичному виконанні)

Даній сенсор має діапазон вимірювань: $-55^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$, з точністю $0,5^{\circ}\text{C}$. При цьому він має однопровідний цифровий інтерфейс 1-Wire, що дозволяє використовувати мережу таких сенсорів на об'єкті, наприклад для контролю температури в приміщеннях. Всі первинні перетворення і оцифровка відбуваються безпосередньо в сенсорі, що підвищує точність вимірювань і не вимагає додаткових перетворювачів, а відповідно знижує вартість системи, навіть при великій кількості сенсорів.

3.2 Проектування апаратних засобів безпроводної мережі

Для забезпечення роботи безпроводної мережі необхідно спроектувати об'єктну систему та модуль абонентської станції.

На рисунку 3.7 наведено схему електричну принципову модуля абонентської станції.

Рисунок 3.7 – Модуль абонентської станції, схема електрична принципова

На даній схемі можна виділити наступні компоненти:

- мікроконтролер;
- радіомодуль 2,4ГГц;
- слот для microSD карти;
- модулі живлення для елементів схеми;
- роз'єми для під'єднання антен та аналогових і дискретних виходів.

В даному модулі використовуються 2 радіомодулі, один призначений для роботи на частоті 2,4 ГГц, інший призначений для роботи на частоті 433МГц. Для

керування роботою модуля використовується мікроконтролер U2 типу STM32F103RET6 на аналогові входи якого заведені аналогові сигнали з роз'єму X5 та дискретні з роз'єму X6.

На основі даної схеми, було зібрано прототип модуля ОС, зовнішній вигляд якого наведено на рисунку 3.8.

Рисунок 3.8 – Прототип модуля об'єктної станції

4. КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

4.1 Функції комп'ютеризованих систем моніторингу

Важливою проблемою вдосконалення та підвищення ефективності автоматизованих систем управління є відповідний розвиток методів інтегрованого образного відображення на рівні оператора штатних, нештатних, передаварійних та аварійних станів об'єкта управління (ОУ). Особливо це стосується вибухо- та екологічно небезпечних ОУ. До таких об'єктів належать мобільні транспортні та літальні апарати, атомні електростанції, установки видобутку, підготовки, транспортування, переробки та зберігання продуктів нафтогазової промисловості, шахти, хімічні, металургійні та інші підприємства.

Спосіб контролю параметрів технологічного процесу [1] полягає у вимірі фізичних параметрів об'єкта, розрахунку їх статистичних характеристик та відображенні станів технологічного процесу у вигляді: таблиці усіх або за вибором оператора певної групи виміряних та розрахованих технологічних параметрів; трендів графіків реєстрації виміряних параметрів та розрахованих статистичних характеристик станів технологічного процесу у часі; реалістичного структуризованого представлення об'єкта чи технологічного процесу на моніторі оператора.

Недоліком такого способу є звужені функціональні можливості та низька інформативність, оскільки відображення окремих технологічних та віртуальних розрахункових параметрів здійснюється не інтегровано на екрані монітора оператора і не дозволяє здійснювати структуризовану ідентифікацію стану технологічного процесу та об'єкту контролю. При певній складності об'єкту контролю і великому числі контрольованих та розрахункових технологічних параметрів спостерігається низька ефективність та можливість появи великого числа помилок дій оператора при ідентифікації станів технологічного процесу "норма", "прогноз аварії" та "аварія".

Спосіб контролю параметрів технологічного об'єкта, який реалізований у пристрої контролю роботи технологічного об'єкта [2] полягає у тому, що стани

технологічного об'єкта "норма", "прогноз аварії" та "аварія" розраховуються на основі вимірних параметрів та обчисленої кластерної моделі і кожен з цих станів відображається на окремому індикаторі.

Недоліком такого способу є звужені функціональні можливості та низька інформативність, оскільки результатом аналізу технологічного процесу є контроль відхилення від норми тільки ймовірнісних переходів кластерної моделі без врахування його вимірних та розрахованих статистичних характеристик. Також недоліком є контроль параметрів технологічного процесу шляхом відображення його станів "норма", "прогноз аварії" та "аварія" на багатьох окремих індикаторах, які здійснюють тільки реєстрацію факту відхилення від норми і не дозволяють інтегровано ідентифікувати ці стани.

Спосіб контролю параметрів технологічного процесу [3] включає циклічний вимір значень кожного параметра і їхнє запам'ятовування, визначення стану технологічного процесу шляхом порівняння вимірюваних значень параметра в області можливих значень норми, ідентифікацію стану квазістаціонарного об'єкта, визначення структурної автокореляційної функції та нормованого коефіцієнта взаємкореляції, за якими порівнюють ковзні статистичні характеристики математичного сподівання, структурну кореляційну функцію, коефіцієнти нормованої взаємкореляції між двома параметрами.

Недоліком даного способу є звужені функціональні можливості, які обумовлені тим, що контроль параметрів технологічного процесу не здійснюється шляхом визначення вибірових та зважених ковзних математичних сподівань параметрів технологічного процесу, порівняння спектральних характеристик вимірювальних значень параметрів технологічного процесу в області можливих значень норми, визначення матриці ймовірностей переходу технологічного процесу з одного стану в інший, визначення оцінки кореляційної ентропії технологічного процесу, формування еталонного зображення образно-кластерної моделі стану технологічного процесу "норма", порівняння параметрів еталонного стану з вимірними, спостережуваними та розрахованими параметрами технологічного процесу "норма", "прогноз аварії" та "аварія" та ідентифікацію стану технологічного процесу відображення на моніторі оператора у вигляді

образно-кластерної моделі, що знижує інформативність ідентифікації стану технологічного процесу.

Аналіз архітектур та функцій комп'ютеризованих систем моніторингу та особливостей взаємодії оператор – моніторингова система (ОМС) у системах управління дозволяє зробити наступні висновки.

1. В існуючих системах даного класу контроль та моніторинг відхилень станів та технологічних процесів об'єктів управління виконується виключно шляхом контролю та реєстрації відхилень по амплітуді.

2. Функції та інформаційна взаємодія ОМС в інструкціях по експлуатації та описах систем практично відсутні.

3. Недостатньо досліджені моделі та способи відображення даних інтерактивного моніторингу операторами систем.

4. Практично не використовується для інтегрованого відображення на моніторах операторів результати статистичного, кореляційного, спектрального, кластерного, ентропійного та логіко-статистичного опрацювання квазістаціонарних переходів об'єктів управління у різні інформаційні, технологічні, семантичні та евристичні стани

5. Не проаналізовано перспективу підвищення ефективності роботи операторів в умовах виникнення нештатних, передаварійних, аварійних та еколого-небезпечних ситуацій на промислових установках.

4.2 Моніторинг станів об'єктів управління автоматизованих систем управління

При зростанні складності технології виробництва керованими мікропроцесорними засобами, відповідно зростають об'єми, структурна складність моніторингових інформаційних потоків та небезпека виникнення нештатних або аварійних станів контрольованих ОУ. Одночасно зростає роль та відповідальність операторів до забезпечення швидкої суб'єктивної реакції на відхилення ОУ від норми та швидкого прийняття правильних рішень по їх ліквідації. На рисунку 4.1 наведена структура моніторингу та ідентифікації станів

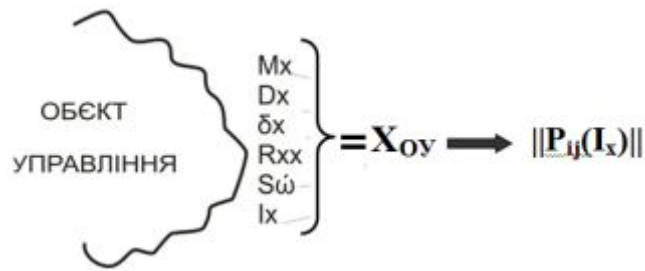


Рисунок 4.1 - Ідентифікація станів ОУ

Згідно структури (рисунок 4.1), параметри ОУ описуються $M_x, D_x, \delta_x, R_{xx}, S_w, I_x$ – атрибутами фрейму оператора X_{Oy} [4].

Згідно визначення параметрів ОУ, контроль параметрів технологічного процесу з можливістю передбачення розвитку передаварійних та аварійних станів технологічного процесу, здійснюється згідно наступної послідовності операцій:

$$X_{Oy} = F(\{x_i\}, \{x_j\}, S_{oy}, M_x, M_j, M_v, D_x, \delta_x, R_{xx}, R_{xy}, S_w, L_i, \rho_{ij}, S_{ij}, P_{ij}, I_x), \quad (4.1)$$

де: $\{x_i\}, \{y_i\}$ - масиви оцифрованих моніторингових даних параметрів ОУ;

S_{oy} - відповідно семантичний, інформаційний та технологічний стани ОУ;

M_x, M_j, M_v - відповідно вибіркове, ковзне та вагове математичні сподівання;

D_x, δ_x - відповідно дисперсія та середньоквадратичне відхилення;

R_{xx} - автокореляційна функція;

S_w - спектри параметрів ОУ у різних теоретико-числових базисах;

L_i – логіко-статистичні інформаційні моделі (ЛСІМ), $i \in \overline{1, 5}$;

ρ_{ij} - матриця коефіцієнтів взаємкореляції;

I_x - кореляційна міра ентропії стану ОУ.

4.3. Аналіз станів технологічних об'єктів (ТО)

Квазістаціонарні об'єкти – це такі ОУ, які стрибкоподібно в певний момент часу переходять з одного стаціонарного стану в інший [5].

Приклади поведінки квазістаціонарних ОУ зі зміною математичних сподівань (M_i), кореляційних (R_{xx}), спектральних ($S(\omega)$) та ентропійних (I_i)

характеристик показано на рисунках 4.2, 4.3.

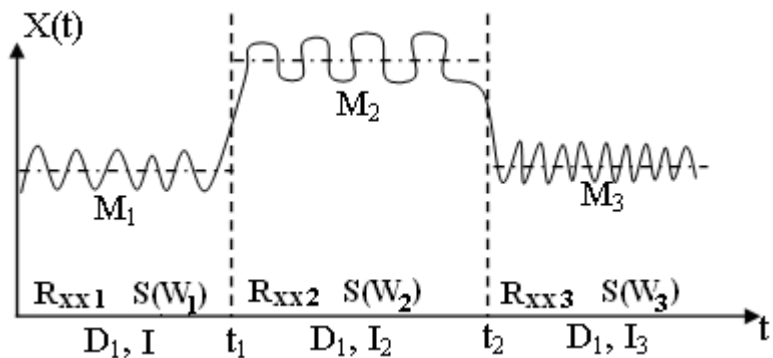


Рисунок 4.2 - Приклад поведінки квазістаціонарного ОУ

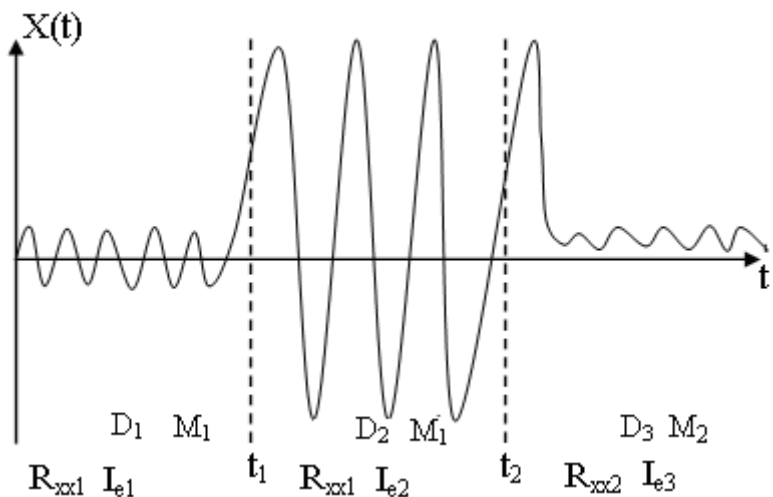


Рисунок 4.3 - Приклад поведінки квазістаціонарного ОУ

Нестационарні ОУ – це такі об’єкти, в яких всі системні характеристики змінюються в часі (рисунок 4.4).

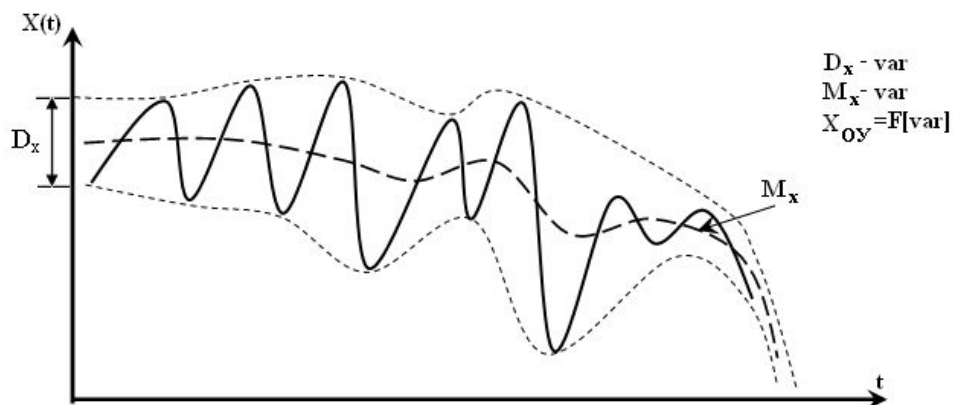


Рисунок 4.4 - Приклад поведінки нестационарного ОУ

Існують чотири класи ОУ за характеристиками центрованості відносно осі абсцис (t):

- нецентровані (рисунок 4.5), де А – діапазон зміни станів ОУ

- центровані (рисунок 4.6),
- ненормовані (рисунок 4.7);
- нормовані (рисунок 4.8).

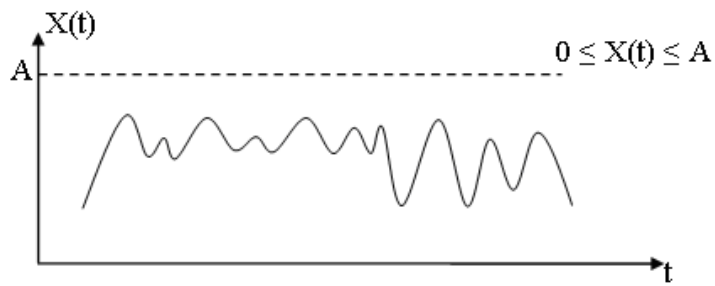


Рисунок 4.5 - Приклад поведінки нецентрованого ОУ

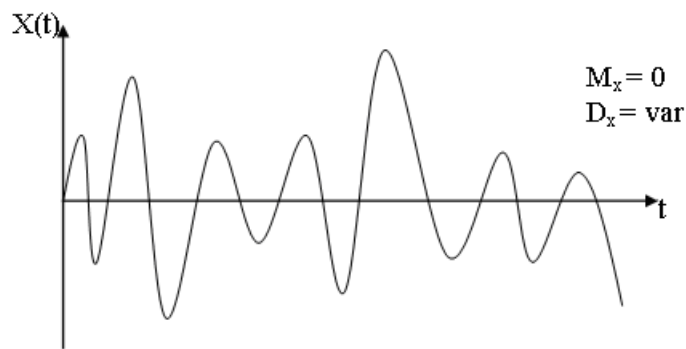


Рисунок 4.6 - Приклад поведінки центрованого ОУ

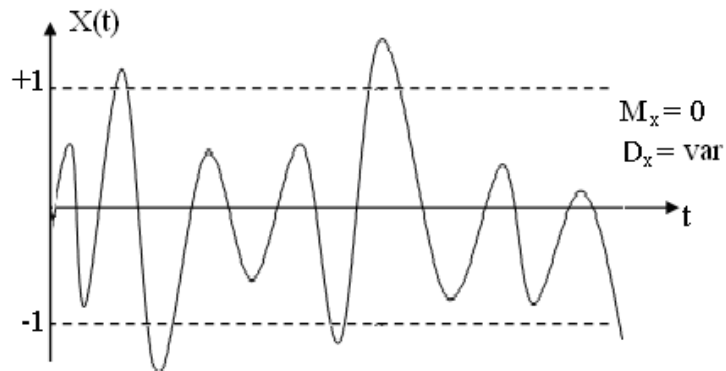


Рисунок 4.7 - Приклад поведінки ненормованого ОУ

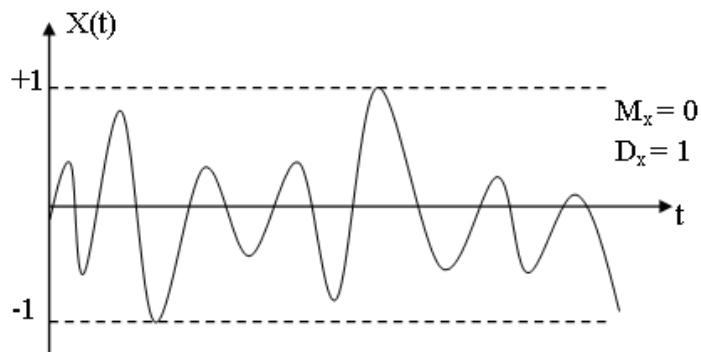


Рисунок 4.8 - Приклад поведінки нормованого ОУ.

Одними з найрозповсюдженіших і ефективних засобів аналізу дискретних

ОУ є статистичні моделі [5,6]. В першу чергу – це оцінки математичного сподівання та середнє по ансамблю. Оцінка середнього по ансамблю потребує наявності певної кількості реалізацій, тому може використовуватись для статистичного аналізу повідомлень після їх отримання. В комп'ютеризованих системах управління (КСУ) реального часу на низових рівнях широко використовується модель математичного сподівання, класичним варіантом якої є вибіркова оцінка:

$$M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i . \quad (4.2)$$

Вибіркова оцінка математичного сподівання (рисунок 4.9) дозволяє зменшити об'єм даних в n разів і здійснити низькочастотну фільтрацію динаміки станів ОУ та порівняти M_x з уставкою регулятора, який може змінювати характеристики.

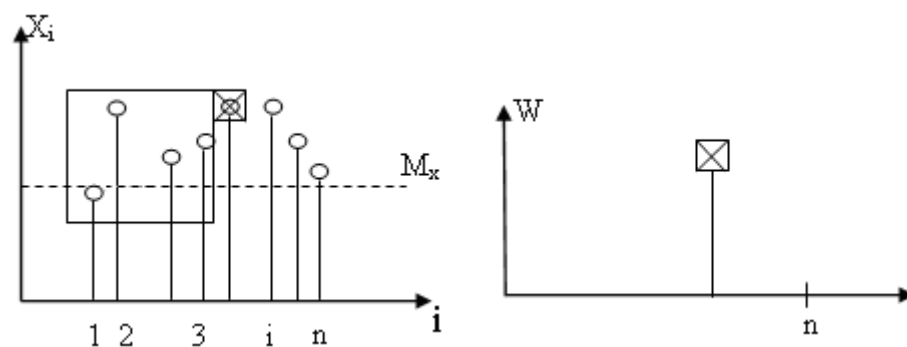


Рисунок 4.9 - Вибіркова оцінка математичного сподівання M_x .

Недоліком вибіркової оцінки математичного сподівання є зміна спектру та ефект старіння інструкції, тому що M_x відноситься до середини інструкції.

Ковзна модель математичного сподівання M_j також здійснює низькочастотну фільтрацію і зменшує вплив одиничних випадкових стрибків станів ОУ на відображення інтегрального усередненого стану ОУ [6]. На відміну від вибіркової, ковзна модель з більшою точністю відтворює середньостатистичну динаміку станів ОУ, проте об'єм даних практично не зменшується (рисунок 4.10).

Модифікацію середньої оцінки у часі є ковзна характеристика:

$$M_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1+j}^{n+j} x_{i+j} , \quad (4.3)$$

де j – дискретний зсув в часі.



Рисунок 4.10 - Решітчаті функції повідомлень x та ковзної оцінки математичного сподівання M_j .

При визначенні ковзної оцінки математичного сподівання досягається суттєве зменшення старіння інструкцій.

Існує також зважена оцінка середнього по часі M_v , яка враховує старіння даних про стани ОУ, використовуючи вагові коефіцієнти (рисунок 4.11) [4-6].

$$M_v = \sum_{i=1+j}^{n+j} p_{i-j} \cdot x_{i+j}, \quad (4.4)$$

де p_i – вагові коефіцієнти, при чому $\sum_{i=1}^n p_i = 1$.

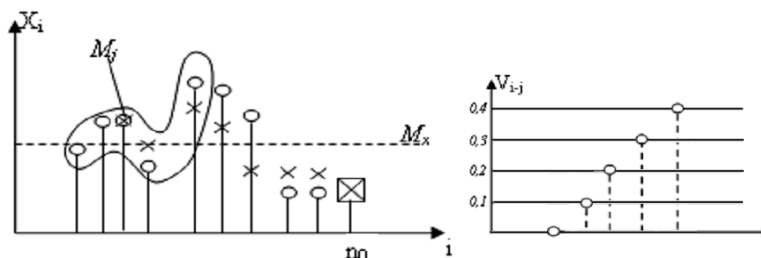


Рисунок 4.11 - Зважена оцінка математичного сподівання M_v

Якщо взяти вибіркоче M_x на інтервалі M_o то його значення не відображає динаміку станів об'єктів управління. Ковзне M_j має менший коефіцієнт старіння інформації і краще відображає середньостатистичну динаміку станів ОУ. Ведення вагової функції V_{i-j} зменшує інформацію минулих станів ОУ і надає максимальну інформативність текучому стану. Таким чином ліквідується процес старіння інформації. Це дозволяє виявляти передаварійні і аварійні стани ОУ.

Загальним недоліком оцінок математичного сподівання є відсутність контролю динаміки станів ОУ. Тому для контролю динаміки виконується

дисперсія.

Спеціальним підбором аналітичного виразу вагової функції V_{i-j} можна виділити окрему зону спектру після опрацювання вхідних даних за допомогою вагового математичного сподівання. Тобто вагове математичне сподівання реалізує функцію цифрового фільтра. Важливою статистичною характеристикою динаміки станів ОУ у квадратичному просторі є дисперсія (рисунок 4.12), оцінка якої визначається виразом: [4-6]

$$D_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \dot{x}_i^2, \quad (4.5)$$

де n – об'єм вибірки, x_i – масив вихідних даних, M_x – вибіркове математичне сподівання, \dot{x}_i^2 – центровані дискретні значення станів ОУ, $\dot{x}_i = x_i - M_x$.

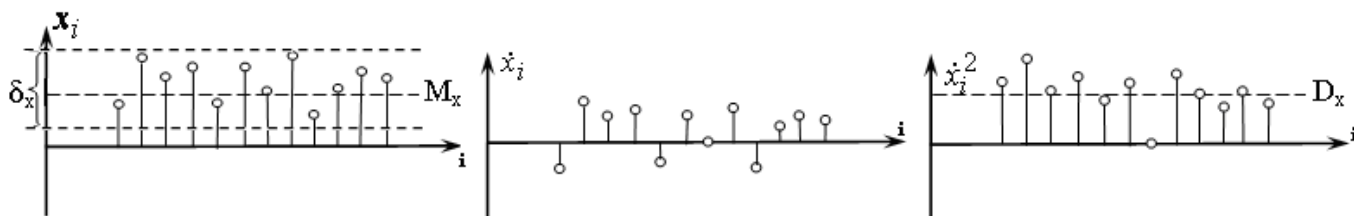


Рисунок 4.12 - Асимптотика дисперсії.

Алгоритм обчислення дисперсії наступний: задається масив вхідних даних; обчислення вибіркового математичного сподівання M_x згідно виразу (4.2), $i \in \overline{1, n}$; визначається масив центрованих даних: $\{\dot{x}_i^2\}$; $i \in \overline{1, n}$; $\dot{x}_i = x_i - M_x$; визначається масив квадратів центрованих даних: $\{\dot{x}_i^2\}$; $i \in \overline{1, n}$. Для того щоб ліквідувати ефект зміни для енергії внаслідок піднесення до квадрату більших і менших x_o одиниць вибирається повний масштаб, тобто всі значення $|\dot{x}_i| > 1$.

Дисперсія представляє собою середньостатистичну динаміку станів ОУ у квадратичному просторі у вигляді вибіркового математичного сподівання квадратів центрованих значень. Для конкретного відображення поточної динаміки станів ОУ, використовується ковзна дисперсія.

$$D_{xj} = \frac{1}{n} \sum_{i=1+j}^{n+j} (x_{i+j} - M_j)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \dot{x}_i^2.$$

Важливими характеристиками моніторингу та контролю станів ТО є діагностика відхилень станів ОУ від норми [4-6]:

- по амплітуді;
- по динаміці;
- по фазі;
- по спектру;
- по глобальній дисперсії.

Система логіко-статистичних інформаційних моделей (ЛСІМ) дозволяє охопити широкий клас задач дослідження сигналів, що формуються ТО, первинної обробки повідомлень в реальному часі. Для побудови ЛСІМ потрібне попереднє обчислення $(\{x_i\}, M_x, M_j, M_V, D_x, \sigma_x, R_x, S_{(w)})$

В основі першої ЛСІМ лежать апробовані методи ідентифікації допустимих відхилень станів ОУ від встановленої норми по амплітуді (рисунок 4.13).

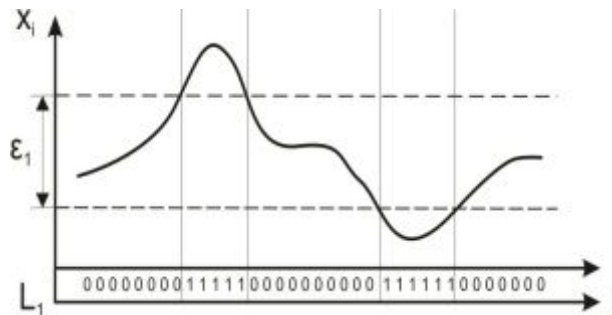


Рисунок 4.13 – Формування значень ЛСІМ-1

На рисунку 4.13: x_i – технологічний параметр ОУ, ϵ_1 – апертура.

Якщо ОУ знаходиться в нормі, контролер формує символи “0”. Якщо не в нормі - то “1”. Якщо ЛСІМ формує одиницю, інформація передається на центральний сервер, який ініціює переривання її програми і запускає програму аналізу цього об'єкту. Значення змінних визначається за умовою:

$$L_1 = \begin{cases} 0, & x_i \in \epsilon_1 \\ 1, & x_i \notin \epsilon_1, \quad L_1 \in \overline{0,1} \end{cases}$$

Переваги першої ЛСІМ: простий алгоритм обчислення без старіння інформації; великий коефіцієнт стиснення інформації; об'єкти інформації зменшується в 2 – 3 рази.

Контроль динамічних параметрів об'єкту можна здійснювати за допомогою другої ЛСІМ (рисунок 4.14). В її основу покладено визначення параметрів функції автокореляції, які відображають динамічні властивості сигналів.

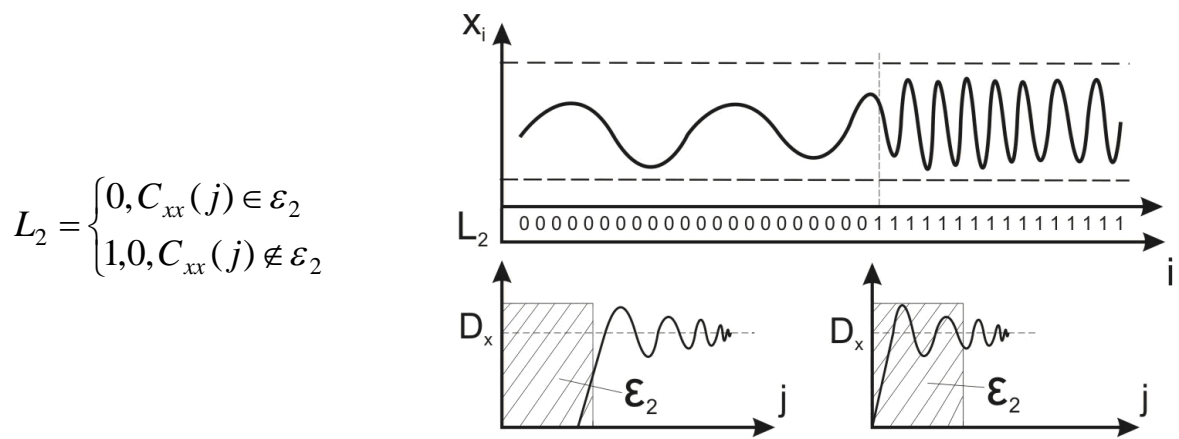


Рисунок 4.14 - Формування ЛСІМ-2.

Для виявлення зміни динаміки станів ОУ використовується структурна АКФ, яка вчислюється в кожному режимі. Для нединамічного процесу структурна функція також не динамічна, а для динамічного вона швидше досягає дисперсії.

Переваги: стан ОУ контролюється по динаміці в умовах; амплітуда процесу не виходять за границі ε_1 ; зменшення об'єму інформації. Недоліки: складніший алгоритм обчислення C_{xx} . Контроль відхилення станів ОУ по приростах Δi приводить до викидів приростів.

В основі третьої ЛСІМ лежить процедура визначення коефіцієнтів взаємкореляції між двома контрольованими характеристиками станів ОУ. Тобто третя ЛСІМ реагує на фазові зміни двох характеристик ОУ (рисунок 4.15).

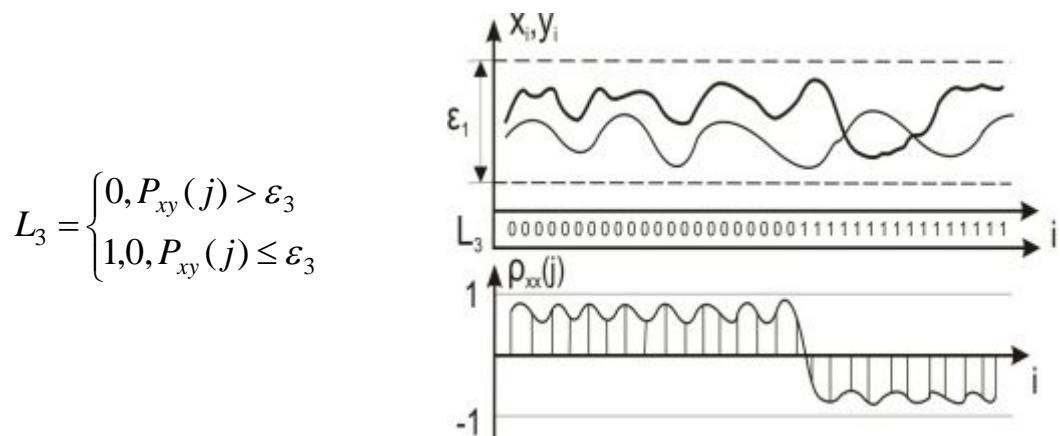


Рисунок 4.15 - Формування ЛСІМ-3

Суть третьої ЛСІМ полягає в порівнянні фазових відхилень контрольованого стану ОУ від норми. До переваг третьої ЛСІМ відноситься

контроль важливого параметру відхилення по фазі коли від змін по динаміці і по амплітуді не зафіксовані; до недоліків - складний алгоритм обчислення.

В основу четвертої ЛСІМ покладено спектральний аналіз ТП, які описують стани ТО. Задається або визначається множина E гармонік з частотами $\omega_1, \omega_2, \dots$, які повинні бути присутніми в ТП при нормальному стані ТО. Провівши спектральний аналіз контрольованого ТП визначається зміна спектрального складу ТП у відповідному каналі (рисунок 4.16).

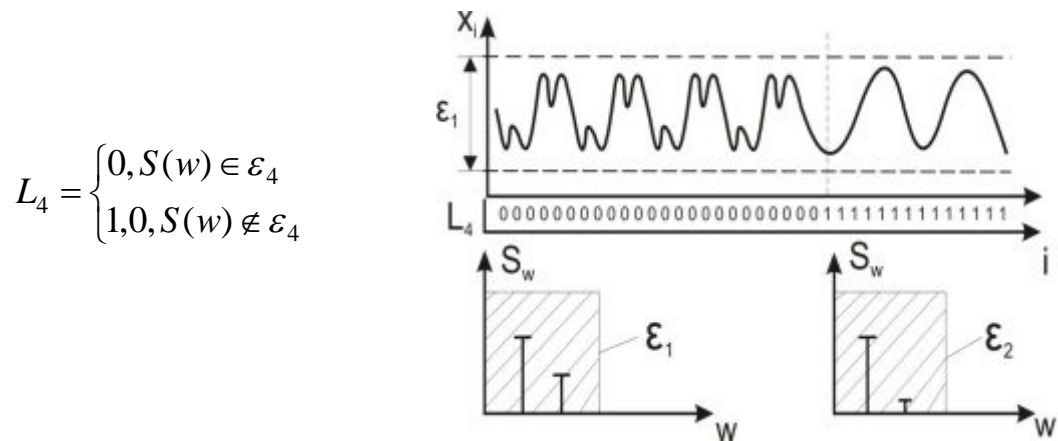


Рисунок 4.16 - Формування ЛСІМ-4

ε_4 – означає, що в зоні апертури частоти є дві частоти w_1, w_2 , а в стані "не норми" – одна частота w_1 . Зміни станів ОУ по спектру виявляє спектральний аналізатор. $S(w)$ – коефіцієнт взаємкореляції в нульовій точці між нормові і центровані АКФ $\rho_{xy}(j)$ і базисною функцією w в конкретній ТЧБ. Найчастіше $w = \cos w(j)$

Контроль відхилень ОУ від норми по кожному окремому параметру не дозволяє інтегровано оцінити стан об'єкта, оскільки між параметрами існують інші кореляційні зв'язки. Такою оцінкою є глобальна дисперсія (ЛСІМ-5), яка розрахована на основі інформаційної частини матриці (нормальний коефіцієнт взаємкореляції). Така ЛСІМ дозволяє оцінити загальний стан норми об'єкту та визначити тенденції деградації його функції.

Модель побудована на основі матриці коефіцієнтів взаємкореляції в каналах ОУ (рисунок 4.17). Кореляційна матриця для m -канального джерела $\|r_{ij}\|$ має розмірність $m \times m$ і симетрична відносно головної діагоналі, оскільки

$$r_{ij} = \begin{cases} r_{ij}, & i \neq j \\ 1, & i = j \end{cases}; \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, m}.$$

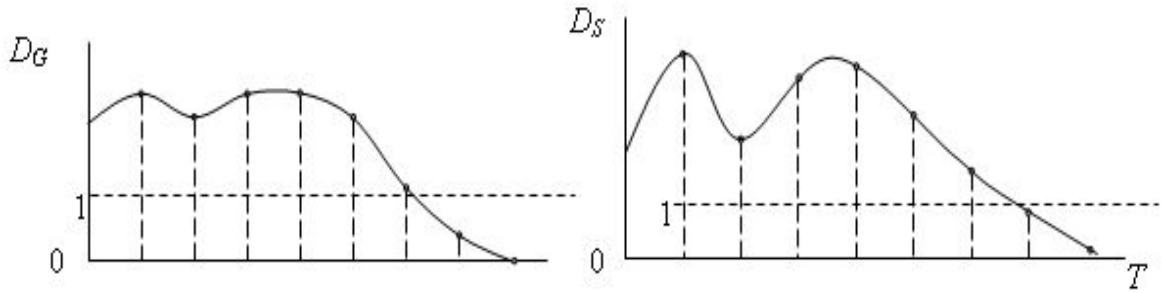


Рисунок 4.17 - Графік зміни глобальної дисперсії

Однією з функцій SS є побудова кластерних та образно-кластерних моделей, на які ділиться оператор АСУ. Вхідною інформацією для розрахунку глобальної дисперсії є матриця нормативних коефіцієнтів взаємкореляції параметрів ОУ $\rho_{ij} \rightarrow i \in \overline{1, m}$

$$\begin{pmatrix} \rho_{11} & \rho_{21} & \dots & \rho_{i1} & \dots & \rho_{m1} \\ \rho_{12} & \rho_{22} & \dots & \rho_{i2} & \dots & \rho_{m2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{1j} & \rho_{2j} & \dots & \rho_{ij} & \dots & \rho_{mj} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{1m} & \rho_{2m} & \dots & \rho_{im} & \dots & \rho_{mm} \end{pmatrix}$$

Глобальна дисперсія представляє собою математичне сподівання (M_x) квадратів норми коефіцієнту взаємкореляційної інформативної частини матриці кореляційного монітору ОУ. В результаті в реальному часі отримують тренд глобальної дисперсії (рисунок 4.18).

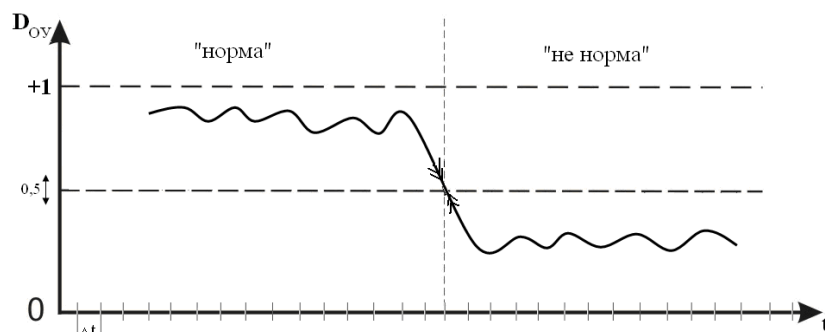
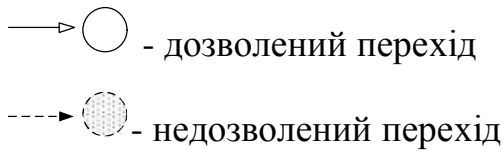


Рисунок 4.18 - Тренд глобальної дисперсії

На практиці значення P_{ij} класифікуються на дозволені та недозволені,

тобто: $P_{ij} < \alpha$ - «норма» та $P_{ij} \geq \alpha$ - «не норма».

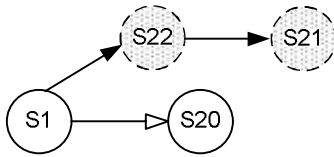
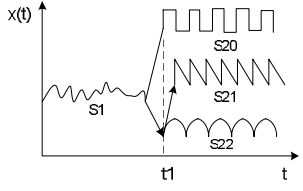
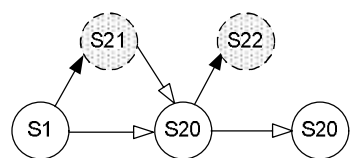
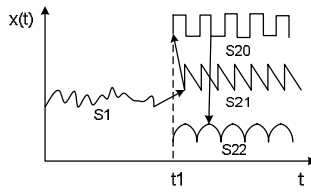
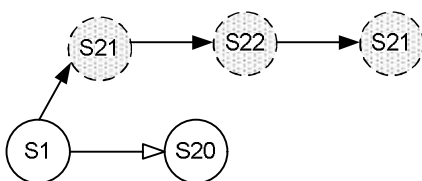
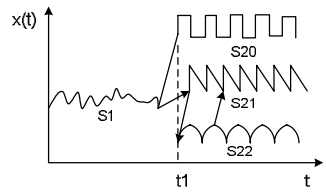
Квазістаціонарність станів ОУ ускладнює структуру моніторингових даних і потребує застосування марківських процесів та побудови кластерних моделей шляхом визначення наступних переходів ОУ в різні стани згідно атрибутів:



S_1, S_{20} - стани норми; S_{21} - передаварійні стани; S_{22} - аварійні стани.

Приклади кластерних переходів ОУ в різних станах показані в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Кластерні переходи ОУ для різних станів.

Кластерна і продукційна моделі подання знань про аварійні та передаварійні стани ОУ	
	
	
	

Запропоновані методики побудови моделей відхилень станів ТО від норми та глобальної дисперсії багатоканальних ОУ є важливим інструментом для системного контролю станів складних багатоканальних об'єктів управління і можуть знайти широке застосування в автоматизованих системах управління об'єктів нафтогазової, енергетичної, атомної та інших галузей промисловості.

4.4 Визначення ентропії даних

Практичну міру ентропії дискретного джерела інформації Р.Хартлі запропонував у вигляді функції логарифма кількості можливих станів ОУ:

$$H = \log_2 S^n = n \cdot \log S ;$$

де H – ентропія;

S – число незалежних рівноймовірних станів ОУ;

n – довжина вибірки.

Формула Р.Хартлі [4] показує функцію логарифма числа можливих станів джерела інформації (ДІ).

Дані стохастичних ДІ, підлягають нормальному закону розподілу ймовірностей. Для таких ДІ більшість розрахунків лежить в діапазоні 3σ в околі математичного сподівання, а ентропія визначається згідно виразів:

$$I_x = \log_2 \sqrt{2\pi e \sigma_x^2},$$

$$I_x = \hat{E}[\log_2 3\sigma_x].$$

Для кодування безперервних ДІ, А.Н. Колмогоровим [4] запропоновано формулу:

$$H_\varepsilon \leq \frac{T}{\Delta t} + \log \frac{C}{\varepsilon},$$

$$\text{при } \varphi(t) = 2^{\frac{T}{\Delta t} H_\varepsilon} \leq \log \left(\frac{C}{\varepsilon} \cdot 2^{\frac{T}{\Delta t}} \right),$$

де Δt – крок дискретизації, що забезпечує точність квантування ε ;

C – діапазон квантування;

T – інтервал часу спостереження ДІ.

Оцінка ентропії по Р.Хартлі характерна для рівноймовірних станів, але вона не враховує ймовірність перебування ДІ в даному стані. Для розширення функціональних можливостей К.Шенноном введено оцінку ентропії [4] для ДІ з нерівноймовірними станами, яка визначається згідно виразу:

$$H = -k \sum_{i=1}^n p_i \log p_i,$$

де k – додатній коефіцієнт, який враховує основу логарифма;

p_i – ймовірність s_i -го стану дискретного ДІ.

На відміну від оцінки ентропії по Шеннону, яка не враховує ймовірність переходу ДІ з одного стану в інший, оцінка ентропії, яка максимально наближується до власної ентропії ДІ, запропонована Я.М. Николаичуком. Дана інформаційна міра розраховується на основі автокореляційних характеристик ДІ [4]:

$$I_x = n \cdot \hat{E} \left[\frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (D_x^2 - R_{xx}^2(j)) \right],$$

де $\overset{\circ}{x}_i = x_i - M_x$ – центровані значення масиву даних;

$D_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2$ – дисперсія значень x_i ;

$M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ – математичне сподівання;

$R_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \overset{\circ}{x}_i \cdot \overset{\circ}{x}_{i+j}$ – автокореляційна функція (АКФ);

m – число точок функції $R_{xx}(j)$ на інтервалі кореляції.

Для аналізу ентропійних характеристик ДІ можуть використовуватися різні кореляційні функції які володіють наступними властивостями [4]:

H_{xx} використовується для спектрального аналізу та аналізу швидкоплинних процесів;

P_{xx} дозволяє підвищити точність оцінки і зменшити об'єм вибірки, зберігаючи при цьому високу швидкодію;

R_{xx} має важливі асимптотичні властивості: значення функції при нульовому зміщенні рівне дисперсії, а при прямуванні до ∞ асимптотично наближається до 0;

K_{xx} завжди приймає позитивні значення і не має операції центрування x_i ;

ρ_{xx} є центрованою і нормованою оцінкою придатною для розрахунку

спектрів;

C_{xx} забезпечує високу точність оцінки при великих зміщеннях j в квадратичному просторі;

G_{xx} забезпечує високу точність оцінки при великих зміщеннях j в лінійному просторі;

F_{xx} представлена в лінійному просторі, потребує найменший об'єм вибірки при заданій точності обчислень, характеризується мінімальною обчислювальною складністю і забезпечує високу ефективність в оперативній обробці інформації.

4.5 Реалізація способу контролю параметрів технологічного процесу

Реалізацію способу контролю параметрів для різних станів технологічного процесу у порівнянні з еталонним, показано в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - станів технологічного процесу

Стан технологічного процесу	Параметри технологічного процесу									
	$\{x_i\}$	$\{y_i\}$	S	M_j	M_{xj}	M_{yj}	σ_x	σ_y	$C_{xx}(j)$	$R_{xy}(0)$
Еталон	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Норма	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Прогноз аварії	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+
Аварія	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-

Стан технологічного процесу	Параметри технологічного процесу										
	ρ_{xy}	L_1	L_2	L_3	M_x	M_y	M_{vx}	M_{vy}	L_4	P_{ij}	I_x
Еталон	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Норма	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Прогноз аварії	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
Аварія	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Запропонований спосіб передбачає наступні види контролю, виконувани введеному нижче порядку:

- контроль перебування отриманого значення ковзного математичного сподівання M_j контрольованих параметрів в області можливих значень норми L_1 ;

- контроль середньостатистичної динаміки $C_{xx}(j)$ станів технологічного процесу по кожному параметру в області можливих значень норми L_2 ;
- контроль нормованих коефіцієнтів взаємкореляції між кожною парою параметрів ρ_{xy} в області можливих значень норми L_3 ;
- додатковий контроль вибірових математичних сподівань M_x, M_y ;
- додатковий контроль зважених математичних сподівань M_{vx}, M_{vy} ;
- додатковий контроль відхилень параметрів технологічного процесу по спектру L_4 в області можливих значень норми;
- додатковий контроль кластерної моделі матриці ймовірностей переходу технологічного процесу з одного стану в інший (P_{ij});
- додатковий контроль відхилень параметрів технологічного процесу згідно кореляційної міри ентропії I_x .

Відображення динаміки зміни структуризованого зображення образно-кластерної моделі на екрані монітора оператора відбувається згідно відповідного програмного забезпечення шляхом порівняння вимірних, спостережуваних та розрахованих параметрів технологічного процесу з еталонними.

На рисунку 4.19 представлена система контролю, що реалізує запропонований спосіб контролю параметрів технологічного процесу.

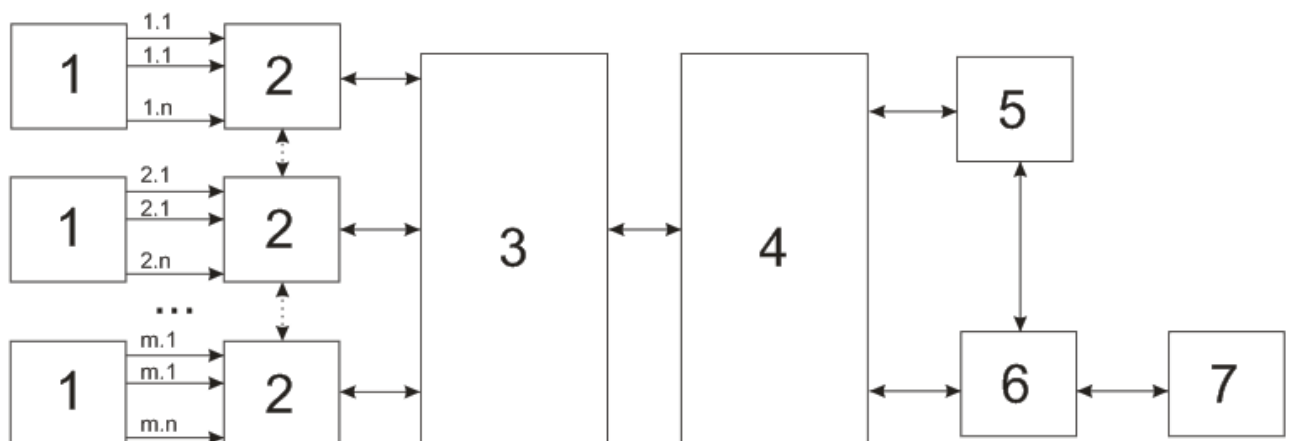


Рисунок 4.19 - Система контролю параметрів технологічного процесу

Система контролю параметрів технологічного процесу включає:

1 – сенсори вимірів параметрів 1.1, 1.2, ... m.n

2 – об’єктні системи, призначені для збору інформації від контрольованого об’єкту та передавання її на блок збору інформації;

3 – модуль координації об’єктних систем;

4 - блок збору інформації, який за допомогою об’єктних систем 2, агрегує інформацію від об’єкту контролю;

5- пульт оператора,

6 - пристрій підготовки та обробки інформації,

7 – монітор оператора.

Об’єктна система 2 призначена для видачі інформації про стан контрольованого об’єкту чи модуля, модуль 3 координації призначений для керування об’єктними системами.

Блок збору інформації 4 призначений для видачі по сигналу ідентифікації стану об’єкта контролю від пульта 5 кодів значень вимірних параметрів і передачі їх в пристрій підготовки інформації 6. Коди вимірних значень, супроводжуються кодом стану об’єкта S_j , які передаються з пульта оператора 5 в блок попередньої підготовки інформації 6.

Пристрій підготовки інформації 6 являє собою програмний контролер, що реалізує паралельне опитування датчиків і перетворення кодів вихідних величин сенсорів, отриманих від блока збору інформації 4 у значення відповідних параметрів. На виході блока збору інформації 4 в пристрій підготовки інформації надходить набір кодів ансамблю параметрів, які визначаються кодом стану керування S_j , що надходять з пульта оператора 5 в блок збору інформації 4. Необхідність паралельного формування кодів параметрів об’єкта, які надходять у пристрій підготовки інформації 6 обумовлено необхідністю виключення ефектів старіння інформації, які можуть виникати при організації циклічного опитування сенсорів і негативно впливають на розрахунок структурної кореляційної функції та коефіцієнтів нормованої взаємкореляції.

Процес виміру та ідентифікації станів об’єкту контролю включає наступні етапи:

- з пульта оператора 5 подачу сигналу стану технологічного процесу S подається в блок збору інформації 3 та пристрій підготовки інформації 6;

- прийом і розшифровку сигналу виклику ансамблів n з m параметрів блока збору інформації 4 і видачу кодів в пристрій підготовки інформації 6;
- перетворення і запам'ятовування отриманих значень кодів параметрів;
- визначення стану технологічного процесу;
- додаткове формування еталонного зображення образно-кластерної моделі стану технологічного процесу "норма";
- додаткове порівняння параметрів еталонного стану з вимірними, спостережуваними та розрахованими параметрами технологічного процесу;
- додаткове виведення значення параметрів технологічного процесу на моніторі оператора у вигляді образно-кластерної моделі.

Результатом запропонованого способу контролю параметрів технологічного процесу є розширення функціональних можливостей та підвищення інформативності інтегрованого представлення станів об'єкта управління, що дозволяє збільшити швидкодію реакції оператора на виникнення нештатних ситуацій та покращення можливостей попередження виникнення аварій на об'єктах.

ВИСНОВКИ

В магістерській своїй роботі було розроблено структуру, схемотехнічні і програмні рішення для безпроводної системи збору даних.

Досліджено процес та методи самоорганізації в безпроводних сенсорних мережах та елементи даних мереж. На основі цих даних було спроектовано безпроводну сенсорну мережу охоронно-пожежної сигналізації.

Розроблено безпроводну систему охоронно-пожежної. Зроблено детальний опис основних вузлів апаратного забезпечення та розглянута система датчиків, а також наведено принципову схему модуля об'єктної системи.

Запропонована та розроблена нами безпроводна сенсорна система збору даних дозволяє дозволяє дистанційно відслідковувати стан роботи системи як на території самої системи так і в будь-якому іншому місці.

Практична цінність роботи полягає в тому, що для реалізації такої системи потрібно порівняно небагато затрат, оскільки відсутні затрати на прокладання комунікації, що дозволяє суттєво скоротити часові затрати на інсталяцію системи.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агафонов Н. Технологии беспроводной передачи данных, «Беспроводные технологии» №1, 2014 г.
2. Варгаузин В.А. Радиосети для сбора данных от сенсоров, мониторинга и управления на основе стандарта IEEE 802.15.4 // ТелеМультиМедиа. 2015. № 6. – С. 23-27.
3. Балонин Н. А., Сергеев М. Б. Беспроводные персональные сети на основе ZigBee. Учебное пособие. – СПб: ГУАП, 2015. – 58 с.
4. Алгоритмы маршрутизации, [Электронный ресурс] //URL: <http://citforum.ru/nets/ito/2.shtml>. (18.05.2016)
5. Варгаузин В.А. Сетевая технология ZigBee // ТелеМультиМедиа. 2015. № 6. – С. 29-32.
6. Джо Брокмайер, ДиЭн Лебланк, Рональд Маккарти, мл. «Маршрутизация в Linux» 2012, 240 с.
7. Кривченко Т.И. Zigbeемодемы ETRX компании Telegesis // Беспроводные технологии. 2014. № 2. – С. 28-30.
8. Кривченко Т.И. Zigbeемодемы ETRX2 компании Telegesis: Что нового? // Беспроводные технологии. 2014. № 2. – С. 28-30.
9. Методы маршрутизации, [Электронный ресурс] // URL: <http://sgainformatika.ru/1006012/232-102-routing-methods>.(20.05.2016)
10. Олифер В.Г. Олифер Н.А. «Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник для вузов. 4-е изд». С.-Пб.: "Питер", 2014. 944.с
11. Попова Ю. Рупор революции // Энергия промышленного роста. 2013. № 8. – С. 34.
11. Пушкарев О.И. Построение сети ZigBee // Беспроводные технологии. 2013. № 1. – С. 34-38.
12. Семенов Ю.А. Протоколы и ресурсы Интернет. – М.: Радио и связь, 2011. – 320 с.

13. Соколов М.А. Программноаппаратное обеспечение беспроводных сетей на основе технологии ZIGBEE/802.15.4 // Электронные компоненты. 2014. № 12. С. 80-87.
14. Солодунов С. Средства разработки Ember для быстрой реализации проектов ZigBee // Беспроводные технологии 2014. № 3. – С. 55-61.
15. Стандарты wi-fi, [Электронный ресурс] // URL:[\(http://www.wilife.ru/tehnologii/wi-fi/wi-fi-standarty\)](http://www.wilife.ru/tehnologii/wi-fi/wi-fi-standarty). (03.06.2016)
16. Технологии. 2008. № 4. – С. 22-25. 18. ХорстДитер Радке, Йеремиас Радке «Wireless Law Easy», Издательство: НТ Пресс, 2014, 320 с
17. А. Салим, А. Е. Кучерявий. Выбор головного узла кластера в однородной беспроводной сенсорной сети. Электросвязь, № 8, 2009
18. А.Салим, Е.А. Кучерявий. Выбор головных узлов в однородной беспроводной сенсорной сети для обеспечения полного покрытия. 64-я Научно – техническая конференция, посвященная Дню Радио. Апрель, 2009.
19. Boukerche, A.; Nakamura, E.F.; Loureiro, A.F. Algorithms for Wireless Sensor Networks. In Algorithms and Protocols for Wireless Sensor Networks; Boukerche, A., Ed.; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2009
20. Waltenegus Dargie, Christian Poelabauer «Fundamentals of Wireless Sensor Networks Theory and Practice» - Wiley Series on Wireless Communications and Mobile Computing, 311c, 2010 John Wiley & Sons Ltd.
21. Кузьмін О. Класифікація протоколів маршрутизації у безпроводних сенсорних мережах. / О. Кузьмін, О. Мицько, В. Грицак //Комп'ютерні науки та інформаційні технології : [зб. наук. пр.] / відп. ред. Ю. М. Рашкевич. - Л. : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2010. - 380 с. : іл. - (Вісник / Національний університет "Львівська політехніка" ; № 672). - С.267-272
22. Гайнулин А. Г. Управление ресурсами в беспроводных сетях с переменной топологией / Гайнулин А. Г. // – Автореф. дисс. .докт. филос. наук. НГТУ – Н. Новгород: Изд. НГТУ, 2009
23. Климов И.А., Червинская Н. В. Сравнение протоколов маршрутизации для беспроводных мобильных Ad-Нос сетей / Климов И.А., Червинская Н. В. //

- Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих. Збірник наукових праць XIII науково-технічної конференції аспірантів та студентів в м. Донецьку 14-17 травня 2013 р. – Донецьк, ДонНТУ, 2013. – С. 76-80
24. Определение сетей MANET [электронный ресурс], – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/MANET>
25. Определение сенсорных сетей [электронный ресурс], – Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/95011/>
26. В.М. Винокуров, А.В. Пуговкин, А.А. Пшенников, Д.Н. Ушарова, А.С. Филатов Маршрутизация в беспроводных мобильных Ad hoc-сетях: научная статья. / В.М. Винокуров, А.В. Пуговкин, А.А. Пшенников, Д.Н. Ушарова, А.С. Филатов // Доклады ТУСУРа, № 2 (22), часть 1, декабрь 2010 – С. 288-293
27. Терновой М. Ю. «Мобильные сети: IP маршрутизация и алгоритмы MANET маршрутизации»
28. Вишне夫斯基 В., Лаконцев Д., Сафонов А., Шпилев С. Mesh-сети стандарта IEEE 802.11s – технологии и реализация // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – 2008. – с. 98-105.
29. Технология ММО [электронный ресурс], 2006 – Режим доступа: <http://www.compress.ru/Article.aspx?id=16399>
30. Позняк В. О. Використання комбінованого алгоритму маршрутизації для мережі Ad hoc / Позняк В. О. // Наукові записки УНДІЗ, № 2(18), 2011. – С. 97-102
31. AODV Description [электронный ресурс], – 2010 Режим доступа: <http://moment.cs.ucsb.edu/AODV>
32. www.abb.ua / Промислова система 800xA c4
33. Патент України на корисну модель №68874. – 10.04.2012р., Бюл.№7
34. деклараційний патент України на корисну модель №71122. – 10.07.2012р., Бюл.№13
35. Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації / Я.М. Николайчук / Тернопіль: ТНЕУ, 2008.-536с.

36. Николайчук Я.М. Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем / Я.М. Николайчук, Н.Я. Возна, І.Р. Пітух / Навчальний посібник / – Тернопіль: ТзОВ «Терно-граф», 2010.–392 с.
37. Опорний конспект лекцій з дисципліни “Теорія автоматичного управління” (Частина 1) для здобувачів вищої освіти на першому (бакалаврському) рівні за спеціальністю 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укл.: Николайчук Я.М., Возна Н.Я.– Тернопіль: Гал-друк, 2016. – 71 с.