

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Яхя Тарік Хуссейн

УДК 621.39

**МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ МОНІТОРИНГУ
В СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ**

05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Поповський Володимир Володимирович,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
завідувач кафедри телекомунікаційних систем.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Зеленський Олександр Олексійович,
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є.
Жуковського
«ХАІ»,
завідувач кафедри прийому, передачі та обробки сигналів;

кандидат технічних наук, доцент
Колесніков Олександр Миколайович,
Український державний центр радіочастот, Харківська філія,
провідний інженер.

Захист відбудеться «30» серпня 2013 року о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.09 У Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: Україна, 61166, м. Харків, просп. Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, просп. Леніна, 14.

Автореферат розісланий «26» червня 2013 року.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

Є.В. Дуравкін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В результаті стрімкого розвитку інфокомунікаційних або телекомунікаційних (ТКС) систем виникла необхідність визначити їх спеціалізації щодо ролі в загальній системі (мережі доступу, транспортні мережі), типу середовища, в якому поширюються інформаційні сигнали (проводові, безпроводові, оптоволоконні мережі), за 7-ми рівнями моделі відкритих систем ІТУ, за специфікою побудови та функціонування при обслуговуванні тих чи інших об'єктів (мережі загального користування, локальні, кампусні, відомчі мережі, мережі медицини катастроф, моніторингові мережі тощо). При цьому останні носять назву ще й сенсорних, що підкреслює наявність у цих мережах датчиків, чутливих до зміни станів спостережуваних об'єктів, елементів, процесів тощо, а також наявності певного рівня первинної обробки результатів моніторингу, виявлення тих чи інших особливостей сигналів, відображення події.

Сенсорні мережі (СМ) відрізняються від звичайних ТКС як за структурою, так і за функціями. Їх структура може бути досить простою, побудованою за типом зірки, лінії, кільця та ін. Так, система моніторингу в інтелектуальному будинку, де в кожній квартирі проводиться моніторинг режимів і станів предметів вжитку та обслуговування, побудована, як правило, за типом зірки. Разом з тим, СМ такого будинку вже носить складну ієрархічну структуру, що забезпечує збір інформації з кожної квартири з проміжним вузлом доступу, що формує трафік від дому. Очевидно в квартирах встановлюються кінцеві вузли, що утворюють мережу кінцевих вузлів (МКВ); на будинку — головні вузли, що утворюють мережу головних вузлів (МГВ), що у свою чергу забезпечують обмін інформацією з центральним вузлом та утворюють наступну мережу центральних вузлів (МЦВ).

Враховуючи те, що СМ часто функціонують на території, не обладнаній мережею електроживлення, особливе значення має економія електроживлення як самих датчиків, так і відповідних вузлів, що здійснюється, як правило, автономно. Це накладає обмеження на тривалість роботи СМ, на порядок передавання сигналів, на стратегію взаємозв'язку, процедури самоорганізації та самовідновлення тощо.

Багато з перерахованих завдань вирішено лише в концептуальному плані. Спроба реалізації їх на базі існуючих проводових, оптоволоконних або

безпроводових систем виявляється не настільки прозорою, особливо з урахуванням обмежень, накладених самими об'єктами моніторингу. Так, часто в існуючих ТКС від протоколів управління SNMP, RMON та ін. оператори свідомо відмовляються, враховуючи їхню велику потребу у трафіку. Крім того дані протоколи забезпечують доставку моніторингової інформації, яка далі використовується особами, що приймають рішення (ОПР), для відповідного реагування. Автоматичні або ефективні автоматизовані рішення з управління масовими мережами, на жаль, поки що не передбачені. Інша специфіка СМ, що використовується для охоронних систем, пов'язана з оригінальним використанням режимів каналів зв'язку, де інформацією є не наявність тих чи інших сигналів, а їх зникнення. Часто виникає потреба не тільки в передачі сигналів моніторингу від об'єкта до центрального вузла, а й в одночасній обробці в самому сенсорному вузлі або в інших вузлах, що не властиво ТКС. До завдань СМ часто відносять виконання додаткових функцій з управління структурою або режимами спостережуваного об'єкта, що зазвичай вимагає використання адаптивних процедур.

Дана дисертаційна робота, тема якої присвячена дослідженню структурних і функціональних характеристик моделей СМ, методам реалізації найбільш важливих рішень, що впливають на їх ефективність за типових обмежень, на наш погляд, є актуальною, спрямованою на підвищення якісних показників з наданням послуг моніторингу.

Проблемі побудови сенсорних мереж присвячена велика кількість літератури, в основному російських і зарубіжних авторів, у тому числі роботи автора [1–17].

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано згідно з вимогами положень «Основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки», «Концепції конвергенції телефонних мереж і мереж з пакетною комутацією в Україні», «Концепції національної інформаційної політики» та «Концепції Національної програми інформатизації». Результати роботи реалізовано під час виконання науково-дослідної роботи № 261-1 «Методи підвищення продуктивності безпроводових мереж наступного покоління» (№ ДР 0111U002627), де автор виступив співвиконавцем. За матеріалами дисертації розроблено 2 лабораторні роботи і 2 лекції з дисципліни «Сенсорні та полігрові системи», яку читають на

кафедрі ТКС ХНУРЕ. Впровадження результатів дисертаційної роботи підтверджено відповідними актами.

Метою дисертаційної роботи є проведення класифікації СМ згідно з можливими способами їх застосування, розробкою методів побудови та функціонування цих мереж, що забезпечують більш якісне вирішення завдань моніторингу. Для досягнення поставленої мети в дисертації було поставлено такі **завдання:**

1. Провести аналіз структурних моделей та особливостей побудови СМ з урахуванням існуючих технологічних платформ і технологій, що використовуються у безпроводових СМ.

2. На підставі наявних у СМ стратегій функціонування вибрати стратегії, які є більш раціональні для типових ситуацій, характерних для СМ. Обґрунтувати і проаналізувати обрані варіанти.

3. Розробити математичну модель СМ з можливістю самоорганізації, вибрати раціональні енергозберігаючі технології, провести аналіз ймовірнісно-часових характеристик обраної моделі.

4. Провести аналіз IP-протоколів маршрутизації, що відповідають різним ситуаціям. Розробити пропозиції щодо їх використання в СМ.

5. Обґрунтувати вибір методів випадкового множинного доступу для СМ, провести їх аналіз і дати рекомендації щодо їх використання.

6. Враховуючи автономність СМ, дати рекомендації щодо енергозберігаючих технологій і проаналізувати варіанти обробки сигналів моніторингу, включаючи процедури виявлення, розрізнення, класифікації, ідентифікації подій. Розглянути можливість функціонування зазначених процедур в умовах апіорної невизначеності.

7. Проаналізувати можливість роботи СМ у неліцензованих діапазонах хвиль. Оцінити ефективність роботи мережі в умовах зосереджених завад.

8. Дати рекомендації щодо порядку перегляду ситуацій n -мірної сенсорної мережі. Визначити раціональну політику моніторингу.

Об'єкт досліджень: Процеси моніторингу в сенсорних мережах.

Предмет досліджень: Методи підвищення якості моніторингу в сенсорних мережах з використанням сучасної технологічної бази телекомунікаційних систем.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань були використані методи системного аналізу, методи теорії ймовірностей, математичної статистики, теорії випадкових процесів, теорії зв'язку, теорії масового обслуговування, статистичні методи прийняття рішень, теорія нечітких множин, методи нейронних мереж, методи натурального і машинного експерименту, поширення радіохвиль.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вдосконалено плановані протоколи MAC-рівня, що забезпечують більш ефективні енергозберігаючі технології електроживлення при заданих ймовірностях покриття зони моніторингу.

2. Вдосконалено конкурентні протоколи MAC-рівня. Модернізовано дисципліну обслуговування сенсорних вузлів за рахунок самоорганізації в ході оптимізації енергоспоживання.

3. Набули подальшого розвитку методи енергозбереження під час розв'язання задач маршрутизації, новизна яких полягає в обґрунтуванні раціонального вибору протоколів маршрутизації, включно з виявленням місцезнаходження вузлів.

4. З використанням методів штучного інтелекту, параметричних і непараметричних методів виявлення набули подальшого розвитку методи обробки сигналів моніторингу. У результаті аналізу коефіцієнта достовірності даються рекомендації щодо використання послідовних і паралельних методів перегляду ситуацій.

Практична цінність дисертації полягає в наданні науково обґрунтованих рекомендацій щодо вибору структурних та функціональних характеристик сенсорних мереж. Наприклад, рекомендовано ряд структур для реалізації стратегій управління подіями і періодичного збору інформації, для реалізації технологічних платформ на основі RFD і FFD вузлів, обґрунтовано вибір гібридно-ієрархічної структури, методів маршрутизації, випадкового множинного доступу. Запропоновано нові алгоритми самоорганізації, енергозбереження, прийняття рішень в умовах невизначеності, забезпечення високого рівня достовірності результатів моніторингу в умовах високого завантаження в неліцензованих діапазонах хвиль.

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідалися та обговорювалися на міжнародних, всеукраїнських та відомчих конференціях і

симпозіумах: Міжнародна конференція CADSM-2013 (Polana-Svalyva), TCSET-2012, Lviv, МРФ-2011, Харків та на щорічних молодіжних форумах, що проходили в ХНУРЕ, на засіданнях кафедри ТКС.

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 12 друкованих робіт, включаючи 8 статей у журналах зі списку МОН України. Результати роботи представлені у навчальному посібнику «Методи наукових досліджень в телекомунікаціях» розділ 10.8, СМІТ, 2012, Харків, 2 том.

Особистий внесок автора. Основні наукові результати отримані автором самостійно. Теоретичні та експериментальні дослідження, що виносяться на захист, проведені автором особисто. У спільних наукових роботах автору належить: у [1, 2] — розробка математичної моделі та розрахунки для аналізу запропонованих рішень; в [3, 4, 5, 6] — постановка задачі, розрахункова частина та розробка імітаційного експерименту; в [7, 8] — розробка математичної моделі і аналіз запропонованих рішень; в [9, 10] — постановка задачі та розробка математичної моделі; в [11, 12] — розробка математичної моделі та розробка рекурсивного алгоритму оцінки; в роботах [13, 14] — постановка задачі і сама ідея вибору методу випадкового множинного доступу, а також розв’язання задач аналізу; в [16, 17] — розробка математичної моделі і аналіз; в [17] — постановка завдання, синтез і аналіз імовірнісних характеристик.

Обсяг і структура роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літературних джерел. Загальний обсяг складає 150 сторінок друкованого тексту, із них: 40 рисунків, бібліографія з 144 найменувань на 15 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** представлені необхідні дані і обґрунтовано актуальність теми.

Перший розділ присвячений огляду особливостей побудови та функціонування сенсорних мереж. Дається загальна характеристика сенсорних мереж як різновиду телекомунікаційних мереж (ТКС), обговорюються специфічні особливості цих мереж, такі як робота їх в автономному режимі, що накладає важливі обмеження на тривалість життєвих циклів, необхідність енергозбереження на всіх рівнях і у всіх режимах роботи. Радіодіапазони, в яких функціонують сенсорні мережі, не підлягають ліцензуванню, що вимагає застосування заходів

додаткового завадозахисту. Важливою особливістю є необхідність відпрацювання інформації радіомоніторингу об'єкта спостереження, включаючи виявлення, розрізнення, класифікацію подій. Все це висуває інші, в порівнянні з ТКС, критерії та методи їх забезпечення. Так, для сенсорних мереж не потрібна висока продуктивність, не критичне значення мережної затримки.

Розглядається структура окремих елементів сенсорних вузлів і структурних особливостей самої мережі. Дане завдання подано для дослідження.

У другому розділі розглянуто аналіз технологій, що використовуються у безпроводових сенсорних системах. У результаті аналізу отримано висновки про можливість побудови типових структур: зіркової, пірингової, деревовидної та інших основних безпроводових мереж на базі технологічних платформ PAN (ZigBee, IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.1).

Як фізична, так і логічна топологія мережі визначається конфігурацією, щільністю вузлів, потужністю їх передавачів. Розглядаються 2 типи вузлів: повного функціонування (FFD) і спрощеного (RFD), а також вузол PAN-координатора (головного у кластері).

Побудова MAC-рівня мережі в основному визначається потребами енергозбереження. Протоколи MAC-рівня поділяються на 2 групи: плановані і конкурентні. Плановані протоколи є малопродуктивними, проте стійкі за будь-яких навантажень, конкурентні ж є енергетично більш вигідними, мають високу продуктивність, однак можуть мати обмеження в кількості заявок, за межами якого різко втрачається якість.

Оскільки традиційні протоколи маршрутизації, засновані на IP, виявляються не придатними для застосування у сенсорних мережах через наявність великої кількості вузлів, жорстких вимог щодо економії енергопотенціалу, що обмежують вирішення багатьох завдань, потреб помістити в сон якомога більше вузлів, у сенсорних мережах застосовують специфічні протоколи: плоскі, ієрархічні, на основі місцезнаходження. У дисертації дані протоколи аналізуються і даються рекомендації щодо їх застосування в різних ситуаціях. Більш докладно проаналізовано протокол на основі місцезнаходження. Він більш простий, підтримується технологією IEEE 802.15.4 і є достатньо точним. Потужність сигналів на відстані в сенсорних мережах прийнято розраховувати за формулою:

$$P(r) = P(r_0)(r/r_0)^n, \quad (1)$$

де $P(r_0)$ – потужність на відстані 1 м від передавача, $n = 2, 1..2, 4$ — показник загасання сигналу.

Проведений експеримент з вимірювання рівня сигналу на відстанях до 10 м показав, що $n = 2, 2, 4$. Перспективною є маршрутизація з використанням шляхової адресації, розробленої для мобільних клієнтських та mesh-мереж, що дозволяє обійтися без маршрутних таблиць.

Третій розділ присвячений розробці енергоефективних технологій електроживлення сенсорних мереж.

Розроблено метод аналізу зв'язності сенсорних мереж для 1D, 2D, 3D областей розташування, вузлів СС. Теоретичний метод аналізу зв'язності заснований та розроблений в припущенні пуассонівського закону розміщення сенсорних елементів:

$$g_k = \frac{\gamma^k}{k!} e^{-\gamma}, \quad (2)$$

де $\gamma = \int_0^{\infty} \lambda P(r) (2\pi r)^{d-1} dr$ — середня кількість «сусідів» k -го вузла. Для $d = 1, 2, 3$ значення γ відповідно: $2\lambda r_0$, $n\lambda r_0^2$, $4\pi\lambda r_0^3/3$, r_0 — загасання сигналу передавача сенсорного вузла на відстані 1 м. Звідси отримано ймовірність відсутності ізольованих $P_{уз}$ вузлів. При цьому потужність \bar{P} в області розміром A для N вузлів:

$$\bar{P} = P_0 + P_N = \sum_{n=0}^N (\lambda A)^n e^{-\lambda A} / n! (1 - P_{уз})^n = \exp\{-\lambda A \exp(-\gamma)\}. \quad (3)$$

На додаток до теоретичних досліджень розроблено та проаналізовано імітаційну модель функціонування сенсорної мережі з самоорганізацією в зв'язку з втратами зв'язності, викликаних виснаженням енергопотенціалу окремих вузлів. Розміщення вузлів мережі імітувалося методом Монте-Карло в 2D і 3D просторах. Головний вузол вибирається згідно з відстанню Махаланобіса в центрі кластера. Як метод випадкового множинного доступу був обраний метод подвійної експоненційної відстрочки (відкату), що забезпечує максимальну швидкість вирішення конфлікту $R = t_k / T_k$, де t_k — кратність конфлікту, $2, 3, \dots$, T_k — період вирішення конфлікту.

На рис. 1. наведено графіки середнього відсотка ізольованих вузлів у заданій області залежно від критичного діапазону передачі. На рис. 2. наведено графіки втрати зв'язку залежно від залишкового енергетичного ресурсу для n -стрибкових сполук сенсорних вузлів.

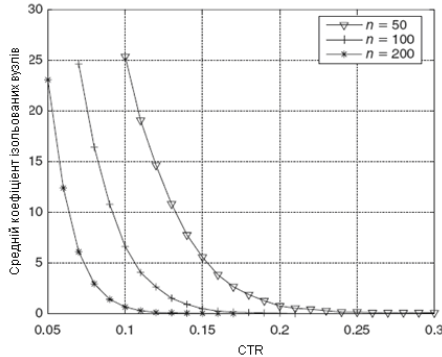


Рис.1. Середній процент ізольованих вузлів у залежності від значення критичного діапазону передачі CTR

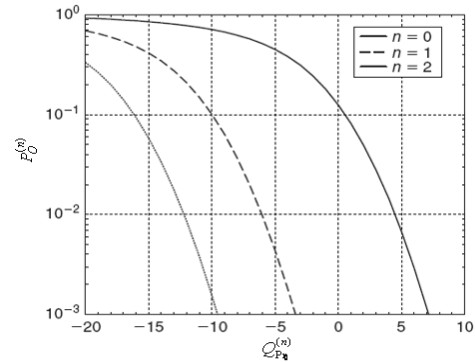


Рис. 2. Ймовірність втрати зв'язку в залежності від енергетичного запасу для стрибків $n = 0, 1, 2$, $\alpha = 3.5$ та $\sigma = 3$

Враховано, що на кожному з S -циклів роботи мережі витрачається певна кількість енергії

$$E_S = P_{nep} \cdot T \cdot n. \quad (4)$$

Залишкова кількість енергії для кожного з i -вузлів визначається як

$$Q_i^{(S)}(E) = Q^{(S-1)} - SE_i^{(S)}. \quad (5)$$

Визначено максимальну тривалість безперервної роботи сенсорної мережі з урахуванням зміни головних кластера й енергетичного ресурсу, що витрачається, та отримано характеристики, близькі до тих, що були розраховані теоретично. Структури сенсорної мережі в динаміці витрати енергоресурсу наведені на рис. 3. а, б і в.

У четвертому розділі розглянуто обробку результатів моніторингу. Обробка інформації в сенсорних мережах дозволяє мінімізувати трафік, зменшити затримки в прийнятті рішень, підвищити достовірність отриманої в процесі моніторингу інформації.

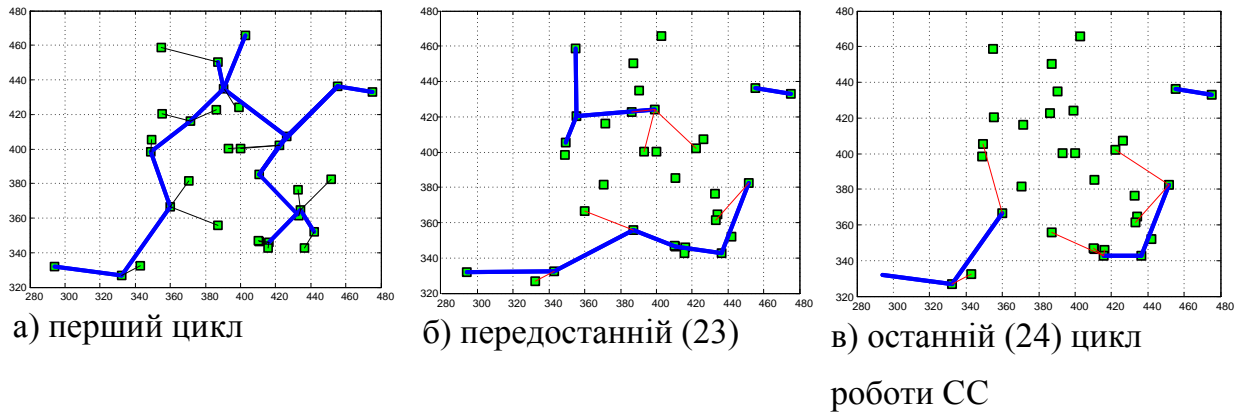


Рис. 3. Результати моделювання алгоритму роботи СС

Враховуючи високий рівень апіорної невизначеності для вирішення основних завдань, прийнято рішення залучити менш чутливі до вихідних даних методи нечіткої логіки, нейромережні методи, непараметричні алгоритми виявлення класифікації та ін. Наведено процедуру використання правил нечіткого логічного висновку як для аналогових, так і для дискретних операцій. Дається практичний приклад формалізації такого висновку з використанням відповідних передумов і наслідків. На рис. 4.2 наведено алгоритм розрахунку вихідних змінних величин з використанням функцій належності, фазифікації і дефазифікації.

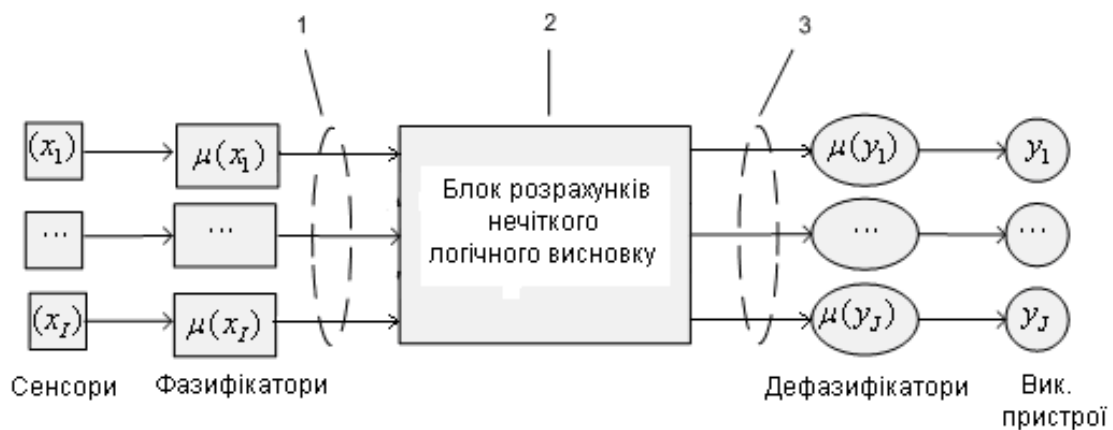


Рис. 4. Структура алгоритму розрахунку нечіткого логічного висновку

Завдання розпізнання та класифікації в сенсорних мережах є основними і найбільш інтелектуально насиченими, тому часто для їх вирішення залучають експертів, осіб, що приймають рішення, і це збільшує вартість цих рішень, уповільнює отримання остаточних даних. Автоматизація ж зазначених завдань вимагає у свою чергу високої кваліфікації спеціалістів, що займаються відбором значущих ознак, також такі рішення є досить затратні. Даються варіанти рішень зазначених завдань різними методами та рекомендації щодо їх використання.

Проаналізовано політику моніторингу з періодичним збором інформації і з управлінням подіями. Політика управління подіями вигідна в тих ситуаціях, коли самі події досить рідкі, наприклад, в охоронних структурах. У більшості випадків, у тому числі і в телекомунікаційних системах, доводиться забезпечувати періодичний перегляд об'єкта моніторингу, що не виключає спільного використання обох політик.

Другий важливий компонент організації моніторингу: вибір між паралельним і послідовним порядком опитування станів об'єктів моніторингу, особливо за наявності зовнішніх зосереджених завад, характерних для неліцензованих діапазонів.

$$K_o^{(L)} = \frac{P_o^{(L)} N_c}{P_o^{(L)} N_c + P_{\text{лт}}^{(L)} (N_{\text{э}} - P_o^{(L)} \cdot N_c)} = \left[1 + P_{\text{лт}}^{(L)} \left(\frac{1}{K_3 P_o^{(L)}} - 1 \right) \right]^{-1}, \quad (6)$$

$$P_o^L = 1 - (1 - P_o)^{L-1}, \quad (7)$$

де $P_o^{(L)} = 1 - (1 - P_o)^{L-1}$ – ймовірність виявлення події впродовж декількох циклів

$$L_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, \quad P_o = P_{\text{лт}}^{k_0, 5h^2};$$

$P_{\text{лт}}$ – задана ймовірність помилкової тривоги;

$h_0^2 = h^2 / S^2$ – відносне значення сигнал/завада до чутливості приймача.

При високому рівні зовнішніх завад $h_0^2 \leq 1$.

На рис. 5 наведено графіки $\Delta T_c / T_c$ – відносної втрати часу на виявлення подій при паралельному методі моніторингу та при різному відносному часі ідентифікації цих подій. З графіків випливає, що навіть за досить великої кількості елементів $N_{\text{э}} = 20 \cdot 10^3$ помітного виграшу немає, що пов'язано як з втратами часу на ідентифікацію, так і з наявністю завад.

На рис. 6. наведено графіки K_D в залежності від кількості циклів перегляду.

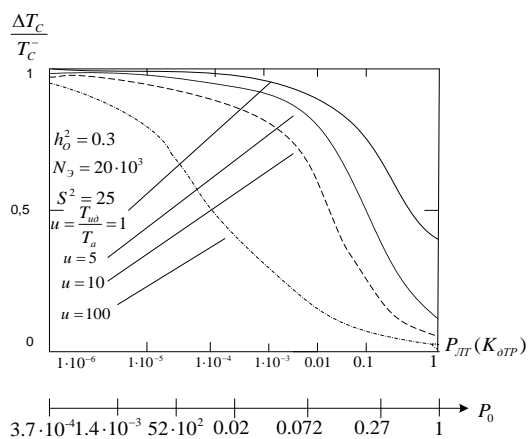


Рис.5. Відносне перевищення часу виявлення події при паралельному методі моніторингу за кількості елементів $N_э = 20 \cdot 10^3$

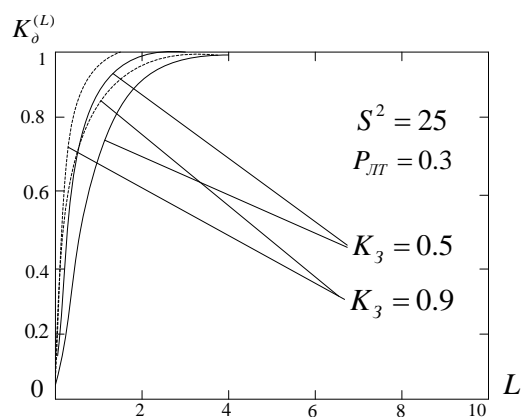


Рис.6. Графік показника достовірності виявлення при збільшенні циклів моніторингу

ВИСНОВКИ

Сенсорні мережі (SANs) знаходять широке застосування в сучасному житті. Вони забезпечують організацію оперативного моніторингу різних процесів і об'єктів в автоматичному режимі або з використанням кваліфікованих експертів – осіб, що приймають рішення. Найбільш конструктивним рішенням для СМ є їх побудова на основі безпроводової технології WSAW, що забезпечує їхню велику універсальність, скорочення часу на розгортання і згортання, необхідну стійкість у критичних умовах.

Велике різноманіття ситуацій та супроводжуваних їх подій не дозволяє обійтися лише одним режимом або методом побудови СМ. Так, залежно від значущості подій, виявляються різні ризики, які супроводжують помилки пропуску цілі і помилкової тривоги. Самі ж події можуть виявитися частими або достатньо рідкими, сигнально-завадова обстановка, розмірність СМ (кількість вузлів), час функціонування можуть змінюватися у великих межах.

Проведений у даній дисертації аналіз існуючих технологій дозволив провести класифікацію сенсорних мереж за можливими способами їх застосування і сформулювати рекомендації, спрямовані на більш якісне вирішення завдань моніторингу. В результаті проведених дисертаційних досліджень можна сформулювати наступні висновки.

1. Відмінною особливістю застосування сенсорних мереж у порівнянні з класичними телекомунікаційними мережами є те, що вони функціонують здебільшого в автономному режимі. При цьому крім передачі інформації з необхідною якістю, тут необхідно дбати про енергозбереження, здійснювати попередню, а часто і повну обробку самої інформації: виявлення сигналів, що оповіщають про події, їх розпізнавання, класифікацію та ідентифікацію, прийняття рішень для того чи іншого реагування на події, передбачати можливість використання процедур самоорганізації та адаптації. Всі ці завдання ускладнюють або просто виключають можливість використання класичних, застосовуваних у телекомунікаційних мережах методів маршрутизації, й інших характерних процедур.

2. Показано, що функція в сенсорних мережах вибирається на підставі двох стратегій: на підставі управління подіями (УП) і на періодичному зборі інформації (ПЗІ). З аналізу стратегій випливає, що УП застосовується за невеликої інтенсивності подій, в той час як ПЗІ раціональніше використовувати при інтенсивному потоці подій. Проведено аналіз ймовірно-часових характеристик у стратегіях ПЗІ. При цьому набули подальшого розвитку нові технологічні рішення і рекомендації з підвищення показників якості СМ у рамках цих стратегій.

3. З використанням доступної літератури проведено великий аналіз основних технологічних платформ і технологій, що використовуються у безпроводових сенсорних мережах, побудованих на базі IEEE 802.15.4, ZigBee, Bluetooth та ін., зокрема визначено функції кінцевих вузлів RFD і повнофункціональних FFD вузлів у типових зіркових і пірингових топологіях. При цьому необхідні для забезпечення системності управління фізичною і логічною топологіями доцільно здійснювати, залишаючись в рамках моделі гібридної ієрархічної структури (ГІС).

4. Проведено вибір, обґрунтування та аналіз протоколів MAC-рівня, де як основна вирішується проблема енергозбереження і використання енергетичних параметрів для формування необхідного відношення сигнал/шум, визначення головного і пошуку сусідніх сенсорних вузлів. Дається обґрунтування позитивних властивостей і недоліків планованих і конкурентних протоколів. Даються рекомендації з використання цих протоколів.

5. Показано, що широко відомі IP-протоколи маршрутизації для СМ мають обмежене застосування через наявність великої кількості вузлів і сенсорних датчиків, а також через те, що тут виявляються більш важливими самі передані

дані, а не інформація про конкретні джерела. Проаналізовано велику кількість різноманітних протоколів і методів маршрутизації, доречних для використання в СМ: методи плоскої, лавинної, випадкової, обмінної, ієрархічної, градієнтної та ін. маршрутизації, а також маршрутизації на основі місця розташування сенсорних вузлів. Проаналізовано і показано раціональність вибору методу маршрутизації з використанням шляхової адресації, заснованої на розсилці службових пакетів та отриманні пакетів підтвердження, що не вимагає використання маршрутних таблиць. У цьому методі використовується модель поширення хвильового фронту в нейронних мережах. За всіма даними типами маршрутизації даються конкретні рекомендації щодо їх використання в залежності від розв'язуваних завдань і умов функціонування.

6. Прийнята в СМ асимптотична методика енергетичного розрахунку, заснована на визначенні рівня сигналу на відстані 1 м від передавача, дозволяє досить точно і просто визначати енергетику в лініях СМ і віддаленість до сусідніх вузлів. Дана технологія оцінки відстані (RSSI) використовується під час розв'язання задач маршрутизації, під час вибору головних вузлів, у процедурах енергозбереження. У проведених експериментальних дослідженнях рівнів сигналів у приміщеннях відзначена деяка відмінність (збільшення) показника затухання від квадратичної.

7. Практично всі питання, що стосуються сенсорних мереж, тією чи іншою мірою пов'язані із заощадженням енергетики на вузлах. Більше того, до заощадження енергетики слід підходити не тільки з позиції вузлів, але, що більш важливо, з позиції енергопотенціалу всієї сенсорної мережі. З цією метою використовується адаптивний алгоритм контролю потужності топології. Проведено аналіз процесу енергоспоживання в СМ у різних періодах її функціонування: переходу в сон і назад, збору та обробки інформації, прийому і передачі пакета. Розгляд послідовності енергоспоживання різними вузлами мережі показав, що найбільш енерговитратним є головний вузол. Для виконання парадигми енергозбереження потенціалу всієї мережі пропонується циклічна заміна головних вузлів. Розрахунки показали, що до завершення періоду часу життя мережі вийшли з ладу (втратили енергопотенціал) 75% сенсорних вузлів. Проведено аналіз стійкості сенсорної мережі (ймовірності втрати зв'язку) залежно від енергетичного

потенціалу сенсорної мережі для n -стрибкової лінії для отримання заданої ймовірності втрати зв'язку.

8. Розроблено імітаційну модель самоорганізації сенсорної мережі з урахуванням особливостей дисципліни обслуговування вузлів мережі. Розроблено методику аналізу структури і функції СМ, суть якої в наступному. Модель випадкового розташування вузлів у тривимірному обмеженому просторі отримано методом Монте-Карло. У припущенні гауссового розподілу сенсорних вузлів у моделі здійснюється розрахунок енергетичного потенціалу кожного з вузлів і розраховується залишкова кількість цього потенціалу. Граничні дальності зв'язку для вузлів з урахуванням енерговитрат (критичний діапазон передачі — СТР) визначаються з використанням міри Махаланобіса. Виходячи з комплексних показників здійснюється вибір головного вузла в кластері за умовою максимальної зв'язності. Запропонована імітаційна модель аналізує ту чи іншу структуру СМ і дозволяє отримати конфігурацію топології в динаміці витрачання енергетики, проводити розрахунки ймовірно-часових характеристик.

9. Важливим параметром надійності будь-якої структури є її зв'язність. У припущенні пуассонівського розподілу вузлів подано і розроблено в роботі методику аналізу середнього відсотка ізольованих вузлів залежно від значень критичного діапазону передачі СТР для різної концентрації цих вузлів. З використанням даної методики і за даними проведеного аналізу можна вибрати необхідну щільність вузлів для моніторингу з необхідною ймовірністю.

10. Синтезовано модель енергоспоживання, що витрачається в ході доступу до сенсорної мережі під час використання методу подвійної експоненціальної відстрочки. Проаналізовано мережу в станах прослуховування і очікування. Детально проаналізовано повний цикл регенерації. З розгляду залежності енергоефективності від інтенсивності вхідного потоку і розмірів максимального періоду очікування випливає, що обидві залежності монотонно зростають. Проте вплив розміру кінцевого періоду очікування зростає тільки в області початкових значень. З графіків також випливає, що вибір змінного періоду очікування не забезпечує більш високого рівня енергоефективності та його використання при пуассонівському вхідному потоці недоцільно. Проведено аналіз моделі комбінованого множинного доступу. У моделі розглянуто як алгоритм доступу до каналу (АДК), так і АРК – алгоритм розв'язання конфлікту. Розгляд коефіцієнта

використання показує зниження його із збільшенням кількості вузлів. Аналіз часу затримки показав, що механізм ВЕВ із збільшенням навантаження втрачає свою ефективність і надалі метод полігону має пріоритет. У такому випадку слід або нарощувати продуктивність при подвійному експоненційному відкаті або переходити до полігону.

11. У зв'язку з автономністю функціонування сенсорних мереж як обов'язкової складової має місце обробка сигналів моніторингу. Під час обробки інформаційних сигналів моніторингу часто доводиться вирішувати складні логічні завдання в умовах апріорної невизначеності, що вимагає залучення висококваліфікованих ОПР або методів прийняття інтелектуальних рішень. Показано необхідність і можливість прийняття рішень в умовах апріорної невизначеності, використання методів штучного інтелекту, що забезпечує виконання логічної операції і, на підставі предикатних сигналів, побудову відповідних конструкції логічних алгоритмів. Наведено методику використання логічних операторів, правил нечіткого логічного висновку та лінгвістичних змінних.

12. Інтелектуально найбільш ємними процедурами під час обробки сигналів моніторингу є завдання виявлення, розпізнавання, класифікації та ідентифікації подій. Розглядаються найбільш популярні на практиці алгоритми, засновані на параметричних і непараметричних методах. Проведено аналіз параметричних методів виявлення, з якого випливає, що отримана при цьому кількість інформації пов'язана як з кількістю циклів моніторингу, так і з інтенсивністю потоку подій. Для пуассонівського потоку подій даються чисельні результати за кількістю рекомендованих циклів.

13. У складних умовах для обробки результатів моніторингу та при прийнятті логічних рішень, при класифікації ситуацій доводиться залучати ОПР, незважаючи те, що при прийнятті цих рішень зазвичай мають місце затримки часу. Як правило в таких завданнях доводиться вдаватися до багатокритеріальних рішень, хоча це вносить значну частку суб'єктивізму. Наводиться аналіз методів формалізації рішень таких завдань і запропоновано метод досягнення мети (МДМ), що є розвитком локально-оптимального методу Парето.

14. Наведені приклади розв'язання задач виявлення з використанням непараметричних і нейромережних методів засновані на розгляді мереж Кохонена,

Хеммінга і РБФ-мережі. Як виявники запропоновано використовувати порядкові статистики, зокрема знакові і рангові процедури. Аналіз характеристик залежності ймовірностей правильного виявлення показали, що карти Кохонена не забезпечують значень ймовірності вище 0,75. Алгоритми Хеммінга і РБФ-мережі мають більш високі показники якості в порівнянні з параметричними виявниками.

15. Проаналізовано різні методи організації моніторингу в СМ. В ході використання стратегії періодичного збору інформації (ПЗІ) був формалізований процес організації моніторингу з паралельним і послідовним переглядом багатовимірних станів об'єкта в умовах наявності білих і забарвлених, зосереджених по спектру завод, характерних для неліцензованих діапазонів. Розроблена методика аналізу якості моніторингу ґрунтується на розгляді коефіцієнтів достовірності K_o . Показано, що в умовах досить низьких співвідношень рівнів ОСПШ = сигнал (перешкода + шум) і чутливості приймача, що складають $h_o^2 = 0,3$, отримати високий рівень K_o і високу ймовірність виявлення не вдається. Збільшення h_o^2 до значення 1 призводить до різкого поліпшення K_o .

16. Проаналізовано часові затрати, що виникають в ході реалізації різної політики моніторингу. Показано, що інтелектуально місткі процедури прийняття рішень за кожною із подій при їх паралельній реалізації пов'язані з великою витратою сил і засобів, незалежно від того, що залучатиметься для розв'язання: група ОНР або безліч складних автоматів. Тому на практиці доводиться використовувати послідовну процедуру. При очевидному виграші у значеннях втрат часу при паралельному методі перегляду об'єкта виявилось, що використання при цьому послідовного методу класифікації та ідентифікації не призводить до різкого зменшення часових витрат, тому їх використовувати не раціонально. Таким чином, як основний метод слід вибирати послідовний метод огляду.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Vasilenko Y. Synthesis Algorithm for Determinity the Direction of the Arrival Signal from Mobile Station / Y.Vasilenko, Y.T. Hussein., M. Moskalets // CADSM,2013, 19-23 February, 2013, Polana-Svalyava (Zakarpattya), UKRAINE. P. 369 — 372.
2. Наорс И.Анад.Совершенствоование механизмов случайного множественного доступа / Наорс И.Анад, Я.Т.Хуссейн //Вестник НГУ ХПИ. №3. — 2011, С. 108 —

- 115.
3. Теплицкая С.Н. Энергетически эффективный алгоритм самоорганизации в беспроводной сенсорной сети / С.Н. Теплицкая, Я.Т. Хуссейн // Восточно-европейский журнал передовых технологий, № 2/9 (56). – 2012. – С. 25 – 29.
 4. Loshakov V. A. Adaptive modulation in LTE technology by using OFDMA and SC-FDMA with MIMO / V. A. Loshakov, H.D. Al-Janabi, Y. T. Hussein, N. T. Nasif // Восточно-Европейский журнал передовых технологий (ISSN 1729-3774). – 2013. – Vol. 2/9 (62). – 8. – 11 p.
 5. Al-Janabi, H.D. Using LTE technology in wireless sensor networks / H.D. Al-Janabi, Y.T. Hussein. // Радиотехника: Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. – 2013. – Вып. 172. – С. 81 – 88.
 6. Поповская Е.О. Анализ качества двумерного рекурсивного фильтра / Е.О. Поповская Б.С. Тур, Я.Т. Хуссейн // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Вып.55. – С. 26 – 28.
 7. Поповский В.В. Методы последовательной компенсации искажений в древовидных алгоритмах случайного множественного доступа / Б.С.Тур, Я.Т. Хуссейн. Вісник НТУ ХПІ. Вып. 58 – 2011. – С. 128 – 134.
 8. Loshakov V.A. Improving Energy Consumption in Wireless Sensor Networks by LTE with MIMO / V.A. Loshakov, H.D. Al-Janabi, Y.T. Hussein // CADSM, 2013, 19-23 February, 2013, Polana-Svalyava (Zakarpattya), UKRAINE. P.226 – 230.
 9. Hussein Y. T. Adaptive modulation in frequency domain with MIMO / Y. T. Hussein // 17-й Юбилейный Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» Сб. материалов форума. Т. 4. – Харьков: ХНУРЭ. – 2013. – С. 31–32.
 10. Василенко Ю.А. Анализ меры информации, приобретаемой при различной интенсивности потока обнаруживаемых событий / Ю.А.Василенко, Е.О. Поповская, Я.Т. Хуссейн // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. – Донецьк. Випуск 33. –2013. – С. 96 – 100.
 11. Теплицкая С.Н. Анализ качества оценки случайных величин / С.Н.Теплицкая, Е.О. Поповская, Я.Т.Хуссейн // Всеукр.науч.-тех. сб. «Радиотехника». – 2010. С. 204 – 208.
 12. Теплицкая С.Н. Имитационная модель самоорганизации беспроводных сенсорных сетей / С.Н.Теплицкая, Я.Т.Хуссейн // Сб.науч.тр.4-го

- международ.р/эл.форума МРФ'2011, Харьков. —18—21 окт.2011. — С.287—288.
13. Saburova S. Development of Service in the IP Multimedia. / S.Saburova, E.Popovska, Y.T.Hussein //Всеукр.науч.-тех. сб. «Радиотехника», Харьков. — 2009. Вып. №159. — С. 229 — 234.
 14. Поповская Е.О. Применение алгоритма стохастической аппроксимации для оценки случайных величин / Е.О. Поповская, Я.Т. Хуссейн// 15-й Юбилейный Международный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». Сб. материалов форума. Т.4. — Харьков: ХНУРЭ. 2001. — С. 78 — 79.
 15. Tur B. Successive Interference Cancellation Methods in Tree Algorithms of Random Multiple Access / B.Tur, Y.Hussein //TCSET 2012, Lviv, Slavske. — P. 232.
 16. Тур. Б.С. Применение методов последовательной компенсации искажений в древовидных алгоритмах множественного доступа. / Б.С.Тур, Я.Т. Хуссейн //Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ-2012»: Матеріали 8-ої міжнар. молодіжної наук.-техн.конф., Севастополь 23-27 квітня 2012 р./ М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Севастоп.нац.техн. ун-т; наук.ред. Ю.Б. Гімпілевич. — Севастполь: СевНТУ, 2012. — С. 131 — 132.
 17. Василенко Ю.А. Анализ вероятностных характеристик при комбинированном многостанционном доступе / Ю.А.Василенко, Я.Т. Хуссейн // Вестник НГУ ХПИ №11, 2013. — С. 112 — 115.

АНОТАЦІЯ

Яхя Тарік Хуссейн. Методи підвищення якості моніторингу в сенсорних мережах. — Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 — Телекомунікаційні системи та мережі. — Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2013.

Дисертація присвячена розв'язанню наукової задачі розробки методів підвищення якості моніторингу в сенсорних мережах.

Проведено аналіз структур і особливостей побудови СМ з урахуванням існуючих технологічних платформ і технологій, що використовуються у безпроводових СМ.

Рекомендовано ряд структур для реалізації стратегій управління подіями та періодичного збору інформації, для реалізації технологічних платформ на основі

RFD і FFD вузлів, обґрунтовано вибір гібридно-ієрархічної архітектури, методів маршрутизації.

Розроблено методи та рекомендації, що забезпечують підвищення якості моніторингу в сенсорних мережах.

Ключові слова: сенсорна мережа, вузол, моніторинг, аналіз, обробка, класифікація, маршрутизація, автономність.

АННОТАЦИЯ

Яхья Тарик Хуссейн. Методы повышения качества мониторинга в сенсорных сетях. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – Телекоммуникационные системы и сети. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2013.

Диссертация посвящена решению научной задачи разработки методов повышения качества мониторинга в сенсорных сетях.

Проведен анализ структур и особенностей построения СС с учетом существующих технологических платформ и технологий, используемых в беспроводных СС.

Рекомендовано ряд структур для реализации стратегий управления событиями и периодического сбора информации, для реализации технологических платформ на основе RFD и FFD узлов, обоснован выбор гибридно-иерархической архитектуры, методов маршрутизации.

Разработанные методы и рекомендации позволяют повысить качество мониторинга в сенсорных сетях.

Ключевые слова: сенсорная сеть, узел, мониторинг, анализ, обработка, классификация, маршрутизация, автономность.

ABSTRACT

Yahya Tareq Hussein. Methods for improvement of monitoring quality in sensor networks. - Manuscript.

Dissertation for the candidate's degree in technical sciences in a specialty 05.12.02 – Telecommunication systems and networks. – Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, 2013.

Dissertation is devoted to the actual scientific problem related to the development of methods to improve the quality of monitoring in sensor networks.

The analysis of the structures and features of WSN construction regarding existing technology platforms and technologies used in wireless SAN is made. Regarding the autonomy of the SAN recommendations for energy saving technologies are given and different variants of signal monitoring including procedures for the detection, recognition, classification, identification of events are analyzed. Possibilities of the operation of the procedures under a priori uncertainty are considered.

A mathematical model SAN with the possibility of self-organization is developed, rational energy-saving technologies are chosen, the analysis of probability-time characteristics of the chosen model is made. The analysis of applicable for different situations IP-protocols is made. It is shown that the contention-based protocols are less energy consuming than scheduled ones.

A number of structures for the implementation of strategies and event management as well as periodic collection of information, for the implementation of technology platforms based on RFD and FFD nodes are recommended. The choice of hybrid-hierarchical architecture and routing methods is proved.

Within the use of artificial intelligence methods for parametric and non-parametric methods of detection signal processing methods of monitoring are further developed. As a result of the analysis of reliability coefficient, recommendations for the use of serial and parallel methods of situation checking are given.

The developed methods and recommendations will improve the quality of monitoring in sensor networks.

Keywords: sensor network, node, monitoring, analysis, processing, classification, routing, autonomy.

Підп. до друку 21.05.13. Формат 60x84 1/16. Спосіб друку – ризографія.
Умов. друк. арк. 1,2. Тираж 100 прим.
Зам. № . Ціна договірна.

ХНУРЕ, 61166, Харків, просп. Леніна, 14

Віддруковано в навчально-науковому
видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ
Харків, просп. Леніна, 14