

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Ковальової Юлії Вікторівни
«Математичні моделі та методи бездротової передачі даних в мережах
енергомоніторингу на об'єктах критичної інфраструктури»,
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за
спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання
та обчислювальні методи

Актуальність теми дослідження. У сучасному світі дуже гостро постає питання про економію коштів, спрямованих на організацію енергомоніторингу. З іншого боку бездротові мережі стають настільки популярними і поширеними, що подальше зростання абонентів створює безліч нових проблем і вимагає використання досконаліших методів передачі інформації, розробки ергономічних архітектур мереж більш високого рівня обслуговування. Все це призвело до того, що стали активно розвиватися технології бездротової передачі даних. На сьогоднішній день на світовому ринку існує декілька технологій бездротової передачі даних, які в свою чергу, мають свої переваги і недоліки, тому для конкретних цілей вибирають найбільш підходящу технологію. Останні досягнення технологічного прогресу зробили можливим створення мініатюрних приймачів з надзвичайно малим енергоспоживанням, здатних об'єднуватися в бездротову сенсорну мережу (БСМ). Для ефективної роботи сенсорної мережі необхідний ретельний підхід до її проектування і оптимізації, організації роботи різних компонентів, які одночасно функціонують в реальних умовах експлуатації з необхідною якістю, зокрема передача трафіка в бездротових мережах. Для збільшення часу життя БСМ необхідно вирішити цілий ряд задач, зокрема оптимального розміщення сенсорів, визначення зони дії, дальності передачі і зниження енергоспоживання сенсорів. Існуючі підходи використовують енергетичне балансування вузлів мереж, але не враховують специфіку експлуатації на об'єктах житлово-комунального господарства. Такий стан теорії та практики математичного моделювання та аналізу при вирішенні зазначених задач, визначає, що тема розв'язуваної в роботі науково-технічної задачі моделювання функціонування бездротових сенсорних мереж енергомоніторингу та збільшення часу їх життя представляється актуальною.

Структура та обсяг роботи. Дисертація загальний обсягом 165 сторінок складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, що налічує 110 найменувань, трьох додатків.

Новизна розроблених наукових положень:

1. Автором вперше розроблено математичну модель функціонування БСМ, що дозволило підвищити точність оцінки затримок передачі даних, розрахунку енергоємності та терміну служби мережі.

2. Вперше запропоновано механізм динамічної адресації польових пристроїв бездротової Інтернет-системи збору даних і управління енергоспоживанням, що унеможливує віддалене стороннє втручання в роботу сегментів системи.

3. Авторкою модифіковано протокол SCTMех, який інкапсульовано в транспортні протоколи ZigBee, що дозволяє підвищити рівень захисту інформації на рівні польових пристроїв системи.

4. Удосконалено математичну модель оцінки працездатності польових пристроїв з автономним живленням і модернізовано архітектуру системи, в результаті чого час життя системи перевищив нормативний період повірки приладів обліку.

Характеристика роботи:

У вступі автором роботи подано загальну характеристику дисертації, визначено актуальність теми, сформульовано мету дослідження, окреслено коло наукових та прикладних проблем моделювання БСМ енергомоніторингу, сформульовано цілі та задачі роботи, її наукову новизну у світлі сучасного стану зазначеної проблеми.

Перший розділ роботи присвячено огляду сучасного стану розвитку бездротових мереж моніторингу. Дисертантом наводиться опис існуючих стандартів в області бездротових сенсорних мереж і можливих областей їх застосування, зокрема ZigBee/802.15.4. Дається загальне визначення часу життя БСМ з автономними джерелами живлення, аналізуються можливі способи його збільшення. Детально розглядається група методів, які використовують енергетичне балансування вузлів мережі. У розділі автором також здійснено аналіз існуючих моделей БСМ з автономними джерелами живлення, обґрунтовано необхідність розробки моделей, оптимізованих під задачі експлуатації на об'єктах житлово-комунального господарства. У результаті проведеного аналізу Ю.В. Ковальновою зроблено висновки, що бездротові сенсорні мережі моніторингу є перспективною технологією в області створення побутових систем збору даних і управління, а ключовим показником БСМ є час

їхнього життя. Дисертантом зазначено, що з огляду на існування моделей, що описують залежність енергоспоживання від режимів роботи пристроїв стандарту 802.15.4/ZigBee на MAC і NWK рівнях специфікації, певний практичний інтерес представляє розробка математичної моделі для прогнозування часу життя і затримки зв'язку в мережах IEEE 802.15.4 з урахуванням можливого зовнішнього впливу на мережу.

У другому розділі автором розроблено математичну модель функціонування мереж на базі запитів БСМ, чиї вузли виявляють і ретранслюють події, які потрібні тільки протягом обмеженого часу. Крім того Ю.В. Ковальновою удосконалено математичну модель оцінки працездатності польових пристроїв з автономним живленням і модернізовано архітектуру системи, в результаті чого час життя системи перевищив нормативний період повірки приладів обліку. Основний шлях скорочення енергоспоживання заснований на балансі робочого циклу бездротового пристрою. Автор зазначає, що ефективна передача використовує не менше 50% від загальної енергії, 25% енергії витрачається під час конкурентного доступу до середовища, а механізм виявлення використовує 15% енергії, головним чином через необхідність активації приймача під час очікування підтвердження. Автором визначено кілька ключових способів підвищення загальної енергоефективності бездротових мереж. При цьому, автором визначено, що скорочення часу переходу між станами в два рази призводить до зменшення загальної середньої потужності на 12%; приймач, який пропонує режим малої потужності для визначення каналу і очікування кадру підтвердження, має потенціал зменшення загальної середньої потужності на додаткові 15%.

Основні результати третього розділу пов'язані із практичним втіленням теоретичних результатів попередніх розділів дисертації. Автором описано експериментальну частину досліджень, наведені результати випробувань. Крім того, у розділі розглянуто питання інформаційної безпеки автономних мереж моніторингу з точки зору терміну життя БСМ в цілому і її складових елементів зокрема. Розглянуто категорії атак і види мережевої вразливості. З огляду на актуальність проблеми сформульовані вимоги, що дозволяють підвищити захищеність БСМ від атак на польове обладнання і систему в цілому, що дозволить не тільки захистити мережу моніторингу, а й підвищити гарантований термін життя мережі. Результати розділу ілюструють, що найкращі результати досягаються при використанні технології ZigBee в системах енергомоніторингу в районах щільної багатоповерхової забудови і складної заводської обстановки. Оптимальні результати досягаються для MESH-мереж, які об'єднують в своєму складі близько 40 ПЗПД, з'єднаних одним координатором, який виконує роль шлюзу. З недоліків розділу слід зазначити, що запропонований автором механізм

динамічної адресації польових пристроїв бездротової Інтернет-системи збору даних і управління енергоспоживанням розглянуто на жаль в обмеженому обсязі.

У четвертому розділі здобувачкою описаний комунікаційний протокол БСМ і обґрунтовано необхідність його інкапсулювання в стек ZigBee для роботи в радіомережах стандарту 802.15.4, що є визначальним з точки зору вирішення завдань забезпечення надійної роботи пристроїв в бездротових мережах складної архітектури та досягнення цілей дисертаційної роботи. В ході виконання дисертаційної роботи автором була розроблена спеціалізована програмно-апаратна платформа «Smart Utility Web», експлуатація якої показала коректність підходу до побудови бездротової системи моніторингу на основі технології «роутерів, що прокидаються». Даний підхід дозволив забезпечити надійність захисту та високий рівень достовірності даних і експлуатаційну надійність, що підтверджено впровадженнями. З прикладних результатів розділу заслуговує на увагу спеціально розроблений «Інсталлер» та розроблена за участю дисертанта програма параметризації «SCTM-Dialog» (п.4.3.), за допомогою якої здійснюється дистанційне керування польовими пристроями.

Ступінь обґрунтованості наукових положень та висновків дисертації базується на останніх досягненнях у галузі математичного моделювання з використанням сучасних уявлень про фізичні механізми розповсюдження даних у мережах, зокрема бездротових сенсорних мережах, підтверджується їхнім узгодженням з відомими з літератури результатами, комп'ютерною реалізацією розроблених алгоритмів. Матеріали дисертації неодноразово доповідалися автором на конференціях, зокрема міжнародних.

Усе це свідчить про високий рівень достовірності наукових положень, висновків дисертації та обґрунтованості її результатів.

Цінність дисертації для науки. У дисертаційній роботі автором вирішено важливу науково-прикладну задачу підвищення якості функціонування бездротових сенсорних мереж енергомоніторингу та збільшення часу їх життя за рахунок розробки відповідних математичних моделей і методів дослідження режимів енергоспоживання. У роботі запропоновано новий підхід до вирішення проблеми енергозбереження в сенсорних мережах енергомоніторингу, що дозволяє одночасно скоротити енергоспоживання мережевих пристроїв і час доставки повідомлень.

Тематика виконання досліджень відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 — «Математичне моделювання та обчислювальні методи» (технічні науки) за пунктами:

- розробка або розвиток теорії математичного моделювання реальних

явищ, об'єктів, систем чи процесів як сукупності формалізованих дій (операцій) для складання ефективних математичних описів об'єктів, що досліджуються;

- модифікація та спеціалізація існуючих обчислювальних методів з метою підвищення їх ефективності, створення і дослідження нових обчислювальних методів і алгоритмів, що враховують особливості реальних технічних та технологічних задач, забезпечують створення ефективних програмних засобів комп'ютерної реалізації».

Прикладна цінність дисертації. Практична значущість одержаних результатів полягає у наступному:

- Розроблено апаратну платформу і програмне забезпечення бездротової Інтернет-системи енергомоніторингу. Платформа дозволяє в рамках єдиної системи застосувати стандартні апаратні засоби провідних виробників, які працюють на різних частотах безліцензійного ISM діапазону.
- З метою підвищення рівня захищеності мережі модернізований протокол SCTMex інкапсульовано в протокол транспортного рівня.

Прикладна значущість результатів роботи підтверджена її застосуваннями, зокрема результати досліджень, виконаних у кандидатській дисертації, впроваджено:

- в АТ «ДТЕК Дніпровські електромережі» (м. Дніпро) при побудові системи комерційного обліку електроенергії компанії.
- в ПрАТ «Дніпрополімермаш» (м. Дніпро) під час побудови системи комерційного обліку води, газу та електроенергії товариства.
- в ТОВ «ЛЕД Азімут» (м. Кам'янське) під час адаптації системи моніторингу та управління загальним освітленням «Smart Lighting Web-ZB».
- Департамент екологічної політики Дніпровської міської ради (м. Дніпро) під час побудови системи моніторингу якості поставок води промисловим і побутовим споживачам.
- в навчальний процес Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Рекомендації щодо впровадження результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи на наш погляд можуть бути використані при підвищенні часу існування бездротових сенсорних мереж на виробництві, в медицині, військово-промисловому комплексі та ін.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Роботу виконано в Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України. Тематика роботи відповідає вимогам, встановленим Законом України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» (від 16 січня 2016 року, №848-VIII), у тому числі розділам «Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави».

Зауваження по роботі.

1. В роботі не представлено порівняння розроблених моделей функціонування/енергоспоживання бездротових сенсорних мереж з розглянутими авторкою в першому розділі.
2. Із матеріалів роботи не зрозуміло, як впливає дальність передачі даних вузлом мережі на кількість відмов запитів та у підсумку на енергоспоживання вузла та час життя мережі (розділ 2).
3. Запропоновані автором у роботі моделі функціонування бездротових сенсорних мереж енергомоніторингу та збільшення часу їх життя розвинені без урахування існуючих моделей шуму. У цьому контексті не зрозуміло, чи існують обмеження застосування розроблених моделей та алгоритмів для передачі трафіка с завадами.
4. Автором на основі теоретичних досліджень розроблено спеціалізовану програмно-апаратну платформу «Smart Utility Web» (Додаток В) на базі бездротового модуля XBEE S2, програмне забезпечення якого надає ряд службових функцій, що помітно полегшують роботу при побудові мережі з Mesh-топологією, зокрема перевірки маршрутів і контролю напруги джерела живлення віддаленого пристрою. Але на жаль в роботі дуже стисло висвітлено зв'язок зазначених можливостей системи з запропонованими у попередніх розділах математичними моделями та алгоритмами.
5. У тексті дисертації присутня низка невдалих формулювань. Більшість графічних матеріалів, які докладно ілюструють роботу відповідних алгоритмів, доцільно було винести у додатки.

Однак, наведені зауваження суттєво не знижують загальної позитивної оцінки роботи та не відносяться до її принципових положень.

Загальна оцінка роботи та висновок про відповідність дисертації вимогам Департаменту атестації кадрів України. У цілому дисертаційна робота Ковальової Юлії Вікторівни «Математичні моделі та методи бездротової передачі даних в мережах енергомоніторингу на об'єктах критичної інфраструктури» є завершеною науковою працею, яка містить нові теоретичні положення. Роботу виконано на високому науковому рівні, добре оформлено та ілюстровано.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 32 наукових роботах, 13 з яких – без співавторів. П'ять статей опубліковано в наукових фахових виданнях України, 3 статті – у закордонних виданнях, 3 роботи індексуються в міжнародній наукометричній базі Scopus; 22 роботи опубліковано у збірниках матеріалів і тез міжнародних та всеукраїнських конференцій. Автореферат із достатньою повнотою розкриває зміст дисертації.

У роботі одержані нові науково обґрунтовані результати, які забезпечують ефективне розв'язання науково-прикладної задачі підвищення якості функціонування бездротових сенсорних мереж енергомоніторингу та збільшення часу їх життя за рахунок розробки відповідних математичних моделей і методів дослідження режимів енергоспоживання. Вважаю, що дисертаційна робота «Математичні моделі та методи бездротової передачі даних в мережах енергомоніторингу на об'єктах критичної інфраструктури» задовольняє вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 зі змінами, затвердженими Постановами Кабінету Міністрів України, які висуваються до кандидатських дисертацій, а Ковальова Юлія Вікторівна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 — «Математичне моделювання та обчислювальні методи» (технічні науки).

кандидат технічних наук
старший викладач кафедри комп'ютерних наук
Таврійського державного агротехнологічного
університету імені Дмитра Моторного,
м. Мелітополь

М. Ю. Мірошніченко

Підпис Мірошніченка М.Ю. підтверджую
Вчений секретар

Таврійського державного агротехнологічного
університету імені Дмитра Моторного



С.М. Розуменко