

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, к.т.н., доцента ОРЕХОВА Олександра Олександровича
на дисертаційну роботу СКОРОБОГАТЬКА Станіслава Віталійовича
*«Моделі та програмні засоби оцінювання надійності гібридних сенсорних
мереж систем моніторингу потенційно небезпечних територій»*,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі знань 12 Інформаційні технології
за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія

Актуальність теми

Сучасні тенденції розвитку цифрових технологій моніторингу характеризуються активним впровадженням розподілених сенсорних платформ, безпілотних літальних апаратів та периферійних обчислень для контролю стану потенційно небезпечних територій і критичної інфраструктури. У таких умовах ефективність систем моніторингу значною мірою залежить від здатності сенсорної мережі забезпечувати безперервне функціонування навіть за наявності відмов окремих вузлів, втрати зв'язку або багатоступеневої деградації частини компонентів. Особливістю гібридних сенсорних мереж (ГСМ) є поєднання стаціонарних і мобільних елементів, що формують складну динамічну структуру з неоднорідними характеристиками надійності та продуктивності. Це суттєво ускладнює процес оцінювання працездатності таких систем і потребує використання спеціалізованих моделей, здатних враховувати просторову розподіленість сенсорів, багаторівневу працездатність, різні фатальні комбінації непрацездатних сенсорів, а також процеси відновлення компонентів мережі. Актуальність дисертаційного дослідження також визначається недостатнім рівнем розвитку програмних засобів підтримки аналізу безвідмовності та готовності ГСМ, що обмежує можливості обґрунтованого вибору архітектурних рішень під час створення сучасних систем моніторингу. У зв'язку з цим розроблення моделей і програмних засобів оцінювання надійності таких систем є важливим і своєчасним науково-прикладним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Під час роботи над дисертацією автор брав участь у якості виконавця у наступних науково-дослідних роботах на замовлення МОН України: «Наукові засади і методи забезпечення гарантоздатності флотів БПЛА інтелектуальних систем моніторингу потенційно небезпечних і військових об'єктів» (№ Д/Р 0121U112172, 2021-2023); «Методологія та інформаційні технології оцінювання та забезпечення безпеки цифрової інфраструктури малих модульних реакторів» (№ Д/Р 0122U000977, 2022-2024); «Методи та засоби виявлення вибухонебезпечних предметів з використанням багатофункційних інтелектуальних систем БПЛА» (№ Д/Р 0123U101992, 2023-2024); «Методи,

моделі та інформаційні технології підвищення надійності та безпечності складних ІТ-систем на етапах розроблення та впровадження» (№ Д/Р 0121U113842, 2021-2023); «Методи, засоби та технології моделювання, розроблення, розгортання та забезпечення гарантоздатності мобільних інтелектуальних систем для об'єктів критичної інфраструктури» (№ Д/Р 0124U003250, 2024-теперішній час). Результати дисертаційного дослідження безпосередньо пов'язані з виконанням зазначених науково-дослідних робіт та спрямовані на розвиток методів і інформаційних технологій забезпечення надійності ГСМ і мобільних інтелектуальних систем моніторингу. У межах виконання НДР автором досліджувалися питання моделювання процесів відмов і відновлення компонентів сенсорних мереж, оцінювання безвідмовності та готовності систем моніторингу, застосування безпілотних літальних апаратів та периферійних обчислень для об'єктів критичної інфраструктури й потенційно небезпечних територій. Це підтверджує актуальність тематики дисертації, її відповідність сучасним науковим напрямом у сфері інформаційних технологій та практичну значущість отриманих результатів для задач моніторингу, безпеки та забезпечення надійності систем моніторингу.

Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Дисертаційна робота присвячена розробленню моделей і програмних засобів оцінювання надійності гібридних сенсорних мереж систем моніторингу потенційно небезпечних територій. Структура та зміст дисертаційної роботи узгоджуються з поставленою метою дослідження і відзначаються послідовним викладенням матеріалу, що охоплює аналіз сучасних підходів і проблематики предметної області, розроблення математичних моделей, створення програмних засобів та перевірку отриманих результатів шляхом експериментальних досліджень.

У дисертації детально розглянуто особливості застосування ГСМ, що поєднують наземні сенсори, безпілотні літальні апарати та технології літаючих хмарних, граничних і туманних обчислень. Значну увагу приділено проблемі забезпечення безвідмовності систем моніторингу в умовах просторово розподілених множинних відмов сенсорів та деградації покриття контрольованої території.

У роботі обґрунтовано використання аналітичних, марковських та імітаційних моделей оцінювання надійності. Зокрема, удосконалено моделі оцінювання безвідмовності сенсорних мереж, які враховують особливості покриття контрольованої території, показники безвідмовності сенсорів та фатальні комбінації множинних відмов. Подальший розвиток отримали марковські моделі оцінювання готовності сенсорних мереж із урахуванням відмов і відновлення сенсорів та мережевого обладнання для різних стратегій технічного обслуговування.

Обґрунтованість наукових положень підтверджується використанням сучасного математичного апарату, зокрема дискретно-неперервних марковських ланцюгів, методу Монте-Карло та алгоритмів графового аналізу для виявлення просторових кластерних відмов. Наукові висновки базуються на результатах обчислювальних експериментів та порівняльного аналізу різних сценаріїв функціонування ГСМ.

Практична спрямованість дослідження підтверджується розробленням програмних засобів оцінювання надійності гібридних сенсорних мереж, які дозволяють аналізувати критичні сценарії втрати покриття, оцінювати функції готовності системи та досліджувати вплив стратегій технічного обслуговування на ефективність моніторингу.

Сформульовані у дисертації висновки та рекомендації є достатньо аргументованими, логічно випливають із проведених досліджень та мають як наукову, так і практичну цінність для розвитку систем моніторингу потенційно небезпечних територій.

Список використаних джерел достатньо повно охоплює галузь досліджень і певної мірою відображає ґрунтовне опрацювання автором наукових праць за напрямком досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розвитку підходів до оцінювання надійності ГСМ систем моніторингу потенційно небезпечних територій шляхом комплексного врахування топологічних, просторових та функційних особливостей взаємодії наземних і літаючих компонентів мережі.

У дисертаційній роботі удосконалено аналітичні та імітаційні моделі оцінювання безвідмовності сенсорних мереж, які, на відміну від існуючих підходів, враховують довільну форму контрольованої території, просторове розташування відмовлених сенсорів та критичні комбінації множинних відмов, що призводять до втрати покриття окремих ділянок моніторингу.

Набули подальшого розвитку марковські моделі оцінювання готовності гібридних сенсорних мереж, які дозволяють досліджувати вплив різних стратегій технічного обслуговування, відновлення сенсорів та мережевого обладнання на функціональну готовність системи моніторингу.

Запропоновано підхід до аналізу критичних сценаріїв деградації сенсорної мережі із застосуванням алгоритмів графового аналізу та імітаційного моделювання, що забезпечує можливість автоматизованого виявлення просторових кластерних відмов і оцінювання їхнього впливу на ефективність функціонування системи.

Новим практичним результатом є створення спеціалізованих програмних засобів підтримки оцінювання надійності ГСМ, які реалізують запропоновані математичні моделі та дозволяють проводити обчислювальні експерименти для різних конфігурацій мережі та її умов експлуатації.

Достовірність отриманих результатів та висновків

Достовірність отриманих у дисертаційній роботі результатів забезпечується використанням апробованих методів теорії надійності, теорії ймовірностей, марковських процесів, структурно-логічного та імітаційного моделювання, а також коректністю постановки задач дослідження та обґрунтованістю прийнятих припущень. Для дослідження функціонування ГСМ автором застосовано взаємодоповнювальні методи аналізу, що дозволило зіставити результати аналітичного, марковського та імітаційного моделювання для різних сценаріїв відмов і відновлення компонентів мережі. Узгодженість отриманих результатів підтверджує адекватність запропонованих моделей реальним процесам функціонування систем моніторингу. Достовірність висновків також підтверджується проведенням обчислювальних експериментів для різних конфігурацій сенсорних мереж, варіантів покриття контрольованої території та стратегій технічного обслуговування. У роботі враховано вплив просторового розташування непрацездатних сенсорів, що дозволило отримати більш реалістичні оцінки показників безвідмовності та готовності мережі. Практична перевірка результатів здійснювалася шляхом програмної реалізації розроблених моделей і алгоритмів оцінювання надійності. Результати дослідження висвітлені у наукових публікаціях та представлені на міжнародних науково-практичних конференціях, де отримали фахове обговорення, що також свідчить про їх належний рівень обґрунтованості та достовірності.

Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання

Практична цінність одержаних результатів полягає у створенні моделей та програмних засобів, які дозволяють виконувати оцінювання показників безвідмовності та готовності ГСМ з урахуванням просторових особливостей покриття території, множинних відмов сенсорів та процесів відновлення компонентів мережі. Запропоновані підходи можуть бути використані для обґрунтування архітектурних рішень під час проєктування систем моніторингу потенційно небезпечних територій і критичної інфраструктури. Розроблені програмні засоби забезпечують можливість проведення обчислювальних експериментів для різних конфігурацій сенсорних мереж, аналізу критичних сценаріїв втрати покриття та оцінювання ефективності стратегій технічного обслуговування і резервування. Це дозволяє підвищити ефективність планування розгортання сенсорних мереж та зменшити ризики втрати функціональності мережі в умовах експлуатації. Отримані результати можуть бути використані у науково-дослідних роботах, пов'язаних із розвитком бездротових сенсорних мереж, систем екологічного та техногенного моніторингу, а також у навчальному процесі під час підготовки фахівців у галузі інформаційних технологій. Доцільним напрямом подальшого використання результатів є інтеграція розроблених моделей і програмних засобів із системами підтримки прийняття

рішень, платформами ситуаційного моніторингу та інтелектуальними системами керування безпілотними компонентами ГСМ.

Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладення наукових положень та результатів в опублікованих працях

Дисертація оформлена відповідно до вимог наказу МОН України № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» від 12 січня 2017 р.

Дисертаційна робота є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Результати дисертаційного дослідження відображено у восьми наукових публікаціях, зокрема у двох статтях, опублікованих у фахових наукових виданнях України категорії Б; двох статтях у фаховому виданні України категорії А, що індексується у наукометричній базі Scopus (Q3); одній статті у закордонному науковому періодичному виданні, проіндексованому у Scopus (Q1); а також у трьох апробаційних публікаціях за матеріалами міжнародних наукових конференцій, серед яких дві праці включено до бази даних Scopus. Опубліковані праці достатньою мірою відображають основні наукові положення, результати та висновки дисертаційної роботи.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

Попри загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, за змістом дисертації можна висловити окремі зауваження та побажання дискусійного характеру:

1. У підрозділі 2.2, присвяченому аналітичним моделям оцінювання безвідмовності сенсорних мереж, недостатньо детально описано критерії вибору порогових значень для визначення критичних сценаріїв втрати покриття контрольованої території, що ускладнює оцінювання чутливості моделі до зміни параметрів мережі.
2. Розглядаючи застосування методу Монте-Карло для моделювання множинних відмов сенсорів у підрозділі 3.3, здобувачеві доцільно було б навести кількісне обґрунтування вибору кількості ітерацій моделювання та оцінку збіжності отриманих результатів.
3. Недостатньо повно описано механізм взаємодії між окремими модулями розробленого програмного засобу оцінювання надійності бездротової сенсорної мережі з урахуванням фатальних комбінацій множинних відмов сенсорів (пункт 4.2.2), зокрема порядок передавання результатів імітаційного моделювання до модуля аналізу показників готовності мережі.

Висновок про дисертаційну роботу

Дисертаційна робота СКОРОБОГАТЬКА Станіслава Віталійовича «Моделі та програмні засоби оцінювання надійності гібридних сенсорних мереж систем моніторингу потенційно небезпечних територій» є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить науково обґрунтовані результати, має наукову новизну та пропонує перспективи подальших досліджень. Тема дослідження відповідає галузі знань 12 Інформаційні технології та спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія.

Враховуючи актуальність теми, отримані результати, повноту їх опублікування та певну практичну значущість роботи вважаю, що дисертаційна робота СКОРОБОГАТЬКА Станіслава Віталійовича «Моделі та програмні засоби оцінювання надійності гібридних сенсорних мереж систем моніторингу потенційно небезпечних територій» відповідає вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022 р. № 44 та вимогам до оформлення дисертації МОН України від 12.01.2017 р. № 40, а сам автор, СКОРОБОГАТЬКО Станіслав Віталійович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія.

Рецензент:

кандидат технічних наук, доцент,
професор кафедри кібербезпеки та
інтелектуальних інформаційних технологій
Національного аерокосмічного університету
«Харківський авіаційний інститут»

Олександр ОРЕХОВ