

25.09.2019
1/6 - 05.30

Голові спеціалізованої вченої ради Д
38.053.05
Чорноморський національний
університет ім. Петра Могили
вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв,
54003

Відгук

офіційного опонента

на Дисертаційну роботу Журавської Ірини Миколаївни

"Теоретичні основи, методи та засоби створення та функціонування швидкодинамічних гетерогенних комп'ютерних мереж критичного застосування",

що подана на здобуття наукового ступеня доктори технічних наук
за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Актуальність теми дисертаційної роботи та її зв'язок з науковими програмами, планами, темами.

Останні десятиріччя спостерігається інтенсивний розвиток автономних безпілотних систем, які поєднані при взаємодії у швидкодинамічні комп'ютерні мережі, виконують свої функції та керуються власниками на великій відстані засобами гетерогенних каналів зв'язку. Їх масове використання у різних видах діяльності вимагає вирішення питань задоволення всім вимогам, що пов'язані зі швидким зростанням нових мережевих додатків і послуг, інтегрованих у рухомі комп'ютерні системи (КС).

Найбільш найважливішими факторами, що визначають час функціонування рухомих КС є оперативне реагування на виникаючі перешкоди в режимі реального часу та економне витрачання заряду акумуляторних батарей таких КС. Відсутність єдиного підходу до проектування та створення засобів взаємодії об'єктів рухомих КС між собою та командним центром (КЦ) не дозволяє забезпечити ефективне побудування та функціонування таких систем. Ситуація ускладнюється тим, що в якості вузлів побудованих швидкодинамічних гетерогенних комп'ютерних мереж (ШГКМ) все частіше використовуються безпілотні літальні апарати, поєднані у зграї з розбиттям на суб-рої, режими роботи яких передбачають або постійну підтримку операторів КЦ, або автономну поведінку БПЛА у складних випадках

Враховуючи вищевикладене, можна вважати, що теоретичні та практичні рішення, які запропоновані в дисертаційній роботі Журавської І. М. та забезпечують оперативну реакцію БПЛА на виникаючі механічні перешкоди та електромагнітні завади в режимі реального часу, є **актуальними** з наукової та практичної точок зору, мають важливу наукову та технічну значимість.

Для вирішення комплексної проблеми підвищення ефективності функціонування ШГКМ за рахунок подовження часу життя БПЛА та підвищення

стійкості ШГКМ до перешкод і зовнішніх впливів різного походження, особливої уваги потребує вирішення наступних завдань: розробка теоретичних основ опису руху БПЛА з урахуванням зовнішніх впливів та розміру БПЛА при їх ройовому використанні, розробка методу визначення площі функціонування зграї БПЛА з урахуванням зміни топології рухомих моніторингових мереж (РММ), розробка теоретичних основ аналізу та інтелектуалізації системи управління навантаженням БПЛА технологічними завданнями відключенням неперіоритетних пристроїв та передаванням енергії між БПЛА за технологією PoWiFi.

Актуальність дисертаційної роботи визначається також використанням результатів наукових досліджень стосовно подовження часу життя рухомих ШГКМ з акумуляторним живленням вузлів у науково-дослідній роботі Чорноморського національного університету ім. Петра Могили у 2015–2019 рр., що підтверджується відповідними актами впровадження в рамках тем з №№ держ. реєстрації 0115U000316, 0117U000447, 0118U000193 і 0119U100422.

Ступінь новизни, обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі.

У дисертаційній роботі Журавської І. М. отримано такі основні нові науково обґрунтовані результати:

Вперше запропоновано:

- метод визначення часу життя ШГКМ критичного застосування за рахунок обчислення траєкторії руху з врахуванням впливу зовнішніх збурень та механічних перешкод, що дозволяє попередити втрату БПЛА та уточнити паспортний час роботи БПЛА в залежності від особливостей його експлуатації;
- метод синтезу суб-оптимальних маршрутів суб-роїв БПЛА на основі нейронної мережі Хопфілда за рахунок використання бінарної моделі польотної карти, що дозволяє здійснювати «самозагоєння» рою під час критичного застосування ШГКМ;
- метод усунення дублювання виконання функцій БПЛА за рахунок розроблених засобів управління режимами роботи неперіоритетних модулів БПЛА, що дозволяє зменшити енерговитрати ШГКМ.

Удосконалено:

- метод моделювання траєкторії БПЛА на основі стохастичних диференціальних рівнянь Ланжевена для броунівського руху за рахунок застосування «прогулянок Ліві»/«польотів Ліві», фінансової моделі Блека-Шоулза з описом їх у графо-аналітичній формі з врахуванням функціональних блоків БПЛА, що дозволяє враховувати у траєкторії БПЛА механічні перешкоди та зовнішні збурення;
- метод підвищення криптостійкості передаваних повідомлень зі стеганографічним закриттям корисної інформації за рахунок розміщення інформації про місцезположення БПЛА у стегоконтейнері в межах вільного місця кадрів протоколу передачі відкритих даних, що дозволяє підвищити рівень безпеки функціонування ШГКМ.

Набули подальшого розвитку:

– метод гарантованої доставки інформації між кібер-фізичними об'єктами (КФО) з використанням трансферних вузлів та хмарних сервісів, за рахунок зміни протоколу взаємодії між КФО шляхом додання параметрів режиму функціонування БПЛА та умов їх настання, що дозволяє забезпечити функціонування ШГКМ при відсутності зв'язку між КФО;

– математична модель диспетчеризації завдань в багатоядерних однопроцесорних комп'ютерних системах з обмеженими енергетичними ресурсами за рахунок введення коефіцієнтів навантаженості кожного ядра, що дозволило зменшити енергоспоживання процесора та підвищити швидкість реагування на критичну ситуацію;

– метод бездротового передавання енергії між КФО на основі технології PoWiFi за рахунок застосування розробленої циклограми з чергуванням інтервалів передачі даних та інтервалів передавання енергії, що дозволяє збільшити час життя ШГКМ.

Зазначені наукові результати є обґрунтованими, насамперед, з точки зору практики, а підтвердженням їхньої достовірності є адекватність між теоретичними та практичними результатами. Також обґрунтованість отриманих результатів засновується на коректному застосуванні методів побудови розподілених комп'ютерних систем та принципів інтелекту рою, методів стохастичної динаміки з використанням чисельних методів вирішення рівняння Ланжевена з урахуванням «прогулянок Лєві», теорії передачі інформації в комп'ютерних системах, методів захисту даних стеганографічними засобами, методи і засобів проектування й імплементації програмних систем в апаратні рішення, а достовірність підтверджується використанням апробованого математичного апарату, несуперечливістю отриманих даних відомим теоретичним положенням.

Практичне значення наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Рекомендації щодо використання результатів дисертації.

Практичні результати дисертаційного дослідження можуть використовуватись для уточнення паспортного часу роботи БПЛА 1-го класу в залежності від умов експлуатації, коригування задачі кожного БПЛА вже під час її виконання, створення КС реєстрації великорозмірних об'єктів (морських контейнерів, вантажівок, тощо) на основі гетерогенних моніторингових мереж з максимальним підвищенням ефективності використання ресурсів та захистом отриманих результатів при передачі на КЦ.

Також практична значимість підтверджена відповідними актами впровадження результатів роботи у виробничих установах та використанням в освітньому процесі Чорноморського національного університету ім. Петра Могили.

Розроблені та обґрунтовані в дисертаційній роботі методи можуть бути рекомендовані для підвищення продуктивності та подовження функціонування рухомих КС.

Повнота викладення наукових і прикладних результатів дисертації в опублікованих роботах.

За результатами досліджень опубліковано 82 публікації, з них – 2 монографії (1 за особистим авторством українською та 1 у співавторстві з науковим консультантом дисертаційної роботи англійською мовою), 25 у фахових періодичних виданнях України з технічних наук, з них 6 статей опубліковано одноосібно, 4 статі англійською мовою; 14 статей включено у міжнародні наукометричні бази, 5 з яких включено у базу Scopus та WoS; 43 тези доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій, (9 англійською мовою, з них 5 включені в міжнародну наукометричну базу Scopus).

Основні результати дисертаційної роботи у цих публікаціях відображено достатньо повно, а в авторефераті, який відповідає змісту рукопису дисертації, наведено лише основні з них.

Відповідність дисертаційної роботи спеціальності.

Дисертаційна робота відповідає формулі паспорту спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти, зокрема, забезпечує подальший розвиток існуючих комп'ютеризованих та комп'ютерних систем і мереж, їх апаратних і програмних засобів, створення методів та засобів реалізації комунікацій в них.

На мій погляд, робота найбільш відповідає пунктам паспорту спеціальності 1, 2, 4, тому що:

- пропонує теоретичні основи створення і вдосконалення високоефективних технічних і програмних компонентів комп'ютерних систем та мереж загального та спеціального призначення;

- містить методи й засоби забезпечення ефективності, контролю, діагностики, визначення параметрів, а також проектування високоефективних комп'ютерних систем та мереж, їх пристроїв та компонентів;

- містить дослідження топологічної організації розподілених систем та комунікаційних технологій в них.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності й оформлення.

Побудова дисертації відповідає прийнятим для наукового дослідження нормам. Дисертація складається із анотації двома мовами, вступу, шістьох розділів, висновків по дисертації, списку використаної літератури та додатків. Повний обсяг дисертації складає 416 сторінок, у тому числі: 275 сторінок основного тексту, бібліографія з 400 найменувань на 47 сторінках, 5 додатків на 52 сторінках. Таким чином, обсяг дисертаційної роботи відповідає нормам, встановленим для докторських дисертацій з технічних наук.

У *вступі* обґрунтована актуальність теми, наведено дані про зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, сформульовані мета і задачі дослідження, перераховані методи дослідження, які використані в дисертації. приведені наукова новизна і практичне значення одержаних результатів, дані про впровадження, апробацію результатів роботи, а також про особистий внесок здобувача.

У *першому розділі* виконано аналіз існуючих підходів вирішення задач управління групою безпілотних апаратів (БПА) як рухомої комп'ютерної системи (КС).

Проведений аналіз показав існуючі проблеми, що пов'язані з необхідністю швидкодинамічної поведінки об'єктів рухомої КС, неможливістю обробки великих обсягів отримуваних даних традиційними методами, необхідністю враховувати гетерогенність як об'єктів рухомої КС, так і каналів зв'язку між ними.

Проаналізовано проблеми, що виникають внаслідок розбиття на зграї БПА на суб-рої, наявності головних («лідуючих») БПЛА, характеристики їх апаратних компонентів, здатність автономної поведінки в залежності від типу умов, в яких працює КС, та типу виконуваних задач.

Виявлено невирішені проблеми побудування та функціонування швидкодинамічних гетерогенних комп'ютерних мереж (ШГКМ) при критичному застосуванні.

Обґрунтовано необхідність розробки єдиного підходу та практичного інструментарію, який дозволив би забезпечити ефективне побудування та функціонування ШГКМ, передбачав би підтримку та централізоване управління з командного центру (КЦ) та автономну поведінку ШГКМ у разі втрати зв'язку з КЦ у складних випадках.

Наприкінці розділу на основі проведеного багатофакторного аналізу РММ побудовано структурно-логічну схему дисертаційної роботи, обґрунтовані задачі дослідження.

У *другому розділі* запропоновано методологічну основу побудови ШГКМ на основі зграї БПЛА з урахуванням зовнішніх впливів та перешкод руху. Удосконалено метод моделювання траєкторії руху БПЛА на основі стохастичних диференціальних рівнянь Ланжевена за рахунок застосування теоретичних засад «прогулянок Лєві» та «польотів Лєві», що дозволило прогнозувати поведінку групи (зграї, рою) БПЛА з урахуванням у траєкторії зовнішніх збурень на подібну броунівського руху.

Запропоновано метод визначення часу життя ШГКМ за рахунок обчислення траєкторії руху з урахуванням відхилень через зовнішні збурення та механічні перешкоди, що надає можливість своєчасно знімати дрони з маршруту та відправляти на базу для підзарядки батарей.

Зазначений підхід здатний попередити втрату дрона та уточнити паспортний час роботи для БПЛА, що живляться від акумуляторних батарей, в залежності від особливостей експлуатації.

Третій розділ містить результати теоретичних розробок та моделювання процесів керування групою БПЛА у просторових коридорах. Наведені варіанти розбиття БПЛА на групи з врахуванням території виконуваного завдання та планування маршруту для кожного суб-рою окремо. Виконана класифікація топологій РММ на основі розосереджених БПЛА у 2D просторі. Для найчастіше вживаних топологій РММ розроблений уточнений метод визначення площі функціонування РММ на основі прямокутника Брахмагупти з урахуванням зміни

топології РММ під час руху.

Запропоновано метод синтезу суб-оптимальних маршрутів суб-роїв БПЛА на основі нейронної мережі Хопфілда, суміщеної з польотною картою, що дозволило уникнути дублювання виконання завдань у будь-яких точках території та надало можливість реалізувати механізм «самозагоєння» рою у межах зграї дронів за рахунок перевизначення завдань підгруп як кібер-фізичної системи у разі втрати декількох дронів під час критичного застосування.

У *четвертому розділі* запропоновані методи та засоби обміну даними між об'єктами РММ. Визначено рівень зростання затримки у часі передачі даних від кількості ретрансляцій при використанні БПЛА у якості трансферних вузлів при неперіодичних змінах з'єднань між різними парами об'єктів РММ.

В роботі набув подальшого розвитку метод гарантованої доставки інформації між об'єктами РММ з використанням трансферних вузлів та хмарних сервісів. Досліджені засоби забезпечення функціонування ШГКМ за рахунок використання хмарного сервісу Google Firebase при втраті працездатності GPS-модуля (в умовах великого електромагнітного опромінення у результаті застосування засобів радіоелектронної боротьби – створення «пухирів РЕБ»).

Задля підвищення рівня безпеки поточної інформації щодо функціонування БПЛА у разі перехоплення його сторонніми особами в дисертаційній роботі удосконалено метод підвищення криптостійкості передаваних повідомлень шляхом впровадження стеганографічного закриття GPS-координат БПЛА у відкриті дані.

Використання отриманих у четвертому розділі результатів дозволяє при втраті зв'язку відстрочити синхронізацію об'єктів РММ до поновлення зв'язку та суттєво підвищує безпеку поточної інформації щодо функціонування БПЛА у разі перехоплення його сторонніми особами.

У *п'ятому розділі* набула подальшого розвитку математична модель диспетчеризації завдань обчислювачів об'єктів ШГКМ з вивільненням окремого ядра CPU для процесів управління польотом, що дозволило зменшити енергоспоживання БПЛА та розробити алгоритм оптимального навантаження технологічними завданнями ядер однокристального процесора обчислювальної плати (CPU та/або GPU) на БПЛА зі зменшенням коефіцієнта навантаженості CPU.

Запропоновано метод усунення дублювання виконання технологічних функцій БПЛА за рахунок розроблених засобів управління режимами роботи модулів БПЛА. Це дозволяє зменшити енерговитрати ШГКМ шляхом віддаленого бездротового відключення від енергоспоживання неперіоритетних пристроїв та передавати залишки енергії за допомогою встановлених на БПЛА модулів зв'язку згідно з розробленою циклограмою, за якою чергуються інтервали передачі даних та передавання енергії.

Запропонований підхід дозволяє здійснити підзарядку акумуляторів БПЛА без повернення на базу та збільшує час життя ШГКМ.

Використання отриманих у *шостому розділі* результатів дозволяє використовувати у різних галузях виробництва розроблені прикладні рішення,

засновані на запропонованих у дисертаційній роботі теоретичних основах, методах та засобах створення та функціонування швидкодинамічних гетерогенних комп'ютерних мереж критичного застосування.

Розроблені структури локальної ШГКМ на основі мобільних первинних реєстраторів для обліку великорозмірних об'єктів та рухомої КС для виявлення локальних пошкоджень на підземних ділянках теплотрас дозволяють значно скоротити час прийняття рішень для завантажувальних/розвантажувальних робіт та для відновлення несучої здатності трубопроводів. Запропоновані методи та конструктивні рішення порівняно з існуючими аналогами мають меншу на порядок обчислювальну складність і відповідно менші часові витрати.

У *висновках* стисло сформульовані основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи.

Таким чином, усі положення, винесені на захист, висвітлені в тексті дисертації. Викладене дозволяє зробити висновок, що зміст дисертаційної роботи відповідає її назві.

Дисертація написана грамотною науковою мовою та оформлена відповідно до існуючих нормативних документів, текст і графічний матеріал виконані акуратно, з використанням комп'ютерної техніки.

Зміст автореферату повністю відповідає змісту дисертації і достатньо повно відбиває її основні положення.

Підтверджую, що у докторській дисертації Журавської Ірини Миколаївни не використані результати наукових досліджень, які отримані у дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, яку було присвячено зарядним пристроям високовольтних генераторів імпульсних струмів з проміжним перетворенням частоти.

Недоліки.

1. Слід зауважити, що постановочна частина дисертації (розділ I) виглядала б краще, якби більш наглядно (у вигляді діаграм і а схем) були б наведені порівняльні характеристики гетерогенних компонентів та каналів зв'язку ШГКМ. Це підвищило б ступінь обґрунтованості зроблених автором висновків щодо необхідності удосконалення існуючих та створення нових методів та засобів керування взаємодією рухомих вузлів ШГКМ з урахуванням критичного застосування.

2. Вступна частина деяких підрозділів, наприклад, 2.4 й 3.3, містить загальну інформацію та деякою мірою дублює матеріал першого розділу.

3. При опису процесу визначення площі функціонування суб-рою (розділ 3) виникає питання: як пов'язані між собою наведені на рис. 3.9 території виконуваного завдання з розподілом на сектори між чотирма суб-роями моніторингової мережі та площі, розмір яких визначається у п. 3.2.2?

4. Реалізація методу визначення площі кластера ШГКМ з одним головним БПЛА (пп. 3.2.2) містить надлишкову інформацію, частину з якої треба було б розмістити у додатках, зважаючи на те, що розроблений метод на основі формули Брахмагупти не містить наукової новизни.

5. При розробці методу синтезу суб-оптимальних маршрутів суб-роїв БПЛА на основі нейронної мережі Хопфілда (підрозділ 3.4) надано дуже стислі коментарі щодо меж використання такого методу та особливостей практичної реалізації в залежності від розмірів місцевості та розмірності нейронної карти.

6. Розкриваючи теоретичні засади опису траєкторії (просторового нахождення та сумарної довжини) БПЛА на основі рівнянь Ланжевена з урахуванням «прогулянок Лєві» (підрозділ 2.1) та опису безлічі маршрутів БПЛА у (підрозділ 3.1) у запропонованих виразах (2.2)–(2.10) та (3.1)–(3.3) одні й ті ж змінні використані для позначення різних фізичних величин, що ускладнює сприйняття матеріалу роботи.

7. Відсутність нумерації блоків на блок-схемах алгоритмів рис. 4.14, 5.12, 6.17 ускладнює опис логіки процесів та їх сприйняття.

Відповідність дисертації встановленим вимогам і загальні висновки.

Незважаючи на вищезазначені недоліки та зауваження, можна зробити висновок про те, що дисертаційна робота Журавської Ірини Миколаївни "Теоретичні основи, методи та засоби створення та функціонування швидкодинамічних гетерогенних комп'ютерних мереж критичного застосування" є завершеним дослідженням, в якому отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності розв'язують конкретну науково-технічну проблему розробки і удосконалення моделей, методів і засобів створення і функціонування рухомих комп'ютерних систем на основі БПЛА, розподілених на суб-рої в залежності від виконуваних завдань.

Розглянута дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 9, 10, 12–14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, що ставляться до докторських дисертацій, а її автор – Журавська Ірина Миколаївна – заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри спеціалізованих комп'ютерних
Українського державного університету
залізничного транспорту

М.А. Мірошник

« 20 » вересня 2019 р.

Підписав доктор технічних наук, професора
Мірошник Марини Анатоліївни
засвідчую



Особистий підпис
засвідчую 20 09 2019 р.
завідуючий канцелярією
УкрДУЗТ

Мірошник М.А.