25.09.2019
1/6-05.31

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора Нікольського Віталія Валентиновича на дисертаційну роботу Журавської Ірини Миколаївни на тему «Теоретичні основи, методи та засоби створення та функціонування швидкодинамічних гетерогенних комп'ютерних мереж критичного застосування», яка подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – «Комп'ютерні системи та компоненти»

Актуальність теми

На сьогодні стрімкими темпами розвивається впровадження безпілотних апаратів у промислові галузі та використання їх за подвійним призначенням, у різних середовищах пересування. Одною з найбільших проблем постає взаємодія безпілотних апаратів у повітряному середовищі (БПЛА) з функціонуванням у складі швидкодинамічних гетерогенних комп'ютерних мереж (ШГКМ). Критичне застосування таких рухомих мереж в складних метеоумовах, при наявності механічних перешкод та радіоелектронних завад, з обмеженим електроживленням вимагає розробки теоретичних засад, моделей, методів та засобів створення та функціонування ШГКМ з особливою увагою до енергоефективності розроблюваних рішень. Тому представлені в дисертаційній роботі Журавської І. М. наукові та практичні рішення зазначеної важливої науково-технічної проблеми мають особливу актуальність.

Дисертаційна робота виконана у відповідності до завдань таких програм:

1) міжнародних:

1) ЄС TEMPUS:

– "Green Computing and Communications" (TEMPUS GreenCo, Ref. No. 530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR, 2012–2015 pp.);

– "Model-Oriented Approach and Intelligent Knowledge-Based System for Evolvable Academia-Industry Cooperation in Electronic and Computer Engineering" (TEMPUS CABRIOLET, Ref. No. 544497-TEMPUS-1-2013-1-UK-TEMPUS-JPHES, 2012–2015 pp.);

– "Modernization of Postgraduate Studies on Security and Resilience for Human and Industry Related Domains" (TEMPUS SEREIN, Ref. No. 543968-TEMPUS-1-2013-1-EE-TEMPUS-JPCR, 2013–2017 pp.);

– "National Education Framework for Enhancing IT Students' Innovation and Entrepreneurship" (NEFESIE, Ref. No. 530576-TEMPUS-1-2012-1-SE-TEMPUS-SMHES, 2012–2016 pp.);

2) ЄС Erasmus+:

– "Internet of Things: Emerging Curriculum for Industry and Human Applications" (Erasmus+ ALIOT, Ref. No. 573818-EPP-1-2016-1-UK–EPPKA2-CBHE–JP, 2016–2019 pp.);

– "Innovative Multidisciplinary Curriculum in Artificial Implants for Bio-Engineering BSc/MSc Degrees" (BIOART, Ref. No. 586114-EPP-1-2017-1-ES-EPPKA2-CBHE-JP, 2017–2020 pp.);

2) національних:

– Програма інформатизації Миколаївської області на 2004–2006 роки (розпорядження голови Миколаївської облдержадміністрації від 07 липня 2004 р. № 310 р), в якій здобувач брала участь як заступник голови науково-технічної ради;

– науково-дослідна робота (надалі – НДР) Інституту імпульсних процесів та технологій (ІІПТ) НАН України «Провести дослідження та створити регульований генератор імпульсних струмів для різноімпедансного нелінійного навантаження» (№ держ. реєстрації 0195U020694, 1996 р.), в якій здобувач брала участь як виконавець;

– НДР Чорноморського державного університету ім. Петра Могили «Розроблення поліметричних датчиків інформаційно-вимірювальних систем з живленням елементів від вимірювального сигналу» (№ держ. реєстрації 0115U000316, 2015–2016 рр.), в якій здобувач

брала участь як виконавець;

– НДР Чорноморського національного університету (ЧНУ) ім. Петра Могили «Розроблення бездротових енергонезалежних інформаційно-вимірювальних мереж критичного застосування військово-цивільного призначення» (№ держ. реєстрації 0117U000447, 2017–2018 рр.), в якій здобувач брала участь як відповідальний виконавець;

– НДР ЧНУ ім. Петра Могили «Розроблення найсучаснішого інтерактивного навчально-тренажерного та аналітично-консультативного комплексу військово-цивільного призначення» (№ держ. реєстрації 0118U000193, 2018–2019 рр.), в якій здобувач брала участь як виконавець;

– НДР ЧНУ ім. Петра Могили «Розроблення мобільних малогабаритних та стаціонарних бездротових приладів ранньої діагностики, профілактики, лікування та посттравматичних відновлень військово-цивільного застосування» (№ держ. реєстрації 0119U100422, 2019–2020 рр.), в якій здобувач брала участь як відповідальний виконавець.

Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна роботи Журавської І. М. полягає в такому:

– удосконалений метод моделювання траєкторії БПЛА на основі стохастичних диференціальних рівнянь дозволяє враховувати у траєкторії БПЛА механічні перешкоди та зовнішні збурення (розділ 2);

– вперше запропонований метод визначення часу життя ШГКМ критичного застосування дозволяє попередити втрату БПЛА та уточнити паспортний час роботи БПЛА в залежності від особливостей його експлуатації (розділ 2);

– вперше запропонований метод синтезу суб-оптимальних маршрутів суб-роїв БПЛА на основі нейронної мережі Хопфілда дозволяє здійснювати «самозагоєння» рою під час критичного застосування ШГКМ (розділ 3);

– набув подальшого розвитку метод гарантованої доставки інформації між кібер-фізичними об’єктами (КФО) з використанням трансферних вузлів та хмарних сервісів, що дозволяє забезпечити функціонування ШГКМ при відсутності зв’язку між КФО (розділ 4);

– удосконалений метод підвищення криптостійкості передаваних повідомлень зі стеганографічним закриттям корисної інформації дозволяє підвищити рівень безпеки функціонування ШГКМ (розділ 4);

– набула подальшого розвитку математична модель диспетчеризації завдань в багатоядерних однопроцесорних комп’ютерних системах з обмеженими енергетичними ресурсами, що дозволило зменшити енергоспоживання процесора БПЛА та підвищити швидкість реагування на критичну ситуацію (розділ 5);

– вперше запропонований метод усунення дублювання виконання функцій БПЛА дозволяє зменшити енерговитрати ШГКМ (розділ 5);

– набув подальшого розвитку метод бездротового передавання енергії між КФО на основі технології PoWiFi, що дозволяє збільшити час життя ШГКМ.

Наукова та інженерно-технічна новизна результатів досліджень підтверджується публікаціями та патентами України, серед яких 2 монографії (укр. та англ.), 23 статті у закордонних та фахових видданнях України (з яких 3 статті проіндексовані у наукометричній базі Scopus, 1 – у WoS, 1 – в обох міжнародних базах, Scopus та WoS; також низка робіт проіндексована у польській наукометричній базі даних Index Copernicus International), 7 патентів та 43 тези доповідей на Всеукраїнських та Міжнародних конференціях (1 робота проіндексована у наукометричній базі Scopus, 4 – в базах Scopus та WoS одночасно, 1 робота – в наукометричній базі Європейського центру ядерних досліджень CERN).

Практична цінність одержаних результатів

Практична цінність отриманих дисертантом результатів полягає у такому:

1. Отримані показники реального часу життя акумуляторів БПЛА, що дозволяє уточнювати паспортний час роботи БПЛА 1-го класу в залежності від умов експлуатації.

2. Розроблений протокол взаємодії БПЛА та наземного КЦ через хмарний сервіс Google FireBase, що дозволяє в швидкодинамічних гетерогенних рухомих мережах коригувати задачу кожного БПЛА вже під час її виконання.

3. Розроблений алгоритм резервування ресурсів окремого ядра багатоядерного однокристального обчислювального процесора (CPU) БПЛА для обчислень першочергової важливості (задач управління польотом).

4. Розроблені структурні та схемотехнічні рішення гетерогенної моніторингової мережі реєстрації морських контейнерів, що перенесені через борт судна портокраном, для інформування капітана судна засобами локальної мережі судна без підключення до Інтернет.

5. Розроблені перспективні конструктивні рішення функціональних компонентів БПЛА (захищені 3 патентами України на корисну модель) з подовженим життєвим циклом останніх за рахунок більш економного витрачання заряду акумуляторів під час формування підйомної сили БПЛА.

6. Розроблені структурні та конструктивні рішення малогабаритних БПЛА (захищені патентом України на корисну модель) з впровадженням підсистеми катапультування блоків пам'яті, за рахунок чого здійснюється захист інформації БПЛА, що визнав аварії, та оповіщення КЦ про координати падіння модулю з блоком пам'яті.

Слід зазначити, що більшість рішень, отриманих в дисертаційному дослідженні для БПЛА, є працездатними та ефективними для інших типів безпілотних апаратів (не тільки літальних – БПЛА), які пересуваються в неповітряному середовищі.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені у виробничий процес при завантаженні/розвантаженні суден-контейнеровозів, у поточній діяльності підприємств департаменту житлово-комунальної роботи Миколаївської міської ради, навчальному процесі та науково-дослідних роботах Чорноморського національного університету імені Петра Могили та ін.

Ступінь обґрунтування наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Головні наукові положення, отримані результати дослідження та висновки дисертації не викликають сумнівів. Вони обґрунтовані із застосуванням методів побудови розподілених комп'ютерних систем та принципів інтелекту рою, методів стохастичної динаміки з використанням чисельних методів вирішення рівняння Ланжевена з урахуванням «прогулянок Ле́ві», теорія передачі інформації в комп'ютерних системах, методів захисту даних, методів і засобів проектування й імплементації програмних систем в апаратні рішення.

Достовірність отриманих наукових результатів і висновків перевірена порівнянням теоретичних положень з результатами математичного та комп'ютерного моделювання, а також експериментальних досліджень.

Сформульовані в дисертаційній роботі наукові положення та висновки обґрунтовані теоретично, перевірені експериментально та підтверджені актами про впровадження.

Зміст і обсяг дисертації та автореферату

Робота складається з анотації (укр. та англ.), вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел з 400 найменувань та п'яти додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, а також наведені об'єкт, предмет і мета дослідження, положення наукової новизни і практичної цінності; визначено основні методи дослідження.

У першому розділі на основі проведеного аналізу структур мережевої взаємодії об'єктів гетерогенних мереж розкрито переваги використання централізованого управління всією групою

пристроїв при невеликій кількості БПЛА та побудування гетерогенних структур комп'ютерних мереж з розробленням методів ройового управління зграєю БПЛА, розбитою на суб-рої, – при збільшенні кількості БПЛА у групі (зграї). Обґрунтовано, що найбільш перспективним є розроблення методів та алгоритмів перевизначення задач та планування маршрутів БПЛА з урахуванням швидкодинамічних властивостей РММ та досягненням самозагоєння мережевої структури суб-рою. Сформульовані вимоги до наявності електронних компонентів та програмних функцій, які мають бути реалізовані у польотному контролері на борту БПЛА. Обґрунтовано доцільність використання нейронної мережі Хопфілда (НМХ) для формування маршрутів пересування БПЛА в обмежених просторових коридорах. На основі проведеного аналізу поставлено основну задачу – підвищення ефективності функціонування швидкодинамічних гетерогенних комп'ютерних мереж критичного застосування (ШГКМ) за рахунок подовження часу життя БПЛА та підвищення стійкості ШГКМ до перешкод і зовнішніх впливів різного походження.

У другому розділі запропоновані теоретичні та методологічні рішення щодо визначення уточненого (відносно зазначеного у документації виробника БПЛА) часу життя ШГКМ критичного застосування за рахунок обчислення реальної траєкторії руху з урахуванням відхилень через зовнішні збурення.

Для аналітичного опису параметрів руху зграї БПЛА залучений (на відміну від звичного математичного апарату теорії автоматичного управління) математичний апарат стохастичних диференціальних рівнянь Ланжевена, за допомогою якого зазвичай описуються броунівські процеси. Також вперше для опису взаємодії БПЛА при побудуванні та функціонуванні зграї використана теорія ройового управління біологічними об’єктами з впровадженням «прогулянок Лéві» для розробки аналітичного опису відхилень БПЛА при зовнішніх збуреннях (метеоумовах або механічних перешкодах) й «польотів Лéві» для опису розривів траєкторії при покиданні безпілотними апаратами маршруту для підзарядки батарей на відповідних станціях.

У третьому розділі досліджено розбиття зграї БПЛА на суб-рої з вирішенням задачі комівояжера (TSP) для кожного суб-рою окремо в обмежених просторових коридорах за рахунок реалізації алгоритмів плаского повороту на основі алгоритму Браччіні та використанням нейронної мережі Хопфілда, що дозволило спростити планування руху зграї до 2D-рішень для суб-роїв з наступною конкатенацією у спільне 3D-рішення.

Розроблений метод визначення площі функціонування зграї з розбиттям на суб-рої, який дозволив підвищити точність визначення необстеженої площі на 15,1 % завдяки урахуванню більшої скупченості зграї ніж прямокутник Брахмагупти через необхідність забезпечення надійного обміну даними між БПЛА.

У четвертому розділі вирішена задача розроблення засобів обліку великорозмірних об’єктів за допомогою рухомих моніторингових мереж. Набув подальшого розвитку метод гарантованої доставки інформації між об’єктами з використанням трансферних вузлів та хмарних сервісів (на прикладі хмарного сервісу Google Firebase) за рахунок зміни протоколу взаємодії шляхом додання параметрів режиму функціонування БПЛА та умов їх настання, що дозволяє забезпечити функціонування ШГКМ при відсутності зв’язку між об’єктами.

Удосконалено метод підвищення криптостійкості передаваних повідомлень зі стеганографічним закриттям корисної інформації за рахунок розміщення GPS-координат БПЛА у стегоконтейнері в межах вільного місця кадрів протоколу передачі відкритих даних, які передаються за допомогою протоколу MAVLink відкритими каналами зв’язку, що дозволяє підвищити рівень безпеки функціонування ШГКМ. Наведені результати натурного та комп’ютерного моделювання розробленої системи. Визначений час повного циклу створення та обробки повідомлення у каналі зв’язку ШГКМ в залежності від обраних комп’ютерних компонентів.

У п’ятому розділі наведені результати розробки математичної моделі диспетчеризації технологічних завдань БПЛА з введенням коефіцієнтів навантаженості ядер CPU БПЛА в умовах обмеженого енергозабезпечення. Розроблена модель описує розподіл завдань між ядрами

однокристального процесора з вивільненням окремого ядра для процесу керування, що підвищує швидкість реагування БПЛА на зовнішні збурення. Запропонований підхід також зменшує енергоспоживання БПЛА без суттєвого перегріву процесора у порівнянні з режимом виконання завдання за стандартним планувальником завдань ОС.

У розділі також наведено вперше розроблений метод усунення дублювання функцій БПЛА за рахунок відключення від енергоспоживання непріоритетних модулів (електронно-оптичного обладнання, що споживає до 12 % заряду акумулятора БПЛА).

У шостому розділі наведено опис розроблених прикладних рішень з використанням ШГКМ у різних галузях виробництва, в яких реалізовані усі отримані теоретичні положення, наведено результати експериментальних досліджень.

Також наведені розроблені конструкції модулів БПЛА з подовженим життєвим циклом за рахунок більш економного витрачання заряду акумуляторів під час формування підйомної сили БПЛА, які захищені патентами України на корисну модель.

У висновках сформульовані основні результати проведеного дисертантом дисертаційного дослідження.

Зміст автореферату у повній мірі відповідає основним положенням дисертації.

Недоліки та зауваження

1. На мою думку, мета роботи сформульована у дуже загальному вигляді, не визначено чітко, які саме показники ефективності функціонування швидкодинамічних гетерогенних комп'ютерних мереж критичного застосування (ШГКМ) передбачено покращити.

2. В роботі немає чіткого визначення, що дисертантка розуміє під енергоефективністю. Не наведено чітких виразів для показників ефективності, за якими вона порівняє отримані результати.

3. Під час аналізу відомих рішень, які наведені в першому розділі, авторка наводить лише остаточний висновок без опису його отримання. Наприклад, зазначено, що для формування маршрутів пересування БПЛА у просторових коридорах існує позитивний досвід використання нейронної мережі Хопфілда (п. 1.6), але не наведено конкретних переваг порівняно з іншими рекурентними мережами (мережі Коско, мережі Джордана і мережі Елмана, тощо) стосовно до досліджуваної галузі.

4. В розділі 2 не достатньо розкриті обмеження, за якими запропонований «Ле́віподібний» або «броуноподібний» аналітичний опис реальної траєкторії руху зграї БПЛА, що дозволяє спрогнозувати зменшення паспортного часу використання батареї через зовнішні впливи. При аналізі застосування удосконаленого методу моделювання траєкторії БПЛА на основі стохастичних диференціальних рівнянь Ланжевена (п.2.3.1–2.3.2 на с.111–116) здобувач наводить, як на мою думку, не достатньо обширну кількісну інформацію щодо розмірів БПЛА та характеристик зовнішніх збурень, при перевищенні яких запропонований метод становиться непридатним.

5. У розділі 3 при моделюванні групової поведінки об’єктів рухомої мережі розглянуті 2–3–4 суброї у складі зграї, що стикується з сучасним представленням про формування ескадрилей безпілотних апаратів, але не зазначені рекомендована та максимальна кількість БПЛА у суброю в залежності від площі обстежуваної території, класу (розмірів) БПЛА або інших чинників.

6. В шостому розділі (п. 6.1) при розробленні комп’ютерної системи (КС) на основі ШГКМ для інформування капітана про кількість контейнерів, перенесених через борт судна, не наведене порівняння з іншими розробками локальних КС обліку завантаження судна, наприклад, з визначенням координат контейнера на підставі показань датчиків.

7. У п. 10 Висновків наведено, що математична модель диспетчеризації, яка набула подальшого розвитку у дисертаційній роботі, є ефективною для визначення режимів роботи процесора Qualcomm Snapdragon 400, на якому базуються найбільш поширені на професійному ринку моделі БПЛА. В той же час, у розділі п’ятому наведені дослідження й для більш потужних сучасних процесорів ARM Cortex-A/M, Snapdragon 6xx–8xx, які передбачається використовувати у перспективних моделях БПЛА. Вважаю, що результати, отримані по диспетчеризації завдань між

ядрами таких багатокластерних однокристальних процесорів та її вплив на енергоспоживання комп'ютерної системи БПЛА є також вагомими та мали бути включеними до загальних висновків.

8. Список публікацій автора містить винаходи, у яких заявлено малогабаритну безпілотну авіаційну систему, а також спосіб та прилад перетворення параметрів імпульсних сигналів модулів, але у тексті ані дисертації, ані автореферату їх застосування до наведених у розділі 6 прикладних рішень ШКГМ практично не розкривається. Недостатньо розкрито (крім визначення більш економного витрачання заряду акумуляторів під час формування підйомної сили БПЛА), як за їх допомогою розв'язується задача взаємодії БПЛА у складі зграї, як вони використовуються у загальній схемі модулів БПЛА та у формуванні сигналів у каналі зв'язку між БПЛА, та як впливають на функціонування ШГКМ у цілому.

9. Не зрозуміло, як дисертантка отримала перевагу в економії на 11,6 % часу обстеження території суброєм з 6 БПЛА, про яку вона зазначає в п. 3 Висновків до Розділу 3 (с. 190) та у п. 5 загальних Висновків. Доречно було б навести розрахунки та топологію зграї з розбиттям на зазначені суброї, оскільки досить складно побачити переваги такого рішення з текстового опису та ілюстрацій розбиття 3D-задачі комівояжера на декілька 2D-задач руху суброїв БПЛА у просторових коридорах з наступною конкатенацією рішень.

10. В роботі присутні деякі похибки в оформленні текстового та ілюстраційного матеріалу дисертації: наявні друкарські помилки (с. 94, 122, 141, 195, 290, тощо), нумерація є не у всіх формул (п. 2.3.3), замалі розміри позначень шкал в рисунках 3-го розділу (рис.3.30–3.34), для рис. 4.24 та рис. 4.25 опис модулів та елементної бази схемотехнічного рішення наведений тільки частково, наявне надлишкове використання іншомовного тексту на ілюстративному матеріалі (табл. 3.3, рис. 4.2, 5.4–5.7, 6.17–6.18).

Висновок

Представлена докторська дисертація Журавської І. М. «Теоретичні основи, методи та засоби створення та функціонування швидкодинамічних гетерогенних комп'ютерних мереж критичного застосування» є завершеною науково-дослідною роботою, у якій отримані нові науково обґрунтовані результати. У роботі вирішена конкретна науково-технічна проблема створення та функціонування швидкодинамічних гетерогенних комп'ютерних мереж критичного застосування, побудованих на базі безпілотних літальних апаратів. За своєю тематичною спрямованістю представлена робота відповідає паспорту спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

В цілому дисертаційна робота виконана на високому рівні, відповідає всім вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук, наведеному «Порядку присудження наукових ступенів» від 24 липня 2013 р. № 567, а її авторка, Журавська Ірина Миколаївна, заслуговує присвоєння їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент:
професор кафедри технічної експлуатації флоту
Національний університет
«Одеська морська академія»,
д.т.н., професор В. В. Нікольський

Підпис проф. Нікольського В. В. засвідчую: