

25.09.2019
116-05.29

ВІДГУК

офіційного опонента – завідувача кафедри біофізики, інформатики та медапаратури Вінницького національного медичного університету

ім. М.І. Пирогова, доктора технічних наук, професора

Кулика Анатолія Ярославовича

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 доктора технічних наук зі спеціальності 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти

Актуальність теми дисертації.

Створення та функціонування сучасних спеціалізованих комп'ютерних систем та мереж різного функціонального застосування є важливою науковою та соціально-економічною проблемою світового рівня. Це стосується і автономних безпілотних систем, які поєднані при взаємодії у швидкодіючі комп'ютерні мережі, виконують свої функції та керуються на великій відстані технічними засобами із використанням різноманітних каналів зв'язку. Такі автономні системи (як поодинокі, так і караванного типу) вже використовуються та плануються до впровадження у різних галузях господарства. Поширюється у світі створення цілих ескадрилей з літальних безпілотних апаратів (БПА – дронів, роботів або боїдів), а також птахоподібних об'єктів для військових потреб. Найбільшого поширення набули БПА, що пересуваються у повітряному середовищі, тобто безпілотні літальні апарати (БПЛА).

Дисертаційна робота виконувалась відповідно до плану наукових досліджень Чорноморського національного університету (ЧНУ) ім. Петра Могили. Напрямки досліджень дисертаційної роботи пов'язані з реалізацією програми інформатизації Миколаївської області, а також ряду Міжнародних програм ЄС TEMPUS та Erasmus+.

Результати дисертаційних досліджень були використані при виконанні науково-дослідних робіт:

- «Провести дослідження та створити регульований генератор імпульсних струмів для різноімпедансного нелінійного навантаження» (ДР № 0195U020694);
- «Розроблення поліметричних датчиків інформаційно-вимірювальних систем з живленням елементів від вимірювального сигналу» ДР № 0115U000316);
- «Розроблення бездротових енергонезалежних інформаційно-вимірювальних мереж критичного застосування військово-цивільного призначення» (ДР № 0117U000447);
- «Розроблення найсучаснішого інтерактивного навчально-тренажерного та аналітично-консультативного комплексу військово-цивільного призначення» (ДР № 0118U000193);
- «Розроблення мобільних малогабаритних та стаціонарних бездротових приладів ранньої діагностики, профілактики, лікування та посттравматичних відновлень військово-цивільного застосування» (ДР № 0119U100422).

В зв'язку з вищевикладеним тема даної роботи, спрямованої на дослідження методів та засобів створення і функціонування зграй БПЛА, безперечно є актуальною.

Загальна оцінка змісту дисертаційної роботи.

У вступі в повній мірі здобувачем аргументовано вибір теми дисертаційного дослідження, розкрито актуальність, сформульовано мету, для реалізації якої коректно поставлені відповідні завдання, визначено об'єкт, предмет, методи, наукову новизну та практичне значення досліджень.

Перший розділ присвячено аналізу існуючих підходів вирішення задач управління групою безпілотних апаратів як рухомої комп'ютерної системи. Зважаючи на те, що найбільшого поширення набули БПА, що пересуваються у повітряному середовищі, тобто безпілотні літальні апарати, найбільша ува-

га приділена формуванню КС саме на основі БПЛА. Розроблено узагальнену класифікацію структур мережевої взаємодії об'єктів таких КС за ознаками гетерогенності, швидкодії, критичності застосування, централізованості управління з КЦ, розбиття на суб-рої, наявності головних («лідуючих») БПЛА та характеристик їх апаратних компонентів, здатності автономної поведінки в залежності від типу умов, в яких працює система, типу виконуваних задач. Розкрито переваги використання централізованого управління всією групою пристроїв при невеликій кількості БПЛА. Сформульовані вимоги до характеристик 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 багатофакторного аналізу РММ побудовано структурно-логічну схему дисертаційної роботи, обґрунтовані задачі дослідження.

Другий розділ містить результати наукових досліджень, пов'язаних з удосконаленням методу моделювання траєкторії руху БПЛА на основі стохастичних диференціальних рівнянь Ланжевена. Ці системи рівнянь дозволяють описувати поведінку динамічних систем з урахуванням впливу випадкових факторів. Виходячи з цього оцінюється поведінка зграї БПЛА без моделювання усієї сукупності кіберфізичних об'єктів, враховуючи їх взаємодію шляхом введення стохастичного компонента у рівняння, що описує рух одного БПЛА.

Щоб знайти точне аналітичне рішення для визначення траєкторії БПЛА запропоновано застосувати модель Блека-Шоулза, розроблену та діючу на фінансовому ринку для ціноутворення на опціони. Як і зміна просторових координат БПЛА, зміна ціни має безперервний характер і описується за допомогою простого вінерівського процесу.

Запропонований підхід надає можливість прогнозувати поведінку групи (зграї, рою) БПЛА з урахуванням зовнішніх збурень на подобу броунівського

руху. Чисельне рішення, отримане в пакеті MATLAB, показало, що середній відсоток похибки моделі на основі метода Ейлера-Маруяма складає 8,2 %, тому запропоновану вдосконалену модель доцільно застосовувати до прогнозування траєкторії руху БПЛА. Для врахування аномальних дифузійних явищ у русі БПЛА (супердифузії) можливо використати математичну схему руху, що зветься «прогулянкою Лєві» або «польотом Лєві» та має чергуватися з броунівським рухом.

«Лєвіподібний» або «броуноподібний» маршрут дозволяє спрогнозувати зменшення активного часу використання батареї через зовнішні впливи та визначити довжину реальної траєкторії, пройденої БПЛА до моменту необхідної дозарядки акумуляторів.

Для забезпечення більшої відповідності математичних моделей траєкторії руху БПЛА схемним структурам, де функції зображуються у вигляді логічних елементів, на яких базуються комп'ютерні компоненти, використано графо-аналітичний спосіб запису таких моделей.

Порівняно з траєкторією руху БПЛА на базі рівняння Ланжевена з урахуванням «дрейфу», яка була прийнята за основу, в запропонованій моделі враховано зміна маршруту через обминання механічної перешкоди (будівлі). За допомогою розробленої моделі можна визначити, на який час буде скорочений політ БПЛА при різних зовнішніх збуреннях. Сімейство кривих довжини траєкторії вказаної моделі дрона використовується як номограма для визначення реального часу (маркери на лінії), через який дрон треба відправляти на дозарядку в залежності від зовнішніх збурень.

Розраховані показники якості розробленої моделі доводять доцільність застосування запропонованої моделі до прогнозування траєкторії руху БПЛА.

Третій розділ висвітлює результати теоретичних розробок та моделювання процесів керування групою БПЛА у просторових коридорах. Наведені варіанти розбиття БПЛА на групи з врахуванням території виконаного завдання та планування маршруту для кожного суб-рою окремо. Виконана класифікація топологій РММ на основі розосереджених БПЛА у 2D-просторі.

Для спрощення алгоритмізації виконуваної задачі визначаються координати прямокутника, утвореного найвіддаленішими вузлами топології РММ, що дозволяє його вважати геометрично завжди опуклим. Зовнішні (крайні) БПЛА зграї орієнтовані за сторонами світу (північ, південь, захід, схід).

Запропонований метод визначення площі функціонування зграї БПЛА на основі прямокутника Брамагупти з урахуванням зміни топології РММ на основі зграї БПЛА враховує більш щільне розташування БПЛА у кластері, при якому мережеві зв'язки за поточною топологією РММ будуть як найкраще забезпечені апаратними можливостями модулів БПЛА.

Запропонований метод розрахунку площі функціонування РММ підвищує точність визначення необстеженої площі на 15,1 % завдяки урахуванню більшої скупченості зграї ніж прямокутник Брамагупти для забезпечення надійного обміну даними між БПЛА.

Для економії обчислювальних потужностей та прискорення обстеження території удосконалено метод розбиття гетерогенної зграї БПЛА на суб-рої з вирішенням задачі комівояжера для кожного суб-рою окремо.

В такому разі виникає необхідність розрахунку положення і орієнтації твердих тіл в дискретні моменти часу. Передані команди управління містять код кожного із заздалегідь визначених маневрів, параметри зазначеного маневру, дані про момент початку маневру і його закінчення. Об'єкти здійснюють складний просторовий рух, який розглядається як комбінація поступального і обертального рухів деякої точки або сукупності точок. При цьому суб-рої БПЛА виконують аналогічні завдання в обмежених просторових коридорах, тобто 3D-завдання розбивається на декілька двовимірних, що паралельно вирішуються на різних обчислювальних ресурсах, з подальшою конкатенацією знайдених 2D-рішень задачі в загальне рішення, що дозволяє, наприклад, на 11,6 % прискорити обстеження території суб-роєм з 6 БПЛА.

Побудована неперервна просторово-часова модель поведінки гетерогенної зграї з 5 БПЛА двох конструкцій, які виконують розподілену техноло-

гічну задачу за складними геометричними траєкторіями, що не можуть бути описані математичними залежностями. Відпрацьовані алгоритми запобігання зіткненням БПЛА та повернення дронів на власні бази (точки старту) для підзарядки акумуляторних батарей з наступним продовженням руху по своїй траєкторії.

Задля уникнення дублювання виконання завдань у точках сітки, яка охоплює обстежувану територію, запропонований метод синтезу суб-оптимальних маршрутів суб-роїв БПЛА на основі нейронної мережі Хопфілда (НМХ). Суть розробленого методу полягає в тому, щоб використовувати польотну карту також у якості нейронної мапи як динамічне представлення заданого простору, інформація про який надходить із зовнішніх джерел. Такий підхід забезпечить виключення дубляжу дій дрона у вже обстеженому вузлу.

Четвертий розділ висвітлює результати розроблення методів та засобів обміну даними між об'єктами рухомої моніторингової мережі. 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.

В роботі набув подальшого розвитку метод гарантованої доставки інформації між об'єктами з використанням трансферних вузлів та хмарних сервісів. При втраті працездатності GPS-модуля (в умовах великого електромагнітного опромінення у результаті застосування засобів радіоелектронної боротьби – створення «пухирів РЕБ») група БПЛА повинна перейти від централізованого управління до автономного режиму. В такому разі функціонування ШГКМ при відсутності зв'язку між об'єктами можна забезпечити за рахунок використання хмарного сервісу Google Firebase, на якому в сформованій «аудиторії» зберігаються дані про останні координати всіх об'єктів до попадання в «пухир РЕБ» та нові точки маршруту, які передані на хмару від КЦ. Відкладена синхронізація може бути здійснена за рахунок зміни протоколу взаємодії між об'єктами шляхом додання параметрів режиму функціонування

БПЛА та умов їх настання.

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

Проведене натурне та комп'ютерне моделювання розробленої системи на основі двох апаратних рішень: мікроконтролера ATmega32 та плати STM32F429 Discovery. Визначений час повного циклу створення та обробки повідомлення у каналі зв'язку РММ в залежності від вибраних комп'ютерних компонентів: на весь цикл оброблювання одного повідомлення витрачається час до 25 мс. Тоді, з урахуванням того, що GPS-координати передаються за 2 пакети, швидкість отримання GPS-координат дорівнює 20 разів на секунду. В реалізованому методі похибка значення становить $3,04 \cdot 10^{-5} \%$, що практично не впливає на коректність вхідних даних.

П'ятий розділ містить результати досліджень шляхів підвищення ефективності функціонування обчислювального процесора БПЛА за рахунок розподілу завдань між ядрами. Набула подальшого розвитку математична модель диспетчеризації завдань обчислювачів об'єктів ШГКМ з резервуванням ресурсів окремого ядра багатоядерного однокристального CPU для обчислень в першу чергу задач управління польотом.

В роботі набув подальшого розвитку метод бездротового передавання зекономленої енергії між об'єктами РММ за допомогою технології PoWiFi. Слід зазначити, що використання PoWiFi може привести до істотного зростання внутрішньої інтерференції і загального зниження пропускну здатності мережі Wi-Fi. Тому для відправки енергетичних фреймів з метою акумулювання енергії на інших об'єктах ШГКМ в роботі передбачено використовувати інші частотні канали, а не той самий, на якому здійснюється передача даних. Також передавати додаткові «енергетичні пакети» слід в інші проміжки часу, коли інформація не передається.

Для реалізації модифікованого методу бездротового передавання енергії між WiFi-компонентами об'єктів ШГКМ на основі технології PoWiFi розроблена процедура, за якою дані та енергія передаватиметься на каналах, що не пересікаються, та у різні проміжки часу.

У запропонованій модифікації бездротового методу передавання також передбачено, що модулі ШГКМ, які живляться від надлишкової енергії інших КФО, включатимуться лише після накопичення енергії достатнього рівня. Інакше, при нестачі струму, наприклад, для живлення модулів зв'язку, не буде відповіді на будь-яких швидкостях, навіть при зниженні рівня швидкості до мінімуму (9,6 кбіт/с). При використанні вищеописаної процедури не відбувається деградації даних, переданих через Wi-Fi, та деградації продуктивності мережі.

Шостий розділ присвячений розробленню прикладних рішень застосування розроблених у дисертаційній роботі теоретичних основ, методів та засобів створення та функціонування швидкісних гетерогенних комп'ютерних мереж критичного застосування.

Розроблена структура локальної ШГКМ для за допомогою мобільних первинних реєстраторів.

Для розгортання ШГКМ на контейнеровозі запропоновано за допомогою БПЛА доставити та розмістити на даху контейнера у кожній секції ряду на палубі, найближчого до причалу, мобільний пристрій на ОС Android, який реєструє контейнер, коли стріла портокрана переносити його над фотокамерою девайса-реєстратора.

Використання КС на основі РММ дозволяє значно скоротити час виявлення і відновлення пропускну здатності ділянок трубопроводів теплотрас з локальними пошкодженнями. Розроблена КС базується або на основі пірометра, або на основі датчиків температури з бездротовою передачею виміряних температур до узагальнюючого пристрою. У будь-якому випадку такі датчики встановлюються на дрон.

Для подовження часу життя ШГКМ розроблені конструктивні рішення

перспективних моделей БПЛА з більш економним витрачанням заряду акумуляторів під час формування підйомної сили БПЛА.

Запропоновано створювати окремі суб-рої БПЛА шляхом з'єднання двох корпусів БПЛА $f1(\text{CorpsБПЛА})$ и $f2(\text{CorpsБПЛА})$ або тріади БПЛА в єдину жорстку моноконструкцію.

У *висновках* подані основні нові наукові та практичні результати дисертаційного дослідження із зазначенням чисельних показників, що доводять перевагу отриманих результатів порівняно з існуючими у галузі.

В *додатках* наведені акти впровадження результатів роботи в поточній діяльності підприємств різних галузей (використання ШГКМ при розвантаженні/завантаженні суден-контейнеровозів, при пошуку місць аварійного витоку теплоносіїв та міських теплотрасах, при організації захищеного обліку повідомленнями у розгалуженій складській системі), а також у НДР та навчальному процесі ЧНУ ім. Петра Могили. Також наведені технічні характеристики використаних систем та компонентів, лістинги програмних кодів для організації взаємодії об'єктів ШГКМ на апаратному рівні, лістинг розробленого програмного застосунку та результати моделювання руху БПЛА у середовищі MATLAB, копії сертифікатів участі у Міжнародних програмах, список праць за темою дисертації.

Обґрунтованість висновків і одержаних результатів дисертаційної роботи базується на коректному використанні вихідних посилань і математичного апарату теорій побудови розподілених комп'ютерних систем та інтелекту рою, стохастичної динаміки, передачі інформації в комп'ютерних системах, захисту даних стеганографічними засобами, проектування та імплементації програмних систем в апаратні рішення, математичного та комп'ютерного моделювання.

Вірогідність результатів дисертаційної роботи підтверджується імітаційним комп'ютерним моделюванням, яке показало коректність теоретич-

них досліджень та ефективність розроблених методів і засобів, їх експериментальною перевіркою, що підтверджуються відповідними актами впровадження.

Найбільш вагомими науковими результатами, отриманими в дисертації є:

- вперше розроблений метод визначення часу життя швидкодіючої гетерогенної комп'ютерної мережі критичного застосування за рахунок обчислення траєкторії руху з врахуванням впливу зовнішніх збурень та механічних перешкод, що дозволяє попередити втрату безпілотного апарату та уточнити паспортний час його роботи залежно від особливостей експлуатації;
- вперше розроблений 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 мережі;
- вперше розроблений метод усунення дублювання виконання функцій літальних апаратів за рахунок розроблених засобів управління режимами роботи їх неперіоритетних модулів, що дозволяє зменшити енерговитрати мережі в цілому;
- удосконалення методу підвищення криптостійкості повідомлень, що передаються, зі стеганографічним закриттям корисної інформації за рахунок розміщення інформації про місцеположення об'єкту у стегоконтейнері в межах вільного місця кадрів протоколу передавання відкритих даних, що дозволяє підвищити рівень безпеки функціонування ШГКМ.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що отримані наукові результати доведено здобувачем до конкретних структурних і конструктивних рішень спеціалізованих дискретних пристроїв.

На підставі проведених досліджень одержано такі практичні результати:

- отримані показники реального часу життя акумуляторів БПЛА, що уточнюють паспортний час роботи БПЛА 1-го класу в залежності від умов експлуатації. Рішення отримані у пакеті MATLAB за допомогою метода Ейлера-Маруями, найменш вимогливого до обчислювальних ресурсів комп'ютерних систем, що дозволяє застосовувати їх при швидкодинамічному використанні БПЛА;
- розроблений протокол взаємодії GPS-модуля Об'єкта з Клієнтом кіберфізичної системи, яка складається зі зграї БПЛА та наземного КЦ (кібероператорів), через хмарний сервіс Google FireBase, що дозволяє в швидкодинамічних гетерогенних РММ коригувати задачу кожного Об'єкта вже під час її виконання;
- розроблений алгоритм резервування ресурсів окремого ядра багатоядерного однокристального обчислювального процесора (CPU) БПЛА для обчислень першочергової важливості (задач управління польотом);
- розроблені структурні та схемотехнічні рішення гетерогенної моніторингової мережі реєстрації морських контейнерів, що перенесені через борт судна портокраном, для інформування капітану судна засобами локальної мережі судна без підключення до Інтернет та без задіяння пропрієтарного програмного забезпечення власників контейнерів. Розроблені алгоритмічні та схемотехнічні рішення забезпечують запобігання подвійної реєстрації та реєстрації руху сторонніх об'єктів;
- розроблені перспективні конструктивні рішення функціональних компонентів БПЛА (захищені патентами №№ 130607, 130195, 132326) з подовженим життєвим циклом останніх за рахунок більш економного витрачання заряду акумуляторів під час формування підйомної сили БПЛА;
- розроблені структурні та конструктивні рішення малогабаритних БПЛА (захищені патентом № 130608 України), в яких за рахунок впровадження підсистеми катапультивання блоків пам'яті та визначення GPS-координат БПЛА задля непопадання до конкурентних осіб та оповіщення командного центру про координати падіння модулю.

Безперечною перевагою роботи є використання стандартних технічних засобів з адаптацією їх під конкретні задачі. Це дозволяє суттєво скоротити ресурсні витрати.

Результати дисертаційної роботи впроваджені і пройшли апробацію:

- на контейнеровозі «CSCL Uranus» (zareєстрований у Hong Kong) для створення комп'ютерної системи інформування капітана судна щодо кількості контейнерів у кожній секції, перенесених через борт контейнеровоза портокраном;
- у відділі з експлуатації житлового господарства департаменту житлово-комунального господарства Миколаївської міської ради для пошуку тепловитоків в інженерних комунікаціях на основі дослідження теплових карт заданими пірометричним та тепловізорним обладнанням на борту БПЛА, поєднаних у швидкодинамічну комп'ютерну мережу з подовженим часом функціонування;
- на підприємстві ТОВ «Добробут» (м. Миколаїв) при вдосконаленні інструментального забезпечення технології обстеження та визначення стану елементів конструкції житлових будинків за допомогою розробленої рухомої моніторингової системи з використанням трансферних вузлів та хмарних сервісів;
- на підприємстві ТОВ «Схід-Захід-Енерго» для забезпечення захищеного зв'язку між об'єктами розгалуженої мережі складів за рахунок та стеганографічного закриття GPS-координат зазначених об'єктів;
- при виконанні науково-дослідних робіт, які виконувались в ІІІТ НАН України та в ЧНУ ім. Петра Могили;
- у навчальному процесі кафедри комп'ютерної інженерії та кафедри інтелектуальних інформаційних систем ЧНУ ім. Петра Могили при проведенні лекційних, практичних та лабораторних робіт з дисциплін «Кібербезпека», «Комп'ютерні мережі» та ін., а також при підготовленні магістерських робіт зі спеціальностей «Комп'ютерні науки» та «Комп'ютерна інженерія».

Рекомендації щодо використання наукових результатів.

Теоретичні положення, отримані в роботі, можуть бути розповсюджені на комп'ютерні системи для інших типів безпілотних апаратів, що пересуваються в інших, середовищах.

Але, при цьому додаткового дослідження вимагають процедури надійного передавання інформації в цих середовищах.

Завершеність, стиль виконання, публікації.

Аналіз сукупності наукових результатів, поданих в роботі Журавської І.М. дозволяє зробити висновок про їх цілісність і засвідчує особистий внесок автора в науку щодо розроблення комплексу комп'ютерних засобів для управління безпілотними апаратами з метою збирання даних.

Всього за тематикою дисертації опубліковано 82 наукових праці, у т. ч.: 2 монографії (у т. ч. 1 англійською мовою у співавторстві видана за кордоном та 1 українською мовою одноособова), 23 статті у фахових журналах, що входять до переліку МОН України (з них 5 статей у періодичних виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз Scopus та/або Web of Science, 9 статей проіндексовано в наукометричній базі IndexCopernicus), 2 навч. та навч.-метод. посібники, 5 праць конференцій, які включені до міжнародних наукометричних баз Scopus та/або Web of Science, 43 тези доповідей на міжнародних та всеукраїнських конференціях, 7 деклараційних патентів України на корисні моделі.

Головні наукові результати дисертації повністю опубліковано і відображено у зазначених працях.

Матеріали досліджень обговорювались на 38 науково-технічних конференціях різного рівня.

Зміст автореферату повністю відповідає основним положенням і висновкам, зробленим в дисертації.

Зміст дисертації відповідає паспорту спеціальності 05.13.05 – Комп'ютерні системи і компоненти.

Недоліки та зауваження по роботі:

1. Управління безпілотними апаратами радіоканалом може бути пов'язано із певними складнощами (зони нестійкого приймання). Але в роботі не показано як цього уникнути і які заходи передбачені.
2. В дисертаційній роботі увага приділена стеганографічному закриттю інформації, але більш важливим є завадозахищене кодування. Проте, цьому увага не приділена.
3. Система розрізнення об'єктів передбачає розпізнавання образів. Це вимагає великих часових, апаратних і програмних витрат. Разом з тим, робота системи здійснюється в режимі реального часу. Як розв'язується це протиріччя в дисертації не показано.
4. В роботі використовується термін «оптимізація», але самій оптимізаційній задачі уваги приділено недостатньо.
5. Пересування безпілотних апаратів з метою збирання даних підпорядковується класичній транспортній задачі оптимізації, але здобувач розроблює власні алгоритми. Обґрунтування цього в дисертації недостатні.
6. Постійна в'язкого тертя містить випадкову складову, яка залежить від багатьох чинників. Для швидкоплинних процесів треба чітко сформулювати умови, при яких її можна вважати квазіпостійною протягом певного проміжку часу, а процес в цілому стаціонарним.
7. В роботі розглядається вінерівський процес, який має певні обмеження на використання, які не згадуються і не обґрунтовуються.
8. В роботі швидкість літального апарату вважається константою, але в реальних умовах це далеко не завжди реально, особливо в умовах бойових дій, різких поривів вітру тощо. В таких випадках потрібна термінове реагування системи на зовнішні збурення. Це передбачає в тому числі і зміну швидкості, але в дисертації цьому уваги приділено недостатньо.
9. Розподіл Леві має певні обмеження на використання (незалежні і стаціонарні природи, послідовні переміщення точки випадкові і незалежні,

- причому статистично тотожні за інтервалами часу). Наскільки це відповідає реальним ситуаціям обґрунтовано недостатньо.
10. В роботі для організації управління використовується абсолютно лінійний алгоритм. Це вимагає додаткових пояснень.
 11. Робота присвячена розв'язанню проблеми управління. При цьому напрошується використання потужного математичного апарату ТАУ. Це дозволило б оцінити, в тому числі, і границі стійкості системи. Але автор його не використовує.
 12. Передавання даних процес більш повільний, ніж їх завантаження до порту. Потенційно канал обміну даними може мати пропускну здатність десятків Гбіт/с, але реальний радіоканал в умовах атмосферних і промислових завад цього не забезпечить. Це обмеження в дисертації не обґрунтовано.
 13. В роботі ефективно використовуються алгоритми адаптації, але їх аналізу і описанню уваги приділено явно недостатньо.
 14. При проведенні експерименту потрібно чітко вказувати умови його проведення, але цьому уваги приділено недостатньо.
 15. В роботі зустрічаються термінологічні, стилістичні та орфографічні помилки. Це стосується, наприклад, підсилення потужності антеною, хоча вона є пасивним елементом.

Висновок.

Незважаючи на вказані зауваження загальна оцінка дисертаційної роботи позитивна. Вони не знижують цінності отриманих наукових та практичних результатів. Дисертаційна робота Журавської І.М. виконана на високому науковому рівні, є завершеною науковою працею, яка має суттєве практичне значення та спрямована на розв'язання актуальної науково-технічної проблеми. Дисертаційна робота «Теоретичні основи, методи та засоби створення та функціонування швидкодинамічних гетерогенних комп'ютерних мереж

критичного застосування» відповідає вимогам пп. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. та паспорту спеціальності. Автор дисертації Журавська Ірина Миколаївна заслуговує на присвоєння їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти.

Зав. кафедри біофізики, інформатики
та медапаратури Вінницького національного
медичного університету ім. М.І. Пирогова,
д.т.н., професор



А.Я. Кулик

