ВІДГУК

рецензента

кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем Національного університету «Київський авіаційний інститут»

Петрової Юлії Валеріївни на дисертаційну роботу

Бондарева Олександра Сергійовича

на тему «Методи підвищення ефективності використання каналів супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних систем»

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

1. Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота Бондарева Олександра Сергійовича присвячена актуальному науково-прикладному завданню підвищення ефективності використання каналів супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних комплексів (БпАК).

Актуальність теми зумовлена зростанням ролі безпілотних авіаційних комплексів у сучасних умовах, зокрема під час виконання завдань моніторингу, розвідки, логістичного забезпечення, спостереження за об'єктами критичної інфраструктури та виконання місій за межами прямої видимості. У таких сценаріях надійність каналів зв'язку, точність навігації, актуальність навігаційної інформації та стійкість системи керування є критично важливими умовами безпечного та ефективного функціонування БпАК.

Особливої значущості тема набуває в умовах активного радіоелектронного протиборства, навігаційних завад, деградації супутникового зв'язку, GNSS jamming та GNSS spoofing. Підміна координат

або нав'язування нелегітимних навігаційних даних може призвести до відхилення БпАК від маршруту, втрати точності позиціювання, зниження якості керування або втрати керованості апарата.

У багатьох відомих підходах супутниковий зв'язок, GNSS-навігація, інерціальні навігаційні системи, фільтрація даних і керування БпАК розглядаються окремо. Такий підхід не дозволяє комплексно оцінити взаємний вплив затримки, джитера, втрат пакетів, доступності каналу, повторних передач, актуальності навігаційних даних, похибки позиціювання та стійкості керування.

У зв'язку з цим дослідження, спрямоване на розроблення комплексної моделі оцінювання ефективності системи «зв'язок – навігація – керування», а також методів виявлення підміни координат і переходу на інерціальну навігацію, є своєчасним, актуальним і має важливе теоретичне та практичне значення.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, новизна та практичне значення результатів

Дисертаційна робота характеризується достатнім рівнем обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій. Автор послідовно розглядає проблему підвищення ефективності використання каналів супутникового зв'язку та навігації для БпАК, формалізує взаємозв'язок між параметрами якості каналу зв'язку та навігаційними характеристиками системи, а також пропонує методи зменшення впливу навігаційних завад і підміни координат.

Позитивним є те, що робота не обмежується окремим аналізом каналів зв'язку або навігаційних систем, а спрямована на побудову цілісного підходу до оцінювання ефективності комунікаційно-навігаційної системи БпАК. Автор розглядає затримку, джитер, втрати пакетів, доступність каналу, повторні передачі, GNSS-шум, HDOP, INS-дрейф та інші параметри як взаємопов'язані чинники, що впливають на похибку позиціювання, якість керування та ризик втрати керованості.

Достовірність отриманих результатів забезпечується використанням методів теорії телекомунікаційних систем, системного аналізу, математичного та імітаційного моделювання, теорії ймовірностей, методів оптимізації та сценарного аналізу. Наведені в роботі результати дозволяють оцінити вплив запропонованих методів на ефективність функціонування каналів супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних систем.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в розробленні та вдосконаленні моделей і методів, спрямованих на підвищення ефективності, точності та стійкості функціонування комунікаційно-навігаційної системи БпАК.

У дисертаційній роботі отримано такі основні наукові результати:

1. Вперше розроблено комплексну модель оцінки ефективності системи зв'язку та навігації безпілотних авіаційних комплексів, яка враховує множину параметрів якості зв'язку, зокрема затримку, джитер, втрати пакетів, доступність каналу та повторні передачі, а також їх вплив на динамічну точність навігації, актуальність навігаційної інформації та ризик втрати навігації.

2. Вперше розроблено метод виявлення та нівелювання впливу підміни координат на якість визначення місцезнаходження в умовах зовнішнього впливу завад, що передбачає виявлення аномалій, збір допоміжної інформації, активну перевірку та формування підстав для оперативного реагування на нелегітимні координати.

3. Удосконалено метод перемикання на інерціальну систему навігації за рахунок оперативного виявлення підміни координат і вибору оптимальної INS-системи з урахуванням обмежень за цільовою ефективністю, обчислювальною складністю реалізації та наявними ресурсами.

4. Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення для реалізації запропонованих моделей і методів, зокрема вебзастосунок для комплексної оцінки ефективності системи зв'язку та навігації БпАК.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості їх використання під час розроблення, модернізації, моделювання та оцінювання систем супутникового зв'язку і навігації для БпАК. Запропоновані моделі та методи можуть бути корисними для розробників безпілотних авіаційних комплексів, систем супутникової навігації, програмного забезпечення підтримки прийняття рішень та засобів підвищення стійкості БпАК до зовнішніх завад.

Суттєвою перевагою роботи є прикладна спрямованість отриманих результатів. Зокрема, практичну цінність мають алгоритмічна та програмна реалізація методу виявлення і нівелювання впливу підміни координат, алгоритм вибору оптимальної INS-системи для БпАК, вебзастосунок для комплексної оцінки ефективності системи зв'язку та навігації, а також імітаційна модель реалізації розроблених методів.

3. Загальна структура, зміст і завершеність дисертаційної роботи

Дисертаційна робота має логічну та послідовну структуру, що забезпечує розкриття поставленого науково-прикладного завдання від аналізу сучасного стану проблеми до розроблення моделей, методів, алгоритмічного та програмного забезпечення.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено зв'язок роботи з науковими програмами, сформульовано мету й завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, подано наукову новизну, практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача та інформацію про апробацію результатів.

У першому розділі проведено дослідження ефективності використання каналів супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних систем. Автор розглядає технології та провайдерів супутникового зв'язку, особливості його застосування для військових БпАК, вимоги до каналів зв'язку, стійкість до радіоелектронної боротьби, вимоги до навігаційних систем, альтернативні методи навігації, архітектуру супутникової комунікаційно-навігаційної

системи та вплив радіоелектронних перешкод. Розділ виконує функцію теоретичного та постановочного підґрунтя дисертаційного дослідження.

У другому розділі здійснено формалізацію архітектури супутникової комунікаційно-навігаційної системи. У цьому розділі розроблено модель супутникових каналів зв'язку та навігації, розглянуто імовірнісну модель надійності супутникового каналу, оцінку втрат пакетів і завад, точності супутникової навігації та впливу роботи РЕБ. Окрему увагу приділено інтегральній моделі оцінки ефективності системи позиціонування, динамічній моделі навігаційної системи з урахуванням якості обслуговування в каналі зв'язку та формуванню спільного критерію «зв'язок – навігація».

У третьому розділі розроблено методи підвищення ефективності функціонування системи супутникової навігації для БпАК. У межах розділу розглянуто методи виявлення та протидії GNSS spoofing, запропоновано інтегрований метод із автоматичним перемиканням на інерціальну навігацію, наведено аналіз оптимальних INS-систем для використання в БпАК, а також оцінено обчислювальну складність запропонованого методу виявлення GNSS-спуфінгу. Розділ має важливе значення для розв'язання задачі забезпечення стійкості навігації в умовах зовнішніх впливів.

У четвертому розділі наведено реалізацію та оцінку ефективності розроблених методів і моделей. Автор описує вебзастосунок для оцінки ефективності функціонування системи зв'язку та навігації для БпАК, проводить аналіз розроблених методів і демонструє можливість їх практичного застосування. Важливим результатом цього розділу є перехід від теоретичних моделей до програмної реалізації, що підвищує прикладну цінність роботи.

У висновках узагальнено основні результати дисертаційного дослідження, які відповідають поставленій меті та завданням. Висновки мають завершений характер і відображають основні наукові та практичні результати, отримані автором.

Загалом дисертаційна робота є цілісним і завершеним дослідженням, у якому простежується логічний перехід від аналізу сучасного стану проблеми до розроблення комплексної моделі оцінювання, методів виявлення та нівелювання впливу підміни координат, удосконалення перемикання на INS та створення програмного інструменту для оцінювання ефективності системи зв'язку й навігації БпАК.

4. Дотримання академічної доброчесності, мова та стиль викладення

Ознайомлення зі змістом дисертаційної роботи дає підстави вважати, що дослідження виконано з дотриманням принципів академічної доброчесності. У роботі використано посилання на джерела, а подання матеріалу свідчить про самостійний характер проведеного дослідження.

Дисертаційна робота написана українською мовою, матеріал викладено переважно послідовно, логічно та в науковому стилі. Автор використовує термінологію у сфері телекомунікацій, супутникового зв'язку, GNSS-навігації, інерціальних навігаційних систем, радіоелектронної боротьби, математичного моделювання та безпілотних авіаційних систем.

Наведені в роботі таблиці, рисунки, моделі та алгоритмічні описи сприяють кращому розумінню основних положень дисертації. Стиль викладення загалом відповідає вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

Основні результати дисертаційної роботи апробовані у наукових публікаціях та доповідях на науково-технічних конференціях. Це свідчить про належний рівень представлення результатів дослідження у фаховому середовищі.

5. Зауваження до дисертаційної роботи

Поряд із загальною позитивною оцінкою дисертаційної роботи доцільно висловити окремі зауваження:

1. У першому розділі наведено ґрунтовний аналіз сучасних систем супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних систем, однак

окремі підрозділи мають переважно оглядовий характер. Більш детальне узагальнення недоліків існуючих підходів та їх формалізація дозволили б чіткіше обґрунтувати постановку задач дослідження.

2. Наведена математична модель враховує значну кількість параметрів каналу зв'язку та навігації, однак у роботі недостатньо досліджено вплив похибок оцінювання цих параметрів на кінцеві результати моделювання. Аналіз чутливості моделі підвищив би переконливість отриманих результатів.

3. У розділі, присвяченому перемиканню на інерціальну систему навігації, бажано було б детальніше обґрунтувати вибір вагових коефіцієнтів або критеріїв, що використовуються під час вибору оптимальної INS-системи з урахуванням цільової ефективності, обчислювальної складності та ресурсних обмежень.

4. Практична цінність роботи не викликає сумнівів, однак у дисертації недостатньо детально розглянуто питання інтеграції запропонованих методів у сучасні програмно-апаратні комплекси керування БпАК, що дозволило б більш повно оцінити особливості їх практичного впровадження.

5. Окремі фрагменти тексту потребують додаткового редакційного опрацювання з метою усунення технічних, стилістичних та термінологічних неточностей, що не впливають на зміст наукових результатів, але могли б покращити загальне сприйняття роботи.

Наведені зауваження не мають принципового характеру та не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

6. Загальний висновок

Дисертаційна робота Бондарева Олександра Сергійовича на тему «Методи підвищення ефективності використання каналів супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних систем» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому розв'язано актуальне науково-прикладне завдання підвищення ефективності використання каналів супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних систем.

Робота має належний рівень обґрунтованості, містить елементи наукової новизни та становить практичний інтерес для розроблення, моделювання й оцінювання комунікаційно-навігаційних систем БпАК, зокрема в умовах деградації супутникового зв'язку, навігаційних завад, GNSS spoofing та необхідності забезпечення стійкості керування.

За своїм змістом, рівнем виконання, теоретичним і практичним значенням дисертаційна робота відповідає вимогам, що ставляться до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, а її автор, Бондарев Олександр Сергійович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

К.т.н., доцент, доцент кафедри телекомунікаційних
та радіоелектронних систем
Національного університету
«Київський авіаційний інститут» Юлія ПЕТРОВА

Підпис Петрової Ю. засвідчую
Вчений секретар КАІ
Інна Набока