

ВІДГУК

офіційного опонента завідувача кафедри радіотехнічних пристроїв та систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» доктора технічних наук, професора Жука Сергія Яковича на дисертаційну роботу Ковалева Володимира Олександровича «Підвищення ефективності методів оптико-електронного позиціонування шляхом комбінованого аналізу елементів кадру», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

1. Актуальність теми дисертації

На сьогоднішній день розвиток безпілотної авіації висуває нові вимоги до систем та комплексів оптико-електронного позиціонування. Серед них підвищення автономності, збільшення енергетичної ефективності, підвищення точності вимірювання відстаней до об'єктів, покращення масогабаритних показників. Відповідно постає потреба у збільшенні швидкості обробки значного обсягу вхідних відеоданих у реальному часі з одночасним збільшенням точності та завадостійкості пристроїв оптико-електронного позиціонування.

Один з головних чинників, що обмежують зростання точності обробки даних є неможливість отримання достовірних результатів щодо глибини простору за допомогою стереокамер з невеликими розмірами стереобазиса, які обмежуються конструкційними особливостями літальних апаратів. Для вирішення даного завдання в системах стереозору використовуються алгоритми на базі обчислення оптичних потоків. Проте, оптичний потік потребує великих обчислювальних витрат за рахунок необхідності введення піраміди масштабів, кількість шарів якої безпосередньо визначає точність процесу вимірювання глибини простору.

Також до недоліків подібних методів відноситься висока ймовірність втрати ключових точок об'єкта при розмитті потоку за рахунок масштабування сцени при наближенні та чутливість до кутових переміщень камери. Особливо сильно вищезазначені недоліки проявляються при супроводі рухомих об'єктів з одночасним рухом камери відносно фону. Проте, наявність в складі бортової інформаційної системи датчиків кутової орієнтації, датчиків швидкості, кута атаки, аеродинамічного ковзання та супутникових систем навігації, які надають інформацію щодо просторового положення літального апарату, надає можливість удосконалити методи побудови оптичного потоку та зменшити похибку вимірювань, при цьому не збільшуючи кількість шарів масштабної піраміди.

Таким чином актуальним науково-практичним завданням є розроблення методів обчислення оптичного потоку з врахуванням особливості використання систем оптико-електронного позиціонування в складі бортової апаратури літальних апаратів.

2. Ступінь обґрунтованості і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, обумовлена коректною постановкою науково-прикладної задачі і часткових завдань досліджень, використанням сучасних апробованих методів математичного аналізу, матричної алгебри, теорії ймовірності і математичної статистики, теорії цифрової фільтрації сигналів, а також методів експериментальних досліджень, таких як натурний експеримент, імітаційне моделювання.

Достовірність отриманих наукових результатів забезпечено несуперечністю отриманих у дисертації наукових результатів загальновідомим фізичним і математичним положенням розглянутої теорії, збігом окремих отриманих наукових результатів з відомими, експериментальною перевіркою отриманих теоретичних положень на основі виготовленого дослідного зразка, достатньою апробацією та впровадженням результатів дисертації.

3. Наукова новизна результатів, отриманих в дисертації

Результатами проведених досліджень, які мають наукову новизну є наступні:

1. Вперше запропоновано комплексний показник ефективності систем оптико-електронного позиціонування з урахуванням природних факторів впливу, маневрових характеристик носія системи, маневрових характеристик об'єктів супроводу та штучних перешкод, що дає змогу оцінити роботу подібних комплексів в реальних умовах, не проводячи натурних експериментів;

2. Удосконалено методи побудови оптичного потоку за рахунок зменшення піраміди масштабів, що відрізняється від існуючих методів введенням в математичну модель обробки інерційних та висотно-швидкісних даних носія системи оптико-електронного позиціонування, що дозволяє зменшити час обробки та підвищити ефективність системи.

3. Вперше розроблено метод багатоканального пасивного вимірювання дальності на основі оптичного потоку в стереоскопічному зображенні, який, на відміну від існуючих, дає змогу будувати карту глибини зображення в некаліброваних стереопарах з кутовим паралаксом.

4. Удосконалено метод попередньої обробки зображень, який відрізняється від існуючих введенням адаптивної фільтрації високочастотних шумів, що дозволяє підвищити завадостійкість систем оптико-електронного позиціонування при супроводі об'єктів на неоднорідному фоні.

4. Практичне значення результатів, отриманих в дисертації та їх подальше використання

Серед одержаних практичних результатів слід відзначити такі:

1. Реалізовано алгоритми побудови та аналізу оптичного потоку з використанням даних інерційних та висотно-швидкісних датчиків, що збільшило швидкість обробки вхідних даних в 1,73 рази.

2. Розроблено та програмно реалізовано алгоритми попередньої обробки кадрів відеопослідовності з адаптивною фільтрацією, що збільшило тривалість супроводу приповерхневих об'єктів від 36 до 92% в залежності від характеру місцевості.

3. На основі отриманих в роботі результатів було виготовлено комплект конструкторської та програмної документації, а також виготовлено дослідний зразок системи оптико-електронного позиціонування.

Практичну цінність отриманих результатів підтверджують акти впровадження, отримані у ТОВ «АНГ-Україна» та НПК «КУРС».

Наукові та практичні результати дисертації рекомендуються для використання у науково-дослідних та виробничих установах, які займаються створенням нових і вдосконаленням наявних оптоелектронних систем, при розробці алгоритмічного забезпечення систем вторинної обробки відеоінформації для підвищення ефективності виявлення і супроводження траєкторії цілі при малих відношеннях сигнал/шум, що не потребує значних обчислювальних затрат.

5. Публікації та апробація результатів дисертаційної роботи

Основні наукові результати та положення дисертації в повному обсязі опубліковано у 12 наукових працях, серед яких: 1 стаття в іноземному науковому періодичному виданні за напрямом дисертації, 4 статті у наукових фахових виданнях згідно з переліком МОН України, 1 свідоцтво на реєстрацію авторського права на програмне забезпечення.

Результати дисертації Ковалева В.О. пройшли всебічну апробацію на 6-ти міжнародних та вітчизняних науково-практичних конференціях.

6. Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому, відповідність встановленим вимогам оформлення дисертації

Робота містить вступ, п'ять розділів, список джерел та шість додатків.

У вступі наведено загальні характеристики роботи, обґрунтовано її актуальність і зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Сформульована мета та завдання досліджень, наукова новизна і практичне значення одержаних результатів. Наведено дані про реалізацію результатів роботи, її апробацію і публікації.

У першому розділі розглянуто існуючі підходи щодо оптико-електронного пеленгування та оптико-електронного вимірювання відстані. Встановлено, що забезпечення задовільної точності позиціонування в пасивних системах можливе лише при використанні відеовузлів з великою стереобазою при умові ректефікації кадрів відеосистеми. Розглянуто альтернативні методи оптико-електронного позиціонування, такі як оптичний потік; виділено проблемне поле.

Другий розділ роботи присвячено розробці комплексного показника ефективності систем оптико-електронного позиціонування, виділенню факторів, які впливають на сталість супроводу рухомих та статичних об'єктів, запропоновано методіку дослідження систем оптико-електронного позиціонування. Розроблено імітаційну модель системи оптико-електронного позиціонування на основі оптичного потоку, що дозволяє проводити порівняльний аналіз методів побудови оптичного потоку відносно швидкості обробки вхідних даних та комплексного показника ефективності.

У третьому розділі запропоновано удосконалений метод розрахунку оптичного потоку з використанням даних від інерційної та висотно-швидкісної систем літальних апаратів. Розроблено функціональну схему системи оптико-електронного позиціонування, що реалізує запропонований метод. Запропоновано метод побудови карти глибини зображення на основі розрахунку оптичного потоку в умовах зустрічного наближення до об'єкту спостереження. Також проведено порівняння запропонованого методу розрахунку оптичного потоку з базовим методом Лукаса-Канаде відносно швидкості обробки вхідних даних та комплексного показника ефективності системи оптико-електронного позиціонування.

Четвертий розділ присвячено розробці алгоритмів роботи систем оптико-електронного позиціонування, які реалізують запропоновані методи розрахунку оптичного потоку з урахуванням попередньої обробки даних з пристроїв вводу відеоінформації, інерційних та висотно-швидкісних датчиків. Проведено оптимізацію розрахунків з урахуванням можливості використання багатопоточних систем.

У п'ятому розділі введено метод попередньої обробки зображень з адаптивною фільтрацією високочастотних шумів для компенсації розмиття периферійної частини кадру, розроблено пакет прикладного програмного забезпечення з використанням мов програмування C++ та Python, розроблено конструкторську документацію дослідного комплексу оптико-електронного позиціонування.

Наведено експериментальні дані роботи дослідного комплексу та проведено порівняння з результатами, отриманими при математичному моделюванні.

Дисертацію написано стилістично грамотно на високому науковому рівні. Вона має внутрішню єдність. Застосована в роботі наукова термінологія є загально визнаною, стиль викладення теоретичних і практичних досліджень, нових

наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та використання.

Дисертація за тематикою та результатам відповідає паспорту спеціальності 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

7. Відповідність змісту автореферату та основних положень дисертації

Зміст автореферату в повній мірі розкриває основні положення наукових результатів і написаний державною мовою. Він характеризує сутність новизни та практичного значення досліджень, і показує особистий внесок автора у вирішенні наукової проблеми, що поставлена у роботі.

8. Зауваження до дисертації

В якості зауважень щодо змісту дисертації можна визначити наступне:

1. В другому розділі дисертаційної роботи автором запропоновано комплексний показник ефективності систем оптико-електронного позиціонування. Варто було б дослідити наведені в першому розділі відомі пристрої оптико-електронного позиціонування щодо запропонованого комплексного показника.

2. В третьому розділі не обгрунтовано вибір методу розрахунку швидкості літального апарату для обчислення карти глибини зображення.

3. В третьому розділі при аналізі удосконаленого методу розрахунку оптичного потоку з використанням даних від інерційної та висотно-швидкісної систем літального апарату не розглянуто вплив швидкості пересування об'єкту спостереження на точність вимірювання відстані.

4. Не розглянуто можливість застосування запропонованого методу адаптивної фільтрації високочастотних шумів в системах з трансфокаторними об'єктивами, в яких можливі втрати інформації в процесі перефокусування.

5. В п'ятому розділі не розглянуто роботу алгоритму програмного забезпечення дослідного зразка в критичних для інерційної системи точках.

Зазначені зауваження не знижують наукового рівня дисертаційної роботи і не впливають на її позитивну оцінку в цілому.

9. Висновок про дисертацію в цілому

Дисертаційна робота Ковалева В.О. є закінченою науковою роботою, що виконана здобувачем особисто на високому науковому рівні, у якій вирішена актуальна науково-практична задача розроблення методів обчислення оптичного потоку з врахуванням особливості використання систем оптико-електронного позиціонування в складі бортової апаратури літальних апаратів.

Дисертаційна робота «Підвищення ефективності методів оптико-електронного позиціонування шляхом комбінованого аналізу елементів кадру» відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12, 13 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року, № 567 (зі змінами, внесеними згідно з Постановою КМ №656 від 19.08.2015р, №1159 від 30.12.2015р., та №567 від 27.07.2016р.), а її автор, Ковалев Володимир Олександрович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

Офіційний опонент

завідувач кафедри радіотехнічних пристроїв
та систем Національного технічного університету
України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського»

доктор технічних наук, професор

С.Я.Жук

Підпис засвідчую.

Вчений секретар
КПІ ім. Ігоря Сікорського



Валерія ХОЛЯВКО

« 16 »

2021 р.