

Відгук

офіційного опонента

на дисертаційну роботу

Пінчука Богдана Юрійовича

«Тепловізійні системи спостереження

безпілотних авіаційних та космічних приладів»,

що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.11.07 «Оптичні прилади та системи»

Актуальність теми дисертаційної роботи

Космічні оптико-електронні системи (КОЕС) все щільніше переплітаються з повсякденністю кожної людини та стають невід'ємною її частиною як життя і безпеки так і бізнесу. Тепловізійні системи спостереження (ТСС) застосовуються у великій кількості сфер, що мають безпосередній вплив на економіку.

Все частіше в новинах можна почути про збільшення кількості населення Землі, що є причиною збільшення розмірів і кількості полів для вирощування продуктів харчування щоб задовольнити необхідні потреби. В свою чергу, це вимагає моніторингу і контролю за ними, яке можна реалізувати за допомогою дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Значна кількість літератури вже написана по використанню знімків даних гіпер-спектральних ТСС для машинного навчання нейронних мереж, які здатні розпізнавати стан культури на відповідному етапі вирощування або ж прогнозувати можливі поклади корисних копалин та паливно-енергетичних ресурсів. Інколи, культури можуть зазнати ушкодження через погодні умови або різного роду шкідників, що вимагає частішого періодичного сканування ніж раз в декілька днів для скорішого прийняття важливих і термінових рішень по забезпеченню цілісності урожаю. Вирішення даної проблеми можливе за рахунок відхилення ТСС від надиру і можливості якісного сканування під різними кутами візування.

Також, важливо увагу звернути і на 11 (12) річний цикл сонячної активності, яку пробують прогнозувати на основі даних часових рядів та від якої залежить кількість потоку, який надходить до земної поверхні. Оскільки, Земля обертається навколо Сонця, то це призводить до зміни його положення на небосхилі та зміни кількості потоку пройденого світла, який залежить від щільності атмосфери. Від кількості пройденого випромінювання через атмосферу залежить температура навколишнього середовища, зміна якої впливає на погодні умови та посіви, тому знаючи активність Сонця та залежність середньої кількості пройденого потоку через пропускання атмосфери в залежності від часу доби і дати, можна розрахувати і спрогнозувати можливий стан різних рослинних культур для прийняття рішень по їх збереженню.

Інша сфера можливого застосування ТСС, це створення космічної системи калібрування спектральних коефіцієнтів пропускання атмосфери залежно від кутів зйомки для земних астрономічних обсерваторій, за рахунок сканування еталонних джерел випромінювання розміщених неподалік від них, і які включатимуться коли КОЕС матиме можливість їх сканувати. Отриманні спектральні коефіцієнти дозволять скорегувати отримувані більш точні і достовірні дані та вихідні спектральні зображення.

Таким чином, враховуючи вище сказане, що відображає потребу у оцінці, аналізі і підвищення якості отриманого зображення космічними ТСС при різних кутах візування демонструє актуальність даної тематики, яка розглядається в цій роботі.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, достовірність і новизна

Обґрунтованість отриманих у дисертаційній роботі результатів забезпечена коректним використанням математичного апарату з комп'ютерним моделюванням у відомих програмних продуктах так і власноруч розробленим програмним забезпеченням на основі отриманих результатів, а також експериментальними дослідженнями. Достовірність теоретичних положень, висновків і рекомендацій, наведених у роботі, забезпечена узгодженістю отриманих теоретико-аналітичних та експериментальних результатів.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в наступному:

- Розробка нового методу для більш точнішого розрахунку лінійного розділення на місцевості залежно від кутів візування, яке в собі враховує просторове і енергетичне розділення ТСС;
- Інтеграція впливу динаміки руху носія ТСС при відхиленні візирної осі від надиру в ФММ, що описує процес перетворення інфрачервоного випромінювання за моделлю «об'єкт – ТСС – оператор».
- Запропоновано нові методи зменшення розміття зображення з підвищенням просторового і енергетичного розділення за допомогою додаткового довороту ТСС за кутами візування та зміні фокусної відстані оптичної системи залежно від кутів візування.

Практичне значення одержаних результатів

Невелику частину можливого практичного застосування було частково розглянуто при описі актуальності теми дисертації, але їх можна доповнити:

- Отримані аналітичні вирази для визначення швидкості переміщення зображення на матричному приймачі випромінювання (МПВ) і розрахунку величини деформації проекції пікселів, які дозволять врахувати вплив динаміки руху та геометричного спотворення на контраст зображення.
- Отримано формули для визначення ефективної довжини шляху нахиленої траси, які враховують розрідження атмосфери і використовуються для розрахунку коефіцієнта пропускання залежно від кутів візування тепловізійної системи спостереження.
- Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення для автоматизації процесу розрахунку, синтезу і аналізу тепловізійних та тепловізійних систем, яке має практичне впровадження на КП СПБ «Арсенал» і підтверджується відповідним актом впровадження.

Повнота викладу основних результатів у наукових виданнях та оцінка змісту роботи

За темою дисертації опублікована 21 друкована робота (8 статей, опублікованих у фахових наукових виданнях, серед яких 2 із яких опубліковані у виданні України категорії «А», які включено до міжнародної наукометричної бази даних Web of Science і 13 тез доповідей на конференціях). Теоретичні дослідження автора в достатній мірі висвітлюють основні теоретичні положення апробовані на науково-практичних конференціях.

Автореферат дисертації розкриває суть і зміст дисертації, її основні положення і висновки.

Матеріали дисертаційних досліджень викладено в п'яти розділах та додатках.

У першому розділі відображається актуальність даної тематики відповідно до наведених областей застосування ТСС, проводиться аналіз сучасного стану, перспектив розвитку і вимог, які висуваються ринком. Проводиться обґрунтування напрямків дослідження шляхів покращення технічних характеристик ТСС та формулюються основні задачі дисертаційної роботи.

В другому розділі формалізуються процеси формування зображення враховуючи динаміку руху літального апарату і величину деформації проекції пікселів при відхиленні ТСС від надиру. Отримані аналітичні вирази визначення швидкості руху точки спостереження для можливості розрахувати швидкість переміщення зображення у фокальній площині, залежно від траєкторії орбіти, координат і нахилу космічного апарату та розроблена методика кутового руху, що описує фізику деформації проекційної точок, які в повній мірі були використані для розробки ФММ «об'єкт – ТСС – оператор».

Третій розділ присвячено розробці ФММ «об'єкт – ТСС – оператор» для дослідження перетворення ІЧ випромінювання від земної поверхні (ЗП) до тепловізора (оператора) при різних умовах спостереження. Даний розділ зосереджено на отриманні основних аналітичних виразів і залежностей, розробці методик і алгоритмів, які використовуватимуться для аналізу якості і ефективності ТСС. Розроблена ФММ, в свою чергу, враховує характеристики

умов спостереження, фонів, об'єктів, динаміки руху, оптичної системи та МПВ. Представлені алгоритм для розрахунку просторового розділення і лінійного розділення на місцевості з врахуванням деформації проекції пікселів МПВ на площині та із врахуванням кривизни Землі. Визначено наступні кроки для покращення технічних характеристик основних компонентів системи, які беруть участь в формуванні і перетворенні інформації, та покращення ефективності для безпілотних авіаційних та космічних ТСС.

Четвертий розділ присвячено розробці нових методів підвищення просторового розділення ТСС та узгодженню компонентів і параметрів ТСС та аналізу їх ефективності. Представлений критерій, який дозволяє оцінити ефективність ТСС з врахуванням льотних характеристик їх носія. Обґрунтовано необхідність в додатковому довороті ТСС не лише за кутами візування, а й за кутом рискання, що є важливим для матриць з порядковим накопиченням заряду. Розроблена аналітичні вирази розрахунку необхідних кутових координат і кутових швидкостей для додаткового довороту за кутами візування у відповідний моменту часу. Запропоновано технічну реалізацію за допомогою якої можна зберегти просторове розділення практично сталим у всьому полі огляду, за рахунок зміни фокусної відстані об'єктива при відхиленні від надиру. Приводяться переваги в необхідності узгоджувати радіус кружка розсіювання із МПВ та узгоджувати швидкість точки спостереження із частотою МПВ. Отриманий цінний аналітичний вираз для визначення ефективної довжини шляху нахилених трас, який враховує розрідження атмосфери, що необхідно для розрахунку коефіцієнта пропускання атмосфери. Запропоновано вираз, який відображає залежність радіометричного розділення кутів візування з врахуванням впливу атмосфери. На основі розробленої ФММ створено програмне забезпечення, яке дозволяє оцінити якість розроблених ТСС та яке дозволило провести змоделювати результати розрахунку для порівняння теоретичних і експериментальних результатів.

У п'ятому розділі приводиться кореляція, між аналітичними і експериментальними (практичними) результатами, тобто доводиться

достовірність отриманих теоретичних результатів, шляхом комп'ютерного моделювання у відомих програмних продуктах та за допомогою зроблених знімків цифровою камерою. Описано і підтверджено ефект «паралельної лінії», який виникає при геометричному спотворенні проекції пікселів за рахунок відхилення за кутами візування, та фізичний принцип формування проекцій умовних ліній рядків і колонок, що пояснює проявлення даного ефекту. За для аналізу знятих на цифрову камеру зображень було власноруч розроблено і представлено програмне забезпечення, результати якого приведені в роботі.

У додатках представлені уточнюючі математичні викладки, які підтверджують правильність отриманих аналітичних виразів; список публікацій здобувача за темою дисертації в яких можна знайти більш розширені дослідження у вирішенні згаданих в даній роботі проблем; акт впровадження результатів досліджень.

Таким чином, представлена дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, яка написана науковою мовою, а використаний список літературних джерел, на які посилається автор в роботі, містить найсучасніші світові публікації по даній тематиці, що говорить про належний науковий рівень представлених результатів.

Недоліки та зауваження до роботи

- У четвертому розділі, при проведенні розрахунків, що стосуються визначення коефіцієнта пропускання атмосфери, використовуються статистичні дані 50-річної давності, а значення взяті для середньостатистичного пропускання атмосфери по більшій частині Земної поверхні і усередненні за річний період часу. Відповідно доцільніше скористатися більш сучасними даними, які є сучаснішими і точнішими, мають залежність від географічних земних координат і часу зйомки.
- У третьому розділі, розрахунок модуляційної функції (МПФ) і представлення її результатів приводиться лише для центрального пікселя, хоча в дисертації розглянута модель і алгоритм можливості розрахунку

МПФ для будь якого пікселя МПВ. Чи можливо зробити/розробити якусь узагальнюючу оцінку якості отриманого зображення всієї МПВ?

- У четвертому розділі, посилаючись на наукову статтю в якій приводиться формула визначення радіометричного розділення системи, враховується ідеальна прямокутна форма сигналу для визначення відносного сумарного сигналу, що сприймає піксель за час інтегрування, що є достатнім для попереднього аналізу системи. Хоча, для більш точних результатів доцільніше було б додати і порівняти форму сигналу, яка описується функцією розсіювання точки.
- В роботі зазвичай всі дослідження направлені на аналіз теплового розподілу власного випромінювання об'єкта/цілі. Тому, значний інтерес представили б результати оцінки впливу на контраст зображення випромінювання від зовнішніх джерел, наприклад Сонця чи атмосфери.
- Як і в більшості інших наукових робіт від інших авторів, так і в даній, спостерігається надлишкова нумерація формул на яких немає посилання в тексті.

Зазначені зауваження принципово не впливають на ступінь наукової новизни та практичної значущості отриманих в дисертації результатів.

Загальна оцінка дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Пінчука Богдана Юрійовича «Тепловізійні системи спостереження безпілотних авіаційних та космічних приладів» є завершеним дослідженням, в якому отримані нові науково обґрунтовані результати, які є вирішенням актуальної задачі підвищення якості зображення та ефективності безпілотних, авіаційних та космічних ТСС. Висновки роботи відповідають її змісту, обґрунтовані і експериментально підтверджені.

Висновок

За змістом і формою дисертаційна робота відповідає вимогам п. 9, 11 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, щодо кандидатських дисертацій,

а її автор Пінчук Богдан Юрійович заслуговує на присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.07 «Оптичні прилади та системи».

Офіційний опонент

Завідувач відділу атмосферної оптики
та приладобудування Головної астрономічної
обсерваторії НАН України,
кандидат технічних наук


I. I. Синявський

Підпис Синявського І.І. засвідчую
Начальник відділу кадрів
Головної астрономічної обсерваторії
НАН України




Лаптієнко О.А