

Розробка методів і розрахункового інструментарію для об'єктивної оцінки просторового і енергетичного розділення космічних інфрачервоних камер дистанційного зондування Землі

Разработка методов и расчетного инструментария для объективной оценки пространственного и энергетического разрешения космических инфракрасных камер дистанционного зондирования Земли

Development of methods and design tools for an objective assessment of the spatial and energy resolution of the space Earth remote sensing infrared cameras

1. Номер державної реєстрації теми - 0114U003421

2. Науковий керівник - д.т.н., проф. Колобродов В.Г., Колобродов В.Г., Kolobrodov Valentin.

3. Суть розробки, основні результати

(укр.)

Створено нові розрахункові методи об'єктивної оцінки просторового і енергетичного розділення інфрачервоних передавальних камер космічного базування на базі розробленої фізико-математичної моделі оптико-електронної системи формування і перетворення сигналів від наземних об'єктів і фонів до кінцевого інформаційного пакету тепловізійної системи. На основі запропонованих методів прогнозування ефективності функціонування космічних інфрачервоних передавальних камер розроблено два нових методи узгодження радіуса кружка розсіювання об'єктива і розміру пікселя мікроболометричної матриці, що дозволяє збільшити ймовірність правильного виявлення наземних об'єктів до 10%. Розроблено метод субпіксельної обробки зображень в космічних тепловізорах, який дозволяє підвищити просторову роздільну здатність до 50%.

Результати роботи впроваджено в навчальний процес у вигляді нової лекції на тему «Оцінка якості інфрачервоних систем спостереження» (навчальна дисципліна «Проектування інфрачервоних сенсорів») та лабораторної роботи на тему «Оцінка впливу дискретизації на тепловізійне зображення» (навчальна дисципліна «Тепловізійні оптико-електронні прилади»). Також за результатами НДР вдосконалені навчальні лекційні курси «Оптико-електронні системи спостереження», «Космічні і авіаційні оптико-електронні прилади».

Захищено одну докторську дисертацію та три кандидатські дисертації. Підготовлено до захисту три кандидатські дисертації. Отримано три патенти. Опубліковано дві монографії. Опубліковано 19 статей (з них 16 в журналах, що входять до наукометричних баз даних), в тому числі – 6 за участю студентів; опубліковано 14 доповідей на 6 науково-технічних конференціях. Опубліковано один підручник з грифом МОН України та один навчальний посібник з грифом НТУУ «КПІ», захищено 5 магістерських дисертацій та 4 дипломні проекти спеціаліста.

(рос.)

Созданы новые расчетные методы объективной оценки пространственного и энергетического разрешения инфракрасных передающих камер космического базирования на базе разработанной физико-математической модели оптико-электронной системы формирования и преобразования сигналов от наземных объектов и фонов до конечного информационного пакета тепловизионной системы. На основе предложенных методов прогнозирования эффективности функционирования космических инфракрасных передающих камер разработаны два новых метода согласования радиуса кружка рассеяния объектива и размера пикселя микроболометрической матрицы, что позволяет увеличить вероятность правильного обнаружения наземных объектов до 10%. Разработан метод субпиксельной обработки изображений в космических тепловизорах, который позволяет повысить пространственное разрешение до 50%. Результаты работы внедрены в учебный процесс в виде новой лекции на тему «Оценка

качества инфракрасных систем наблюдения» (учебная дисциплина «Проектирование инфракрасных сенсоров») и лабораторной работы на тему «Оценка влияния дискретизации на тепловизионное изображение» (учебная дисциплина «Тепловизионные оптико-электронные приборы»). Также по результатам НИР усовершенствованы учебные лекционные курсы «Оптико-электронные системы наблюдения», «Космические и авиационные оптико-электронные приборы».

Защищена одна докторская диссертация и три кандидатских диссертации. Подготовлены к защите три кандидатские диссертации. Получены три патента. Опубликовано две монографии. Опубликовано 19 статей (из них 16 в журналах, входящих в наукометрические базы данных), в том числе - 6 с участием студентов; опубликованы 14 докладов на 6 научно-технических конференциях. Опубликовано один учебник с грифом МОН Украины и одно учебное пособие с грифом НТУУ «КПИ», защищены 5 магистерских диссертаций и 4 дипломных проекта специалиста.

(англ.)

There were created new computational methods of objective assessment of the spatial and energy resolution of space-based infrared cameras on the basis of physical and mathematical model of electro-optical system for forming and converting signals from terrestrial objects and backgrounds to the final information package of thermal imaging system. On the basis of the proposed methods for predicting the effectiveness of the functioning of the space infrared cameras transmitting were developed two new methods of matching the radius of the circle of confusion of the lens and the size of the microbolometer matrix pixel, thus increasing the probability of correct detection of ground targets to 10%. A method for sub-pixel image processing in space imagers, which can improve the spatial resolution of up to 50%.

The results were introduced in the educational process in the form of a new lecture on the topic "Evaluation of the quality of infrared surveillance systems" (academic discipline "Infrared Sensors Design") and laboratory work on the theme "Assessing the impact of digitization on the thermal image" (a subject matter "Thermal Imaging Opto-electronic Devices"). Also, the results of research were used to improve the training lectures "Optoelectronic surveillance system", "Space and aviation optoelectronic devices."

As the results of the project there were fulfilled one doctoral dissertation and three PhD theses. There were prepared three PhD theses, obtained three patents, published two monographs, published 19 articles (16 of them in journals included in scientometric databases), including - 6 with the participation of students; published 14 reports on 6 scientific and technical conferences, published one book labeled with MES of Ukraine and one textbook stamped NTU "KPI", Master's theses were protected by 5 and 4 diploma project specialist.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності

- Патент України на корисну модель №109181, МКВ G01C 3/08. Спосіб підвищення просторової розрізненості при дистанційній зйомці з використанням субпіксельної реєстрації зображень та пристрій для його здійснення/ Лихоліт М.И., Лялько В.І., Попов М.О., Станкевич С.А., Тягур В.М., Харитоненко К.В. – Опубл. в Бюл. №14, 2015.

- Патент України на корисну модель №101014. Пристрій для контролю та вимірювання спектральних характеристик світловодів. Кучеренко О.К., Кучеренко В.А. Бюл. №16. 25.08.2015.

- Патент України на корисну модель 98462, МПК G01J1/04. Широкодіапазонний яскравомір/ Міхеєнко Л.А., Ткаченко В.А. Заявник та патентовласник НТУУ «КПІ». - №u201412784; заявл. 28.11.2014; опубл. в Бюл. №8, 27.04.2015.

5. Порівняння зі світовими аналогами

Результати роботи відповідають світовому рівню. Запропонований метод підвищення просторового розділення в космічному сканері за рахунок субпіксельного зміщення з наступною обробкою сигналу перевищує рівень світових аналогів.

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Розроблені в рамках НДР методи відносяться до високотехнологічної галузі, яка забезпечує найбільшу додану вартість. В разі використання розробок в космічних сканерах можна очікувати покращення якості моделювання та прогнозування ефективності їх функціонування, а також суттєвого – до 50% - підвищення просторової роздільної здатності. Впровадження отриманих результатів можливе в найближчі терміни і сприятиме підвищенню конкурентоспроможності вітчизняних високотехнологічних товарів і послуг.

7. Потенційні користувачі

Результати роботи призначені для використання в галузі оптико-електронного приладобудування. Запропонована математична модель і методи прогнозування просторових і енергетичних характеристик космічних тепловізорів можуть використовуватись вітчизняними підприємствами, які розробляють та виготовляють оптико-електронні системи спостереження інфрачервоного діапазону спектру, зокрема КП СПБ «Арсенал», ДП НДІ «Квант» (м.Київ), ДП НВК «Фотоприлад» (м.Черкаси), а також іншими профільними підприємствами. Метод підвищення просторового розділення за рахунок субпіксельного зміщення знайде своє використання при створенні малогабаритних космічних сканерів з підвищеною роздільною здатністю.

8. Стан готовності розробки

Розроблені розрахункові методи та математичні моделі мають вигляд завершених розробок і готові до використання у проектних роботах.

9. Існуючі результати впровадження

Частково результати роботи, а саме - математична модель системи спостереження з матричним приймачем випромінювання використані в ДП НВК «Фотоприлад» (м.Черкаси) за контрактом №467/4 «Тепловізійні системи спостереження».

Також результати роботи впроваджено в навчальний процес у вигляді нової лекції на тему «Оцінка якості інфрачервоних систем спостереження» (навчальна дисципліна «Проектування інфрачервоних сенсорів») та лабораторної роботи на тему «Оцінка впливу дискретизації на тепловізійне зображення» (навчальна дисципліна «Тепловізійні оптико-електронні прилади»). Також за результатами НДР вдосконалені навчальні лекційні курси «Оптико-електронні системи спостереження», «Космічні і авіаційні оптико-електронні прилади».

Захищено одну докторську дисертацію та три кандидатські дисертації. Підготовлено до захисту три кандидатські дисертації. Отримано три патенти України, опубліковані дві монографії, опубліковано 19 статей (з них 16 в журналах, що входять до наукометричних баз даних), в тому числі – 6 за участю студентів; опубліковано 14 доповідей на 6 науково-технічних конференціях. Опубліковано один підручник з грифом МОН України та один навчальний посібник з грифом НТУУ «КПІ», захищені 5 магістерських дисертацій та 4 дипломні проекти спеціаліста.

10. Форма участі інвестора

Виконаний проект реалізує методологічні функції процесу створення космічної відеоапаратури дистанційного зондування Землі. Його економічна доцільність полягає в прискоренні розрахункових і проектних робіт на 5 – 10 % та підвищенні просторового розділення створеної апаратури до 50 %. Отже можливим варіантом використання результатів буде дольова участь в процесі створення апаратури з часткою 5 – 10 % від вартості проектних робіт.

11. Обсяг інвестицій

Впровадження результатів проекту не потребують додаткових інвестицій

12. Мета інвестицій

Впровадження результатів проекту не потребують додаткових інвестицій

13. Назва підрозділу, телефон, E-mail

НТУУ «КПІ», приладобудівний факультет, кафедра оптичних та оптико-електронних приладів, 406-84-46, info@ооер.ntu-kpi.kiev.ua

14. Слайд презентації

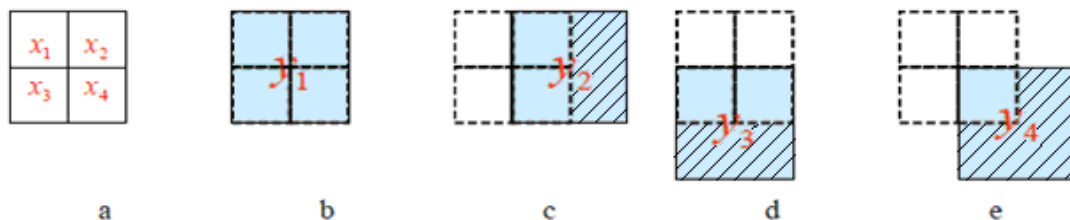


Рисунок 1 - Найпростіший випадок суперрозділення: (а) зображення високого розділення; (b) - (e) зображення низького розділення, що складаються з одного пікселя, кожне з яких отримано при субпіксельних зсувах космічного тепловізора

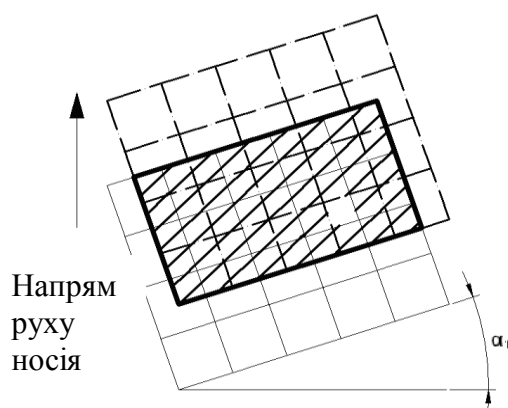


Рисунок 2 – Запропонований метод підвищення роздільної здатності при субпіксельній реєстрації зображень

15. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання

Монографії, підручники

1. Колобродов В.Г., Гордієнко В.І., Микитенко В.І., Мазурін І.В., Клюфас С.І. Науко-практичні аспекти створення тепловізійних систем (монографія) / Черкаси: «Вертикаль», 2015. – 150 с.
2. Колобродов В.Г., Тимчик Г.С., Колобродов М.С. Когерентні оптичні спектроаналізатори: монографія. – Київ: НТУУ «КПІ», Політехніка, 2015. – 180 с.
3. Колобродов В.Г., Тимчик Г.С. Прикладна дифракційна оптика (Підручник з грифом Міністерства освіти і науки України) / К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 312 с.

Статті

4. Колобродов В.Г., Тимчик Г.С. Серый Є.А. Оценка качества изображений мультифокальной дифракционной линзы (іноземне видання) / Научно-технический журнал «Приборы и методы измерений». – Минск, ББНТУ, 2014. - №1(8).- С. 115–118.
5. Колобродов В.Г., Лазим Аль-Мзирави А.М., Микитенко В.І. Расчет минимальной разрешаемой разности температур тепловизионных приборов (іноземне видання) / Научно-технический журнал «Приборы и методы измерений». – Минск, ББНТУ, 2015. – №1(10). – С. 64–68
6. Микитенко В.І. Моделирование и разработка многоканальных средств диагностики состояния человека на основе анализа его инфракрасного излучения

(іноземне видання) / Матеріали за 10-а міжнародна научна практична конференція «Динаміката на сьвременната наука», - 2014. Том 11. Технологии. София: «Бял ГРАД-БГ» ООД. – С. 49 – 53.

7. Ma Yuke, Borovytsky V., Design of a 16.5 Megapixel Camera Lens for a Mobile Phone // Open Access library journal. – 2015. – № 2. – С. 1 – 9.

8. Mikheenko L., Borovytsky V., Precise prelaunch radiometric calibration of VIIRs // Proc. of SPIE. – 2015. – Vol. 9607 – p. 26.1 – 26.9.

9. Кучеренко О.К., Муравйов А.В. Композиции атермализованных трехкомпонентных инфракрасных объективов (іноземне видання) / Наука и техника. - Изд. Минск, БНТУ, Беларусь, 2015. - №4. - С.24-32.

10. Колобродов В.Г., Кучугура І.О., Микитенко В.І., Сірій Є.А. Метод оцінки модуляційної передавальної функції три фокальної інтраокулярної лінзи / Наукові вісті НТУУ «КПІ». - 2014. - №2. - С. 99 – 102.

11. Колобродов В.Г., Лихоліт М.І., Тягур В.М. Мінімальна роздільна різниця температур тепловізора космічного базування / Космічна наука і технологія. – 2014. – Т.20, №1. – С. 23 – 277.

12. Колобродов В.Г., Кучугура Є.О. Стенд для вимірювання характеристик інтраокулярних лінз / Вісник НТУУ “КПІ”. Серія приладобудування. – 2014. – Вип. 47(1). – С. 64–72.

13. Колобродов В.Г., Костирко І.М. Методи зменшення шумів зображень у тепловізорах з мікроболометричною матрицею / Вісник НТУУ “КПІ”. Серія приладобудування. – 2014. – Вип. 47(1). – С. 112 –119.

14. Аль-Мзіраві А.М., Колобродов В.Г., Пінчук Б.Ю. Методи визначення просторової роздільної здатності медичного тепловізора / Вісник НТУУ “КПІ”. Серія приладобудування. – 2014. – Вип. 47(1). – С. 149 –156.

15. Колобродов В.Г., Аль-Мзіраві А.М., Микитенко В.І. Удосконалення розрахунку мінімальної роздільної різниці температур медичного тепловізора / Наукові вісті НТУУ «КПІ». - 2014. - №5. - С. 96 – 100.

16. Колобродов В.Г., Добровольская Е.В., Лихолит Н.И., Тягур В.М. Математическое моделирование прибора наблюдения с микроболометрической матрицей / Вісник НТУУ “КПІ”. Серія приладобудування. – 2014. – Вип. 48(2). – С. 28–38.

17. Колобродов В.Г., Аль-Мзіраві А.М., Похибки вимірювання температури пацієнта медичним тепловізором / Наукові вісті НТУУ «КПІ». - 2014. - №6 (98). – С. 106–109.

18. Микитенко В.І., Балтабаєв М. М., Пономаренко О. А. Комплексування зображень у цілодобових двоканальних системах спостереження / Вісник НТУУ “КПІ”. Серія приладобудування. - 2014. – Вип. 48. – С. 43 – 49.

19. Колобродов В.Г., Кияниця А.О., Іванова В.В. Узгодження параметрів піроелектричної матриці та об'єктива тепловізора / Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2015. - № 1. – С. 107–111.

20. Колобродов В.Г., Оптимізація параметрів об'єктива і мікроболометричної матриці тепловізора / Наукові вісті НТУУ «КПІ». - 2015. - №1 (99). – С. 91–95.

21. Колобродов В.Г., Лихолит Н.И., Тягур В.М., Харитоненко Е.В. Методы повышения пространственного разрешения тепловизионных камер с матричными приемниками излучения / Озброєння та військова техніка. – 2014. – №3. – С. 56 – 62.

22. Колобродов В.Г., Пивторак Д.А. Выбор экспозиционных параметров фотоаппаратов, использующих комбинированный способ регистрации изображения / Вісник НТУУ “КПІ”. Серія приладобудування. – 2015. – Вип. 49(1). – С. 45–52

Дисертації

23. Докторська дисертація Денисов М.О. «Підвищення ефективності незображуючих волоконно-оптичних систем для мінімально інвазивної клінічної медицини», науковий консультант Колобродов В.Г., дата захисту – у спеціалізованій раді.

24. Кандидатська дисертація Пивторак Д.О. «Оптично-електронна система для реєстрації зображення об'єктів з великим діапазоном яскравостей», науковий керівник Колобродов В.Г., дата захисту – 16.09. 2014 р.

25. Кандидатська дисертація Сірий Є.А. «Дифракційні оптичні елементи для інфрачервоної техніки», науковий керівник Колобродов В.Г., дата захисту – 09. 06. 2015 р.

26. Кандидатська дисертація Муравйов О.В. «Пасивна оптична атермалізація діоптрійних об'єктивів інфрачервоних приладів», науковий керівник Кучеренко О.К., дата захисту – 20.08. 2015 р.

Патенти

27. Патент №109181 Україна, МКВ G01C 3/08. Спосіб підвищення просторової розрізненості при дистанційній зйомці з використанням субпіксельної реєстрації зображень та пристрій для його здійснення / Лихоліт М.И., Лялько В.І., Попов М.О., Станкевич С.А., Тягур В.М., Харитоненко К.В. – Опубл. в Бюл. №14, 2015.

28. Патент №101014, Україна. Пристрій для контролю та вимірювання спектральних характеристик світловодів. Кучеренко О.К., Кучеренко В.А. Бюл.№16. 25.08.2015.

29. Патент №98462 Україна, МПК G01J1/04. Широкодіапазонний яскравомір / Міхеєнко Л.А., Ткаченко В.А. Заявник та патентовласник НТУУ «КПІ». - №u201412784; заявл. 28.11.2014; опубл. в Бюл. №8, 27.04.2015.

16. Ключові слова до розробки

Ефективність функціонування тепловізійної камери, просторове розділення, критерії якості зображення, математична модель оптико-електронної системи