

Тепловізійні системи спостереження безпілотних авіаційних та космічних апаратів

Тепловизионные системы наблюдения беспилотных авиационных и космических аппаратов

Unmanned aircraft and spacecraft thermal imaging systems Номер державної реєстрації теми

1. Номер державної реєстрації - **0116U003689**,
2. Науковий керівник - д.т.н., проф. Колобродов В.Г., Колобродов В.Г., Kolobrodov Valentin.

3. Суть розробки, основні результати (укр.)

Розроблено новітню модель інформаційних перетворень при дистанційних спостереженнях з борта авіаційного або космічного апарату з використанням тепловізійної оптико-електронної системи спостереження. Ця модель враховує характеристики фонів, цілей, оптичної системи та матричного приймача випромінювання, що дозволяє досліджувати шляхи покращення технічних характеристик основних блоків системи. Розрахункові алгоритми базуються на просторово-частотній фільтрації в трактах проходження сигналу і дають змогу виконувати задачі аналізу та синтезу систем з врахуванням зорового сприйняття або без нього. Модель є сумісною з діючими стандартами НАТО. Створено нові методи розрахунку просторового і енергетичного розділення сучасних і перспективних тепловізійних оптико-електронних систем спостереження. Розроблено методи підвищення просторового розділення бортових тепловізорів шляхом реєстрації субпіксельно зміщених зображень. Роздільна здатність для типових об'єктів спостереження може бути покращеною на 20-30 %. Обґрунтовано інженерні рішення з підвищення енергетичної чутливості космічних і авіаційних тепловізійних систем спостереження.

Результати роботи впроваджено у навчальний процес у вигляді нових розділів у лекційних курсах дисципліни «Космічні та авіаційні оптико-електронні прилади» (розділи «Методи підвищення ефективності авіакосмічних оптико-електронних систем спостереження», «Вибір смуги пропускання для космічних тепловізійних ОЕСС»), «Прийом та обробка сигналів в оптико-електронних приладах» (розділ «Розрахунок відстані спостереження рухомої ОЕС при використанні критерія Неймана-Пірсона»), «Інфрачервоні сенсори» (розділ «Особливості формування фоно-цільової обстановки при надирних спостереженнях»). Також результати роботи впроваджено в новій лабораторній роботі «Визначення MRTD в умовах руху тепловизора» дисципліни «Оптичні вимірювання».

Захищено 1 докторську та 1 кандидатську дисертації, прийнято до захисту 3 кандидатські дисертації. Видано 2 монографії, 1 підручник, опубліковано 17 наукових статей, з яких 7 – у виданнях, які входять до наукометричних БД Scopus та Web of Science, 10 – у фахових наукових виданнях України, в тому числі – 5 із студентами. Зроблено 26 доповідей на міжнародних та вітчизняних наукових конференціях. Отримано 5 патентів України. Захищено 7 магістерських дисертацій та 6 дипломних проектів.

(рос.)

Разработана новейшая модель информационных преобразований при дистанционных наблюдениях с борта авиационного или космического аппарата с использованием тепловизионной оптико-электронной системы наблюдения. Эта модель учитывает характеристики фонов, целей, оптической системы и матричного приемника излучения, что позволяет исследовать пути улучшения технических характеристик основных блоков системы. Расчетные алгоритмы базируются на пространственно-частотной фильтрации в трактах прохождения сигнала и дают возможность выполнять задачи анализа и синтеза систем с учетом зрительного восприятия или без него. Модель совместима с действующими стандартами НАТО. Созданы новые методы расчетов

пространственного и энергетического разрешения современных и перспективных тепловизионных оптико-электронных систем наблюдения. Разработаны методы повышения пространственного разрешения бортовых тепловизоров путем регистрации субпиксельно-смещенных изображений. Разрешающая способность для типичных объектов наблюдения может быть улучшена на 20-30 %. Обоснованы инженерные решения повышения энергетической чувствительности космических и авиационных тепловизионных систем наблюдения.

Результаты работы внедрены в учебный процесс в виде новых разделов в лекционных курсах дисциплины «Космические и авиационные оптико-электронные приборы» (разделы «Методы повышения эффективности авиакосмических оптико-электронных систем наблюдения», «Выбор полосы пропускания космических тепловизионных ОЭСС»), «Прием и обработка сигналов в оптико-электронных приборах» (раздел «Расчеты расстояния наблюдения подвижной ОЭС при использовании критерия Неймана-Пирсона»), «Инфракрасные сенсоры» (раздел «Особенности формирования фоно-целевой обстановки при надирных наблюдениях»). Также результаты работы внедрены в новой лабораторной работе «Определение MRTD в условиях движения тепловизора» дисциплины «Оптические измерения».

Защищены 1 докторская и 1 кандидатская диссертации, принято к защите 3 кандидатских диссертации. Изданы 2 монографии, 1 учебник, опубликованы 17 научных статей, из которых 7 – в изданиях, которые входят в наукометрические БД Scopus и Web of Science, 10 – в профессиональных научных изданиях Украины, в том числе – 5 со студентами. Сделано 26 докладов на международных и отечественных научных конференциях. Получены 5 патентов Украины. Защищены 7 магистерских диссертаций и 6 дипломных проектов.

(англ.)

A new model of information transformations was developed for remote thermal imaging from an aircraft or space vehicle. This model takes into account characteristics of background, targets, the optical system and the matrix detector, which allows us to explore ways to improve the technical characteristics of the system's main blocks. The computational algorithms are based on spatial-frequency filtering in the signal propagation paths and allow performing the tasks of analysis and synthesis of systems with or without visual perception. The model is compatible with the current NATO standards. New methods have been developed for calculating the spatial and energy resolution of modern and future thermal imaging optoelectronic observation systems. Methods for increasing the spatial resolution of airborne thermal imagers by recording sub-pixel-shifted images have been developed. Resolution for typical objects of observation can be improved by 20-30%. Engineering solutions for increasing the energy sensitivity of space and aviation thermal imaging observation systems are substantiated.

The results of the work are introduced into the educational process in the form of new sections in the lecture courses of the discipline "Space and Aeronautical Optoelectronic Devices" (sections "Methods for increasing the efficiency of aerospace optic-electronic surveillance systems", "Choosing the bandwidth of space thermal imaging OEOS"), "Reception and signal processing in optoelectronic devices" (section "Calculations of the distance of the observation of mobile OES using the Neumann-Pearson criterion"), "Infrared sensors" (section "Specific features of the formation of a background target the situation with nadir observations"). Also, the results of the work are introduced in the new laboratory work "Determination of MRTD for moving thermal imager" in the discipline "Optical measurements".

1 doctoral and 1 PhD dissertations were fulfilled, 3 PhD theses are accepted. Two monographs, one textbook have been published, 17 scientific articles have been published, of which 7 - in publications that are part of the science-scoring databases Scopus and Web of Science, 10 - in professional scientific publications of Ukraine, including 5 with students. 26 reports were made at international and domestic scientific conferences. 5 patents of Ukraine are received. 7 master's theses and 6 diploma projects are protected.

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

- Колобродов В.Г., Тимчик Г.С., Колобродов М.С. Насадка для об'єктива цифрового фотоапарата. Пат. 110919 Україна, МПК (2016.01) G03B 7/00, Власник: НТУУ «КПІ» – и 2016 04018; заяв. 13.04.2016; опуб. 25.10.2016. Бюл. № 20.
- Колобродов В.Г., Тимчик Г.С., Колобродов М.С. Оптико-електронний процесор. Пат. 118780 Україна, МПК (2006) G06E 1/00, Власник: НТУУ «КПІ» – и 2017 02269; заяв. 13.03.2017; опуб. 28.08.2017. Бюл. № 16.
- Колобродов В.Г., Банделюк О.В., Гусев А.Ю. Інфрачервоний світлосильний трилінзовий об'єктив. Пат. 116386 Україна, МПК (2006) G02B 9/12, 13/14, 13/16, Власник: НТУУ «КПІ» – и 2016 06546; заяв. 15.06.2016; опуб. 25.05.2017. Бюл. № 10.
- Патент № 112577 України на корисну модель. МПК (2016.01) G02B 9/00. Ширококутний об'єктив. / Сокурєнко В. М., Сокурєнко О. М., Буйлов І. С. (Україна) – Заявл. 27.05.2016; Опубл. 26.12.2016; Бюл. № 24.
- Патент №116296 України на корисну модель. МПК (2016.01) G02B 9/34. Ширококутний об'єктив із зменшеною дисторсією. / Сокурєнко В. М., Сокурєнко О. М., Стріха О. Є. (Україна) – Заявл. 19.12.2016; Опубл. 10.05.2017; Бюл. № 9.

5. Порівняння зі світовими аналогами

Результати роботи відповідають світовому рівню. Математичні моделі розрахунку просторового розділення при довільних кутах спостережень і розвороті рухомого матричного приймача випромінювання перевищує рівень світових аналогів.

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Створені в рамках НДР технічні рішення відносяться до однієї з високотехнологічних галузей світового приладобудування. Впровадження запропонованих методів в розробку авіакосмічної апаратури дозволить підвищити ефективність її функціонування, а саме – до 20% підвищити просторову роздільну здатність тепловізійних систем. Результати роботи можна впроваджувати в найближчі терміни. Економічний ефект не можна визначити тільки в комплексі з іншими складовими процесу створення дистанційної апаратури спостереження. Запропоновані рішення сприятимуть підвищенню конкурентоспроможності вітчизняної оптико-електронної апаратури.

7. Потенційні користувачі

Результати роботи призначені для використання в галузі оптико-електронного приладобудування. Розроблені моделі, розрахункові методи, методи підвищення просторової роздільної здатності авіакосмічних тепловізорів можуть використовуватись вітчизняними підприємствами, які розробляють та виготовляють оптико-електронні системи спостереження інфрачервоного діапазону спектру, зокрема КП СПБ «Арсенал», ДП НВК «Фотоприлад» (м.Черкаси), а також іншими профільними підприємствами.

8. Стан готовності розробки

Розроблені розрахункові методи та математичні моделі мають вигляд завершених розробок, методик і алгоритмів. Вони готові до використання у проектно-розрахункових роботах.

9. Існуючі результати впровадження

Частково результати роботи, а саме – засоби обробки тепловізійних космічних зображень – використано в КП СПБ «Арсенал» в рамках контракту №5/6/29-17«Аванпроект зі створення сканера надвисокої роздільної здатності. Складова частина: розробка матеріалів у частині когерентного цифрового оптико-електронного процесора (ЦОЕП) для обробки космічних знімків».

Продано ліцензію на патент України №116586 від 25.05.2017 р. «Насадка для об'єктива цифрового фотоапарата», що був одержаний за результатами виконання

роботи.

Також результати роботи впроваджено у навчальний процес у вигляді нових розділів у лекційних курсах дисципліни «Космічні та авіаційні оптико-електронні прилади» (розділи «Методи підвищення ефективності авіакосмічних оптико-електронних систем спостереження», «Вибір смуги пропускання для космічних тепловізійних ОЕСС»), «Прийом та обробка сигналів в оптико-електронних приладах» (розділ «Розрахунок відстані спостереження рухомої ОЕС при використанні критерія Неймана-Пірсона»), «Інфрачервоні сенсори» (розділ «Особливості формування фоно-цільової обстановки при надирних спостереженнях»). Також результати роботи впроваджено в новій лабораторній роботі «Визначення MRTD в умовах руху тепловізора» дисципліни «Оптичні вимірювання».

Захищено 1 докторську та 1 кандидатську дисертації, прийнято до захисту 3 кандидатські дисертації. Видано 2 монографії, 1 підручник, опубліковано 17 наукових статей, з яких 7 – у виданнях, які входять до наукометричних БД Scopus та Web of Science, 10 – у фахових наукових виданнях України, в тому числі – 5 із студентами. Зроблено 26 доповідей на міжнародних та вітчизняних наукових конференціях. Отримано 5 патентів України. Захищено 7 магістерських дисертацій та 6 дипломних проектів.

10. Форма участі інвестора

Результати роботи відносяться до теоретичних, розрахункових. Економічна доцільність використання результатів полягає в прискоренні розрахункових і проектних робіт на 5 – 10 % та у підвищенні ефективності тепловізійної апаратури до 30 %. 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

КПІ ім. Ігоря Сікорського, приладобудівний факультет, кафедра оптичних та оптико-електронних приладів, 204-84-46, info@oer.ntu-kpi.kiev.ua

14. Фото або кілька слайдів презентації

Одним з варіантів бортової обробки зображення в тепловізійних системах спостереження є використання насадки для об'єктива цифрового фотоапарата. Вона містить корпус 1 (див. рисунок), в якому послідовно встановлені на одній оптичній осі освітлювач 2 у вигляді напівпровідникового лазера, лінзи 3, розширювач лазерного пучка 4 та вхідний транспарант 5.

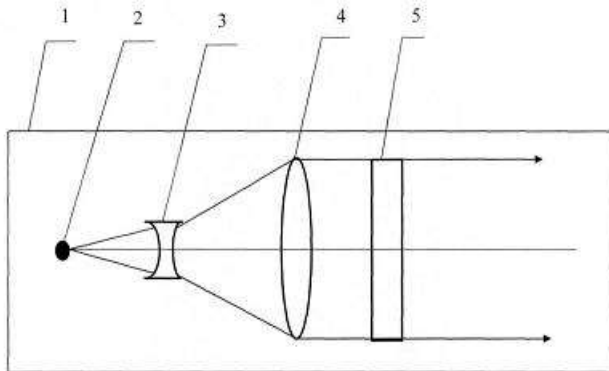


Рисунок - Насадка для об'єктива цифрового фотоапарата
Насадка працює таким чином.

Перед зйомкою, об'єктив цифрового фотоапарата фокусується в ручному режимі на нескінченність (віддалений об'єкт). Потім на об'єктив цифрового фотоапарата одягають насадку таким чином, щоб вхідний транспарант 5 був встановлений в передній фокальній площині об'єктива цифрового фотоапарата. Пучок когерентного випромінювання від напівпровідникового лазера 2 збільшується в діаметрі за допомогою лінз 3 і розширювача лазерного пучка 4 і рівномірно освітлює вхідний транспарант 5. Вхідний транспарант 5 представлений у вигляді прозорої пластинки (фотоплівки), амплітудний коефіцієнт пропускання якої пропорційний досліджуваному сигналу. За рахунок дифракції світла на вхідному транспаранті 5 в задній фокальній площині об'єктива цифрового фотоапарата формується просторовий спектр досліджуваного сигналу і розширюється його діапазон вимірювання.

Таким чином, запропонована насадка для об'єктива цифрового фотоапарата дозволяє вимірювати просторові спектри оптичних сигналів, підвищити точність і розширити спектр їх вимірювання, що призводить до підвищення якості зображення будь-яких об'єктів.

15. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання

Монографії, підручники

1. Колобродов В.Г., Хвильова оптика. Частина 1. Електромагнітна теорія світла та інтерференція (Підручник з грифом НТУУ «КПІ»), К.: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2017, - 208 с.
2. Поперенко Л.В., Колобродов В.Г., Шайкевич І.А., Черняк С.І., Тимчик Г.С. Прецизійні пристрої і прилади оптотехніки: монографія. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2016. – 712 с.
3. В.Г. Колобродов, В.І. Микитенко, Є.Г. Балінський Ефективність інфрачервоних оптико-електронних систем спостереження: монографія – Київ: «Вік прінт», 2017. - 202 с.

Статті

4. Колобродов В.Г., Тимчик Г.С., Колобродов Н.С. Математическая модель цифрового оптико-электронного спектроанализатора // *Visnyk NTUU KPI Seriiia – Radiotekhnika Radioaparatabuduvannia*, 2016, Iss. 67, pp. 71–76.
5. Mikheenko L., Borovytsky V., Averin D., Optimization of the precise uniform light source based on optically connected integrating spheres. // *Proceedings of SPIE*. – 2016. – Vol. 9972. – p. 99721Q1.1 - 10.
6. V.G. Kolobrodov, G.S. Tymchik, V.I. Mykytenko, M.S. Kolobrodov Physical and mathematical model of the digital coherent optical spectrum analyzer // *Optica Applicata* 2017(Vol.47), No.2, pp. 273-282.
7. С.В. Dobrovolska V.I. Mykytenko, G.S. Tymchik, V.M. Tiagur Spaceborne linear array imager's spatial resolution for arbitrary viewing angles // *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2017*, 104450J-104450J-9.
8. Bandeluk O.V., Kolobrodov V.G. Engineering of nanostructured plasmonic substrates for use as SERS sensors// *Visn. NTUU KPI, Ser. Radiotekh. radioaparatabuduv.* - 2017. - № 70, pp. 62-71.
9. Kolobrodov V., Pozdniakov D., Sokurenko V., Tiagur V. Development of software for combining finite element and optical analyses // *Eastern-Europe journal of enterprise technologies*. - 2017. - №4, Information and controlling systems. - P.46-53. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.108458.
10. Kolobrodov, V. H., Lykholit, M. I., Mykytenko, V. I., Tiagur, V. M., Dobrovolska, K. V. (2017) Calculation Model for Optoelectronic Remote Sensing System's Radiometric Resolution at Arbitrary Viewing Angles. *Visn. NTUU KPI, Ser. Radiotekh. radioaparatabuduv.* - 2017. - № 69, pp. 30-34.

11. Колобродов В.Г., Тимчик Г.С., Колобродов М.С. Геометрична смуга пропускання оптичного спектроаналізатора // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2016. – №1. – С. 108 – 116.
12. Колобродов В.Г., Пінчук Б.Ю. Взаємозв'язок функції розсіювання точки абераційного і дифракційно обмеженого об'єктивів матричного тепловізора // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2016. – №5. – С. 92 – 98.
13. Колобродов В.Г., Поздняков Д.В. Математичне моделювання статичного зображуючого ф'уре-спектрометра для дистанційного зодування Землі // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2016. – №6. – С. 79 – 84.
14. Сокурєнко В. М., Буйлов І. С. Застосування адаптивного методу диференційної еволюції Коші для розрахунку об'єктивів // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2016. – № 51(1) - с. 41-47.
15. Колобродов В.Г., Поздняков Д.В., Тягур В.М. Вплив геометричних параметрів полегшення на деформацію робочої поверхні позаосьових сегментів осесиметричних дзеркал // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2017. – №2. – С. 89 – 96.
16. Кучеренко О.К., Рижков М.О. Визначення вихідного сигналу тепловізора при здійсненні контролю перегріву дроту контактних мереж залізниць. Вісник НТУУ «КПІ», серія Приладобудування. – 2017. – вип. №53(1). – С. 11-15.
17. Malenko A. S., Borovytsky V. N., Classic Ronchi test and its variants for quality control of various optical surfaces.// Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. - 2016. –Vol. 19. – No 3. - P. 311-314.
18. Микитенко В.І., Плави Ванзос Э. С. Показатель качества изображений в многоканальных оптико-электронных системах с поляризационным каналом // Международный научный журнал, №3, 2016. – С. 78 - 83.
19. Сокурєнко В. М., Стріха О. Є. Розробка об'єктивів з виправленою дисторсією // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2017. – №1. – с. 99-105.
20. Микитенко В.І., Плотніков О.М. Метод комплексування даних з попереднім знаходженням інформативної області сцени // Вісник Хмельницького національного університету, №1, 2017 (245). – с.196 – 201.

Дисертації

21. 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.
22. Кандидатська дисертація Ахмед Малік Мзираві, «Підвищення просторового та температурного розділення медичних тепловізорів на мікроболометричній матриці», науковий керівник Колобродов В.Г., дата захисту – 19.01.2016 р.

Патенти

23. Колобродов В.Г., Тимчик Г.С., Колобродов М.С. Насадка для об'єктива цифрового фотоапарата. Пат. 110919 Україна, МПК (2016.01) G03B 7/00, Власник: НТУУ «КПІ» – у 2016 04018; заяв. 13.04.2016; опуб. 25.10.2016. Бюл. № 20.
24. Колобродов В.Г., Тимчик Г.С., Колобродов М.С. Оптико-електронний процесор. Пат. 118780 Україна, МПК (2006) G06E 1/00, Власник: НТУУ «КПІ» – у 2017 02269; заяв. 13.03.2017; опуб. 28.08.2017. Бюл. № 16.
25. Колобродов В.Г., Банделюк О.В., Гусєв А.Ю. Інфрачервоний світлосильний трилінзовий об'єктив. Пат. 116386 Україна, МПК (2006) G02B 9/12, 13/14, 13/16, Власник: НТУУ «КПІ» – у 2016 06546; заяв. 15.06.2016; опуб. 25.05.2017. Бюл. № 10.
26. Патент №112577 України на корисну модель. МПК (2016.01) G02B 9/00. Ширококутний об'єктив. / Сокурєнко В. М., Сокурєнко О. М., Буйлов І. С. (Україна) – Заявл. 27.05.2016; Опубл. 26.12.2016; Бюл. №24.
27. Патент №116296 України на корисну модель. МПК (2016.01) G02B 9/34. Ширококутний об'єктив із зменшеною дисторсією. / Сокурєнко В. М., Сокурєнко О. М., Стріха О. Є. (Україна) – Заявл. 19.12.2016; Опубл. 10.05.2017; Бюл. №9.

16. Ключові слова до розробки:

Тепловізійне спостереження, авіакосмічні системи дистанційного зондування Землі, просторове розділення, математична модель тепловізійної оптико-електронної системи