

Математичне моделювання та розробка засобів діагностики стану людини на основі аналізу інфрачервоного випромінювання патогенних зон

Математическое моделирование и разработка средств диагностики состояния человека на основе анализа инфракрасного излучения патогенных зон

Mathematical modeling and diagnostics of human condition, based on the analysis of pathogenic zones infrared radiation

1. Номер державної реєстрації теми - 0115U000354.

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

3. Суть розробки, основні результати (укр.)

В результаті комплексних досліджень на перетині двох галузей знань – оптико-електронного приладобудування і медицини створено нові розрахункові методи оцінки інфрачервоного випромінювання біологічного об'єкта в патологічній зоні тіла, що враховує процеси температурної регуляції та надає можливість визначати розподіл температури в м'язових тканинах та глибину розташування областей гіпотермії. Запропоновано вдосконалену модель системи «пацієнт – тепловізор – лікар», яка враховує реальні характеристики складових цієї моделі. При цьому отримано нове рівняння для розрахунків мінімально роздільної різниці температур тепловізора, в основі якого лежить більш достовірна апроксимація модуляційної передавальної функції зорової системи. Розроблено методики проектування медичних тепловізорів, які забезпечують задане температурне і просторове розділення, методи узгодження інфрачервоних об'єктивів і параметрів мікроболометричних матриць для підвищення якості зображення термограм, методичні рекомендації щодо технічних рішень покращення просторового і енергетичного розділення медичних тепловізійних передавальних камер. Запропоновано нову технологію інтерпретації термограм з урахуванням кисневого статусу організму людини. Отримано покращену технологію ранньої експрес-діагностики вен нижніх кінцівок з використанням процедури інфрачервоної термографії, що дозволяє до 30% зменшити витрати часу на обстеження. Створено лабораторний макет апаратно-програмного комплексу на базі багатоспектрального термографа з мікроболометричною матрицею, пристрою неінвазивного контролю парціального тиску кисню в підшкірних тканинах, комп'ютерної системи.

Захищено одну докторську дисертацію та три кандидатські дисертації. Підготовлено до захисту дві кандидатські дисертації. Отримано 5 патентів. Опубліковано три монографії. Опубліковано три монографії та 3 підручники з грифом МОН України 22 статті в журналах, що входять до наукометричних баз даних (з них 8 входять до міжнародної бази даних Scopus, 9 написані в співавторстві зі студентами); опубліковано 18 доповідей на 6 науково-технічних конференціях. Опубліковано навчальний посібник з грифом МОН України, захищено 7 магістерських дисертацій та 6 дипломних проектів спеціаліста.

Результати роботи впроваджено в навчальний процес. Підготовлено новий навчальний лекційний курс «Проектування інфрачервоних сенсорів» по спеціальності 7.05100403, 8.05100403 «Фотоніка та оптоінформатика» та 1 цикл лабораторних робіт по цьому ж курсу. Розроблено нові розділи в навчальних лекційних курсах «Телевізійні та тепловізійні ОЕП», «Космічні і авіаційні оптико-електронні прилади», «Медична інтроскопія», «Тепловізійні прилади і системи».

Отримано премію Кабінету Міністрів України за розроблення і впровадження інноваційних технологій за 2015 рік.

(рос.)

В результате комплексных исследований на пересечении двух отраслей знаний -

оптико-электронного приборостроения и медицины созданы новые расчетные методы оценки инфракрасного излучения биологического объекта в патологической зоне тела, учитывающий процессы температурной регуляции и позволяет определять распределение температуры в мышечных тканях и глубину расположение областей гипотермии. Предложена усовершенствованная модель системы «пациент - тепловизор - врач», которая учитывает реальные характеристики составляющих этой модели. При этом получено новое уравнение для расчетов минимально разрешимой разности температур тепловизора, в основе которого лежит более достоверная аппроксимация модуляционной передаточной функции зрительной системы. Разработаны методики проектирования медицинских тепловизоров, которые обеспечивают заданное температурное и пространственное разрешение, методы согласования инфракрасных объективов и параметров микроболометрических матриц для повышения качества изображения термограмм, методические рекомендации по техническим решениям по улучшению пространственного и энергетического разрешения медицинских тепловизионных передающих камер. Предложена новая технология интерпретации термограмм с учетом кислородного статуса организма человека. Разработана улучшенная технология ранней экспресс-диагностики вен нижних конечностей с использованием процедуры инфракрасной термографии, что позволяет до 30% снизить затраты времени на обследование. Создан лабораторный макет аппаратно-программного комплекса на базе многоспектрального термографа с микроболометрической матрицей, устройства неинвазивного контроля парциального давления кислорода в подкожных тканях, компьютерной системы.

Защищены одна докторская диссертация и три кандидатские диссертации. Подготовлено к защите две кандидатские диссертации. Получены 5 патентов. Опубликовано три монографии и три учебника с грифом МОН Украины, 22 статьи в журналах, входящих в наукометрические базы данных (из них 8 входят в международную базу данных Scopus, 9 - в соавторстве со студентами), опубликованы 18 докладов на 6 научно-технических конференциях. Защищены 7 магистерских диссертаций и 6 дипломных проектов специалиста.

Результаты работы внедрены в учебный процесс. Подготовлен новый учебный лекционный курс «Проектирование инфракрасных сенсоров» по специальности 7.05100403, 8.05100403 «Фотоника и оптоинформатика» и 1 цикл лабораторных работ по этому же курсу. Разработаны новые разделы в учебных лекционных курсах «Телевизионные и тепловизионные ОЭП», «Медицинская интроскопия», «Тепловизионные приборы и системы».

Получено премию Кабинета Министров Украины за разработку и внедрение инновационных технологий 2015 года.

(англ.)

As a result of comprehensive research on the intersection of two disciplines - optoelectronic engineering and medicine there was developed new computational methods of infrared evaluation of the biological object in a pathological area of the body, taking into account the temperature regulation of processes, which allows to determine the temperature distribution in the muscle tissue and the depth of the location of the areas of hypothermia. An improved model of "patient - thermal imager - doctor" system, which takes into account the actual characteristics of the components of this model was developed. New equation to calculate minimum resolvable temperature difference, which is based on a reliable approximation of the modulation transfer function of the visual system was obtained. Procedures for medical imagers design that provide a predetermined temperature and spatial resolution, methods of matching lenses and infrared microbolometer arrays to improve the quality of thermal images, guidelines for technical solutions and improvement of spatial resolution of medical thermal imaging cameras were developed. The new technology is based on the interpretation of thermal images of the oxygen status of the human body. An improved technology early rapid diagnosis of lower extremity veins using infrared thermography procedure that allows up to 30% reduction in the time required for inspection. There was created laboratory model of hardware and software-based multispectral thermograph with microbolometer array, non-invasive monitoring devices partial

pressure of oxygen in the subcutaneous tissues and computer system.

There were fulfilled one doctoral dissertation and three PhD. Also there were prepared two PhD dissertations, 5 patents were obtained. Three monographs and 3 textbooks were published. We published 22 articles in journals included in scientometric databases (8 of them are included in the Scopus international database, 9 in collaboration with the students), 18 reports on 6 scientific conferences. The results were presented in 7 master's theses and 6 specialist diploma projects.

Results of work are introduced in educational process. We prepared a new training lecture course "Design of infrared sensors" (specialty 7.05100403, 8.05100403 "Photonics and optoinformatika") and 1 cycle of laboratory works on the same course, developed new sections in educational lecture courses «Television and thermal environmental impact assessment", "Medical introscopy", "Thermal imaging devices and systems."

An award of the Cabinet of Ministers of Ukraine for the development and implementation of innovative technologies in 2015 was obtained.

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

1. 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.

2. Патент №100504 України, МПК А 61 В 5/00. Кабіна для обстеження організму людини / В.Й. Котовський, В.І. Дунаєвський, О.М. Воробйов, Ю.В. Лазарчук-Воробйова, Д.К. Луданов. – № у 2015 01616 заявлено 24.02.2015; опубліковано 27.07.2015, Бюлетень №14.

3. Патент №98462 Україна, МПК G01J1/04. Широкодіапазонний яскравомір / Міхєенко Л.А., Ткаченко В.А. - №у201412784; заявл. 28.11.2014; опубл. в Бюл. №8, 27.04.2015.

4. Патент №106981 України, МПК А 61 В 10/0. Спосіб скринінгової ранньої діагностики нейрогенних пухлин межистіння / Б.О. Кравчук, В.Й. Котовський, П.П. Сокур. – № у 2015 12464 заявлено 16.12.2015; опубліковано 10.05.2016, Бюлетень №19.

5. Патент №107863 України на корисну модель. МПК (2016.01) G02В 9/00. Об'єктив фотокамери. / Сокурєнко В. М., Сокурєнко О. М., Буйлов І. С. – Заявл. 18.12.2015; Опубл. 24.06.2016; Бюл. №12.

5. Порівняння зі світовими аналогами

Науково-технічний рівень виконаної роботи в частині синтезу медичних тепловізорів та комплексного методу термодіагностики відповідає світовим аналогам (наприклад, 1) Gerald C. Holst Testing and Evaluation of Infrared Imaging Systems. SPIE, 3 edition, 2008. – 374 p.; 2) Ammer K. The Glamorgan Protocol for recording and evaluation of thermal images of the human body / Thermology International, 18 (4): 125-129).

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Розроблені продукти відносяться до високотехнологічної галузі, що може забезпечити велику додану вартість. В Україні фактично відсутній ринок термографічних медичних обстежень населення. Впровадження отриманих результатів можливе як у виробничу сферу, так і в сферу надання медичних послуг. Виробництво недорогих тепловізорів медичного призначення в разі наявності платіжеспроможного ринку може приносити до 30-50 % прибутку. Економічну привабливість надання медичних послуг наразі неможливо оцінити з огляду на незавершеність реформування цього ринку в Україні.

7. Потенційні користувачі

Практична цінність отриманих в роботі результатів зумовлена перспективністю їх використання для подальшого розроблення нових методів діагностики, супроводу та

оптимізації терапевтичного впливу лікувальних заходів на організм, діагностики екстремальних фізіологічних станів організму та контролю його виходу з такого стану. Відповідно, споживачами результатів роботи можуть стати вітчизняні діагностичні лабораторії та виробники тепловізійного обладнання медичного призначення. Наприклад, Український центр спортивної медицини МОЗ України, Національний інститут раку МОЗ України, Національний інститут серцево-судинної хірургії ім. М.М. Амосова НАМН України.

8. Стан готовності розробки

Розроблені розрахункові методи мають вигляд завершених розробок і готові до використання у проектних роботах, запропонований комплексний метод термографічних обстежень потребує додаткових клінічних випробувань.

9. Існуючі результати впровадження

Результати роботи частково впроваджено в НВК «Фотоприлад» (м.Черкаси) – методи синтезу тепловізорів виходячи з просторового та енергетичного розділення; філії «Оріон-2» ДП НДІ «Оріон» (м.Київ) – комплексна методика клінічних досліджень.

Також результати роботи впроваджено у навчальній дисципліні «Проектування інфрачервоних сенсорів» в вигляді нового циклу лабораторних робіт «Вимірювання МРРТ» та нового лекційного розділу «Застосування тепловізорів в медицині». Вдосконалені чотири навчальні лекційних курси: «Телевізійні та тепловізійні ОЕП» (розділи «Методи підвищення інформативності термографічної інформації», «Особливості схемотехніки медичних тепловізійних ОЕП»), «Космічні і авіаційні оптико-електронні прилади» (розділи «Проектування мікроболометричних тепловізійних камер космічного базування», «Оцінка МРРТ космічних тепловізорів з матричними ПВ»), «Медична інтроскопія», «Тепловізійні прилади і системи».

Захищено одну докторську дисертацію та три кандидатські дисертації. Підготовлено до захисту дві кандидатські дисертації. Отримано 5 патентів, опубліковано три монографії, три підручники, 22 статті в журналах, що входять до наукометричних баз даних (з них 8 входять до міжнародної бази даних Scopus); опубліковано 16 доповідей на 5 науково-технічних конференціях. Захищені 7 магістерських дисертацій та 6 дипломних проектів спеціаліста.

10. Форма участі інвестора

Можливі два варіанти участі інвестора: фінансування налагодження виробництва недорогих медичних діагностичних комплексів шляхом їх блокового складання або розгортання мережі діагностичних лабораторій в Україні. Перший напрям є більш короткостроковим як по реалізації, так і по окупності. Другий напрям дозволить отримувати дивіденти на більш протяжному проміжку часу.

11. Обсяг інвестицій

Впровадження результатів роботи по налагодженню виробництва на першому етапі потребують до 9 млн.грн.інвестицій. Впровадження методик розрахунків тепловізорів або методики комплексних термографічних обстежень не потребують додаткових інвестицій.

12. Мета інвестицій

Отримання прибутку від продажу продукції або надання послуг.

13. Назва підрозділу, телефон, E-mail

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

14. Слайд презентації

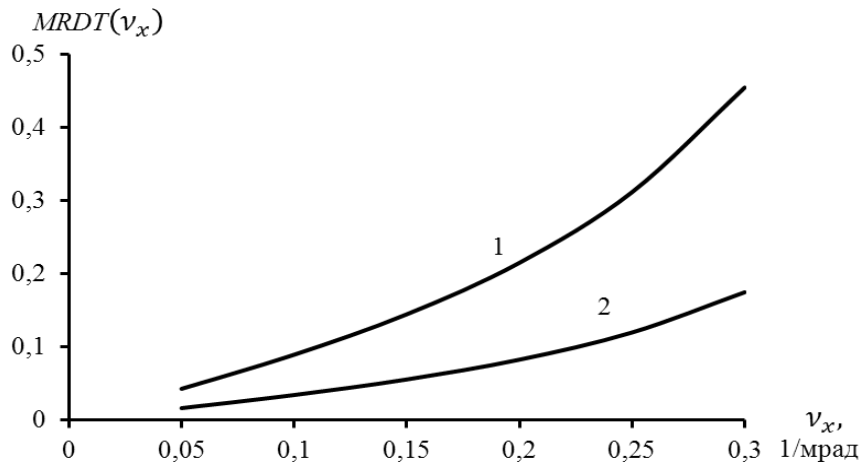


Рисунок 1 - Мінімальна роздільна різниця температур тепловізора з камерою Thermal Eye TSC: 1 - виходячи з запропонованої методики; 2 - стандартна



Рисунок 2 – Зовнішній вигляд діагностичного комплексу

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. Поперенко Л.В., Шайкевич І.А., Колобродов В.Г., Тимчик Г.С., Черняк С.І. Прецизійні пристрої і прилади оптотехніки К.: ВПЦ «Київський університет», 2016. – 720с.

4. Богорош О.Т. Нові речовини. Частина 1. Від традиційних до нових матеріалів / О.Т. Богорош, С. О. Воронов, В.Й. Котовський, Н.О. Гордійко. – Київ, НТУУ «КПІ», 2015. – 517 с.

5. Богорош О.Т. Нові речовини. Частина 2. П'єзоелектричні та сегнетоелектричні матеріали / О.Т. Богорош, С. О. Воронов, В.Й. Котовський. – Київ, НТУУ «КПІ», 2015. – 462 с.

6. Богорош О.Т. Нові речовини. Частина 3. Нано- та біоматеріали і матеріали з унікальними властивостями / О.Т. Богорош, С. О. Воронов, В.Й. Котовський. – Київ, НТУУ «КПІ», 2016. – 403 с.

Статті

1. Kotovskyi V. Physico-mathematical simulation of a homogeneous thermal field of multichannel raster matrixes for sensors of oxygen by / V. Kotovskyi, Y. Dzhezherya, A. Dovzhenko, N. Višniakov, A. Šešok // *Sensors*. – 2015. – № 15(1). – P. 1404–1416.
2. Mikheenko L., Borovytsky V., Precise prelaunch radiometric calibration of VIIRs// *Proc. of SPIE*. – 2015. – Vol. 9607 – p. 26.1 – 26.9.
3. Gridina N.Ya. Peculiarities of the Spectrum of Chromosome Aberrations in the Peripheral Blood Lymphocytes in Cases of Brain Gliomas and their Correction with Verapamil and Ketamine / N.Ya. Gridina, V.P. Maslov, V.Y. Kotovsky, N.G. Draguntsova // *Scholars Journal of Applied Medical Sciences*. – 2015. – 3(6A). – P. 2156-2160.
4. 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.
5. Kolobrodov V.G., Lutsyuk M.M. Minimum temperature difference perceived of digital thermo imager / *Optics and High Technology Material Science SPO 2015 : Scientific Works of Fifteenth International Young Scientist Conference, 2015*. – Kyiv. – P. 295.
6. Kolobrodov V.G., Mykytenko V.I. Refinement of thermal imager minimum resolvable temperature difference calculating method / *Proc. SPIE 9809, Twelfth International Conference on Correlation Optics, 98090C (November 30, 2015)*; doi:10.1117/12.2228532.
7. Kolobrodov V.G., Tymchik G. S. Kolobrodov M. S. The diffraction limit of an optical spectrum analyzer / *Proc. SPIE 9809, Twelfth International Conference on Correlation Optics, 98090F (November 30, 2015)*; doi:10.1117/12.2228534; <http://dx.doi.org/10.1117/12.2228534>.
8. Mikheenko L. A., Borovytsky V. Optimization of the precise uniform light source based on optically connected integrating spheres // *Proc. SPIE 9972, Earth Observing Systems XXI, 99721Q (September 19, 2016)*; doi: 10.1117/12.2236888.
9. Колобродов В.Г., Лазим Аль-Мзирави А.М., Микитенко В.И. Расчет минимальной разрешаемой разности температур тепловизионных приборов / *Научно-технический журнал «Приборы и методы измерений»*. – Минск, ББНТУ, 2015. – №1(10). – С. 64–68.
10. Кучеренко О.К., Муравйов А.В. Композиции атермализованных трехкомпонентных инфракрасных объективов. *Наука и техника*. - Изд. Минск, БНТУ, Беларусь, 2015.- №4. - С.24-32.
11. Колобродов В.Г., Кияница А.О., Иванова В.В. Узгодження параметрів піроелектричної матриці та об'єктива тепловізора / *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. – 2015. - № 1. – С. 107–111.
12. Колобродов В.Г. Оптимізація параметрів об'єктива і мікроболометричної матриці тепловізора / *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. - 2015. - №1 (99). – С. 91–95.
13. 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.
14. Колобродов В.Г., Балінський Є.Г., Пінчук Б.Ю.Визначення оптимального нормованого радіуса розсіювання об'єктива тепловізора / *Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування*. – 2015. – Вип. 49(1). – С. 39–45.
15. Колобродов В.Г., Тимчик Г.С., Колобродов М.С. Геометрична смуга пропускання оптичного спектроаналізатора / *Інформаційні системи і технології. Математичне моделювання. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. – 2015, №5. – С. 50–55.
16. Колобродов В.Г., Гордієнко В.І., Микитенко В.І., Черняк С.І. Проектування об'єктива тепловізійної системи за критерієм максимальна дальність спостереження / *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. - 2015. - №6. – С. 66–72.
17. Котовський В. Інфрачервона термографія в моделюванні антропогенних зон в системі «вода-донні відкладення» / *Водне господарство України*. – №3(117). – 2015. – С.45–48.

18. Венгер Є.Ф. Застосування термографії в Україні / Є.Ф. Венгер, В.І. Гордієнко, В.І. Дунаєвський, В.Й. Котовський, В.П. Маслов // Наука и инновации. – 2015. – №11(6). – С. 5-15.

19. Міхеєнко Л.А. Енергетичний аналіз та основи проектування широкодіапазонного спектрокомпаратора на базі оптично – спряжених інтегровальних сфер. / Л. А. Міхеєнко, А.О. Бахаревич // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. - №4. – С. 134 – 140.

20. Колобродов В.Г., Луцюк М.М., Балінський Є.Г. Визначення оптимальної фази та мінімально сприймаючої різниці температур / Вісник НТУУ “КПІ”. Серія приладобудування. – 2016. – Вип. 51(1). – С. 34–37.

21. Заболотный Д.И. Термографическая диагностика заболеваний околоносовых пазух / Д.И. Заболотный, Л.Г. Розенфельд, Д.Д. Заболотная, В.И. Дунаевский, В.И. Котовский, В.И. Тимофеев, С.С. Назарчук // Український медичний часопис. – №1(111) – 2016 – С. 104–107.

22. Микитенко В.И., Плави Ванзос Э. С. Показатель качества изображений в многоканальных оптико-электронных системах с поляризационным каналом / Международный научный журнал. - 2016. - №3. – С.78 – 83.

Дисертації

1. Докторська дисертація Денисов М.О. «Підвищення ефективності незображуючих волоконно-оптичних систем для мінімально інвазивної клінічної медицини», науковий консультант Колобродов В.Г., дата захисту – 30.06.2016;

2. Кандидатська дисертація Сірій Є.А. «Дифракційні оптичні елементи для інфрачервоної техніки», науковий керівник Колобродов В.Г., дата захисту – 09.06.2015 р.;

3. Кандидатська дисертація Муравйов О.В. «Пасивна оптична атермалізація діоптрійних об’єктів інфрачервоних приладів», науковий керівник Кучеренко О.К., дата захисту – 20.08.2015 р.;

4. Кандидатська дисертація Ахмед Малік Лазім Аль-Мзіраві. «Підвищення просторового та температурного розділення медичних тепловізорів на мікроболометричній матриці», науковий керівник Колобродов В.Г., дата захисту – 19.01.2016 р.

Патенти

1. 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.

2. Патент №100504 Україна, МПК А 61 В 5/00. Кабіна для обстеження організму людини / В.Й. Котовський, В.І. Дунаєвський, О.М. Воробйов, Ю.В. Лазарчук-Воробйова, Д.К. Луданов. – № u 2015 01616 заявлено 24.02.2015; опубліковано 27.07.2015, Бюлетень №14.

3. 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.

4. Патент №106981 Україна, МПК А 61 В 10/0. Спосіб скринінгової ранньої діагностики нейрогенних пухлин межистіння / Б.О. Кравчук, В.Й. Котовський, П.П. Сокур. – № u 2015 12464 заявлено 16.12.2015; опубліковано 10.05.2016, Бюлетень №19.

5. Патент №107863 України на корисну модель. МПК (2016.01) G02B 9/00. Об’єктив фотокамери. / Сокурєнко В. М., Сокурєнко О. М., Буйлов І. С. – Заявл. 18.12.2015; Опубл. 24.06.2016; Бюл. №12.

16. Ключові слова до розробки

Медичний тепловізор, синтез тепловізійних камер, термографічні дослідження