

–Багатоканальний тепловізійно-телевізійний комплекс пошуку-виявлення із завадостійким швидкісним інтерфейсом передачі даних

Многоканальный тепловизионный-телевизионный комплекс поиска-обнаружения с помехоустойчивым скоростным интерфейсом передачи данных

Multi-channel thermal imaging and television complex search-detection with noise-tolerant high-speed data transmission interface

- 1. Номер державної реєстрації теми - 0118U003751**
- 2. Науковий керівник – д.т.н., проф. Лисенко О.М., Лысенко А.Н., Lysenko Oleksandr**
- 3. Суть розробки, основні результати**

(укр.) Розроблено багатоканальний комплекс із завадостійким швидкісним трактом передачі даних шляхом фізичної та інформаційної інтеграції тепловізійного і телевізійного каналів (відповідно ТПК та ТВК). Запропоновано два варіанти побудови структурно-функціональних організацій комплексу з реалізацією багатоканальних інтерфейсів передачі відеоданих на основі спеціалізованих мікросхем серіалізаторів-десеріалізаторів та на базі технології Gigabit Ethernet, які дозволяють реалізувати надійну завадостійку передачу даних зі швидкістю потоку (1–3,3) Гбіт/с на відстань від 15 м до 100 м. Розроблено нові методи розрахунку енергетичного та просторового розділення ТВК і ТПК комплексу шляхом використання в якості критеріїв енергетичного розділення для ТВК еквівалентної шуму різниці яскравості між тест-об'єктом і фоном $NELD(R)$ та для ІЧ каналу еквівалентну шуму різниці температур $NELD_c(R)$, що дозволило на їх основі створити новий метод визначення максимальної дальності виявлення різних типів об'єктів. Спроектовано 4-хкомпонентну зум-афокальну насадку для тепловізора та запропоновано компоновку оптичної системи, яка дозволяє забезпечити одночасне спостереження за об'єктами у видимому та ІЧ діапазоні при заданих полях зору ТВК і ТПК комплексу. Розроблено програмно-апаратні рішення реалізації макета комплексу із завадостійким швидкісним трактом передачі відеопотоку на основі схем серіалізатора-десеріалізатора з можливістю комутації каналів джерела відеосигналу. Спроектовано прототип GigE Vision сумісної камери без покадрової буферизації, що дозволяє здійснювати передачу відеокадрів з роздільною здатністю 1920×1080 пікселів у форматі YUV 4:2:2 з частотою 25 Гц. Розроблено рекомендації по збільшенню дальності передачі відеопотоку до (50-120) м (в залежності від типу кабелю) при використанні без квітування схем серіалізаторів-десеріалізаторів зі збереженням швидкості на рівні 1,5 Гбіт/с.

(рос.) Разработан многоканальный комплекс с помехоустойчивым скоростным трактом передачи данных путем физической и информационной интеграции тепловизионного и телевизионного каналов (ТПК и ТВК соответственно). Предложены два варианта построения структурно-функциональных организаций комплекса с реализацией многоканальных интерфейсов передачи видеоданных на основе специализированных микросхем сериализаторов-десериализаторов и на базе технологии Gigabit Ethernet, которые позволяют реализовать надежную помехоустойчивую передачу данных со скоростью потока (1-3,3) Гбит/с на расстояние от 15 м до 100 м. Разработаны новые методы расчета энергетического и пространственного разделения ТВК и ТПК комплекса путем использования в качестве критериев энергетического разделения для ТВК эквивалентной шума разности яркости между тест-объектом и фоном $NELD(R)$ и для ИК канала эквивалентную шума разности температур $NELD_c(R)$, что позволило на их основе создать новый метод определения максимальной дальности выявления разных типов объектов. Спроектирована 4-хкомпонентная зум-афокальная насадка для тепловизора, а также предложена компоновка

оптической системы, которая позволяет обеспечить одновременное наблюдение за объектами в видимом и ИК диапазоне при заданных полях зрения ТВК и ТПК комплекса. Разработаны программно-аппаратные решения реализации макета комплекса с помехоустойчивым скоростным трактом передачи видеопотока на основе схем сериализатора-десериализатора с возможностью коммутации каналов источника видеосигнала. Спроектирован прототип GigE Vision совместимой камеры без покадровой буферизации, что позволяет обеспечить передачу видеокладов с разрешающей способностью 1920×1080 пикселей в формате YUV 4:2:2 с частотой 25 Гц. Разработаны рекомендации по увеличению дальности передачи видеопотока до (50-120) м (в зависимости от типа кабеля) при использовании без квитиования схем сериализаторов-десериализаторов с сохранением скорости на уровне 1,5 Гбит/с.

(eng.) Multi-channel infrared and visual complex with robust high-speed data transmission interface was developed using the physical and informational integration of thermal and visual channels (TC and VC respectively). Two variants of structural and functional organizations of the complex, which are based on Gigabit Ethernet or on multi-channel video interfaces that use special serializer-deserializer ICs and permits robust and fast transmission (1-3.3) Gbit/s on distances from 15 m up to 100 m were proposed. New calculation methods of energy and spatial separation for TC and VC of the complex were developed. These methods use the criteria of energy separation and the noise equivalent luminance difference between the object and background NELD(R) for VC, and the noise equivalent temperature difference NELDc(R) for TC, which allowed to develop of the new technique of maximum distance estimation for various objects. Four-component zoom-afocal cap for thermal imager was developed. Optical system structure, which provides simultaneous surveillance in visual and infrared bands, and ensures specified VC and TC field of views was suggested. Software and hardware components for the complex prototype with robust high-speed data transmission interface that uses serializer-deserializer ICs and enables video source channel multiplexing were developed. The prototype of the GigE Vision compatible camera without the per-frame buffering that provides transmission of video with 1920×1080 pixels resolution in YUV 4:2:2 format and 25 Hz frame-rate was designed. The recommendations for distance increasing of video stream transmission up to (50-120) m (depending on the carrier medium) for serializer-deserializer based complex variant without the duplex mode but preserving the channel throughput at 1.5 Gbit/s were developed.

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

1. **Патент** України на корисну модель №132032, МПК G02В 13/14, G02В 9/34. Чотирилінзовий об'єктив для інфрачервоної області спектра / Сокурєнко М.В., Сокурєнко О.М., Бондарчук Д.П.; заявник та патентовласник КПІ ім. Ігоря Сікорського. - № u2018 08664; заявл. 13.08.2018; опубл. 11.02.2019, бюл. №3.

2. **Патент** України на корисну модель №129614, МПК А61В 3/10. Спосіб вимірювання осьової довжини афакічного ока / Чиж І.Г., Хрієнко К.С.; заявник та патентовласник КПІ ім. Ігоря Сікорського. - № u2018 03694; заявл. 06.04.2018; опубл. 12.11.2018, бюл. №21.

5. Порівняння зі світовими аналогами

Результати відповідають світовому рівню, що досягається за рахунок реалізації в розробці сучасних цифрових та інформаційних технологій, створених авторами роботи нових методів розрахунку енергетичного та просторового розділення телевізійного і тепловізійного каналів комплексу, нового методу визначення максимальної дальності виявлення різних типів об'єктів, розроблених нових структурно-функціональних організацій комплексу з реалізацією швидкісного інтерфейсу передачі відеоданих на основі спеціалізованих мікросхем серіалізаторів-десеріалізаторів та на базі технології Gigabit Ethernet, а також конструкторських та програмно-апаратних рішень його реалізації. Більшість отриманих результатів представлено в матеріалах міжнародних періодичних

видань, конференцій та воркшопу, включених до міжнародних наукометричних баз таких як Scopus, WoS та IEEE Xplore Digital Library, що також підтверджує їх відповідність світовому рівню

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Розроблені технічні рішення дозволять при їх подальшому впровадженні та створенні оптико-електронних систем спостереження в найближчі роки суттєво заощадити бюджетні кошти держави на придбання занадто дорогого обладнання закордонного виробництва.

7. Потенційні користувачі

Результати досліджень можуть застосовуватись на підприємствах і в організаціях різних галузей, зокрема, у складній автономній робототехніці, здатній працювати у змінному середовищі, на промислових підприємствах для контролю якості продукції на виробництві, у системах безпеки і спостереження, для моніторингу стану сільгоспугідь та промислових підприємств, у військовій галузі при створенні багатоканальних оптико-електронних пошуково-оглядових комплексів тощо. КП СПБ «Арсенал» (м. Київ), ДП «Київське КБ «Луч» (м. Київ), ДП НВК «Фотоприлад» (м. Черкаси).

8. Стан готовності розробки

Створено макет тепловізійно-телевізійного комплексу із заводостійким швидкісним трактом передачі відеопотоку на основі схем серіалізатора-десеріалізатора, прототип GigE Vision сумісної камери без покадрової буферизації, розроблено документацію на 4-х компонентну зум-афокальну насадку для тепловізора та рекомендації по збільшенню дальності передачі відеопотоку до (50-120) м, які є засадами для подальшого розширення функціональних можливостей комплексу шляхом введення до його складу додаткових інформаційних каналів від супутникової навігаційної системи (GPS-приймача) і лазерного далекоміра та розроблення на їх основі комплексу робочої КД на дослідні зразки багатоканального оптико-електронного комплексу.

9. Існуючі результати впровадження

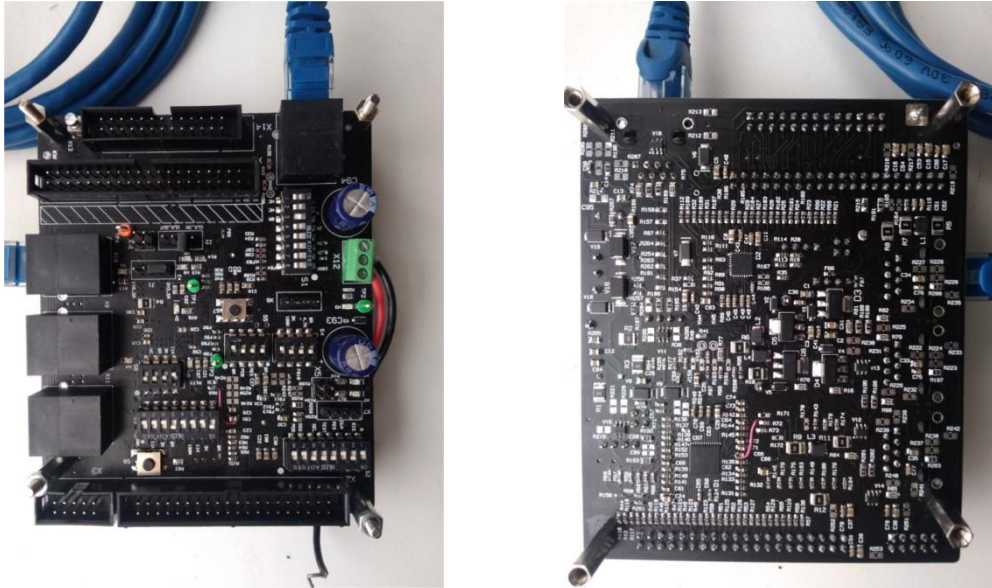
Результати роботи впроваджено у навчальний процес у вигляді нових розділів лекційних курсів при викладанні дисциплін «Проектування «систем на кристалі» (розділ «Обробка відеосигналів») та «Проектування оптичних систем» (розділ «Параметричний синтез зум-афокальних систем»). Захищено 2 кандидатські дисертації та підготовлено до захисту 1 дисертацію доктора філософії. Видано 4 навчальні посібники (електронне видання), 2 наукові монографії, опубліковано 24 наукових статей, з яких 7 – у виданнях, які входять до міжнародної наукометричної бази SCOPUS, 12 – у фахових наукових виданнях України; зроблено 15 доповідей на міжнародних та вітчизняних наукових конференціях. Захищено 8 магістерських дисертацій та 4 дипломних проекти, виконується 1 магістерська дисертація.

Отримані результати наукових досліджень, зокрема, розроблені варіанти структурно-функціональної організації комплексу на основі схем серіалізатора-десеріалізатора та технології Ethernet, методи визначення енергетичного і просторового розділення каналів та максимальної відстані виявлення об'єктів оптико-електронних систем спостереження, оптичні схеми та конструкції малогабаритного оптико-електронного модуля комплексу, схемотехнічні та програмні рішення реалізації складових комплексу і заводостійкого швидкісного тракту передачі відеопотоку, а також рекомендації щодо збільшення дальності передачі інформації заплановано для використання в КП СПБ «Арсенал» у перспективних розробках та при проведенні модернізації існуючих оптичних і оптико-електронних приладів для космічної, авіаційної та наземної техніки, що засвідчено відповідним Актом від 3 грудня 2020р. № 1968/70-12/8.

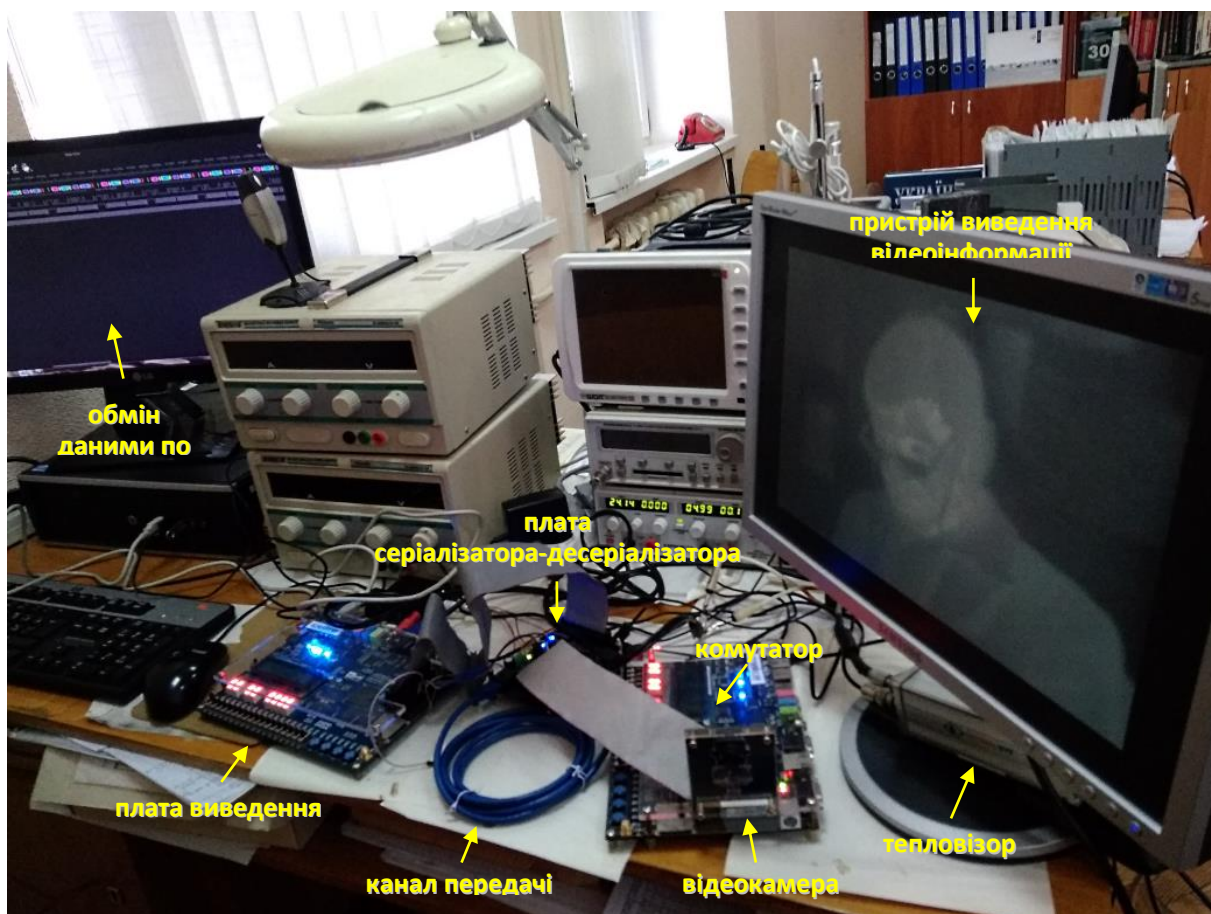
10. Назва підрозділу, телефон, E-mail

КПІ ім. Ігоря Сікорського, НДІ електроніки та мікросистемної техніки, кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури, кафедра оптичних та оптико-електронних приладів, (044) 204-93-63, o.m.lysenko@kpi.ua

11. Фото розробки



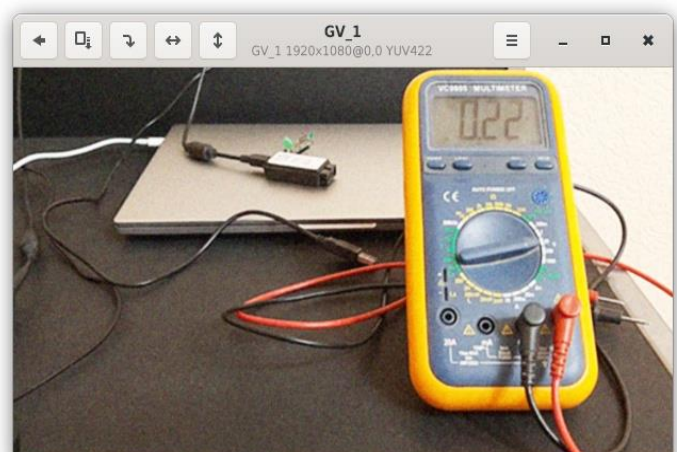
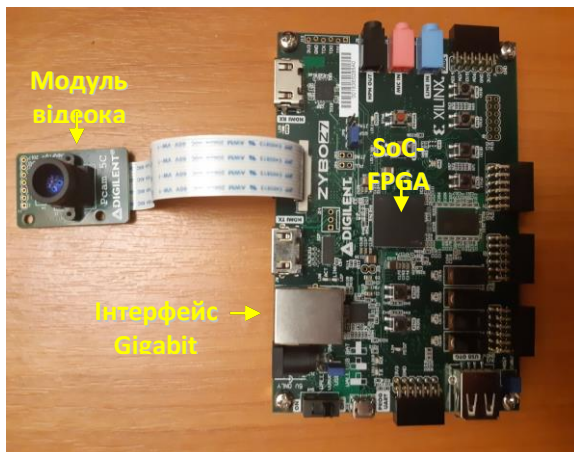
Макетний зразок плати серіалізатора-десеріалізатора на базі мікросхем DS90UB913Q та DS90UB913Q



Загальний вигляд макету програмно-апаратної реалізації комплексу (режим ТПК)



Загальний вигляд макету програмно-апаратної реалізації комплексу (режим ТВК)



Макетний зразок GigE Vision сумісної камери (зліва) та приклад захоплення відеопотоку розробленим прототипом (справа)

12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1. Редько І.В., Лисенко О.М. Композиційні засади проектування баз даних: **монографія**. – Київ: Компринт, 2019. - 152 с.

2. Чиж І.Г., Сенаторов В.Н., Голембовський О.О. Автоматизована об'єктивна рефрактометрія ока з визначенням обсягу псевдоакомодації: **монографія**. – К.: Видавництво «Компринт», 2020. – 120 с.

Кандидатські дисертації

1. Голембовський О.О. Рефрактометрія артіфакічного ока з вимірюванням довжини фокусної області, 2018р. Науковий керівник – д.т.н., проф. Чиж І.Г.;
2. Поздняков Д.В. Зменшення деформації та ваги вхідної оптики зображуючого Фур'є - спектрометра космічного базування, 2018р. Науковий керівник – д.т.н., проф. Колобродов В.Г.

Навчальні посібники

1. Антонюк О.І. Мова Verilog. [Електронний ресурс]: **навчальний посібник** / Укл. Антонюк О.І., Лебедев Д.Ю. Ухвалено Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського; Протокол №05/2018; Дата 21.05.2018. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 59 с.
2. Чиж І.Г. Теорія оптичних систем: Курсовий проект. [Електронний ресурс]: **навчальний посібник** / Укл. Чиж І.Г. Ухвалено Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського; Протокол №10/2018; Дата 21.06.2018. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 60 с.
3. Варфоломєєв А.Ю. Функціонально-логічне проектування. Лабораторний практикум. [Електронний ресурс]: **навчальний посібник** / Укл. Варфоломєєв А.Ю. Ухвалено Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського; Протокол №2/2019; Дата 31.10.2019. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 61 с.
4. Лисенко О.М. Цифрове оброблення сигналів - 2: Курсова робота. [Електронний ресурс]: **навчальний посібник** / Укл. Лисенко О.М., Лебедев Д.Ю., Антонюк О.І. Ухвалено Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського; Протокол №2/2020; Дата 01.10.2020. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 44 с.

Статті у виданнях, що входять до бази Scopus та WoS (основні)

1. Khodnev T., Varfolomieiev A., Lysenko O., Antonyuk O. Comparison of RTSP and GigE Vision video streaming technologies in terms of communication path utilization efficiency: an experimental approach // Proceedings of the III IEEE International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo2018). – Kyiv, Ukraine. – 10-14 Sept., 2018. – DOI: [10.1109/UkrMiCo43733.2018.9047531](https://doi.org/10.1109/UkrMiCo43733.2018.9047531) <https://ieeexplore.ieee.org/document/9047531> (Scopus)
2. Chyzh I.G. et. al. Forming thermal imaging system field of view afocal lens cap // Proceeding of SPIE Volume 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physycs Experiments 2019, 111760T (6 November 2019); <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11176/111760T/Forming-thermal-imaging-system-field-of-view-with-afocal-lens/10.1117/12.2536830.short> (Scopus)
3. Kolobrodov V., Lysenko O., Mykytenko V., Sokurenko V. University Nanosatellite Television Camera // Proceedings of IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2019), Kyiv, 16-18 April 2019. DOI: [10.1109/ELNANO.2019.8783368](https://doi.org/10.1109/ELNANO.2019.8783368); <https://ieeexplore.ieee.org/document/8783368> (Scopus)
4. Kristan M., Matas J., Leonardis A., ..., Varfolomieiev A., et. al. The Seventh Visual Object Tracking VOT2019 Challenge Results // Proceedings of the 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshop (ICCVW), Seoul, Korea. – 27-28 October 2019. DOI: [10.1109/ICCVW.2019.00276](https://doi.org/10.1109/ICCVW.2019.00276) <https://ieeexplore.ieee.org/document/9022051> (Scopus)
5. Chyzh I.G. et. al. Energy resolution of dual-channel opto-electronic surveillance system // Proceeding of SPIE Volume 11581, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physycs Experiments 2020, 11581K (14 Oktober 2020); Режим доступу: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11581/115810K/Energy-resolution-of-dual-channel-opto-electronic-surveillance-system/10.1117/12.2580338.full?SSO=1> (Scopus)

6. Ходнев Т.А., Голуб М.С., Кужильний О.В., Варфоломеев А.Ю. Акселерована реєстрація MIPI CSI відеопотоку в задачах передачі відео реального часу // Вісник НТУУ КПІ. Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування. – № 82 (2020). – С. 35-43. <http://radap.kpi.ua/radiotechnique/article/view/1655> (WoS) (виконана разом із студентами).
7. Varfolomieiev A. Channel-independent spatially regularized discriminative correlation filter for visual object tracking // Journal of Real-Time Image Processing (JRTIP), Springer (2020). – Режим доступу: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11554-020-00967-y> (Scopus)
8. Петренко С.Ф., Омелян О.В., Лисенко О.М., Антонюк С.В. Дослідження супутнього ударно-вібраційного шуму п'єзоелектричного двигуна в режимі мікро- та наношвидкостей // Вісник КПІ. Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування. – №78 (2019). – С. 67-73. <http://radap.kpi.ua/radiotechnique/article/view/1580> (WoS)

Статті у фахових виданнях України

1. Марченко В.І., Ходнев Т.А., Варфоломеев А.Ю. Програмно-апаратна реалізація відеокамери, сумісної зі стандартом GigE Vision // **Мікросистеми, електроніка та акустика.** - том 23. - №5, 2018. - DOI: <https://doi.org/10.20535/2523-4455.2018.23.5.147686> .
2. Ходнев Т.А., Варфоломеев А.Ю., Лисенко О.М., Антонюк О.І. Поуровнево-декомпозиційна модель оцінки інтегральної ефективності використання тракту зв'язі з урахуванням шумів // **Мікросистеми, електроніка та акустика.** – том 23. - №6, 2018. – DOI: <https://doi.org/10.20535/2523-4455.2018.23.6.154720>
3. Сваха Д.М., Варфоломеев А.Ю. Система автоматичного візуального розпізнавання показників лічильника // **Мікросистеми, електроніка та акустика.** – том 23. - №6, 2018. – DOI: <https://doi.org/10.20535/2523-4455.2018.23.6.154720> .
4. Чиж І. Г., Хрієнко К.С. Метод інтраопераційної рефрактометрії афакічного ока // **Наукові вісті КПІ.** – №2(118), 2018 – С. 84–92. DOI: <https://doi.org/10.20535/1810-0546.2018.2.123969> .
5. Чиж І.Г. Лісняк К.С. Трикомпонентні лінзові зум-афокальні системи трансфокаторів // **Наукові вісті КПІ.** - №3, 2019. – С. 73-79. http://scinews.kpi.ua/article/view/175737/pdf_26 .
6. Чиж І.Г., Лісняк К.С. Чотирьохкомпонентні лінзові зум-афокальні системи // **Наукові вісті КПІ.** - №5-6, 2019. – С. 80-86. – http://scinews.kpi.ua/article/view/188314/pdf_46 .
7. Омелян А. В., Петренко С.Ф., Лисенко О.М. Система контролю куткової стабільності лінійного п'єзоелектричного двигуна // **Мікросистеми, електроніка та акустика.** – Том 24, №6, 2019. – С. 22-28 <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/33451>
8. Ярошенко М.О., Варфоломеев А.Ю., Яганов П.О. Інерційна система розпізнавання жестів // **Мікросистеми, електроніка та акустика.** - №5 (24), 2019, С. 42-47. <http://elc.kpi.ua/article/view/193295> .
9. Солдатов Д.В., Варфоломеев А.Ю. Удосконалений метод визначення положення суглобових з'єднань скелету людини на відео послідовностях // **Мікросистеми, електроніка та акустика.** – Том 24, №6, 2019. – С. 53–59 <http://elc.kpi.ua/article/view/197449>
10. Гордієнко Я.О., Короткий Є.В., Варфоломеев А.Ю. Апаратна реалізація потокового обчислювача логарифму для даних в форматі з фіксованою комою // **Мікросистеми, електроніка та акустика.** – Том 25, №1, 2020. – С. 41–49. <http://elc.kpi.ua/article/view/205929>
11. Чиж І.Г., Хрієнко К.С. Допустимі похибки автоматизованої приопераційної біометрії афакічного ока // **Наукові вісті КПІ.** – №3, 2020, С. 65-72 <file:///C:/Users/Asus/Downloads/209879-480004-2-PB.pdf> .

13. Ключові слова. Тепловізійно-телевізійний комплекс, серіалізатор, десеріалізатор, відеопотік, Gigabit Ethernet, оптико-електронна система, тепловізор, відеокамера