

ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН»

N E W S

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF
KAZAKHSTAN

**SERIES
PHYSICS AND INFORMATION TECHNOLOGY**

3 (351)

JULY – SEPTEMBER 2024

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

БАС РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының м.а. (Алматы, Қазақстан), **Н-5**

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЫ:

МАМЫРБАЕВ Өркен Жұмажанұлы, ақпараттық жүйелер мамандығы бойынша философия докторы (Ph.D), ҚР БҒМ Ғылым комитеті «Ақпараттық және есептеуші технологиялар институты» РМК жауапты хатшысы (Алматы, Қазақстан), **Н=5**

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), **Н=7**

БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаділ Жанабайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Сатпаев университетінің Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, (Алматы, Қазақстан), **Н=3**

ВОЙЧИК Вальдемар, техника ғылымдарының докторы (физика), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша), **Н=23**

БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=10**

QUEVEDO Nemando, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), **Н=28**

ЖҮСІПОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=7**

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), **Н=5**

РАМАЗАНОВ Тілекқабұл Сәбитұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің ғылыми-инновациялық қызмет жөніндегі проректоры, (Алматы, Қазақстан), **Н=26**

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=5**

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), **Н=42**

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=10**

ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=12**

КАЛАНДРА Пьетро, Ph.D (физика), Нанокұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия), **Н=26**

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика және информатика сериясы».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 14.02.2018 ж. берілген **№ 16906-Ж** мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *физика және ақпараттық коммуникациялық технологиялар сериясы*. Қазіргі уақытта: *«ақпараттық технологиялар» бағыты бойынша ҚР БҒМ БҒСБК ұсынған журналдар тізіміне енді.*

Мерзімділігі: *жылына 4 рет.*

Тиражы: *300 дана.*

Редакцияның мекен-жайы: *050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., тел.: 272-13-19*
http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Галимжаир Мутанович, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК (Алматы, Казахстан), **Н=5**

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

МАМЫРБАЕВ Оркен Жумажанович, доктор философии (PhD) по специальности Информационные системы, ответственный секретарь РГП «Института информационных и вычислительных технологий» Комитета науки МОН РК (Алматы, Казахстан), **Н=5**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), **Н=7**

БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, Университет Сагпаева (Алматы, Казахстан), **Н=3**

ВОЙЧИК Вальдемар, доктор технических наук (физ.-мат.), профессор Люблинского технологического университета (Люблин, Польша), **Н=23**

БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич, доктор Ph.D, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **Н=10**

QUEVEDO Hemando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), **Н=28**

ЖУСУПОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **Н=7**

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), **Н=5**

РАМАЗАНОВ Тлексабул Сабитович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, проректор по научно-инновационной деятельности, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **Н=26**

ТАКИБАЕВ Нурғали Жабағевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **Н=5**

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), **Н=42**

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахстанско-Британский технический университет (Алматы, Казахстан), **Н=10**

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович, доктор физико-математических наук, профессор, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **Н=12**

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), **Н=26**

«Известия НАН РК. Серия физика и информатики».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: *Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).*

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан **№ 16906-Ж** выданное 14.02.2018 г.

Тематическая направленность: *серия физика и информационные коммуникационные технологии.* В настоящее время: *вошел в список журналов, рекомендованных ККСОН МОН РК по направлению «информационные коммуникационные технологии».*

Периодичность: *4 раз в год.*

Тираж: *300 экземпляров.*

Адрес редакции: *050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, оф. 219, тел.: 272-13-19*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

EDITOR IN CHIEF:

MUTANOV Galimkair Mutanovich, doctor of technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, acting director of the Institute of Information and Computing Technologies of SC MES RK (Almaty, Kazakhstan), **H=5**

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

MAMYRBAYEV Orken Zhumazhanovich, Ph.D. in the specialty "Information systems, executive secretary of the RSE "Institute of Information and Computational Technologies", Committee of Science MES RK (Almaty, Kazakhstan) **H=5**

EDITORIAL BOARD:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), **H=7**

BAYGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabayevich, doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Institute of Cybernetics and Information Technologies, Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), **H=3**

WOICIK Waldemar, Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor, Lublin University of Technology (Lublin, Poland), **H=23**

BOSHKAYEV Kuantai Avgazievich, PhD, Lecturer, Associate Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=10**

QUEVEDO Hemando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), **H=28**

ZHUSSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=7**

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician of NAS of Ukraine, Director of the State Institution «Institute of Applied Mathematics and Mechanics» DPR (Donetsk, Ukraine), **H=5**

RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Vice-Rector for Scientific and Innovative Activity, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=26**

TAKIBAYEV Nurgali Zhabagaevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=5**

TIGHINEANU Ion Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician, Full Member of the Academy of Sciences of Moldova, President of the AS of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), **H=42**

KHARIN Stanislav Nikolayevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), **H=10**

DAVLETOV Askar Erbulanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=12**

CALANDRA Pietro, PhD in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy), **H=26**

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

Series of physics and informatics.

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty). The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan **No. 16906-ЖК**, issued 14.02.2018
Thematic scope: *series physics and information technology.*

Currently: *included in the list of journals recommended by the CCSES MES RK in the direction of «information and communication technologies».*

Periodicity: *4 times a year.*

Circulation: *300 copies.*

Editorial address: *28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

NEWS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 3. Number 351 (2024). 103-117

<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1726.295>

MHTPII 202.325

M. Mussaif^{*}1, A. Kintonova¹, A. Nazyrova², G. Muratova³, I.F. Povkhan⁴

¹L. N. Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan;

²Astana International University, Astana, Kazakhstan;

³Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin, Astana, Kazakhstan;

⁴Uzhhorod National University, Uzhgorod, Ukraine.

e-mail: kzldkz@gmail.com

IMPROVED PUPIL LOCALIZATION METHOD BASED ON HOUGH TRANSFORM USING ELLIPTICAL AND CIRCULAR COMPENSATION

Mussaif Marzhan – doctoral student of the L. N. Gumilev Eurasian National University, 010000. Astana, Kazakhstan, E-mail: kzldkz@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/58095319100>;

Kintanovo Aliya – Acting Associate Professor of the Department of Artificial Intelligence Technology of the L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: Kintonova_AZh@enu.kz. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8405-5038>;

Nazyrova Aizhan – senior lecturer of the Astana International University. 010000. Astana, Kazakhstan, E-mail: ayzhan.nazyrova@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9162-6791>;

Povkhan Igor Fedorovich – Uzhhorod National University, Ukraine, Uzhgorod, E-mail: igor.povkhan@uzhnu.edu.ua, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1681-3466>;

Muratova Gulzhan Klyshevna – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Acting Associate Professor, Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin. Astana, Kazakhstan, E-mail: mugk@mail.ru; ORCID ID: 0000-0001-7131-577X.

Abstract. This article presents an improved method for accurate pupil detection, the purpose of which is to increase the accuracy and efficiency of pupil localization in real time using modifications of the traditional Hough transform. This method includes additional ellipse matching and data rounding, which improves the overall characteristics of the algorithm compared to classical approaches. The Hough transform is traditionally used for shape detection, but its application can be difficult due to the high computational complexity, especially in real-time image processing conditions.

The initial stage of the algorithm involves using the minimum mean gray method to approximate the inner edge of the pupil, which is a less computationally expensive approach for initial localization. After that, the inner edge is extracted and precisely localized using the center compensation method, which allows you to accurately determine the position of the pupil in the image. To determine the location of the outer boundary of the pupil, a rough localization is first performed based

on approximate radius compensation. Then, using an algorithm for approximate compensation of the center of the circle, the exact localization of the outer edge is performed. This two-step approximation allows you to significantly reduce the number of calculations required, reducing processing time without loss of accuracy.

The experimental results obtained during the study confirm that the proposed method not only improves localization accuracy, but also significantly increases productivity compared to traditional methods. Thus, this approach can be effectively used in various applications requiring fast and accurate image processing, such as biometric identification systems and various types of security systems where the speed and reliability of image recognition are important.

Keywords: pupil localization, iris recognition, Hough transform, minimum mean gray, center compensation.

**М. Мұсайф*¹, А.Ж. Кинтонова¹, А.Е. Назырова², Г. Муратова³,
И.Ф. Повхан⁴**

¹Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан;

²Астана Халықаралық Университеті, Астана, Қазақстан;

³С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,
Астана, Қазақстан;

⁴Ужгород ұлттық университеті, Ужгород, Украина.
e-mail: kzldkz@gmail.com

ЭЛЛИПТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ДӨНГЕЛЕК КОМПЕНСАЦИЯНЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ХАФ ТҮРЛЕНДІРУІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН КӨЗДІҢ ҚАРАШЫҒЫҢ ЛОКАЛИЗАЦИЯЛАУДЫҢ ЖЕТІЛДІРІЛГЕН ӘДІСІ

Мусайф Маржан-Л.Н. Гумилев Атындағы Еуразия Ұлттық Университетінің докторанты, Астана, Қазақстан, E-mail: kzldkz@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/58095319100>;

Кинтонова Әлия – Л.Н. Гумилев Атындағы Еуразия Ұлттық Университетінің Жасанды Интеллект Технологиясы кафедрасының доценті, Астана, Қазақстан, E-mail: Kintonova_AZh@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/6>. <https://orcid.org/0000-0002-8405-5038>;

Назырова Айжан – Астана Халықаралық Университетінің аға оқытушысы, Астана, Қазақстан, E-mail: ayzhan.nazyrova@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9162-6791>;

Повхан Игорь Федорович - Ужгород ұлттық университеті, Ужгород, Украина, E-mail: igor.povkhan@uzhnu.edu.ua, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1681-3466>;

Муратова Гүлжан Клышевна - физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор м.а., С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан, E-mail: mugk@mail.ru; ORCID ID: 0000-0001-7131-577X.

Аннотация. Бұл мақалада дәстүрлі Хаф түрлендіруінің модификацияларын пайдалана отырып, нақты уақыттағы нұрлы қабықтың локализациялаудың дәлдігі мен тиімділігін арттыруға бағытталған нұрлы қабықты анықтаудың жетілдірілген дәл әдісі ұсынылған. Бұл әдіске классикалық тәсілдермен салыстырғанда алгоритмнің жалпы өнімділігін жақсартатын қосымша эллипстік фитинг және деректерді дөңгелектеу кіреді. Хаф түрлендіруі

дәстүрлі түрде пішінді анықтау үшін пайдаланылады, бірақ оны қолдану оның жоғары есептеу күрделілігіне байланысты қиын болуы мүмкін, әсіресе нақты уақыттағы кескінді өңдеу орталарында.

Алгоритмнің бастапқы қадамы қарашықтың ішкі жиегін жуықтау үшін минималды орташа сұр әдісті қолдануды қамтиды, бұл бастапқы локализация үшін есептеу тұрғысынан арзанырақ әдіс. Содан кейін ішкі жиек алынады және орталық компенсация әдісі арқылы дәл локализацияланады, бұл суретте қарашықтың нақты орнын анықтауға мүмкіндік береді. Қарашықтың сыртқы шекарасын анықтау үшін алдымен шамамен радиусты өтеуге негізделген өрескел локализация жасалады. Содан кейін, шамамен шеңбер орталығының өтемақы алгоритмін пайдалана отырып, сыртқы жиектің дәл локализациясы орындалады. Бұл екі сатылы жуықтау дәлдікті жоғалтпай өңдеу уақытын қысқарта отырып, қажетті есептеулер санын айтарлықтай қысқартуы мүмкін.

Зерттеу нәтижесінде алынған эксперименттік нәтижелер ұсынылған әдіс локализацияның дәлдігін жақсартып қана қоймай, дәстүрлі әдістермен салыстырғанда өнімділікті айтарлықтай жақсартатынын растайды. Осылайша, бұл тәсіл кескінді тану жылдамдығы мен сенімділігі маңызды болып табылатын биометриялық сәйкестендіру жүйелері және қауіпсіздік жүйелерінің әртүрлі түрлері сияқты кескінді жылдам және дәл өңдеуді қажет ететін әртүрлі қолданбаларда тиімді қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: қарашықты локализациялау, нұрлы қабықты тану, Хаф түрлендіруі, ең төменгі сұр орта, орталық компенсация.

**М. Мусайф^{*1}, А.Ж. Кинтонова¹, А.Е. Назырова², Г. Муратова³,
И.Ф. Повхан⁴**

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва,
Астана, Казахстан;

²Международный университет Астана, Астана, Казахстан;

³Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина,
Астана, Казахстан.

⁴Ужгородский национальный университет, Ужгород, Украина.
e-mail: kzldkz@gmail.com

УЛУЧШЕННЫЙ МЕТОД ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗРАЧКА НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАФА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ И КРУГОВОЙ КОМПЕНСАЦИИ

Мусайф Маржан – докторант Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан. E-mail: kzldkz@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/58095319100>;

Кинтонова Алия – и.о. доцента кафедры технологий искусственного интеллекта Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, E-mail: Kintonova_AZh@enu.kz. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8405-5038>;

Назырова Айжан – старший преподаватель Международного университета Астаны, 010000,

Астана, Казахстан, E-mail: ayzhan.nazyrova@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9162-6791>;

Повхан Игорь Федорович – Ужгородский национальный университет, Ужгород, Украина, E-mail: igor.povkhan@uzhnu.edu.ua, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1681-3466>;

Муратова Гульжан Клышевна – кандидат физико-математических наук, и.о. ассоциированного профессора, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, Казахстан, E-mail: mugk@mail.ru; ORCID ID: 0000-0001-7131-577X.

Аннотация. В данной статье представлен усовершенствованный метод точного определения зрачка, цель которого — повысить точность и эффективность локализации зрачка в реальном времени, используя модификации традиционного преобразования Хафа. Этот метод включает в себя дополнительный подбор по эллипсу и округление данных, что позволяет улучшить общие характеристики алгоритма по сравнению с классическими подходами. Преобразование Хафа традиционно используется для обнаружения форм, но его применение может быть затруднено из-за высокой вычислительной сложности, особенно в условиях обработки изображений в реальном времени.

Исходный этап алгоритма включает использование метода минимального среднего серого для приблизительного определения внутреннего края зрачка, что представляет собой менее затратный по вычислениям подход для первоначальной локализации. После этого внутренний край извлекается и точно локализуется с помощью метода компенсации центра, что позволяет точно определить положение зрачка на изображении. Для определения местоположения внешней границы зрачка сначала проводится грубая локализация на основе приблизительной компенсации радиуса. Затем, используя алгоритм приблизительной компенсации центра окружности, выполняется точная локализация внешнего края. Это двухэтапное приближение позволяет существенно уменьшить количество необходимых вычислений, сокращая время обработки без потери в точности.

Экспериментальные результаты, полученные в ходе исследования, подтверждают, что предложенный метод не только улучшает точность локализации, но и значительно повышает производительность по сравнению с традиционными методами. Таким образом, данный подход может быть эффективно использован в различных приложениях, требующих быстрой и точной обработки изображений, таких как системы биометрической идентификации и различные виды систем безопасности, где важна скорость и надежность распознавания изображений.

Ключевые слова: локализация зрачка, распознавание радужной оболочки, преобразование Хафа, минимальное среднее серое, компенсация центра.

Введение

Распознавание радужной оболочки глаза представляет собой метод

идентификации, основанный на биометрии. По сравнению с другими биометрическими методами, такими как отпечатки пальцев и распознавание лиц, распознавание радужной оболочки отличается высокой точностью и надежностью благодаря своей уникальности, стабильности, защищенности и бесконтактности. Поэтому эта технология считается биометрической с высокой исследовательской ценностью и перспективами применения (Daugman, 1993; Szymkowski, и др., 2021; Cao, 2023; Talab, и др., 2020; Singh, и др., 2020; Van Jaarsveldt, и др., 2023).

Локализация радужной оболочки является важным этапом в процессе распознавания радужной оболочки. Ее целью является определение внутренних и внешних границ радужной оболочки, точное выделение особенностей области радужки и обеспечение точности кодирования и сопоставления результатов. В практическом применении локализация радужной оболочки сталкивается с трудностями из-за таких факторов, как волосы, веки, ресницы и световые пятна, а также из-за размытого внешнего края радужки. Технология распознавания радужной оболочки еще имеет множество недостатков. Точное позиционирование радужной оболочки играет ключевую роль в извлечении характеристик, связанных с локализацией, что особенно важно для точного кодирования и сопоставления результатов. Необходимо точно определить характеристики области, в которой находится радужная оболочка, чтобы обеспечить точность кодирования и сопоставления при распознавании радужной оболочки. Определение местоположения радужной оболочки является критически важным этапом в процессе распознавания радужной оболочки.

К числу классических алгоритмов локализации радужной оболочки глаза относятся локализация по Даугману, локализация с использованием преобразования Хафа (НТ) и локализация по Уайлдсу (Malgheet, и др., 2021; Nanayakkara, 2020). Скорость локализации алгоритма по Даугману ограничена диапазоном поиска, который определяется его окружностью. Выполнение глобального поиска изображений в этом случае может привести к значительным вычислительным затратам. Алгоритм локализации на основе преобразования Хафа предъявляет высокие требования к качеству изображения и требует четких контуров границ. В случае размытия изображения при фиксированном фокусе, точность определения границ значительно снижается.

Алгоритм локализации Уайлдса представляет собой метод локализации радужной оболочки глаза, основанный на преобразовании Хафа. Оба этих алгоритма требуют сложных вычислений, занимают много времени и не могут эффективно функционировать при наличии факторов интерференции, таких как ресницы и световые пятна.

В последние годы многие ученые активно исследовали алгоритмы локализации радужной оболочки глаза (Gautam, и др., 2020; Jan, и др., 2021). Алгоритм локализации радужной оболочки, основанный на мелкомасштабном

поиске (SSS) (Min-Allah, и др., 2021).

Этот алгоритм снижает «слепоту» поиска с использованием преобразования Хафа, уменьшая диапазон поиска центров внутренней и внешней окружностей, что улучшает производительность в реальном времени и повышает устойчивость к помехам. Тем не менее, его эффективность в реальном времени остается недостаточной. Компания Li опубликовала алгоритм локализации радужной оболочки глаза, основанный на области интереса (ROI) (Xiong, и др., 2021).

Для определения границ радужной оболочки используется усовершенствованный алгоритм Даугмана, который обеспечивает более точное определение границ круга. Однако, несмотря на это преимущество, алгоритм характеризуется низкой производительностью в режиме реального времени. Усовершенствованный алгоритм позиционирования радужной оболочки, основанный на оптимизации роя частиц (PSO) (Wenyu, 2020).

Этот алгоритм определяет местоположение внутренних и внешних краев радужной оболочки с использованием алгоритма IPSO, что позволяет достигать хороших результатов как в режиме реального времени, так и с высокой точностью определения местоположения (Wang C. и др., 2020). Однако метод устранения шума перед внешней локализацией радужной оболочки не является надежным. С быстрым развитием науки и техники сверточные нейронные сети начали применяться в области распознавания изображений с целью повышения точности и эффективности. Обучение сверточных нейронных сетей требует большого объема обучающих данных, и добавление аннотаций вручную требует значительных временных и энергетических затрат, что побуждает большее число ученых исследовать методы улучшения эффекта позиционирования (AlRifae, и др., 2024; Sun, и др., 2022; Omelina, и др., 2021).

Алгоритм определения границ радужной оболочки, основанный на компенсации вторичного круга, который использует приблизительную компенсацию радиуса и центра для определения местоположения внутренних и внешних краев радужной оболочки. Хотя этот метод улучшил точность позиционирования и производительность в реальном времени, он все еще сталкивается с ограничениями при съемке в неблагоприятных условиях (Balasubramanian K.S. и др., 2023).

В стремлении к созданию более точного алгоритма локализации радужной оболочки был усовершенствован метод и предложен алгоритм точного определения зрачка (DCC), основанный на преобразовании Хафа в сочетании с подгонкой по эллипсу и круговой компенсацией данных. Эксперименты показывают, что этот метод, основанный на традиционном преобразовании Хафа и улучшенный с помощью квадратичной компенсации данных, сохраняет первоначальные преимущества преобразования Хафа, значительно сокращая объем вычислений и бесполезной информации. Это

позволяет повысить точность локализации в режиме реального времени. Границы радужной оболочки представляют собой две приблизительно концентрические окружности, положение которых определяется оценкой координат центра и радиуса внутренних и внешних окружностей. В традиционном преобразовании Хафа каждая точка на изображении должна рассматриваться как потенциальный центр окружности. Кроме того, каждая точка, значение серого которой равно 1 (например, точка на границе изображения после определения края), принимается за точку на окружности. Окружность определяется на плоскости параметров путем итерации от малого радиуса к большому.

Для расположения нескольких точек на плоскости X-Y необходимо создать трехмерную плоскость X-Y-R, чтобы они соответствовали некоторым окружностям на этой плоскости. Этот метод занимает много времени и отличается низкой надежностью, так как на результаты подгонки влияют такие несущественные факторы, как окружность зрачка и состояние век и ресниц. Поэтому был использован метод приблизительной компенсации радиуса и приблизительной компенсации центра в сочетании с преобразованием Хафа для определения местоположения внутренних и внешних краев радужной оболочки.

Приблизительная компенсация радиуса

Локализация радужной оболочки глаза важна для определения плоскости изображения клонирования окружности (плоскости XY). Все точки, включая граничные точки со значением серого, равным 1, на извлеченном изображении края, задаются как окружности, при этом точка (X, Y) является одной из таких точек. Если точка находится на окружности, она удовлетворяет уравнению окружности (уравнение 1).

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2$$

где:

x и y - координаты любой точки на окружности,

x_0 и y_0 - координаты центра окружности,

r - радиус окружности.

В исследовании локализации края радужной оболочки глаза, центр и радиус окружности используются для определения приближенно идеальной окружности. Однако в реальных условиях такая окружность является только приблизительно идеальной из-за небольших отклонений в длине окружности между приближенно идеальной и идеальной формой круга. Это особенно актуально для внешнего края радужной оболочки, который может не соответствовать идеальному кругу. Если внутренний и внешний края радужной оболочки оцениваются как идеальный круг, некоторые точки, не соответствующие этой категории, могут быть упущены. Таким образом, не все точки по краю радужной оболочки могут быть адекватно зафиксированы

на предполагаемой окружности, что ведет к ошибкам в локализации края. Для корректировки этой проблемы применяется метод компенсации расстояния, который определяет приемлемость точки на окружности на основе следующих условий (уравнение 2).

$$|(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 - r^2| \leq \varepsilon$$

где

(x, y) - координаты рассматриваемой точки на краю радужной оболочки,

(x_0, y_0) - координаты центра окружности,

r - радиус окружности,

ε - пороговое значение, которое определяет допустимое отклонение от идеальной окружности, учитывая неполную идеальность окружности радужной оболочки.

Считается, что точка располагается на приближенной окружности, если центр этой окружности определен как (x_0, y_0) , x_0 её радиус равен r (Gautam G. и др., 2020). Компенсационное расстояние ε (где $\varepsilon \geq 0$) используется для корректировки заданного радиуса. Этот метод позволяет эффективно определять приближенные границы окружности, что особенно важно при наличии отклонений от идеальной формы круга.

При анализе краев радужной оболочки применяется метод приближенной компенсации радиуса, который позволяет включать точки как в пределах диапазона идеальной окружности, так и за его пределами, если они демонстрируют небольшое углубление. Этот подход способствует максимальной концентрации точек, расположенных на внутреннем и внешнем краях радужки. Таким образом, метод обеспечивает повышенную точность в определении границ радужной оболочки, минимизируя влияние таких факторов, как неидеальная округлость радужки и перекрытие её края веком.

Локализация радужной оболочки. Предварительная обработка изображений

Перед применением алгоритма для определения местоположения внутренних и внешних краев радужной оболочки было необходимо снизить разрешение изображения радужной оболочки. Сохраняя при этом характеристики краев, уменьшение разрешения изображения радужной оболочки в k раз приводило к сокращению объема обрабатываемых данных до $1/k^2$ от исходного объема данных.

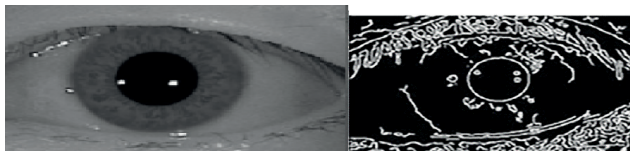


Рисунок 1. Сравнение исходного изображения радужной оболочки и изображения радужной оболочки с пониженной дискретизацией

Уменьшение разрешения изображения радужной оболочки без снижения выборки существенно снизило вычислительную сложность обработки изображения. Кроме того, снижение разрешения позволило удалить значительную часть интерференционной информации, такой как внутренняя текстура радужной оболочки и ресницы, что уменьшило количество мешающих элементов при последующей локализации и повысило точность. На рис. 1А и 1Б представлены исходное изображение радужной оболочки и изображение радужной оболочки после понижения разрешения, соответственно.

Локализация внутреннего края радужки

Геометрически зрачок и радужная оболочка представляют собой приблизительно концентрические окружности с заметной разницей в уровнях серого цвета на их границе. Благодаря четкой границе между зрачком и радужной оболочкой и их взаимному расположению, можно предварительно определить внутреннюю окружность и радиус радужной оболочки.

Первоначальная локализация зрачка

Анализ серого изображения человеческого глаза показывает, что распределение серого цвета в области зрачка является равномерным, а значение серого цвета чрезвычайно низким. Используя особенности равномерного распределения серого цвета в зрачках, которые отличаются от остальных частей радужной оболочки, для первоначальной локализации внутреннего края радужной оболочки применяется метод минимального среднего значения серого цвета.

Точная локализация внутреннего края радужной оболочки

Для точной локализации внутреннего края радужной оболочки используется метод приблизительной компенсации центра окружности в сочетании с преобразованием Хафа. В процессе преобразования Хафа, если число статистических граничных точек невелико, а диапазон радиусов и центров мал, требуемые вычислительные ресурсы снижаются, что обеспечивает более точные результаты. Поэтому изображение края зрачка сегментируется на основе центра зрачка и радиуса грубой локализации, что позволяет эффективно уменьшить объем вычислений и повысить производительность алгоритма в режиме реального времени.



Рисунок 2. Локализация радужной оболочки

Результаты эксперимента

Для оценки эффективности и быстродействия предложенного алгоритма DCC в реальном времени было проведено экспериментальное сравнение нескольких методов локализации радужной оболочки (HT, SSS, IPSO), упомянутых во введении. Эксперименты выполнялись в среде Matlab R2016a на процессоре Intel Core i75-4200H с тактовой частотой 3.4 ГГц.

База данных CASIA-Iris v4 включает шесть подмножеств с более чем 40 000 изображений радужной оболочки, состоящих из более 1200 реальных изображений и 900 виртуальных. Эти изображения освещаются инфракрасным светом или синтезируются с помощью компьютера, что соответствует требованиям научных исследований. База данных UBIRIS v2 содержит изображения, сделанные мобильной камерой с более реалистичным уровнем шума, насчитывающие около 9 000 снимков.

Для обеспечения достоверности результатов эксперимента из обеих баз данных было отобрано 900 изображений, и в общей сложности протестировано 600 изображений радужной оболочки глаза.

На рисунке 3 представлен пример результатов локализации для трех алгоритмов (HT, S, IPS) по сравнению с алгоритмом, описанным в данной статье (DCC). На рисунке 3А показаны результаты алгоритма HT, на рисунке 3б — результаты алгоритма SSS, на рисунке 3в — результаты алгоритма IPSO, а на рисунке 3г — результаты алгоритма DCC. Локализационные результаты демонстрируют, что неверные данные, такие как ресницы, веки и скулы, эффективно отфильтровываются, и предложенный алгоритм обеспечивает более точную локализацию.

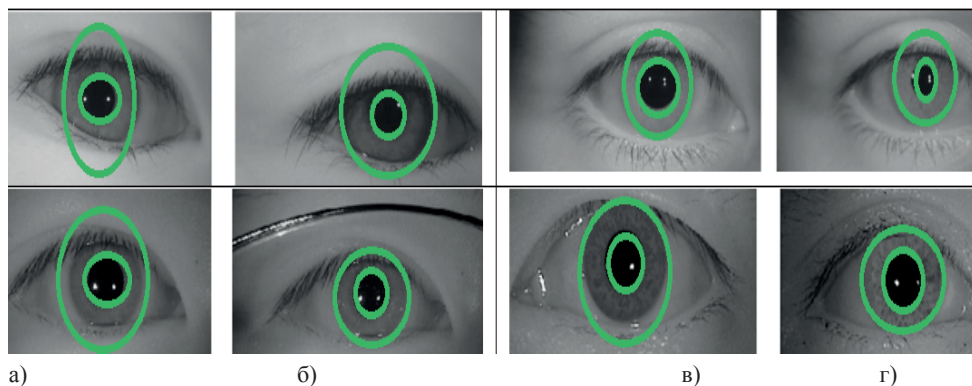


Рисунок 3. А–Г, показаны результаты локализации с различными алгоритмами

Эти изображения подсвечиваются инфракрасным светом или синтезируются с помощью компьютера, и их типы соответствуют потребностям научных исследователей. UBIRIS v2 использует мобильную камеру с более реалистичным уровнем шума, создавая около 9 000 снимков. Чтобы обеспечить достоверность результатов эксперимента, из двух наборов

данных было отобрано 600 изображений, и в общей сложности было протестировано 800 изображений радужной оболочки глаза.

На рисунке 3 представлены результаты локализации с помощью трех алгоритмов (HT, SSS, IPSO) в сравнении с алгоритмом DCC. Превосходство алгоритма измеряется путем сравнения внутренней локализации, внешней локализации, кратчайшего времени (T_{min}), наибольшего времени (T_{max}), среднего времени (T_{mean}) и коэффициента успешности (SR) различных алгоритмов локализации. Коэффициент успешности определяется по следующей формуле:

$$SR = \frac{N_s}{N}$$

где

N_s - количество успешно найденных ирисов, N - общее количество изображений.

Каждые 10 изображений из 800 были взяты в виде группы, и результаты локализации каждого алгоритма были проанализированы, как показано в таблице 1. Результаты показывают, что алгоритм DCC превосходит другие алгоритмы по времени и точности локализации. На рисунке 3 показано общее время локализации каждой группы изображений при использовании различных алгоритмов.

Таблица 1- Анализ результатов позиционирования каждого алгоритма

Локализация радужной оболочки	Алгоритм	T_{min} (мс)	T_{max} (мс)	T_{mean} (мс)	Ns/изобр.	SR (%)
Локализация внутреннего края	HT	1.484	5.046	2.684	1853	92.57
	SSS	0.361	1.563	0.757	1876	93.78
	IPSO	0.178	0.175	0.138	1910	95.48
	DCC	0.078	0.075	0.054	1984	99.08
Локализация внешнего края	HT	1.965	8.341	5.286	1806	90.24
	SSS	0.898	3.845	2.556	1820	90.97
	IPSO	0.235	0.258	0.231	1907	95.32
	DCC	0.250	0.323	0.253	1962	98.11
Полная локализация	HT	3.965	12.368	7.168	1806	90.22
	SSS	1.392	4.594	3.244	1820	90.96
	IPSO	0.286	0.431	0.353	1903	95.03
	DCC	0.217	0.368	0.297	1965	98.12

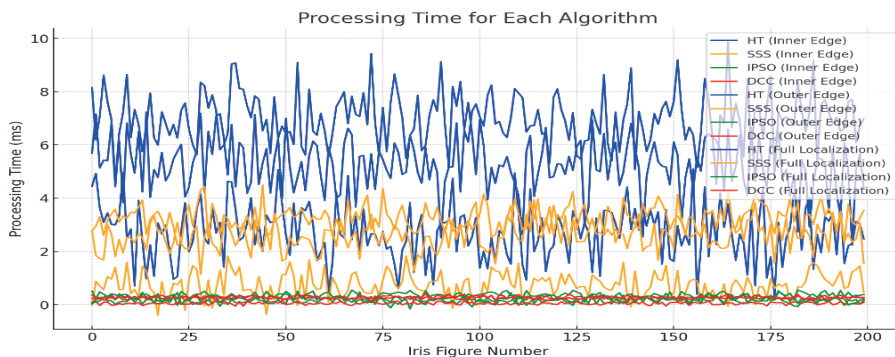


Рисунок 4 - Время локализации каждого алгоритма

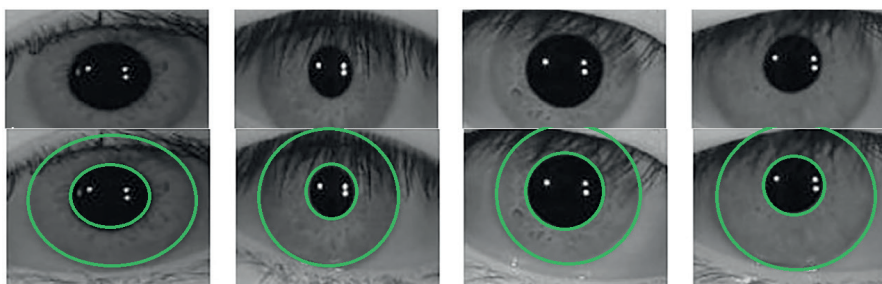


Рисунок 5 - Результаты локализации с использованием предложенного алгоритма

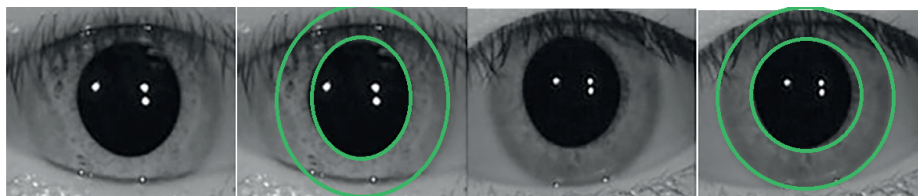


Рисунок 6 - Неудачные результаты локализации

Время локализации алгоритма IPSO составляет 0.3532142 секунды. Его показатель успешности локализации (SR) равен 98,12%, что превосходит показатель успешности локализации преобразования Хафа (92,57%) и стандартного IPSO (95,32%). При определении местоположения внешнего края увеличение времени позиционирования объясняется увеличением расчетной величины подгонки эллипса для вычисления компенсации центра. Хотя увеличение времени позиционирования для каждого изображения приводит к повышению точности позиционирования, время повторной проверки настройки параметров сокращается, что делает алгоритм в целом приемлемым. На рисунке 5 представлены некоторые экспериментальные результаты работы алгоритма. Тем не менее, сохраняются случаи неточной

локализации. На рисунке 6 показаны два снимка радужной оболочки и результаты их локализации, демонстрирующие, что метод имеет ограничения в условиях плохой съемки и требует дальнейших улучшений.

Заключение

В данной статье представлен алгоритм определения границ радужной оболочки, основанный на квадратичной компенсации окружности. На этапе предварительной обработки изображение радужной оболочки подвергается уменьшенной дискретизации, что позволяет удалить большую часть информации о помехах внутри радужной оболочки, повышая точность и своевременность определения местоположения. Для внутренней локализации внутренний край определяется приблизительно методом минимального среднего значения серого, а затем точно - методом приблизительной компенсации окружности. При внешней локализации внешний край сначала определяется грубо методом минимального среднего значения серого, а затем уточняется с помощью приблизительной коррекции радиуса и точного определения внешнего края методом приблизительной коррекции окружности.

Алгоритм, описанный в статье, был протестирован на изображениях из базы данных CASIA-Iris v4 и базы данных UBIRIS v2 iris. Экспериментальные результаты показали, что вероятность успешной локализации составляет 98,12%, а среднее время локализации - 0,297 секунды. Производительность и точность предлагаемого алгоритма в реальном времени превосходят другие алгоритмы. Тем не менее, для изображений радужной оболочки, снятых в плохих условиях, возникают проблемы из-за недостатка информации, связанной с потерей зрения или загрязнением. Хотя данный метод не обеспечивает высокой точности локализации радужной оболочки в неблагоприятных условиях съемки, он демонстрирует улучшенные результаты по сравнению с другими алгоритмами. В дальнейших исследованиях есть возможности для дальнейшего совершенствования алгоритма.

Литература

Альрифаи, М. и др. (2024). Адаптивная сегментация для неограниченного распознавания радужной оболочки глаза. *СМС-Computers Materials & Continua*, 78 (2), 1591-1609. (на английском языке)

Баласубраманьян К. С., Джеганатан В. и Субрамани Т. (2023). Алгоритм сегментации радужной оболочки глаза на основе глубокого обучения для эффективной системы распознавания радужной оболочки глаза. *Труды по инженерным и технологическим инновациям*, 23. (на английском языке)

Сао, М. (2023). Роботизированная система распознавания лиц, основанная на интеллектуальном распознавании изображений машинным зрением. *Международный журнал системной инженерии и менеджмента*, 14 (2), 708-717. (на английском языке)

Даугман, Дж. Дж. (1993). Визуальное распознавание лиц с высокой степенью достоверности с помощью теста статистической независимости. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 15, 1148-1161. (на английском языке)

Гаутам Г. и Мукхопадхьяй С. (2020). Проблемы, таксономия и методы локализации радужной оболочки глаза: обзор. *Цифровая обработка сигналов*, 107, 102852. (на английском языке)

Гаутам Г. и Мукхопадхьяй С. (2020). Проблемы, таксономия и методы локализации радужной оболочки глаза: обзор. *Цифровая обработка сигналов*, 107, 102852. (на английском языке)

Хадисо, С. и др. (2020). Биометрические системы, основанные на ЭКГ, использующие ансамблевую эмпирическую декомпозицию и вариационную декомпозицию. *Журнал прикладных инженерных наук*, 18 (2), 181-191. (на английском языке)

Ян, Ф. и др. (2021). Надежная схема локализации радужной оболочки глаза для распознавания радужной оболочки глаза. *Мультимедийные инструменты и приложения*, 80, 4579-4605. (на английском языке)

Малгхит Дж. Р., Мэншор Н. Б. и Аффенди Л. С. (2021). Методы развития распознавания по радужной оболочке глаза: всесторонний обзор. *Сложность*, 2021(1), 6641247. (на английском языке)

Минаяллах Н., Джан Ф. и Альрашед С. (2021). Схемы определения зрачка в человеческом глазу: обзор. *Мультимедийные системы*, 27 (4), 753-777. (на английском языке)

Нанаяккара, С., и Мигама, Р. Г. М. (2020). Обзор литературы по распознаванию радужной оболочки глаза. *Международный журнал исследований*, 9, с. 106-120. (на английском языке)

Омелина Л. и др. (2021). Обзор наборов данных по радужной оболочке глаза. *Компьютерная обработка изображений и зрения*, 108, 104109. (на английском языке)

Сингх Г. и др. (2020). Распознавание радужной оболочки глаза на основе IWT для аутентификации изображений. *Procedia Computer Science*, 171, 1868-1876. (на английском языке)

Sun, R. и др. (2022). Обзор методов определения границ изображения. *Границы в обработке сигналов*, 2, 826967. (на английском языке)

Шимковский М., Ясински П. и Саид К. (2021). Распознавание личности человека на основе радужной оболочки глаза с использованием методов машинного обучения и дискретного быстрого преобразования Фурье. *Инновации в системной и программной инженерии*, 17 (3), 309-317. (на английском языке)

Талаб, М. А., Аванг, С., и Ансари, М. Д. (2020). Новый глобальный и локальный метод распознавания лиц, основанный на статистическом анализе признаков. *Международный журнал оптики*, 2020 (1), 4967034. (на английском языке)

Ван Яарсвельдт, С. и др. (2023). Учебное пособие по эмпирической модальной декомпозиции: базисная декомпозиция и частотно-адаптивная грация в нестационарных временных рядах. *Доступ к IEEE*. (на английском языке)

Wang, C. и др. (2020). На пути к полной и точной сегментации радужной оболочки глаза с использованием deep multi-task attention network для некооперативного распознавания радужной оболочки. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 15, 2944-2959. (на английском языке)

Вэнью, З. (2020). Исследование местоположения радужной оболочки глаза, основанное на улучшенном алгоритме сбора частиц и подавлении субрегионального шума. *Журнал физики: Серия конференций*, издательство IOP, 1654 (1), 012042. (на английском языке)

Xiong, Q. и др. (2021). Модифицированная схема оптимизации хаотического бинарного роя частиц и ее применение в мультимодальной биометрической идентификации лица по радужной оболочке глаза. *Electronics*, 10 (2), 217. (на английском языке)

References

AlRifae, M. et al. (2024). Adaptive segmentation for unconstrained iris recognition. *CMC-Computers Materials & Continua*, 78(2), 1591-1609. (in English)

Balasubramanian, K. S., Jeganathan, V., & Subramani, T. (2023). Deep learning-based iris segmentation algorithm for effective iris recognition system. *Proceedings of Engineering and Technology Innovation*, 23. (in English)

- Cao, M. (2023). Face recognition robot system based on intelligent machine vision image recognition. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 14(2), 708-717. (in English)
- Daugman, J. G. (1993). High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 15, 1148-1161. (in English)
- Gautam, G., & Mukhopadhyay, S. (2020). Challenges, taxonomy and techniques of iris localization: A survey. *Digital Signal Processing*, 107, 102852. (in English)
- Gautam, G., & Mukhopadhyay, S. (2020). Challenges, taxonomy and techniques of iris localization: A survey. *Digital Signal Processing*, 107, 102852. (in English)
- Hadiyoso, S. et al. (2020). Biometric systems based on ECG using ensemble empirical mode decomposition and variational mode decomposition. *Journal of Applied Engineering Science*, 18(2), 181-191. (in English)
- Jan, F. et al. (2021). A robust iris localization scheme for the iris recognition. *Multimedia Tools and Applications*, 80, 4579-4605. (in English)
- Malgheet, J. R., Manshor, N. B., & Affendey, L. S. (2021). Iris recognition development techniques: A comprehensive review. *Complexity*, 2021(1), 6641247. (in English)
- Min-Allah, N., Jan, F., & Alrashed, S. (2021). Pupil detection schemes in human eye: A review. *Multimedia Systems*, 27(4), 753-777. (in English)
- Nanayakkara, S., & Meegama, R. G. M. (2020). A review of literature on iris recognition. *International Journal of Research*, 9, 106-120. (in English)
- Omelina, L. et al. (2021). A survey of iris datasets. *Image and Vision Computing*, 108, 104109. (in English)
- Singh, G. et al. (2020). IWT based iris recognition for image authentication. *Procedia Computer Science*, 171, 1868-1876. (in English)
- Sun, R. et al. (2022). Survey of image edge detection. *Frontiers in Signal Processing*, 2, 826967. (in English)
- Szymkowski, M., Jasiński, P., & Saeed, K. (2021). Iris-based human identity recognition with machine learning methods and discrete fast Fourier transform. *Innovations in Systems and Software Engineering*, 17(3), 309-317. (in English)
- Talab, M. A., Awang, S., & Ansari, M. D. (2020). A novel statistical feature analysis-based global and local method for face recognition. *International Journal of Optics*, 2020(1), 4967034. (in English)
- Van Jaarsveldt, C. et al. (2023). Tutorial on empirical mode decomposition: Basis decomposition and frequency adaptive graduation in non-stationary time series. *IEEE Access*. (in English)
- Wang, C. et al. (2020). Towards complete and accurate iris segmentation using deep multi-task attention network for non-cooperative iris recognition. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 15, 2944-2959. (in English)
- Wenyu, Z. (2020). Research on iris location based on improved particle swarm algorithm and sub-regional noise reduction. *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, 1654(1), 012042. (in English)
- Xiong, Q. et al. (2021). A modified chaotic binary particle swarm optimization scheme and its application in face-iris multimodal biometric identification. *Electronics*, 10(2), 217. (in English)

CONTENTS

INFORMATICS

Zh.K. Abdugulova, M. Tlegen, A.T. Kishubaeva, N.M. Kisikova, A.K. Shukirova AUTOMATION OF MINING EQUIPMENT USING DIGITAL CONTROL MACHINES.....	5
A.A. Abibullayeva, A.S. Baimakhanova USING MACHINE LEARNING AND DEEP LEARNING TECHNIQUES IN KEYWORD EXTRACTION.....	25
M. Ashimgaliyev, K. Dyussekeyev, T. Turymbetov, A. Zhumadillayeva ADVANCING SKIN CANCER DETECTION USING MULTIMODAL DATA FUSION AND AI TECHNIQUES.....	37
D.S. Amirkhanova, O.Zh. Mamyrbayev EL-GAMAL'S CRYPTOGRAPHIC ALGORITHM: MATHEMATICAL FOUNDATIONS, APPLICATIONS AND ANALYSIS.....	52
A.Sh. Barakova, O.A. Ussatova, Sh.E. Zhussipbekova, Sh.M. Urazgalieva, K.S. Shadinova USE OF BLOCKCHAIN FOR DATA PROTECTION AND TECHNOLOGY DRAWBACKS.....	67
M. Kantureyev¹, G. Bekmanova, A. Omarbekova, B. Yergesh, V. Franzoni ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES AND SOLVING SOCIAL PROBLEMS.....	78
A.B. Kassekeyeva, A.B. Togissova*, A.M. Bakiyeva, Z.B. Lamasheva, Y.N. Baibakty ANALYSIS OF COMPARATIVE OPINIONS USING INFORMATION TECHNOLOGY.....	88
M. Mussaif, A. Kintonova, A. Nazyrova, G. Muratova, I.F. Povkhan IMPROVED PUPIL LOCALIZATION METHOD BASED ON HOUGH TRANSFORM USING ELLIPTICAL AND CIRCULAR COMPENSATION.....	103
Zh. S. Mutalova, A.G. Shaushenova, G.O. Issakova, A.A. Nurpeisova, M.B. Ongarbayeva, G.A. Abdygalikova THE METHOD FOR RECOGNIZING A PERSON FROM A FACE IMAGE BASED ON MOVING A POINT ALONG GUIDES.....	118

G. Nurzhaubayeva, K. Chezhimbayeva, H. Norshakila THE DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF A WEARABLE TEXTILE YAGI-UDA ANTENNA DESIGN FOR SECURITY AND RESCUE PURPOSES.....	138
A.A. Oxenenko, A.S.Yerimbetova, A. Kuanayev, R.I. Mukhamediev, Ya.I. Kuchin TECHNICAL TOOLS FOR REMOTE MONITORING USING UNMANNED AERIAL PLATFORMS.....	152
B.S. Omarov, A.B. Toktarova, B.S. Kaldarova, A.Z. Tursynbayev, R.B. Abdrakhmanov DETECTING OFFENSIVE LANGUAGE IN LOW-RESOURCE LANGUAGES WITH BILSTM.....	174
G.Taganova, D.A. Tussupov, A. Nazyrova, A.A. Abdildaeva, T.Zh. Yermek SHORT-TERM FORECAST OF POWER GENERATION OF PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS BY COMPARING LSTM AND MLP MODELS.....	190
Zh. Tashenova, E. Nurlybaeva, Zh.Abdugulova, Sh. Amanzholova CREATION OF SOFTWARE BASED ON SPECTRAL ANALYSIS FOR STEGOANALYSIS OF DIGITAL AUDIO FILES.....	203
Zh.U. Shermantayeva, O.Zh. Mamyrbayev DEVELOPMENT AND CREATION OF HYBRID EWT-LSTM-RELM- IEWT MODELING IN HIGH-VOLTAGE ELECTRIC NETWORKS.....	223

МАЗМҰНЫ

ИНФОРМАТИКА

Ж.К. Абдугулова, М. Тлеген, А.Т. Кишубаева, Н.М. Кисикова, А.К. Шукирова САНДЫҚ БАСҚАРУ СТАНОКТАРЫНЫҢ КӨМЕГІМЕН ТАУ-КЕН-ШАХТА ЖАБДЫҚТАРЫН АВТОМАТТАНДЫРУ.....	5
А.А. Абибуллаева, А.С. Баймаханова КІЛТТІК СӨЗДЕРДІ ШЫҒАРУДА МАШИНАЛЫҚ ЖӘНЕ ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ.....	25
М. Ашимғалиев, К. Дюсекеев, Т. Турымбетов, А. Жумадиллаева МУЛЬТИМОДАЛЬДЫ ДЕРЕКТЕРДІ БІРІКТІРУ ЖӘНЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ТЕРІ ҚАТЕРЛІ ІСІГІН АНЫҚТАУДЫ ЖЕТІЛДІРУ.....	37
Д.С. Әмірханова, Ө.Ж. Мамырбаев ЭЛЬ-ГАМАЛЬДЫҢ КРИПТОГРАФИЯЛЫҚ АЛГОРИТМІ: МАТЕМАТИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ, ҚОЛДАНУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ.....	52
А.Ш. Баракова, О.А.Усатова, Ш.Е.Жусипбекова, Ш.М. Уразғалиева, К.С. Шадинова ДЕРЕКТЕРДІ ҚОРҒАУДА БЛОКЧЕЙНДІ ПАЙДАЛАНУ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯНЫҢ КЕМШІЛІКТЕРІ.....	67
М.А. Кантуреева, Г.Т. Бекманова, А.С. Омарбекова, Б.Ж. Ергеш, V. Franzoni ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІК ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖӘНЕ ӘЛЕУМЕТТІК МӘСЕЛЕЛЕРДІ ШЕШУ.....	78
А.Б. Касекеева, А.Б. Тогисова, А.М. Бакиева, Ж.Б. Ламашева, Е.Н. Байбақты АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ САЛЫСТЫРМАЛЫ ПІКІРЛЕРДІ ТАЛДАУ.....	88
М. Мұсайф, А.Ж. Кинтонова, А.Е. Назырова, Г. Муратова, И.Ф. Повхан ЭЛЛИПТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ДӨҢГЕЛЕК КОМПЕНСАЦИЯНЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ХАФ ТҮРЛЕНДІРУІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН КӨЗДІҢ ҚАРАШЫҒЫҢ ЛОКАЛИЗАЦИЯЛАУДЫҢ ЖЕТІЛДІРІЛГЕН ӘДІСІ.....	103

Ж.С. Муталова, А.Г. Шаушенова, Г.О. Исакова, А. Нұрпейісова, М.Б. Оңғарбаева, Г.А. Әбдіғалықова НҮКТЕНІ БАҒЫТТАУШЫЛАР БОЙЫМЕН ЖЫЛЖЫТУ НЕГІЗІНДЕ АДАМДЫ БЕТ БЕЙНЕСІ АРҚЫЛЫ ТАНУ ӘДІСІ.....	118
Г. Нуржаубаева, К. Чежимбаева, Х. Норшакила ҚҰТҚАРУ ҚЫЗМЕТІ МАҚСАТЫНДА КИІМГЕ ОРНАЛАСТЫРЫЛАТЫН ТЕКСТИЛЬДІ ЯГИ-УДА АНТЕННАСЫНЫҢ ДИЗАЙНЫН ҚҰРУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ.....	138
А.А. Оксененко, А.С. Еримбетова, А. Куанаев, Р.И. Мухамедиев, Я.И. Кучин ҰШҚЫШСЫЗ ӘУЕ ПЛАТФОРМАЛАРЫН ПАЙДАЛАНАТЫН ҚАШЫҚТАН МОНИТОРИНГ ЖҮРГІЗУ ҮШІН ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛДАР.....	152
Б.С. Омаров, А.Б. Тоқтарова, Б.С. Қалдарова, А.З. Турсынбаев, Р.Б. Абдрахманов БЕЙӘДЕП СӨЗДЕРДІ АЗ РЕСУРСТЫ ТІЛДЕРДЕН АНЫҚТАУДА BILSTM- ДІ ҚОЛДАНУ.....	174
Г.Ж. Таганова, Д.А. Тусупов, А. Назырова, А.А. Абдильдаева, Т.Ж. Ермек LSTM ЖӘНЕ MLP МОДЕЛЬДЕРІН САЛЫСТЫРУ АРҚЫЛЫ ФОТОЭЛЕКТРЛІК ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫН ӨНДІРУДІҢ ҚЫСҚА МЕРЗІМДІ БОЛЖАМЫ.....	190
Ж.М. Ташенова, Э. Нурлыбаева, Ж.К. Абдугулова, Ш.А. Аманжолова САНДЫҚ АУДИОФАЙЛДАРДЫ СТЕГО ТАЛДАУ ҮШІН СПЕКТРАЛДЫ ТАЛДАУ НЕГІЗІНДЕ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ҚҰРАМДЫ ҚҰРУ.....	203
Ж.У. Шермантаева, О.Ж. Мамырбаев ЖОҒАРЫ КЕРНЕУЛІ ЭЛЕКТР ЖЕЛІЛЕРІНДЕ ГИБРИДТІ EWT-LSTM- RELM-IEWT МОДЕЛЬДЕУДІ ДАМЫТУ ЖӘНЕ ҚҰРУ.....	223

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА

Ж.К. Абдугулова, А.Т. Кишубаева, Н.М. Кисикова, А.К. Шукирова АВТОМАТИЗАЦИЯ ГОРНО-ШАХТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ СТАНКОВ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ.....	5
А.А. Абибуллаева, А.С. Баймаханова ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО И ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ.....	25
М. Ашимгалиев, К. Дюсекеев, Т. Турымбетов, А. Жумадиллаева СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ВЫЯВЛЕНИЯ РАКА КОЖИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ ДАННЫХ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....	37
Д. С. Эмірханова, О. Ж. Мамырбаев КРИПТОГРАФИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ЭЛЬ-ГАМАЛЯ: МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, ПРИМЕНЕНИЕ И АНАЛИЗ.....	52
А.Ш. Баракова, О.А. Усатова, Ш.Е. Жусипбекова, Ш.М. Уразгалиева, К.С. Шадинова ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЛОКЧЕЙНА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ И НЕДОСТАТКИ ТЕХНОЛОГИИ.....	67
М.А. Кантуреева, Г.Т. Бекманова, А.С. Омарбекова, Б.Ж. Ергеш, V. Franzon ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И РЕШЕНИЕ СОЦИАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ.....	78
А.Б. Касекеева, А.Б. Тогисова, А.М. Бакиева, Ж.Б. Ламашева, Е.Н. Байбакты АНАЛИЗ СРАВНИТЕЛЬНЫХ МНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	88
М. Мусайф, А.Ж. Кинтонова, А.Е. Назырова, Г. Муратова, И.Ф. Повхан УЛУЧШЕННЫЙ МЕТОД ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗРАЧКА НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАФА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ И КРУГОВОЙ КОМПЕНСАЦИИ.....	103

Ж.С. Муталова, А.Г. Шаушенова, Г.О. Исакова, А.А. Нурпейсова, М.Б. Онгарбаева, Г.А. Абдыгаликова МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ЛИЦА НА ОСНОВЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТОЧКИ ПО НАПРАВЛЯЮЩИМ.....	118
Г. Нуржаубаева, К. Чежимбаева, Х. Норшакила РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ДИЗАЙНА ВСТРАИВАЕМОЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ЯГИ-УДА АНТЕННЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СФЕРЕ СПАСАТЕЛЬНЫХ СЛУЖБ.....	138
А.А. Оксененко, А.С. Еримбетова, А. Куанаев, Р.И. Мухамедиев, Я.И. Кучин ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ.....	152
Б.С. Омаров, А.Б. Токтарова, Б.С. Калдарова, А.З. Турсынбаев, Р.Б. Абдрахманов ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ViLSTM ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСКОРБИТЕЛЬНОГО ЯЗЫКА В ЯЗЫКАХ С НИЗКИМ УРОВНЕМ РЕСУРСОВ.....	174
Г.Ж. Таганова, Д.А. Тусупов, А. Назырова, А.А. Абдильдаева, Т.Ж. Ермек КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ ПУТЕМ СРАВНЕНИЯ МОДЕЛЕЙ LSTM И MLP.....	190
Ж.М. Ташенова, Э. Нурлыбаева, Ж.К. Абдугулова, Ш.А. Аманжолова СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА БАЗЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ СТЕГОАНАЛИЗА ЦИФРОВЫХ АУДИОФАЙЛОВ.....	203
Ж.У. Шермантаева, О.Ж. Мамырбаев РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ГИБРИДНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ EWT-LSTM-RELM-IEWT В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ.....	223

**Publication Ethics and Publication Malpractice
the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Директор отдела издания научных журналов НАН РК *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Ж.Ш. Әден*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадыранова*

Подписано в печать 30.09.2024.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

15,5 п.л. Тираж 300. Заказ 3.