

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
KAZAKHSTAN



**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION
TECHNOLOGIES**

Published since 2020.
Volume 7. 2 (26). 2026
April–June

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ
ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ**

2020 жылдан бері шығарылады
Том 7. 2 (26). 2026
Сәуір-Маусым

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Издается с 2020 г.
Том 7. 2 (26). 2026
Апрель-Июнь

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Министерство информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ82VPY00020475, выданное от 20.02.2020 г.

Зарегистрировано в Международном центре регистрации серийных изданий ISSN (ЮНЕСКО, Париж, Франция). ISSN 2708–2032 (print), ISSN 2708–2040 (online)

Журнал входит в Перечень научных изданий, рекомендуемых КОКНВО МНВО РК для публикации основных результатов научной деятельности.

EDITOR-IN-CHIEF:

Kateryna Kolesnikova — Doctor of Technical Sciences, professor, Vice-Rector for Research, International Information Technology University (Kazakhstan)

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

Madina Ipalakova — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Director of the Research Department, International Information Technology University (Kazakhstan)

EDITORIAL BOARD:

Abdul Razak — PhD, professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Lucio Tommaso De Paolis — Director of the R&D Department of the AVR Laboratory, Department of Engineering for Innovation, University of Salento (Italy)

Liz Bacon — Professor, Deputy Vice-Chancellor, Abertay University (United Kingdom)

Michele Pagano — PhD, Professor, University of Pisa (Italy)

Mukhtarbay Otelbayev — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, professor of the Department of Mathematical and Computer Modeling, International Information Technology University (Kazakhstan)

Bolatbek Rysbauly — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, professor of the Department of Computing and Data Science, Astana IT University (Kazakhstan)

Yevgeniya Daineko — PhD, research professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

Nurzhan Duzbayev — PhD, associate professor, Vice-Rector for Digitalization and Innovation, International Information Technology University (Kazakhstan)

Bakhtgerci Sinchev — Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

Nurgul Seilova — Candidate of Technical Sciences, Dean of the Faculty of Computer Technologies and Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Ardak Mukhamediyeva — Candidate of Economic Sciences, Dean of the Faculty of Business, Media and Management, International Information Technology University (Kazakhstan)

Zamira Abdikalikova — PhD, associate professor, Head of the Department of Mathematical and Computer Modeling, International Information Technology University (Kazakhstan)

Yerlan Shildibekov — PhD, associate professor, Head of the Department of Economics and Business, International Information Technology University (Kazakhstan)

Damilya Yeskendirova — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Aigul Niyazgulova — Candidate of Philological Sciences, Professor, Head of the Department of Media Communications and History of Kazakhstan, International Information Technology University (Kazakhstan)

Altai Aitmagambetov — Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, International Information Technology University (Kazakhstan)

Yelena Bakhtiyarova — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, International Information Technology University (Kazakhstan)

Kanibek Sansyzbay — PhD, research professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Sakhybay Tynymbayev — Candidate of Technical Sciences, Professor, Research Professor, Department of Computer Engineering, International Information Technology University (Kazakhstan)

Ali Abd Almisreb — PhD, associate professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Mohamed Ahmed Hamada — PhD, associate professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

Yang Im Chu — PhD, Professor, Gachon University (South Korea)

Tadeusz Wallas — PhD, Vice-Rector, Adam Mickiewicz University (Poland)

Orken Mamyrbayev — PhD, Deputy Director for Science, RSE Institute of Information and Computational Technologies, Committee for Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Kazakhstan)

Sergey Bushuyev — Doctor of Technical Sciences, professor, Director of the Ukrainian Project Management Association "UKRNET," Head of the Department of Project Management, Kyiv National University of Construction and Architecture (Ukraine)

Svetlana Beloshitskaya — Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Computing and Data Science, Astana IT University (Kazakhstan)

MANAGING EDITOR

Raushan Mrzabayeva — Master of Science, editor, International Information Technology University (Kazakhstan)

International Journal of Information and Communication Technologies

Periodicity: 4 times a year.

Languages: Kazakh, Russian, English

DOI prefix: 10.54309

ISSN 2708-2032 (print)

ISSN 2708-2040 (online)

Thematic focus: "Information technology"; "Digital technologies in the development of socio-economic systems"; "Information security and communication technologies".

Distribution: Materials are distributed under the Creative Commons Attribution 4.0

Journal website: <https://journal.iitu.edu.kz>

Owner: International Information Technology University JSC (Almaty).

Copyright: © International Journal of Information and Communication Technologies, 2026

РЕДАКЦИЯ

БАС РЕДАКТОР:

Колесникова Катерина Викторовна — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің ғылыми-зерттеу қызметі жөніндегі проректор (Қазақстан)

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЫ:

Ипалакова Мадина Тулегеновна — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің ғылыми-зерттеу қызметі жөніндегі департамент директоры (Қазақстан)

РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА:

- Разак Абдул** — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының профессоры (Қазақстан)
Луччо Томмазо де Паолис — Саленто Университеті (Италия) инновация және технологиялық инжиниринг департаменті AVR зертханасының зерттеу және әзірлеу бөлімінің директоры
Лиз Бэкон — профессор, Абертей Университеті (Ұлыбритания) вице-канцлерінің орынбасары
Микеле Пагано — PhD, Пиза Университетінің (Италия) профессоры
Өтелбаев Мухтарбай Өтелбайұлы — физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті математика және компьютерлік модельдеу кафедрасының профессоры (Қазақстан)
Рысбайұлы Болатбек — физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Есептеу және деректер ғылымдары департаментінің профессоры, Astana IT University (Қазақстан)
Дайнеко Евгения Александровна — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)
Дузаев Нуржан Тоқсуғаевич — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті цифрландыру және инновациялар жөніндегі проректор (Қазақстан)
Синчев Бахтгерей Куспанович — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының профессоры (Қазақстан)
Сейлова Нургуль Абдуллаевна — техника ғылымдарының докторы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті компьютерлік технологиялар және киберқауіпсіздік факультетінің деканы (Қазақстан)
Мухамедиева Ардак Габитовна — экономика ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті бизнес-медиа және басқару факультетінің деканы (Қазақстан)
Абдикаликова Замира Турсынбаевна — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті математика және компьютерлік модельдеу кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)
Шильдибеков Ерлан Жаржанович — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті экономика және бизнес кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)
Дамелия Максустовна Ескендрова — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)
Ниязгулова Айгуль Аскарбековна — филология ғылымдарының кандидаты, доцент, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті медиакоммуникация және Қазақстан тарихы кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)
Айтмағамбетов Алтай Зуфарович — техника ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті радиотехника, электроника және телекоммуникация кафедрасының профессоры (Қазақстан)
Бахтиярова Елена Ажибековна — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті радиотехника, электроника және телекоммуникация кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)
Канибек Сансызбай — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)
Тынымбаев Сахибай — техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті компьютерлік инженерия кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)
Алмисреб Али Абд — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қазақстан)
Мохамед Ахмед Хамада — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қазақстан)
Янг Им Чу — PhD, Гачон университетінің профессоры (Оңтүстік Корея)
Талеуш Валлас — PhD, Адам Мицкевич атындағы (Польша) университеттің проректоры
Мамырбаев Оркен Жумажанович — PhD, ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті ақпараттық және есептеу технологиялары институты ӨМК директорының ғылым жөніндегі орынбасары (Қазақстан)
Бушув Сергей Дмитриевич — техника ғылымдарының докторы, профессор, Украинаның "УКРНЕТ" жобаларды басқару қауымдастығының директоры, Киев ұлттық құрылыс және сулет университеті жобаларды басқару кафедрасының меңгерушісі (Украина)
Белюшицкая Светлана Васильевна — техника ғылымдарының докторы, доцент, Astana IT University есептеу және деректер ғылымы кафедрасының профессоры (Қазақстан)

ЖАУАПТЫ РЕДАКТОР:

Мрзабаева Раушан Жалиевна — магистр, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің редакторы (Қазақстан)

Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Префикс DOI: 10.54309

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Басылым тілі: қазақ, орыс, ағылшын.

Тақырып бағыты: "Ақпараттық технологиялар"; "Ақпараттық қауіпсіздік және коммуникациялық технологиялар"; "Әлеуметтік-экономикалық жүйелерді дамытудағы цифрлық технология".

Журнал сайты: <https://journal.iitu.edu.kz>

Тарату: материалдар Creative Commons Attribution 4.0 лицензиясы бойынша таратылады

Меншік иесі: АҚ «Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті» (Алматы қ.).

Авторлық құқық: © Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы, 2026

РЕДАКЦИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Колесникова Катерина Викторовна — доктор технических наук, профессор, проректор по научно-исследовательской деятельности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Ипалакова Мадина Тулегеновна — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, директор департамента по научно-исследовательской деятельности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Разак Абдул — PhD, профессор кафедры кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Лучио Томмазо де Паолис — директор отдела исследований и разработок лаборатории AVR департамента инноваций и технологического инжиниринга Университета Саленто (Италия)

Лиз Бэкон — профессор, заместитель вице-канцлера Университета Абертей (Великобритания)

Микеле Пагано — PhD, профессор Университета Пизы (Италия)

Отелбаев Мухтарбай Отелбайулы — доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, профессор кафедры математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Рысбайулы Болатбек — доктор физико-математических наук, профессор, профессор Astana IT University (Казахстан)

Дайнеко Евгения Александровна — PhD, профессор-исследователь кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Дузбаев Нуржан Токкужаевич — PhD, ассоциированный профессор, проректор по цифровизации и инновациям Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Синчев Бахтгерей Куспанович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Сейлова Нургуль Абадуллаевна — кандидат технических наук, декан факультета компьютерных технологий и кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Мухамедиева Ардак Габитовна — кандидат экономических наук, декан факультета бизнеса медиа и управления Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Абдикаликова Замира Турсынбаевна — PhD, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Шильдибеков Ерлан Жаржанович — PhD, ассоциированный профессор, заведующий кафедрой экономики и бизнеса Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Дамелия Максугуона Ескендрова — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Ниязгулова Айгуль Аскарбековна — кандидат филологических наук, доцент, профессор, заведующая кафедрой медиакоммуникации и истории Казахстана Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Айтмагамбетов Алтай Зуфарович — кандидат технических наук, профессор кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникаций Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Бахтиярова Елена Ажибековна — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой радиотехники, электроники и телекоммуникаций Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Канибек Сансызбай — PhD, ассоциированный профессор, профессор-исследователь кафедры кибербезопасности, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Тынымбаев Сахпай — кандидат технических наук, профессор, профессор-исследователь кафедры компьютерной инженерии, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Алимураб Али Абд — PhD, ассоциированный профессор кафедры кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Мохамед Ахмед Хамада — PhD, ассоциированный профессор кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Янг Им Чу — PhD, профессор университета Гачон (Южная Корея)

Тадеуш Валлас — PhD, проректор университета имен Адама Мицкевича (Польша)

Мамырбаев Оркен Жумажанович — PhD, заместитель директора по науке РГП Института информационных и вычислительных технологий Комитета науки МНВО РК (Казахстан)

Бушуев Сергей Дмитриевич — доктор технических наук, профессор, директор Украинской ассоциации управления проектами «УКРНЕТ», заведующий кафедрой управления проектами Киевского национального университета строительства и архитектуры (Украина)

Белошницкая Светлана Васильевна — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры вычислений и науки о данных Astana IT University (Казахстан)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР:

Мрзабаева Раушан Жалиевна — магистр, редактор Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Международный журнал информационных и коммуникационных технологий

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Префикс DOI: 10.54309

Периодичность: 4 выпусков в год.

Язык издания: казахский, русский, английский.

Тематическая направленность: "Информационные технологии"; "Информационная безопасность и коммуникационные технологии"; "Цифровые технологии в развитии социально-экономических систем".

Сайт журнала: <https://journal.iitu.edu.kz>

Распространение: материалы распространяются по лицензии Creative Commons Attribution 4.0

Собственник: АО «Международный университет информационных технологий» (г. Алматы).

Авторские права: © Международный журнал информационных и коммуникационных технологий, 2026

CONTENTS

DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

D. Abzhanova, A. Biloshchytski

A MODEL AND METHOD FOR MANAGING DATA ON EMISSIONS FROM STATIONARY SOURCES OF POLLUTION IN AN INTELLIGENT ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM9

A. Slanbekova, M. Rakhimzhanova, A. Zhanibekova, A. Alimagambetova, M. Xudoyberganov

EARLY DETECTION OF HYDROLOGICAL HAZARDS BASED ON SPATIOTEMPORAL ANALYSIS25

INFORMATION TECHNOLOGY

F.N. Abdraimova, A.A. Kereibayeva, D.S. Dyussenova, D.A. Aliyeva, T.Zh. Toktarova

AI TECHNOLOGIES IN LANGUAGE EDUCATION: PRACTICAL ASPECTS AND CHALLENGES OF STUDENT USAGE36

G. Azieva, M. Yessenova, A. Abzhapparova, G. Abdikerimova, P. Schmidt

HYBRID STACKING FRAMEWORK FOR CROP CLASSIFICATION USING UAV DATA50

A.K. Aitim

JOINT MORPHOLOGICAL DISAMBIGUATION AND POS TAGGING FOR AGGLUTINATIVE LANGUAGES62

S.A. Yesniyazova, S.T. Kaimov

PREDICTIVE MAINTENANCE OF HEAVY-DUTY TRUCKS USING EXPLAINABLE MACHINE LEARNING78

T. Imanbekova, Zh. Ibrayeva, G. Jakanova, G. Askanbay

DATA COMPRESSION ALGORITHM BASED ON WAVELET TRANSFORMER; ANALYSIS AND IMPLEMENTATION IN MATLAB92

B.Z. Kenzhegulov, Zh.T. Bilyalova, K.N. Uteuliyeva, L. Nurgaliyeva, Sh.S. Nurzhanova

A MATHEMATICAL AND ALGORITHMIC APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT TEXT-TO-SQL SYSTEM BASED ON LARGE LANGUAGE MODELS110

N.Sh. Maxutova, J.A. Tussupov, A.A. Shekerbek, Zh.E. Kenzhebayeva, Q.O. Rakhimov

MACHINE LEARNING FOR COMPREHENSIVE EVALUATION OF CARDIOVASCULAR DISEASE RISK AND BIOCHEMICAL ALTERATIONS: FOCUS ON ASPARTATE AMINOTRANSFERASE131

O.S. Salykova, V.A. Madin, B.R. Salykov, D.N. Komarov, N.V. Manuilov

INTEGRATION OF MEMS ACCELEROMETER SENSOR MODULES IN INDUSTRIAL MONITORING SYSTEMS146

R. Taberkhan, M.A. Sambetbayeva, G. Kalman

KAZCAUSAL: THE FIRST CORPUS-BASED ANNOTATION OF CAUSAL RELATIONSHIPS IN THE KAZAKH LANGUAGE160

S.Tynymbayev, S.E. Mamanova, R. Berdybayev, Zh.E. Temirbekova, T. Chinibayeva

DIVIDING DEVICES WITH PRELIMINARY PREPARATION OF MULTIPLES OF THE DIVISOR172

K.N. Uteuliyeva, B.Z. Kenzhegulov, T.A. Karazhigitova, H.İ. Bülbül, Z.Zh. Zhanuzakova

MATHEMATICAL AND ALGORITHMIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF A COLLABORATIVE FILTERING-BASED RECOMMENDER SYSTEM188

S. Sharmukhanbet, G. Turmukhanova, O. Findik, V. Makhatova, L. Kurmangazyeva

HIGH-PRECISION ROBOTIC ASSEMBLY UNDER VARIABLE ILLUMINATION: A ROBUST MECHATRONIC ARCHITECTURE FOR VISUAL SERVOING209

INFORMATION SECURITY AND COMMUNICATIONTECHNOLOGIES

A. Amirbay, Z. Amanbaikyzy, K. Maxutova, A. Mukhanova, M. Kassim

MACHINE LEARNING ALGORITHM FOR EARLY DETECTION OF AUTISM SPECTRUM DISORDERS IN CHILDREN BASED ON MULTIMODAL ANALYSIS OF EYE MOVEMENTS AND FACIAL EXPRESSIONS227

K. Baisylbayeva, Sh. Mussiraliyeva, Zh. Yeltay

DETECTION OF EXTREMIST IDEOLOGY IN THE KAZAKH LANGUAGE: ANNOTATION CHALLENGES AND DEEP LEARNING APPROACHES242

M.A. Bolatbek, A.M.Usmanova, K.B. Bagitova, G.B. Baispay

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A METHOD FOR ANALYZING NETWORK TRAFFIC TO IDENTIFY A CYBER THREAT	261
D.I. Prokopovych-Tkachenko, N.K. Zhumagalieva, D.N. Shchytyov, N.F. Mormul, D.A. Cherkaskyi FUZZY MODEL FOR EVALUATING INFORMATION SECURITY PARAMETERS OF INFORMATION SYSTEMS UNDER INCOMPLETE AND QUALITATIVE DATA: CONSTRUCTION METHODOLOGY, RULE BASE TUNING, AND DEMONSTRATION CASE FOR ORGANIZATIONS	279
E.A. Pustovoy, O.A. Pustovaya, A.N. Raushanova, I.S. Zaurbekov EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF SYNTHESIS OF STOCHASTIC MODELS WITH CONTROLLED PROPERTIES	305
Y. Serzhan, T. Umarov, A. Abilbayeva FRAUD DETECTION IN CREDIT CARD TRANSACTIONS USING MACHINE LEARNING: A COMPARATIVE ANALYSIS	321

МАЗМҰНЫ

ӘЛЕУМЕТТІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ДАМУДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Д.Е. Абжанов, А.А. Белоощицкий ЭКОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГТІҢ ЗИЯТКЕРЛІК ЖҮЙЕСІНДЕГІ СТАЦИОНАРЛЫҚ ЛАСТАНУ КӨЗ-ДЕРІНІҢ ШЫҒАРЫНДЫЛАРЫ ТУРАЛЫ ДЕРЕКТЕРДІ БАСҚАРУДЫҢ МОДЕЛІ МЕН ӘДІСІ	9
А.Е. Сланбекова, М.Б. Рахимжанова, А.И. Жанибекова, А.З. Алимагамбетова, М. Худойбергенов КЕҢІСТІКТІК-УАҚЫТТЫҚ (SPATIOTEMPORAL) ТАЛДАУ НЕГІЗІНДЕ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ ҚАУІП-ҚАТЕРДІ ЕРТЕ АНЫҚТАУ	25

АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Ф.Н. Абдраимова, А.А. Керейбаева, Д.С. Дюсенова, Д.А. Алиева, Т.Ж. Токтарова ТІЛ БІЛІМІНДЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ: СТУДЕНТТЕР ҚОЛДАНУЫНЫҢ ПРАКТИКАЛЫҚ АСПЕКТІЛЕРІ МЕН МӘСЕЛЕЛЕРІ	36
Г.Т. Азиева, М.Б. Есенова, А.К. Абжаппарова, Г.Б. Абдикеримова, Р. Schmidt UAV ДЕРЕКТЕРІ НЕГІЗІНДЕ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ DAҚЫЛДАРЫН ЖІКТЕУГЕ АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ СТЕКИНГ МОДЕЛІ	50
Ә.Қ. Әйтiм АГГЛЮТИНАТИВТІ ТІЛДЕРГЕ АРНАЛҒАН МОРФОЛОГИЯЛЫҚ ДИЗАМБИГУАЦИЯ МЕН POS-ТАҢ-БАЛАУДЫ БІРЛЕСІП МОДЕЛЬДЕУ	62
С.А. Есниязова, С.Т. Каимов ТҮСІНДІРІЛЕТІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП АУЫР ЖҮК КӨЛІКТЕРІНЕ БОЛЖАМДЫ ТЕХНИКАЛЫҚ ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУ	78
Т.Д. Иманбекова, Ж.Б. Ибраева, Г.Т. Джаканова, Г.Т. Асқанбай МӘЛІМЕТТЕРДІ ВЕЙВЛЕТ-ТҮРЛЕНДІРГІШТІҢ НЕГІЗІНДЕ ҚЫСУ АЛГОРИТМІ; MATLAB ОРТАСЫНДА ТАЛДАУ ЖӘНЕ ІСКЕ АСЫРУ	92
Б.З. Кенжегулов, Ж.Т. Билялова, К.Н. Утеулиева, Л. Нурғалиева, Ш.С. Нуржанова ҮЛКЕН ТІЛДІК МОДЕЛЬДЕР НЕГІЗІНДЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ТЕХТ-ТО-SQL ЖҮЙЕСІН ӨЗІРЛЕУДІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ-АЛГОРИТМДІК ТӘСІЛІ	110
Н.Ш. Максұтова, Ж.А. Тусупов, А.Ә. Шекербек, Ж.Е. Кенжебаева, К.О. Рахимов ЖҮРЕК-ҚАН ТАМЫРЛАРЫ АУРУЛАРЫНЫҢ ҚАУІП-ҚАТЕРІН ЖӘНЕ БИОХИМИЯЛЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРДІ КЕШЕНДІ БАҒАЛАУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ: АСПАРТАМИНОТРАНСФЕРАЗАҒА ЕРЕКШЕ НАЗАР	131
О.С. Салықова, В.А. Мадин, Б.Р. Салықов, Д.Н. Комаров, Н.В. Мануилов ӨНЕРКӘСІПТІК МОНИТОРИНГ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ MEMS-АКСЕЛЕРОМЕТРЛЕРДІҢ СЕНСОРЛЫҚ МОДУЛЬДЕРІН ИНТЕГРАЦИЯЛАУ	146
Р. Таберхан, М.А. Самбетбаева, Г. Қалман KAZCAUSAL: ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ СЕБЕП-САЛДАРЛЫҚ ҚАТЫНАСТАРДЫҢ АЛҒАШҚЫ КОРПУСТЫҚ АННОТАЦИЯСЫ	160
С. Тынымбаев, С.Е. Маманова, Р. Бердібаев, Ж.Е. Темірбекова, Т. Чинибаева БӨЛГІШТІҢ ЕСЕЛІ МӘНДЕРІН АЛДЫН АЛА ДАЙЫНДАУМЕН ЖҮЗЕГЕ АСЫРЫЛАТЫН БӨЛУ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫ	172



К.Н. Утеулиева, Б.З. Кенжегулов, Т.А. Каражигитова, Х. Булбул, З.Ж. Жанузакова КОЛЛАБОРАТИВТІК СҮЗГІЛЕУ НЕГІЗІНДЕГІ ҰСЫНЫМДЫҚ ЖҮЙЕНІ ӨЗІРЛЕУДІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ-АЛГОРИТМДІК ТӘСІЛДЕРІ	188
С. Шармуханбет, Г. Тұрмуханова, О. Финдик, В. Махатова, Л. Курмангазиева АЙНЫМАЛЫ ЖАРЫҚ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ ЖОҒАРЫ ДӘЛДІКТІ РОБОТТЫҚ ҚҰРАСТЫРУ: ВИЗУАЛДЫ СЕРВОТЕЖЕУДІҢ ТӨЗІМДІ МЕХАТРОНИКАЛЫҚ АРХИТЕКТУРАСЫ	209

АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРҒА АРНАЛҒАН

А. Амирбай, З. Аманбайқызы, К. МаксUTOBA, А. Муханова, М. Kassim КӨЗ ҚОЗҒАЛЫСТАРЫ МЕН БЕТ МИМИКА БЕЛГІЛЕРІН МУЛЬТИМОДАЛЬДЫ ТАЛДАУҒА НЕГІЗ- ДЕЛГЕН БАЛАЛАРДАҒЫ АУТИЗМ СПЕКТРІНІҢ БҰЗЫЛЫСТАРЫН ЕРТЕ АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АЛГОРИТМІ	227
К.Д. Байсылбаева, Ш.Ж. Мусиралиева, Ж. Елтай ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ ЭКСТРЕМИСТІК ИДЕОЛОГИЯНЫ АНЫҚТАУ: АННОТАЦИЯЛАУ МӘСЕЛЕЛЕРІ ЖӘНЕ ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ТӘСІЛДЕРІ	242
М.А. Болатбек, А.М. Усманова, Қ.Б. Багитова, Г.Б. Байспай КИБЕР ҚАУІПТІ АНЫҚТАУ ҮШІН ЖЕЛІЛІК ТРАФИКТІ ТАЛДАУ ӘДІСІН ӨЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ	261
Д.И. Прокопович-Ткаченко, Н.К. Жумагалиева, Д.Н. Щитов, Н.Ф. Мормуль, Д.А. Черкасский ТОЛЫҚ ЕМЕС ЖӘНЕ САПАЛЫҚ ДЕРЕКТЕР ЖАҒДАЙЫНДА АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ АҚПА- РАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ПАРАМЕТРЛЕРІН БАҒАЛАУДЫҢ БҰЛЫҢҒЫР МОДЕЛІ: ҚҰРУ ӘДІСТЕМЕСІ, ЕРЕЖЕЛЕР БАЗАСЫН БАПТАУ ЖӘНЕ ҰЙЫМДАРҒА АРНАЛҒАН ДЕМОНСТРАЦИЯЛЫҚ КЕЙС	279
Е.А. Пустовой, О.А. Пустовая, А.Н. Раушанова, И.С. Заурбеков БАСҚАРЫЛАТЫН ҚАСИЕТТЕРІ БАР СТОХАСТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРДІ СИНТЕЗДЕУДІҢ ТИМДІЛІГІН БАҒАЛАУ	305
Е. Сержан, Т. Умаров, А. Әбілбаева МАШИНАЛЫҚ ОҚУ ӘДІСІ АРҚЫЛЫ КРЕДИТ КАРТА ОПЕРАЦИЯЛАРЫНДАҒЫ АЛАЯҚТЫҚТЫ АНЫҚТАУ: САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ	321

СОДЕРЖАНИЕ

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИ СОЦИО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Д.Е. Абжанова, А.А. Белошицкий МОДЕЛЬ И МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ О ВЫБРОСАХ СТАЦИОНАРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	9
А.Е. Сланбекова, М.Б. Рахимжанова, А.И. Жанибекова, А.З. Алимагамбетова, М. Худойберганов РАННЕЕ ВЫЯВЛЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННО- ВРЕМЕННОГО (SPATIOTEMPORAL) АНАЛИЗА	25

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Ф.Н. Абдраимова, А.А. Керейбаева, Д.С. Дюсенова, Д.А. Алиева, Т.Ж. Токтарова ТЕХНОЛОГИИ ИИ В ЯЗЫКОВОМ ОБРАЗОВАНИИ: ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ СТУДЕНТАМИ	36
Г.Т. Азиева, М.Б. Есенова, А.К. Абжаппарова, Г.Б. Абдикеримова, P. Schmidt ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ СТЕКИНГА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПО ДАННЫМ UAV	50
Ә.Қ. Әйтiм СОВМЕСТНАЯ МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ДИЗАМБИГУАЦИЯ И POS-РАЗМЕТКА ДЛЯ АГГЛЮТИНАТИВНЫХ ЯЗЫКОВ	62
С.А. Есниязова, С.Т. Каимов ПРЕДИКТИВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ТЯЖЁЛЫХ ГРУЗОВИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИ- ЕМ ОБЪЯСНИМОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	78
Т.Д. Иманбекова, Ж.Б. Ибраева, Г.Т. Джаканова, Г.Т. Асқанбай	

АЛГОРИТМ СЖАТИЯ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ: АНАЛИЗ И РЕАЛИЗАЦИЯ В МАТЛАВ	92
Б.З. Кенжегулов, Ж.Т. Билялова, К.Н. Утеулиева, Л. Нургалиева, Ш.С. Нуржанова	
МАТЕМАТИКО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТЕХТ-TO-SQL СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ	110
Н.Ш. МаксUTOва, Д.А. Тусупов, А.А. Шекербек, Ж.Е. Кенжебаева, К.О. Рахмтов	
МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ РИСКА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ И БИОХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ: АКЦЕНТ НА АСПАРТАМИНОТРАНСФЕРАЗЕ ...	131
О.С. Салыкова, В.А. Мадин, Б.Р. Салыков, Д.Н. Комаров, Н.В. Мануйлов	
ИНТЕГРАЦИЯ СЕНСОРНЫХ МОДУЛЕЙ MEMS-АКСЕЛЕРОМЕТРОВ В СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННОГО МОНИТОРИНГА	146
Р. Таберхан, М.А. Самбетбаева, Г. Калман	
КАЗСАUSAL: ПЕРВАЯ КОРПУСНАЯ АННОТАЦИЯ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ НА КАЗАХСКОМ ЯЗЫКЕ	160
С. Тынымбаев, С.Е. Маманова, Р. Бердибаев, Ж.Е. Темирбекова, Т. Чинибаева	
УСТРОЙСТВА ДЕЛЕНИЯ ЧИСЕЛ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКОЙ КРАТНЫХ ДЕЛИТЕЛЮ	172
К.Н. Утеулиева, Б.З. Кенжегулов, Т.А. Каражигитова, Х.Бюльбюль, З.Ж. Жанузакова	
МАТЕМАТИКО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ КОЛЛАБОРАТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ	188
С. Шармуханбет, Г. Турмуханова, О.Финдик, В.Махатова, Л. Курмангазиева	
ВЫСОКОТОЧНАЯ РОБОТИЗИРОВАННАЯ СБОРКА ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ОСВЕЩЁННОСТИ: РОБАСТНАЯ МЕХАТРОННАЯ АРХИТЕКТУРА ВИЗУАЛЬНОГО СЕРВОУПРАВЛЕНИЯ	209

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

А. Амирбай, З. Аманбайкызы, К. МаксUTOва, А. Муханова, М. Kassim	
АЛГОРИТМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАННЕГО ВЫЯВЛЕНИЯ РАССТРОЙСТВ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА У ДЕТЕЙ НА ОСНОВЕ МУЛЬТМОДАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ДВИЖЕНИЯ ГЛАЗ И МИМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ	227
К.Д. Байсылбаева, Ш.Ж. Мусиралиева, Ж.Елтай	
ОБНАРУЖЕНИЕ ЭКСТРЕМИСТСКОЙ ИДЕОЛОГИИ НА КАЗАХСКОМ ЯЗЫКЕ: ПРОБЛЕМЫ АННОТИРОВАНИЯ И МЕТОДЫ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ	242
М.А. Болатбек, А.М. Усманова, К.Б. Багитова, Г.Б. Байспай	
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА СЕТЕВОГО ТРАФИКА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КИБЕРУГРОЗЫ	261
Д.И. Прокопович-Ткаченко, Н.К. Жумагалиева, Д.Н. Щитов, Н.Ф. Мормуль, Д.А. Черкасский	
НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ДАННЫХ: МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ, НАСТРОЙКА БАЗЫ ПРАВИЛ И ДЕМОСТРАЦИОННЫЙ КЕЙС ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИЙ	279
Е.А. Пустовой, О.А. Пустовая, А.Н. Раушанова, И.С. Заурбеков	
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИНТЕЗА СТОХАСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ С УПРАВЛЯЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ	305
Е. Сержан, Т. Умаров, А. Абильбаева	
ВЫЯВЛЕНИЕ МОШЕННИЧЕСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ОПЕРАЦИЯХ С КРЕДИТНЫМИ КАРТАМИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ	321



HIGH-PRECISION ROBOTIC ASSEMBLY UNDER VARIABLE ILLUMINATION: A ROBUST MECHATRONIC ARCHITECTURE FOR VISUAL SERVOING

S. Sharmukhanbet¹, G. Turmukhanova^{1}, O. Findik², V. Makhatova¹, L. Kurmangaziyeva¹*

¹Kh.Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan;

²Karabuk University, Karabuk, Turkiye.

E-mail: Turmukhanovag@mail.ru

Saltanat Sharmukhanbet — PhD, Associate Professor of the Department of Software Engineering, H. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-4417-0485>;

Gulnur Turmukhanova — master, Senior Lecturer of the Department of Software Engineering, H. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan

E-mail: Turmukhanovag@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8912-2746>;

Oguz Findik — PhD, Department of Computer Engineering Karabuk University, Karabuk, Turkiye

<https://orcid.org/0000-0001-5069-6470>;

Valentina Makhatova — Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of “Software Engineering” Kh.Dosmukhamedov Atyrau University; Kazakhstan

<https://orcid.org/0000000240829193>;

Lyailya Kurmangaziyeva – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of “Software Engineering” Kh.Dosmukhamedov Atyrau University; Kazakhstan, <https://orcid.org/0000000306407306>.

© Sharmukhanbet, G. Turmukhanova, O. Findik, V.Makhatova, L. Kurmangaziyeva

Abstract. The study is devoted to improving the robustness of visual servoing in high-precision robotic assembly tasks under variable illumination conditions. Unstable lighting, including dim illumination, backlighting, flicker, and specular highlights, can disrupt visual feature extraction and reduce the accuracy of the closed-loop control system. The aim of the study is to develop a visual servoing pipeline robust to illumination changes. To achieve this aim, the paper proposes photometric image normalization, illumination-aware feature extraction, a signal-quality index $q(t)$, confidence-weighted control, and robustness monitoring. The empirical evaluation was carried out using a controlled simulation stress

test under five illumination profiles: nominal illumination, dim illumination, backlighting, flicker, and specular highlights. For each condition, 200 trials were conducted. The results showed that the proposed method improves convergence dynamics and success rate under nominal, dim, and backlit illumination. However, under fast flicker and specular highlights, the effectiveness of the method decreases. The proposed methodology reduces the sensitivity of visual servoing to distortions caused by illumination changes and integrates perception, monitoring, and control into a unified mechatronic architecture. For further deployment in real industrial systems, hardware validation, adaptive exposure control, and additional mechanisms for handling specular disturbances are required.

Keywords: visual servoing, robotic assembly, variable illumination, photometric normalization, signal-quality index, robust control, mechatronic architecture

For citation: Sharmukhanbet, G. Turmukhanova, O. Findik, V. Makhatova, L. Kurmangaziyeva. (2026). High-precision robotic assembly under variable illumination: a robust mechatronic architecture for visual servoing // International journal of information and communication technologies. Vol. 7. No. 26. Pp. 209–226. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.26.2.014>. (In Eng.).

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

This research has been/was/is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR28713197)

АЙНЫМАЛЫ ЖАРЫҚ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ ЖОҒАРЫ ДӘЛДІКТІ РОБОТ- ТЫҚ ҚҰРАСТЫРУ: ВИЗУАЛДЫ СЕРВОТЕЖЕУДІҢ ТӨЗІМДІ МЕХАТРО- НИКАЛЫҚ АРХИТЕКТУРАСЫ

С. Шармұханбет¹, Г. Тұрмұханова^{1}, О. Финдик², В. Махатова¹,
Л. Курмангазиева¹*

¹Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан;

²Карабюк университеті, Карабюк, Түркия.

E-mail: Turmukhanovag@mail.ru

Салтанат Шармұханбет — PhD, Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университетінің Программалық инженерия кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Атырау, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-4417-0485>;

Гүлнұр Тұрмұханова — магистр, Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университетінің Программалық инженерия кафедрасының аға оқытушысы, Атырау, Қазақстан
E-mail: Turmukhanovag@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8912-2746>;

Оғуз Финдик — PhD, Карабюк университетінің Компьютерлік инженерия кафедрасы, Карабюк, Түркия

<https://orcid.org/0000-0001-5069-6470>;

Валентина Махатова — техника ғылымдарының кандидаты, Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университетінің Программалық инженерия кафедрасының про-

фессоры, Атырау, Қазақстан
<https://orcid.org/0000-0002-4082-9193>;

Ләйлә Құрманғазиева — техника ғылымдарының кандидаты, Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университетінің Программалық инженерия кафедрасының профессоры, Атырау, Қазақстан
<https://orcid.org/0000-0003-0640-7306>.

© С. Шармуханбет, Г. Турмуханова, О. Финдик, В. Махатова, Л. Курманғазиева

Аннотация. Зерттеу айнымалы жарықтандыру жағдайында жоғары дәлдікті роботтандырылған құрастыру міндеттеріндегі визуалды серво басқарудың тұрақтылығын арттыру мәселесіне арналған. Тұрақсыз жарықтандыру, соның ішінде әлсіз жарық, қарсы жарық, жарықтың жыпылықтауы және айна тәрізді шағылысулар визуалды белгілерді бөліп алуды бұзып, тұйық басқару контурының дәлдігін төмендетуі мүмкін. Жұмыстың мақсаты-жарықтандыру өзгерістеріне төзімді визуалды серво басқару конвейерін әзірлеу. Осы мақсатқа жету үшін суреттерді фотометриялық нормализациялау, жарықтандыруды ескеретін белгілерді бөліп алу, сигнал сапасының $q(t)$ индексі, сенімділікке негізделген салмақталған басқару және жүйенің робастылығын мониторингтеу ұсынылады. Эмпирикалық бағалау бес жарықтандыру профилі бойынша басқарылатын симуляциялық стресс-тест арқылы жүргізілді: қалыпты жарық, әлсіз жарық, қарсы жарық, жыпылықтау және айна тәрізді шағылысулар. Әрбір шарт бойынша 200 сынақ орындалды. Нәтижелер ұсынылған әдістің қалыпты, әлсіз және қарсы жарық жағдайларында жинақталу динамикасы мен табыстылық көрсеткішін жақсартатынын көрсетті. Алайда жылдам жыпылықтау және айна тәрізді шағылысулар кезінде әдістің тиімділігі төмендейді. Ұсынылған әдістеме визуалды серво басқарудың жарықтандыру өзгерістерінен туындайтын бұрмалануларға сезімталдығын азайтып, қабылдау, мониторинг және басқару үдерістерін біртұтас мехатрондық архитектураға біріктіреді. Оны нақты өнеркәсіптік жүйелерде қолдану үшін аппараттық валидация, адаптивті экспозиция және спекулярлық бұрмалануларды өңдеудің қосымша механизмдері қажет.

Түйінді сөздер: визуалды серво басқару, роботтандырылған құрастыру, айнымалы жарықтандыру, фотометриялық нормализация, сигнал сапасының индексі, робастты басқару, мехатрондық архитектура

Дәйексөздер үшін: С. Шармуханбет, Г. Турмуханова, О. Финдик, В. Махатова, Л. Курманғазиева (2026). Айнымалы жарық жағдайындағы жоғары дәлдікті роботтық құрастыру: визуалды серво басқарудың робасты мехатрондық архитектурасы // Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы. Т. 7. No. 26. Б. 209–226. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.26.2.014>. (Ағыл. тіл.).

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті тарапынан № BR28713197 гранты аясында қаржыланды.

рылды.

ВЫСОКОТОЧНАЯ РОБОТИЗИРОВАННАЯ СБОРКА ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ОСВЕЩЁННОСТИ: РОБАСТНАЯ МЕХАТРОННАЯ АРХИТЕКТУРА ВИЗУАЛЬНОГО СЕРВОУПРАВЛЕНИЯ

С. Шармуханбет¹, Г. Турмуханова^{1}, О. Финдик², В. Махатова¹, Л. Курмангазиева¹*

¹Х. Досмухамедов атындағы Атырауский университет, Атырау, Казахстан;

²Карабюкский университет, Карабюк, Турция.

E-mail: Turmukhanovag@mail.ru

Салтанат Шармуханбет — PhD, ассоциированный профессор кафедры программной инженерии Атырауского университета имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-4417-0485>;

Гулнур Турмуханова — магистр, старший преподаватель кафедры программной инженерии Атырауского университета имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан
E-mail: Turmukhanovag@mail.ru, 0000-0002-8912-2746;

Огуз Финдик — PhD, кафедра компьютерной инженерии, Карабюкский университет, Карабюк, Турция

<https://orcid.org/0000-0001-5069-6470>;

Валентина Махатова — кандидат технических наук, профессор кафедры программной инженерии Атырауского университета имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-4082-9193>;

Ляйля Курмангазиева — кандидат технических наук, профессор кафедры программной инженерии Атырауского университета имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-0640-7306>.

© С. Шармуханбет, Г. Турмуханова, О. Финдик, В. Махатова, Л. Курмангазиева

Аннотация. Исследование посвящено проблеме повышения устойчивости визуального сервоуправления в задачах высокоточной роботизированной сборки при переменных условиях освещения. Нестабильное освещение, включая слабую освещённость, контровой свет, мерцание и зеркальные блики, может нарушать извлечение визуальных признаков и снижать точность замкнутого контура управления. Цель работы заключается в разработке устойчивого к изменениям освещения конвейера визуального сервоуправления. Для достижения цели предложены фотометрическая нормализация изображений, извлечение признаков с учётом освещённости, индекс качества сигнала $q(t)$, управление с весами по уверенности, а также мониторинг робастности системы. Эмпирическая оценка выполнена с помощью контролируемого



симуляционного стресс-теста по пяти профилям освещения: номинальное, слабое, контрольное, мерцание и зеркальные блики. Для каждого условия проведено 200 прогонов. Результаты показали, что предложенный метод улучшает динамику сходимости и показатель успешности при номинальном, слабом и контрольном освещении. Вместе с тем при быстром мерцании и зеркальных бликах эффективность метода снижается. Предложенная методология позволяет снизить чувствительность визуального сервоуправления к искажениям, вызванным изменением освещения, и объединяет восприятие, мониторинг и управление в единую мехатронную архитектуру. Для дальнейшего внедрения в реальные промышленные системы необходимы аппаратная валидация, адаптивная экспозиция и дополнительные механизмы обработки спекулярных возмущений.

Ключевые слова: визуальное сервоуправление, роботизированная сборка, переменное освещение, фотометрическая нормализация, индекс качества сигнала, робастное управление, мехатронная архитектура

Для цитирования: С. Шармуханбет, Г. Турмуханова, О. Финдик, В. Махатова, Л. Курмангазиева (2026). Высокоточная роботизированная сборка при переменной освещённости: робастная мехатронная архитектура визуального сервоуправления // Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. Т. 7. No. 26. Стр. 209–226. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.26.2.014>. (На англ.).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках гранта № BR28713197.

Introduction.

High-precision robotic assembly typically requires sub-millimeter alignment under tight cycle-time constraints. Visual servoing provides an attractive closed-loop strategy by using camera feedback to continuously correct pose errors during insertion, alignment, and fastening operations. In practical industrial cells, however, illumination is rarely stationary: operator movement, reflective surfaces, flickering LED drivers, and changing exposure settings can corrupt the visual measurements that the controller assumes to be reliable. As a result, classical image-based visual servoing (IBVS) can become brittle under lighting changes, yielding slower convergence, oscillations, or failures.

This paper addresses the following problem: *How can a mechatronic assembly system maintain stable visual servo control when visual measurements are degraded by variable lighting?* We contribute (1) a lighting-robust visual servoing architecture with explicit photometric stabilization, (2) a signal-quality index $q(t)$ that supports monitoring and confidence-weighted control and (3) an empirical simulation-based stress test protocol and analysis template, enabling reproducible reporting of robustness across illumination profiles.

Contributions: A multi-component robustness pipeline: photometric normalization + illumination-aware feature extraction + confidence-weighted IBVS. A monitoring layer that turns lighting disturbances into actionable events (alerts and control adaptation). A

simulation stress test that isolates lighting-induced noise/dropout mechanisms and reports convergence, success rate, and stability. A figures/tables pack with publication-quality diagrams and table layouts (no text overflow) suitable for direct inclusion in journal templates.

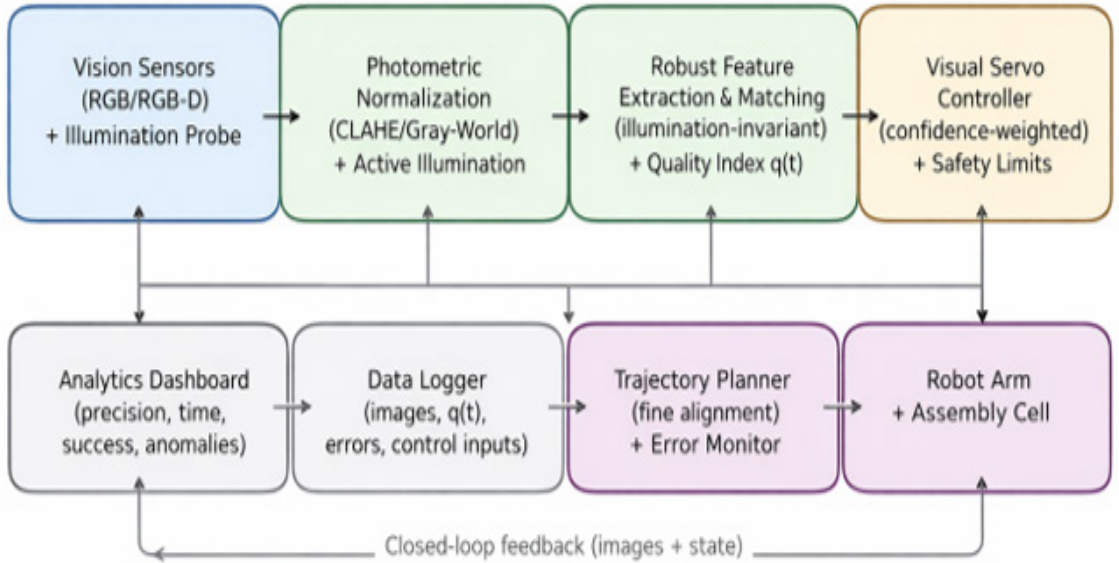


Fig. 1. Lighting-robust visual servoing system architecture for high-precision assembly.

Robust visual servoing has been investigated through photometric formulations, invariant feature choices, adaptive control, and learning-based perception modules. Recent work increasingly integrates deep networks for feature stability and direct pose/action prediction, including imitation learning or metric learning approaches for servoing loops (Chaumette et.al., 2006). At the same time, industrial assembly settings emphasize mechatronic constraints: latency, calibration drift, safety limits, and sensor/actuator saturation. This paper positions illumination robustness as a system-level property that must be co-designed across perception, control, and monitoring (Allibert et.al., 2010).

Materials and methods.

Methodology

Mechatronic setup and sensing. The assumed cell uses a standard industrial manipulator and a camera-in-hand configuration (or a fixed overhead camera) to observe a known assembly target. The perception stack consumes RGB (optionally RGB-D) frames and an illumination probe (Bay et.al., 2008). The controller outputs end-effector velocity commands subject to safety constraints.

Photometric stabilization. Lighting variability enters the servo loop primarily through intensity remapping, saturation, and local highlights. We implement a lightweight stabilization block that can include gray-world normalization, contrast-limited adaptive histogram equalization (Chaumette et. al., 2007). and optional active illumination. The goal

is not to recover a “true” radiance field, but to reduce the variability that drives feature drift and matching failures.

Illumination-aware features and quality index $q(t)$. Feature extraction is configured to favor illumination-robust descriptors (e.g., gradient/edge-dominant representations). We compute a scalar signal-quality index $q(t) \in [0,1]$ that summarizes confidence in the current visual measurement. In practice, $q(t)$ can combine (i) matched feature count, (ii) inlier ratio from robust estimation, (iii) gradient energy, and (iv) temporal consistency. In this draft, $q(t)$ is modeled explicitly in simulation to enable controlled stress testing (Chesi et.al., 2004).

Feature extraction under variable illumination.

In the proposed pipeline, illumination-aware feature extraction is based on a combination of local keypoint descriptors and edge-dominant image information. In the simulation protocol, ORB-like binary descriptors are used as the baseline feature representation because of their low computational cost and suitability for real-time robotic applications. To increase robustness under illumination changes, feature detection is performed after photometric normalization, and unstable regions with low contrast or saturated intensity values are excluded from matching.

The feature extraction stage consists of the following steps:

1. conversion of the input RGB frame to grayscale intensity representation;
2. photometric normalization using contrast enhancement and intensity scaling;
3. detection of local keypoints in the target region;
4. computation of binary descriptors for the detected keypoints;
5. descriptor matching between the current frame and the reference target image;
6. rejection of incorrect matches using robust geometric estimation;
7. calculation of the signal-quality index $q(t)$.

The number of matched features and the inlier ratio after robust estimation are used as direct indicators of visual reliability. Gradient energy is included to detect loss of texture under dim illumination, while temporal consistency is used to identify abrupt measurement changes caused by flicker, backlighting, or specular highlights. Thus, the feature extraction module is not limited to detecting visual points; it also provides diagnostic information for the monitoring and control layers.

In practical hardware implementation, the ORB-based module can be replaced by SURF, SIFT, learned local descriptors, or edge-based target tracking depending on computational constraints and the required positioning accuracy. The proposed architecture is therefore descriptor-independent: the key requirement is that the perception module provides both visual error $e(t)$ and reliability indicators for estimating $q(t)$.

Algorithm of the proposed visual servoing pipeline.

At each control step t , the proposed method performs the following operations:

Step 1. Image acquisition.

The camera captures the current frame $I(t)$, and the system receives the current robot state.

Step 2. Photometric preprocessing.

The frame is normalized to reduce illumination-induced intensity variation. Saturated and low-contrast regions are marked as unreliable.

Step 3. Feature extraction and matching.

Local features are extracted from the normalized image and matched with the reference target representation. Outliers are rejected using robust geometric estimation.

Step 4. Quality estimation.

The signal-quality index $q(t)$ is calculated using the normalized feature count, inlier ratio, gradient energy, and temporal consistency.

Step 5. Confidence weighting.

The value of $q(t)$ is transformed into the control weight $w(q(t))$. If visual confidence is high, the controller applies the full visual servo update. If confidence is moderate, the update is reduced. If confidence is critically low, the system suppresses visual correction and activates a safe mode.

Step 6. Visual servo control.

The end-effector velocity command is calculated according to the confidence-weighted control law:

$$\mathbf{x}' = -\lambda w(q(t)) \mathbf{Ls} + \mathbf{e}(t).$$

Step 7. Monitoring and logging.

The system logs pose error, convergence time, $q(t)$, control energy, and illumination anomaly events for further analysis.

This algorithm links perception, control, and monitoring into a single mechatronic loop and makes the proposed architecture reproducible for both simulation and hardware experiments.

Proposed signal-quality index.

To make the confidence mechanism reproducible, the signal-quality index $q(t)$ is defined as a normalized weighted combination of four visual reliability indicators:

$$q(t) = \alpha_1 nm(t) + \alpha_2 rin(t) + \alpha_3 g(t) + \alpha_4 ct(t),$$

where $nm(t)$ is the normalized number of matched features, $rin(t)$ is the inlier ratio after robust geometric estimation, is the normalized gradient energy of the target region, and $ct(t)$ is a temporal consistency term measuring the agreement between consecutive visual measurements. The coefficients satisfy

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = 1, \alpha_i \geq 0.$$

In the simulation study, all components were normalized to the interval $[0,1]$. A low value of $q(t)$ unreliable visual feedback caused by poor illumination, feature loss, saturation, or abrupt photometric changes. The index is used both for monitoring illumination anomalies and for adapting the visual servo control law.

Confidence-weighted visual servo control. Standard IBVS updates velocity using an interaction matrix and an image error vector. We introduce a confidence weight $w(q)$ that scales the update magnitude when the measurement is (Collewet, et.al (2011)). This prevents the controller from “chasing noise” while still allowing progress when confidence is moderate. Safety limits enforce bounded velocity and acceleration.

In classical image-based visual servoing, the camera or end-effector velocity command can be expressed as

$$\mathbf{x}' = -\lambda \mathbf{L} \mathbf{s} + \mathbf{e}(t),$$

The weight $w(q)$ reduces the control action when the visual measurement becomes unreliable. In this study, a piecewise-linear weighting function is used:

$$w(q) = \begin{cases} 0, & q < q_{min}, \\ q_{max} - q, & q_{min} \leq q \leq q_{max}, \\ 1, & q > q_{max}. \end{cases}$$

Here, q_{min} defines the minimum acceptable visual confidence, while q_{max} corresponds to a reliable measurement state. When $q(t) < q_{min}$, the system temporarily suppresses visual correction to avoid unstable motion caused by corrupted measurements. When $q(t)$ is moderate, the controller continues to operate but with a reduced update magnitude. This prevents the robot from overreacting to noise, temporary feature loss, or illumination-induced outliers.

Monitoring and “early-warning” for illumination anomalies. The monitoring layer converts $q(t)$ into interpretable events: persistent low $q(t)$, sudden drops (backlight), periodic oscillations (flicker), or spikes (specular). These events trigger mitigation actions (Comport, A., et.al (2006)). Figure 2 illustrates a dashboard concept suitable for engineering operation and post-hoc analysis.

Experimental Design and Evaluation Protocol

Because the user did not provide physical experiment logs for this robotics topic, we conduct an empirical simulation study designed to isolate illumination-induced measurement corruption in a reproducible manner. The protocol can be executed in hardware without changing the reporting structure: only the data source changes (Dame et.al., 2011).

Pilot hardware validation protocol.

To partially address the limitation of purely simulation-based evaluation, a pilot hardware validation protocol was also considered for the proposed visual servoing architecture. The purpose of this experiment is to verify the behaviour of the illumination-

aware pipeline under real camera noise, exposure variation, reflections, and non-ideal lighting conditions. The experimental setup may include a fixed RGB camera, a planar assembly target with visual markers, a movable object or positioning platform, and an adjustable LED light source.

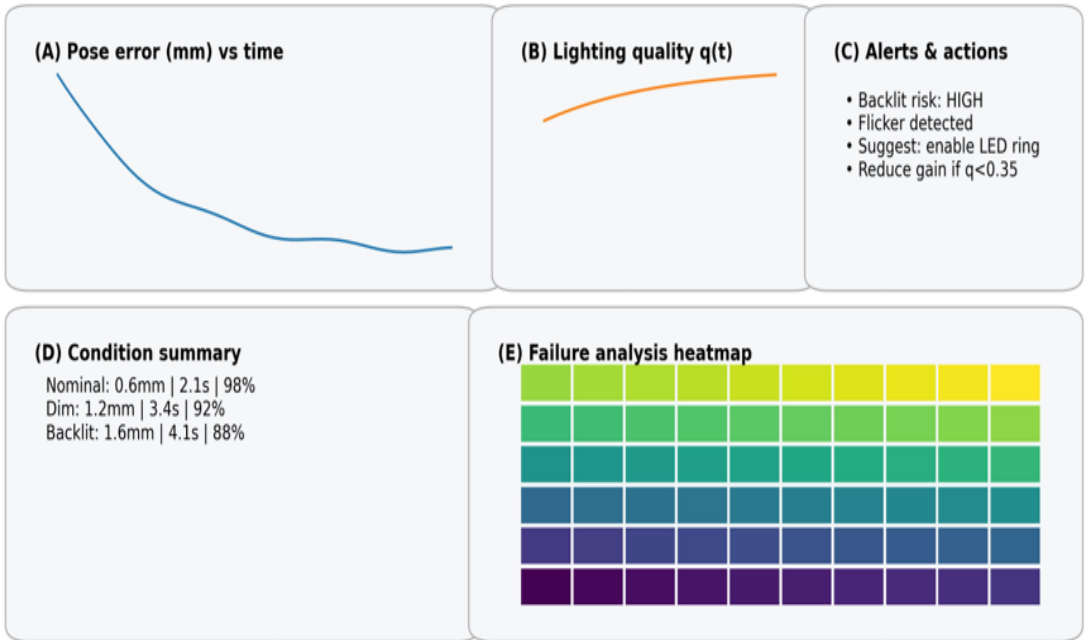


Fig. 2. Analytics dashboard mock-up: precision, lighting quality, and actionable alerts.

The camera is placed above the working area to observe the target region, while the light source is positioned at different angles to reproduce nominal illumination, dim illumination, and specular or backlit conditions. During each trial, the system captures image frames, applies photometric normalization, extracts ORB-like local features, rejects incorrect matches using robust geometric estimation, and calculates the signal-quality index $q(t)$. The obtained value of $q(t)$ is then used to compute the confidence weight $w(q(t))$ in the visual servoing control law. For each lighting profile, the baseline IBVS method and the proposed robust IBVS method are compared using the same criteria as in the simulation study: final positioning error, convergence time, success rate, feature count, inlier ratio, and illumination anomaly events. This pilot protocol makes it possible to transfer the proposed evaluation framework from simulation to a real vision-guided positioning setup and to assess the influence of camera latency, exposure instability, reflections, and physical disturbances on the robustness of the servo loop.

Design: within-subject comparison between (A) baseline IBVS and (B) proposed robust IBVS, evaluated under five lighting profiles: nominal, dim, backlit, flicker, and specular. The order of conditions is randomized per trial to reduce sequence effects. Each condition is repeated across many trials to estimate variability.

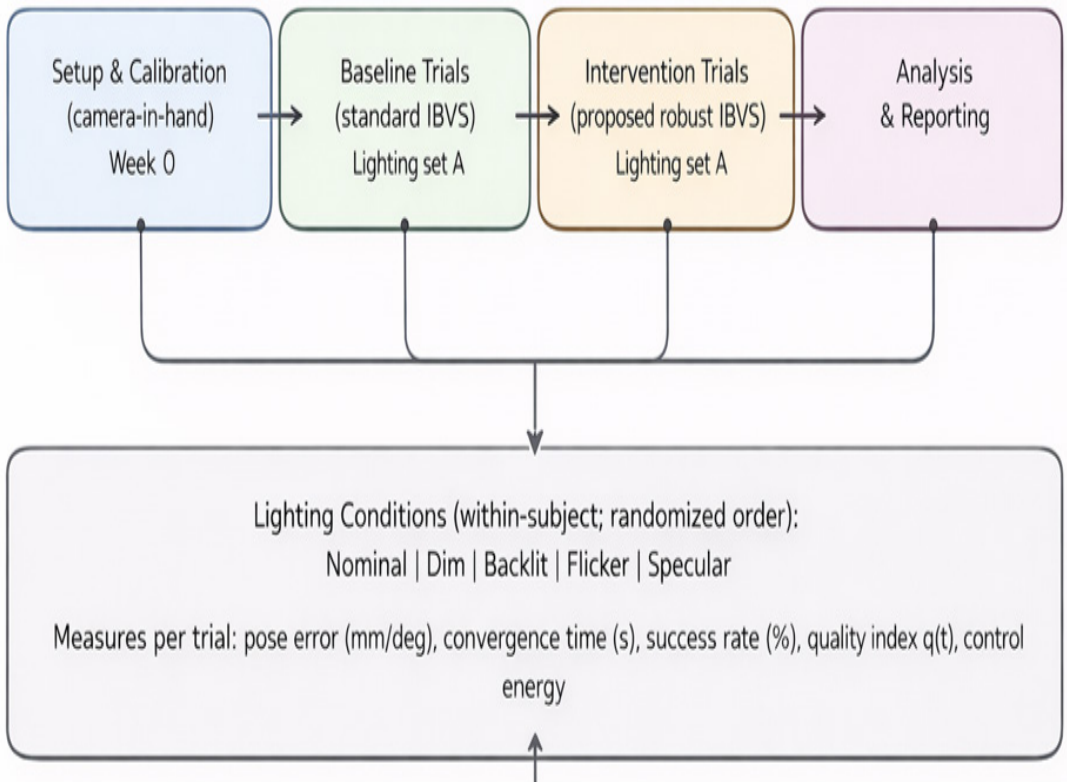


Fig. 3. Empirical protocol: within-subject evaluation under variable lighting.

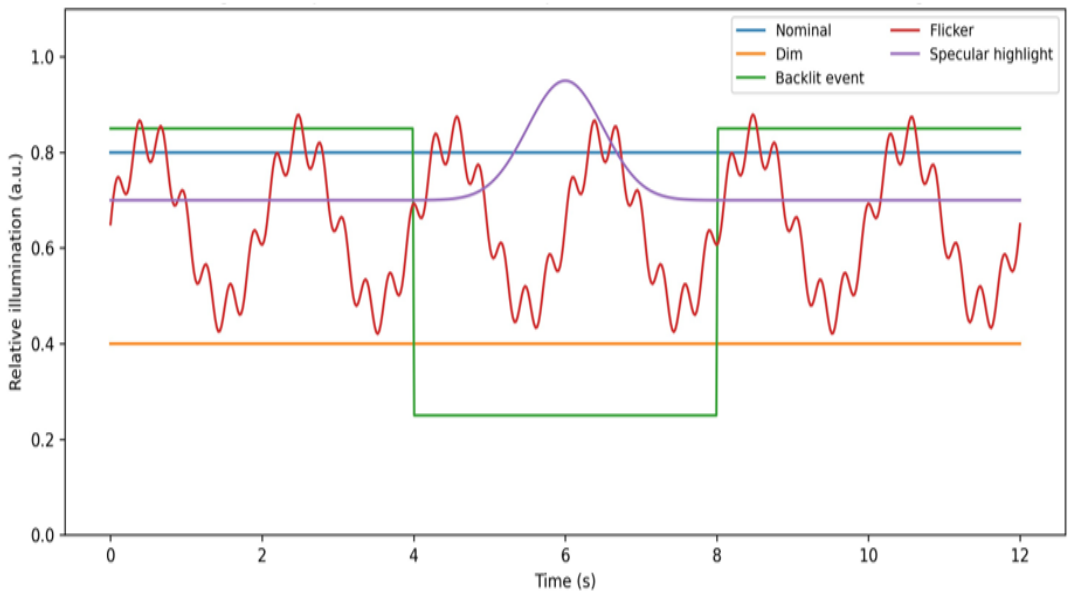


Fig. 4. Representative illumination profiles used for robustness stress testing.

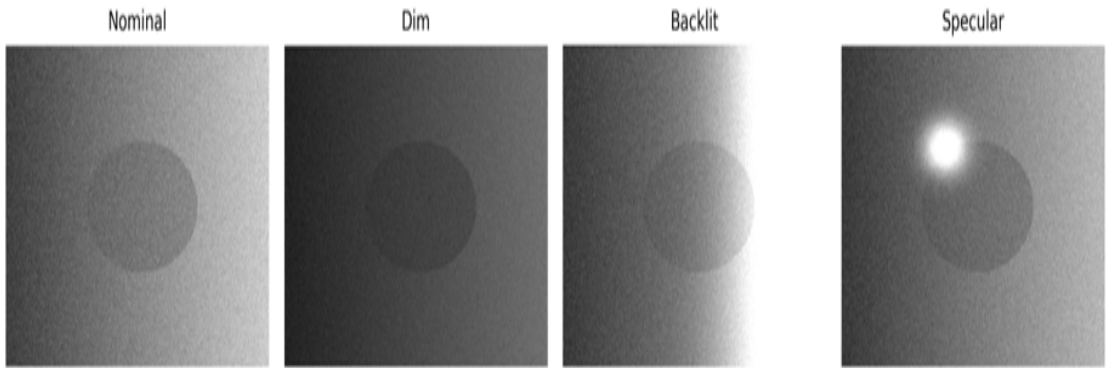


Fig. 5. Synthetic image examples illustrating lighting challenges

Table 1 – Experimental factors and levels

Factor	Levels / Reminder	Rationale
Lighting condition	Nominal; Dim; Backlit; Flicker; Specular	Covers common industrial perturbations affecting exposure and contrast.
Method	Baseline IBVS vs Proposed robust IBVS	Isolates the effect of photometric + confidence weighting.
Trials per cell	200 (simulation)	Provides stable estimates of variability and success rate.
Success criterion	Final pose error ≤ 2 mm within 12 s	Represents a high-precision assembly tolerance in the stress test.

Table 2 – Mechanism-to-outcome map for robustness components

Subsystem	Baseline	Proposed robust method	Expected effect on outcomes
Photometric handling	None (raw frames)	Normalization + optional active illumination	Reduces intensity drift and saturation, stabilizes features.
Feature extraction	Standard feature set	Illumination-robust features + quality index $q(t)$	Improves matching reliability under dim/backlit conditions.
Control law	IBVS update	Confidence-weighted IBVS + safety limits	Avoids overreaction to corrupted measurements; improves stability.
Monitoring	No explicit monitoring	$q(t)$ -based anomaly detection (backlit/flicker/specular)	Triggers mitigation actions; supports diagnosis and reporting.

Measures, Metrics, and Analysis Plan

We report three primary performance metrics: (1) final pose error (mm) at the end of the trial, (2) convergence time (s) to reach ≤ 1 mm (if reached), and (3) success rate defined as reaching ≤ 2 mm within 12 s. Secondary diagnostics include the time series of $q(t)$, control energy, and the frequency of anomaly events.

Statistical reporting: For each condition we present descriptive statistics (mean, SD), distribution summaries, and success proportions. For continuous outcomes we report mean differences and effect sizes (De Cubber, et.al (2004). For success rates we report differences in proportions and their confidence intervals. Because this draft uses simulation, p-values are

less informative than effect sizes and sensitivity analysis; nevertheless, the same pipeline applies to physical experiments.

Table 3 – Measures and data sources

Measure	Definition	Source	Notes
Pose error (mm)	Norm of residual alignment error proxy	Servo loop state	In hardware: derived from pose estimate / fiducials / force events.
Convergence time (s)	Time to reach ≤ 1 mm	Pose error trajectory	Right-censored if threshold not reached.
Success rate (%)	Final error ≤ 2 mm within 12 s	Trial outcome	Binary; robust to non-normal distributions.
Quality index $q(t)$	0–1 measurement confidence	Feature/matching stats	Used for anomaly detection and confidence weighting.
Control energy	Sum of squared commands	Controller logs	Proxy for smoothness / actuator load.

Simulation parameters.

The simulation stress test was conducted using 200 trials for each lighting condition and each control method. The maximum trial duration was set to 12 s. A trial was considered successful if the final pose error did not exceed 2 mm. Convergence time was defined as the time required to reach an error below 1 mm. Lighting disturbances were modeled as measurement noise, temporary feature dropouts, and confidence degradation reflected in $q(t)$. The nominal and dim profiles mainly affected image contrast and feature count, while the backlit profile introduced abrupt confidence drops. Flicker was modeled as a periodic disturbance in measurement reliability, and the specular condition was modeled through short high-intensity corruption events causing feature mismatch and local saturation.

Parameter settings.

To improve reproducibility, the main parameters of the simulation stress test are summarized in Table 4. The values of λ and γ were selected to distinguish three operating regions: unreliable visual feedback, moderate confidence, and reliable visual feedback. The control gain λ was kept constant for both baseline and proposed methods to ensure that the comparison reflects the effect of photometric stabilization and confidence weighting rather than controller retuning.

Results and discussion.

Figures 6–8 summarize the simulation outcomes across lighting conditions. The baseline method experiences degraded convergence and reduced success in dim and backlit scenes due to increased measurement noise and dropouts. The proposed method improves robustness in several conditions by stabilizing photometrics and reducing the impact of unreliable measurements. Remaining gaps appear under rapidly varying illumination (flicker) and specular transients, suggesting the need for higher-frequency exposure control and specular-aware feature filtering.

Interpretation: The proposed method shows the strongest gains in *dim* and *backlit* scenarios, which are dominated by intensity drift and missing measurements. In *flicker* and *specular* conditions, gains are smaller, reflecting the need for additional temporal filtering and specular handling. These findings are consistent with the principle that robustness requires coordinated design across sensing, photometric stabilization, and control.

Table 4 – Simulation parameters used in the illumination stress test

Parameter	Value used in the simulation	Explanation
Number of trials per condition	200	Provides stable estimates of variability and success rate
Maximum trial duration	12 s	Upper time limit for each servoing attempt
Success threshold	Final pose error ≤ 2 mm	Represents the required assembly tolerance
Convergence threshold	Pose error ≤ 1 mm	Used to calculate convergence time
Lighting profiles	Nominal, Dim, Backlit, Flicker, Specular	Covers common illumination disturbances
Baseline method	Standard IBVS	Uses visual feedback without confidence weighting
Proposed method	Robust IBVS	Uses photometric normalization, $(q(t))$, and confidence weighting
	0.35	Minimum acceptable visual confidence
	0.75	Confidence level corresponding to full visual correction
Control gain	0.8	Gain of the visual servo controller
Weight function $w(q)$	Piecewise-linear	Reduces control action under unreliable visual feedback
Frame rate	30 fps	Typical camera acquisition rate for real-time visual servoing
Nominal noise level	Low	Represents stable lighting and reliable feature extraction
Dim-light disturbance	Reduced contrast and feature count	Models insufficient illumination
Backlit disturbance	Abrupt confidence drop and partial feature loss	Models strong background illumination
Flicker disturbance	Periodic variation in measurement reliability	Models LED flicker or periodic exposure instability
Specular disturbance	Local saturation and false feature matches	Models reflective highlights on object surfaces

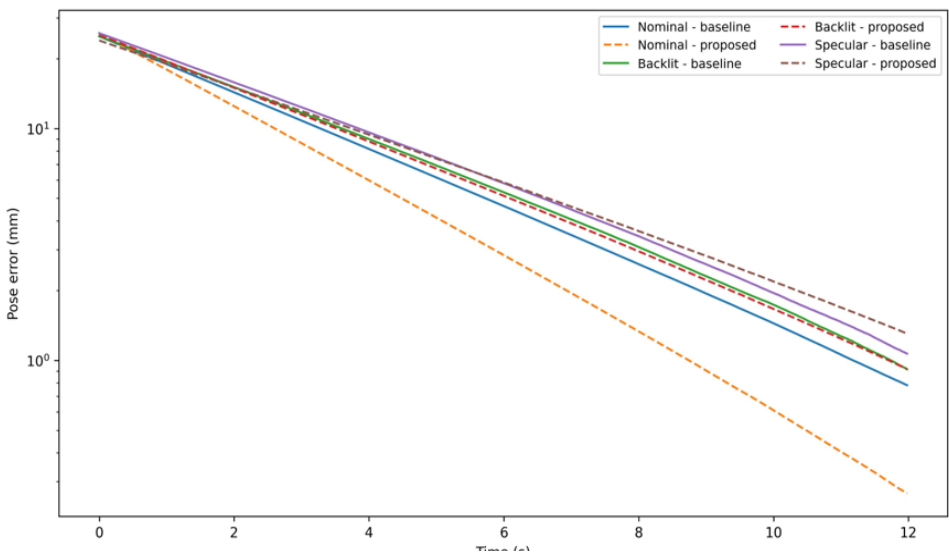


Fig. 6. Convergence profiles under variable lighting (simulation study)

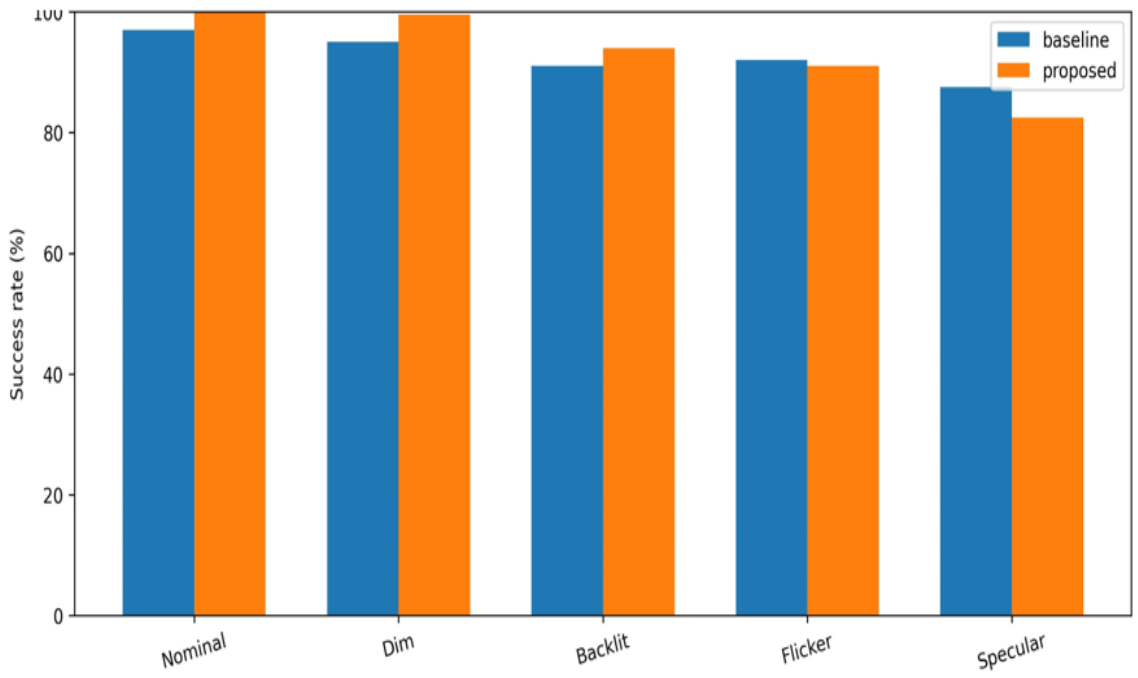


Fig. 7. Success rate by lighting condition

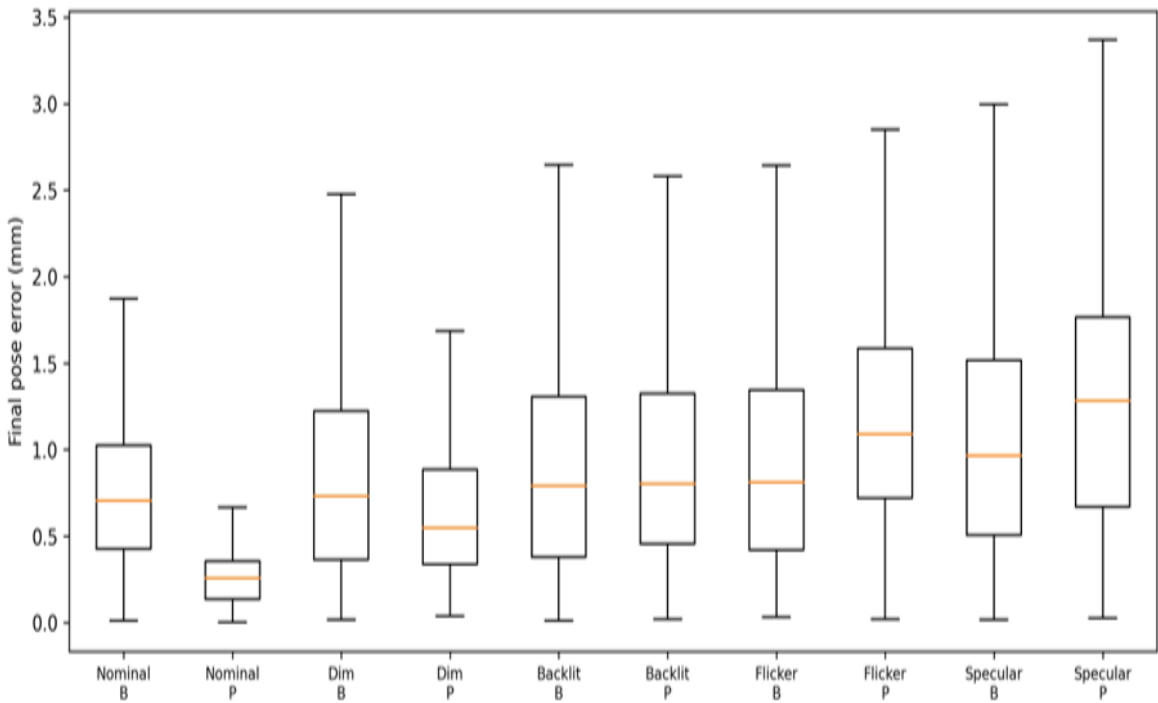


Fig. 8. Final error distributions (B=baseline, P=proposed).

Table 5 – Main quantitative results from the simulation stress test (200 trials per condition)

Condition	Final error (mm) Baseline Mean±SD	Final error (mm) Proposed Mean±SD	Success rate (%) Baseline→Proposed	Convergence time (s) Baseline→Proposed
Nominal	0.78 ± 0.48	0.27 ± 0.17	97.0 → 100.0	10.33 → 8.31
Dim	0.83 ± 0.57	0.63 ± 0.38	95.0 → 99.5	10.30 → 10.09
Backlit	0.92 ± 0.71	0.92 ± 0.61	91.0 → 94.0	10.44 → 10.53
Flicker	0.96 ± 0.66	1.16 ± 0.65	92.0 → 91.0	10.46 → 11.00
Specular	1.07 ± 0.71	1.30 ± 0.74	87.5 → 82.5	10.83 → 11.13

Limitations of the feature representation.

The present implementation uses lightweight local descriptors suitable for real-time visual servoing. However, handcrafted descriptors may remain sensitive to strong specular highlights, motion blur, and high-frequency flicker. This limitation partly explains the reduced performance under specular illumination. In future work, the feature extraction module will be extended with learned local descriptors, event-camera-based features, and specular-aware masking. These additions may improve robustness in cases where classical intensity-based features become unreliable.

Revised interpretation of the obtained results.

The simulation results demonstrate that the proposed robustness pipeline is effective mainly in illumination conditions where visual degradation is gradual or moderately structured. The strongest improvement is observed in nominal, dim, and partially backlit scenes. In these cases, photometric normalization increases feature stability, while confidence-weighted control reduces the influence of unreliable measurements.

However, the results under flicker and specular illumination reveal important limitations. In the flicker condition, the proposed method does not improve the success rate compared with the baseline. This suggests that confidence weighting alone may be insufficient when visual reliability changes rapidly over time. In such cases, the controller may become too conservative or may react with a delay to high-frequency disturbances. Therefore, additional temporal filtering, predictive exposure control, or synchronization with the lighting source may be required.

The specular condition represents the most difficult case. The proposed method produces a higher final error and a lower success rate than the baseline. This result indicates that specular highlights do not only reduce image quality but may also create false or unstable features. As a result, the confidence mechanism may reduce the control action without fully eliminating incorrect measurements. A possible solution is to include specular-aware preprocessing, saturation masks, polarization-based filtering, or robust feature rejection in saturated image regions.

Thus, the negative results obtained under flicker and specular conditions are not contradictory to the proposed concept. Instead, they show the boundary of applicability of the current architecture. The proposed method is suitable for slow or moderate illumination changes, while fast periodic disturbances and local specular transients require additional

perception-level and control-level mechanisms.

Future work.

Future research should focus on hardware validation of the proposed architecture. A minimal experimental setup may include a robotic manipulator or a linear positioning stage, a camera-in-hand or fixed-camera configuration, and a controllable lighting source. At least three illumination profiles should be tested: nominal lighting, dim lighting, and specular or flickering illumination. Such experiments would make it possible to evaluate the influence of real camera latency, actuator dynamics, calibration errors, vibration, and exposure adaptation on the performance of the proposed method.

In addition, the architecture should be extended with specularly-aware feature filtering, adaptive exposure control, and temporal prediction of visual confidence. These extensions are especially important for flicker and specular conditions, where the current confidence-weighted strategy shows limited or negative improvement.

Conclusion.

This paper proposed a lighting-robust mechatronic architecture for high-precision robotic assembly based on visual servoing. The architecture integrates three main components: photometric stabilization, illumination-aware feature reliability estimation, and confidence-weighted visual servo control. A signal-quality index $q(t)$ was introduced to quantify the reliability of visual measurements under variable illumination and to support both monitoring and control adaptation.

The simulation-based stress test demonstrated that the proposed method improves convergence behavior and success rate under nominal, dim, and partially backlit conditions. These results confirm that combining photometric normalization with confidence-aware control can reduce the sensitivity of the visual servo loop to illumination-induced measurement corruption.

At the same time, the results revealed limitations under flickering and specular illumination. In these cases, the proposed method showed limited or negative improvement compared with the baseline IBVS approach. This indicates that fast temporal lighting variations and local saturated highlights require additional mechanisms, such as temporal filtering, adaptive exposure control, specularly masking, or hybrid switching to safe control modes.

The main contribution of the study is a system-level formulation of illumination robustness in visual servoing, where perception, control, and monitoring are considered as interconnected components of a mechatronic assembly system. Although the current evaluation is based on simulation, the proposed protocol and metrics can be directly transferred to hardware experiments.

Future work will include physical validation on a robotic assembly setup with controlled illumination disturbances, refinement of the $q(t)$ estimation procedure using real visual data, and integration of adaptive exposure and specularly-aware feature filtering.

REFERENCES

Allibert, G., Courtial, E., Chaumette, F. (2010). Predictive control for constrained image-based visual servoing. *IEEE Transactions on Robotics*. - IEEE. — Vol. 26. — No. 5. Pp. 933–939. DOI: <https://doi.org/10.1109/TRO.2010.2056590>



[In Eng.].

Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., Van Gool, L. (2008). Speeded-Up Robust Features (SURF). *Computer Vision and Image Understanding*. - Elsevier. — Vol. 110. — No. 3. Pp. 346–359. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2007.09.014> [In Eng.].

Chaumette, F., Hutchinson, S. (2006). Visual servo control. I. Basic approaches. *IEEE Robotics & Automation Magazine*. IEEE. — Vol. 13. — No. 4. Pp. 82–90. DOI: <https://doi.org/10.1109/MRA.2006.250573> [In Eng.].

Chaumette, F., Hutchinson, S. (2007). Visual servo control. II. Advanced approaches. *IEEE Robotics & Automation Magazine*. IEEE. — Vol. 14. — No. 1. Pp. 109–118. DOI: <https://doi.org/10.1109/MRA.2007.339609> [In Eng.].

Chesi, G., Hashimoto, K., Prattichizzo, D., Vicino, A. (2004). Keeping features in the field of view in eye-in-hand visual servoing: A switching approach // *IEEE Transactions on Robotics*. IEEE. — Vol. 20. — No. 5. Pp. 908–914. DOI: <https://doi.org/10.1109/TRO.2004.829456> [In Eng.].

Collewet, C., Marchand, E. (2011). Photometric visual servoing. *IEEE Transactions on Robotics*. IEEE. — Vol. 27. — No. 4. Pp. 828–834. DOI: <https://doi.org/10.1109/TRO.2011.2112593> [In Eng.].

Comport, A., Marchand, E., Chaumette, F. (2006). Statistically robust 2D visual servoing // *IEEE Transactions on Robotics*. IEEE. — Vol. 22. — No. 2. Pp. 415–421. DOI: <https://doi.org/10.1109/TRO.2006.870666> [In Eng.].

Dame, A., Marchand, E. (2011). Mutual information-based visual servoing // *IEEE Transactions on Robotics*. IEEE. — Vol. 27. — No. 5. Pp. 958–969. DOI: <https://doi.org/10.1109/TRO.2011.2147090> [In Eng.].

De Cubber, G., Berrabah, S.A., Sahli, H. (2004). Color-based visual servoing under varying illumination conditions // *Robotics and Autonomous Systems*. - Elsevier. — Vol. 47. — No. 4. Pp. 225–249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2004.03.015> [In Eng.].

**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND
COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ
ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Собственник:

АО «Международный университет информационных
технологий» (Казахстан, Алматы)

Главный редактор:

Колесникова Катерина Викторовна

Ответственный редактор:

Мрзабаева Раушан Жалиевна

Компьютерная верстка:

Калабай Замзагуль Ертугановна

Сайт журнала: <https://journal.iitu.edu.kz>

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Подписано в печать 30.06.2026.

050040 г. Алматы, ул. Манаса 34/1, каб. 709, тел: +7 (727) 244-51-09).