

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та природокористування
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
Національний університет «Львівська політехніка»
Інститут прикладних проблем механіки і математики
ім. Я.С. Підстригача НАН України
Наукове товариство імені Шевченка
Академії наук вищої школи України
Інститут механіки і прикладної інформатики університету Казимира Великого в
Бидгощі (Польща)
Люблінська Політехніка (Польща)
Вроцлавська Політехніка (Польща)
Університет Ньюкасла (Велика Британія)
Університет Павла Йозефа Шафарика в Кошице (Словаччина)
Чеський технічний університет в Празі (Чеська Республіка)



***«Моделювання, керування та інформаційні
технології»***

VII МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

7-9 листопада 2024
Рівне, Україна

Матеріали конференції

Рівне
2024

**Ministry of Education and Science of Ukraine
National University of Water and Environmental Engineering
Taras Shevchenko National University of Kyiv
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
Lviv Polytechnic National University
Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics of
NAS of Ukraine
Shevchenko Scientific Society
Academy of Sciences of the Higher School of Ukraine
Institute of Mechanics and Applied Computer Science of Kazimierz Wielki University in
Bydgoszcz (Poland)
Lublin University of Technology (Poland)
Wroclaw University of Science and Technology (Poland)
Newcastle University (Great Britain)
Pavol Jozef Šafárik University in Košice (Slovakia)
Czech Technical University in Prague (Czech Republic)**



«Modeling, control and information technologies»

VII INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE

7-9 November 2024
Rivne, Ukraine

Conference materials

Rivne
2024

ISBN 978-966-327-611-3

ISSN 2707-1049 (Online)

ISSN 2707-1030 (Print)

МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Мошинський Віктор (Україна)

Кушнір Роман (Україна)

Бомба Андрій (Україна)

Сафоник Андрій (Україна)

Мартинюк Петро (Україна)

Агратіні Октавіан (Romania)

Білкова Ева (Czech Republic)

Бігун Ярослав (Україна)

Бурдук Анна (Poland)

Волощук Володимир (Україна)

Воробель Роман (Україна)

Вуйцік Вальдемар (Poland)

Гамзе Гюрзой (USA)

Герасімов Євгеній (Україна)

Квасніков Володимир (Україна)

Гордійчук Павло (USA)

Грицюк Петро (Україна)

Дідманідзе Ібраїм (Georgia)

Древецький Володимир (Україна)

Качмарек Маріуш (Poland)

Квасніков Володимир (Україна)

Когут Петро (Україна)

Комада Павел (Poland)

Крстіч Драгана (Serbia)

Кубік Юзеф (Poland)

Литвиненко Володимир (Україна)

Ляшко Сергій (Україна)

Мазурек Павел (Poland)

Наконечний Олександр (Україна)

Нагарая Шішір (Great Britain)

Новак Петр (Czech Republic)

Пасічник Володимир (Україна)

Паталяс-Малішевська Юстина (Poland)

Річ Лі (Taiwan)

Роек Ізабела (Poland)

Рябенко Олександр (Україна)

Сабзієв Ельхан (Azerbaijan)

Савіна Наталія (Україна)

Сидор Андрій (Україна)

Тадєєв Петро (Україна)

Трофимчук Олександр (Україна)

Турбал Юрій (Україна)

Федорчук Володимир (Україна)

Цешко Мечислав (Poland)

Черлінка Василь (Slovak Republic)

Чачанідзе Гурам (Georgia)

Чертов Олег (Україна)

Шаховська Наталія (Україна)

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Сафоник Андрій, Мартинюк Петро, Басюк Тетяна, Галич Оксана, Присяжнюк Олена, Сунічук Сергій, Христюк Андрій

Відповідальний за випуск: **Сафоник Андрій**

Підготовлено до друку: **Басюк Тетяна**

Матеріали конференції розглянуті і рекомендовані до видання на Вченій раді
Національного університету водного господарства та природокористування
29 листопада 2024 р., протокол №11

Моделювання, керування та інформаційні технології: матеріали VII Міжнародної
науково-практичної конференції. Рівне : Національний університет водного
господарства та природокористування, 2024. 367 с.

© Національний університет водного господарства та природокористування, 2024

ISBN 978-966-327-611-3

ISSN 2707-1049 (Online)

ISSN 2707-1030 (Print)

INTERNATIONAL PROGRAM COMMITTEE

Moshynskiy Viktor (Ukraine)
Kushnir Roman (Ukraine)
Bomba Andrii (Ukraine)
Safonyk Andrii (Ukraine)
Martyniuk Petro (Ukraine)
Agratini Octavian (Romania)
Bílková Eva (Czech Republic)
Bigun Yaroslav (Ukraine)
Burduk Anna (Poland)
Voloshchuk Volodymyr (Ukraine)
Vorobel Roman (Ukraine)
Wójcik Waldemar (Poland)
Gamze Gürsoy (USA)
Gerasimov Ievgenii (Ukraine)
Gordiichuk Pavlo (USA)
Hrytsiuk Petro (Ukraine)
Drevetskyi Volodymyr (Ukraine)
Didmanidze Ibraim (Georgia)
Kaczmarek Mariusz (Poland)
Kvasnikov Volodymyr (Ukraine)
Kogut Peter (Ukraine)
Komada Pawel (Poland)
Krstić Dragana (Serbia)
Kubik Józef (Poland)
Lytvynenko Volodymyr (Ukraine)

Lyashko Serhiy (Ukraine)
Mazurek Pawel (Poland)
Nakonechnyi Oleksandr (Ukraine)
Nagaraja Shishir (Great Britain)
Nowak Petr (Czech Republic)
Pasichnyk Volodymyr (Ukraine)
Patalas-Maliszewska Justyna (Poland)
Rich C. Lee (Taiwan)
Rojek Izabela (Poland)
Ryabenko Oleksandr (Ukraine)
Sabziev Elkhan (Azerbaijan)
Savina Natalia (Ukraine)
Sydor Andriy (Ukraine)
Tadeev Petro (Ukraine)
Trofimchuk Oleksandr (Ukraine)
Turbal Yurii (Ukraine)
Fedorchuk Volodymyr (Ukraine)
Cieszko Mieczysław (Poland)
Cherlinka Vasyl (Slovak Republic)
Chachanidze Guram (Georgia)
Chertov Oleg (Ukraine)
Shakhovska Natalia (Ukraine)

ORGANIZING COMMITTEE OF CONFERENCE

Safonyk Andrii, Martyniuk Petro, Basiuk Tetiana, Halych Oksana, Prysiazhniuk Olena, Khrystyuk Andriy, Sunichuk Sergiy

Responsible for release: **Andrii Safonyk**

Prepared for publication: **Sunichuk Sergiy**

Conference materials have been reviewed and accepted for publication by the Academic Council of the National University of Water and Environmental Engineering on November 29, 2024, Academic Council Meeting Minutes #11.

Modeling, control and information technologies: Materials of VII International scientific and practical conference. Rivne : National University of Water and Environmental Engineering, 2024. 367 p.

© National University of Water and Environmental Engineering, 2024



СЕКЦІЯ 1

ГІДРОІНФОРМАТИКА ТА УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ

Gulchin Abdullayeva G., Gidayatzada Sayyara G.

Intelligent Information System for Monitoring the Quality of Drinking Water..... 15

Korniichuk Volodymyr, Shumlyanskyj Andrii

The Possibility of Local Soils Use for Levees Construction as Part of Flood Protection..... 19

Turchenyuk Vasyl, Prykhodko Natalia, Koziskurt Svitlana, Voitsekhovych Nazarii

Modeling and evaluation of the effectiveness of the operation of Danube rice irrigation systems taking into account environmental requirements..... 22

Волк Любов, Довбенко Іванна, Безусяк Олександр

Аналіз існуючих досліджень коефіцієнта гідравлічного опору в трубах..... 25

Мельничук Інна

Класифікація рибопропускних споруд..... 28

Приходько Наталія, Рокочинський Анатолій, Волк Павло

Необхідність та принципи удосконалення методів і засобів планування водокористування при зрошенні..... 31

Ромащенко Євген, Онопко Олександр, Волк Павло, Рокочинський Анатолій

Удосконалення технології проектування дренажних систем відповідно до сучасних змінюваних умов та вимог..... 36

Стефанишин Дмитро, Корбутяк Василь, Бенатов Данило

До питання вибору способу відновлення використання водних ресурсів та втраченого гідроенергетичного потенціалу в межах колишнього Каховського..... 39

Токар Людмила, Панасюк Ілона, Богельський Станіслав

Вплив захисного фільтруючого матеріалу на водоприймальну здатність дренажних осушувально-зволожувальних систем у торфових ґрунтах..... 43

Чернявський Богдан

Гідроінформатика як акселератор прийняття рішень в управлінні ремедіацією водних ресурсів: інноваційна агентно-орієнтована модель для Херсонщини..... 46

Шинкарук Любомир, Хланук Микола, Волк Любов

Обґрунтування вибору конструкції водозабірної споруди в складі протипаводкового комплексу на основі фізичного моделювання..... 50

Чернюк Володимир, Бігун Ірина, Іванів Василь, Фасуляк Вадим, Литвин Віталій

Спосіб регулювання притоку рідини до напірних трубопроводів-збирачів за наявності транзитної витрати..... 55

СЕКЦІЯ 2 ЕНЕРГЕТИКА ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

<i>Boiko Bogdan, Iryna Protcyk</i> Classification Model for Effective Employee Segmentation.....	60
<i>Boyko Nataliya, Petunin Heorhii</i> Analysis of the Impact of External Factors on the Air Quality Index: a Machine Learning Approach.....	62
<i>Halych Oksana, Nowak Petr, Bilková Eva</i> Using computer modeling during the design and reconstruction of hydropower facilities.....	65
<i>Nowak Petr, Bilková Eva</i> Use of CFD for optimisation of hydraulic structures and hydropower plants.....	68
<i>Stefanyshyn Dmytro</i> Prospects for Small Hydropower in Ukraine in the Context of Feasibility and Environmental Impact: Summarising after the World Small Hydropower Development Report 2022.....	71
<i>Басюк Тетяна</i> Гідроекологічні аспекти реконструкції малих ГЕС (на прикладі р. Південний Буг).....	75
<i>Богущ Олександр</i> Аналіз взаємодії сонячної електростанції для підвищення ефективності роботи Дністровської ГАЕС.....	79
<i>Василець Святослав, Василець Катерина, Ільчук Володимир</i> Оцінювання точності вузла обліку електроенергії при зниженому струмі навантаження.....	81
<i>Волощук Володимир, Богза Микола</i> Підходи до інтеграції нейронних мереж у MATLAB для задач моделювання теплонасосних установок.....	83
<i>Волянський Володимир, Глущенко Олексій</i> Інноваційні алгоритми цифрових пристроїв РЗА для трансформації українських розподільчих електромереж.....	86
<i>Галат Вадим, Крайник Вадим</i> Коригування проекту Канівської ГАЕС з урахуванням сучасних вимог енергосистеми України та захисту споруд.....	88
<i>Герба Олександр</i> Експериментальні дослідження моделей турбін малих гідроелектростанцій.....	91

Зайчук Роман Дослідження ефекту підтоплення трапецієвидних водомірів за допомогою автоматизованої системи вимірювань	95
Крайник Вадим, Ландау Юрій, Шевчик Олександр Дністровський багатоцільовий комплексний енерговузол.....	99
Мельничук Віктор, Басюк Тетяна, Криницька Марія, Косяк Діана Проект захоронення радіоактивних відходів Хмельницької АЕС в товщі вулканічних туфів	102
Мошинський Віктор, Бондаренко Юрій, Рябенко Олександр, Тимощук Володимир, Ключа Оксана Роль гідроенергетики в роботі об'єднаної енергетичної системи України в сучасних умовах	106
Рябенко Олександр, Попруга Павло, Поплавський Дмитро Математичне моделювання гідравлічних режимів водного потоку низьконапірних ГЕС з використанням ріннянь Сен-Венана	110
Сунічук Сергій, Осніцький Тарас, Курган Микола Автоматизована система контролю безпеки гідротехнічних споруд Київської ГАЕС.....	114
Філіпович Юрій, Стельмах Назарій Моделювання режимів роботи вакуумних систем автоматизованих насосних станцій.....	117

СЕКЦІЯ 3 ІНЖЕНЕРІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Bomba Andrii, Moroz Igor, Listiev Zakhar Development of a software architecture concept for solving singularly perturbed problems in semiconductor electronics.....	121
Borysiuk Viktor, Michuta Olha Application of Quantum Computing in Optimization Problems.....	123
Kochura Vitalii, Loktikova Tamara, Kushnir Nadia Hotel and accommodation booking management platform for travel in Ukraine.....	125
Kovalov Yurii Authentication and authorization in microservice oriented application design.....	128
Samoidiuk Andrii, Ostapchuk Oksana Optimizing High-Load Systems with Asynchronous Programming Techniques.....	130
Tsypliak Oleksandr, Artemchuk Volodymyr Generative AI text summarization performance analysis prospects.....	132

<i>Turbal Yurii, Kushnir Igor</i> The Case for Asynchronous Language Support API in an Integrated Development Environment.....	136
<i>Дутчак Ольга, Краснокутська Інесса, Мартинюк Ольга</i> Автоматизоване тестування сайту факультету з використанням Cypress.....	140
<i>Красько Богдан, Грицюк Петро</i> Особливості архітектури Amazon EC2 для масштабування обчислювальних ресурсів	142
<i>Крук Роман, Жуковська Наталія</i> Дотримання RMS інструментами вимог якості SRS та дизайн комплементарної системи.....	144
<i>Ляшук Тарас</i> Java 23: нові можливості та вдосконалення.....	148
<i>Рейнська Вікторія, Мотова Тетяна</i> Мобільний додаток для сервісу догляду за домашніми тваринами: моделювання та управління.....	150
<i>Рейнська Вікторія, Колесник Марія</i> Інформаційні технології у вирішенні проблем фіскалізації підприємств: дослідження електронного кабінету платників.....	152
СЕКЦІЯ 4	
ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ (ІоТ) ТА ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ	
<i>Diahyleva Olena, Yurzhenko Alona, Kononova Olena</i> Utilizing Datasets to Create Interactive Maritime English Exercises.....	155
<i>Klimov Serhii, Starovoit Tetiana</i> A hybrid AI model for forecasting electricity volume to optimize water supply company efficiency.....	159
<i>Melnyk Vasyl, Melnyk Halyna</i> Enhancing Mood and Energy Detection in NLP through Fuzzy Logic Integration.....	165
<i>Pavliuk Vitalii, Drevetskyi Volodymyr</i> Intelligent Employer Matching System for Young Professionals and Students Based on Multifactor Analysis.....	169
<i>Serhiienko Ihor</i> Kolmogorov-Arnold Neural Network's optimization and architecture analysis	172
<i>Zelinskyi Serhii, Boyko Yuriy</i> Facial Blendshapes for Custom Action: An Experimental Evaluation Using Facial Expressions for Human-Computer Interaction.....	174
<i>Головчук Юлія, Каштан Сергій</i> Інтеграція інтернету речей та штучного інтелекту у концепції розумних міст.....	177

Данильчук Марія, Королюк Тетяна
Державна політика зайнятості населення в епоху штучного інтелекту..... 180

Рейнська Вікторія, Лопатіна Діана
Мобільний додаток для психологічної підтримки військових:
штучний інтелект як помічник у реабілітації та адаптації..... 183

Трофимчук Олександр, Королюк Дмитро, Крисенко Павло
Прогнозування коефіцієнту проникнення метаматеріалу за його
структурою та параметрами електромагнітного опромінення..... 186

СЕКЦІЯ 5 КІБЕРНЕТИЧНА ТА ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА

Лурка Yurii
Paradigm shifts in cybersecurity: a convergence of artificial intelligence,
quantum computing, and neuromorphic systems..... 190

Pinchuk Alla, Polihenko Oleh, Odarchenko Roman
A Novel Approach to Cybersecurity Threats Classification by its Nature..... 192

Кардаш Оксана, Гладун Любомир
Інституційні механізми забезпечення кібербезпеки в Європейському Союзі..... 196

Кацман Наталія
Використання нейроморфних обчислень для виявлення та запобігання
кіберзагроз у комп'ютерних мережах..... 198

Курчак Кирило, Рейнська Вікторія
Сучасні методи захисту веб-сайту..... 200

Новосьолов Дмитро
Моделювання кібер інцидентів в мультиагентному середовищі NetLogo..... 203

Перкальова Валерія, Королюк Тетяна
Економічна політика розвитку ІТ-сфери: досвід Китайської Народної
Республіки та українські реалії..... 205

Поліщук Максим
Використання методів захисту даних в системах безпеки Unity застосунків..... 208

Сус Василь
Аналіз моделі прогнозування кіберзагроз «Cyber Kill Chain»..... 210

Тулашвілі Юрій, Лук'ячук Юрій
Алгоритми Консенсусу у Blockchain Корпоративних Системах..... 212

СЕКЦІЯ 6
МАТЕМАТИЧНЕ, КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА
ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ

<i>Alyokhina Svitlana, Orlova Natalia, Pidhornyi Anatolii</i> Framework for Dataset Development in Building Energy Balance Simulations.....	217
<i>Anikushyn Andrii, Nazarchuk Viktoria</i> Point Optimal Control of Pseudoparabolic Systems with Memory.....	221
<i>Bihun Yaroslav, Ukrainets Oleh</i> Mathematical modeling of the body's immune response to infectious disease with external factors.....	223
<i>Bomba Andrii, Moroz Igor</i> Perturbation Theory Methods for the Semiconductor Plasma Diode Simulation.....	225
<i>Cherhykalo Denys</i> The problem of aging as a problem of the appearance of unstable components when detailing the system.....	230
<i>Datsyshyn Serhii, Michuta Olha</i> Problems of developing an expert system for industrial fish farming under martial law conditions.....	232
<i>Didmanidze Ibraim, Tsitskishvili Givi, Didmanidze Didar, Zaslavsky Vladimir</i> Digital education: Data technologies and informative knowledge.....	233
<i>Drozd Vasyl, Michuta Olha</i> Problems of automating the use of land resources by local government under martial law...	235
<i>Gayvas Bogdana, Dmytruk Anatolii</i> Convective-thermal drying simulation to reduce the damage of the grain in convective plants.....	237
<i>Grydzhuk Yaroslav, Slabyi Orest, Kondur Taras</i> Assessment of dynamic contact of the bent part of the drill string with t he wall of the directed well.....	241
<i>Kogut Peter</i> On optimal sparse control formulation for reconstruction of noise-affected images.....	243
<i>Koshmanenko Volodymyr, Satur Oksana</i> Point spectrum as a profile of beliefs in conflict models.....	244
<i>Krasilenko Vladimir, Nikitovich Diana, Lazarev Alexander</i> Modeling Nodes and Cells of NeuronEquivalentors as Accelerators of EquivalentalConvolutional Self-Learning Neural Structures.....	247

<i>Lytvynenko Volodymyr, Mrykhin Andrii, Antoshuk Svitlana, Savina Nataliya, Marchuk Oleh</i> Applying the Monte Carlo Method for Modeling Order Fulfillment with Consideration of Supply Risk	251
<i>Martyniuk Petro, Ivanchuk Natalia, Shostak Lyubov, Shayniuk Kostyantyn</i> Computer modeling of water purification in bioplateau taking into account biodegradation processes and greenhouse gas emissions.....	258
<i>Nabadova Gulush, Elkhan Sabziev</i> Ensuring Straight-Line Motion of the Hexacopter in Case of One Engine Failure.....	260
<i>Prokip Volodymyr</i> On solvability of the matrix equation $AX+YB=C$ over principal ideal domains.....	264
<i>Sandrakov Gennadiy</i> Modeling of Filtration Processes with Extended Sources and Homogenization.....	268
<i>Shostak Liubov</i> Modification of the filtration consolidation equation and kinematic boundary condition into the case of biodegradation processes.....	270
<i>Thea Camille-Maxime, Belozeroва Olena</i> Integrating CNN-BiLSTM Architecture for Predicting Precipitation and Meteorological Patterns.....	274
<i>Білушак Юрій, Чернуха Ольга, Чучвара Анастасія</i> Математична модель очищення забрудненого розчину і пом'якшення води з врахуванням експериментальних даних на границі фільтра.....	277
<i>Бомба Андрій, Кушнір Олекса</i> Модифікація задачі Д. Гільберта при моделюванні процесів повільного руху рідин з перетоками.....	282
<i>Бомба Андрій, Каштан Сергій</i> Математичне моделювання одного класу фільтраційних і гідравлічних процесів.....	284
<i>Бомба Андрій, Шатний Сергій, Бойчура Михайло, Багнюк Ольга, Іванчук Наталія</i> Ідентифікація координат імпульсних джерел забруднень стічних вод в кусково-однорідних середовищах числовими методами квазіконформних відображень.	288
<i>Ванін Віктор, Лебідь Олексій, Черній Дмитро</i> Обчислювальні технології для нелокальних початково-крайових задач гідромеханіки...	290
<i>Гриджук Ярослав, Михайлів Андрій, Михайлів Роман</i> Аналіз моделей оцінки довговічності талевих канатів бурових установок.....	292
<i>Івохін Євген, Юштин Костянтин, Улесв Андрій</i> Спосіб формалізації та метод розв'язання багатокритеріальної задачі комівояжера.....	294

Клюшин Дмитро, Ляшко Сергій, Тимошенко Андрій Оптимальне керування переносом вологи у трапецієвидному пористому середовищі...	297
Мартинюк Петро, Мічута Ольга, Остапчук Оксана, Мельничук Олег Математична модель нелінійної неізометричної фільтрації з умовами спряження.....	300
Маценко Василь Існування періодичних режимів в моделі типу Скеллама.....	304
Покутний Олександр, Панасенко Євген Умови розв'язності для зв'язаної системи нелінійних операторних рівнянь Сільвестра у гільбертовому просторі.....	306
Приймак Микола Ряди Фур'є періодичних функцій зі змінним періодом.....	309
Приймак Микола, Готович Володимир, Кохан Василь. Інформаційно-вимірювальна система оцінки змінного періоду.....	311
Сафоник Андрій, Полюхович Сергій, Грицюк Володимир Ідентифікація домішкових компонент у процесі магнітного фільтрування рідких середовищ.....	314
Сафоник Андрій, Полюхович Олена, Рогов Олег, Ковальчук Наталія Ідентифікації масообмінного коефіцієнта у процесах очищення рідких середовищ від багатокomпонентного забруднення.....	318
Семенов Володимир, Коваленко Олександра, Чергикало Денис Збіжність методу операторної екстраполяції для варіаційних нерівностей.....	322
Сохацький Анатолій Математичне моделювання транспортних потоків дорожньої мережі на основі гідродинамічної аналогії.....	325
Черевко Ігор, Щур Тетяна, Диренко Віктор Числове моделювання диференціальних рівнянь із запізненням.....	329

СЕКЦІЯ 7

РОБОТОТЕХНІКА, АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КЕРУВАННЯ

Akhundov Ramil Environmental Warfare – Modern Global Challenge.....	332
Bayramov Azad, Suleymanov Samir, Abdullaev Fatali The Unmanned Robotic Complex For The Small Arms Fire Evaluation.....	336
Fedoryshyn Roman, Lymych Vasyl Analysis of Methods for Controlling Ball Drum Mills at Hard Materials Grinding.....	340

<i>Khrystyuk Andriy, Cherniuk Oleksandr</i> From Control Loss to Autonomous Operation: Failsafe Strategies for Modern UAVs.....	342
<i>Бомба Андрій, Ком Василь</i> Задача швидкодії одноланкового робота-маніпулятора з урахуванням малого впливу демпферних елементів.....	344
<i>Вечер В'ячеслав, Реут Дмитро</i> Дослідження доцільності використання технології орнітоптера та розробка системи керування польотом.....	346
<i>Дунець Роман, Музиченко Адріан</i> Шляхи вдосконалення навігаційних систем для безпілотних літальних апаратів.....	349
<i>Ільчук Володимир, Глушук Владислав</i> Моделювання імовірності відмови автоматичного газового захисту шахти.....	351
<i>Мандзюк Роман, Древецький Володимир, Реут Дмитро</i> Експериментальне дослідження цифрової системи випробовування високовольтних вимикачів.....	353
<i>Сафоник Андрій, Таргоній Іван, Пилипенко Володимир</i> Розробка системи моніторингу та контролю процесу відведення фільтраційних вод від земляних гребель.....	355
<i>Сафоник Андрій, Таргоній Іван, Трохимчук Максим, Ластовецький Дмитро</i> Оптимізація системи регулювання витрати стічних вод в абсорбційно-біохімічній установці.....	357
<i>Сельоткін Владислав, Волощук Володимир</i> Визначення дефектів на друкованих електричних платах методом навчання без підкріплення.....	357
<i>Христюк Андрій, Литвиненко Олексій</i> Аналіз можливостей налаштування системи керування двигунами безпілотного апарату на основі ПД регулятора.....	362

Modeling Nodes and Cells of Neuron-Equivalentors as Accelerators of Equivalental-Convolutional Self-Learning Neural Structures

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2024.077>

Vladimir Krasilenko
Vinnytsia National Agrarian University
VNAU
Vinnytsia, Ukraine
krasvg@i.ua

Diana Nikitovich
Vinnytsia National Technical University
VNTU
Vinnytsia, Ukraine
diananikitovych@gmail.com

Alexander Lazarev
Vinnytsia National Technical University
VNTU
Vinnytsia, Ukraine
krasvg@i.ua

Abstract— In the paper, we consider the urgent need to create highly efficient hardware accelerators for machine learning and deep convolutional neural networks (CNNs), for associative memory models, clustering, and pattern recognition. We show a brief overview of our related works the advantages of the equivalent models (EM) for describing and designing bio-inspired systems. The capacity of neural net on the basis of EM and of its modifications is in several times quantity of neurons. Such neuro-paradigms are very perspective for processing, clustering, recognition, storing large size, strongly correlated, highly noised images and creating of uncontrolled learning machine. And since the basic operational functional nodes of EM are such vector-matrix or matrix-tensor procedures with continuous-logical operations as: normalized vector operations "equivalence", "nonequivalence", and etc., we consider in this paper new conceptual approaches to the design of full-scale arrays of such neuron-equivalentors (NEs) with extended functionality, including different activation functions. Our approach is based on the use of analog and mixed (with special coding) methods for implementing the required operations, building NEs (with number of synapsis from 8 up to 128 and more) and their base cells, nodes based on photosensitive elements and CMOS current mirrors. Simulation results show that the efficiency of NEs relative to the energy intensity is estimated at a value of not less than 10^{12} an. op. / sec on W and can be increased. The results confirm the correctness of the concept and the possibility of creating NEs and MIMO structures on their basis.

Keywords— accelerator; neural net; convolutional neural network; neuron-equivalentor; current mirror; vector-matrix procedure; equivalental model.

I. INTRODUCTION, OVERVIEW, ANALYSIS OF PUBLICATIONS AND FORMULATION OF WORK GOAL

For many applications applied in the creation of biometric systems, machine vision systems are necessary to solve the problem of object recognition in images. The basis of most known methods and

algorithms is to compare two different images of the same object or its fragment. Discriminant measure of the mutual alignment reference fragment with the current image, the coordinate offset is often a mutual two-dimensional correlation function. In paper [1, 2, 3] it was shown, that to improve accuracy and probability indicators with strong correlation obstacle-damaged image, it is desirable to use recognition methods based on mutual equivalently 2D spatial functions, nonlinear transformations and adaptive-correlation weighting. For the recognition and clustering of images, various models of neural networks are also used. Equivalental models (EM) of auto-associative memory (AAM) and hetero-associative memory (HAM) were proposed [2-6]. These EMs studies have shown, that these models allow the recognition of vectors with $1024 \div 4096$ components and a significant percentage (up to 25-30%) of damage, at a network power that is 3 to 4 times higher than the number of neurons [3, 5, 6]. For of analysis and recognition should be solved the problem of clustering of objects. This previous clustering allows organizing proper automated grouping data, to cluster analysis, to evaluate on the basis of many signs each cluster, put a class label and improved subsequent learning procedures and classification. At the same time, knowing the significant advantages of EM whencreating on their basis improved neural networks (NNs), multiport AAM and HAM, there was a suggestion aboutthe possibility of modifying EM and MHAM for parallelcluster image analysis [6, 7, 8]. At the same time, an urgent task is to study a more general, spatially invariant(SI) equivalence models (SI EMs) that is more invariantto spatial displacements and the possibilities of its application for image clustering [7-9]. And the latter are basic operations in the most promising paradigms of convolutional neural networks (CNN) with deep learning [8, 9]. In our previous paper [8] questions of new possible ways of self-learning in such advanced models, explaining some important fundamentalconcepts of diverse associative recognition and understand the principles of the functioning of

biological NN-structures, perform modeling of processing processes [10], training and extraction of regularities in such models, and propose their implementation were considered. These questions were considered for bitmaps of multi-level images. In paper [9] we showed that the self-learning concept works with directly multi-level images without processing the bitmaps. In SI EM, we compute the spatially dependent normalized equivalence functions (SD_NEF) whose elements will correspond to the value of the normalized equivalence of the fragment of the input image X and one of the selected fragments from the training matrix. For implementation ESLCNS [9, 10], we need certain new or modified known devices capable of calculating normalized spatial equivalence functions (NSEqFs) with the necessary speed and performance. Such specialized devices by authors of papers were previously called "image equivalentor". There are known connections of equivalent functions with correlation functions that make it possible to calculate NSEqFs. Thus, the image equivalentor is itself a doubled correlator or a doubled convolver. In paper [8, 9] we showed models for the recognition and clustering of images that combine the process of recognition with the learning process. For all known convolutional neural networks, as for our equivalence models, it is necessary to calculate the convolution of the current fragment of the image in each layer with a large number of templates which are used, selected or formed during the learning process. But, as studies show, large images require a large number of filters to process images, and the size of the filters can also be large. Therefore, the problem of increasing the computing performance of hardware implementations of such CNNs is acute. It should be noted that the accuracy of calculations, especially for large filter sizes and a large dynamic range (8 bits) of halftone images, is required to make the correct decisions when determining neuron-winners. The last decade was marked by the activation of works aimed at the creation of specialized neural accelerators, which compute the function of comparing two 2D arrays and using the operations of multiplication and addition-accumulation. But as our experiments show, our models also allow the construction of ESLCNS. Therefore, in this paper, using our approaches to designing one-dimensional neuron- equivalentors, we consider the structure of the neuron- equivalentor, generalized for processing 2D arrays.

II. PRESENTATION OF THE MAIN RESEARCH RESULTS

A. Design of the main unit of ESLCNS

The Fig. 1 shows the block-diagram of the main unit of ESLCNS. The matrix X forms a certain number of convolutions in the form of matrices e using a set of defined filters-templates W which, in our case, are multilevel values, in contrast to the binary ones we used earlier. Thus, we compare each filter with a current fragment in the matrix X . As a measure of the similarity of the fragment of the matrix X and the filter the equivalent measures of proximity or other measures such as a histogram can be used. Thus, we compare for each filter similar fragments in the matrix. Fig. 1 shows the new structure of our proposed system, allowing parallel, with a high rate, equal to the speed of selection

from the processed image of its shifted current fragment, to compute a set of stream components (elements) immediately one-cycle all the equivalents convolutions of the current fragment with the corresponding filters. It consists of a micro-display dynamically displaying current fragments, an optical node in the form of a micro-lens array (MLA) with optical lenses (not shown!) and a 2D array of neuron-equivalentors (NEqs) with optical inputs. Each NEq is implemented in a modular hierarchical manner and can consist of similar smaller sub-pixel, also 2D type, base nodes.

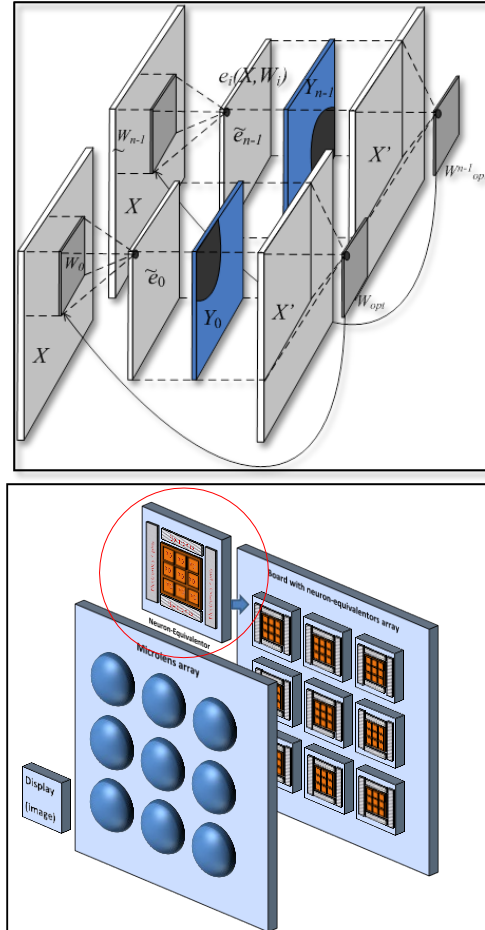


Figure 1. The structure of the basic unit of the ESLCNS (top). The neuron-equivalentors array (bottom).

The NEq has a matrix (ruler) of photo-detectors, on which a halftone image of the fragment is projected through the micro-lens array (MLA), and the number of electrical analog inputs equal to the number (number) of photo-detectors, to which by means of any known method: from the sample and hold device (SHD), from the analog memory, with subsequent conversion using a set of DACs, etc. the filter components are fed. These components are represented in the form of micro-currents. Each NEq has its own filter mask from a set of filters selected or formed by training. Thus, at the inputs of each NEq we have two arrays (vectors) of analog currents representing the compared current fragment and the corresponding filter-standard, and the output of the NEq is an analog current signal, nonlinearly transformed in accordance with the activation function and representing some measure of their similarity, proximity).

B. Design and Modeling of Nodes and Cells of Neuron-Equivalentors as Accelerators

In our case, this measure is a normalized equivalence (eq) and nonequivalence (neq), we can calculate them by averaging the component maxima and minima currents. Therefore, the base node, see

Fig. 2-4, contains N two input counters of maximum and minimum currents and one normalizer on current mirrors, which forms two output signals corresponding to normalized eq and neq from two N-component vectors.

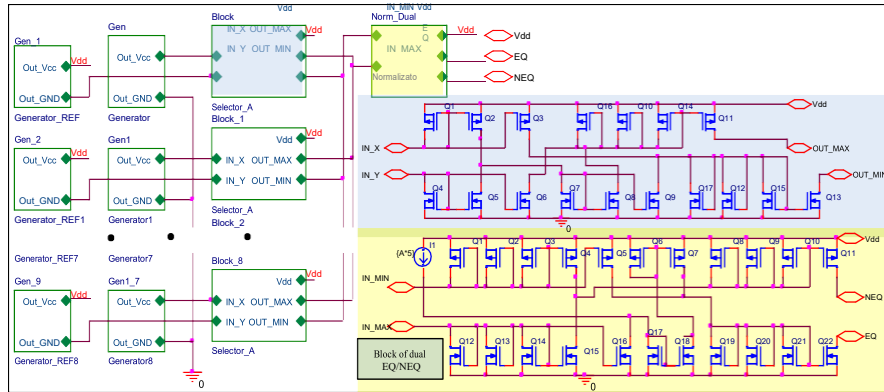


Figure 2. The basic unit for calculating the normalized Eq (NEq) by averaging the component peak and minima of currents on the basis of current mirrors and the schemes of the limited difference.

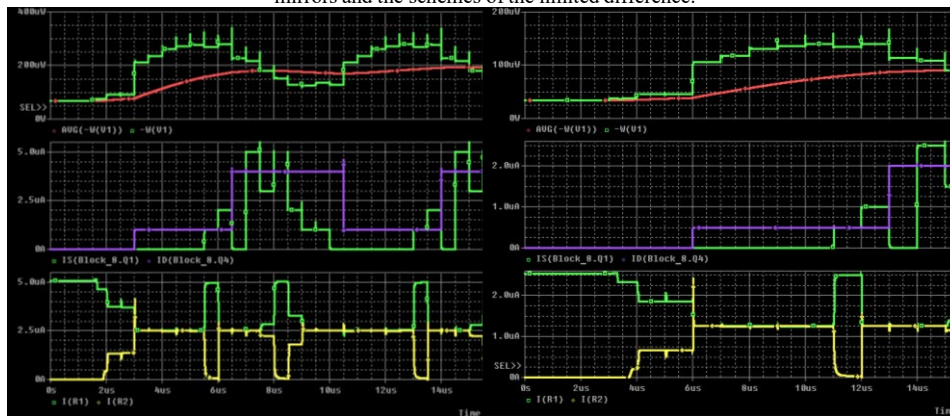


Figure 3. The results of modeling the base unit for the filter size 3x3 (with 9 inputs): on the left for current $I_{max}=5\mu A$, $T=1\mu s$, $P=200\mu W$. On the right for current $I_{max}=2.5\mu A$, $T=1\mu s$, $P=100\mu W$. Red line shows power consumption, input (green) and reference (lilac) signals are showed on the middle graphs, on the bottom graph normalized eq (green) and neq (yellow) are showed.

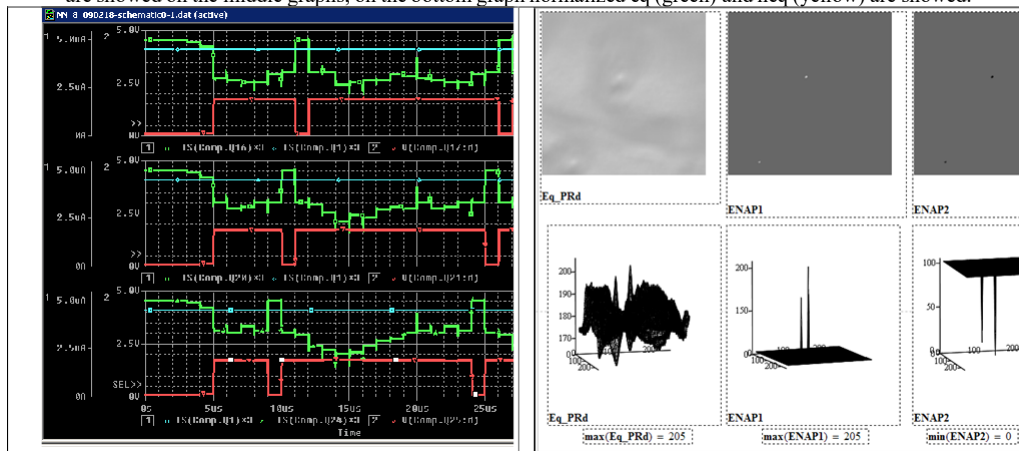


Figure 4. On the left: The result of a network simulation of 8 9-input NEs, a fragment of the successive activity of three neighboring NEs, green - current outputs, blue-additional threshold, red-NE outputs (voltage, potential). On the right: The Mathcad windows on which the module of the program with formulas and results of recognition of fragments on the image are shown, where in 2D and 3D from left to right: the computed NE equivalent, non-linear (after activation) equivalent, linear non-equivalent (part) functions.

The basic unit for calculating the normalized Eq (NEq) by averaging the component peak and minima of currents on the basis of current mirrors and the schemes of the limited difference is shown in Fig. 2. Sources of analog currents are shown as current generators for modeling in OrCAD. The dimension of the input vectors is 9, which corresponds to the filter size 3x3. The results of modeling this nonlinear transformation basic node are shown in Fig. 3 As can be seen from the diagram, the complete coincidence of the input vectors fed to the input of this node and changing over time is evidenced by the changes in the complementary output signals of equivalence and non-equivalence (increasing current to a maximum and a corresponding complementary decrease to a minimum!) at the corresponding moments of time (11 - 12 μ s and others). The results of modeling the base unit for the filter size 3x3 (with 9 inputs) showed, that processing time is from 1 μ s to 0.1 μ s for currents $I_{max}=5\mu$ A, consumption power is from 200 μ W to 50 μ W. In addition to simulating the base node on 9 inputs, we additionally synthesized a neuron-equivalent circuit having 8 such nodes, each of which compares 8 input vectors, resulting in a neural element circuit having 2 vector inputs of 64 dimensions. For a non-linear transformation, we used a node of a circuit, which realizes a piecewise linear approximation of the power-law activation function (auto-equivalence). The simulation results of 64 input NE with nonlinear output conversion showed that such a NE comparing the two 64 component vectors from the current signals provides good time characteristics and has a total power consumption of approximately 2mW, a low supply voltage, contains less than 1000 CMOS transistors with which summation circuits are implemented, limited subtraction and multiplication of analog currents on current mirrors. The simple build-up of nodes and additional introduction of normalizers for equalization and matching of signal levels in micro-nodes allow to increase the number and dimension of inputs and thus increase the dimension of filters. We designed and modeled a neuron-equivalent for two 81-component input vectors, i.e., to implement convolution with a filter of dimension 9×9 , by combining nine micro-nodes, namely neuron-equivalentors with two 9-component vector inputs. It has 2 analog input buses. And the results of its modeling are shown in Fig. 4. To verify the functioning of the developed neuron-equivalentors in the network, a neural mini-network of eight 9-input micro-nodes neuron-equivalentors was created, the simulation results of which also confirmed its correct functioning.

III. DISCUSSION

Within the framework of this work, the set goal was achieved, namely, the principles of implementation of neuron-equivalents as accelerators and their basic cells were developed. The use of analog current reflectors as basic elements for the construction of all nodes, including the node for generating activation functions, neuron-equivalents made it possible to show and experimentally confirm the advantages and prospects of the proposed technical solutions. At the same time, some aspects important for the implementation of the proposed models and their schematic solutions and the further expansion of the spheres of their use remained unexplored. This includes the implementation of

physical models and their testing, measurement of characteristics and indicators for the purpose of their comparative analysis with other concepts.

IV. CONCLUSIONS

Neuron-equivalentors have a processing-conversion time of 0.1-1 μ s, low supply voltages of 1.8-3.3V, minor relative computational errors (1-5%), small consumptions of no more than 1-2mW, can operate in low-power modes less than 100 μ W) and high-speed (10-20 MHz) modes. The efficiency of neuron-equivalentors relative to the energy intensity is estimated at a value of not less than 10^{12} an. op. / sec on W and can be increased by an order of magnitude. The obtained results confirm the correctness of the chosen concept and the possibility of creating hierarchical macro neuron-equivalentors and MIMO structures based on them. They can become the basis for the implementation of CNN and self-learning biologically inspired devices with the number of such neuron-equivalentors equal to 1000, to realize the parallel calculation of equivalent convolutional convolutions with filter sizes up to 32×32 .

REFERENCES

- [1] Krasilenko, V. G., Saletsky, F. M., Yatskovsky, V. I., Konate, K., "Continuous logic equivalence models of Hamming neural network architectures with adaptive-correlated weighting," Proceedings of SPIE Vol. 3402, pp. 398-408 (1998).
- [2] Krasilenko, V. G., Magas, A. T., "Multiport optical associative memory based on matrix-matrix equivalentors," Proceedings of SPIE Vol. 3055, pp. 137 – 146.
- [3] Krasilenko V.G., Nikitovich D.V., "Experimental studies of spatially invariant equivalence models of associative and hetero-associative memory 2D images," *Systemy obrobky informaciji*, 4 (120), 113 –120 (2014).
- [4] Krasilenko V.G., Nikolskyy, A. I., "The associative 2D-memories based on matrix-tensor equivalental models," *Radioelektronika Inform. Communication*, 2 (8), 45 –54 (2002).
- [5] Krasilenko, V. G., Lazarev, A., Grabovlyak, S., "Design and simulation of a multiport neural network heteroassociative memory for optical pattern recognitions," Proceedings of SPIE Vol. 8398, 83980N-1 (2012).
- [6] Krasilenko V. G., Lazarev, A., Grabovlyak, S., Nikitovich D.V., "Using a multi-port architecture of neural-net associative memory based on the equivalency paradigm for parallel cluster image analysis and self-learning," Proceedings of SPIE Vol. 8662, 86620S (2013).
- [7] Krasilenko V.G., Nikitovich D.V., "Simulation of self-learning clustering methods for selecting and grouping similar patches, using two-dimensional nonlinear space-invariant models and functions of normalized "equivalence," *Electronics and information technologies: collected scientific papers*, Lviv: Ivan Franko National University of Lviv, Issue 6, pp. 98-110 (2015).
- [8] Krasilenko V.G., Lazarev A.A., Nikitovich D.V., "Modeling and possible implementation of self-learning equivalence-convolutional neural structures for auto-encoding-decoding and clusterization of images", Proceedings of SPIE Vol. 10453, 104532N (2017).
- [9] Krasilenko V.G., Lazarev A.A., Nikitovich D.V., "Modeling of biologically motivated self-learning equivalent-convolutional recurrent-multilayer neural structures (BLM_SL_EC_RMNS) for image fragments clustering and recognition", Proceedings of SPIE Vol. 10609, MIPPR 2017: Pattern Recognition and Computer Vision, 106091D (8 March 2018); doi: 10.1117/12.2285797.
- [10] Krasilenko, V. G., Nikolskyy, A. I., Lazarev A.A., "Designing and simulation smart multifunctional continuous logic device as a basic cell of advanced high-performance sensor systems with MIMO-structure," in Proceedings of SPIE, 94500N (2015).