

ISSN 3083-6573 Print
ISSN 3083-6581 Online

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ

IT&S INFORMATION TECHNOLOGIES SYSTEMS

2⁽⁸⁾
2026

TOPICS

- RECTIFICATION OF STEREO PAIRS OF IMAGES
- AUTOMATED TOOL FOR SEARCHING RESEARCH MATERIALS
- TOOL FOR STABILIZE HUMAN EMOTIONAL STATE

Editor-in-Chief: O.M. KHIMICH, (Kyiv, Ukraine)

Deputies Editor-in-Chief: O.Ye. VOLKOV, (Kyiv, Ukraine),
Ye.A. SAVCHENKO-SYNIKOVA, (Kyiv, Ukraine)

Editorial Board: I.Ye. Andrushchak (Lutsk, Ukraine); I. Vlahavas (Thessaloniki, Greece);
A.M. Hlibovets (Kyiv, Ukraine); V.F. Gubarev (Kyiv, Ukraine); L.F. Hulianytskyi (Kyiv,
Ukraine); V.V. Zosimov (Odesa, Ukraine); S.L. Kryvyi (Kyiv, Ukraine); V.I. Lytvynenko
(Kyiv, Ukraine); O.V. Palagin (Kyiv, Ukraine); S.D. Pogorilyy (Kyiv, Ukraine); B. Savchyn-
skyy (Heidelberg, Germany); V.S. Stepashko (Kyiv, Ukraine)

Responsible Executor: H.O. Pezentsali

Editors: N.A. Charchiyan, A.Yu. Vitchenko, O.O. Lysenko

Computer Group: O.V. Tupalskiy, N.S. Stashkova

Technical editing and desktop layout: N.M. Kovalenko

Media ID R30-05899

Editorial address: Institute of Information Technologies and Systems
of the National Academy of Sciences of Ukraine,
40, Hlushkova Akd. ave., Kyiv, 03187
phone: +380 (44) 526-00-09, e-mail: its.journal.ua@gmail.com,
<https://nasu-periodicals.org.ua/index.php/its>

Головний редактор: О.М. ХІМІЧ (Київ, Україна)

Заступники головного редактора: О.Є. ВОЛКОВ (Київ, Україна),
Є.А. САВЧЕНКО-СИНЯКОВА (Київ, Україна)

Редакційна колегія: І.Є. Андрущак (Луцьк, Україна); І. Влахавас (Салоніки, Греція);
А.М. Глибовець (Київ, Україна); В.Ф. Губарев (Київ, Україна); Л.Ф. Гуляницький
(Київ, Україна); В.В. Зосімов (Одеса, Україна); С.Л. Кривий (Київ, Україна); В.І. Лит-
виненко (Київ, Україна); О.В. Палагін (Київ, Україна); С.Д. Погорілий (Київ, Украї-
на); Б. Савчинський (Гейдельберг, Німеччина); В.С. Степашко (Київ, Україна)

Відповідальний виконавець: Г.О. Пезенцалі

Редактори: Н.А. Чарч'ян, А.Ю. Вітченко, О.О. Лисенко

Комп'ютерна група: О.В. Тупальський, Н.С. Сташкова

Технічне редагування та комп'ютерна верстка: Н.М. Коваленко

Ідентифікатор медіа: R30-05899

Адреса: Інститут інформаційних технологій та систем НАН України, м. Київ,
Просп. Акад. Глушкова, 40, 03187
Телефон: 526-00-09, e-mail: its.journal.ua@gmail.com,
Сайт: <https://nasu-periodicals.org.ua/index.php/its/>

Підп. до друку 01.06.2026 р. Формат 70 × 108/16. Гарн. Book Antiqua.
Ум. друк. арк. 7,53. Обл.-вид. арк. 7,64. Тираж 67 пр. Зам. № 8064

Видавець і виготовлювач ВД «Академперіодика» НАН України
01024, Київ, вул. Терещенківська, 4

Свідцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи серії ДК № 544 від 27.07.2001



NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE
INSTITUTE OF INFORMATION TECHNOLOGIES AND SYSTEMS
V.M. GLUSHKOV INSTITUTE OF CYBERNETICS

INFORMATION TECHNOLOGIES SYSTEMS

2 (8)
2026

ACADEMIC AND RESEARCH JOURNAL
FOUNDED IN JANUARY 2025
PUBLISHED 6 TIMES PER YEAR
KYIV

CONTENTS

100 Years of Academician Volodymyr Skurikhin	3
Computer Vision and Pattern Recognition	
<i>Ryabokon D.I.</i> Synthetic Data Generation for Computer Vision Tasks in Sital Systems with Unreal Engine and Airsim	6
<i>Vodolazskyi Ye.V.</i> Properties of the Fundamental Matrix in the Rectification of Stereo Pairs of Images	18
Information and Communication Technologies	
<i>Kobylin I.O., Biehunova V.D., Tsyban D.S., Kovalchuk V.O.</i> Measuring Textual Redundancy, Lexical Richness, and Veracity: a Multi-Metric Approach to Text Evaluatio.	25
<i>Tokova O.V.</i> Development of an Automated Tool for Searching Research Materials in the Learning Process	46
Digital Medicine	
<i>Pidnebesna H.A., Surzhenko V.O., Koziienko I.O.</i> Application of Digital Technologies to Stabilize Human Emotional State	58
Digitalisation of Economic Systems	
<i>Bazan L.I.</i> Model for Assessing the Efficiency of Logistics Services in the Transport and Logistics System	67
Author Guidelines	81

ЗМІСТ

100 років академіку Володимирі Іллічу Скуріхіну	3
Комп'ютерний зір та розпізнавання образів	
<i>Ryabokon D.I.</i> Synthetic Data Generation for Computer Vision Tasks in Sitl Systems with Unreal Engine and Airsim	6
<i>Водолазський Є.В.</i> Властивості фундаментальної матриці в разі ректифікації стереопари зображень	18
Інформаційно-комунікаційні технології	
<i>Kobylin I.O., Biehunova V.D., Tsyban D.S., Kovalchuk V.O.</i> Measuring Textual Redundancy, Lexical Richness, and Veracity: a Multi-Metric Approach to Text Evaluation	25
<i>Tokova O.V.</i> Development of an Automated Tool for Searching Research Materials in the Learning Process	46
Цифрова медицина	
<i>Pidnebesna H.A., Surzhenko V.O., Koziienko I.O.</i> Application of Digital Technologies to Stabilize Human Emotional State	58
Цифровізація економічних систем	
<i>Бажан Л.І.</i> Модель оцінки ефективності логістичного сервісу транспортно-логістичної системи	67
Керівництво для авторів	81

100 років 3 ДНЯ НАРОДЖЕННЯ АКАДЕМІКА ВОЛОДИМИРА ІЛЛІЧА СКУРІХІНА (1926 – 2014)



17 квітня 2026 року минуло 100 років з дня народження видатного вченого в галузі системотехніки та теорії систем, лауреата Державних премій, Заслуженого діяча науки України (1981 р.), нагородженого медалями та орденами учасника Другої Світової війни, дійсного члена НАН України (1978 р.) професора (1972 р.), доктора технічних наук (1971 р.) Володимир Ілліч Скуріхіна. В 1947 р. закінчив з відзнакою Іванівський енергетичний інститут за фахом інженер-електрик. З 1947 р. протягом десяти років був лаборантом, аспірантом, асистентом та старшим

викладачем цього інституту. У 1958 р. Володимир Ілліч приїхав до Києва. З того часу вся його наукова діяльність пов'язувалась з Кібернетичним центром Академії наук УРСР (тепер Національна академія наук України), де він послідовно обіймав посади старшого наукового співробітника, вченого секретаря, завідувача відділу Обчислювального центру АН УРСР, заступника директора Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова Національної академії наук України до виділення з його складу у 1997 р. Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем.

Коло наукових інтересів Володимира Ілліча було дуже широким і охоплювало програмне керування, автоматизовані системи проектування та обробки експериментальних даних, автоматизовані системи керування виробництвом, комплексні автоматизовані системи керування, динаміку виробничих систем, інформаційні технології тощо.

Як вчений в галузі системотехніки і теорії систем Володимир Ілліч був науковим керівником розроблення багатьох автоматизованих систем керування та обробки даних різного рівня і призначення,

впроваджених у різних галузях народного господарства. Він стояв біля витоків створення першої в нашій країні автоматизованої системи керування підприємством «Львів» на Львівському телевізійному заводі, в якій було реалізовано ряд принципово нових на той час технічних і планово-економічних рішень. Немалі творчі зусилля направляв В.І. Скуріхін на розроблення ефективних автоматизованих систем проєктування, які пізніше стали позначатися аббревіатурою САПР (системи автоматизованого проєктування). Володимир Ілліч був науковим керівником робіт зі створення САПР «Авангард», «Контур», впроваджених на Миколаївському кораблебудівному заводі. У складі ЦУП академік Скуріхін брав участь в організації підготовки та забезпеченні керування польотом за програмою «Союз-Аполон».

В.І. Скуріхін був членом редколегії наукового журналу «Управляющие системы и машины» з дня його заснування у 1972 р. З 1982 по 1998 рр. — головним редактором, а з 1999 р. — заступником головного редактора.

Вагомим є внесок В.І. Скуріхіна у підготовку за своїм фахом науковців всіх ступенів. Його засадничі принципи — підтримка та добрі поради початківцям, вимогливість до наукових результатів своїх колег з високими науковими ступенями. Він підготував понад 40 докторів і кандидатів наук, які прийняли і гідно несуть естафету створеної ним наукової школи не тільки в нашій країні, а й поза її межами.

В.І. Скуріхін — автор понад 250 наукових праць, в тому числі 12 монографій, 4 навчальних посібників, 30 авторських свідоцтв та патентів на винаходи. Фундаментальні праці В.І. Скуріхіна, його ідеї цілеспрямованих систем реалізуються у започаткованій ним школі, яка зберігає світлу добру пам'ять про великого вченого.

100 Years of Academician Volodymyr Ilyich Skurikhin (1926 — 2014)

April 17 marked the 100th anniversary of the birth of Volodymyr Skurikhin, an outstanding scientist in the field of systems engineering and systems theory, a recipient of State Prizes, an Honored Scientist of Ukraine (1981), a full member of the National Academy of Sciences of Ukraine (1978), a professor (1972), and a Doctor of Engineering Sciences (1971). In 1947, he graduated with honors the Ivanovo Power Engineering Institute with a degree in electrical engineering. From 1947, for ten years, he served as a laboratory assistant, graduate student, assistant professor, and senior lecturer at this institute. In 1958, Volodymyr Illich moved to Kyiv. From that time on, his entire scientific career was associated with the Cybernetics Center of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR (now the National Academy of Sciences of Ukraine), where he successively held the positions of senior research fellow, scientific secre-

tary, head of department at the Computing Center of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, head of department, and deputy director of the V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine until the International Research and Training Center for Information Technologies and Systems was spun off from it in 1997.

Volodymyr Ilyich's range of scientific interests was very broad and encompassed program control, automated systems for designing and processing experimental data, automated production control systems, integrated automated control systems, the dynamics of production systems, and information technology.

As a scholar in the field of systems engineering and systems theory, Volodymyr Skurikhin served as the principal investigator in the development of numerous automated control and data processing systems of various levels and purposes, which were implemented in the national economy. He was at the forefront of the creation of Ukraine's first automated enterprise management system, "Lviv", at the Lviv Television Plant, which implemented a number of technical and planning-economic solutions that were fundamentally new at the time. V.I. Skurikhin devoted considerable creative effort to the development of effective automated design systems, which later came to be known by the acronym CAD (computer-aided design). Volodymyr Ilyich served as the scientific director of the work to create the CAD systems "Avangard" and "Kontur," which were implemented at the Mykolaiv Shipyard. As a part of the Mission Control Center, Academician Skurikhin participated in organizing the preparation and ensuring flight control for the "Soyuz-Apollo" program.

As a professor, V.I. Skurikhin taught at the Kyiv Polytechnic Institute for several years. He supervised 7 doctoral candidates and over 40 candidates of science.

COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION

КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ

<https://doi.org/10.15407/intechsys.2026.02.006>
UDC 004.896

D.I. RYABOKON, PhD (Engineering), Senior Researcher,
Institute of Information Technologies and Systems of the NAS of Ukraine,
40, Hlushkova Akad. ave., Kyiv, 03187, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9329-6706>
d.ryabokon@gmail.com

ALGORITHM FOR CALCULATING THE SIMILARITY BETWEEN HISTOGRAMS FOR TEXTURE SEGMENTATION

Sustainable object detection, classification, and tracking are a critical path in robotics at perception phase. Deep learning models used for detection require vast and diverse datasets with accurate annotations. However, acquiring real-world data that captures rare, complex, or hazardous scenarios is both time-consuming and costly. To address this limitation, synthetic data generation using virtual environments has emerged as a promising alternative. This research investigates the application of synthetic datasets, created within high-fidelity 3D virtual reality environments, for training deep learning models in object detection tasks. The proposed method leverages tools such as Unreal Engine and procedural scripting to generate large volumes of realistic, annotated image data. These synthetic scenes are carefully constructed to include various object types, dynamic interactions, lighting variations, occlusions, and edge-case scenarios that are often missing from real-world datasets. The study employs the YOLO family of deep learning models, which are known for their high accuracy and low latency, making them suitable for real-time robotic applications. Experimental results demonstrate that models trained exclusively on synthetic data demonstrate partial transferability to real-world scenarios, while the addition of a small fraction of real data significantly improves performance. Key advantages include reduced development time, lower annotation costs, improved coverage of rare scenarios, and enhanced model generalization. The integration of synthetic data pipelines into the ML lifecycle also facilitates better experiment management and scalability. The research concludes that synthetic data is a powerful enabler for developing robust object detection systems in robotics and AI. Future work will focus on narrowing the domain gap between synthetic and real-world imagery, enhancing realism with photometric effects, and expanding the dataset to include additional object classes and behaviors for multi-task learning.

Cite: Ryabokon D.I. Synthetic Data Generation for Computer Vision Tasks in Sitl Systems with Unreal Engine and Airsim. *Information Technologies and Systems*. 2 (8). 2026. 6–17. <https://doi.org/10.15407/intechsys.2026.02.006>

© Publisher PH “Akademperiodyka” of the NAS of Ukraine, 2025. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Keywords: *synthetic data, computer vision, deep learning, robotics, SITL, Unreal Engine, AirSim, YOLO.*

Introduction

Autonomous robotic systems are increasingly used in safety-critical and high-complexity domains such as aerial inspection, autonomous driving, disaster response, and smart manufacturing. A key enabler of such systems is the perception module, responsible for real-time object detection, classification, and tracking. Deep learning models, especially those from the YOLO family, have demonstrated state-of-the-art performance in these tasks, providing high-speed and high-accuracy inference on embedded platforms.

However, the performance of these models critically depends on the availability of large, diverse, and accurately annotated datasets. The collection of real-world data is time-consuming, costly, and often fails to capture rare, occluded, or hazardous scenarios, which are vital for robust model generalization. Moreover, the physical limitations and safety concerns involved in real-world testing severely constrain the development cycle of autonomous systems.

To overcome these challenges, recent studies have explored synthetic data generation using virtual environments. Notably, works from NVIDIA (SimNet, Omniverse), Intel (OpenBot + AirSim), and academic institutions (Stanford, MIT) have demonstrated that high-fidelity 3D simulation combined with domain randomization or domain adaptation significantly improves model robustness and transferability. Yet, many existing pipelines focus either on synthetic data creation or model deployment, but not the seamless end-to-end integration that connects perception, planning, and control in a unified development loop.

The application of synthetic data for training deep learning models has gained significant attention recently. Shah et al. [1] introduced AirSim, a platform combining Unreal Engine with physics-based simulation, enabling realistic data collection for autonomous vehicles. Similarly, Laux et al. [2] demonstrated the feasibility of synthetic aerial data for on-drone object detection tasks. Kiefer et al. [3] and Barisic et al. [4] further highlighted synthetic data advantages in UAV scenarios, emphasizing domain adaptation challenges. Maxey et al. [5] proposed neural-rendering techniques to narrow the synthetic-to-real domain gap. Unlike previous studies focusing primarily on either data generation or isolated model evaluation, our work provides a fully integrated SITL pipeline—covering scene generation, automated annotation, model training, perception, and real-time path planning validation—offering a complete, scalable framework for AI-driven robotics development. Collins et al. [6] present a scalable and modular synthetic data generation framework designed to support aerial autonomy, demonstrating how structured simulation pipelines can enhance dataset diversity and improve the development of perception systems for UAV applications.

The object of this research is a complete software-in-the-loop (SITL) simulation system that enables the generation, testing, and evaluation of AI-driven perception and navigation in robotics.

The aim of the study is to develop and validate an end-to-end pipeline that integrates synthetic data generation, perception that uses deep learning, and path planning for autonomous systems operating in simulation.

The objectives of the research include:

- Building 3D environments and generating labeled datasets;
- Emulating robotic agents and sensors using AirSim with SITL capabilities;

- Applying YOLO-based models for real-time object detection;

- Integrating system components via ROS for closed-loop testing.

This approach provides a reproducible, scalable, and cost-effective framework for training and evaluating AI components for autonomous robots in realistic, yet fully controllable, environments. It provides a quantitative sim-to-real data efficiency analysis, demonstrating that the introduction of 2% real-world data is sufficient to eliminate the majority of the domain gap.

System Architecture and Solution Design

The developed system is a modular Software-in-the-Loop (SITL) pipeline that enables end-to-end testing of robotic perception and navigation using synthetic data. It combines a high-fidelity 3D simulation environment built with Unreal Engine and AirSim, a PX4 or ArduPilot SITL flight controller, and a ROS2-based control layer for system coordination.

AirSim provides realistic rendering and physics-based simulation of sensors and flight dynamics, supporting the generation of labeled datasets and live testing. The ROS2 workspace manages control and telemetry through a command node that translates high-level goals into MAVLink messages. These are sent via MAVROS to the SITL controller, which emulates the drone's behavior and returns real-time feedback.

A web server running on a companion PC (e.g., NVIDIA Jetson Orin) provides a user interface for sending commands and visualizing telemetry and video. This interface communicates with the ROS2 system to control missions and monitor system state.

The architecture (see Fig. 1) supports future transition to Hardware-in-the-Loop (HIL) by replacing the SITL controller with a real flight computer and sensors. This flexible design enables reproducible testing of perception and planning algorithms in a safe, scalable, and controlled virtual environment.

Virtual Scene Design and Synthetic Dataset Generation

The virtual scene was created using Unreal Engine with the AirSim plugin to simulate realistic environments for synthetic data generation.

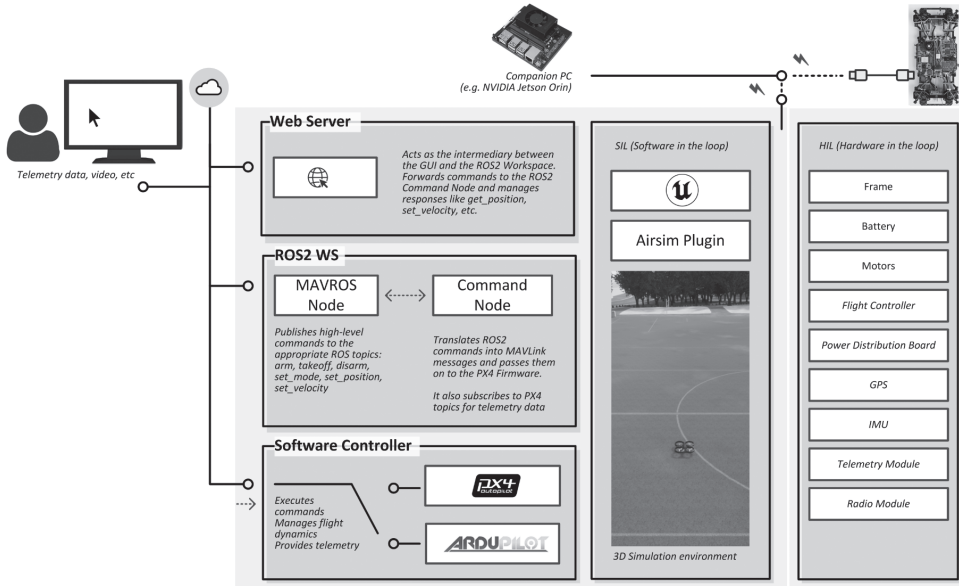


Fig. 1. Modular SITL architecture integrating Unreal Engine, AirSim, ROS2, and flight controllers



Fig. 2. Scene setup in Unreal Engine for synthetic data generation

As shown in the figure, the editor environment includes manually placed 3D assets such as vehicles (e.g., UAZ-452), traffic cones, and terrain details. Each object is inserted as a Static Mesh Actor and organized in the World Outliner, enabling precise control over scene composition, object types, and spatial arrangement. This environment allows the simulation of diverse visual conditions, including different lighting setups, occlusions, angles of view, and background clutter. To ensure reproducibility, the simulation environment was configured with the following technical parameters:

- rendering resolution: up to 2 MP (1920×1080),
- average rendering rate 30+ fps,
- dynamic shadows enabled,
- camera FOV set to 90°.

The AirSim plugin is used to control a virtual drone and capture sensor data, including RGB images, depth maps, and segmentation masks. Scene parameters such as weather, sun angle, and camera position (see Fig. 2) are varied programmatically or manually to enhance diversity.

By leveraging the photorealistic rendering and simulation capabilities of Unreal Engine combined with AirSim's automation and control interface, this approach produces large volumes of high-quality, labeled data suitable for training object detection models. The synthetic scenes form the foundation for developing and testing deep learning-based perception systems in a controlled and repeatable manner.

Model Training and Evaluation

To assess the effectiveness of synthetic data for training object detection models, we implemented a full machine learning lifecycle (see Fig. 3) integrating data synthesis, annotation, model training, and evaluation. As illustrated in the provided CI/CT pipeline diagram, the dataset created in Unreal Engine + AirSim is stored along with its metadata, artifacts, and targets, which are versioned and managed in a dedicated model registry.

The synthetic dataset comprises three object classes (see Fig. 4): a geometric cube, a pyramid, and a miniature vehicle model (Bob), generated within the Unreal Engine and AirSim environment under varied lighting conditions, camera angles, and background configurations.

The class distribution in the training set is intentionally imbalanced, with 160 instances each for Cube and Pyramid and over 1000 instances for the Bob class, reflecting the relative importance of vehicle-type objects in the target application domain. The bounding box spatial distribution analysis confirms that objects are distributed across the full image frame, with Bob instances exhibiting a wider range of aspect ratios due to perspective variation during aerial capture. The YOLOv8n architecture was selected as the detection backbone, comprising 186 layers and 2.68M parameters with a computational cost of 6.8 GFLOPs, making it suitable for deployment on embedded platforms such as NVIDIA Jetson. Generalization performance was evaluated on a held-out real-world test set comprising 1494 images. Inference was performed on an NVIDIA GeForce RTX 3080 Laptop GPU, achieving a mean processing time of 2.0 ms per image (0.2 ms preprocessing + 1.8 ms inference), which confirms suitability for real-time operation.

Quantitative results are summarized in Table 1 and illustrated on Fig. 5–6. A temporary performance degradation is observed when only a minimal number of real samples is introduced. This behavior can be ex-

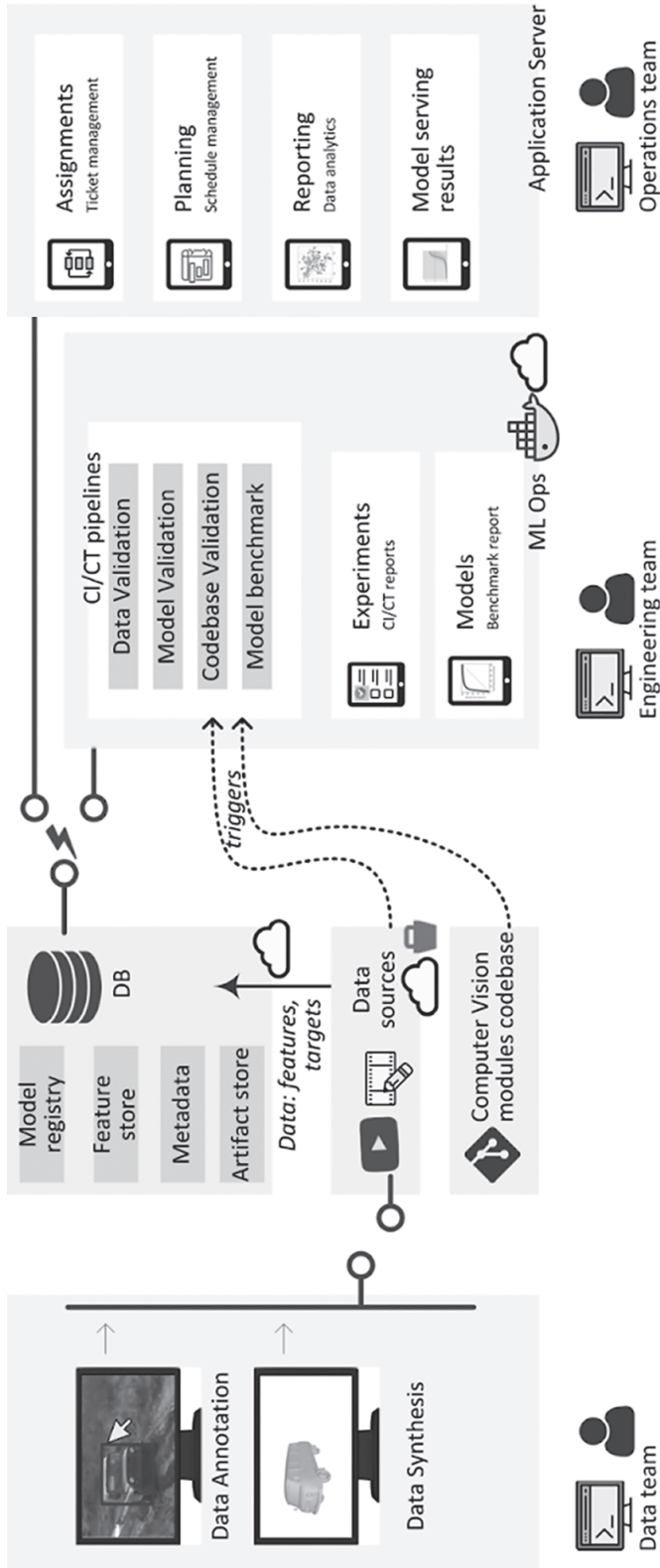


Fig. 3. ML lifecycle pipeline for synthetic data management and model validation

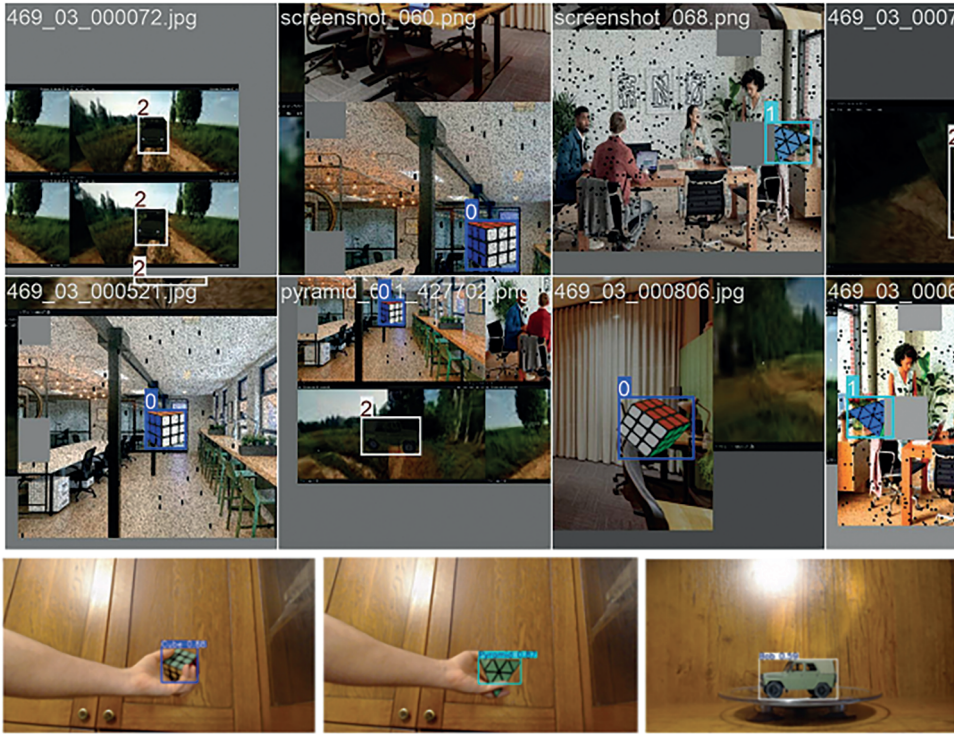


Fig. 4. Examples of synthetic data for training on top and real images on bottom

Table 1. Model validation with 0%, 1%, 2%, and 5% of real data in train dataset

Training data \ mAP@0.5	Cube	Pyr	Bob	All
Synthetic: 160 cubes, 160 Pyramids, 1000+ Bobs	0.90	0.91	0.30	0.71
Synthetic + Real: 6 cubes, 6 pyramids, and 10 Bobs	0.62	0.89	0.99	0.84
Synthetic + Real: 12 cubes, 12 pyramids, and 20 Bobs	0.98	0.95	0.99	0.97
Synthetic + Real: 30 cubes, 30 pyramids, and 50 Bobs	0.99	0.99	0.99	0.99

plained by unstable domain alignment and catastrophic forgetting effects during fine-tuning. To mitigate this instability, future work will explore partial backbone freezing and lower learning rates during the fine-tuning stage.

Experiments with perception and 3D Path Planning in SITL

The developed interface integrates real-time perception, bird's-eye view (BEV) mapping, and 3D path planning (see Fig. 7) within a unified Software-in-the-Loop (SITL) environment. The top visualization shows real-time object detection output (YOLOv8 model) from the drone's RGB

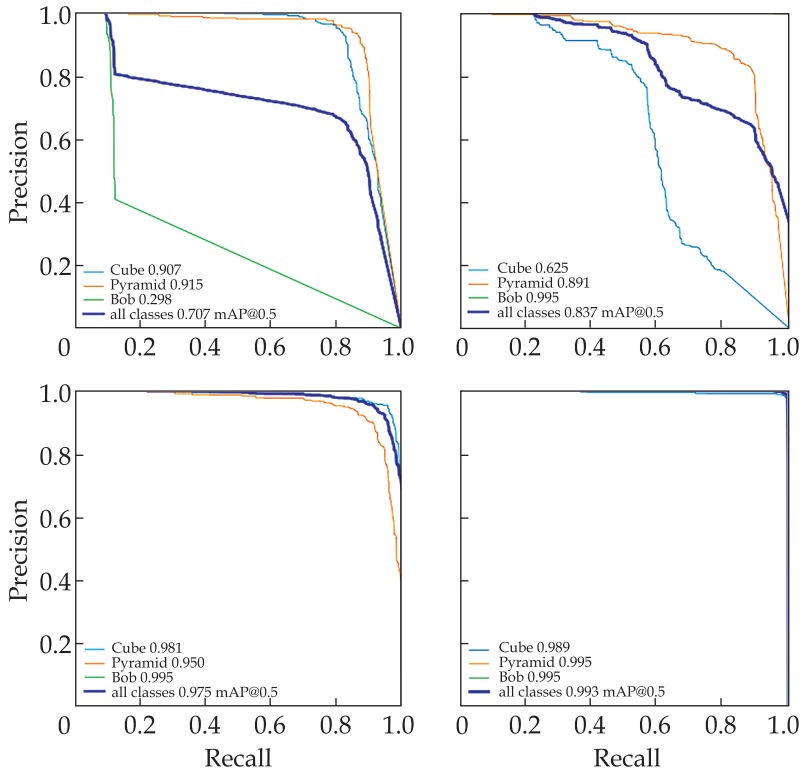


Fig. 5. PR-curves for model validation with 0%, 1%, 2%, and 5% (from left to right) of real data in train dataset

Fig. 6. Efficiency curve (for held-out real test set): saturation of mAP@0.5 over fraction of real images in training dataset

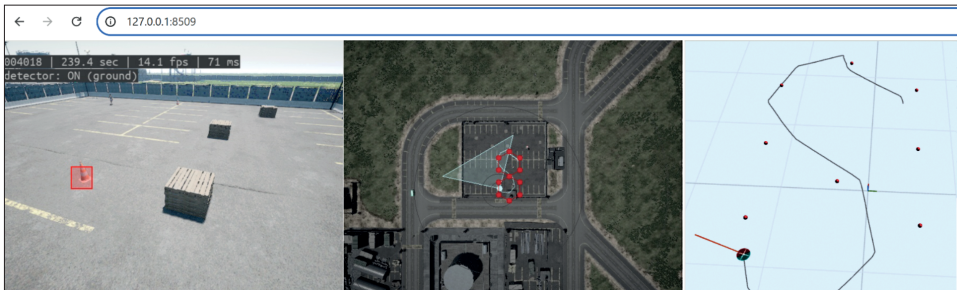
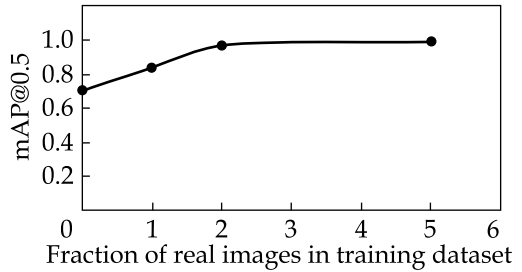


Fig. 7. Object detection, bird-eye-view visualization, and 3D visualization for path planning

an NVIDIA GPU and processed each frame with 30+ fps, which is fast enough for real-time use. The front end app (upper right) backed by flask server (lower 2) demonstrates 30+ fps for processing synthetic images of 640×480.

System flexibility is achieved by making the individual components (such as the flight controller, simulation environment, ROS2 middleware, or perception model) modifiable or replaceable. For example, the flight stack can choose between PX4 and ArduPilot whereas the simulation and perception are the same. ROS2 messaging can be adapted by adding or renaming topics to support alternative telemetry and control (publishing and listening various topics). Finally user interface can be implemented through different web servers (Flask/FastAPI/Node.js) without affecting the whole SITL execution pipeline.

Scene layout, lighting conditions, sensor configurations, and data-capture rates remain explicitly defined through configuration files and therefore stable across runs. With that we achieve a safe, and controlled environment to reproduce the experiments in a scale.

Limitations and Challenges

Although the proposed approach demonstrates strong performance and promising transferability from synthetic to real-world scenarios, several limitations exist. Primarily, a noticeable domain gap between simulated and real images persists, particularly regarding subtle variations in texture, material properties, and complex photometric effects. Additionally, while YOLO-based models offer high inference speed suitable for real-time applications, they may exhibit accuracy trade-offs in densely occluded or highly cluttered scenes. Future research should focus on advanced domain adaptation techniques, improving simulation realism, and exploring hybrid training strategies that combine synthetic and limited real-world data to enhance robustness further.

Conclusion

This research confirms the effectiveness of synthetic data as a core enabler for developing and testing AI-based perception and navigation systems in robotic applications. By integrating Unreal Engine and AirSim in a modular Software-in-the-Loop (SITL) pipeline, we demonstrated a reproducible and scalable framework for training deep learning models, evaluating them under diverse scenarios, and validating their performance across synthetic and real-world domains.

The approach significantly reduces the cost and effort associated with data collection and annotation, while improving model robustness by including rare and hazardous scenarios in the training loop. Experiments show that models trained exclusively on synthetic data demonstrate partial transferability, while small amounts of real data significantly improve performance.

Moreover, the developed pipeline combines perception, situational awareness (BEV), and path planning modules, offering a complete testbed for real-time, closed-loop validation. The system's architecture is compatible with both SITL and future Hardware-in-the-Loop (HIL) extensions, making it suitable for continuous AI development and deployment.

Future work will address domain adaptation to narrow the synthetic-to-real gap, enrich scene realism, expand object class diversity, and explore applications beyond visual perception, such as multi-sensor fusion and autonomous decision-making. Overall, the proposed solution accelerates AI model development in robotics, supports safety and repeatability, and lays a solid foundation for next-generation autonomous systems.

DECLARATION

Declaration of Competing Interest. No potential conflict of interest is reported by the author.

Funding. The author declare that no funds, grants, or other support were received during the preparation of this manuscript.

Use of AI. The author declare that AI-assisted tools were used solely for language editing and spell checking. No AI tools were used for scientific analysis, interpretation of results, or generation of original scientific content.

REFERENCES

1. Shah S., Dey D., Lovett C., Kapoor A. AirSim: High-Fidelity Visual and Physical Simulation for Autonomous Vehicles. *Field and Service Robotics*, 2018, Vol. 5, 621–635. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67361-5_40
2. Laux L., Schirmer S., Schopferer S., Dauer J.C. Build Your Own Training Data – Synthetic Data for Object Detection in Aerial Images. In: *Software Engineering 2022 Workshops*, Bonn, 2022, 182–190. <https://doi.org/10.18420/se2022-ws-18>
3. Kiefer B., Ott D., Zell A. Leveraging Synthetic Data in Object Detection on Unmanned Aerial Vehicles. *26th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, Montreal, QC, Canada, 2022, 3564–3571. <https://doi.org/10.1109/ICPR56361.2022.9956710>
4. Barisic A., Petric F., Bogdan S. Sim2Air – Synthetic Aerial Dataset for UAV Monitoring. *Sensors*, 2022, Vol. 22 (14), Article 5074. <https://doi.org/10.3390/s22145074>
5. Maxey C., Choi J., Lee H., Manocha D., Kwon H. UAV-Sim: NeRF-based Synthetic Data Generation for UAV-based Perception. *arXiv preprint*, 2023, arXiv:2310.16255. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.16255>
6. Collins T., Waggoner J., Stanciulescu B., et al. Scalable Modular Synthetic Data Generation for Advancing Aerial Autonomy. *arXiv preprint*, 2022, arXiv:2211.05335. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.05335>

Received 19.09.2025

Accepted 16.04.2026

Published 01.06.2026

Д.І. РЯБОКОНЬ, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.,
Інститут інформаційних технологій та систем НАН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9329-6706>
d.ryabokon@gmail.com

ГЕНЕРАЦІЯ СИНТЕТИЧНИХ ДАНИХ
ДЛЯ ЗАДАЧ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ
В SITL-СИСТЕМАХ НА ОСНОВІ UNREAL ENGINE ТА AIRSIM

Вступ. Розвиток автономних робототехнічних систем напряму залежить від ефективності модулів сприйняття, які забезпечують виявлення, класифікацію та супровід об'єктів у реальному часі. Проте збирання та розмітка великих обсягів реальних даних є тривалим, дороговартісним процесом і рідко охоплює рідкісні або небезпечні сценарії. Це створює потребу у використанні синтетичних даних, отриманих у високодеталізованих і високоякісних віртуальних середовищах, які дають змогу відтворювати різноманітні умови та автоматизувати процес анотування.

Метою роботи є розроблення та апробація інтегрованого програмного контуру *Software-in-the-Loop (SITL)*, що поєднує генерацію синтетичних даних в *Unreal Engine + AirSim*, тренування моделей глибинного навчання (*YOLOv8*) та перевірку їх ефективності у задачах виявлення та супроводу об'єктів, а також перевірку працездатності в системі планування траєкторій.

Методи. У дослідженні застосовано побудову фотореалістичних віртуальних сцен в *Unreal Engine* із використанням бібліотек 3D-об'єктів та процедурних сценаріїв; генерацію синтетичних RGB-зображень, карт глибини та сегментаційних масок через *AirSim*; автоматизовану анотацію об'єктів; тренування моделей *YOLOv8* на синтетичних наборах даних; оцінювання продуктивності на синтетичних і реальних даних; інтеграцію *perception*-модуля, *bird's-eye view* візуалізації та 3D-планування у *SITL*-середовищі.

Результати. Запропонований підхід забезпечив створення масштабованого набору даних з різними класами об'єктів та умовами освітлення, оклюзіями і фоновими ускладненнями; успішне тренування моделей *YOLOv8* виключно на синтетичних даних; отримання високої точності на реальних тестах; інтеграцію *perception* і *path planning* у єдиній *SITL*-системі з можливістю подальшого переходу до *Hardware-in-the-Loop*.

Висновки. Результати роботи свідчать про те, що синтетичні дані є ефективним інструментом для підготовки моделей комп'ютерного зору в робототехнічних системах. Використання *Unreal Engine* та *AirSim* у складі *SITL*-контуру дає змогу зменшити витрати на збирання та розмітку реальних даних, забезпечити відтворюваність експериментів і покращити генералізацію моделей на реальних сценаріях. Подальші дослідження призначені зменшити розрив між синтетичними та реальними даними, розширити класи об'єктів і застосування багатосенсорних стратегій.

Ключові слова: синтетичні дані, комп'ютерний зір, глибоке навчання, робототехніка, *SITL*, *Unreal Engine*, *AirSim*, *YOLO*.

<https://doi.org/10.15407/intechsys.2026.02.018>
UDC 519.6

Є.В. ВОДОЛАЗСЬКИЙ, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.,
Інститут інформаційних технологій та систем НАН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, м. Київ, 03187, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3906-256X>
waterlaz@gmail.com

ВЛАСТИВОСТІ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЇ МАТРИЦІ В РАЗІ РЕКТИФІКАЦІЇ СТЕРЕОПАРИ ЗОБРАЖЕНЬ

У роботі досліджено задачу ректифікації стереопари зображень на основі заданої фундаментальної матриці, що описує епіполярну геометрію між двома проекціями сцени. Запропоновано аналітичний підхід до побудови перетворень, які приводять фундаментальну матрицю до канонічного вигляду, що відповідає ідеально вирівняній стереопарі з горизонтальними епіполярними лініями. Показано, що задача ректифікації може бути зведена до знаходження двох матриць повороту, для яких отримано спрощені умови існування. Запропонований підхід не потребує знання внутрішніх параметрів камер і може бути застосований у задачах 3D-реконструкції та комп'ютерного зору.

Ключові слова: ректифікація зображень, фундаментальна матриця, епіполярні обмеження, проєктивна геометрія.

Вступ

Ректифікація — це процес геометричного перетворення двох зображень (стереопари), отриманих із різних положень камер, таким чином, щоб епіполярні лінії на обох зображеннях стали паралельними та горизонтальними. Іншими словами, ректифікація вирівнює зображення так, що відповідні точки на лівому та правому зображеннях знаходяться на одному горизонтальному рівні так, ніби пара зображень була знята такими двома камерами, розташованими на одній горизонтальній лінії, які дивляться прямо в одному напрямку. Це

Цитування: Водолазський Є.В. Властивості фундаментальної матриці в разі ректифікації стереопари зображень. *Information Technologies and Systems*. 2 (8). 2026. 18 — 24. <https://doi.org/10.15407/intechsys.2026.02.018>

© Publisher PH "Akadempriodyka" of the NAS of Ukraine, 2025. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

спрощує пошук відповідностей між точками на лівому і правому зображеннях, що є ключовим етапом під час побудови карти глибини або відновлення 3D-сцени [1, 2].

Фундаментальна матриця [1, 3] F рангу 2 розміром 3×3 пов'язує точки двох зображень, отримані під час фотографування статичної сцени двома камерами з різних положень та, можливо, з різними внутрішніми параметрами. Якщо деяка точка простору проєктується на зображенні лівої камери з координатами $(x_l, y_l) \in \mathbb{R}^2$, а на зображенні правої камери з координатами $(x_r, y_r) \in \mathbb{R}^2$, то вони пов'язані співвідношенням:

$$(x_l, y_l, 1)F \begin{pmatrix} x_r \\ y_r \\ 1 \end{pmatrix} = 0.$$

Відомо, що фундаментальна матриця має ранг 2 та має таку форму:

$$F = K_l^{-T} R_l^{-T} \begin{bmatrix} \vec{d} \\ \times \end{bmatrix} R_r^{-1} K_r^{-1},$$

де K_l та K_r — калібрувальні матриці лівої та правої камери (залежать від їх внутрішніх параметрів), R_l та R_r — матриці повороту, що описують орієнтацію камер у просторі, $\begin{bmatrix} \vec{d} \\ \times \end{bmatrix}$ — матриця рангу 2, яка виражає векторну операцію перехресного добутку і кодує відстань (базу) між центрами камер.

Калібрувальні матриці K_l та K_r мають такий вигляд:

$$K_l = \begin{pmatrix} f_l & 0 & p_{xl} \\ 0 & f_l & p_{yl} \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad K_r = \begin{pmatrix} f_r & 0 & p_{xr} \\ 0 & f_r & p_{yr} \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

де f_l та f_r — фокусні відстані лівої та правої камер; (p_{xl}, p_{yl}) та (p_{xr}, p_{yr}) — центри проєктування лівої та правої камер.

Застосування пари лінійних перетворень H_l та H_r до пари зображень змінює координати точок (x_l, y_l) та (x_r, y_r) на (x_l, y_l) та (x_r, y_r) на зображеннях за правилами:

$$\begin{aligned} (\alpha_l x_l, \alpha_l y_l, \alpha_l)^T &= H_l(x_l, y_l, 1)^T, \\ (\alpha_r x_r, \alpha_r y_r, \alpha_r)^T &= H_r(x_r, y_r, 1)^T, \end{aligned}$$

для деяких α_l та α_r . Фундаментальна матриця для нової пари зображень в цьому разі набуває вигляду:

$$F' = H_l^{-T} F H_r^{-1}.$$

Задача ректифікації полягає в тому, щоб за фундаментальною матрицею F знайти таку пару лінійних перетворень H_l та H_r , яка трансформує пару зображень на таку, що знята парою однакових

камер з однаковою орієнтацією. Крім того, напрям знімання має бути перпендикулярним до прямої, що проходить через обидві камери. У термінах фундаментальної матриці це виражається як

$$F' \sim \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix},$$

де символ хвиляста риска позначає рівність з точністю до множника.

Результати

Зазвичай задачу ректифікації розв'язують методом пошуку будь-якої пари лінійних перетворень H_l та H_r , що перетворюють F до бажаного вигляду [3–6]. Однак, відомо, що шукані перетворення мають вигляд:

$$H^{-1} = K \cdot R = \begin{pmatrix} f & 0 & p_x \\ 0 & f & p_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix},$$

де K – деяка калібрувальна матриця, а R – матриця повороту.

Оскільки матриця F має ранг 2, то існує [1] такий вектор $(e_x, e_y, 1)$, що

$$F \cdot (e_x, e_y, 1)^T = (0, 0, 0)^T. \quad (1)$$

Оскільки після ректифікації епіполляри мають бути спрямовані в напрямку осі x , а матриця F' має нульовий перший стовпчик, то

$$F' \cdot (1, 0, 0)^T = (0, 0, 0)^T. \quad (2)$$

Для того, щоб матриця H задовольняла умовам для необхідного перетворення зображення, вона має перетворювати вектор $(1, 0, 0)^T$ на вектор епіполляра $(e_x, e_y, 1)^T$, а отже, має виконуватись співвідношення $K \cdot R \cdot (1, 0, 0)^T \sim (e_x, e_y, 1)^T$. Звідси випливає, що $K \cdot (r_{11}, r_{21}, r_{31})^T \sim (e_x, e_y, 1)^T$, а отже

$$(fr_{11} + p_x, fr_{21} + p_y, r_{31})^T \sim (e_x, e_y, 1)^T,$$

що означає

$$(fr_{11} + p_x, fr_{21} + p_y, r_{31})^T = (e_x r_{31}, e_y r_{31}, r_{31})^T,$$

звідки випливає співвідношення:

$$\begin{cases} p_x = e_x - f \frac{r_{11}}{r_{31}}, \\ p_y = e_y - f \frac{r_{21}}{r_{31}}. \end{cases}$$

Користуючись співвідношенням (1) та (3), маємо:

$$\begin{aligned}
 F \cdot K &= F \cdot \begin{pmatrix} f & 0 & p_x \\ 0 & f & p_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = F \cdot \begin{pmatrix} f & 0 & e_x - f \frac{r_{11}}{r_{31}} \\ 0 & f & e_y - f \frac{r_{21}}{r_{31}} \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \\
 &= F \cdot \left(\begin{pmatrix} 0 & 0 & e_x \\ 0 & 0 & e_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} f & 0 & -f \frac{r_{11}}{r_{31}} \\ 0 & f & -f \frac{r_{21}}{r_{31}} \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \right) = F \cdot \begin{pmatrix} f & 0 & -f \frac{r_{11}}{r_{31}} \\ 0 & f & -f \frac{r_{21}}{r_{31}} \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \sim F \cdot \begin{pmatrix} r_{31} & 0 & -r_{11} \\ 0 & r_{31} & -r_{21} \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.
 \end{aligned}$$

Оскільки R – є матрицею повороту і складається з ортонормованої трійки векторів, маємо:

$$\begin{aligned}
 \begin{pmatrix} r_{11} \\ r_{12} \\ r_{13} \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} r_{21} \\ r_{22} \\ r_{23} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} r_{31} \\ r_{32} \\ r_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{22}r_{33} - r_{23}r_{32} \\ r_{23}r_{31} - r_{21}r_{33} \\ r_{21}r_{32} - r_{22}r_{31} \end{pmatrix}, \\
 \begin{pmatrix} r_{31} \\ r_{32} \\ r_{33} \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} r_{11} \\ r_{12} \\ r_{13} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} r_{21} \\ r_{22} \\ r_{23} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{12}r_{23} - r_{13}r_{22} \\ r_{13}r_{21} - r_{11}r_{23} \\ r_{11}r_{22} - r_{12}r_{21} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_{21} \\ r_{22} \\ r_{23} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{31} \\ r_{32} \\ r_{33} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} r_{11} \\ r_{12} \\ r_{13} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{32}r_{13} - r_{33}r_{12} \\ r_{33}r_{11} - r_{31}r_{13} \\ r_{31}r_{12} - r_{32}r_{11} \end{pmatrix}.
 \end{aligned}$$

А отже, для матриці $F \cdot K \cdot R$ справедливим є співвідношення:

$$\begin{aligned}
 F \cdot K \cdot R &\sim F \cdot \begin{pmatrix} r_{31} & 0 & -r_{11} \\ 0 & r_{31} & -r_{21} \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix} \sim \\
 &\sim F \cdot \begin{pmatrix} 0 & r_{31}r_{12} - r_{32}r_{11} & r_{31}r_{13} - r_{33}r_{11} \\ 0 & r_{31}r_{22} - r_{32}r_{21} & r_{31}r_{23} - r_{33}r_{21} \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \sim F \cdot \begin{pmatrix} 0 & r_{23} & -r_{22} \\ 0 & -r_{13} & r_{12} \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.
 \end{aligned}$$

Подібні міркування справедливі для перетворень лівої камери:

$$R_l^T \cdot K_l^T \cdot F \sim \begin{pmatrix} 0 & \rho_{23} & -\rho_{22} \\ 0 & -\rho_{13} & \rho_{12} \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^T \cdot F.$$

Таким чином, задача ректифікації спрощується до пошуку таких

двох матриць повороту, що:

$$\begin{pmatrix} 0 & \rho_{23} & -\rho_{22} \\ 0 & -\rho_{13} & \rho_{12} \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^T \cdot F \cdot \begin{pmatrix} 0 & r_{23} & -r_{22} \\ 0 & -r_{13} & r_{12} \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix},$$

що значно простіше за початкову умову:

$$R_l^T \cdot K_l^T \cdot F \cdot K_r \cdot R_r \sim \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Висновки

У статті детально розглянуто задачу ректифікації стереопари за заданою фундаментальною матрицею, яка повністю визначає епіпольярну геометрію між двома зображеннями сцени. Запропонований підхід базується на аналітичному дослідженні властивостей фундаментальної матриці та дозволяє перейти від загальної постановки задачі до значно простішої конструкції шуканих перетворень.

Основним результатом роботи є встановлення того факту, що задачу ректифікації можна звести до знаходження двох матриць повороту, які задовольняють певним узгодженим умовам, що впливають із структури фундаментальної матриці. На відміну від класичних підходів, які передбачають пошук довільних проєктивних перетворень, отримана редукція істотно зменшує кількість ступенів свободи задачі та спрощує і теоретичний аналіз, і практичну реалізацію алгоритмів ректифікації.

Важливою перевагою запропонованого підходу є те, що він не потребує знання внутрішніх параметрів камер. Це робить метод придатним для широкого класу прикладних задач, зокрема у випадках, коли калібрування камер є неточним або взагалі недоступним. Таким чином, результати роботи можуть бути безпосередньо застосовані у задачах комп'ютерного зору, таких як побудова карти глибини, відновлення тривимірної структури сцени, а також у системах стереозору в реальному часі. Отримані співвідношення дають більш глибоке розуміння геометричної природи ректифікації та ролі фундаментальної матриці у цьому процесі.

Перспективним напрямом подальших досліджень є розробка чисельно стійких алгоритмів знаходження відповідних матриць повороту, а також аналіз впливу похибок оцінки фундаментальної матриці на якість ректифікації.

ПОВІДОМЛЕННЯ

Декларація про конфлікт інтересів. Автор не повідомляє про жодний потенційний конфлікт інтересів.

Фінансування. Автор заявляє, що під час підготовки цього рукопису не отримував жодних коштів, грантів чи іншої підтримки.

Використання штучного інтелекту. Автор заявляє, що інструменти за допомогою штучного інтелекту не використовувалися при написанні статті.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Hartley R, Zisserman A. *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Cambridge University Press, 2-nd ed., 2004, 655 p. <https://doi.org/10.1017/S09780511811685>
2. Longuet-Higgins H. A computer algorithm for reconstructing a scene from two projections. *Nature*, 1981, Vol. 293, 133–135. <https://doi.org/10.1038/293133a0>
3. Hartley R.I. Theory and Practice of Projective Rectification. *International Journal of Computer Vision*, 1999, Vol. 35, 115–127. <https://doi.org/10.1023/A:1008115206617>
4. Fusiello A., Trucco E., Verri A. A compact algorithm for rectification of stereo pairs. *Machine Vision and Applications*, 2000, Vol. 12, 16–22. <https://doi.org/10.1007/s001380050120>
5. Zhou A., Wei R., Li Z., Pu J., Yu J. A Fast Epipolar Rectification Method Based on Fundamental Matrix. *2021 International Conference on Communications, Information System and Computer Engineering (CISCE)*, Beijing, China, 2021, 381–386. <https://doi.org/10.1109/CISCE52179.2021.9445944>
6. Monasse P., Morel J-M., Tang Z. Three-step image rectification. *British Machine Vision Conference, BMVC 2010*, Article 89, 1–10. <http://doi.org/10.5244/C.24.89>

Отримано / Received 19.03.2026

Прийнято / Accepted 05.05.2026

Опубліковано / Published 01.06.2026

Ye.V. VODOLAZSKYI, PhD (Engineering), Senior Researcher,
Institute of Information Technologies and Systems of the NAS of Ukraine,
40, Hlushkova Akad. ave., Kyiv, 03187, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3906-256X>
waterlaz@gmail.com

PROPERTIES OF THE FUNDAMENTAL MATRIX IN THE RECTIFICATION OF STEREO PAIRS OF IMAGES

Introduction. This paper addresses the problem of stereo pair rectification based on a given fundamental matrix, which encodes the epipolar geometry between two images of a static scene acquired from different viewpoints. Rectification is a key preprocessing step, as it transforms the images in such a way that corresponding points lie on the same horizontal scanlines, which significantly simplifies the correspondence search and subsequent depth estimation in many computer vision tasks. Unlike classical approaches that construct rectifying transformations through general linear transformations, we exploit the intrinsic structure of the fundamental matrix. The conditions are explored under which the fundamental matrix can be transformed into a canonical form corresponding to a perfectly rectified stereo configuration with horizontal epipolar lines.

The Purpose of the paper is to investigate the problem of rectification of a stereo pair of images based on a given fundamental matrix describing the epipolar geometry between two projections of the scene.

Methods. An analytical approach is proposed to construct transformations that bring the fundamental matrix to a canonical form corresponding to a perfectly aligned stereo pair with horizontal epipolar lines.

Results. The main contribution of the paper is the reduction of the rectification problem to the problem of finding two rotation matrices satisfying a set of constraints

derived from the properties of the fundamental matrix. As a result, the original problem of determining arbitrary projective transformations is replaced by a more tractable problem with significantly fewer degrees of freedom.

Conclusions. An important feature of the proposed approach is that it does not require knowledge of the intrinsic calibration parameters of the cameras. This makes the method applicable in uncalibrated settings, where only the fundamental matrix is available. Such scenarios frequently arise in practical applications, including structure-from-motion pipelines, stereo vision systems, and 3D scene reconstruction from image pairs. The proposed framework can serve as a basis for developing efficient numerical algorithms for stereo rectification. Future work may include the study of numerical stability, robustness to noise in the estimation of the fundamental matrix, and extensions to multi-view settings.

Keywords: *stereo image rectification, fundamental matrix, epipolar constraints, projective geometry.*

INTELLECTUAL INFORMATIONAL TECHNOLOGIES

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<https://doi.org/10.15407/intechsys.2026.02.025>
UDC 004.912:81'322

I.O. KOBYLIN, PhD (Engineering), Senior Lecturer,
Kharkiv National University of Radio Electronics,
14, Nauky ave., Kharkiv, 61166, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4552-9616>
ilya.kobylin@nure.ua

V.D. BIEHUNOVA, Master,
Kharkiv National University of Radio Electronics,
14, Nauky ave., Kharkiv, 61166, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0000-3804-818X>
veronika.biehunova@nure.ua

D.S. TSYBAN, Master's Student,
Kharkiv National University of Radio Electronics,
14, Nauky ave., Kharkiv, 61166, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0001-2661-9034>
dmytro.tsyban@nure.ua

V.O. KOVALCHUK, Master's Student,
Kharkiv National University of Radio Electronics,
14, Nauky ave., Kharkiv, 61166, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0004-3286-7888>
vladyslav.kovalchuk@nure.ua

MEASURING TEXTUAL REDUNDANCY, LEXICAL RICHNESS, AND VERACITY: A MULTI-METRIC APPROACH TO TEXT EVALUATION

With the exponential growth of textual data, effective analytical methods are essential. This paper introduces a multi-metric approach to text evaluation, focusing on quantifying textual redundancy, lexical richness, and veracity. We explore the theoretical underpinnings and practical applications of the Wateriness Coefficient for redundancy, the Type-Token Ratio (TTR) and various Lexical Diversity Indices for vocabulary richness, and the Factual Accuracy Score for informational integrity. These metrics offer a comprehensive framework for assessing text quality beyond traditional methods, enabling deeper insights into linguistic characteristics and informational reliability in diverse textual datasets.

Cite: Kobylin I.O., Biehunova V.D., Tsyban D.S., Kovalchuk V.O. Measuring Textual Redundancy, Lexical Richness, and Veracity: A Multi-Metric Approach to Text Evaluation. *Information Technologies and Systems*. 2 (8). 2026. 25–45. <https://doi.org/10.15407/intechsys.2026.02.025>

© Publisher PH “Akademperiodyka” of the NAS of Ukraine, 2025. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Keywords: *Computational Linguistics, Factual Accuracy, Lexical Diversity, Natural Language Processing, Text Analysis, Text Quality, Type-Token Ratio, Wateriness Coefficient.*

Introduction

The modern era of data generation has ushered in an exponential surge in textual information. From customer feedback and social media posts to intricate technical documentation and insightful market reports, vast reservoirs of text are continuously accumulating across diverse sectors. This overwhelming volume of unstructured data creates a pressing need for effective methods to organize and analyze it. Indeed, extracting meaningful insights from these textual troves has become absolutely essential for informed decision-making and strategic planning in nearly every field.

Simply counting words or tracking their basic presence no longer suffices for truly evaluating and understanding the nuances of textual content. For a more comprehensive appraisal, a range of specialized metrics have been developed, each designed to delve into different dimensions of text, such as its lexical richness, informational integrity, and even its rhetorical style. Previous studies have explored a variety of approaches to assessing text quality [1–6]. Traditional readability indices such as the Flesch Reading Ease and Gunning Fog Index evaluate surface-level linguistic complexity through sentence length and word difficulty. Later research introduced lexical diversity measures – Type-Token Ratio (TTR), Moving Average TTR (MATTR), and Measure of Textual Lexical Diversity (MTLD) – to quantify vocabulary richness. More recent developments in Natural Language Processing (NLP) apply machine learning models such as BERTScore and ROUGE to assess semantic coherence and factual consistency. However, most existing studies focus on individual aspects of text evaluation rather than integrating multiple perspectives.

This paper addresses this limitation by presenting a multi-metric approach for comprehensive text evaluation, exploring various quantitative measures that go far beyond superficial analyses of text quality. We examine the theoretical foundations and practical applications of metrics like the Wateriness Coefficient, which quantifies textual redundancy by measuring the proportion of common, or “stop” words. We also delve into the Type-Token Ratio and other Lexical Diversity Indices, crucial tools for assessing vocabulary richness by comparing unique words to the total word count. Furthermore, we address the critical role of the Factual Accuracy Score in evaluating informational integrity and the Manipulation Score in detecting emotionally charged language. The Coherence Score, which measures logical interconnectedness, is also considered, contributing to a text’s rhetorical and structural integrity. By integrating these diverse metrics, we demonstrate how a comprehensive methodological framework can enable robust applications across a wide spectrum of fields – from digital communications and market research to scientific literature review and automated text quality control. Ultimately, this research aims to tackle key challenges in contemporary text analysis, high-

lighting the need for a nuanced understanding of text quality and underscoring the immense value of integrating a multi-faceted evaluation within existing analytical pipelines.

1. The Wateriness Coefficient: Quantifying Redundancy in Textual Analysis

The quantitative assessment of textual properties is a fundamental aspect of computational linguistics and natural language processing. Among the various metrics developed to analyze text structure and content, the wateriness coefficient stands out as a measure specifically designed to quantify redundancy. Also frequently referred to as the stop word ratio or functional word ratio, this metric provides insight into the proportion of text composed of highly frequent, typically low-semantic content words relative to the total word count. These words, often termed “stop words” or “functional words”, are essential for grammatical correctness and structural coherence but contribute minimally to the core informational density of a document. A high wateriness coefficient can indicate potentially diluted content, verbosity, or even attempts to artificially inflate text length, while a very low coefficient might suggest an overly terse or grammatically incomplete style. Understanding this coefficient is valuable across various applications, from search engine optimization (SEO) and academic writing analysis to information retrieval and stylometry.

1.1. Calculation and Methodology of the Wateriness Coefficient.

The calculation of the wateriness coefficient is based on a straightforward ratio. It requires defining a specific list of stop words, which are common words deemed irrelevant for particular analytical purposes (e.g., “the”, “a”, “is”, “and”). The coefficient is then computed by dividing the count of such stop words found within a text by the total number of words in that text. This value is often expressed as a percentage for ease of interpretation.

The formula for the Wateriness Coefficient (WC) is formally defined as:

$$WC = \frac{N_{sw}}{N_w} \times 100\%, \quad (1)$$

where N_{sw} is the number of stop words, the count of words presents in the text that are also included in a predefined stop word list; N_w is the total count of all tokens (words) in the text.

It is crucial to recognize that the resulting coefficient is directly dependent on the specific stop word list employed. Different languages require distinct lists, and even within a single language, the composition of a stop word list can vary based on the analytical goal. For instance, a list used for general text analysis might differ from one tailored for domain-specific corpora where certain typically “stop” words might carry specialized meaning.

1.2. Interpretation and Significance. Interpreting the wateriness coefficient requires context. While there is no universally mandated range representing an “ideal” text, general guidelines and domain-specific norms often inform the interpretation. A higher coefficient signifies a greater proportion of stop words, potentially indicating lower informational density per word. Conversely, a lower coefficient suggests a more concentrated use of content-bearing words.

Table 1 provides a general overview of how the wateriness coefficient might be interpreted across different ranges, although these should be viewed as illustrative rather than prescriptive.

The wateriness coefficient holds considerable relevance across a spectrum of fields, impacting how content is evaluated, processed, and understood.

In the realm of Search Engine Optimization (SEO), this metric is particularly critical. Search engines are designed to prioritize high-quality, pertinent content. Texts characterized by an unusually high wateriness coefficient risk being identified as low-value or “thin content”, which can significantly depress their search rankings. While the judicious inclusion of stop words is often necessary for grammatical correctness and flow, their excessive use can inadvertently dilute keyword density and compromise the overall thematic focus of a document.

For academic and professional writing, the wateriness coefficient serves as a key indicator of textual efficiency. In scholarly articles, reports, and technical documentation, the principles of clarity and conciseness are paramount. A high wateriness coefficient can obscure central arguments, impede readability, and, by extension, suggest a deficit in substantive analysis or data presentation. Consequently, an analysis of this metric can be instrumental for writers seeking to enhance the conciseness and impact of their work.

Table 1. A general overview of how the wateriness coefficient might be interpreted across different ranges

Wateriness Coefficient Range, %	Potential Interpretation	Implications
Below 30	Very low redundancy, potentially overly concise or terse	Might lack grammatical flow; could be difficult to read; domain-specific (e.g., technical specifications)
30–50	Moderate redundancy, balanced use of functional and content words	Often found in well-structured informative or academic texts
50–70	High redundancy, significant proportion of functional words	Potentially verbose; could indicate diluted content or filler
Above 70	Excessively high redundancy	Strongly suggests diluted informational value; potential for artificial length

Within the domain of Natural Language Processing tasks, the wateriness coefficient offers valuable insights into text preprocessing. For applications such as text summarization, topic modeling, and information retrieval, the removal or downweighting of stop words is a routine initial step. The wateriness coefficient provides an estimated measure of the “noise” introduced by these ubiquitous words, thereby influencing the efficiency and ultimate effectiveness of NLP algorithms. An elevated coefficient, for instance, signals a larger proportion of words that may require filtering to optimize algorithmic performance.

Finally, in the field of stylometry and authorship attribution, the frequency and specific patterns of functional word usage contribute to an author’s distinct stylistic fingerprint. Although not the sole determinant, fluctuations in the wateriness coefficient, when examined in conjunction with other established stylistic markers, can be effectively employed in comparative stylometric analyses. This can aid in attributing authorship or in discerning the characteristic features of various textual genres.

1.3. Limitations and Considerations. While the wateriness coefficient offers a valuable quantitative measure of textual redundancy, it’s crucial to acknowledge that it isn’t a flawless or standalone indicator of text quality or originality. Applying and interpreting this metric necessitates careful consideration of several inherent limitations.

Firstly, the very notion of an “appropriate” level of “wateriness” is deeply context-dependent. Different genres, specific purposes, and target audiences inherently demand distinct writing styles. Consider, for instance, how narrative prose or descriptive writing naturally incorporates a higher proportion of functional words – essential for connecting ideas and ensuring fluid prose – when compared to a succinct technical abstract or a list of keywords. It would be entirely inappropriate, for example, to evaluate a poem or a dialogue script using the same wateriness benchmarks applied to a scientific paper.

Secondly, the coefficient’s precision relies heavily on the quality and relevance of the chosen stop word list. An inadequate or poorly selected list can easily lead to word misclassification, consequently skewing the calculated coefficient. While using a stop word list from one language to analyze text in another is an obvious pitfall, even within the same language, variations among lists can noticeably affect the results.

Furthermore, a low wateriness coefficient doesn’t automatically guarantee semantic density or high quality. A text can be remarkably concise and contain minimal stop words yet still prove superficial, lack original thought, or convey inaccurate information. This coefficient primarily quantifies structural redundancy based on a predefined list, not the intellectual depth, accuracy, or novelty of the presented ideas.

Finally, the presence of idiomatic expressions and phrasal verbs presents a significant analytical hurdle. These linguistic constructs frequently include words typically found on a stop word list (e.g., “give up”, “look into”). Although these functional words are an integral part of a larger

semantic unit, a straightforward count based on a stop word list would erroneously categorize them as redundant. This could potentially inflate the wateriness coefficient or misrepresent the text's true density of meaning. Therefore, a more sophisticated analysis might require identifying and treating such multi-word expressions differently. Ultimately, a comprehensive assessment of text quality demands that the wateriness coefficient be considered alongside other linguistic, semantic, and qualitative analyses.

2. Type-Token Ratio: Quantifying Lexical Diversity in Text

Lexical diversity is a critical characteristic of text, providing insights into the richness and variety of vocabulary used within a document. In computational linguistics and textual analysis, the Type-Token Ratio (TTR) is one of the most fundamental and widely used metrics for quantifying this aspect of language. The TTR captures the relationship between the number of unique words (types) and the total number of words (tokens) in a given text. A word "token" is an instance of a word in the text, while a word "type" is a unique vocabulary item, irrespective of its frequency of occurrence. By quantifying this ratio, the TTR offers a measure of how repetitively vocabulary is used. A higher TTR generally indicates greater lexical diversity, suggesting a broader vocabulary and potentially more varied expression.

2.1. Calculation of the Type-Token Ratio. The calculation of the Type-Token Ratio is conceptually simple. It involves counting the total number of word tokens in a text and the number of unique word types. The ratio is then derived by dividing the number of types by the number of tokens. This result is typically presented as a decimal or multiplied by 100 to be expressed as a percentage.

The mathematical formula for the Type-Token Ratio is:

$$TTR = \frac{V}{N}, \quad (2)$$

where V represents the number of unique word types in the text; N represents the total number of word tokens in the text.

For illustrative purposes, consider the brief sentence: "The cat sat on the mat". In this example, the tokens are "The", "cat", "sat", "on", "the", "mat", giving $N = 6$. The unique types are "The", "cat", "sat", "on", "mat", giving $V = 5$. Applying the formula, the TTR is $5/6$, or 83.3%. This simple calculation highlights how the ratio captures the proportion of unique words relative to the text's total length.

2.2. Interpretation and Significance. The Type-Token Ratio provides valuable information about the lexical characteristics of a text, offering insights into the author's vocabulary usage and the potential complexity and richness of the language. A higher TTR score typically signifies

greater lexical richness, indicating that the author has employed a wider range of vocabulary items. This can lead to more nuanced expression, potentially making the text more engaging, informative, and detailed for the reader. Conversely, a lower TTR suggests a higher rate of word repetition and potentially a more limited vocabulary range used within that specific text.

While the TTR is primarily a measure of lexical diversity, it can also be indirectly related to other aspects of text. For instance, texts exhibiting higher lexical diversity might sometimes be associated with increased semantic or syntactic complexity, as a wider vocabulary can facilitate more intricate constructions and ideas. In fields such as developmental linguistics, the TTR is a useful metric for tracking language acquisition and vocabulary growth in individuals, particularly children; an increasing TTR over time can signal an expanding lexical repertoire. Furthermore, within stylometric analysis and authorship attribution studies, the TTR can serve as one of several quantitative features contributing to the identification of an author's characteristic style or differentiating between writing styles of different origins. In natural language processing applications, such as evaluating the output of text summarization systems, the TTR can help assess how well an automated summary preserves the lexical variety present in the original source text.

2.3. Length Dependency and Alternative Measures. A significant and widely acknowledged limitation of the raw Type-Token Ratio is its inherent sensitivity to the length of the text being analyzed. As the total number of tokens increases in a text, the rate at which new unique word types are introduced tends to decrease. This is because the most common words are likely to have appeared multiple times in shorter segments, and the probability of encountering a truly new word diminishes as the text grows longer. Consequently, the raw TTR naturally decreases as text length increases, making direct comparisons of TTR values between texts of significantly different lengths problematic. For example, a 100-word text might easily have a TTR around 70%, while a 10,000-word text, even if written by the same author with a similar style, would almost certainly yield a much lower TTR, perhaps 40% or less. This length dependency is a critical factor that limits the direct applicability of the raw TTR for corpus-wide analysis or comparisons across disparate document sizes.

To mitigate this issue and enable more reliable comparisons across texts of varying lengths, several normalized measures of lexical diversity have been developed. These alternative indices attempt to adjust for the effect of text length, providing more stable indicators of vocabulary richness. Some prominent examples include:

Guiraud's Index (Root TTR): This measure divides the number of types by the square root of the number of tokens [3]. It is calculated as:

$$M = \frac{V}{\sqrt{N}}. \quad (3)$$

This normalization attempts to dampen the effect of increasing text length on the resulting index value.

Yule's K : This statistic is based on the frequency distribution of words and is less sensitive to text length than the raw TTR. It is calculated using the sum of the squares of the frequencies of each word. A common formulation is:

$$K = 10^4 \times \frac{\sum_{i=1}^V f_i^2 - N}{N^2}, \quad (4)$$

where f_i is the frequency of the i -th unique word type; V is the number of types; N is the number of tokens. A higher value of Yule's K indicates lower lexical diversity (higher repetition), which is the inverse interpretation of TTR.

Honore's Statistic (R): This measure focuses on the proportion of words that occur only once (hapax legomena, denoted as V_1) and is designed to be less sensitive to text length. It is calculated as:

$$R = 100 \times \frac{\log(N)}{1 - \frac{V_1}{N}}, \quad (5)$$

where N is the total number of tokens; V_1 is the number of words occurring exactly once. This statistic provides a measure of lexical richness that is more stable across different text lengths than the raw TTR.

These normalized measures offer researchers more robust tools for comparing lexical diversity, particularly when dealing with corpora composed of documents of significantly different sizes. However, the raw TTR remains valuable for analyzing lexical diversity within texts of similar length or for understanding the local rate of new word introduction within a single document.

3. Lexical Diversity Index: A Multifaceted Approach to Quantifying Vocabulary Richness in Text

Beyond simple word and token counts, the richness and variety of vocabulary employed within a text or across a collection of texts (corpus) provide profound insights into linguistic style, complexity, and potential communicative effectiveness. The term "Lexical Diversity Index" serves as an umbrella concept, encompassing a variety of quantitative measures designed to evaluate this aspect of language – how extensively an author or set of authors utilizes unique words relative to the total volume of text. A higher LDI typically indicates a more varied and potentially sophisticated vocabulary, suggesting a broader lexical repertoire and contributing to the perceived complexity, nuance, and informativeness of the text. Understanding lexical diversity is of significant importance across

numerous disciplines, including theoretical and applied linguistics (for studying language development, stylistic evolution, and register variation), Natural Language Processing (where lexical diversity can serve as a crucial feature for tasks like text classification, style analysis, and quality assessment), educational science (for assessing vocabulary growth in learners and evaluating the complexity of reading materials), and psychology (for investigating potential links between vocabulary usage and cognitive abilities).

3.1. Measures Falling Under the LDI Umbrella. While the fundamental concept of quantifying lexical diversity seems straightforward, the specific metrics employed vary significantly, each possessing unique strengths, weaknesses, and theoretical underpinnings. Our previously introduced measure, the Type-Token Ratio (TTR, V/N), provides a direct comparison of unique word forms (V) to total word occurrences (N). However, as noted, its pronounced sensitivity to text length severely limits its comparability across documents of differing sizes. This inherent limitation has driven the development of a suite of alternative, more robust indices specifically designed to normalize for text length or to incorporate nuances of word frequency distributions.

These more advanced measures represent diverse methodological approaches to capturing lexical diversity more reliably, particularly when analyzing longer texts or extensive corpora. For instance, Guiraud's Index, also known as the Root TTR, attempts to mitigate the length effect by dividing the number of types by the square root of the number of tokens. Another approach is Yule's Characteristic K , which diverges from simple counts by focusing on the frequency distribution of words; it quantifies the repetitiveness of vocabulary, where lower values of K indicate higher lexical diversity, signifying less repetition within the text. Honore's Statistic (R), less sensitive to overall text length, places particular emphasis on hapax legomena – words that appear only once in the text.

More algorithmically defined measures have also emerged to tackle length dependency. The Moving Average Type-Token Ratio computes the TTR within a constant-sized sliding window that moves token by token across the text, with the final MATTR value being the average of these TTRs. This algorithmic approach yields a measure far less influenced by overall text length, instead reflecting the local lexical diversity throughout the document; its calculation involves defining a window size (W) and iteratively calculating TTRs. Similarly, Hypergeometric Distribution Diversity leverages the principles of hypergeometric probability to estimate the likelihood of drawing unique word types from a text, essentially modeling the probability that a random sample of a certain size from the text would contain the observed number of unique types. While its underlying calculations involve complex hypergeometric formulas, the resulting HDD value provides a measure of diversity that is notably less sensitive to text length. Finally, the Measure of Textual Lexical Diversity

quantifies the average length of text segments required to achieve a pre-specified TTR threshold (T_{thresh}). This process begins by adding tokens sequentially from the start of the text until the segment's TTR meets or exceeds T_{thresh} , then restarting from the next token, with the average length of these segments computed. A higher MTLD value indicates greater lexical diversity, as it implies that longer textual segments are needed to reach the set threshold [3, 5].

These various measures, though all designed to quantify lexical diversity, offer distinct perspectives and exhibit differing sensitivities to text length and the underlying word frequency distribution. Consequently, researchers typically select the most appropriate index based on the specific characteristics of their data – such as text length variability – and the precise focus of their research question.

Table 2. Measure names and key characteristics

Measure Name	Formula / Calculation Principle	Key Characteristic / Basis	Note on Length Sensitivity / Interpretation
Type-Token Ratio (TTR)	$TTR = \frac{V}{N}$	TTR Ratio of types to tokens	High sensitivity to text length; higher TTR = higher diversity.
Guiraud's Index	$M = \frac{V}{\sqrt{N}}$	Normalization by \sqrt{N}	Less length-sensitive than TTR; higher M = higher diversity.
Yule's Characteristic K	$K = 10^4 \times \frac{\sum_{i=1}^V f_i^2 - N}{N^2}$	Based on word frequency distribution	Less length-sensitive than TTR; lower K = higher diversity.
Honore's Statistic	$R = 100 \times \frac{\log(N)}{1 - \frac{V_1}{N}}$	Emphasis on hapax legemena (V_1)	Less length-sensitive than TTR; higher R = higher diversity.
Moving Average TTR (MATTR)	Average TTR over sliding windows	Window-based calculation	Reduced length sensitivity; provides local diversity; higher MATTR = higher diversity. Requires window size parameter.
Hypergeometric Distribution Diversity (HDD)	Based on hypergeometric probability	Probability-based estimation	Reduced length sensitivity; higher HDD = higher diversity.
Measure of Textual Lexical Diversity (MTLD)	Average segment length to reach a TTR threshold	Strongly suggests diluted informational value; potential for artificial length	Reduced length sensitivity; higher MTLD = higher diversity. Requires TTR threshold parameter.

These various measures, though all designed to quantify lexical diversity, offer distinct perspectives and exhibit differing sensitivities to text length and the underlying word frequency distribution. Consequently, researchers typically select the most appropriate index based on the specific characteristics of their data – such as text length variability – and the precise focus of their research question.

3.2. Interpretation and Application. Interpreting a Lexical Diversity Index requires understanding the specific measure being used, as different indices operate on different scales and may have inverse relationships with diversity (e.g., Yule's K). Generally, for most indices like TTR, Guiraud's, Honoré's, MATTR, HDD, and MTLT, higher values indicate greater lexical diversity. For Yule's K , however, lower values are indicative of higher diversity. Researchers must select the index most suitable for their specific dataset and research questions, often favouring the normalized measures (like MATTR, HDD, or MTLT) when comparing texts of significantly different lengths to overcome the inherent bias of the raw TTR.

The application of Lexical Diversity Indices is widespread across various domains of textual analysis. They are extensively used in linguistics to analyse variations in writing style across different authors, genres, and historical periods, providing quantitative evidence for stylistic evolution or differentiation. In educational contexts, LDI measures are valuable tools for assessing vocabulary development in language learners, tracking their progress over time, and for evaluating the complexity and appropriateness of reading materials for specific age groups or proficiency levels. LDI can also serve as an indicator in the assessment of writing quality and sophistication, as a richer vocabulary is often associated with more advanced writing skills. Furthermore, abnormally low lexical diversity in certain text segments can sometimes be a potential indicator in plagiarism detection, although this metric is not a sole determinant. Finally, in the study of language pedagogy, LDI can help assess the effectiveness of vocabulary instruction methods by measuring the impact on learners' productive or receptive lexical diversity [7].

3.3. Considerations for Using LDI Measures. While Lexical Diversity Indices offer powerful quantitative insights into vocabulary usage, their application requires careful consideration of several factors. The resulting index value is highly dependent on the initial tokenization process – how the text is split into words. Different tokenization rules (e.g., handling of punctuation, hyphenated words, contractions) can lead to different counts of types and tokens. Additionally, the impact of text normalization techniques such as stemming (reducing words to their root form) or lemmatization (reducing words to their base dictionary form) must be considered. Applying these techniques reduces the number of unique “types” by grouping variations of the same word, which will significantly alter the calculated LDI value. While stop word removal is common in some NLP tasks, LDI is typically calculated on the full vocabulary to capture the overall diversity, including functional words, although the wateriness

coefficient specifically isolates functional words. The choice of whether to stem/lemmatize or remove stop words depends on the specific analytical goal. It is also important to remember that LDI is a statistical measure of vocabulary variety, not a direct measure of semantic depth, creativity, or overall text quality. A text can have high lexical diversity but still be poorly structured, factually incorrect, or semantically weak. Therefore, LDI measures should be used as a part of a broader set of analytical tools for comprehensive text evaluation.

4. Factual Accuracy Score: Quantifying the Correspondence of Information to Verified Sources

In the contemporary information landscape, characterized by the rapid dissemination of content across numerous platforms, the ability to reliably assess the truthfulness and verifiability of information is paramount. The Factual Accuracy Score is a conceptual metric and a practical goal in textual analysis designed to quantify the extent to which claims presented within a given text align with established facts, evidence, and consensus from reliable, verified sources. Unlike statistical measures of text structure or vocabulary, the FAS delves into the semantic content of the text, evaluating its correspondence to external reality as understood through credible evidence. It serves to distinguish well-supported assertions from those that are unsubstantiated, misleading, or outright false. A robust framework for determining factual accuracy is essential across diverse critical domains, including journalism, where factual reporting is the bedrock of credibility; scientific communication, demanding rigorous adherence to empirical evidence; and education, where the foundation of learning rests on accurate information.

4.1. Methodology and Approaches to Quantification. Quantifying factual accuracy is inherently a complex process, rarely reducible to a single, simple calculation. Instead, it typically involves multiple stages of analysis and rigorous verification. This necessitates identifying verifiable claims within a text and then meticulously evaluating the veracity of each claim against reliable external knowledge sources. Both automated and human-driven approaches, often integrated into sophisticated hybrid systems, are employed to determine a comprehensive factual accuracy score.

Automated methodologies leverage significant advancements in Natural Language Processing and Machine Learning to efficiently identify and analyze claims. Techniques in this domain include using NLP to parse text and pinpoint specific statements or propositions that can be assessed for truthfulness; these identified claims are then matched against vast databases of known facts or previously verified assertions. Another key technique is Knowledge Graph Integration, where entities and relationships mentioned in the text are meticulously mapped to large-scale knowledge graphs — structured repositories of factual informa-

tion; any inconsistencies detected between the textual content and the knowledge graph can serve as crucial flags for potential inaccuracies. Furthermore, automated systems can analyze cited sources within a text, assessing their known reliability (potentially linked to a “Trust Score” associated with the source itself), and claims are often cross-referenced against multiple independent sources to pinpoint inconsistencies or a lack of corroboration [2, 6].

Human-driven and hybrid methodologies are indispensable, especially when dealing with nuanced claims or in situations where automated systems lack sufficient context or data. These approaches encompass expert annotation and evaluation, where skilled human fact-checkers, often possessing deep domain expertise, manually assess claims by meticulously researching verified sources; their expert judgments are also invaluable for training and continuously improving automated fact-checking models. Another approach is crowdsourcing and collaborative verification, an innovative method that harnesses the collective intelligence of a community to verify claims, proving particularly useful for processing large volumes of content or when diverse perspectives are essential to thoroughly assess complex issues. Lastly, for claims incorporating numerical data or statistics, statistical analysis involves both automated tools and human experts working in tandem to verify the figures against reliable datasets, while also critically assessing the validity of the statistical methodology employed within the text.

The overarching process of determining the Factual Accuracy Score (FAS) typically involves identifying a set of verifiable claims within the text, rigorously assessing the veracity of each claim based on the aforementioned approaches and criteria, and then carefully aggregating these individual assessments into an overall score. Conceptually, the FAS can be viewed as a function of both the veracity and the importance of the claims made in the text.

Consider a text containing n verifiable claims $\{c_1, c_2, \dots, c_N\}$. Each claim c_i can be assigned a veracity score v_i . This score might range, for instance, from -1 (representing a demonstrably false claim) to $+1$ (indicating a claim highly supported by evidence), with 0 signifying unverified or neutral claims. Additionally, claims might be assigned an importance weight w_i based on their centrality to the text’s main points or their potential impact if proven false. A simplified conceptual representation of the Factual Accuracy Score could thus be expressed as a weighted sum or average of these veracity scores:

$$FAS = f(\{(v_i, w_i)\}_{i=1}^n), \tag{6}$$

where f is an aggregation function. A more specific example of such an aggregation could be a weighted average of veracity scores:

$$FAS = \frac{\sum_{i=1}^n w_i v_i}{\sum_{i=1}^n w_i}. \tag{7}$$

Here, the veracity scores v_i for a claim c_i are determined through the systematic application of assessment criteria such as correspondence to established facts, presence and quality of supporting evidence, absence of contradictions with verified knowledge, accuracy of the context in which the claim is presented, and the reliability of any attributed sources.

Table 3 outlines key criteria often considered during the assessment process that contribute to the determination of the veracity score for individual claims.

4.2. Interpretation and Significance. The interpretation of the Factual Accuracy Score is relatively intuitive. A high FAS indicates that the information presented in the text is largely consistent with verified facts and supported by credible evidence, suggesting high reliability and trustworthiness. Conversely, a low FAS signals the presence of significant inaccuracies, unsubstantiated claims, or misleading information, raising serious concerns about the text’s reliability and potential for spreading misinformation.

The significance of quantifying factual accuracy is profound in the current information environment. It is a vital tool in the global effort to combat misinformation and disinformation, providing a data-driven method to identify and flag potentially false content. The FAS is crucial for evaluating the quality and trustworthiness of information sources, helping readers and systems differentiate between reliable and unreliable publishers or platforms. It supports the promotion of evidence-based reason-

Table 3. Key criteria

Assessment Criterion	Description	Impact on Claim’s Veracity Score (v_i)
Correspondence to Facts	Direct comparison of the claim against established facts in reliable knowledge bases or verified sources	Positive if consistent, negative if contradictory, neutral/low if unverified
Presence of Evidence	Evaluation of whether supporting evidence is provided for the claim and the credibility of that evidence	Positive weighting if strong, credible evidence is present
Absence of Contradictions	Moderate redundancy, balanced use of functional and content words	Significant negative weighting if the claim contradicts verified facts
Accuracy of Context	Checking if the claim contradicts information verified elsewhere or established scientific/historical consensus	Negative weighting if the claim is taken out of context to alter meaning
Reliability of Attribution	Verifying if sources are cited and evaluating the known credibility and trustworthiness of those sources	Positive weighting for claims attributed to highly reliable sources

ing and critical thinking by highlighting which claims are well-supported. Ultimately, assessing and displaying factual accuracy contributes to building user trust in information systems and platforms that prioritize verifiable content.

4.3. Challenges and Considerations. Determining factual accuracy and assigning a reliable score is fraught with significant challenges. One major difficulty lies in the dynamic nature of knowledge; what is considered a verified fact can evolve over time with new research and discoveries, necessitating continuous updates to the knowledge bases used for verification. Accurately assessing claims often requires deep understanding of nuance, context, and domain-specific expertise, which can be difficult for automated systems to capture. Subjectivity can also creep into the process, particularly when dealing with complex or controversial topics where interpretation of facts may vary or where complete consensus has not been reached. The sheer scale and volume of information being generated online daily make comprehensive, real-time fact-checking a monumental task, exceeding the capacity of human fact-checkers alone and pushing the limits of automated systems. Furthermore, the accuracy assessment is fundamentally dependent on the reliability of the sources used for verification; if the sources themselves are unreliable (a challenge related to determining a source's "Trust Score"), the resulting factual accuracy assessment will be compromised. These challenges underscore that while significant progress has been made, quantifying factual accuracy remains an active area of research and development, requiring sophisticated approaches that combine computational power with human expertise and a critical understanding of the nature of truth and evidence.

Having established the conceptual and methodological foundations for assessing factual accuracy, the following stage transitions toward empirical validation. This involves implementing the proposed metrics in practical computational environments to examine their consistency, scalability, and efficiency across distinct technological platforms.

All metric computations were implemented within the ML.NET environment using a modular pipeline structure. The MLContext object served as the core entry point for data processing and metric calculation. Tokenization and stop-word filtering were performed using the TextFeaturizingEstimator, while custom transformers written in C# handled the computation of the Wateriness Coefficient and Type-Token Ratio. For Python-based comparison, equivalent functions were created using NLTK and spaCy libraries. Each implementation followed identical preprocessing logic to ensure result consistency. The modular structure of the ML.NET pipeline allows these metrics to be integrated easily into larger analytical or enterprise systems without significant code modification [8].

5. Dataset Description

The dataset used for this study consisted of a collection of short informational and analytical texts drawn from open-access sources. The corpus included examples of academic abstracts, news paragraphs, and general informational documents to ensure linguistic diversity. Each text was pre-processed through tokenization, lowercasing, and basic stop-word removal. No semantic modifications were applied, as the goal was to preserve the natural linguistic characteristics of the content. The average document length ranged between 150 and 500 words, with a total corpus size of approximately several thousand tokens. This dataset served as a testbed for comparing the behavior and consistency of the implemented metrics across Python and ML.NET environments.

6. Experiment

All experiments were conducted in a controlled environment to ensure consistency of results. The evaluation compared equivalent implementations of the proposed metrics in two technological ecosystems — Python and ML.NET. Both environments were executed on a workstation equipped with an Intel Core i7 processor, 16 GB of RAM, and Windows 11. The same dataset and preprocessing steps were applied for both versions to eliminate data bias. The goal was not to achieve absolute accuracy but to compare computational performance, stability, and the reproducibility of metric outputs across platforms. Average execution times and memory usage were measured under identical load conditions, and the summarized results are presented in Tables 4 and 5.

The overarching goal of this experimental endeavor is to provide empirical validation for the multi-metric framework we propose for comprehensive text evaluation. Beyond mere validation, we are keenly interested in a comparative assessment of the practical implementations and real-world performance of these metrics across two prominent programming ecosystems: the robust ML.NET (C#) and the versatile world of Python libraries. By leveraging a diverse and substantial text corpus, our aim is threefold: to demonstrate the inherent consistency of the metric outputs regardless of the underlying technology, to meticulously quantify the computational efficiencies achieved in each environment, and crucially, to unearth more nuanced insights into the intrinsic characteristics of various textual categories.

6.1. Overview of the Experimental Setup. Our experimental design, at its heart, revolves around a two-pronged comparative analysis. Our initial pursuit is to firmly establish the computational feasibility and reliability of calculating a suite of pivotal text quality metrics. This includes the Wateriness Coefficient, a range of Lexical Diversity Indices — specifically Type-Token Ratio, Moving Average Type-Token Ratio, and Measure of Textual Lexical Diversity — alongside the more complex Factual Accuracy Score, the Manipulation Score, and the Coherence Score. Each

of these will be scrupulously implemented in parallel, leveraging the strengths of the ML.NET framework on one side, and on the other, a carefully selected suite of standard Python libraries (e.g., NLTK, spaCy, SentenceTransformers, scikit-learn).

Following this foundational implementation, the experiment will embark on a rigorous comparison of these dual technological approaches across several critical dimensions. We will first scrutinize the consistency of results, seeking to confirm that both ML.NET and Python implementations reliably yield statistically comparable metric scores when applied to identical input texts. Subsequently, our focus will shift to computational performance, meticulously quantifying and contrasting the execution speed and memory footprint of each implementation, particularly when confronted with the demands of processing a large-scale text corpus. Finally, we aim to highlight the power of insight generation, illustrating precisely how the integrated application of these metrics can illuminate subtle, yet profound, characteristics of text quality, especially when analyzing content across disparate categories. This multifaceted comparative lens promises to yield invaluable insights into the pragmatic considerations for deploying such sophisticated analytical frameworks within diverse tech-

Table 4. Average Metric Scores

Metric	Python (Average Score)	ML.NET (Average Score)
Wateriness Coefficient	0.452	0.451
Type-Token Ratio (TTR)	0.785	0.776
Moving Average TTR (MATTR)	0.612	0.611
Measure of Textual Lexical Diversity (MTLD)	85.1	85.5
Manipulation Score	0.038	0.037
Coherence Score	0.720	0.755

Table 5. Performance Metrics of the dataset

№	Characteristic	Python	ML.NET
1	Total Execution Time (s) - Wateriness Coefficient	0.15	0.1
2	Total Execution Time (s) - TTR	0.12	0.09
3	Total Execution Time (s) - MATTR	1.85	1.5
4	Total Execution Time (s) - MTLD	2.5	2.1
5	Total Execution Time (s) - Manipulation Score	0.2	0.15
6	Total Execution Time (s) - Coherence Score	0.5	0.4
7	Total Execution Time (s) - FAS	0.05	0.04
8	Total Execution Time All Metrics (s)	5.37	4.38
9	Peak Memory Usage (MB)	250	180

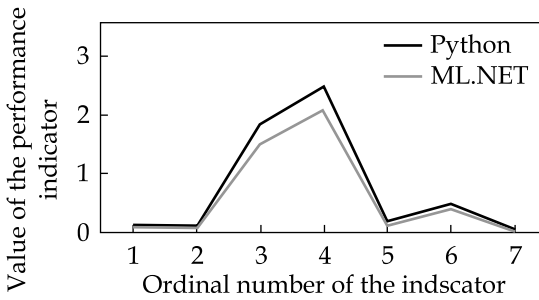


Fig. 1. Performance Metrics Results

a comparative analysis of textual metrics computed using both Python and ML.NET (C#) implementations. These data highlight the observed performance characteristics and the measured values for each linguistic metric across the two distinct technological stacks. This comprehensive presentation facilitates a direct comparison of the methods' efficacy and efficiency in processing the dataset.

6.2. Analytical Interpretation of Results. The experimental findings clearly validate the theoretical assumptions established in earlier sections. Texts characterized by a higher Wateriness Coefficient consistently demonstrate lower lexical diversity (TTR, MATTR) and slightly reduced Coherence Scores, confirming that excessive redundancy diminishes linguistic expressiveness and informational compactness. Conversely, samples maintaining a balanced proportion of functional and content words exhibit richer lexical variety and stronger factual alignment. These trends empirically support the theoretical interdependence between redundancy, lexical richness, and factual accuracy, reinforcing the proposed multi-metric framework as a robust tool for comprehensive text evaluation.

The figure shows the dependence of the values of productivity indicators from 1 to 7, given in Table 5, on the serial number of this indicator in the same table.

Conclusion

The conducted experiment, which compared the implementations of key text analysis metrics on Python and ML.NET (C#) platforms, highlights crucial considerations: while both platforms can achieve comparable linguistic metric values, their performance and resource utilization efficiency can differ significantly.

Specifically, the data illustrate a potential advantage for ML.NET in terms of execution speed and memory optimization for computationally intensive tasks, which is critical for large volumes of textual data. Conversely, Python demonstrated marginally higher lexical metric consistency, suggesting better stability for research-oriented environments. This balance between precision and speed suggests potential for hybrid integration in enterprise-scale NLP systems.

nological landscapes, a particularly salient point for enterprise applications where seamless performance and ecosystem integration are often non-negotiable imperatives.

The tables presented below summarize the experimental results obtained from

In summation, while the Wateriness Coefficient and Lexical Diversity Indices provide insights into the intrinsic linguistic characteristics of text, the Factual Accuracy Score introduces an external dimension by evaluating content against verified knowledge. A comprehensive assessment of text quality thus necessitates considering these metrics in conjunction.

The study bridges theoretical linguistic metrics with practical software engineering, offering a unified model for text evaluation that can enhance both academic research and applied AI systems. Future research will continue to refine these metrics and explore their interdependencies, alongside other factors such as source trustworthiness, to build even more robust systems for text understanding and evaluation.

Future research could expand the proposed multi-metric framework in several directions. First, the integration of deep learning — based factuality assessment models, such as transformer architectures deployed through ONNX within the ML.NET ecosystem, would enable more accurate detection of misinformation. Second, extending the methodology to multilingual corpora could help evaluate language-specific variations in redundancy and lexical diversity. Another promising direction involves developing a composite “Text Quality Index” that aggregates all computed metrics into a single interpretable score. Finally, practical applications of this system in automated content moderation, educational assessment, and enterprise document analysis present valuable opportunities for future exploration [9, 10].

DECLARATION

Declaration of Competing Interest. No potential conflict of interest is reported by the author.

Funding. The author declare that no funds, grants, or other support were received during the preparation of this manuscript.

Use of AI. The authors declare that Artificial intelligence tools were not used in writing the paper.

REFERENCES

1. Biber D. *Variation Across Speech and Writing*. Cambridge University Press, Cambridge, 1988. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511621024>
2. Goyal P., Pandey S. K., Jain K. *Deep learning for natural language processing: Creating neural networks with Python*. Apress, 2018. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3685-7>
3. Covington M. A., McFall J. D. Cutting the Gordian knot: The moving-average type-token ratio (MATTR). *Journal of Quantitative Linguistics*, 2010, Vol. 17 (2), 94–100. <https://doi.org/10.1080/09296171003643098>
4. *Top NLP Algorithms & Concepts*. Data Science Central, (n.d.). URL: <https://www.datasciencecentral.com/top-nlp-algorithms-amp-concepts/> [Accessed 12 Feb. 2026].
5. Jarvis S. Short texts, best-fitting curves and new measures of lexical diversity. *Language Testing*, 2002, Vol. 19 (1), 57–84. <https://doi.org/10.1191/0265532202lt220oa>
6. Jurafsky D., Martin J. H. *Speech and Language Processing (3rd ed. draft)*. Stanford University, (n.d.).

7. Lu B. A corpus-based evaluation of lexical and syntactic complexity in ESL writing. *Proceedings of the 27th International Conference on English Teaching and Learning*, 2010, 1–20.
8. Esposito D., Esposito F. *Programming ML.NET: Train, evaluate, and deploy machine learning models in .NET applications*. Microsoft Press, 2022.
9. Panchenko D., Maksymenko D., Turuta O., Luzan M., Tytarenko S., Turuta O. Ukrainian News Corpus as Text Classification Benchmark. *Proceedings of the International Conference*, 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14841-5_37
10. Maksymenko D., Turuta O. Interpretable Conversation Routing via the Latent Embeddings Approach. *Computation*, 2024, Vol. 12 (12), Article 237. <https://doi.org/10.3390/computation12120237>

Received 16.02.2026

Accepted 16.03.2026

Published 01.06.2026

I.O. КОБИЛІН, канд. техн. наук, старш. викладач,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
просп. Науки, 14, Харків, 61166, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4552-9616>

ilya.kobylin@nure.ua

V.D. БЕГУНОВА, магістр,

Харківський національний університет радіоелектроніки,
просп. Науки, 14, Харків, 61166, Україна

<https://orcid.org/0009-0000-3804-818X>

veronika.biehunova@nure.ua

D.S. ЦИБАНЬ, магістрант,

Харківський національний університет радіоелектроніки,
просп. Науки, 14, Харків, 61166, Україна

<https://orcid.org/0009-0001-2661-9034>

dmytro.tsyban@nure.ua

V.O. КОВАЛЬЧУК, магістрант,

Харківський національний університет радіоелектроніки,
просп. Науки, 14, Харків, 61166, Україна

<https://orcid.org/0009-0004-3286-7888>

vladyslav.kovalchuk@nure.ua

ВИМІРЮВАННЯ ТЕКСТОВОЇ НАДМІРНОСТІ, ЛЕКСИЧНОГО БАГАТСТВА ТА ДОСТОВІРНОСТІ: МУЛЬТИМЕТРИЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ТЕКСТІВ

Вступ. Сучасна епоха генерації даних характеризується експоненційним зростанням обсягів текстової інформації в різних галузях — від соціальних мереж та відгуків користувачів до технічної документації та наукових публікацій. Це створює нагальну потребу в ефективних методах організації та аналізу неструктурованих текстових даних. Традиційні підходи, що обмежуються підрахунком слів або їх базовою присутністю, більше не задовольняють вимоги глибокого розуміння текстового контенту. Попередні дослідження зосереджувалися на окремих аспектах оцінки якості тексту, таких як індекси читабельності (*Flesch Reading Ease*, *Gunning Fog Index*) або міри лексичної різноманітності (*TTR*, *MATTR*, *MULD*), однак інтеграція множинних перспектив оцінювання залишалася недостатньо дослідженою.

Мета роботи: розробка комплексного мультиметричного фреймворку для всебічного оцінювання якості текстів, що поєднує аналіз надмірності, лексичного багатства та фактичної точності. Дослідження спрямоване на подолання

обмежень однометричних підходів шляхом інтеграції різних кількісних мір у єдину аналітичну систему та порівняння практичних реалізацій у двох провідних програмних екосистемах.

Методи. У роботі застосовано комплекс кількісних метрик для оцінювання різних аспектів текстової якості. Коефіцієнт водянистості (*Wateriness Coefficient*) використовується для квантифікації текстової надмірності через вимірювання пропорції стоп-слів. *Type-Token Ratio*, *Moving Average Type-Token Ratio* та *Measure of Textual Lexical Diversity* застосовуються для оцінки лексичного багатства шляхом порівняння унікальних слів до загальної кількості токенів. Показник фактичної точності (*Factual Accuracy Score*) оцінює інформаційну цілісність через верифікацію тверджень відносно достовірних джерел. Усі метрики реалізовано паралельно у двох технологічних середовищах: *ML.NET* (C#) з використанням модульної конвексної структури та *Python* з застосуванням бібліотек *NLTK*, *spaCy* та *scikit-learn*. Експериментальне дослідження проведено на корпусі коротких інформаційних та аналітичних текстів, що включає академічні анотації, новинні параграфи та загальні інформаційні документи.

Результати. Порівняльний аналіз реалізацій метрик у *Python* та *ML.NET* продемонстрував статистично порівнянні результати при обробці ідентичних вхідних текстів, підтверджуючи консистентність запропонованого підходу незалежно від технологічної платформи. Експериментальні дані показали, що тексти з високим коефіцієнтом водянистості демонструють знижену лексичну різноманітність та дещо зменшені показники когерентності, емпірично підтверджуючи теоретичні припущення про взаємозв'язок між надмірністю та лінгвістичною виразністю. *ML.NET* продемонстрував потенційну перевагу в швидкості виконання та оптимізації пам'яті для обчислювально інтенсивних задач, що є критичним для обробки великих обсягів текстових даних. Водночас *Python* показав дещо вищу стабільність лексичних метрик, що робить його придатнішим для дослідницьких середовищ. Модульна структура *ML.NET* дозволяє легко інтегрувати ці метрики в більші аналітичні або корпоративні системи без суттєвих модифікацій коду.

Висновки. Дослідження демонструє практичну здійсненність та цінність інтегрованого мультиметричного підходу до оцінювання текстової якості. Запропонований фреймворк успішно поєднує структурні характеристики тексту (надмірність, лексичне багатство) з оцінкою семантичної якості (фактична точність), забезпечуючи всебічний аналіз, що виходить за межі поверхневих характеристик. Порівняння технологічних платформ надає практичні рекомендації щодо вибору інструментів залежно від специфічних вимог проекту: *ML.NET* для продуктивності в корпоративних системах та *Python* для гнучкості в дослідженнях. Методологія може бути застосована в різних галузях — від цифрових комунікацій та маркетингових досліджень до наукового огляду літератури та автоматизованого контролю якості контенту. Майбутні дослідження можуть розширити запропонований фреймворк через інтеграцію глибинних моделей оцінювання фактичності на базі трансформерів, розширення на багатомовні корпуси та розробку композитного індексу текстової якості.

Ключові слова: аналіз тексту, коефіцієнт водянистості, лексична різноманітність, обробка природної мови, обчислювальна лінгвістика, фактична точність, якість тексту, *type-token ratio*.

<https://doi.org/10.15407/intechsys.2026.02.046>
UDC 004.912:81'322

O.V. TOKOVA, PhD (Engineering),
Inclusion Educational Assistant,
Wilmington High School,
159 Church St, Wilmington, MA 01887
<https://orcid.org/0000-0002-0289-2810>
len327@ukr.net

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED TOOL FOR SEARCHING RESEARCH MATERIALS IN THE LEARNING PROCESS

This paper analyses the problem of information overload and the complexity of searching for scientific sources in the modern digital educational environment. It is shown that the availability of electronic resources does not always ensure effective learning due to the insufficient level of students' skills in scientific search and information evaluation.

The principles for constructing an Automated Research Assistant ³/₄ an automated tool to support educational and research activities — are proposed. A web-based software system for automated search of scientific materials using the open preprint repository arXiv via an API interface has been implemented. The system performs search, primary filtering, and structured storage of results, forming a set of publication metadata (title, summary, and source link). The proposed approach aims to reduce user workload and improve the efficiency of working with scientific information in the learning process. The architecture of the software system provides the possibility for further expansion through integration with additional scientific platforms and data sources.

Keywords: *automated search, Automated Research Assistant, web-based software system, arXiv preprint repository, research efficiency.*

Introduction

Modern students and researchers operate in conditions of rapidly increasing volumes of digital information. The development of open science, electronic libraries, and online platforms has significantly expanded access to scientific knowledge. At the same time, the problem of access to

Cite: Tokova O.V. Development of an Automated Tool for Searching Research Materials in the Learning Process. *Information Technologies and Systems*. 2 (8). 2026. 46—57. <https://doi.org/10.15407/intechsys.2026.02.046>

© Publisher PH “Akademperiodyka” of the NAS of Ukraine, 2025. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

information has gradually transformed into the problem of its effective selection and interpretation.

According to recent studies, information overload is one of the key factors that complicate learning activities, reduce concentration, and increase cognitive load [1, 2]. In the digital educational environment, students are required to independently search, evaluate, and systematize a large number of sources, which requires well-developed information literacy and critical thinking skills [3, 4].

Excess unstructured information creates additional extraneous cognitive load that negatively affects learning and knowledge acquisition [3]. Despite the availability of numerous electronic resources, the process of searching for scientific materials remains time-consuming and often leads to excessive time expenditure and decreased learning motivation [5, 6].

The aim of the study is to develop and test an *Automated Research Assistant* – a software tool designed for automated search and primary structuring of scientific materials in educational and research activities.

Problems of Searching for Relevant Information in Research and Academic Activities

The effectiveness of e-learning depends not only on the availability of digital resources but also on the user's ability to navigate large volumes of information. Modern educational platforms, online courses, and open scientific repositories have significantly expanded access to knowledge; however, the mere availability of information does not guarantee its effective assimilation.

Studies in the field of distance learning show that students often face the phenomenon of information overload, where the amount of educational material exceeds their capacity to quickly comprehend and integrate it into knowledge [1]. According to Chen et al., an excess of information in online learning environments reduces concentration and overall satisfaction with the learning process.

The problem of information overload is also considered in a broader context of digitalization. A systematic review by Arnold et al. [2] demonstrates that the rate of growth of information flows exceeds human cognitive capabilities, which necessitates the use of tools for structuring, filtering, and prioritizing information. Similar conclusions are presented in classical studies on information overload, which emphasize its impact on decision-making efficiency and information processing [6, 7].

A psychological explanation of this phenomenon is provided by Cognitive Load Theory, according to which human working memory has limited capacity [3, 8]. Excessive unstructured or irrelevant information creates extraneous cognitive load, hindering the formation of stable knowledge. In the digital learning environment, this issue is intensified by the fragmented presentation of material through hyperlinks, multimedia content, and distributed information sources. In addition, multi-

tasking while working with digital resources negatively affects learning outcomes [9–11].

Another important factor influencing learning effectiveness is the level of users' information literacy. According to UNESCO, information literacy includes the ability to find, critically evaluate, and responsibly use information as a core competency of modern education [4]. A similar perspective is reflected in the Framework for Information Literacy for Higher Education, which views working with information as a complex cognitive process involving the evaluation of source credibility, understanding the context of knowledge creation, and the conscious use of information [5].

In educational practice, both at the secondary and higher education levels, there is often an insufficient development of skills related to searching for and critically evaluating scientific information. When completing academic tasks, students frequently rely on general-purpose search engines, which are effective for everyday queries but do not provide the level of source quality required for academic work. As a result, several common difficulties arise:

- significant time spent searching for sources;
- accumulation of unsystematized materials;
- difficulty in assessing the scientific relevance of publications;
- decreased learning motivation;
- increased cognitive and emotional load.

Thus, the modern paradox of e-learning lies in the fact that easier access to information is accompanied by increased complexity in its effective use. Without the development of information literacy and the use of tools for automated knowledge structuring, e-learning may create additional cognitive load and reduce the overall effectiveness of the educational process [6].

Principles of Building the Automated Research Assistant

Analysis of modern educational challenges shows that the main difficulty lies not in the lack of information, but in the complexity of its search, selection, and systematization. This became the basis for the development of the Automated Research Assistant.

The idea of the tool is to simplify the initial stages of working with scientific information, namely searching, reviewing, and the preliminary selection of sources. This allows the user to move more quickly from unsystematic browsing of materials to their meaningful analysis and use in learning or research.

The system operates based on the following principles:

1. *Centralized scientific search.* In its current implementation, the system uses the open scientific repository arXiv, which provides access to up-to-date research publications across various fields. This ensures that users work with academic rather than random sources.

2. *Automated preliminary filtering.* The system generates a list of results based on a given query while excluding previously processed articles. This helps avoid duplication and reduces the need for manual review.

3. *Structured presentation of results.* For each retrieved publication, key metadata are generated, including the title, summary, and source link (URL). This facilitates quick familiarization with the material and supports the selection of relevant sources.

4. *Reduction of information overload.* The tool helps users focus on the content of scientific materials by reducing the time spent on searching and navigating between sources.

Table 1. presents a comparative overview of the process of searching and selecting scientific sources before and after using the Automated Research Assistant.

In a broader educational context, the Automated Research Assistant can be considered a tool for developing a new type of **information literacy**, where technology does not replace thinking but supports it. This approach aligns with modern views on effective learning in a digital environment, where the student is not left alone with the information flow but receives support at key stages of working with knowledge.

Thus, the Automated Research Assistant can be viewed as a tool that helps organize the process of searching for scientific sources and reduce user workload. Automating the initial selection of materials allows the transition from time-consuming and unstructured searching to a more organized approach to working with information. This creates conditions in which students and researchers can focus more on analyzing materials and forming their own conclusions, rather than spending most of their time searching for sources.

Figure 1 presents a generalized model of the impact of the Automated Research Assistant on the learning process and Figure 2 demonstrates the stages of this process, illustrating the relationship between key challenges

Table 1. Comparative characteristics of the scientific source search process

Before using the Automated Research Assistant	After using the Automated Research Assistant
The student is assigned a topic (coursework, master’s thesis, or research project) and independently attempts to find relevant sources. The search is typically conducted using general-purpose search engines, which often results in a large number of irrelevant or random materials. As a result, information accumulates without a clear structure, making further work more difficult.	The student formulates a topic or keywords and uses the Automated Research Assistant. The system automatically generates a list of scientific publications with brief descriptions and links. This enables the user to quickly select relevant materials and proceed to their analysis and use in academic work.

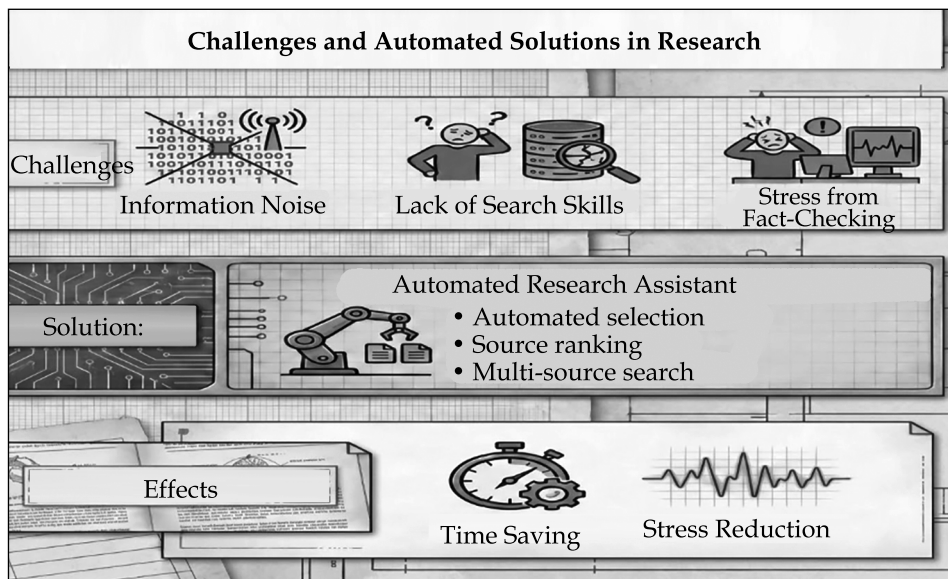


Fig. 1. Model of the impact of the Automated Research Assistant on the educational process

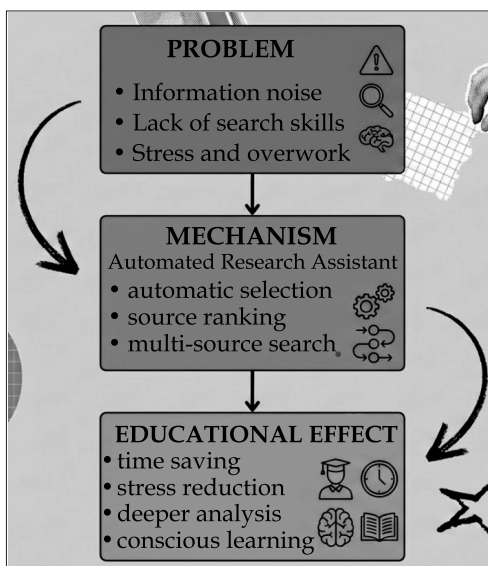


Fig. 2. Stages of information search of the educational process

in information search, the functional capabilities of the tool, and the resulting educational outcomes.

Table 2 presents a generalized scheme illustrating the relationship between the key challenges of modern learning, the functional capabilities of the **Automated Research Assistant**, and the resulting educational outcomes.

The table demonstrates how the use of the tool transforms the process of working with information from unstructured searching and overload to a more organized, manageable, and effective learning process.

**Table 2. Time spent on initial analysis →
→ Structured results output → Time savings**

Problem of Modern Learning	Solution in the Automated Research Assistant	Educational Outcome
Information overload	Automated selection and filtering of sources	Reduction of cognitive load
Unstructured search using general-purpose search engines	Scientific search within an academic repository	Higher relevance of materials
Inability to assess the quality of sources	Structured results output	Improved academic quality
Time spent on initial analysis	Support for systematic work and process control	Time savings in the learning process
Decreased motivation and increased stress	Ranking by relevance and impact	Increased confidence and engagement

Thus, the Automated Research Assistant can be considered a tool that simplifies working with scientific information at the initial stages. Its use reduces the randomness of the search process, making it more structured and focused on content rather than on the technical difficulties of accessing information.

Future Development of the Automated Research Assistant

At the current stage, the Automated Research Assistant is implemented as a tool for automated search and initial structuring of scientific materials. The system simplifies access to relevant sources and reduces the time required for searching and reviewing them.

At the same time, the functionality of the tool can be further expanded in several directions.

One of the promising areas of development is the integration of Natural Language Processing (NLP) methods. This would allow the transition from keyword-based search to content-based analysis of scientific texts. In the future, the system may be extended with the following capabilities:

- analysis of abstracts and full-text articles;
- identification of thematic similarity between sources;
- grouping of materials by research areas;
- extraction of key ideas and approaches.

Another direction of development is the implementation of personalized recommendations. In the future, the system may take into account previous user queries and selected materials, which would enable it to:

- suggest relevant topics for further study;
- adapt search results to the user's level of expertise;
- assist in refining or narrowing research queries.

Another promising direction is the expansion of search sources and the integration of additional scientific platforms, which would improve the completeness and diversity of results.

A separate area of development involves analytical functions related to identifying scientific trends. In the future, the system could analyze changes in publication topics, identify emerging and relevant research areas, and support the selection of topics for coursework, master's theses, and PhD research.

Thus, the further development of the Automated Research Assistant is associated not only with technical improvements but also with expanding its role in supporting learning and research processes. In the future, this will make working with scientific information more structured, clear, and efficient for users.

Based on the proposed principles, a software tool for searching scientific information has been implemented. Its functionality is described in more detail in the following section.

Software Implementation of the Automated Research Assistant

The *Automated Research Assistant* is implemented as a software system and operates as a web-based application. The system is developed using the Python programming language and web tools (in particular, Streamlit), which enable interaction with external scientific databases through application programming interfaces (APIs).

The architecture of the software system is based on a modular approach, which allows the integration of multiple scientific sources into a unified environment and provides the possibility for further functional expansion without changing the core logic of the system.

In its current implementation, the Automated Research Assistant performs a search for scientific materials within the open preprint repository arXiv. This approach allows access to up-to-date scientific publications based on user-defined keywords and enables the formation of an initial set of relevant sources.

The software tool provides automated search, initial filtering, and structured presentation of results. For each retrieved source, key metadata are generated, including the publication title, summary, and link to the source.

The retrieved results are also stored as separate text files, which allows users to perform further analysis outside the system interface.

For the initial evaluation of the tool, thematic queries related to educational technologies and interdisciplinary research areas were used. For each query, the system returned a limited number of results selected based on keywords and relevance. The obtained results were analyzed in terms of their alignment with learning objectives and their usability in the educational process.

arXiv Article Search

Enter keywords to search for articles (title, author):

AI in education

Search Articles

Returned: 96 results.

1. [Need of AI in Modern Education: in the Eyes of Explainable AI \(xAI\)](#)

Modern Education is not \textit{Modern} without AI. However, AI's complex nature makes understanding and fixing problems challenging. Research worldwide shows that a parent's income greatly influences a child's education. This led us to explore how AI, especially complex models, makes important decisions using Explainable AI tools. Our research uncovered many complexities linked to parental income and offered reasonable explanations for these decisions. However, we also found biases in AI that go against what we want from AI in education: clear transparency and equal access for everyone. These biases can impact families and children's schooling, highlighting the need for better AI solutions that offer fair opportunities to all. This chapter tries to shed light on the complex ways AI operates, especially concerning biases. These are the foundational steps towards better educational policies, which include using AI in ways that are more reliable, accountable, and beneficial for everyone involved.

2. [Twelve Years of Education and Public Outreach with the Fermi Gamma-ray Space Telescope](#)

During the past twelve years, NASA's Fermi Gamma-ray Space Telescope has supported a wide range of Education and Public Outreach (E/PO) activities, targeting K-14 students and the general public. The purpose of the Fermi E/PO program is to increase student and public understanding of the science of the high-energy Universe, through inspiring, engaging and educational activities linked to the mission's science objectives. The E/PO program has additional more general goals, including increasing the diversity of students in the Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) pipeline, and increasing public awareness and understanding of Fermi science and technology. Fermi's multi-faceted E/PO program includes elements in each major outcome category: Higher Education; Elementary and Secondary Education; Informal Education and Public Outreach.

3. [Exploring utilization of generative AI for research and education in data-driven materials science](#)

Generative AI has recently had a profound impact on various fields, including daily life, research, and education. To explore its efficient utilization in data-driven materials science, we organized a hackathon -- AIMHack2024 -- in July 2024. In this hackathon, researchers from fields such as materials science, information science, bioinformatics, and condensed matter physics worked together to explore how generative AI can facilitate research and education. Based on the results of the hackathon, this paper presents topics related to (1) conducting AI-assisted software trials, (2) building AI tutors for software, and (3) developing GUI applications for software. While generative AI continues to evolve rapidly, this paper provides an early record of its application in data-driven materials science and highlights strategies for integrating AI into research and education.

4. [Cinema, Fermi Problems, & General Education](#)

During the past several years the authors have developed a new approach to the teaching of Physical

Fig. 3. Example of executing the search query "AI in education" in the Automated Research Assistant interface

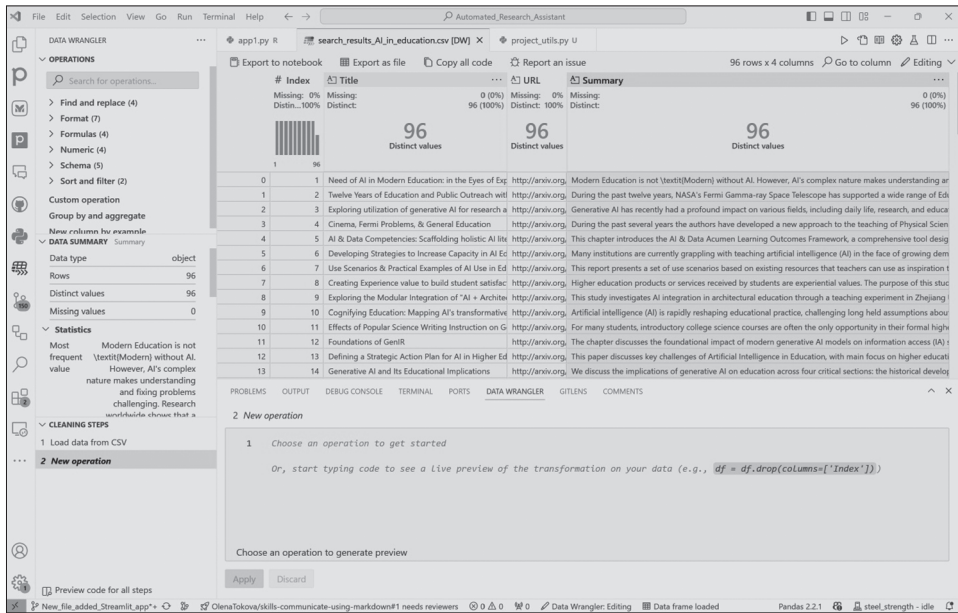


Fig. 4. Storage of search results in the Automated Research Assistant system

The current implementation is limited to the arXiv repository, which may restrict the diversity and coverage of retrieved sources.

Practical Application of the Automated Research Assistant

As a part of the study, a practical evaluation of the developed Automated Research Assistant software was carried out during the preparation of educational and research materials.

To demonstrate the system's functionality, queries related to educational technologies, artificial intelligence in education, and interdisciplinary research were used. The user entered a search query through the web interface of the application, after which the system automatically retrieved data from the connected scientific source.

As a result, the system generated a structured list of scientific articles, including publication titles, summaries, and direct links to the sources.

For demonstration purposes, the search query "AI in education" was used. After entering the keywords, the system queried the open-access arXiv repository and generated a set of relevant scientific publications.

Figure 2 shows the application interface during the search process. As a result of processing the query, the system returned 96 scientific articles corresponding to the specified topic.

The retrieved results are automatically stored as structured files (Fig. 3), containing key metadata such as the title of the publication, a short summary, and a link to the source. This approach allows users to further analyze the materials without repeating the search and supports the accumulation of a personal research dataset.

Structure of stored search results (Title, Summary, URL) in the Automated Research Assistant system is shown (Fig. 4).

The search results are automatically stored in a structured format, allowing users to further analyze sources without repeating the query.

The use of the tool demonstrated that the time required for the initial search of sources is reduced from several hours to a few minutes, while the structured presentation of results enables users to proceed directly to the analytical stage of their work.

Conclusion

The modern educational environment is characterized by the continuous growth of scientific information, which complicates its effective use in learning and research. Under these conditions, it is important not only to have access to information but also to be able to quickly find, select, and analyze relevant sources.

Within this study, the Automated Research Assistant software system was proposed and implemented as a tool for automating the search and initial selection of scientific materials. The results demonstrate that the use of such a tool reduces the time required for information search, organizes the obtained results, and facilitates further work with sources.

The use of the tool does not replace the analytical work of a student or researcher but allows them to focus on the content of materials and the development of their own conclusions. This makes the learning process more structured and manageable.

Further development of the system is associated with the expansion of search sources. In its current implementation, the tool operates with the arXiv repository; however, future integration with other scientific platforms such as CrossRef, OpenAlex, and GitHub is planned. This will expand the range of sources and improve the quality of search results.

Thus, the proposed approach can be used as a supporting tool in educational and research processes and has strong potential for further development.

DECLARATION

Declaration of Competing Interest. No potential conflict of interest is reported by the author.

Funding. The author declare that no funds, grants, or other support were received during the preparation of this manuscript.

Use of AI. The author declare that text was edited using language tools such as Google translate, Grammarly and Language Tool to improve readability and grammatical accuracy.

REFERENCES

1. Chen C. Y., Pedersen S., Murphy K. L. Learners' perceived information overload in online learning via computer-mediated communication. *Research in Learning Technology*, 2011, 19 (2). <https://doi.org/10.3402/rlt.v19i2.10345>

2. Arnold M., Goldschmitt M., Rigotti T. Dealing with information overload: a comprehensive review. *Frontiers in psychology*, 2023, Vol. 14, Article 1122200. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1122200>
3. Skulmowski A., Xu K. M. Understanding cognitive load in digital and online learning: A new perspective on extraneous cognitive load. *Educational psychology review*, 2022, Vol. 34 (1), 171-196. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09624-7>
4. Information Literacy. URL: https://www.unesco.org/en/ifap/information-literacy?utm_source=chatgpt.com [Accessed 15 Jul. 2025].
5. Framework for Information Literacy for Higher Education. URL: https://www.ala.org/acrl/standards/ilframework?utm_source=chatgpt.com [Accessed 01 Dec. 2025].
6. Eppler M. J., Mengis J. The concept of information overload: A review of literature from organization science, accounting, marketing, MIS, and related disciplines. *The Information Society*, 2004, Vol. 20 (5), 325-344. <https://doi.org/10.1080/01972240490507974>
7. Bawden D., Robinson L. The dark side of information: Overload, anxiety and other paradoxes and pathologies. *Journal of Information Science*, 2009, Vol. 35(2), 180-191. <https://doi.org/10.1177/0165551508095781>
8. Sweller J. Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 1988, Vol. 12 (2), 257-285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4
9. Sweller J., van Merriënboer J.J.G., Paas F. Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review*, 2019, Vol. 31, 261-292. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>
10. Sana F., Weston T., Cepeda N.J. Laptop multitasking hinders classroom learning for both users and nearby peers. *Computers & Education*, 2013, Vol. 62, 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.003>
11. Kirschner P. A., De Bruyckere P. The myths of the digital native and the multitasker. *Teaching and Teacher education*, 2017, Vol. 67, 135-142. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2017.06.001>

Received 28.12.2025

Accepted 05.05.2026

Published 01.06.2026

О.В. ТОКОВА, канд. техн. наук,
Асистент з питань інклюзивної освіти,
Середня школа Вілмінгтона,
159 Черч-стріт, Вілмінгтон, Массачусетс 01887
<https://orcid.org/0000-0002-0289-2810>
len327@ukr.net

РОЗРОБЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПОШУКУ ДОСЛІДНИЦЬКИХ МАТЕРІАЛІВ У ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ

Вступ. Сучасні студенти і дослідники діють в умовах стрімкого зростання обсягів цифрової інформації. Розвиток відкритої науки, електронних бібліотек і онлайн-платформ призвів до суттєвого розширення доступу до наукових знань. Водночас проблема доступу до інформації поступово трансформувалася у проблему її ефективного відбору та інтерпретації. За результатами сучасних досліджень, інформаційне перевантаження є одним із ключових чинників, що ускладнюють навчальну діяльність, знижують концентрацію уваги та підвищують пізнавальне навантаження користувачів. У цифровому освітньому середовищі студенти змушені самостійно здійснювати пошук, оцінювання та систематизацію великої кількості джерел, що потребує сформованих навичок інформаційної грамотності та критичного мислення. Надлишок неструктурованої інформації створює додаткове зовнішнє когнітивне навантаження, яке негатив-

но впливає на процес навчання та засвоєння знань. Незважаючи на значну кількість доступних електронних ресурсів, процес пошуку наукових матеріалів залишається трудомістким і часто супроводжується перевитратами часу та зниженням навчальної мотивації.

Мета. Розробити та апробувати програмний інструмент *Automated Research Assistant*, призначений для автоматизованого пошуку та первинного структурування наукових матеріалів у процесі навчальної й дослідницької діяльності.

Методи. *Automated Research Assistant* реалізований як програмний комплекс і функціонує як веборієнтований застосунок. Програмний комплекс розроблено з використанням мови програмування *Python* та вебінструментів (зокрема *Streamlit*), що забезпечують взаємодію з зовнішніми науковими базами даних через програмні інтерфейси (API).

Результати. У роботі проаналізовано проблему інформаційного перевантаження та складності пошуку наукових джерел у сучасному цифровому освітньому середовищі. Показано, що доступність електронних ресурсів не завжди забезпечує ефективність навчання через недостатній рівень сформованості у студентів навичок наукового пошуку та оцінювання інформації. Запропоновано принципи побудови *Automated Research Assistant* — автоматизованого інструмента підтримки навчальної та дослідницької діяльності. Реалізовано веборієнтований програмний комплекс автоматизованого пошуку наукових матеріалів із використанням відкритого репозиторію препринтів *arXiv* через програмний інтерфейс API. Система здійснює пошук, первинний відбір та структуроване збереження результатів, формуючи набір метаданих публікацій (назва, короткий опис, посилання на джерело).

Висновки. Запропонований підхід спрямовано на зменшення навантаження на користувача та підвищення ефективності роботи з науковою інформацією в процесі навчання. Архітектура програмного комплексу передбачає можливість подальшого розширення із підключенням додаткових наукових платформ та різних джерел даних.

Ключові слова: *автоматизований пошук, Automated Research Assistant, веборієнтований програмний комплекс, репозиторій препринтів arXiv, підвищення ефективності роботи.*

DIGITAL MEDICINE

ЦИФРОВА МЕДИЦИНА

<https://doi.org/10.15407/intechsys.2026.02.058>
UDC 004.58

H.A. PIDNEBESNA, PhD (Engineering), Senior Lecturer,
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”,
Beresteysky ave., 37, Kyiv, 03056, Ukraine,
<https://orcid.org/0000-0002-5735-9861>
pidnebesna@ukr.net

V.O. SURZHENKO, Master’s Student,
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”,
Beresteysky ave., 37, Kyiv, 03056, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0003-6521-0471>
surzhenkoviacheslav@gmail.com

I.O. KOZIENKO, private psychologist,
member of the Ukrainian Transactional Analysis Community NGO “USTA”
<https://orcid.org/0009-0003-7203-8526>
kira.wld@gmail.com

APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES TO STABILIZE HUMAN EMOTIONAL STATE

Modern digital technologies can play an important role in supporting mental health, in particular in reducing stress levels and correcting emotional disorders. The paper considers an approach to creating a mobile software application that implements psychological self-help techniques, in particular breathing techniques, grounding, bilateral stimulation and EMDR-like exercises. The methodological basis, structure of functional modules and features of the prototype implementation based on Unity and C# are presented. The advantages of using digital technologies for operational support of the emotional state of users are substantiated.

Keywords: digital technologies, mobile application, emotional state, stress disorders, EMDR, Unity, psychological self-help.

Introduction

In the modern world, society faces a large list of challenges that affect the psychological state of a person. The level of stress is rapidly increasing under the influence of social, economic, informational and military fac-

Cite: Pidnebesna H.A., Surzhenko V.O., Koziienko I.O. Application of Digital Technologies to Stabilize Human Emotional State. *Information Technologies and Systems*. 2 (8). 2026. 58 – 66. <https://doi.org/10.15407/intechsys.2026.02.058>

© Publisher PH “Akadempriodyka” of the NAS of Ukraine, 2025. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

tors. The problem of stabilizing a person's emotional state acquires particular significance in Ukraine, where, due to military operations in the country and various stress factors associated with them, Ukrainians face significant psychological problems [1].

A person's emotional state is directly related to physical and mental health. It significantly affects interpersonal relationships and the ability to make informed decisions, which in turn affects the quality of life of both an individual and, in turn, the country as a whole. The consequences of long-term chronic stress cause negative changes at the transgenerational level, when people who have not personally encountered certain traumatic situations, but are descendants of those who have experienced long-term chronic stress, have an increased susceptibility to psychosomatic diseases, such as type 2 diabetes, hypertension, etc. [2].

The vast majority of Ukrainians have been directly or indirectly affected by the war, which has led to the spread of symptoms of stress, anxiety and PTSD. Therefore, the problem of stabilizing a person's emotional state is currently extremely relevant. However, due to military operations in Ukraine, traditional psychological help is not always available due to limited resources and specialists, and there are also historically psychological barriers to seeking help [3, 4].

An effective solution to this problem is the integration of the latest computer technologies with the tasks of human health care: virtual "therapists" based on AI, feedback systems (biofeedback) help a person control their physiological processes using sensors and computer analysis, etc. [5, 6].

One of the most common areas of implementation of digital technologies is the development and use of software applications for mobile phones. Using a mobile application to stabilize the emotional state is possible in cases where direct communication with a psychologist at the moment is impossible or undesirable from the user's point of view. A person can turn to the application at any convenient time for him. In addition, the application often does not require an Internet connection, since it is downloaded directly to the user's phone. The format of the mobile application allows for the programmatic implementation of various methods and techniques of psychological self-help that have scientific justification and proven effectiveness. That is, the use of digital technologies in the form of a mobile application provides:

- accessibility and autonomy;
- anonymity;
- the possibility of quick self-help;
- integration of scientifically based psychotherapeutic techniques, etc.

Digital tools, in particular mobile applications, are becoming an effective means of supporting mental health due to the possibilities of interactivity, user adaptation and continuous availability [5].

Methodological Basis of the Application

Mobile applications for psychological assistance to military personnel and veterans are being developed in different countries of the world, where they understand the importance and relevance of the problem. In Ukraine, this approach is also attracting increasing attention from both psychologists and information technology specialists. Such applications have very different functionality and offer users many different individual techniques [6–8].

The methodology of the prototype we developed is based on a combination of modern psychological self-regulation techniques that have proven effectiveness in reducing stress levels. These include:

- breathing exercises (in particular, the “square breathing” technique),
- grounding methods,
- awareness and assessment of the current emotional state,
- EMDR-like exercises and bilateral stimulation,
- Elements of art therapy,
- techniques of positive psychology, etc.

These techniques are adapted to the digital format, which allows them to be used in the form of interactive exercises with visual support. The phased implementation provides a logical structure of the “therapeutic mini-session”.

The application can also be used to develop self-help skills and self-regulation of the emotional state by the user as a preventive measure or a kind of psychological simulator. The target audience includes a wide range of adults who have experienced stressful traumatic situations.

Structure and Functional Component of the Application

To create an effective application for stabilizing the emotional state, it is important to introduce several key elements.

- The application should have a convenient, intuitive structure, with a user-friendly interface, so that the user can easily understand and navigate the various components.
- The application should provide basic information about the techniques (psychological techniques), their application, and the mechanisms underlying the reaction to these methods.
- The key aspect (main functional part) is the software implementation of practical methods, simple exercises based on various psychological techniques (breathing, meditation techniques and relaxation, drawing, etc.), which the user can perform himself, and which help reduce the level of stress and anxiety, contribute to the stabilization of his emotional state.
- The application should provide users with statistics, the ability to track their progress.
- The software implementation should be such that it allows easy integration of additional functions and the possibility of updates.

To meet these requirements, the prototype application is organized into a sequential structure of certain functional elements. Each element of this structure provides a logical and consistent way to use the application and allows the user to quickly find and launch the necessary functions.

The prototype of the mobile application is implemented using Unity and C#, which ensures cross-platform and ease of implementation of interactive components.

Structure and Functional Component of the Application

To create an effective application for stabilizing the emotional state, it is important to introduce several key elements.

- The application should have a convenient, intuitive structure, with a user-friendly interface, so that the user can easily understand and navigate the various components.

- The application should provide basic information about the techniques (psychological techniques), their application, and the mechanisms underlying the reaction to these methods.

- The key aspect (main functional part) is the software implementation of practical methods, simple exercises based on various psychological techniques (breathing, meditation techniques and relaxation, drawing, etc.), which the user can perform himself, and which help reduce the level of stress and anxiety, contribute to the stabilization of his emotional state.

- The application should provide users with statistics, the ability to track their progress.

- The software implementation should be such that it allows easy integration of additional functions and the possibility of updates.

To meet these requirements, the prototype application is organized into a sequential structure of certain functional elements. Each element of this structure provides a logical and consistent way to use the application and allows the user to quickly find and launch the necessary functions.

The prototype of the mobile application is implemented using Unity and C#, which ensures cross-platform and ease of implementation of interactive components.

For the effective functioning of the application, the following features have been implemented:

- asynchronous event processing,
- use of animated objects for exercises,
- ability to save data locally without access to the Internet,
- support for an updatable modular structure.

The application architecture is divided into the following modules.

The main menu functions as an interactive hub, providing access to the application components:

- information block,

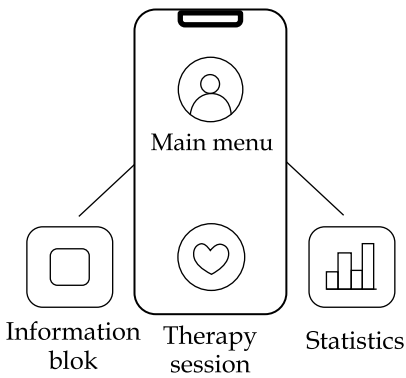


Fig. 1. Application components

- therapeutic session,
- statistics,
- emergency options.

Fig. 1 and 2 shows the structure of the mobile application.

The main menu is the main interactive hub, from which the user has access to all functional parts of the application and can choose their further actions.

The information block contains brief explanations of the methods and rules for their use, plays the role of psychoeducation, increasing the effectiveness of self-help. A separate Statistics block stores the history of sessions and allows you to track the dynamics of the user's emotional state.

The therapeutic session of the application consists of three stages:

- Understanding the stressful situation – to achieve the goal, the user is offered a sequence of well-known techniques that are used in particular when psychologists work with military personnel and veterans;
 - Grounding; breathing; self-assessment of psychological state; work with negative emotions; EMDR-like exercises and bilateral stimulation;
 - Finding internal resources – the next stage in the work;
 - Breathing; assessment; identification of positive emotions; visualization of resource words; EMDR-like exercises and asymmetrical tapping;
 - Consolidation of positive changes occurs through sequential execution of exercises: the "treasure" technique; drawing; EMDR-like exercises and asymmetrical tapping; self-assessment of emotional state; motivational message.

To implement each stage of the session, digital analogues of psychological techniques were used, in particular:

- animation for synchronization of breathing, which greatly facilitates the execution of the exercise and improves the effect;

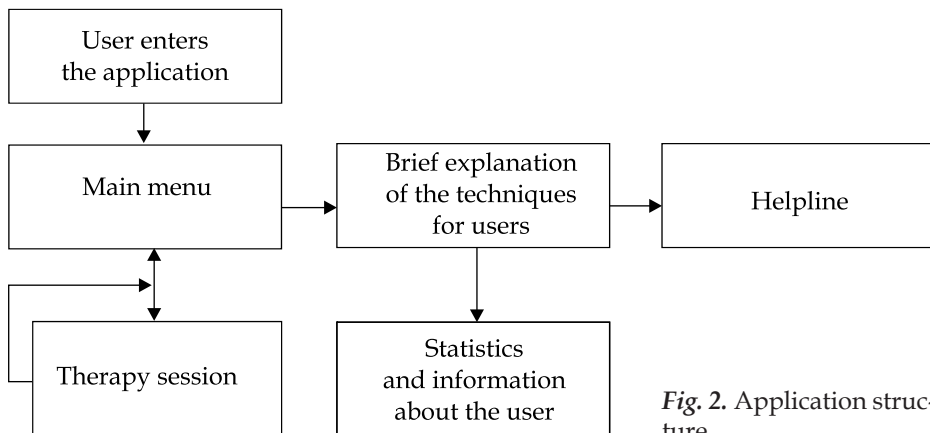


Fig. 2. Application structure

- algorithm for moving dots on the screen for EMDR-like exercises and bilateral stimulation;
 - interface for working with negative emotions with the function of “crossing them out”;
 - interactive field for drawing, as one of the options for arttherapy;
 - interface for defining and saving “resource words”;
 - reinforcement of exercises with tapping with variable asymmetry.
- Such solutions provide a high level of user engagement and enhance the psychotherapeutic effect, as they activate physiological processes, influencing the parasympathetic nervous system.

Prospects for the Development of an Application for stabilizing a Person’s Emotional State

Further application of modern digital technologies in the development of applications for stabilizing a person’s emotional state involves:

- integration of an AI module for personalizing therapy;
- implementation of adaptation algorithms for selecting exercises and psychological techniques;
- gamification and improvement of the visual component and UX;
- use of biometric data (heartbeat, breathing, etc.) to monitor the user’s physical condition;
- expansion of functional capabilities for statistical analysis;
- expansion of the security system and data encryption;
- the possibility of cloud synchronization (at the user’s request).

Such extensions will increase the efficiency of the application and expand the range of its users.

Conclusions

Mobile digital tools can play a significant role in supporting mental health, especially in the context of growing social challenges. The created prototype effectively combines modern digital technologies with well-known methods of psychological self-help. Its feature is the implementation of a well-thought-out sequence of psychological techniques and exercises that are used in the practice of both Ukrainian and foreign specialists when working with military personnel and veterans. The mobile application is an accessible tool for reducing stress levels and stabilizing the emotional state. This is achieved through interactivity and visual support, adaptability and modularity, and the possibility of autonomous work without the Internet. However, it should be noted that using the application does not replace professional psychotherapy and can only serve as an auxiliary and preventive tool.

DECLARATION

Declaration of Competing Interest. No potential conflict of interest is reported by the authors.

Funding. The authors declare that no funds, grants, or other support were received during the preparation of this manuscript.

Use of AI. The authors declare that Artificial intelligence tools were not used in writing the paper.

Contribution of the authors. Pidnebesna H.A. is the author of the main idea and methodology of the article; Surzhenko V.O. is the author of its implementation in the software; Koziienko I.O. provided valuable comments as a psychologist.

REFERENCES

1. Bogic M, Njoku A, Priebe S. Long-term mental health of war-refugees: a systematic literature review. *BMC Int Health Hum Rights*, 2015, Vol. 15, Article 29. <https://doi.org/10.1186/s12914-015-0064-9>
2. Chaban O.S. War, fear, anxiety, fatigue. We restore ourselves and restore others. Lecture. NNIPZ NMU named after O.O. Bogomolets [Чабан. О.С. Війна, страх, тривога, втома. Відновлюємося самі і відновлюємо інших. Лекція. ННІПЗ НМУ ім. О.О.Богомольця. 2024]. URL: https://www.youtube.com/watch?v=ts-D_-wu9SpY [Accessed 10 Sep. 2025]
3. Sokhor H, Yasniy O, Smashna O, Hashimova H. The impact of war and forced displacement on the mental health of children and adolescents (literature review). *Psychosomatic Medicine and General Practice*, 2024, Vol. 9 (1), Article 471. <https://doi.org/10.26766/pmgp.v9i1.471>
4. World Health Organization (WHO). (n.d.). WHO projects to support mental health in Ukraine. URL: <https://www.euro.who.int/en/countries/ukraine> [Accessed 10 Sep. 2025]
5. Lüddecke R., Felnhofer A. Virtual Reality Biofeedback in Health: A Scoping Review. *Appl Psychophysiol Biofeedback*, 2022, Vol. 47, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10484-021-09529-9>
6. Tosti B, Corrado S, Mancone S, Di Libero T, Rodio A, Andrade A, Diotaiuti P. Integrated use of biofeedback and neurofeedback techniques in treating pathological conditions and improving performance: a narrative review. *Front. Neurosci*, 2024, Vol. 18, Article 1358481. <https://doi.org/10.3389/fnins.2024.1358481>
7. Dvornyk M.S. Using mobile apps as a socio-psychological Strategy of rehabilitation. *Psychological Sciences: Problems and Achievements*, 2017, 10, 53–67. URL: [Accessed 10 Sep. 2025]
8. *Diagnostic and Statistical Manual* <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/709914> of Mental Disorders. Revised 4th ed., American Psychiatric Association, Washington, 915 p.
9. About post-traumatic stress disorder (PTSD). Veterans Affairs Canada. URL: <https://www.veterans.gc.ca/en/mental-and-physical-health/mental-health-and-wellness/understanding-mental-health/about-post-traumatic-stress-disorder-ptsd> [Accessed 10 Sep. 2025]
10. Free choice. “Base” application. [Вільний Вибір | Застосунок «БАЗА»]. URL: <https://www.vvybir.org.ua/products/appbase/>
11. Hussain, F. Unity Game Development Engine: A Technical Survey. *University of Sindh Journal of Information and Communication Technology*, 2020, Vol. 4(2), 73–81. URL: <https://sujo.usindh.edu.pk/index.php/USJICT/article/view/1800> [Accessed 14 May. 2026]
12. C++ just overtook Java as the world’s most popular programming language | TechRadar. URL: <https://www.techradar.com/news/c-just-overtook-java-as-the-worlds-most-popular-programming-language> [Accessed 14 May. 2026]
13. Brewin C.R., Andrews B., Valentine J.D. Meta-analysis of risk factors for posttraumatic stress disorder in trauma-exposed adults. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 2000, Vol. 68 (5), 748–766. <https://doi.org/10.1037/0022-006X.68.5.748>

14. Van der Kolk B.A. *The body keeps the score: Brain, mind, and body in the healing of trauma*. Viking, eBook, 464 p.
15. Ekman, P. An argument for basic emotions. *Cognition and Emotion*, 1992, Vol. 6(3–4), 169–200. <https://doi.org/10.1080/02699939208411068>
16. Shuliakova M., & Ratsyborynska-Polyakova H. The impact of chronic stress on the human body and the role of psychoeducation in reducing its mental manifestations. *Psychosomatic Medicine and General Practice*, 2024, Vol. 9 (1), Article 490. <https://doi.org/10.26766/pmgp.v9i1.490>
17. Antuna-Cambor C., Gomez-Salas F., Burgos-Julian F., Gonzalez-Vazquez A., Juarros-Basterretxea J. and Rodriguez-Diaz F. Emotional Regulation as a Transdiagnostic Process of Emotional Disorders in Therapy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clin Psychol Psychother*, 2024, Vol. 31, Article e2997. <https://doi.org/10.1002/cpp.2997> <https://doi.org/10.1002/cpp.2997>
18. Brown R.P., Gerbarg P.L. Sudarshan Kriya Yogic breathing in the treatment of stress, anxiety, and depression: Part II – Clinical applications and guidelines. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 2005, Vol. 11 (1), 211–217. <https://doi.org/10.1089/acm.2005.11.711>

Received 20.09.2025

Accepted 05.05.2026

Published 01.06.2026

Г.А. ПІДНЕБЕСНА, канд. техн. наук, старш. викладач,
Нац. техн. ун-т України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»,

Берестейський просп., 37, м. Київ, 03056, Україна;

<https://orcid.org/0000-0002-5735-9861>

pidnebesna@ukr.net

В.О. СУРЖЕНКО, студент магістратури,

Нац. техн. ун-т України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського»,

Берестейський просп., 37, м. Київ, 03056, Україна

<https://orcid.org/0009-0003-6521-0471>

srzhenkoviacheslav@gmail.com

І.О. КОЗІЄНКО, приватний психолог,

член спілки української спільноти транзакційного аналізу ГО «УСТА»

<https://orcid.org/0009-0003-7203-8526>

kira.wld@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЕМОЦІЙНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ

Вступ. Сучасні цифрові технології можуть відігравати важливу роль у підтримці психічного здоров'я, зокрема у зменшенні рівня стресу та корекції емоційних розладів. У статті розглянуто підхід до створення мобільного програмного застосунку, в якому реалізовані методики психологічної самопомоги, зокрема техніки дихання, заземлення, білатеральної стимуляції та EMDR-подібних вправ.

Мета. Дослідити задачу розроблення мобільного програмного застосунку, в якому будуть реалізовані методики психологічної самопомоги, зокрема техніки дихання, заземлення, білатеральної стимуляції тощо.

Методи. Реалізовано інтеграцію новітніх комп'ютерних технологій з задачами охорони здоров'я людини, а саме – віртуальні «терапевти» на основі ШІ, системи зворотного зв'язку (*biofeedback*), які допомагають людині контролювати свої фізіологічні процеси з допомогою датчиків і комп'ютерного аналізу тощо.

Результати. Наведено методологічну основу, структуру функційних модулів і особливості реалізації прототипу на базі *Unity* та *C#*. Обґрунтовано переваги використання цифрових технологій для оперативної підтримки емоційного стану користувачів.

Висновки. Створений прототип ефективно поєднує сучасні цифрові технології із відомими методами психологічної самопомоги. Його особливістю є реалізація продуманої послідовності психологічних технік та вправ, які використовуються в практиці як українських, так і закордонних спеціалістів під час роботи з військовими та ветеранами. Мобільний застосунок є доступним інструментом зниження рівня стресу та стабілізації емоційного стану. Це досягається завдяки інтерактивності і візуальній підтримці, адаптивності і модульності, можливості автономної роботи без інтернету тощо. Проте необхідно зауважити, що використання застосунку не замінює професійну психотерапію і може слугувати лише як допоміжний та превентивний засіб.

Ключові слова: цифрові технології, мобільний застосунок, емоційний стан, стресові розлади, EMDR, *Unity*, психологічна самопомога.

DIGITALISATION OF ECONOMIC SYSTEMS

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

<https://doi.org/10.15407/intechsys.2026.02.067>

Л.І. БАЖАН, канд. екон. наук, старш. наук. співроб.,
Інститут інформаційних технологій та систем НАН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8920-8670>
bazmil@ukr.net

МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛОГІСТИЧНОГО СЕРВІСУ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ

В процесі функціонування транспортно-логістичної системи велику увагу приділяють її ефективності, що обумовлено виявленням вузьких місць для проведення цифрової трансформації системи. Цифровізація відкриває нові можливості для моніторингу поставок продукції у режимі реального часу, точного прогнозування попиту та автоматизації операцій в процесі виконання послуг обслуговування клієнтів, що сприяє підвищенню ефективності, прозорості та адаптивності транспортно-логістичної системи. Логістичний сервіс представляє сукупність нематеріальних логістичних операцій, які забезпечують максимальне задоволення попиту клієнтів у процесі управління потоками всіх видів (матеріальними, інформаційними, фінансовими) оптимальним (за критерієм витрат) способом. Для оцінки ефективності логістичного сервісу транспортно-логістичної системи застосовано непараметричний метод DEA (Data Envelopment Analysis). Враховуючи нематеріальність логістичних послуг, даний метод модифіковано наступним чином: межа ефективності будується на базі стандартів логістичних послуг, що відповідає концепції цифровізації економіки. В результаті визначена технічна ефективність, яка орієнтована на витрати ресурсів, та технічна ефективність, орієнтована на результати функціонування (якісне обслуговування клієнтів).

Ключові слова: логістичний сервіс, транспортно-логістична система, непараметричний метод, цифрова трансформація, технічна ефективність, алокативна ефективність.

Вступ

Функціонування транспортно-логістичної системи в сучасних умовах економіки та за її внутрішнього стану залежить від значного чис-

Цитування: Бажан Л.І. Модель оцінки ефективності логістичного сервісу транспортно-логістичної системи. *Information Technologies and Systems*. 2 (8). 2026. 67–80. <https://doi.org/10.15407/intechsys.2026.02.067>

© Publisher PH “Akademperiodyka” of the NAS of Ukraine, 2025. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

ла факторів, які виникають в процесі транспортування матеріального потоку. Сучасний підхід до керування транспортно-логістичною системою базується на інтеграційних процесах системи, які полягають в оптимізації руху транспортного потоку та забезпечення транспортними ресурсами. Однак такий підхід не дає можливості оцінити ефективність функціонування транспортно-логістичної системи, оскільки логістичне управління транспортним процесом залишається поза увагою керівництва.

Стратегічною метою логістики є підвищення рівня конкурентоспроможності транспортно-логістичної системи на ринку. Таким чином, логістика є тим інтенсивним шляхом розвитку системи, який дає можливість підвищити рівень ефективності системи та отримати максимальні результати на виході системи.

Наразі не існує універсальної методики вимірювання ефективності транспортно-логістичної системи, яка враховувала б динаміку процесів, а також все різноманіття змінних, що визначають процеси, які відбуваються в ній.

Проведення систематичної оцінки ефективності функціонування транспортно-логістичної системи дає можливість оцінити результати функціонування системи в процесі цифрової трансформації, знаходити вузькі місця та виявляти області резервів системи і приймати миттєві управлінські рішення. В результаті виникає гостра необхідність розроблення інструментарію оцінювання ефективності транспортно-логістичної системи.

Таке оцінювання може проводитися на базі логістичного сервісу системи, що дає змогу отримувати комплексну характеристику фактичного рівня ефективності функціонування транспортно-логістичної системи і визначає її інтегральний рівень, що базується на рівнях ефективності всіх підсистем.

Висока якість обслуговування клієнтів є ключовим поняттям логістичного сервісу транспортно-логістичної системи. Конкуренція спонукає до створення ефективної системи обслуговування клієнтів системи.

У наукових роботах Авраменко О.В., Гайдабрус Н.В., Кальченко А.Г., Крикавського Є.В., Мазаракі А.А., Пономарьова Ю.В., Рославцева Д.М., Фролова Л.В. досліджувались питання логістичних послуг різних галузей та систем економіки. Однак, незважаючи на велику кількість наукових публікацій з означеного питання, недостатня кількість уваги приділяється оцінці якості логістичних послуг та обслуговування клієнтів.

Метою статті є розроблення моделі оцінювання ефективності функціонування логістичного сервісу транспортно-логістичної системи на основі визначення рівнів ефективності основних вхідних та вихідних даних, що забезпечують функціонування всіх підсистем.

Логістична діяльність транспортно-логістичної системи є наданням логістичних послуг того чи іншого ступеня складності. Логіс-

тичні послуги доцільно розглядати як важливу складову обслуговування споживача, яка дає можливість забезпечити необхідний рівень задоволення потреб клієнтів за найнижчих сукупних витрат і гарантованого отримання клієнтом відповідного товару відповідної кількості й асортименту в певному місці, в певний час і за певну ціну [1].

Логістичне обслуговування транспортно-логістичної системи

Результатом оцінки технологічної ефективності логістичного обслуговування транспортно-логістичної системи буде обчислення індексу технологічної дифузії інновацій, що супроводжуються цифровою трансформацією економіки, методична схема якого містить такі етапи:

1. вибір та обґрунтування показників, що характеризують ступінь проникнення цифрових технологій у структуру транспортно-логістичної системи;
2. обґрунтування методу, що дає змогу дати об'єктивну оцінку статистичним показникам;
3. опис моделі обчислення індексу оцінки технологічної ефективності логістичного обслуговування транспортно-логістичної системи вибраним методом;

Основною метою функціонування транспортно-логістичної системи є якісне обслуговування споживачів у галузі транспортування та логістики.

Визначенням ефективності функціонування логістичного сервісу транспортно-логістичної системи в умовах цифрової трансформації економіки є показник, який характеризує рівень якості функціонування системи за заданого рівня загальних логістичних витрат.

На рис.1 подано основні логістичні послуги.

Оскільки логістичний сервіс реалізується через набір логістичних послуг, виникають труднощі оцінювання якості логістичного сервісу, оскільки послуга відрізняється від продукту тим, що:

- послуга не має матеріальної форми, її важко сформулювати та оцінити;
- послуга спрямована на конкретного споживача, який часто сам бере участь у її формуванні, а не лише у споживанні;
- послуга не може бути протестована до її придбання;
- послуга не має властивості зберігання, вона існує «тут і зараз».

Тому якість логістичної послуги оцінюється безпосередньо в період її надання. При оцінці якості логістичних послуг, споживач завжди порівнює дійсні значення параметрів послуги з очікуваними параметрами. Якщо очікування споживача збігаються з фактичними параметрами послуги, він визнає її якість прийнятною [2].

На Заході широко використовується поняття «логістики сервісного відгуку» — *SRI*, яке визначає процес координації логістичних

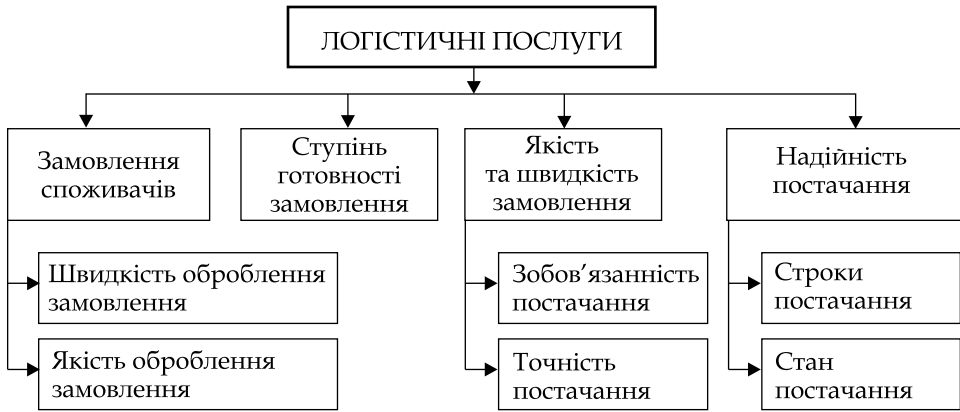


Рис. 1. Логістичні послуги та критерії якості логістичного сервісу

операцій, необхідних для надання послуг найбільш ефективним способом з точки зору витрат та запитів споживачів [3].

Ключовим елементом такого підходу є отримання замовлень на послуги та моніторинг надання послуг. Дії служби логістичного обслуговування охоплюють:

- прогнозування обсягів послуг;
- збір інформації про надані послуги;
- вибір каналів надання послуг;
- підбір і ротацію працівників;
- постійне навчання персоналу;
- гнучкий графік виробництва обладнання та надання сервісних послуг;
- управління потужністю сервісного обладнання;
- реєстрацію клієнта та ведення електронної бази даних клієнтів;
- оцінювання потреб клієнтів та співпрацю з ними;
- контроль за обслуговуванням клієнтів;
- організацію виставок;
- планування та контроль сервісної мережі;
- контроль зв'язку з клієнтом на всіх рівнях;
- передачу інформації про послуги тощо.

Таким чином, прерогативою логістики на транспорті є управління сервісними потоками, оскільки під час транспортування матеріального потоку необхідно надавати супутні послуги. Потоки послуг, як і матеріальні потоки, існують в середовищі доставки матеріального потоку, в якій існують свої ланки транспортно-логістичної системи, логістичні канали та ланцюги тощо.

Якість логістичного сервісу визначається сукупним очікуванням клієнта, тобто мінімальною розбіжністю (розривом) між очікуваннями та фактичними параметрами обслуговування, і є однією з конкурентних переваг системи.

У сервісній логістиці основними причинами зниження ефективності є неузгодженості та нестиковки під час руху матеріального по-

току, що призводить до неузгодженості між виходом логістичної системи, яка виробляє послуги, та входом системи споживання послуг (споживачем).

Якісні показники логістичного сервісу безпосередньо впливають на основні результати функціонування транспортно-логістичної системи, пов'язуючи виконання логістичного плану з основними функціями та результатами управління рухом матеріального потоку, що забезпечує потребу в коригувальних діях за їх нестиковки [4].

Цифрова трансформація логістичних процесів

Цифровізація логістичних процесів є ключовим фактором для забезпечення взаємодії виробників та споживачів транспортно-логістичного процесу доставки вантажу. Однак стримуючими факторами розвитку логістики і особливо логістичного сервісу в сучасній економіці є низький рівень цифровізації логістичних процесів. У рамках впровадження ефективних логістичних послуг важливе місце належить автоматизації та інформатизації управління логістичними потоками [5].

Цифрова трансформація логістичного сервісу транспортно-логістичної системи передбачає на сучасному етапі управління потоками за умов інтеграції спеціалізованого програмного забезпечення, представлених інформаційними технологіями [6]. Серед найпоширеніших інформаційних технологій галузі у світі та в Україні є:

- система управління транспортом (*Transportation Management System – TMS*) – забезпечує планування, оптимізацію та моніторинг перевезень;

- система управління складом (*Warehouse Management System – WMS*) – автоматизує облік, зберігання, розміщення товарів на складі транспортно-логістичної системи;

- планування ресурсів (*Enterprise Resource Planning – ERP*) – координує логістичні процеси з іншими бізнес-функціями;

- управління ланцюгом поставок (*Supply Chain Management – SCM*) – оптимізує весь ланцюг поставок від виробника до кінцевого споживача;

- Інтернет речей та технологія радіочастотної ідентифікації (*Internet of Things – IoT та Radio Frequency Identification – RFID*) – дають змогу здійснювати відстеження вантажів у реальному часі;

- великі дані та прогнозна аналітика (*Big Data та Predictive Analytics*) – забезпечують прогнозування попиту, заторів, збоїв у логістиці.

Враховуючи методологічні особливості інтеграції цифрових інструментів, цифровізація логістики транспортно-логістичної системи передбачає:

- модульність систем – тобто можливість поступового впровадження;

- інтероперабельність – здатність платформ «говорити однією мовою» (інтерфейс програмування додатків – *API*, електронний обмін даними – *EDI*);

- сервісну модель (програмне забезпечення як послуга *SaaS*) — мінімізацію капітальних витрат через хмарні підписки;

- пристосування програмного забезпечення до мовних, регіональних, законодавчих особливостей тощо.

Дослідження якості логістичного сервісу в умовах цифрової трансформації економіки здійснюється на основі концепції інтернету речей, яка об'єднує фізичні об'єкти (постачальників, товар, споживачів) з цифровим світом і дає змогу їм взаємодіяти між собою. Вартість оптимізації маршрутів, скорочення часу простою, зниження числа помилок та пошкоджень вантажів завдяки концепції інтернету речей призводять до зниження операційних витрат.

Найбільш важливими параметрами вимірювання якості сервісу є:

- відчутність — фізичне середовище, в якому представлено логістичний сервіс: зручності, оргтехніка, обладнання, інформаційне-комунікаційне середовище, інтернет — все, що відповідає концепції інтернету речей;

- надійність — послідовність виконання доставки продукції «точно вчасно»: доставка потрібної продукції у потрібний час у необхідне місце, а також надійність інформаційних та фінансових процедур, що супроводжують фізичний розподіл;

- гнучкість поставки як критерій якості сервісу означає здатність транспортно-логістичної системи враховувати особливі побажання клієнтів про зміну початкових умов постачання без порушення узгодженого строку виконання замовлення;

- доступність — легкість встановлення контактів із постачальниками сервісу: зручний для покупця час надання послуг.

Для кожного показника вимірювання якості сервісу є дві величини (умовні): перша — вимірюється очікуваннями клієнта; друга — вимірює сприйняття клієнтом певного показника.

Різниця між цими двома величинами є розбіжністю, яка оцінює ступінь незадоволення клієнта в цьому показнику якості сервісу. Якість сервісу в логістиці визначатиметься сукупним очікуванням клієнта в сенсі мінімальних розбіжностей між очікуваннями та фактичними показниками.

Таким чином, основною причиною неефективності транспортно-логістичної системи є неузгодженість між виходом логістичної системи, що виробляє послуги, та входом системи споживання послуг (клієнтом), які обумовлюються невиконанням дій для забезпечення якості сервісу.

Оцінка ефективності транспортно-логістичної системи

Ефективність транспортно-логістичної системи визначається показником, що характеризує якість роботи системи за умовою заданого рівня логістичних витрат [7].

Логістичний сервіс здійснює комплексний вплив на всю діяльність виробничої та фінансової діяльності, а також впливає на інформаційно-комунікаційну сферу.

Ключовими логістичними операціями є: підтримання стандартів обслуговування споживачів, транспортування, керування запасами, процедурами замовлень, виробничими процедурами, фізичний розподіл тощо.

Раціональне управління логістичним сервісом дає змогу оптимізувати ключові операції роботи з вантажем, раціонально використовувати ресурси, підвищити показники рентабельності, платоспроможності та ділової активності, якість послуг і товарів для споживачів.

Для оцінки ефективності функціонування логістичної системи застосовуються такі методи: аналіз повної вартості, експертні системи, аналіз ABC (метод, що дає змогу класифікувати ресурси системи), аналіз XYZ (метод класифікації товарних запасів або ресурсів системи). За допомоги цих методів аналізується внутрішнє середовище системи, і не враховується стан зовнішнього середовища.

Ці методи оцінки конкурентоспроможності підприємства не дають інтегрального показника конкурентоспроможності і, як наслідок, важко порівняти конкурентні переваги систем-конкурентів.

Ефективність вимірюється відношенням між кінцевим результатом роботи системи «на виході» (тобто обсягом вироблених продуктів чи послуг) та обсягом ресурсів «на вході», що споживаються системою для отримання цього результату.

Дослідження структури ефективного та неефективного виробничого процесу транспортно-логістичної системи з точки зору раціональності використання ресурсів, втрат продуктивності і прибутку є одним з важливих завдань.

Одним із методів оцінювання ефективності функціонування транспортно-логістичної системи може бути метод обволікальної поверхні (*Data Envelopment Analysis – DEA*), який був розроблений А. Чарнізом, В. Купером та І. Родесом (*CCR-модель*) [8].

Непараметричний метод *DEA* ґрунтується на використанні лінійного програмування та дає змогу оцінювати ефективність економічних об'єктів у порівнянні з іншими об'єктами, які вважаються ефективними, за умов дослідження внутрішнього та зовнішнього середовищ.

Якість логістичного обслуговування пов'язана з безліччю логістичних операцій та функцій, які здійснює персонал транспортно-логістичної системи. Моделювання оцінки ефективності функціонування системи пов'язане з поняттям якості логістичного обслуговування. Цей факт потребує визначення показників межі ефективності з погляду прийнятої стратегії керування якістю логістичного обслуговування. Для керування якістю логістичного сервісу необхідно встановлення системи вимірювачів та показників його оцінки. З огля-

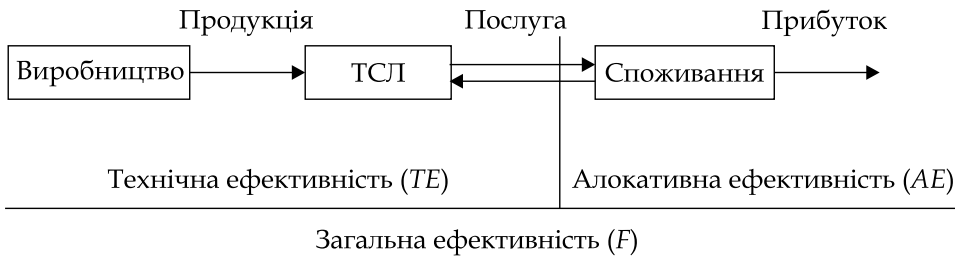


Рис. 2. Технічна, алокативна та загальна ефективності функціонування транспортно-логістичної системи

ду на те, що багато показників відображають суб'єктивний погляд на якість з боку кінцевих споживачів, через це дати формалізовану оцінку цих показників стає складніше. Як показники межі ефективності моделі виступають показники бази стандартів логістичних послуг транспортно-логістичної системи.

Оскільки метод *DEA* дає змогу оцінювати лише відносну ефективність системи (тобто ефективність порівняно один з одним), та враховуючи нематеріальність логістичних послуг, виникла необхідність модифікувати цей метод, щоб отримувати оцінки ефективності логістичного сервісу з деякою абсолютною умовністю. Це обумовлюється тим, що стандартизація є фундаментом цифрової трансформації економіки та забезпечує впорядкування процесів і їх переведення у цифровий формат для підвищення ефективності функціонування економічних об'єктів [9].

Для цього межа ефективності будується на базі стандартів логістичних послуг, що відповідає концепції цифровізації економіки та дає можливість оцінити стійкість транспортно-логістичної системи з точки зору її ефективності.

Стандартизований сервіс охоплює пакет послуг, потребу в яких найчастіше відчувають клієнти. Застосування стандартизованого логістичного обслуговування є доцільним у роботі транспортно-логістичної системи.

Модель оцінки якості логістичного сервісу транспортно-логістичної системи в умовах цифрової трансформації економіки повинна дати відповідь якими мають бути основні показники системи: задоволення споживачів, логістичні витрати, якість обслуговування, час обслуговування, продуктивність логістичного сервісу тощо.

До ключових комплексних логістичних активностей належать:

- підтримка стандартів обслуговування споживачів;
- транспортування;
- керування запасами;
- керування процедурами замовлень;
- ціноутворення – встановлення тарифів;
- керування виробничими процесами-операціями;
- фізичний розподіл тощо.

Показник порівняльної ефективності має два складники:

- технічну ефективність, що відображає здність транспортно-логістичної системи максимізувати результат своєї діяльності [10];
- алокативну ефективність, що показує наскільки оптимальною є комбінація ресурсів, які використовуються за наявних витрат на оброблення замовлень [11].

Відповідно до етапів входу та виходу на рис. 2 показано перетворення вхідних впливів на результати, які розрізняють технічну (TE), алокативну (AE) та загальну ефективність (F) (рис. 2).

Таким чином, для оцінки ефективності логістичного сервісу транспортно-логістичної системи необхідно визначити технічну ефективність (TE) та алокативну ефективність (AE).

Показниками ефективності логістичного сервісу транспортно-логістичної системи є:

- рівень запасів та скорочення потреби у складському зберіганні;
- час проходження матеріальних потоків у логістичній системі;
- тривалість циклу обслуговування замовлення, якість та рівень сервісу;
- якість транспортних послуг під час доставлення та митного оформлення;
- розміри партій вантажів;
- рівень використання виробничих потужностей;
- продуктивність, адаптивність, надійність та стійкість роботи.

У DEA-аналізі будують два види моделей:

- модель оцінки ефективності «входу» (тобто використання ресурсів), які називають моделями, орієнтованими на вхід (*input-oriented*);
- моделі оцінки ефективності «виходу» (тобто випуску продукції чи послуг), які називають моделями, орієнтованими на вихід (*output-oriented*).

Перша і друга моделі поділяються на моделі постійного та змінного масштабів.

Оцінювання ефективності логістичного сервісу транспортно-логістичної системи полягає в знаходженні величини

$$E < \frac{TE}{AE} \leq 1. \quad (1)$$

Для кожної k -ої логістичної послуги формуються показники «входу» (ресурси) та «виходу» (логістична послуга):

На вході визначається технологічна ефективність системи під час обслуговування k -го клієнта

$$(TE)_k = \sum_{r=1}^R v_r x_{rk}.$$

На виході — алокативна ефективність, яку отримано під час надання s логістичних послуг k -му клієнтові

$$(AE)_k = \sum_{s=1}^S u_s x_{sk},$$

де x_{rk} – ціна r -го ресурсу, необхідного для оформлення логістичної послуги k -му клієнтові; y_{sk} – ціна s -ої послуги, яка надана k -му клієнту, $s = \overline{(1, S)}$; $r = \overline{(1, R)}$; $k = \overline{(1, K)}$; v_r – ваговий коефіцієнт r -го ресурсу; u_s – ваговий коефіцієнт s -ї послуги; u_r, u_s – невідомі вагові коефіцієнти при змінних входу та виходу відповідно; Z_{rsk} – стандартне значення обсягу r -го ресурсу для виконання s -ої послуги k -го клієнта.

Оскільки необхідно визначити міру ефективності сервісної логістики, тобто рівень обслуговування кожного клієнта, то вирішується K оптимізаційних задач.

Алокативана ефективність є таким станом сервісної логістики обслуговування k -го клієнта, коли забезпечується заданий рівень обслуговування (відповідно до стандартних даних) за максимально можливого рівня витрат

$$(AE)_r = \frac{\sum_{s=1}^S u_s y_{sk}}{\sum_{r=1}^R v_r x_{sr}} \rightarrow \max, \quad (2)$$

за умови, що

$$\frac{\sum_{s=1}^S u_s y_{sk}}{\sum_{r=1}^R v_r x_{rk}} \leq 1, \quad (3)$$

$$x_{rk} \leq Z_{rsk}, y_{sk} \leq Z_{rsk}, \quad (4)$$

$$u_s \geq 0, v \geq 0. \quad (5)$$

Оскільки описана задача (2)–(5) у такій постановці є дробнолінійною для знаходження рішення, її може бути трансформовано в задачу лінійного програмування так:

- сповна

$$(AE)_k = \sum_{s=1}^S u_s s_{sk} \rightarrow \max. \quad (6)$$

За умови:

- дотримання всіх вимог якості та точності доставки вантажу споживачу:

$$\sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S v_s x_{sr} = 1; \quad (7)$$

- ресурси транспортно-логістичної системи мають такі потужності, що можуть забезпечити всі вимоги k -го клієнта:

$$x_{rk} \leq Z_{rk}, y_{sk} \leq Z_{sk} \quad (8)$$

$$\sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K u_s y_{sk} \leq \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S v_s x_{sr}, \quad (9)$$

$$v_r, u_s \geq 0. \quad (10)$$

Технічна ефективність означає максимально можливу спроможність транспортно-логістичної системи обслуговувати клієнтів в процесі просування матеріального потоку від виробника до споживача, при цьому дотримуючись стандартів обслуговування.

Технічну ефективність транспортно-логістичної системи можна подати як здатність системи мінімізувати використання ресурсів під час виконання s -ої послуги k -му клієнтові на перевезення вантажу.

Для отримання оцінки технічної ефективності транспортно-логістичної системи потрібно вирішити задачу, що орієнтована на вхід кожного клієнта:

$$(TE)_r = \sum_{r=1}^R \mu_r x_{rk} \rightarrow \min. \quad (11)$$

За умови:

- ресурси системи повинні досягати стандартних значень, щоб забезпечити якісне виконання замовлення клієнта:

$$\sum_{r=1}^R \mu_r x_{rk} \leq Z_{rk}; \quad (12)$$

- ресурси системи повинні забезпечити повну та якісну обробку замовлень клієнтів:

$$Z_{sk} \leq \sum_{s=1}^S \lambda_s y_{sk}; \quad (13)$$

- коефіцієнти μ_r та λ_s лінійної комбінації, що підлягають визначенню;

$$\mu_r \geq 0, \lambda_k \geq 0. \quad (14)$$

Якщо умови (11) та (12) мають такий вигляд:

$$\sum_{r=1}^R \mu_r x_{rk} \gg Z_{sk} \text{ та } Z_{sk} \ll \sum_{s=1}^S \lambda_s y_{sk} \gg Z_{sk}. \quad (15)$$

В результаті розв'язання задачі (11), (14), (15) знаходять значення додаткових змінних d^- , d^+ , що характеризують надлишок ресурсів або неякісне обслуговування клієнтів внаслідок недостатньої кількості ресурсів, які є резервами зростання ефективності функціонування транспортно-логістичної системи.

Ефективність функціонування транспортно-логістичної системи F визначається формулою

$$F = \sum_{k=1}^K F_k = \frac{(AE_k)}{(TE_k)}. \quad (16)$$

Таким чином, застосування методу *DEA* для оцінки ефективності логістичного сервісу транспортно-логістичної системи на основі ресурсних показників дає можливість провести оцінку якісного обслуговування клієнтів.

Ефективність функціонування транспортно-логістичної системи визначається тим, наскільки досліджуваний показник наближається до межі виробничої можливості, яка подана ламаною лінією стандартів. Це означає повне використання системою наявних ресурсів і одночасно неможливість збільшення функціонування будь-якої логістичної послуги. У методі *DEA* показники, що лежать на межі сукупності виробничих можливостей (стандарти виконання логістичних послуг), вважаються ефективними, а коефіцієнт їх ефективності дорівнює одиниці. Показники, які лежать нижче межі сукупності виробничих можливостей, мають значення менше одиниці і показують рівень їх неефективності.

ПОВІДОМЛЕННЯ / DECLARATION

1) При виконанні роботи і підготовці рукопису штучний інтелект не застосовувався. 2) Автор не повідомляє про жоден потенційний конфлікт інтересів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Bernard J. LaLonde, Martha C. Cooper, Thomas G. Noordewier. Customer Service: A Management Perspective. Oak Brook, Ill: The Council of Logistics Management, 1988, 640 p.
2. Mentzer John T., Flint Daniel J., Hult Tomas M. Logistics Service Quality as a Segment-Customized Process. *The Journal of Marketing*, 2001, 65 (4), 82-104.
3. Тюріна Н.М., Гой І.В., Бабій І.В. *Логістика: Навч. посіб.* Центр учбової літератури, Київ, 2015, 392 с.
4. Abdulla M., Musa H. Prioritizing the Logistics Management Factors Affecting Company Performance: Case Study of ADNOC. *International journal of sustainable construction engineering and technology*, 2021, Vol, 12 (5), 61-72.
5. Гуржій Н., Гавран В., Сапотницька Н. Цифрові технології та їхній вплив на управління логістичними процесами підприємств. *Економіка та суспільство*, 2022, Вип. 55. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-55-20>
6. Ліссітса В.В. Вплив цифровізації та технологій Industry 4.0 на оптимізацію ланцюга поставок. Якість та безпечність продукції у внутрішній і зовнішній торгівлі й торговельне підприємництво: сучасні вектори розвитку і перспективи. *І Міжнарод. наук.-практ. конф. Якість та безпечність продукції у внутрішній і зовнішній торгівлі й торговельне підприємництво: сучасні вектори розвитку і перспективи*, ПДАУ, 15 лютого 2022.
7. Хвищун Н.В., Козубовська В.С. Методичні підходи до оцінки ефективності логістичних систем. *Економічний форум*, 2011, № 2, 44-52.
8. Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 1978, Vol. 2 (6), 429-444.
9. Ковальова В.І., Литовченко О.Ю., Куц Н.В. Стандарти, впровадження та перспективи цифровізації документообігу в Україні. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Економічні науки*, 2024, Вип. 80, 139-145.
10. *Економіка підприємства* : підручник. Під заг. ред. Ковальської Л.Л., Кривов'язюка І.В. : Вид. дім «Кондор», Київ 2020. 700 с.

11. Leibenstein H. Allocative Efficiency and X-Efficiency. *The American Economic Review*, 1966, Vol. 56 (3), 392–415.

Отримано 16.02.2026
Прийнято 04.03.2026
Опубліковано 01.06.2026

REFERENCES

1. Bernard J. LaLonde, Martha C. Cooper, Thomas G. Noordewier. Customer Service: A Management Perspective. Oak Brook, III: The Council of Logistics Management, 1988, 640 p.
2. Mentzer John T., Flint Daniel J., Hult Tomas M. Logistics Service Quality as a Segment-Customized Process. *The Journal of Marketing*, 2001, 65 (4), 82-104.
3. Tyurina N.M., Hoy I.V., Babiy I.V. *Logistics. Textbook*. Publisher "Tcentr uchbovoi literatury", Kyiv, 2015, 392 p. [In Ukrainian]
4. Abdulla M., Musa H. Prioritizing the Logistics Management Factors Affecting Company Performance: Case Study of ADNOC. *International journal of sustainable construction engineering and technology*, 2021, Vol. 12 (5), 61–72.
5. Hurzhyi N., Havran V., Sapotnitska N. Digital Technologies and their Impact on the Management of Logistics Processes of Enterprises. *Economy and Society*, Vol. 55, Article 2838. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-55-20>
6. Lissitsa V.V. The impact of digitalization and Industry 4.0 technologies on supply chain optimization. Product quality and safety in domestic and foreign trade and commercial entrepreneurship: modern vectors of development and prospects. *Conf. Quality and Safety of Products in Domestic and Foreign Trade: Modern Vectors of Development and Prospects*, Poltava State Agrarian University, 15 Feb 2022. [In Ukrainian]
7. Khvyschun N.V., Kozubovska V.S. Methodological approaches to assessing the efficiency of logistics systems. *Economic Forum*, 2011, Issue 2, 44–52. [In Ukrainian]
8. Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 1978, Vol. 2 (6), 429–444.
9. Kovalova V.I., Lytovchenko O.Yu., Kuts N.V. Standards, implementation, and prospects of digitalization of document management in Ukraine. *Herald of Lviv University of Trade and Economics. Economic sciences*, 2024, Vol. 80, 139–145. <https://doi.org/10.32782/2522-1205-2024-80-18>
10. *Enterprise economics: textbook*. Ed. Kovalska L.L., Kryvoviazziuk I.V., Publ. house "Kondor", Kyiv, 2020. 700 p. [In Ukrainian]
11. Leibenstein H. Allocative Efficiency and X-Efficiency. *The American Economic Review*, 1966, Vol. 56 (3), 392–415.

Received 16.02.2026
Accepted 04.03.2026
Published 01.06.2026

L.I. BAZAN, PhD (Economics), Senior Researcher,
Institute of Information Technologies and Systems of the NAS of Ukraine,
40, Hlushkova Akad. ave., Kyiv, 03187, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8920-8670>
bazmil@ukr.net

EVALUATION MODEL OF LOGISTICS SERVICE EFFICIENCY IN THE TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEM

Introduction. In the process of the transport and logistics system functioning, significant attention is paid to its efficiency, which is driven by the identification of bottlenecks for the digital transformation of the system. Digitalization opens up new opportunities for real-time supply monitoring, accurate demand forecasting, and automa-

tion of operations in the process of providing customer services, which contributes to increasing the efficiency, transparency, and adaptability of the transport and logistics system. Logistics service represents a set of intangible logistics operations that ensure maximum satisfaction of customer demand in the process of managing all types of flows (material, information, financial) in an optimal way (based on the cost criterion).

Purpose. The development of logistics services within Ukraine's transport and logistics system is growing; however, these services largely do not meet international standards of customer service. This very fact forms the basis for the study of logistics service efficiency, which enables compliance with the requirements of technological and business processes executed by the transport and logistics system. Consequently, logistics service ensures maximum effect with minimal time losses for adaptation and implementation.

Methods. To evaluate the efficiency of the logistics service within the transport and logistics system, the non-parametric Data Envelopment Analysis (DEA) method was applied. Considering that the DEA method allows for the assessment of only relative efficiency and taking into account the intangible nature of logistics services, this method has been modified as follows: the efficiency frontier is constructed based on logistics service standards. This aligns with the concept of economic digitalization and provides an opportunity to evaluate the stability of the transport and logistics system in terms of its efficiency.

Results. Using the DEA method to determine the effective functioning of the logistics service of a railway sorting station's transport and logistics system, both input-oriented technical efficiency (focused on resource consumption) and output-oriented technical efficiency (focused on operational results) were identified.

Conclusions. Conducting a systematic assessment of the logistics system's functioning serves as a form of controlling its activities, as the evaluation results allow managers to identify system bottlenecks, uncover areas of potential reserves, and make immediate management decisions regarding its digitalization.

Keywords: *logistics service, transport and logistics system, non-parametric method, digital transformation, technical efficiency, allocative efficiency.*

AUTHOR GUIDELINES

The journal publishes the results of research in the field of computer science, information technologies and systems and their applications in various fields of activity, system analysis, intelligent control, cyber security, biological and medical cybernetics, digital economy and learning in the digital age, etc.

Target audience – scientists, engineers, graduate students and students of higher educational institutions of the relevant specialty.

Requirements for manuscripts

1. The manuscript is accepted in electronic form, if possible – on paper in one copy (language of the article – English (*in priority*) or Ukrainian, manuscript up to 30 pages). The manuscript should contain:

- information about the Authors in English and Ukrainian: Full name, Academic Degree, Academic Title, Position, Affiliations, Postal address of the organization, Direct links to author's ORCID (if necessary, Researcher ID) and E-mail, Author-correspondent and their telephone number (*for contacting the editor*);

- Short Abstract with keywords in paper language, and Extended Abstract with keywords in either Ukrainian for English-language paper or English for Ukrainian-language paper. The text of the Extended Abstract is not less than 1800 characters with spaces, by headings: *Introduction, The purpose of the paper, Methods, Results, Conclusions, Keywords* (5–8 words);

- **DECLARATIONS:** in this section the authors declare 1) *Author contributions* in accordance with CRediT Roles or another standard; 2) *AI and tools usage* in accordance with the journal policy; 3) *Conflict of interest:* existing and type of conflict or no should be disclosed; 4) *Grant or Financial Support* for the research provide information about if it necessary; 5) *Thanks, etc.*

- **REFERENCES** – a list of sources in English in the order of mention in the text. For Non-English-language sources, citation are translated, the original language is indicated in square brackets, for Ukrainian-language papers information about authors and the title in the original language is given. Examples for design of the References is given below;

- **LITERATURE** – a list of sources in Ukrainian do not use for English-language papers;

- if desired, the authors provide information about the grant or financial support of the research;

- the license agreement is signed automatically when the submission is created in the electronic editorial system.

2. The text of the article should be submitted with the following mandatory headings: *Introduction, Problem Statement / Problem Definition, Objective, Results, and clearly formulated Conclusions.*

Requirements for the text file

File format: *.doc, *.rtf. Applicable styles: Times New Roman font, 12 pt, without a hyphen for a line break, line spacing – 1.0. Paper size: A4, all sides – 2 cm.

Formulas are typed in Formula Editors (preferably Microsoft Equation Editor 3.0. and MathType 6.9b.) Formula Editor options are (10.5; 8.5; 7.5; 14; 10). **The width of formulas is up to 12 cm.**

Figures must be of high quality, they are provided in separate files of appropriate formats (*.png, *.jpg, *.tiff, etc.). **The width of the figures is up to 12 cm.**

Tables are created using a standard text editor built into the Table toolkit. **The width of the table is up to 12 cm.**

КЕРІВНИЦТВО ДЛЯ АВТОРІВ

В журналі друкуємо результати досліджень у сфері інформатики, інформаційних технологій та систем і їх застосувань у різних сферах діяльності, системного аналізу, інтелектуального керування, кібербезпеки, біологічної та медичної кібернетики, цифрової економіки та навчання в цифрову епоху тощо.

Цільова аудиторія — науковці, інженери, аспіранти та студенти вищих навчальних закладів відповідного фаху.

Вимоги до рукописів статей

1. Рукопис приймаємо в електронному виді, за можливості — на папері в одному примірнику (мова статті — англійська (*в пріоритеті*) або українська, рукопис до 30 стор.). Рукопис має містити:

- відомості про авторів англійською та українською мовами: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посаду, місце роботи, поштову адресу організації, пряме посилання авторських ідентифікаторів ORCID (за потреби *Researcher ID*) та *E-mail*, автор-кореспондент із номером телефону (*для зв'язку з редактором*);

- коротку анотацію з ключовими словами мовою статті та розширену анотацію з ключовими словами українською для англійської статті або ж англійською для українськомовної статті. Текст розширеної анотації не менше 1800 знаків з пробілами, за рубриками: *Introduction / Вступ, The purpose of the paper / Мета роботи, Methods / Методи, Results / Результати, Conclusions / Висновки, Keywords / Ключові слова* (5–8 слів);

- **ПОВІДОМЛЕННЯ:** у цьому розділі автори заявляють про 1) Внесок авторів відповідно до *CRediT Roles* або іншого стандарту; 2) Застосування ІІІ та інших інструментів відповідно політики журналу; 3) Конфлікти інтересів — тут розкривають їх наявність і вид або відсутність; 4) Гранти або фінансова підтримка дослідження — за потреби інформувати; 5) Подяки, тощо.

- **ЛІТЕРАТУРА** — перелік джерел для українськомовних статей українською мовою оригіналу в порядку згадування в тексті, для неукраїнськомовних джерел посилання даються англійською, в квадратних дужках вказується мова оригіналу;

- **REFERENCES** — перелік джерел англійською мовою в порядку згадування в тексті. Для неанглійськомовних джерел в квадратних дужках вказується мова оригіналу, для українськомовних після двокрапки наводиться інформація про авторів та назва джерела мовою оригіналу. Приклади оформлення переліку посилань наведено далі;

- за бажанням автори надають інформацію про грант або фінансову підтримку дослідження;

- ліцензійний договір підписується автоматично при створенні подання в системі електронної редакції.

2. Текст статті подають з обов'язковими рубриками: *Вступ, Постановка завдання/Окреслення проблеми, Мета, Результати, чітко сформульовані Висновки.*

Вимоги до текстового файлу

Формат файлу *.doc, *.rtf. Застосовні стилі: шрифт Times New Roman, 12 пт, без переносів, міжрядковий інтервал — 1,0. Формат паперу А4, всі береги — 2 см.

Формули набирають у редакторах формул (бажано Microsoft Equation Editor 3.0 та MathType 6.9b.) Опції редактора формул — (10,5; 8,5; 7,5; 14; 10).

Ширина формул — до 12 см.

Рисунки мають бути якісними, їх надають окремими файлами відповідних форматів (*.png, *.jpg, *.tiff тощо). **Ширина рисунків — до 12 см.**

Таблиці виконують стандартним вбудованим у інструментарієм «Таблиця» текстового редактора. **Ширина таблиці — до 12 см.**

Examples for design of the References

REFERENCES

Please provide for references, where its possible, the DOI in the format <https://doi.org/...> (including instead of the URL).

The Books

1. De Vooght E. *Learning to think critically*. Academia Press, Gent , 2025, 168 p. [In Dutch]
2. Ustymenko V.A. *Adaptation of national legislation to EU law: foundations, criteria, sustainability degree*. Akadempriodyka, Kyiv, 2025, 452 p. [In Ukrainian: Устименко В.А. *Адаптація національного законодавства до права Європейського Союзу: основи, критерії, виміри стійкості*]
3. Divan M. J., Johri P., Guim F., Shchemelinin D., Carranza M. *Advances in Image Processing, Reliability, and Artificial Intelligence*. Elsevier, 2025.
4. *Department of Informatics of NAS of Ukraine. Historical and Biographical Directory*. Akadempriodyka, Kyiv, 2017, 286 p. [In Ukrainian: Відділення інформатики НАН України. Історико-біографічний довідник. Академперіодика]

Papers in Periodicals / Статті в періодичних виданнях

5. Zhuoqun Xia, Longfei Huang, Jingjing Tan, Yongbin Yu, Wei Hao, Kejun Long. A lightweight intrusion detection system for connected autonomous vehicles based on ECANet and image encoding. *Journal of Information Security and Applications*, Elsevier, 2025, Vol. 92 (7), Article 104082. <https://doi.org/10.1016/j.jisa.2025.104082>
6. ZagorodnyA. G., Khimich O. M., Andon F. I., et al. Implementation of European principles of open science in the National Academy of Sciences of Ukraine. *Visnik Nacionalnoi Akademii Nauk Ukrainy*, 2025, Vol. 1, 11–33.

Conferences Materials

7. Neumannova A. Organizational Culture and Digital Resilience: Competing Values Perspective. *17th IADIS International Conference Information Systems*, Porto, Portugal, 2024, 158-162. URL: <https://www.iadisportal.org/digital-library/organizational-culture-and-digital-resilience-competing-values-perspective> [Accessed 20 May. 2025]
8. Husna B. A., Munir R. 3D Traffic Scenes Reconstruction for Autonomous Vehicles Using Gaussian Process Latent Variable Model (GPLVM). *11th International Conference on Advanced Informatics: Concept, Theory and Application (ICAICTA)*, Singapore, Issue 1, 2024, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICAICTA63815.2024.10763077>

Electronic Sources

9. Information for Authors of Springer Computer Science Proceedings: Instructions for proceedings authors (pdf). URL: <https://resource-cms.springernature.com/springer-cms/rest/v1/content/19242230/data/v17> [Accessed Mar. 2025]
10. Cyrillic Gap Analysis. W3C Group Draft Note 02 April 2025. URI: <https://www.w3.org/TR/cyrl-gap/> [Accessed 26 Jun. 2025]

Приклади оформлення

ЛІТЕРАТУРИ за ДСТУ 8302:2015 для українськомовних статей

The Books / Книги

1. Adair J. *Effective management: How to save time and spend it wisely*, Pan Books, London, UK, 1988.
2. Nigmatko R.I. *Dynamics of multiphase mediums*, Naukova dumka, Kyiv, 1987. 201 p.

Книги з двома та більше авторами

1. McCarthy P. and Hatcher C. *Speaking persuasively: Making the most of your presentations*, Allen and Unwin, Sydney, NSW, 1996.
2. Gurskiy D.S., Yesipchuk K.Ye. and Kalinin V.I. *Metallic and Nonmetallic Minerals of Ukraine. Vol.1. Metallic Minerals*, Tsentr Yevropy, Kiev-Lvov, Ukraine, 2005.

Книги з невідомими авторами

1. The University Encyclopedia. Roydon, London, UK, 1985.

СТАТТІ В ЖУРНАЛАХ ТА ПЕРІОДИЧНИХ ВИДАННЯХ

Журнальна стаття

1. Bessant J. The question of public trust and the schooling system, *Australian Journal of Education*, 2001. Vol. 45, pp. 207-226.
2. Khomenko O.Ye. Control of the energy of rocks in underground ore mining, *Mining Journal. Ferrous metals*, Special Issue, 2010. pp. 41-43.
3. Slashev I. The use of information technology to increase the efficiency and safety of mining operations, *Coal of Ukraine*, 2013. Vol. 2, pp. 40-43.

ЕЛЕКТРОННІ РЕСУРСИ

1. Better Business Bureau. Third-party assurance boosts online purchasing, available at: <http://bbbonline.org/about/press/2001/101701.asp> (Accessed 7 January 2002).
2. The official site of Dnepropetrovsk Regional State Administration. News of the region, available at: <http://adm.dp.ua/OBLADM/obldp.nsf/archive/3E8?opendocument> (Accessed 4 January 2011).
3. Young C. *English Heritage position statement on the Valletta Convention*, [Online], available at: <http://www.archaeol.freeuk.com/EHPositionStatement.htm> (Accessed 4 Aug 2011).

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

1. Lodi E., Veseley M. and Vigen J. Link managers for grey literature, *New Frontiers in Grey Literature, Proceedings of the 4th International Conference on Grey Literature, Washington, DC, 4-5 October 1999*, Amsterdam, pp. 116-134.
2. Chervyakova A.N. and Sveshnikov A.V. Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing, *Proc. 6th Int. Technol. Symp. "New energy saving subsoil technologies and the increasing of the oil and gas impact"*, Moscow, 2007, pp. 267-272.

Journal “*Information Technologies and Systems*” that is a merger of two academic journals with a long history – Control Systems and Computers journal ISSN (Print) 2706-8145, ISSN (Online) 2706-8153 (published since 1972) and Cybernetics and Computer Engineering journal ISSN (Print) – 2663-2578, ISSN (Online) – 2663-2586 (published since 1965). The organization responsible for publishing the journal is Institute of Information Technologies and Systems of National Academy of Sciences of Ukraine.

The journal publishes original scientific and review papers about fundamental and applied research results of informatics and information technologies, intelligent control and systems, methods and means of information technology support of knowledge, application of the mentioned technologies in various fields of life. Number of Issues is 6 per year. Currently, the journal does not charge any fees to the authors from submission to publication. The papers are an Open Access under the CC BY-NC-ND 4.0 license.

Журнал «Інформаційні технології та системи» є результатом об'єднання двох академічних журналів з багаторічною історією – журналу «Системи керування та обчислювальна техніка» ISSN (друковане видання) 2706-8145, ISSN (онлайн) 2706-8153 (видавався з 1972 року) та журналу «Кібернетика та обчислювальна техніка» ISSN (друковане видання) – 2663-2578, ISSN (онлайн) – 2663-2586 (видавався з 1965 року). Організацією, відповідальною за видання журналу, є Інститут інформаційних технологій та систем Національної академії наук України.

Журнал публікує оригінальні наукові та оглядові статті про фундаментальні та прикладні результати досліджень інформатики та інформаційних технологій, інтелектуального керування та систем, методів та засобів інформаційно-технологічної підтримки знань, застосування згаданих технологій у різних сферах життя. Кількість випусків – 6 на рік. Наразі журнал не стягує жодних гонорарів з авторів від моменту подання до публікації. Статті знаходяться у відкритому доступі за ліцензією CC BY-NC-ND 4.0.





ISSN 3083-6573 INFORMATION TECHNOLOGIES AND SYSTEMS 2026, N^o 2. 1-84