

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

МІЖНАРОДНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ

*ПЕРЕДОВІ ТЕХНОЛОГІЇ
В ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІЙ
ІНЖЕНЕРІЇ
(ПТІКІ'2026)*

Одеса, Україна, 16 липня 2026 р.

Матеріали конференції

ОДЕСА

2026

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МІЖНАРОДНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ

**«Передові технології
в інформаційно-комунікаційній
інженерії»
(ПТІКІ'2026)**

Одеса, Україна, 16 липня 2026 р.

Матеріали конференції

**Одеса
2026**

УДК 004.9
ББК 32

*Проведення заходу зареєстровано в Державній науковій установі
«Український інститут науково-технічної експертизи та інформації»
(Реєстраційний номер: 3326U000765 від 01-07-2026 р.).*

Рецензенти:

Надія КАЗАКОВА – д.т.н., професор, завідувач кафедри інформаційних технологій Одеського національного університету ім. І.І. Мечнікова
Віктор СТРЕЛЬБИЦЬКИЙ – к.т.н., доцент, доцент кафедри підйомно-транспортні машини та інжиніринг портового технологічного обладнання Одеського національного морського університету

International Conference “Advanced Technology in Information and Communication Engineering” (ATICE’2026): Conference Proceedings.
Odesa: International university, 2026, 145 p.
DOI: <https://doi.org/10.32837/11300.33747>

Міжнародна конференція «Передові технології в інформаційно-комунікаційній інженерії» (ATICE'2026): Матеріали конференції.
Одеса: Міжнародний університет, 2026, 145 с.

У збірнику подано результати наукових досліджень, висвітлено обговорення актуальних проблем, викликів і тенденцій з інформаційних систем, технологій захисту інформації, використання сучасних інформаційних технологій в управлінні системами у різних галузях народного господарства. Матеріали охоплюють інноваційні підходи, досвід упровадження сучасних рішень і приклади успішних практик трансформації різних галузях народного господарства .

Видання призначене для науково-педагогічних працівників, здобувачів освіти, науковців і фахівців ІТ галузі.

Матеріали публікуються в авторській редакції. Відповідальність за зміст поданих матеріалів несуть автори.

Відповідальні за випуск:

к.т.н., доцент Пунченко Наталія,

к.т.н., доцент Розенвассер Денис.

© Автори
© Вид-во Гельветика, 2026

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова

КІВАЛОВ С.В. – д.т.н., проф., Міжнародний університет, м.Одеса, Україна.

Співголови

ГРОМОВЕНКО К.В. – д.ю.н., проф., Міжнародний університет, м. Одеса, Україна.

ЛЕФТЕРОВ В.О. – д.п.н., проф., Міжнародний університет, Одеса, Україна

СТРЕЛКОВСЬКА І.В. – д.т.н., проф., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

УРИВСЬКИЙ Л.О. – д.т.н., проф., НТУ України "КПІ імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна.

Члени організаційного комітету

СОЛОВСЬКА І.М. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

ЙОНА Л.Г. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

ГРИГОР'ЄВА Т.І. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

РУСУ О.П. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

РОЗЕНВАССЕР Д.М. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

ВАКАРЧУК А.О. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

ПУНЧЕНКО Н.О. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

ГРІБОВА В.В. – к.ф.-м.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

РЕДАКЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

СОЛОВСЬКА І.М. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

РОЗЕНВАССЕР Д.М. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

ПУНЧЕНКО Н.О. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

КОМІТЕТ МІЖНАРОДНИХ ЗВ'ЯЗКІВ

СТРЕЛКОВСЬКА І.В. – д.т.н., проф., Міжнародний університет, м.Одеса, Україна.

ГЛОБА Л. С. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР

ПУНЧЕНКО Н.О. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

ТЕХНІЧНО-ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

СТРЕЛКОВСЬКА І.В. – д.т.н., проф., Міжнародний університет, м.Одеса, Україна.

УРИВСЬКИЙ Л.О. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

ГЛОБА Л.С. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1. ІНЖЕНЕРІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ 10

<i>Стрелковська І. В., Золотухін Р. В., Стрелковська Ю. О.</i> Оцінка показників якості обслуговування рівнів узагальненої архітектури АСУ в низькошвидкісних радіомережах зв'язку.....	10
<i>Горбаньова А. І.</i> Вплив англomовних промптів на якість генерації програмного коду засобами штучного інтелекту.....	14
<i>Чебанюк О. Д., Динін Б. І.</i> Полінтелектуальні методи моніторингу та ідентифікації стійких кластерів інституційної ліквідності в потоках даних мікроструктури ринку.....	17

СЕКЦІЯ 2. КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ 212

<i>Стрелковська І. В., Соловська І. М., Стрелковська Ю. О.</i> Класифікація вебтрафіку HTTP/HTTPS-запитів на основі ML-методів.....	22
<i>Пономарчук В. Ю., Сергєєва К. Л., Булана Т. М., Молодець Б. В.</i> Модульна архітектура інформаційної технології для розмежування судин кровоносного та лімфатичного русла за даними медичної візуалізації.....	27
<i>Іващев Д. В., Герасимов В. В.</i> Нелінійно-динамічні та фрактальні властивості шуму в сигналах рівня палива маневрових локомотивів.....	32
<i>Сукач У. А., Паскалов М. Д., Русу О. П.</i> Система моніторингу полів « Wheatmon».....	36
<i>Соловська І. М., Жданова А. О.</i> Створення SPA-вебсайту управління списком завдань із використанням React та патерна MVC.....	39

СЕКЦІЯ 3. КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ 444

<i>Проценко М. М.</i> Порівняльне дослідження стратегій RAG-контексту для підвищення повноти автоматизованого code review	45
<i>Volodymyr Yarovenko</i> Underwater Robotics and the Development of Engineering Solutions for Real-World Problems through the MATE ROV Competition.....	50
<i>Новочинський Є. Г.</i> Оптимізація обчислення штучних нейронних мереж у межах гетерогенних комп'ютерних архітектур	55
<i>Григор'єва Т. І., Салагор В. І.</i> Комплексний підхід до верифікації критичних комп'ютерних систем на основі машинного навчання, нечіткої логіки та теорії ігор....	60
<i>Бобуйок М. В., Павленко М. К., Кузнєцова В. Є.</i> Система автоматизованого перевезення вантажів «HEX Robot».....	64
<i>Немшилов Ю. О.</i> Майстер – клас за темою «Техно інтелект».....	66

СЕКЦІЯ 4. КІБЕРБЕЗПЕКА ТА ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ 690

<i>Григор'єва Т. І., Мельник В. В.</i> Математичне моделювання безпечної маршрутизації даних на основі нечіткого алгоритму Дейкстри.....	70
<i>Розенвассер Д. М., Шве́ду М. І.</i> OSINT у кібербезпеці.....	74
<i>Петков Є. І.</i> Дослідження сучасного стану та перспектив розвитку протоколу SSH....	78
<i>Пахолюк О. І.</i> Системний метод оцінювання стійкості автентифікаційних механізмів у інформаційних системах	82

СЕКЦІЯ 5. ЕЛЕКТРОННІ КОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА..... 86

<i>Стрелковська І. В., Соловська І. М., Брославський Р. Ю.</i> Аналіз параметрів якості обслуговування у мережах 5G/NR	86
<i>Уривський Л. О.</i> Використання методів машинного навчання як інструменту семантичної комунікації в каналах зв'язку.....	92
<i>Пунченко Н. О.</i> Квантові інерціональні навігаційні системи для відновлення морської логістики України: GNSS-independent рішення	96

Цімура Ю. В., Колодійчук Л. В. Аналіз перспектив застосування загоризонтних станцій широкосмугового доступу в умовах ведення бойових дій.....99

СЕКЦІЯ 6. ІНФОРМАТИКА ТА ПРОГРАМУВАННЯ В ОСВІТІ 103

Єрмакова С. С. Цифрова дидактика у професійній діяльності викладача закладу вищого освіти: проєктування освітнього процесу, крос-культурна мотивація та дистанційна підготовка фахівців в епоху штучного інтелекту.....103

Биков А. В. Модернізація освіти через призму цифрових технологій.....107

Кічка М. П. SMART-технології у професійній підготовці економістів: інноваційні виміри та дидактичний потенціал.....111

Шаповалов О. Ю. Дигіталізація освіти через призму крос-культурного підходу: від мотивації до компетентності.....115

СЕКЦІЯ 7. ПСИХОЛОГІЯ ЦИФРОВОГО ПРОСТОРУ. КІБЕРПСИХОЛОГІЯ..... 119

Гайдуков І. В. Цифрові сліди деструктивної поведінки: психологічні предиктори та інтелектуальна детекція корпоративного шахрайства.....119

Іванова О. С. Онтологічний статус штучного інтелекту в координатах цифрового буття.....122

Воронкова В. Г., Нікітенко В. О., Шило Г. М. Синергія штучного інтелекту, цифрового гуманізму та гуманітарної безпеки як нова концепція майбутнього розвитку цифрової цивілізації.....125

СЕКЦІЯ 8. ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ БІЗНЕСУ.....132

Горбаньова В. О. Цифрова трансформація бізнесу на основі блокчейн-технологій: конвергенція менеджменту, маркетингу та економічної ефективності132

Жигулін О. А., Проценко М. М. Інформаційна система SymbolAI з ШІ-асистентом керівника бізнесу.....134

Грібова В. В. Статистична оптимізація системи показників інноваційного розвитку підприємств138

- <https://arxiv.org/abs/2510.04905> (дата звернення: 29.06.2026).
10. Zhang Y., Zhao X., Wang Z.Z., Yang C., Wei J., Wu T. cAST: Enhancing Code Retrieval-Augmented Generation with Structural Chunking via Abstract Syntax Tree. Findings of EMNLP, 2025. URL: <https://arxiv.org/abs/2506.15655> (дата звернення: 29.06.2026).
 11. Zhang Y., Ruan H., Fan Z., Roychoudhury A. AutoCodeRover: Autonomous Program Improvement. arXiv Computer Science, 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2404.05427> (дата звернення: 29.06.2026).
 12. Song S. Knowledge-Aware Iterative Retrieval for Multi-Agent Systems. arXiv Computer Science, 2025. URL: <https://arxiv.org/abs/2503.13275> (дата звернення: 29.06.2026).
 13. İçöz B., Biricik G. Context-Aware Code Review Automation: A Retrieval-Augmented Approach. Applied Sciences, 2026, 16(4), 1875. URL: <https://doi.org/10.3390/app16041875> (дата звернення: 02.07.2026).

УДК 629.58:007.52

DOI: <https://doi.org/10.32837/11300.33757>

UNDERWATER ROBOTICS AND THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING SOLUTIONS FOR REAL-WORLD PROBLEMS THROUGH THE MATE ROV COMPETITION

Volodymyr Yarovenko
Undergraduate Student, Engineering One
Memorial University of Newfoundland
yarovenkovova2008@gmail.com

Анотація: Underwater robotics is focused on the development of robotic systems for ocean exploration and investigation. The MATE ROV Competition is encouraging students from around the world to learn about underwater robotics by challenging them to design, build, and operate the ROVs and vertical-profiling floats.

Underwater robotics is a field of engineering that focuses on the development and deployment of robotic systems in underwater environments where direct human access may be difficult or impossible. The application of underwater robotics includes the exploration and recording of environmental information, investigation of ocean floor, documenting shipwrecks, and more. The two main types of robotic systems used for these applications are AUV (Autonomous Underwater Vehicle) and ROV (Remotely Operated Vehicle) [1], [2].

MATE (Marine Advanced Technology Education) ROV Competition is an international underwater robotics competition that encourages students to creatively apply their scientific, engineering, technical, and collaborative skills in the development of ROVs for solving real-world problems. The competition challenges students from schools, colleges and universities with missions that are based on scenarios from the workplace [3], [4]. The philosophy of MATE ROV Competition is centered on student learning and the development of knowledge and skills through participation in competition [5].

MATE ROV Competition in 2026 included four following mission scenarios: “Seabed 2030: A Kaleidoscope of Corals in Cold Water”, “SmartAtlantic Alliance: Better Information, Better Decisions”, “Wind-Powered Offshore Oil Platform: Scalable Solutions for Global Energy Needs”, and “MATE Floats Under the Ice” [5].

The first task required teams to collect species samples from the coral garden, create a three-dimensional model of coral garden autonomously through photogrammetry or manually using paper or CAD software, and either maintain position (World Championship) or fly (Regional Competition) a transect to record video footage of the coral garden [5].

The second task focused on invasive species identification, iceberg risk assessment for four oil platforms, recovering whale-safe fishing equipment from water, and servicing subsea observatory components [5].

The third task involved simulating a placement of a bubble curtain around a designated location, installing a micropile, retrieving the power connector from the wind farm subsea station, and installing the connector into the designated oil platform port [5].

The last task required teams to build an autonomous vertical-profiling float designed to collect data such as time, depth, pressure, and any additional data at 2.5 and 0.4 meters for 30 seconds each, two consecutive times. After retrieving the float to the surface, it transmits the data obtained during its two vertical profiles back to the station on shore in the form of data packets, where it is then plotted onto a graph [5].

To meet mission-specific requirements for MATE ROV Competition, the ROV was developed with integrated movement, observation, and control systems, along with manipulator, optimised buoyancy and stabilized power distribution system.

The movement system consists of thrusters driven by electronic system controllers (ESCs) operating with a pulse-width modulation (PWM) signal range of 1100µs-1900µs which allows precise regulation of thruster output [6]. A linear interpolation function (Fig. 1) is implemented to enable gradual deceleration and acceleration of the thrusters. Together, this movement system provided precise and smooth direction and displacement controls of the ROV.

$$y = y_1 + (x - x_1) \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}$$

Figure 1 - Linear interpolation formula

The observation system of the ROV provides real-time video footage of its surroundings, enabling safe underwater navigation and reliable monitoring of the environment during operations. This system typically consists of one or more cameras, such as Raspberry Pi Camera Module or USB webcams, connected to the ROV's central computing unit. The video is captured and then processed to be transmitted to the surface control station as a live video stream. Streaming technologies such as MediaMTX can be used to distribute the video feed using protocols such as Web Real-Time Communication (WebRTC) that provides low-latency video stream due to the use of Real-time Transport Protocol (RTP) [7], [8].

The control system of the ROV consists of a laptop, joystick, and router connected via Ethernet cables to the ROV and laptop. A custom-built graphical user interface (GUI) was developed and used on the laptop to provide an operator with live video streams of the ROV's cameras and with system feedback such as the percentage of thruster output. The joystick was used to control the rotational and translational movement of the ROV and rotation of the manipulator in real time. A router served as a communication bridge between laptop and the ROV by establishing a local access network (LAN) to ensure stable and reliable data transmission between the control system and the ROV.

A manipulator is a rotatable robotic claw that serves a role of interacting with obstacles and the environment underwater by physically grasping objects. It is commonly used to clear obstacles, transporting objects from one location to another, or retrieving items to the surface.

To achieve an optimised buoyancy for the ROV, the Archimedes' Principle (Fig. 2) was used to determine the buoyant force acting on the vehicle based on the density of water in which the ROV is being operated, the volume of water displaced by the ROV when submerged, and gravitational acceleration [9]. It was determined that the optimal buoyant condition of the vehicle is a slightly positive buoyancy, which ensures passive surface recovery of the ROV.

$$B = \rho Vg$$

Figure 2 - The Archimedes' Principle

The power distribution system of the ROV ensures that all of the electronic components of the vehicle are supplied with appropriate operating voltages and currents. To achieve this, the ROV is powered by a 12V power supply, which is stepped down using a buck converter to generate a 5V rail for

low-voltage electronics such as Raspberry Pi 4 Model B, serving as the vehicle's central computing unit [10]. At the same time, 12V rail is distributed for high-voltage electronics such as the thrusters.

As mentioned earlier, the fourth task required teams to build a vertical-profiling float for monitoring data at specific depths. A vertical-profiling float is a non-ROV robotic system that incorporates monitoring, movement, and communication systems that are controlled by a central computing unit installed on the float. The main application of the float is to autonomously collect data at specific depths and transmit it to the control station on shore [5].

The monitoring system consists of a digital pressure sensor that is connected to the float's central computing unit. As the float changes its depth during ascent or descent, the sensor detects changes in the pressure. The central computing unit of the float then converts the pressure reading into real-time depth estimation using Blue Robotics MS5837 digital pressure sensor library [11], which implements hydrostatic pressure formula (Fig. 3) to calculate depth from pressure assuming constant water density [12]. Additionally, the digital pressure sensor can be capable of reading the temperature of the water.

$$P = \rho gh$$

Figure 3 - Hydrostatic pressure formula

The movement system of the float can be developed using two approaches: thruster-based propulsion, and buoyancy-based control. Thruster-based propulsion uses a thruster with an ESC that allows precise control of the thruster output by changing its PWM value [6]. To make the float hold the position at specific depth, a Proportional-Integral-Derivative (PID) (Fig. 4) control can be used to calculate the error between the target depth and current depth calculated based on the reading of a digital pressure sensor and adjust the thruster output accordingly [13]. Buoyancy-based control uses a syringe system driven by a motor or linear actuator to extend or retract the plunger, thus changing the volume of water inside of the syringe. To control the position of the float with a buoyancy-based control, feedback from a digital pressure sensor can be used to calculate the error between the target depth and the current depth. If the float is above the target depth, the volume of the water in the syringe increases, reducing the buoyancy of the float, causing it to descend. If the float is below the target depth, the volume of the water in the syringe decreases, increasing the buoyancy of the float, causing it to ascend. By continuously adjusting the syringe volume, the float can stabilize at the target depth.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Figure 4 - Proportional-Integral-Derivative formula

The communication system of the float is based on wireless connection to a LAN, allowing a real-time data transmission between the float and the control station on shore. Sensor data, including depth, pressure, and other readings, is sent as data packets once the float is brought to the surface. The control station receives these data packets and visualizes them by plotting a graph.

Conclusions. Underwater robotics plays a significant role in an exploration and investigation of the ocean using specialized robotic systems designed for such conditions [1], [2]. The MATE ROV Competition encourages students from around the world to learn about underwater robotics by solving real-world engineering challenges based on workplace scenarios [3], [4]. Through designing, building, and operating the ROVs and vertical-profiling floats, the participants are gaining knowledge about underwater robotics which can be then applied in future careers in ocean workforce [5]. .

References

1. What is an ROV? - NOAA Ocean Exploration. NOAA Ocean Exploration. 2020. Available at: <https://oceanexplorer.noaa.gov/ocean-fact/rov/>.
2. What is an AUV? - NOAA Ocean Exploration. NOAA Ocean Exploration. 2020. Available at: <https://oceanexplorer.noaa.gov/ocean-fact/auv/>.
3. This is MATE ROV. MATE ROV Competition. 2026. Available at: <https://materovcompetition.org/>.
4. This is MATE. MATE ROV Competition. 2026. Available at: <https://materovcompetition.org/history>.
5. 2026 RANGER Class Competition Manual. MATE ROV Competition. 2026. Available at: https://20693798.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/20693798/2026/Manuals/2026%20RANGER%20Manual_updated_12_17_Cover.pdf.
6. Basic ESC. Blue Robotics. 2026. Available at: <https://bluerobotics.com/store/thrusters/speed-controllers/besc30-r3/>.
7. Introduction. MediaMTX. 2026. Available at: <https://mediamtx.org/docs/kickoff/introduction>.
8. Introduction to the Real-time Transport Protocol (RTP). MDN. 2024. Available at: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebRTC_API/Intro_to_RTP.
9. Archimedes' Principle. Britannica. 2026. Available at: <https://www.britannica.com/science/Archimedes-principle>.
10. Raspberry Pi 4 Tech Specs. Raspberry Pi. 2026. Available at: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/>.
11. bluerobotics/ms5837-python. Blue Robotics. 2026. Available at: <https://github.com/bluerobotics/ms5837-python>.

12. Pressure-to-Depth and Depth-to-Pressure Calculator. Blue Robotics. 2026. Available at: <https://bluerobotics.com/learn/pressure-depth-calculator/>.
13. Introduction to PID. FIRST Robotics Competition & WPI Lib. 2025. Available at: <https://docs.wpilib.org/en/stable/docs/software/advanced-controls/introduction/introduction-to-pid.html#>.

УДК 004.85:004.2

DOI

ОПТИМІЗАЦІЯ ОБЧИСЛЕННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ У МЕЖАХ ГЕТЕРОГЕННИХ КОМП'ЮТЕРНИХ АРХІТЕКТУР

Новочинський Євген Григорович
аспірант кафедри комп'ютерної інженерії та інноваційних технологій
Міжнародний університет
novochynskiyevgen@gmail.com

Анотація: Досліджено методи підвищення продуктивності штучних нейронних мереж у межах сучасних гетерогенних комп'ютерних архітектур. Визначено, що ключовою проблемою розгортання масштабних моделей є дефіцит потужностей однорідних систем. Авторами проаналізовано підходи до оптимізації алгоритмів навчання та зниження обчислювальної складності через використання цілочисельної арифметики, що дозволяє зменшити навантаження на пам'ять пристроїв без втрати точності. Особливу увагу приділено подоланню затримок міжпроцесорного обміну шляхом графової оптимізації та конвеєризації даних із залученням інструментів відкритого коду. Сформовано практичні рекомендації щодо раціонального розподілу обчислювальних потоків між різнотипними процесорними ядрами для забезпечення максимальної енергоефективності обчислень.

Стрімкий розвиток технологій штучного інтелекту та глибокого навчання (*Deep Learning*) зумовив значне ускладнення архітектур штучних нейронних мереж (ШНМ). Сучасні моделі, такі як великі мовні моделі (*LLM*) або мультимодальні трансформери, містять мільярди параметрів, що вимагає колосальних обчислювальних ресурсів для їхнього навчання та розгортання (*inference*). Традиційні однорідні обчислювальні системи на базі центральних процесорів (*CPU*) уже не здатні забезпечити необхідну продуктивність та енергоефективність.

Ефективним розв'язанням цієї проблеми є використання гетерогенних комп'ютерних архітектур, які об'єднують різні типи обчислювальних пристроїв: *CPU*, графічні процесори (*GPU*), тензорні процесори (*TPU*), програмовані логічні матриці (*FPGA*) та спеціалізовані нейропроцесори (*NPU*). Проте гетерогенність цих систем створює серйозні виклики для розробників, пов'язані з розподілом завдань, синхронізацією