

УДК 378.147
DOI

Н. О. Кравець

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6728-851>

Н. Я. Климук

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0081-2514>

Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського МОЗ України

ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ПІД ЧАС ДОСЛІДЖЕННЯ МЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

N. O. Kravets, N. Ya. Klymuk

Ivan Horbachevsky Ternopil National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine

ALGORITHM ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATION IN MEDICAL IMAGE ANALYSIS

Анотація. Використання алгоритмів штучного інтелекту в різних галузях життєдіяльності – найбільш дискусійне питання. Упровадження викладання новітніх предметів у галузі інформаційних технологій Тернопільського національного медичного університету ім. І. Я. Горбачевського на базі кафедри медичної інформатики належить до основних напрямів забезпечення професійних компетентностей медичних спеціальностей. Закономірним та логічним є впровадження дисципліни «Штучний інтелект у медицині», оскільки штучний інтелект – це галузь інформатики, що займається розробленням і впровадженням інтелектуальних засобів щодо аналізу та синтезу отриманих результатів досліджень.

У статті продемонстровано формування професійних компетентностей майбутніх фахівців під час виконання практичного заняття «Побудова нейронної мережі для автоматичного сегментування пухлинних ділянок мозку за допомогою магнітно-резонансної томографії» та отримання навиків щодо аналізу вихідної інформації, використання стандартних методів підготовки та обробки набору даних для побудови моделей, візуалізації та оцінки отриманих моделей.

Показано створення багатокласової моделі сегментації на основі методу MPT у відкритому середовищі Google Colab. Здійснено 3D-візуалізацію моделі сегментації та проведено оцінку чутливості та специфічності отриманої моделі.

У результаті, порівнявши висновки експертів та результати аналізу дослідження пухлин головного мозку на основі побудови нейронної мережі, отримано висновок, що засоби штучного інтелекту можуть бути використані для аналізу стану головного мозку.

Зроблено висновок про доцільність навчання студентів розумінню внутрішнього боку роботи алгоритмів штучного інтелекту. Перспектива подальших досліджень полягає у постійному впровадженню в навчальний процес об'єктивних та надійних нових різновидів штучного інтелекту.

Ключові слова: алгоритм; штучний інтелект; багатокласова модель; нейронна мережа.

Abstract. The use of artificial intelligence algorithms in various areas of life is the most debatable issue. The main directions of ensuring professional competencies of medical specialties is teaching the latest subjects in the field of information technologies on basis Medical Informatics Department of the Ternopil National Medical University. The introduction of the discipline «Artificial Intelligence in Medicine» is natural and logical, since artificial intelligence is a branch of informatics that deals with the development and implementation of intellectual tools for the analysis and synthesis of research results.

The article is demonstrated the formation of professional competencies of future specialists when performing a practical lesson «Building a neural network for automatic segmentation of tumor areas of the brain using magnetic resonance imaging» and acquiring skills in analyzing the source information, using standard methods of preparing and processing a data set for building models, visualization and evaluation of the obtained models.

The creation of a multi-class segmentation model based on the MRI method in the open Google Colab environment is shown. 3-D visualization of the segmentation model was performed and the sensitivity and specificity of the resulting model were assessed.

As a result, comparing the conclusions of experts and the results of the analysis of brain tumor research based on the construction of a neural network, it was concluded that artificial intelligence tools can be used to analyze the state of the brain.

The conclusion was made about the feasibility of teaching students to understand the inner workings of artificial intelligence algorithms. The prospects for further research lie in the constant introduction of objective and reliable new varieties of artificial intelligence into the educational process.

Key words: algorithm; artificial intelligence; multi-class model; neural network.

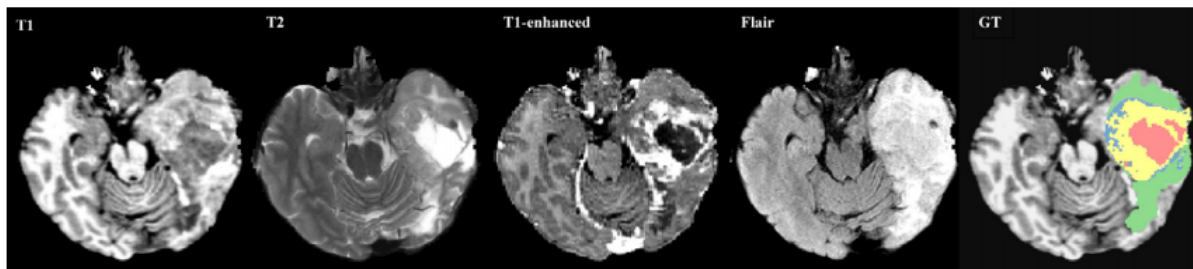


Рис. 1. Багатоскладова модель сегментації на основі методу МРТ

Вступ. Упровадження викладання новітніх предметів у галузі інформаційних технологій Тернопільського національного медичного університету на базі кафедри медичної інформатики належить до основних напрямів забезпечення професійних компетентностей медичних спеціальностей (Vakulenko et al., 2019, p. 58–62). Використання алгоритмів штучного інтелекту (ШІ) у різних галузях життєдіяльності – найбільш дискусійне питання (Fratavchan et al., 2023, p. 7–10; p.; Shevchenko, 2023, p. 70–75; Smith et al., 2022, p. 105–117). Закономірним та логічним є впровадження дисципліни «Штучний інтелект у медицині», оскільки штучний інтелект (далі – ШІ) – це галузь інформатики, що займається розробленням і впровадженням інтелектуальних засобів щодо аналізу та синтезу отриманих результатів досліджень (Brown et al. 2023, p. 104–118; Palchuk, 2025, p. 306–316; Drach et al. 2023, p. 66–82).

Тому викладачами кафедри розроблено навчальну програму, силабус та методику викладання дисципліни «Штучний інтелект у медицині» спочатку як курсу за вибором для здобувачів першого курсу медичного факультету, а тепер буде викладатися для здобувачів вищої освіти всіх освітніх напрямів, оскільки показав високий рейтинг зацікавленості дисципліною як для бакалаврів, так і для магістрів.

Метою статті є формування та розвиток у майбутніх лікарів компетентності взаємодії з доступними сервісами на основі алгоритмів ШІ з напрямками машинного навчання, такими як класифікаційні задачі, регресійні та лінгвістичні моделі, нейронні мережі та експертні системи підтримки прийняття рішень.

Теоретична частина. Здобувачам вищої освіти, зокрема, пропонуються такі теми: ШІ за превентивного та терапевтичного моніторингу пацієнта, діяльності сімейного лікаря, персоналізованої діагностичної та терапевтичної траєкто-

рії пацієнта, у планово-організаційній діяльності медичних закладів та управлінні охорони здоров'я, а також у практиці лікаря вторинної ланки.

В основу запропонованих тем покладено використання алгоритмів ШІ під час розв'язування прикладних задач у різних напрямках медичних досліджень за неточних або некоректних вхідних даних, що в кінцевому підсумку призводить до встановлення невірних діагнозів і, відповідно, протоколів лікування.

Саме у цьому контексті наочною практичною роботою, яка демонструє використання алгоритмів ШІ, є дослідження стану пухлини головного мозку та побудова нейронної мережі для автоматичного сегментування пухлинних ділянок мозку.

Вхідними даними виступають світлинки, отримані МРТ-скануванням – одним із найпоширеніших методів зображення, з якими стикаються в галузі радіології (Panchuk et al., 2013, p. 72–77). Інші модальності даних можуть включати комп'ютерну томографію (КТ), УЗД та рентгівенські промені.

Для здійснення прогнозування виконана побудова нейронної мережі дасть змогу об'єднати окремі зображення в єдиний 3D-об'єм та створити багатокласову модель сегментації (рис. 1), де на кожному зображенні визначено три різні аномалії: набряки, пухлини, що не збільшуються, пухлини, що збільшуються.

Здобувачами протягом заняття повинні бути отримані такі теоретичні знання:

- аналіз зображень на МРТ-знімку;
- стандартні методи підготовки даних для дослідження;
- візуалізація та оцінка моделей сегментації;
- оцінка чутливості та специфічності отриманої моделі.

Аналіз даних МРТ здійснюється запуском «Середовище виконання» програмного блоку:

Більшість комерційних МРТ-сканерів створює зображення у форматі DICOM із можли-



Brain Tumor Auto-Segmentation for Magnito-Resonance Therapy

ipyb

Файл Змінити Переглянути Вставити Середовище виконання Інструменти Довідка

вістю обробки з використанням бібліотеки Python `pydicom`. У нашому завданні використовуються дані Decathlon 10 Challenge: набір даних зберігається у форматі NifTI-1 із використанням бібліотеки NiBabel для коректної взаємодії файлів.

Кожен навчальний зразок складається з двох окремих файлів.

Перший файл – це файл зображення (рис. 1), що містить 4D-масив МРТ-зображень у формі (240, 240, 155, 4). Перші три виміри – це значення X , Y , Z для кожної точки тривимірного об'єму, який зазвичай називають вокселем. Четвертий вимір – це значення для чотирьох різних послідовностей:

0: FLAIR: «Відновлення інверсії з ослабленням рідини» (FLAIR);

1: T1w: «T1-зважений»;

2: t1gd: «T1-зважений із гадолінієвим контрастним посиленням» (T1-Gd);

3: T2w: «T2-зважений».

Другий файл – це файл мітки, що містить тривимірний масив у формі (240, 240, 155), де цілі значення у цьому масиві вказують на «мітку» для кожного вокселя у відповідних файлах зображень:

0: фон;

1: набряк;

2: пухлина без збільшення;

3: збільшення пухлини.

Є доступ до 484 навчальних зображень, які розділяються на навчальний (80%) і перевірочний (20%) набори даних. Студент має доступ до 10 різних справ через блокнот, і рекомендується досліджувати дані далі самостійно для підсумкової візуалізації сканованого зображення окремим кольором для різних ділянок. Для цього використовується попередньо визначена функція з використанням бібліотеки `matplotlib`, де кольори відповідають кожному класу: червоний – набряк, зелений – пухлина, що не збільшується, блакитний – збільшення пухлини (рис. 1).

Обробка даних. Перед подачею даних для створення моделі нейронної мережі необхідно здійснити виправлення повних МРТ-зображень. Причина генерування виправлення полягає у тому, що мережа, яка може обробити весь том одночасно, просто не поміститься в пам'ять/графічний процесор поточного середовища. Створюються «патчі» (підтоми) даних, які розглядаються як часткові обсяги повних МРТ-зображень з їх узгодженням у просторі для передачі в мережу. Зокрема, будуть генеруватися довільно відібрані субоб'єми форми [160, 160, 16] із зображень. Окрім того, урахування, що значна частина обсягів МРТ – це просто тканина мозку або чорний фон без будь-яких пухлин, потрібно переконатися, що будуть вибрані ділянки, які містять принаймні певну кількість даних про пухлину.

Тому вибираються лише ті ділянки, які мають не більше 95% непухлинних областей (тобто принаймні 5% пухлини).

Далі, урахування, що значення на МРТ-зображеннях охоплюють дуже широкий діапазон, значення стандартизуються: функція, яка задана «патчем» (субобсягом заданої форми), стандартизує значення в кожному каналі та кожній площині Z для отримання середнього значення «нуль», стандартне відхилення «одиниця» (`mean 0, stdev 1`).

Функція повертає випадково згенерований підтом розміром [160, 160, 16] відповідною міткою у форматі 1-hot, яка має форму [3, 160, 160, 160].

Перевіряємо, чи повернуто зображення, що аналізується, є непухлинною ділянкою більше 95% від загального обсягу. Якщо умова не виконується, то розглядаємо (задаємо) частину мітки (зменшуємо розмірність масиву мітки), яка стосується збільшення пухлини.

Після проведення виправлень повторно візуалізуємо «патч», вигляд якого не змінюється, оскільки функція візуалізації `imshow` автоматично нормалізує пікселі під час відображення чорно-білим (рис. 2).

Побудова 3D U-мережі та оцінка специфічності отриманої моделі. Архітектура використовує переваги об'ємної форми МРТ-зображень і є однією з найкращих моделей для даного типу завдання (рис. 3). Із використанням описаних алгоритмів вхідні фрагменти зображення («патчі») моделюються у вихідний цикл сегментації об'єкта (Panchuk et al., 2013, p. 72–77).

Окрім створення архітектури, найважливішим етапом будь-якого методу навчання є задання функції втрат.

У більшості випадків – це функція втрат крос-ентропії. Однак ця функція втрат не є доцільною для завдань сегментації через значну невідповідність (дисбаланс ділянок).

У нашому завданні сегментації пухлинних ділянок мозку більш прийнятним є застосування коефіцієнта подібності Дайса (DSC) (коефіцієнт «кубиків»), який є мірою того, наскільки добре два контури (сегментовані ділянки) перекриваються. Загалом для двох наборів A та B обчислюємо відношення подвоєного перетину ділянок (вокселів) до суми їхніх розмірів ($DSC(A,B)=2 \times |A \cap B| / (|A| + |B|)$) (рис. 4), де A – фоновий воксель (0), а B – частина сегментованої області (1).

Побудована модель відобразить кожен воксель на 0 або 1.

Зрозуміло, що описане порівняння сегментів необхідно виконати для трьох класів аномалій (набряк; пухлина з підсиленням; пухлина без збільшення), що дає нам три різні коефіцієнти «кубиків» (по одному для кожного класу відхи-

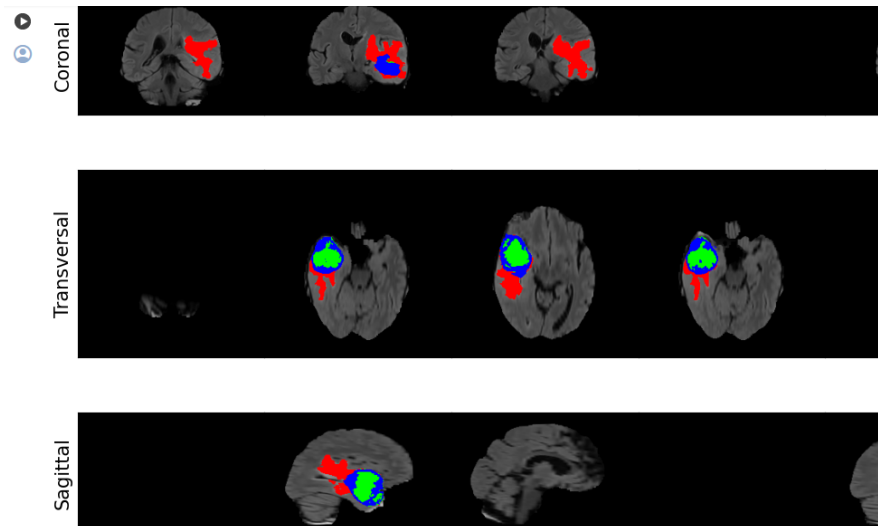


Рис. 2. Модель сегментації після обробки зображення з використанням «патчів»

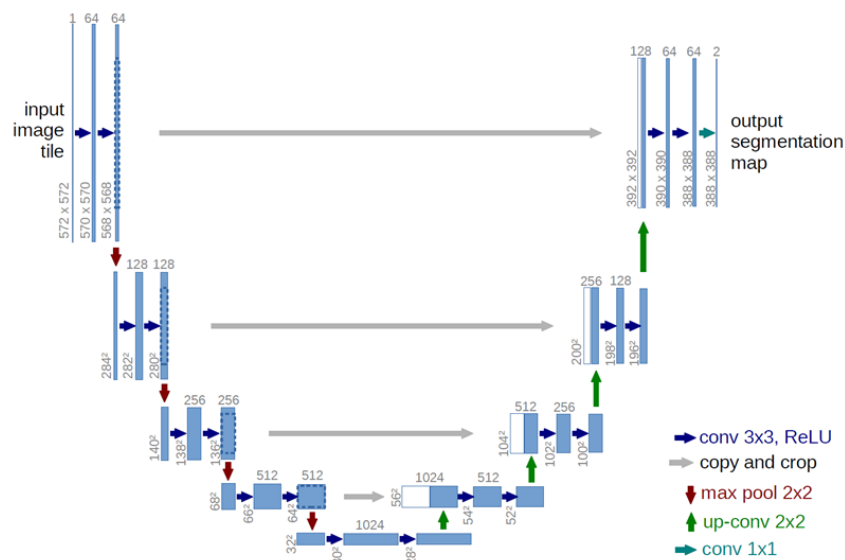


Рис. 3. 3D U-мережа

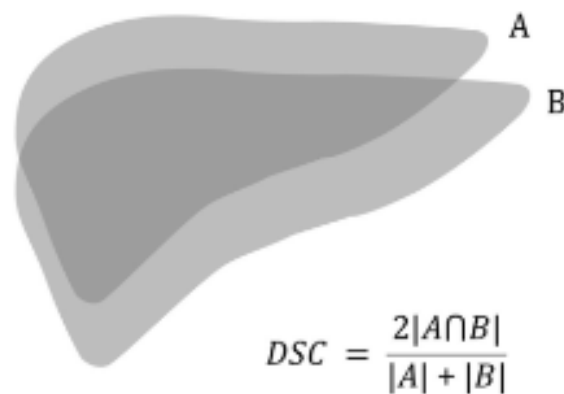


Рис. 4. Використання коефіцієнта подібності Дайса для оцінки якості сегментації ділянок зображень

лень). Для їх об'єднання беремо середнє значення (використання функції $K.min$) трьох класів, тобто в нашому випадку загальний коефіцієнт «кубиків» задається: DC1, DC2 і DC3 – це коефіцієнти «кубиків» набряку, посилення пухлини та невідповідності пухлини відповідно.

Коефіцієнт подібності Дайса є інтуїтивно зрозумілий, але він приймає дискретні значення («нуль» або «одиниця»). Отримана модель дає змогу, наприклад, зробити висновок щодо ймовірності того, що кожен піксель є пухлиною чи ні.

Для оцінки похибки результатів застосовується алгоритм Soft Dice Loss (м'яка втрата «кубиків»), співвідношення між прогнозованим результатом (p) та базовим розподілом істинності (q). Результат реалізації алгоритму:

0: ідеально відповідає базовому розподілу істинності q ; 1: повна невідповідність основній за коефіцієнтом подібності Дайса.

Після виконання реалізації алгоритму м'якої втрати «кубиків» створюється модель за використання функції `unet_model_3d` (рис. 3).

Для кількісної оцінки продуктивності ми можемо використовувати піксельну чутливість і специфічність із погляду істинно позитивних, істинно негативних, хибно позитивних і хибно негативних результатів:

References

1. Vakulenko, D. V., Dobrovolska, N. M., Kravets, N. O., Klymuk, N. Ya. (2019). Vykorystannya suchasnykh informatsiino-komunikatsiinykh tekhnolohii u haluzi medychnoi osvity Ukrainy. *Medychna osvita*, 3 (83), 58–61. DOI: 10.11603/me.2414-5998.2019.3.10649
2. Fratavchan, V. H., Fratavchan, T. M., Lukashiv, T. O., Litvinchuk, Yu. A. (2023). Metody ta systemy shtuchnoho intelektu: navchalnyi posibnyk. Chernivtsi, ChNU.
3. Shevchenko, I. (2023). Doslidzhennia shtuchnoho intelektu v Ukraini: zdobutky ta perspektyvy. *Monohrafiia*. Kyiv. https://doi.org/10.15407/development_strategy_2023
4. Smith, J., Johnson, R. (2022). Adaptive Learning Technologies and Individual Learning Paths. *Journal of Educational Technology*. 2(19), 105–117.

Приклад очікуваного результату для нашого взірця за МРТ

	Пухлина	Пухлина, що не збільшується	Пухлина, що росте
<i>Sensitivity</i>	0.9085	0.9505	0.7891
<i>Specificity</i>	0.9848	0.9961	0.996

Висновки та перспективи подальших досліджень. Таким чином, порівнявши висновки експертів та результати аналізу пухлин головного мозку нейронною мережею, доходимо висновку, що засоби штучного інтелекту можуть бути використані для подальшого використання для аналізу стану головного мозку.

Викладачами кафедри медичної інформатики започатковано викладання курсу «Штучний інтелект у галузі» із метою навчити студентів не лише сліпо користуватися різноманітними чат-ботами з метою полегшення виконання завдань, отримання довідкової інформації, різноманітних порад, а й розуміння внутрішнього боку роботи алгоритмів штучного інтелекту. Очевидно, що стрімка поява нових можливостей і різновидів ШІ у різних аспектах нашого життя ставить перед викладачами нові завдання для впровадження в навчальний процес цих новітніх здобутків.

5. Brown, P., Lauder, H., Ashton, D. Artificial Intelligence and Inequality in Education, *formuvannya osvithnoi systemy*. *Publichne upravlinnia ta administruvannya* 3(285), 306–316. DOI: 10.32752/1993-6788-2025-1-285-306-316

7. Drach, I., Petrov, O., Borodiyenko, O., Reheilo, I., Bazeliuk, O., Bazeliuk, N., & Slobodianiuk, O. (2023). The Use of Artificial Intelligence in Higher Education. *International Scientific Journal of Universities and Leadership*, (15), 66–82. <https://doi.org/10.31874/2520-6702-2023-15-66-82>

8. Panchuk, V. A., Lebedev, D. Yu. (2013). Zastosuvannya neuronnykh merezh dlia teksturnoi segmentatsii MRT– znmkiv. *Problemy informatyzatsii ta upravlinnia*, 2(42), 72–77. <https://doi.org/10.18372/2073-4751.2.6474>

Електронна адреса для листування:

Стаття надійшла 13.10.2025
Статтю прийнято 06.11.2025
Стаття опублікована