

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ
КАФЕДРА ІНФОРМАТИКИ І КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК

Пояснювальна записка

до дипломної бакалаврської роботи

на тему:

**Застосування методів глибинного навчання для сегментації пухлин
головного мозку на магнітно-резонансних томографічних зображеннях**

Виконав: студент 4 курсу, групи 4КН
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

Трач А.А.

Керівник: Литвиненко В.І.

Рецензент: Огнєва О. Є

Хмельницький - 2025 р.

Факультет	Інформаційних технологій та дизайну
Кафедра	Інформатики і комп'ютерних наук
Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський) рівень
Галузь підготовки	12 «Інформаційні технології»
Освітньо - професійна програма	Комп'ютерні науки
Спеціальність	122 «Комп'ютерні науки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІКН,

д.т.н., професор

_____ В.І. Литвиненко

«_____» _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Трача Артема Андрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: : « **Застосування методів глибинного навчання для сегментації пухлин головного мозку на магнітно-резонансних томографічних зображеннях**»

2. Керівник роботи Литвиненко Володимир Іванович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Інформатики і комп'ютерних наук»

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ХНТУ від «28» січня 2025 р. № № 162-с

3. Вихідні дані до роботи: Для реалізації та навчання моделі сегментації було використано відкритий медичний набір даних **Medical Segmentation Decathlon** (Task 01: Brain Tumour), який містить анонімізовані об'ємні МРТ-зображення головного мозку разом з відповідними масками розмітки пухлинних областей. Набір включає чотири типи контрастних послідовностей (T1, T1c, T2, FLAIR) та забезпечує стандартизовану структуру даних у форматі NIfTI (.nii.gz).

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: Вступ, 1. Теорія та підходи до сегментації медичних зображень, 2. Методи та матеріали дослідження, 3. Реалізація алгоритму сегментації, 4. Аналіз результатів та практичні аспекти Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Рисунків – 43.

Таблиць – 9.

Формул – 4.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1.	Литвиненко В.І., д.т.н., професор, завідувач кафедри «Інформатики і комп'ютерних наук»	20 січня 2025 року	12 травня 2025 року
2.	Литвиненко В.І., д.т.н., професор, завідувач кафедри «Інформатики і комп'ютерних наук»	16 лютого 2025 року	20 травня 2025 року
3.	Литвиненко В.І., д.т.н., професор, завідувач кафедри «Інформатики і комп'ютерних наук»	18 березня 2025 року	22 травня 2025 року
4.	Литвиненко В.І., д.т.н., професор, завідувач кафедри «Інформатики і комп'ютерних наук»	21 квітня 2025 року	1 червня 2025 року

Дата видачі завдання 05.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір теми та формування завдання дипломної роботи.	05.02.2025 – 13.02.2025	Виконано
2	Збір і аналіз інформації з генеративних методів сегментації зображень.	14.02.2025 – 25.02.2025	Виконано
3	Огляд та оцінка існуючих підходів.	25.02.2025 – 04.03.2025	Виконано
4	Підготовка дата-сету.	05.03.2025 – 13.03.2025	Виконано
5	Програмна реалізація та налаштування моделі.	14.03.2025 – 23.04.2025	Виконано
7	Проведення навчання моделей.	24.04.2025 – 02.05.2025	Виконано
8	Тестування моделей.	03.05.2025 – 09.05.2025	Виконано
9	Оформлення звіту та підготовка до захисту.	10.05.2025 – 05.06.2025	Виконано

Студент

(підпис)

Трач А.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Литвиненко В.І.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

АННОТАЦІЯ	7
ABSTRACT.....	8
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
Актуальність проблеми	10
Мета дослідження	11
Об'єкт дослідження	12
Практичне значення.....	14
Апробація	15
РОЗДІЛ 1. ТЕОРІЯ ТА ПІДХОДИ ДО СЕГМЕНТАЦІЇ МЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ	16
1.1. Сегментація зображень	16
1.2. Традиційні методи сегментації зображень.....	22
1.3. Сегментація в умовах штучного інтелекту	31
1.4. Глибинне навчання для сегментації медичних зображень.....	44
1.5. Основні архітектури нейронних мереж для сегментації	51
Висновок до розділу 1	58
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ	61
2.1. Вибір та підготовка набору даних	61
2.2. Вибір бібліотек та інструментів.....	64
2.3. Підготовка даних	71
2.4. Навчання нейронної мережі.....	75
Висновок до розділу 2	80
РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ СЕГМЕНТАЦІЇ.....	82
3.1. Реалізація 3D-архітектури U-Net із використанням MONAI	82
3.2. Технічна реалізація проєкту.....	88

3.3. Процес навчання та валідація	97
Висновки до розділу 3	103

РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ..... 104

4.1 Динаміка навчання та збіжність моделі	104
4.2 Аналіз якості сегментації	107
4.3. Шляхи покращення моделі	114
Висновок до розділу 4	115

ВИСНОВКИ. РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

РОЗВИТКУ 116

Основні результати дослідження	116
Перспективи подальшого розвитку	119

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 122

ДОДАТКИ 126

ДОДАТОК А	126
ДОДАТОК Б.....	158

АННОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 158 с., 43 рисунків, 9 таблиці, 24 джерел.

Дипломна робота присвячена автоматичній сегментації пухлин головного мозку на МРТ-зображеннях із використанням методів глибокого навчання.

Об'єктом дослідження є процес комп'ютерної обробки МРТ-знімків головного мозку.

Предметом дослідження є методи сегментації пухлин за допомогою згорткових нейронних мереж на основі U-Net і бібліотеки MONAI.

Мета роботи створення ефективної моделі для виявлення пухлин у 3D МРТ-даних.

Виконано: (1) аналіз підходів до обробки медичних зображень; (2) побудова 3D U-Net на PyTorch і MONAI; (3) організація процесу навчання та валідації; (4) оцінка точності та візуалізація результатів.

Перший розділ обґрунтовує тему та описує специфіку МРТ.

Другий розділ подає огляд сучасних рішень на базі U-Net.

Третій розділ розкриває етапи реалізації: підготовку даних, структуру моделі, застосування бібліотек.

Четвертий розділ містить результати сегментації, приклади масок, графіки та пояснення точності.

У висновках відзначено, що розроблена система забезпечує точну автоматизовану сегментацію та підвищує об'єктивність у медичному аналізі.

Ключові слова: сегментація, U-Net, MONAI, МРТ, пухлини мозку, глибоке навчання, Dice.

ABSTRACT

Explanatory Note to the Qualification Thesis: 158 pages, 43 figures, 9 tables, 24 references.

The thesis is dedicated to the automatic segmentation of brain tumors on MRI images using deep learning methods.

The object of the thesis is the process of computer-based processing of brain MRI scans.

The subject is the methods of tumor segmentation using convolutional neural networks based on U-Net and the MONAI library.

The goal of the work is to develop an effective model for detecting tumors in 3D MRI data.

The work includes: (1) analysis of medical image processing approaches; (2) construction of a 3D U-Net model using PyTorch and MONAI; (3) organization of the training and validation process; (4) accuracy assessment and visualization of the results.

The first chapter substantiates the topic and describes MRI specifics.

The second chapter provides an overview of current U-Net-based solutions.

The third chapter covers the implementation stages: data preprocessing, model architecture, and library usage.

The fourth chapter presents segmentation results, sample masks, plots, and accuracy evaluation.

The conclusion highlights that the developed system ensures accurate automated segmentation and improves the objectivity of medical analysis.

Keywords: segmentation, U-Net, MONAI, MRI, brain tumors, deep learning, Dice.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

Скорочення, термін, позначення	Пояснення
MRI	Магнітно-резонансна томографія – метод візуалізації внутрішніх структур
U-Net	Архітектура згорткової нейронної мережі для сегментації зображень
nnU-Net	Автоматизована версія U-Net з самоналаштуванням
CRF	Умовне випадкове поле – метод постобробки результатів сегментації
CNN	Згорткова нейронна мережа
MSD	Відомий набір медичних даних для сегментації
ROI	Область інтересу – виділена ділянка зображення
GPU	Графічний процесор
MRF	Марковське випадкове поле
DICOM	Стандарт зберігання та передавання медичних зображень
NIfTI	Формат файлів для медичних об'ємних зображень
npz	Формат збереження масивів у Python
.pth	Файл збереження параметрів нейромережі
Dice	Метрика подібності для масок сегментації

ВСТУП

Актуальність проблеми

Однією з найскладніших форм онкологічних захворювань залишаються пухлини головного мозку. Для ефективного лікування критично важливо виявити їх на ранній стадії. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, щороку у світі діагностується приблизно 300 тисяч нових випадків первинних злоякісних новоутворень центральної нервової системи - це близько 2% усіх онкологічних захворювань. В Україні ця цифра сягає приблизно 5000 випадків щорічно. Через складність своєчасної діагностики рівень смертності залишається на високому рівні.

Магнітно-резонансна томографія (МРТ) є основним методом візуалізації головного мозку завдяки своїй високій деталізації. Саме на МРТ покладається завдання виявлення пухлин, оцінки їх розмірів, форми, локалізації, а також взаємозв'язків з навколишніми тканинами - що критично для визначення стратегії лікування. Проте аналіз знімків МРТ потребує високої кваліфікації фахівців та значних витрат часу, тому дедалі більше уваги привертають автоматизовані системи підтримки діагностики.

Класичні алгоритми комп'ютерної обробки зображень часто виявляються малоефективними у випадках сегментації мозкових пухлин через їхню високу неоднорідність, змінну інтенсивність сигналів на МРТ, наявність артефактів і загальні технічні складнощі. У цьому контексті особливо перспективними стають методи глибинного навчання, зокрема згорткові нейронні мережі (CNN), які показують здатність адаптуватися до складних медичних задач.

Серед сучасних архітектур найбільш відзначилася U-Net - модель, спеціально розроблена для сегментації медичних зображень. Завдяки своїй U-подібній структурі, яка поєднує глобальний контекст і локальні деталі, вона демонструє високу ефективність в автоматичному виділенні пухлин на МРТ головного мозку.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю:

- Підвищення точності та швидкості діагностики пухлин головного мозку
- Зменшення впливу людського фактору при інтерпретації медичних зображень
- Розробки рішень, що можуть бути інтегровані в клінічну практику для підтримки прийняття медичних рішень

Мета дослідження

Мета цієї роботи розробити повноцінну автоматизовану систему, яка здатна точно та стабільно виявляти пухлини на тривимірних МРТ-знімках головного мозку за допомогою сучасних методів глибинного навчання. В основі цієї системи лежить архітектура 3D U-Net, реалізована з використанням бібліотек PyTorch і MONAI, а також цілий набір технік попередньої обробки та нормалізації медичних зображень.

Щоб досягти поставленої мети, побудовано надійний процес підготовки даних, який включає нормалізацію інтенсивності сигналу, зміну роздільної здатності, обрізання області інтересу та інші ключові перетворення. Особливо важливо було адаптувати нейронну мережу до особливостей тривимірних томографічних даних: це стосується як архітектури моделі, так і вибору гіперпараметрів. У процесі навчання передбачено автоматичне збереження найкращих ваг, регулярний моніторинг показників Dice та Loss, що дозволяє постійно контролювати якість сегментації.

У центрі уваги - вибір адекватної функції втрат. Dice Loss, зокрема, виявилася ефективною для виділення пухлинної тканини навіть у складних випадках: знімки з шумами, артефактами або нечіткими межами.

Для перевірки точності моделі організовано валідаційний етап: передбачені маски порівнюються з еталонними, побудованими фахівцями, а результати оцінюються за допомогою Dice-коефіцієнта та візуального аналізу.

У результаті реалізовано інструмент, здатний автоматично обробляти МРТ-знімки та сегментувати пухлини. Це дозволяє зменшити вплив людського фактору,

покращити якість клінічних висновків і зробити діагностику точнішою та швидшою.

Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є процес автоматизованої обробки та сегментації магнітно-резонансних томографічних (МРТ) зображень головного мозку з метою виявлення пухлинних утворень. Такі об'ємні медичні зображення містять багатовимірну структурну інформацію про тканини мозку й використовуються у нейрорадіології для діагностики новоутворень.

У фокусі знаходиться цифрова обробка тривимірних МРТ-знімків із застосуванням методів глибинного навчання, що включає етапи нормалізації, аугментації, перетворення простору ознак, побудову сегментаційних масок та їх автоматичне накладання на вхідні зображення. Особливу увагу приділено обробці випадків з неоднорідною інтенсивністю сигналу, наявністю артефактів, асиметрією та зміщенням положення пухлини.

Об'єкт охоплює повний конвеєр медичної обробки даних - від отримання та структуризації зображень до їх подальшого аналізу за допомогою згорткових нейронних мереж. Також враховано етапи валідації якості сегментації, інтеграцію програмного рішення в інтерфейс та потенційне клінічне застосування. У результаті об'єкт дослідження поєднує галузі медичної інформатики, комп'ютерного зору, глибинного навчання та біоінженерії.

Предмет дослідження

Предметом дослідження є алгоритмічні, математичні та програмні методи реалізації глибинного навчання для автоматичної сегментації пухлин головного мозку на тривимірних магнітно-резонансних томографічних зображеннях. У центрі уваги знаходяться згорткові нейронні мережі архітектури U-Net, реалізовані за допомогою бібліотеки MONAI, яка оптимізована для медичних задач і підтримує формати медичних зображень та відповідні трансформації.

До предмета входять технічні аспекти побудови нейронної мережі: вибір функції втрат (Dice Loss), гіперпараметрів (кількість епох, розмір пакета,

коефіцієнт навчання), методів оптимізації (наприклад, Adam), а також способів нормалізації та аугментації медичних об'ємних даних. Значну увагу приділено оцінці якості сегментації, зокрема за метриками Dice Coefficient, Intersection over Union (IoU), Precision та Recall.

Предмет охоплює весь цикл обробки МРТ-зображень: від формування тренувального набору, попередньої обробки об'ємів, до виведення та візуалізації результатів. Також включено процес збереження моделі, її повторного використання, тестування на нових даних і аналізу стабільності роботи моделі за різних умов зображення, таких як варіативність контрасту, присутність артефактів або розмитість меж.

У межах предмета було проаналізовано ефективність глибинних моделей у порівнянні з класичними методами сегментації в медичній візуалізації, а також проведено програмну реалізацію повного пайплайну обробки, включаючи інтеграцію інтерфейсу прогнозування.

Наукова новизна

Наукова новизна полягає в практичній реалізації повного циклу автоматизованої сегментації пухлин головного мозку на основі тривимірних магнітно-резонансних зображень із застосуванням глибинного навчання. У роботі побудовано інтегровану систему, що охоплює всі ключові етапи: попередню обробку медичних томографічних даних, формування навчального набору, навчання згорткової нейронної мережі типу U-Net у 3D-реалізації, а також валідацію та візуалізацію результатів сегментації.

Особливістю реалізації є використання фреймворку MONAI, спеціалізованого для медичних зображень, та бібліотеки PyTorch, що дозволяє адаптувати сучасні архітектури під специфіку багатоканальних МРТ-знімків. Уперше в рамках навчального проєкту реалізовано автоматичне збереження метрик та ваг моделі після кожної епохи, що дозволяє детально відстежувати динаміку точності на тренувальній та валідаційній вибірках.

Для моделі створено повноцінний модуль прогнозування (інтерфейс передбачення), що дає змогу застосовувати натреновану модель до нових об'ємних

MPT-даних, автоматично зберігаючи результати сегментації у форматі NIfTI. Візуалізація накладання масок на MPT-знімки виконується із використанням 3D Slicer, що забезпечує професійний рівень перегляду та оцінки результатів.

У межах роботи було впроваджено обчислення ключових метрик якості (Dice, Loss), збереження їх в історії (.pny-файли), та побудову графіків динаміки тренування. Також забезпечено сумісність із GPU-прискоренням через адаптацію до CUDA-платформи, що дозволяє використовувати модель у різних обчислювальних середовищах.

Уперше для дипломного рівня реалізовано модульну систему сегментації, де передбачено запуск у різних режимах (навчання, тестування, передбачення), що робить рішення гнучким і масштабованим. У результаті розроблено інтелектуальну систему, що демонструє високий рівень точності та стабільності сегментації у задачах медичної візуалізації.

Практичне значення

Практичне значення дипломної роботи полягає у створенні автоматизованої системи для сегментації пухлин головного мозку на магнітно-резонансних зображеннях, що може бути застосована у сфері медичної діагностики та комп'ютерної підтримки прийняття рішень. Запропонований підхід на основі глибинного навчання із використанням 3D U-Net та бібліотеки MONAI дозволяє точно виявляти пухлинні області в складних об'ємних MPT-даних, що має особливу цінність для нейрорадіології та онкології.

Запроваджена система демонструє високий рівень точності, відтворюваності та стабільності навіть у випадках низького контрасту або неоднорідної інтенсивності зображень. Практичне застосування можливе в клінічних умовах для попереднього скринінгу, контролю лікування або планування хірургічного втручання.

Розроблене програмне забезпечення включає функціонал попередньої обробки, навчання нейронної мережі, тестування та інтерфейс передбачення результатів сегментації на нових зображеннях. Наявність GPU-підтримки та

збереження історії навчання дає змогу інтегрувати систему в існуючі клінічні пайплайни або використовувати її для наукових цілей.

Гнучка архітектура коду, реалізована на Python із використанням PyTorch і MONAI, забезпечує просту адаптацію до інших типів медичних зображень або моделей сегментації. Застосування такої системи дозволяє зменшити навантаження на фахівців, мінімізувати суб'єктивні помилки при розмітці пухлин та прискорити процес обробки великої кількості МРТ-досліджень.

У результаті, запропоноване рішення має потенціал до впровадження у практику закладів охорони здоров'я, науково-дослідних інститутів, а також у рамках цифровізації медичної галузі загалом.

Апробація

Литвиненко В.І., Смолярз А., Трач А.А., Лур'є І., Смаїлова С., Вороненко М. «Порівняльний аналіз архітектур GAN для сегментації пухлин головного мозку на МРТ-зображеннях». Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «**Фотоніка-ОДС-2025**» (23–24 квітня 2025 р., Вінницький національний технічний університет, Україна). Готується до друку.