

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

**Сова Іван Михайлович**

УДК 004.89

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ  
СЕГМЕНТАЦІЇ НОВОУТВОРЕНЬ НА ЗНІМКАХ МРТ ГОЛОВНОГО МОЗКУ**

122 – Комп'ютерні науки

Автореферат  
магістерської наукової роботи на здобуття освітньої кваліфікації  
«Магістр комп'ютерних наук»

Миколаїв – 2020

Магістерська наукова робота є рукопис.

Робота виконана в Чорноморському національному університеті імені Петра Могили Міністерства освіти і науки України на кафедрі інтелектуальних інформаційних систем

Науковий керівник: к.т.н., доцент, доцент кафедри  
інтелектуальних інформаційних систем  
Сідекно Євген Вікторович

Рецензент: к.т.н., доцент, доцент кафедри  
інженерії програмного забезпечення  
Горбань Гліб Валентинович

Захист відбудеться «25» лютого 2020 р. о 9<sup>30</sup> год. на засіданні екзаменаційної комісії (ауд. 2-403) у Чорноморському національному університеті імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68-ми Десантників, 10.

З магістерською науковою роботою можна ознайомитися в бібліотеці Чорноморського національного університету імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68-ми Десантників, 10.

Автореферат представлений «\_\_\_» лютого 2020 р.

Секретар  
екзаменаційної комісії,  
к.пед.н., доцент

Н. М. Болубаш

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

*Актуальність* дослідження визначається складністю ручного виділення новоутворень на знімках МРТ для подальшого виявлення ознак і прийняття рішень.

*Метою* магістерської наукової роботи є підвищення точності сегментації новоутворень головного мозку на знімках МРТ для автоматизації роботи радіолога.

*Об'єктом* дослідження є сфера комп'ютерного зору в задачах сегментації.

*Предметом* дослідження є алгоритми та методи машинного навчання для сегментації новоутворень на знімках МРТ головного мозку.

*Практичне значення* даної магістерської наукової роботи полягає у можливості застосування отриманої моделі в задачах сегментації пухлин або ж використовувати дані як базис для подальших досліджень.

Дослідження даної магістерської наукової роботи було надруковано у тезах XXII Всеукраїнської науково-методичної конференції «Могилянські читання – 2019» у секції Комп'ютерні науки.

Магістерська наукова робота складається із вступу, 5 розділів, висновків, додатків. Загальний обсяг роботи складає 98 сторінок, 29 рисунків, 3 таблиць та 19 посилань на літературні джерела.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі магістерської наукової роботи обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено предмет та об'єкт дослідження.

У першому розділі дано загальний опис, галузі комп'ютерного зору, сегментації, застосування комп'ютерного зору в біомедицині і важливості попереднього діагностування новоутворень; були вивчені види машинного навчання та проаналізовані наявні дослідження по темі. Також були сформовані кроки, які потрібні для проведення дослідження, а саме: вивчення і вибір доступних бібліотек для роботи в сфері машинного навчання, тестування різних алгоритмів машинного навчання та глибинного навчання, оптимізація сегментації пухлин при покращенні роботи існуючих архітектур.

Комп'ютерний зір — технологія розробки машин, які здатні проводити виявлення, стеження та класифікацію різноманітних об'єктів. Комп'ютерний зір належить до технології та теорії створення штучних систем, які отримують візуальну інформацію, тобто зображення.

Також прикладом інформації, яка може бути отримана з таких відеоданих, є виявлення пухлин. Для виявлення новоутворень на томографічних знімках зображення сегментується.

Сегментація у сфері комп'ютерного зору — процес розподілення зображення на декілька сегментів (множин пікселів).

Мета сегментації – спрощення і/або зміна представлення зображення для полегшення його аналізу.

Результат сегментування зображення є множина пікселів, які разом формують сегменти та покривають все зображення.

Галузь штучного інтелекту розвивається ще з 1960-х років, і налічує безліч різноманітних алгоритмів та підходів для вирішення задач комп'ютерного зору. Досить часто розробники спирались на елементарні уявлення мозкових процесів людини (наприклад, процес передачі нейроімпульсів став основою перцептрона),

поєднуючи їх із підходами статистики. Нижче зазначені деякі такі підходи до вирішення задачі сегментації.

Порогування (від англ. Thresholding) є найпростішим методом сегментації зображень. Він полягає у заміні кожного пікселя зображення чорним пікселем, якщо інтенсивність зображення є меншою, ніж деяка константа  $T$  (threshold – порогове значення), або білим пікселем, якщо інтенсивність зображення є більшою, ніж  $T$ . Таким чином вхідне чорно-біле зображення (у відтінках сірого) перетворюється на бінарне, тобто таке, у якого пікселі можуть приймати лише 2 значення (в даному випадку, чорний та білий). Цей метод є дуже простим та може застосовуватись як у системах з учителем, так і без нього. Тим не менш, простота даного алгоритму впливає на точність локалізації сегментів: такий метод доцільно використовувати у задачах, де необов'язково надзвичайно висока точність розділення областей.

Кластеризація (англ. Clustering) — задача розподілення певної вибірки даних на підмножини, або кластери. При цьому кожен кластер має складатися з схожих об'єктів, а об'єкти з різних кластерів мають істотно відрізнятися. Завдання кластеризації відноситься до задач статистичної обробки, і до класу задач навчання «без учителя».

Кластеризація методом  $k$ -середніх (англ.  $k$ -means clustering) — популярний метод кластеризації, — впорядкування множини об'єктів в порівняно однорідні групи, кількість яких вказується значенням  $k$ .

Мета методу — розділити  $n$  спостережень на  $k$  кластерів, так щоб кожне спостереження належало до кластера з найближчим до нього середнім значенням.

Метод базується на мінімізації суми квадратів відстаней між кожним спостереженням та центром його кластера, тобто функції:

$$f(x) = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S_i} (x - \mu_i)^2$$

де  $k$  — число кластерів,  $S_i$  — отримані кластери,  $i=1,2,\dots,k$ , а  $\mu_i$  — центри мас усіх векторів. Головні переваги методу  $k$ -середніх — його простота та швидкість виконання. Метод  $k$ -середніх є доволі простим і прозорим, тому успішно

використовується у різноманітних сферах — маркетингових сегментаціях, астрономії, сільському господарстві тощо. Незважаючи на очевидні переваги методу, він має суттєві недоліки: результат класифікації сильно залежить від випадкових початкових позицій центрів кожного кластера. До того ж, алгоритм чутливий до викидів — результатів, які значно виділяються із загальної вибірки вхідних даних; викиди спричиняють викривлення середнього значення.

Глибинне навчання (від англ. Deep Learning) — це сфера штучного інтелекту машинного навчання, що базується на переліку методів, які намагаються створювати абстракції високого рівня у візуальних даних.

Алгоритми глибинного навчання базуються на певних принципах. У даному випадку що спостережувані дані породжені взаємодією певних чинників, які сформувались на глибинному рівні у мереж. Глибинне навчання припускає, що ці рівні чинників відповідають різним рівням абстракції.

Глибинне навчання використовує цю ідею факторів: з понять нижчого рівня відбувається формування та навчання більш абстрактних форм вищого рівня. Ці архітектури часто будуються за допомогою жадібних поетапних алгоритмів.

Згорткові нейронні мережі, або ЗНМ — клас глибинних штучних нейронних мереж, який успішно застосовувався до аналізу візуальних зображень. ЗНМ використовують різновид багат шарових перцептронів, розроблений так, щоби вимагати використання мінімального обсягу попередньої обробки.

ЗНМ використовують порівняно мало попередньої обробки, в порівнянні з іншими алгоритмами класифікування зображень. Для пояснення роботи даного типу моделей слід детально пояснити основні будівельні блоки ЗНМ.

У **другому розділі** проаналізована обрана задача та вибран набір даних с проекту «Атлас ракового геному». Цей набір даних було оброблено та проаналізовано. У цьому розділі були розглянуті та обрані алгоритми та методи машинного та глибинного навчання, а також обрані та вивчені технології для розробки рішень обраної задачі.

Отже, для задачі був обран датасет гліом низького порядку, який розповсюджується проектом «Атлас ракового геному». Зображення зберігаються у

форматі TIF та мають розмір 256x256 пікселів. Для кожного із 110 пацієнтів відведена окрема папка з повним набором сканів головного мозку на всіх його рівнях.

Задача сегментації розглядається на наборі, що містить дані про 110 пацієнтів з програми «The Cancer Genome Atlas».

Атлас ракового геному (англ. The Cancer Genome Atlas, TCGA) — проект Національного інституту раку та Інституту Досліджень Генома Людини що знаходяться в США. Метою проекту є систематизація даних про генетичні мутації, що сприяють розвитку онкологічних захворювань. Цей проект розпочався в 2005 році та був розрахован лише на 3 роки. Станом на 2017 рік проєкт завершився, але досліджені дані залишені у відкритому доступі. АРГ включає в себе вибірки від більш ніж 11 000 пацієнтів для 33 типів рака. На сьогоднішній день це найбільша колекція даних про новоутворення, спричиненні онкологічними захворюваннями.

Для завдання був обраний систематизований набір знімків МРТ головного мозку лише одного типу раку – гліом. Гліома – дуже розповсюджений тип пухлин головного мозку: вони діагностуються у 60% випадків. За злоякісністю гліоми поділяються за класифікацією Всесвітньої організації охорони здоров'я (англ. World Health Organization, або WHO). У даному випадку розглядаються гліоми низького порядку (з англ. Low-grade glioma, або LGG) – такі пухлини зазвичай мають ознаки доброякісності, але часом можуть підніматись у порядку, тому вони класифікуються як злоякісні.

До кожного зображення зрізу головного мозку надається вихідна сегментаційна маска. Ці маски були затверджені сертифікованим радіологом з університету Дьюка (м. Дарем, Пн. Кароліна, США). Білим кольором визначені пікселі, що становлять область пухлини, яку вибрав радіолог.

Згадаємо, що для кожного зрізу надається маска пухлини. Це означає, що, окрім вхідних даних для тренування, ми маємо очікуємий вихідний результат. Такий тип навчання називається навчанням «з учителем». Відповідно до цього, слід обирати алгоритми, які спеціалізуються на навчанні з учителем.

Протягом теоретичних досліджень дуже явно викоремлюються алгоритми глибинного навчання. Для вирішення задачі сегментації пухлин будуть застосовані різні варіації ЗНМ для досягнення найвищої точності: ResNet, SegNet та U-Net.

Для підвищення точності також використовуються способи попередньої обробки даних. Наприклад, усі зображення в масиві трансформуються під уніфікований розмір для моделі. Оскільки масив даних дуже добре задокументовано, то використовувати такі методи для зміни та виправлення зображень не потрібно. Тим не менш, зазначені у розділі 1 методи попередньої обробки вхідних даних будуть використовуватися під час практичної частини даної роботи.

У **третьому розділі** обрані алгоритми машинного навчання були використані та розроблені для вирішення задачі сегментації новоутворень на знімках МРТ головного мозку. Насамперед були імплементовані архітектури обраних моделей та методи попередньої обробки даних, а потім були натреновані моделі.

Протягом роботи був розроблений такий функціонал: створені архітектури мереж U-Net, ResNet, SegNet, створен механізм завантаження даних, попередня обробка зображень та візуалізація результатів у виді графіків та консольного виводу.

Надалі для підвищення точності моделей застосовані методи попередньої обробки даних. Для спрощення роботи та покращення результатів застосуємо статистичну техніку «**стельового аналізу**» (англ. ceiling analysis). Під час роботи модель буде послідовно тренуватись без методів обробки, а потім перетреноуватися на цих методах, які будуть додаватися послідовно. Такий процес повторюється для кожної архітектури. Такий підхід дозволяє перевірити прогрес тренування моделі та вплив кожної частини системи на точність: враховуючи зміни точності у різних частинах дозволит виділити пріоритетні області для подальшої роботи. Результати такого стельового аналізу наведені в таблиці 1.



Таблиця 1. Стельовий аналіз методів машинного навчання для сегментації зрізів МРТ головного мозку на новоутвореннях

	Без обробки	Обрізання	Зміна розміру	Ротація	Порогування
ResNet	0.7948	0.8011	0.8114	0.7915	0.8674
SegNet	0.7057	0.7544	0.7915	0.8114	0.8456
U-Net	0.8177	0.8223	0.9112	0.9115	0.9498

Як видно з таблиці, зеленим позначено найліпший результат – використання моделі U-Net з додатковою обробкою даних для збільшення масиву та уніфікації даних. Результат в 94% є значним поліпшенням та задовільняє потребам задачі, тому її можна вважати вирішеною.

Тим не менш, зазначимо переваги підходу такого представлення даних. На таблиці жовтим позначено ключове місце для архітектури U-Net: при використанні техніки ресайзингу (зміни розміру) точність зросла на 10%. Це показує, що технологія зміни розміру зображень значно вплинула на точність моделі загалом.

**У методичній частині** розроблена лабораторна робота на тему «Послідовні контейнери бібліотеки STL».

**У спеціальній частині** магістерської наукової роботи з «Охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях» проведено аналіз умов праці на робочих місцях в офісному приміщенні ТОВ «ГлобалЛоджик Україна» та покращені умови на робочих місцях, що пов'язані з дотриманням санітарно-гігієнічних вимог при експлуатації ПК в офісі, а також наведено інструктаж для поведінки у ситуації землетрусу.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даній магістерській науковій роботі досліджена багатокритерійна задача прийняття рішень на прикладі оцінювання та вибору стартап-проекту. У першому **розділі** дано загальний опис, галузі комп'ютерного зору, сегментації, застосування комп'ютерного зору в біомедицині і важливості попереднього діагностування новоутворень; були вивчені види машинного навчання та проаналізовані наявні

дослідження по темі. Також були сформовані кроки, які потрібні для проведення дослідження, а саме: вивчення і вибір доступних бібліотек для роботи в сфері машинного навчання, тестування різних алгоритмів машинного навчання та глибинного навчання, оптимізація сегментації пухлин при покращенні роботи існуючих архітектур. У другому розділі проаналізована обрана задача та вибран набір даних с проекту «Атлас ракового геному». Цей набір даних було оброблено та проаналізовано. Були розглянуті та обрані алгоритми та методи машинного та глибинного навчання, а також обрані та вивчені технології для розробки рішень обраної задачі. У третьому розділі обрані алгоритми машинного навчання були використані та розроблені для вирішення задачі сегментації новоутворень на знімках МРТ головного мозку. Насамперед були імплементовані архітектури обраних моделей та методи попередньої обробки даних, а потім були натреновані моделі. Після цього в розділі зазначені результати оптимізації задачі у виді порівняльної таблиці. Врешті решт, під час проведення порівняння біла обрана створена варіація архітектури U-Net с додатковими методами обробки. Її точність досягла 94%, що є значним результатом у порівнянні з ручною обробкою зображення.

У методичній частині розроблена лаборатна робота з дисципліни «Алгоритмізація і програмування» на тему «Послідовні контейнери бібліотеки STL».

У спеціальній частині магістерської роботи з «Охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях» здійснено аналіз умов праці у офісі компанії в офісному приміщенні ТОВ «ГлобалЛоджик Україна». Виконано перевірочний розрахунок природного освітлення та розраховано загальне рівномірне освітлення люмінесцентними лампами в розглянутому приміщенні. Розроблено інструктаж для дій працівників та керівництва компанії на випадок виникнення типових надзвичайних ситуацій, а саме при землетрусі.

## АНОТАЦІЯ

**Сова Іван Михайлович. Дослідження методів машинного навчання для сегментації новоутворень на знімках МРТ головного мозку.** – На правах рукопису.

Магістерська наукова робота на здобуття освітньої кваліфікації «Магістр комп'ютерних наук». – Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв, 2020.

Дана магістерська наукова робота присвячена дослідженню методів машинного навчання для сегментації новоутворень на знімках МРТ головного мозку.

Метою роботи є підвищення точності сегментації новоутворень головного мозку на знімках МРТ для автоматизації роботи радіолога.

Об'єктом дослідження є сфера комп'ютерного зору в задачах сегментації.

Предметом дослідження є алгоритми та методи машинного навчання для сегментації новоутворень на знімках МРТ головного мозку.

Фахова частина магістерської наукової роботи складається з наступних розділів: вивчення теоретичної бази; аналіз обраної задачі та методологій; імплементація обраних алгоритмів.

Задачі, які були виконані в процесі роботи:

- Огляд останніх публікацій та досліджень;
- Аналіз вхідних даних (статистика та візуалізація);
- Обрання технологій для розробки;
- Розробка імплементацій обраних алгоритмів та методів сегментації;
- Порівняльний аналіз результатів та вибір моделі і набору методів обробки для досягнення найвищої точності.

В спеціальній частині магістерської наукової роботи з «Охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях» проведено аналіз умов праці на робочих місцях в офісному приміщенні ТОВ «ГлобалЛоджик Україна» та покращені умови на робочих місцях, що пов'язані з дотриманням санітарно-гігієнічних вимог при експлуатації ПК в офісі, а також наведено інструктаж для поведінки у ситуації землетрусу.

У методичній частині МНР розглядається лабораторна робота з дисципліни «Алгоритмізація і програмування» на тему «Послідовні контейнери бібліотеки STL».

Робота складається з 98 сторінок, 29 рисунків, 3 таблиць та 10 посилань на літературні джерела.

**Ключові слова:** *гліома, згорткова нейромережа, МРТ, машинне навчання, сегментація.*

## ABSTRACT

**Sova Ivan Mykhaylovych. The Research of Machine Learning Methods for Neoplasm Segmentation on Brain MRI Scans** – On the rights of the manuscript.

Master's scientific work for obtaining an educational qualification "Master of Computer Science". – Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, 2020.

The master's research paper is devoted the study of machine learning methods for segmentation of tumors on brain MRI images.

The *purpose* of this is to improve the accuracy of segmentation of brain tumors on MRI images to automate the radiologist's work.

The *object* is the scope of computer vision in segmentation tasks.

The *subject of research* is the algorithms and methods of machine learning for segmentation of tumors on brain MRI images.

The professional part of the master's scientific work consists of the following sections: studying the theoretical base; analysis of the selected task and methodologies; implementation of selected algorithms.

Tasks that were completed during the work:

- Review of recent publications and research;
- Analysis of input data (statistics and visualization);
- Selection of technologies for development;
- Development of implementation of selected algorithms and methods of segmentation;
- Comparative analysis of results and selection of model and set of processing methods to achieve the highest accuracy.

In the special part of the master's research paper "Occupational safety and security in emergency situations" the analysis of working conditions at workplaces in the office of LLC "GlobalLogic Ukraine" is carried out. Then, the conditions at workplaces related to compliance with sanitary and hygienic requirements during PC usage have been improves. The second section focuses on earthquake behavior briefing.

In the methodical part practical works on the course "Algorithmization and Programming" are developed, mainly on the topic "STL library containers".

The work consists of 98 pages, 29 figures, 3 tables and 19 references to literary sources.

**Keywords:** *glioma, convolutional neural network, MRI, machine learning, segmentation.*