

Голові разової спеціалізованої вченої ради
факультету комп'ютерних наук та кібернетики
Київського національного університету імені Тараса Шевченка,
доктору фізико-математичних наук,
завідувачу кафедри системного аналізу та теорії прийняття рішень
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
Капустян Олені Анатоліївні

ВІДГУК

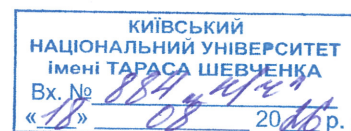
офіційного опонента, доктора технічних наук, професора
Данилова Валерія Яковича
на дисертаційну роботу **Сучкова Валентина Івановича**
«Моделі та методи обробки медичних зображень грудної клітини»,
подану на здобуття ступеня доктора філософії
у галузі знань 12 – Інформаційні технології
за спеціальністю 124 – Системний аналіз

1. Актуальність теми дисертації

Автоматизована обробка медичних зображень є важливою складовою сучасних інформаційних технологій у сфері охорони здоров'я. Зростання обсягів діагностичних даних, варіативність якості зображень, обмеженість часу фахівців та необхідність оперативного аналізу результатів обстежень зумовлюють потребу у створенні методів, здатних забезпечувати попередню обробку, класифікацію, сегментацію анатомічних структур і виявлення патологічних областей.

Поширення захворювань дихальної системи, зокрема COVID-19, посилило потребу у засобах, здатних аналізувати медичні зображення грудної клітини. До основних задач такого аналізу належать класифікація зображень за станами дихальної системи, сегментація області легень, оцінювання якості отриманої сегментації та визначення областей ураження інфекцією.

Дисертаційна робота Сучкова В. І. спрямована на дослідження, розроблення та реалізацію методів автоматизованої обробки медичних зображень грудної клітини. У роботі процеси попередньої обробки, класифікації, сегментації, оцінювання результатів сегментації розглядаються



як взаємопов'язані елементи процесу системного аналізу медичних зображень.

Тематика роботи відповідає спеціальності 124 «Системний аналіз» та узгоджується з напрямками досліджень, пов'язаними із системним аналізом, математичним і комп'ютерним моделюванням, інтелектуальним аналізом даних, машинним навчанням та інформаційними технологіями підтримки прийняття рішень. З огляду на зазначене тема дисертації є актуальною та має наукове і практичне значення.

2. Новизна отриманих у дисертації результатів

Наукові результати дисертаційної роботи характеризуються належним рівнем новизни та спрямовані на розвиток моделей і методів автоматизованої обробки медичних зображень грудної клітини.

Вперше застосовано модифікований метод збалансованого порогового відсікання гістограми у задачі сегментації області легень на рентгенівських зображеннях та проведено порівняльний аналіз його ефективності з класичними пороговими методами Оцу і Капура. У використаній реалізації порогове значення визначається без введення центральної точки гістограми. Алгоритм полягає у двосторонньому накопиченні її мас від крайніх ненульових значень до точки рівноваги.

Вперше запропоновано метод непрямого оцінювання якості сегментації області легень без використання еталонної маски. Метод ґрунтується на анатомічно орієнтованих показниках: відносній площі сегментованої області, вертикальній симетрії, стандартному відхиленні інтенсивності пікселів у межах сегментованої області та контрасті між областю легень і фоном. На відміну від традиційного оцінювання за коефіцієнтами Dice або IoU, такий підхід може застосовуватися за відсутності еталонної маски областей легень.

Вперше розроблено механізм багатокритеріального вибору результату сегментації серед альтернативних порогових методів. Вибір здійснюється на основі інтегральної оцінки відхилень анатомічно орієнтованих показників від референтних значень, що дає змогу автоматично обрати найбільш анатомічно правдоподібний результат для конкретного рентгенівського зображення.

Удосконалено модель сегментації патологічної області на рентгенівських зображеннях грудної клітини на основі архітектури U-Net з енкодером ResNet18 шляхом попереднього обмеження вхідного зображення маскою області легень. Таке обмеження зменшує вплив позалегенових анатомічних структур.

Удосконалено підхід до застосування згорткових нейронних мереж для класифікації рентгенівських зображень грудної клітини шляхом дослідження впливу попередньої обробки, зокрема фільтрації, нормалізації та підсилення

локального контрасту, на якість класифікації за класами COVID-19, вірусна пневмонія та відсутність захворювання.

Набув подальшого розвитку алгоритм сегментації патологічної області на зображеннях комп'ютерної томографії грудної клітини, у якому попередньо виділяється область легень пороговим методом, після чого в її межах виконується кластеризація пікселів за значеннями інтенсивності методом k-середніх.

Науковий інтерес становить також поєднання зазначених результатів у цілісну послідовність автоматизованого аналізу, де методи класифікації, сегментації, анатомічно орієнтованого оцінювання та багатокритеріального вибору розглядаються як взаємопов'язані компоненти інформаційної технології підтримки прийняття рішень.

3. Практична цінність отриманих результатів

Практичне значення результатів полягає у розробленні програмних засобів для автоматизованої обробки та аналізу рентгенівських зображень грудної клітини і зображень комп'ютерної томографії.

Реалізовані програмні засоби забезпечують попередню обробку зображень, класифікацію рентгенівських зображень за станами дихальної системи, сегментацію області легень кількома альтернативними пороговими методами, морфологічне уточнення результатів, обчислення анатомічно орієнтованих показників, автоматизований вибір результату сегментації, а також сегментацію патологічної області нейромережевими і кластеризаційними методами.

Практично важливою особливістю є можливість непрямого оцінювання та вибору результату сегментації області легень без наявності еталонної маски для кожного нового зображення. Це розширює можливості застосування розроблених методів у ситуаціях, коли ручна розмітка відсутня.

Розроблені програмні засоби дають можливість завантажувати зображення, виконувати класифікацію та сегментацію. Дані розроблені засоби можуть застосовуватися для попереднього автоматизованого аналізу медичних зображень та бути інтегровані до інформаційних технологій підтримки прийняття рішень.

4. Повнота викладення основних результатів дисертації в опублікованих працях

Результати дослідження представлені в чотирьох публікаціях у фахових виданнях України та були апробовані на чотирьох наукових конференціях. У публікаціях наведено архітектуру згорткової нейронної

мережі для класифікації рентгенівських зображень, вплив попередньої обробки на результати класифікації, анатомічно орієнтоване оцінювання сегментації та застосування модифікованого методу збалансованого порогового відсікання гістограми.

Опубліковані матеріали відповідають вимогам згідно п. 8-9 Постанови КМУ «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022 р. № 44 і розкривають основний зміст дисертації.

Зміст публікацій відповідає темі дисертації та достатньо повно відображає її основні наукові результати.

5. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційного дослідження

Обґрунтованість наукових положень забезпечується коректним застосуванням методів системного аналізу, цифрової обробки зображень, математичної статистики, машинного та глибокого навчання. Для класифікації використано згорткову нейронну мережу, для сегментації області легень застосовано порогові методи Оцу, Капура та модифікований метод збалансованого порогового відсікання гістограми. Для сегментації патологічної області застосовано архітектуру U-Net з енкодером ResNet18 та метод k-середніх.

Експериментальні дослідження проведено на відкритих реальних наборах медичних даних. Для класифікації та дослідження порогової сегментації використано «COVID-19 Radiography Database». Для перевірки узагальнювальної здатності запропонованого підходу застосовано «Shenzhen Hospital Chest X-ray Set» та відповідні еталонні маски з набору даних «Lung Masks for Shenzhen Hospital Chest X-ray Set», а також набір даних «Montgomery County X-ray Set». Для сегментації патологічної області на рентгенівських зображеннях використано набір даних «COVID-QU-Ex», що містить зображення, маски областей легень та маски патологічних областей. Окремі експерименти виконано на зображеннях комп'ютерної томографії з набору «COVID-19 CT Lung and Infection Segmentation Dataset», що містить КТ-зображення та відповідні еталонні маски областей легень і патологічних областей.

Для оцінювання результатів класифікації застосовано показники Accuracy, Precision, Recall та F1-міру. Для оцінювання якості сегментації використано коефіцієнти Dice та IoU, а також показники Precision, Recall і Accuracy. Для аналізу структурної інформації після попередньої обробки використано SSIM.

Проведено порівняння методів попередньої обробки, порогових методів сегментації, варіантів формування вхідних даних для нейромережевої моделі та конфігурацій методу k-середніх. На незалежному наборі «Shenzhen Hospital Chest X-ray Set» запропонований багатокритеріальний метод вибору результату порогової сегментації продемонстрував найкращі результати серед досліджених методів. Для порівняння обрано метод Оцу як один із найбільш поширених класичних методів порогової сегментації. Середнє значення Dice становить 0,751, для методу Оцу – 0,731. Частка зображень із Dice понад 0,6 становить 86,7 %, для методу Оцу – 85,0 %.

Для нейромережевої сегментації патологічної області на наборі даних «COVID-QU-Ex» з попереднім обмеженням області легень застосовано вагову регуляризацию, ранню зупинку та зменшення швидкості навчання за відсутності покращення результатів на валідаційній вибірці. Використання попереднього обмеження області легень забезпечило зростання середнього значення Dice на 0,007. Отримані результати є порівняними з результатами досліджень інших авторів, виконаних на наборі даних «COVID-QU-Ex».

Для КТ-зображень застосування методу Оцу для виділення області легень у поєднанні з подальшою кластеризацією методом k-середніх також продемонструвало високу ефективність. Для сегментації патологічної області отримано значення Dice 0,899, що на 0,11 вище порівняно з результатом, отриманим методом k-середніх.

Проведені експерименти та використання загальноприйнятих метрик дають підстави вважати сформульовані висновки достатньо обґрунтованими та достовірними.

6. Структура та оформлення дисертації

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, задачі, об'єкт і предмет дослідження, визначено методи дослідження, наукову новизну, практичне значення, особистий внесок здобувача, апробацію та структуру роботи.

У першому розділі проаналізовано сучасні методи класифікації та сегментації медичних зображень грудної клітини, включаючи нейромережеві та класичні підходи, методи попередньої обробки, сегментацію області легень, сегментацію інфекційних уражень та оцінювання якості сегментації.

У другому розділі представлено методи та матеріали дослідження, зокрема архітектуру згорткової нейронної мережі для класифікації, методи попередньої обробки, порогові методи сегментації області легень, морфологічну постобробку, анатомічно орієнтовані показники та інтегральну оцінку, архітектуру U-Net з енкодером ResNet18.

3. Запропоноване оцінювання сегментації без еталонної маски передбачає використання показників площі, вертикальної симетрії та фотометричних характеристик. У роботі не досліджено можливість використання фрактальних характеристик сегментованої області, зокрема фрактальної розмірності її контуру, що могло б надати додаткову інформацію про геометричну складність отриманої сегментації.

4. При оцінюванні анатомічної правдоподібності результатів доцільно було б також розглянути топологічні характеристики, зокрема кількість зв'язних компонент, наявність внутрішніх порожнин або інші топологічні ознаки. Це могло б посилити контроль структурної коректності сегментації.

5. Для багатокритеріального методу вибору результату сегментації використано фіксовані вагові коефіцієнти анатомічно орієнтованих показників. Доцільно було б детальніше формалізувати процедуру їх визначення та розглянути можливість адаптивного налаштування ваг залежно від характеристик набору даних.

6. У роботі використано декілька відкритих наборів медичних зображень, що відрізняються роздільною здатністю, контрастністю, джерелами формування та особливостями розмітки. Більш розгорнутий аналіз доменного зсуву між наборами та його впливу на референтні значення анатомічно орієнтованих показників посилив би обґрунтування узагальнювальної здатності запропонованого методу.

7. Взаємозв'язок між класифікацією, сегментацією області легень, оцінюванням результатів і сегментацією патологічної області доцільно було б подати у вигляді узагальненої формалізованої схеми інформаційної технології із чітким розмежуванням послідовних етапів та альтернативних методів.

Наведені зауваження мають переважно рекомендаційний і дискусійний характер, визначають можливі напрями подальших досліджень та не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи, її наукового рівня і практичної цінності.

Висновок

Дисертаційна робота Сучкова В. І. на тему «Моделі та методи обробки медичних зображень грудної клітини» є завершеним науковим дослідженням, у якому розв'язано актуальне науково-практичне завдання розроблення моделей, методів і програмних засобів автоматизованої обробки медичних зображень грудної клітини.

За актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю і практичною цінністю дисертація відповідає встановленим вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової

спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 року. Дисертант заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 12 – «Інформаційні технології» за спеціальністю 124 – «Системний аналіз».

Офіційний опонент:

професор кафедри штучного інтелекту

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут

імені Ігоря Сікорського»

доктор технічних наук, професор

Підпис гр. Валерій ДАНИЛОВ
ЗАСВІДЧУЮ
Відділ кадрів та діловодства
Підпис () пр-ще



Підпис Валерія ДАНИЛОВА
засвідчую

Учений секретар
КПІ ім. Ігоря Сікорського
Валерія Холевська



КИЇВСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
Вх. № 884 зм/ч
« 12 » 08 2022 р.