

ВІДГУК
офіційного опонента
на дисертаційну роботу **Піцуна Олега Йосиповича** на тему
**«Методи і засоби опрацювання біомедичних зображень в системах
автоматизованої мікроскопії»,**

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.13.23 – «Системи та засоби штучного інтелекту»

1. Актуальність теми дослідження

Біомедичне мікроскопічне зображення є одним з важливих джерел отримання візуальної інформації про внутрішні структури і функції на рівні тканин і клітин органів тіла людини. Для аналізу біомедичних зображень (цитологічних, гістологічних, імуногістохімічних) в системах автоматизованої мікроскопії (САМ) широко використовуються методи опрацювання, які базуються на теорії цифрової обробки зображень та теорії розпізнавання образів, технологіях комп'ютерного зору.

В наукових джерелах запропоновано багато методів та алгоритмів для реалізації кожного з рівнів опрацювання біомедичних зображень (попередньої обробки, сегментації, розпізнавання), однак, остаточно ці завдання не вирішені. Широкому застосуванню існуючих рішень в системах автоматизованої мікроскопії та отриманню об'єктивних якісних результатів при опрацюванні зображень перешкоджає низка проблем, пов'язаних з високою варіабельністю структури та слабкою контрастністю вхідних біомедичних зображень, трудомісткістю процедури опису біомедичних зображень, потребою (в окремих випадках) оперативної організації консультування декількох експертів для прийняття правильних діагностичних або терапевтичних рішень.

Ці завдання можуть бути розв'язані шляхом розроблення нових та розвитку існуючих методів, алгоритмів та засобів опрацювання біомедичних зображень, створенням інтелектуальної системи автоматизованої мікроскопії з урахуванням досвіду діяльності лікаря-експерта. Враховуючи вищесказане, вважаю, що тема дисертаційного дослідження Піцуна О.Й. є, безумовно, актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами та темами. Дисертаційна робота виконувалась у рамках держбюджетної науково-дослідної роботи кафедри комп'ютерної інженерії Тернопільського національного економічного

університету «Гібридна інтелектуальна інформаційна технологія діагностування передракових станів на основі аналізу зображень» (Державний реєстраційний номер 1016U002500).

2. Оцінка основного змісту дисертації та її структури.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і 2 додатків. Робота містить 133 сторінки основного тексту, 45 рисунків та 25 таблиць. Список літературних джерел містить 166 найменувань.

У вступі обгрунтовано актуальність тематики, визначено предмет та об'єкт дослідження, сформульовано мету, задачі дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів. Наведено відомості про публікації, апробацію та впровадження результатів дисертаційного дослідження, структуру роботи.

Перший розділ дисертаційного дослідження присвячено аналізу біомедичних зображень, аналізу методів та алгоритмів різних рівнів комп'ютерного зору і існуючих систем автоматизованої мікроскопії.

В результаті аналізу біомедичних зображень здійснено їх класифікацію за способом отримання, типом і розмірністю. Визначено особливості біомедичних зображень.

Описані та проаналізовані базові методи та алгоритми опрацювання зображень на різних рівнях комп'ютерного зору: попередньої обробки, сегментації, класифікації зображень. Виділено їхні переваги та недоліки. Показана важлива роль методів оцінки якості сегментації на етапі вибору алгоритмів сегментації зображень, проаналізовані різні критерії оцінки якості сегментації (критерій RUMA, метрики Фреше та Хаусдорфа та ін.).

Наведена порівняльна характеристика існуючих бібліотек опрацювання зображень та функціоналу систем автоматизованої мікроскопії. Зроблено акцент на відсутності в їх складі інтелектуальних засобів опрацювання зображень.

Автор провів ґрунтовний аналіз предметної галузі, визначив шляхи для розв'язання поставлених задач.

В другому розділі дисертації, з метою забезпечення покращення якості зображень, запропоновано метод опрацювання цитологічних і гістологічних зображень, який складається з наступних кроків: оцінка зашумленості зображень, налаштування параметрів фільтрації, фільтрація зображень,

еквалізація гістограми; підбір параметрів корегування яскравості зображення, коригування рівня яскравості зображення.

Розроблено метод метричної кількісної оцінки якості сегментації біомедичних зображень, в якому для визначення відстані між контурами та внутрішніми областями опуклих полігонів просегментованих об'єктів використано метрики Громова-Хаусдорфа та Громова-Фреше, що забезпечило підвищення точності оцінювання результатів сегментації зображень на 12 %.

В ході комп'ютерних експериментів були протестовані алгоритми сегментації та їх комбінації, підібрано межі параметрів алгоритмів, створена база знань. Продукційні правила вибору параметрів сегментації сформульовані з використанням теорії та засобів нечіткої логіки. Розроблено метод автоматичного вибору алгоритмів сегментації та їх параметрів.

В цілому матеріал розділу – структурований, математичні викладення – логічні та достатньо обґрунтовані.

У *третьому розділі* показано, що на відміну від існуючих алгоритмів класифікації згорткові нейронні мережі не потребують додаткового попереднього оброблення зображень, однак потребують значних часових затрат при навчанні та роботі з зображеннями. Запропонована система класифікації біомедичних зображень на основі сучасних методів класифікації та згорткової нейронної мережі (ЗНМ). Розглянуто дві структури ЗНМ для класифікації біомедичних зображень. Правила вибору та застосування структур ЗНМ внесено в базу знань. Для скорочення часу навчання мережі використано технологію CUDA. Нейромережевий метод класифікації на базі визначених структур ЗНМ забезпечив підвищення точності класифікації на 20 %. В розділі багато уваги приділено також питанням формування бази даних гістологічних та цитологічних зображень для навчання мережі.

В *четвертому розділі* дисертаційного дослідження наведено опис структури та компонентів гібридної інтелектуальної САМ, особливостей роботи з віддаленою базою даних. Визначені переваги розробленої САМ над існуючими системами.

Висновки до роботи сформульовані чітко, повністю відображують отримані наукові та практичні результати. За своїм рівнем висновки відповідають вимогам, що висуваються до результатів дисертаційного дослідження.

Список використаних джерел є достатньо інформативним, повно охоплює предметну область.

Додатки дисертаційної роботи містять фрагменти розроблених автором програм та копії документів про результати впровадження розроблених та вдосконалених здобувачем методів опрацювання зображень.

3. Ступінь достовірності та обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій дисертаційної роботи

Методи опрацювання зображень різних рівнів комп'ютерного зору, що запропоновані в дисертаційній роботі, обґрунтовані з наукової та технічної точок зору. Обґрунтованість отриманих наукових положень та висновків базується на коректному використанні теорії алгоритмів при розробленні алгоритмів опрацювання зображень, теорії метрик при розробці методу порівняння результатів сегментації зображень, теорії нечіткої логіки при формуванні правил опрацювання зображень, методів комп'ютерного зору при розробці методів опрацювання зображень.

Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, що викладені в дисертаційній роботі підтверджується результатами експериментальних досліджень, впровадженням отриманих рішень, успішною апробацією результатів дослідження на 9 міжнародних науково-технічних конференціях та всеукраїнській школі-семінарі молодих вчених.

4. Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна дисертаційного дослідження полягає у розв'язанні актуальної наукової задачі створення методів та засобів опрацювання біомедичних зображень для систем автоматичної мікроскопії.

До основних наукових результатів, що особисто отримані здобувачем можна віднести:

– вперше розроблено метод метричної кількісної оцінки якості сегментації біомедичних зображень, який за рахунок використання метрик Громова-Хаусдорфа та Громова-Фреше забезпечує підвищення точності оцінювання результатів сегментації зображень;

– вперше розроблено метод автоматичного вибору алгоритмів сегментації біомедичних зображень, який за рахунок використання метрик, бази знань та адаптації алгоритмів до типу зображень забезпечує підвищення точності сегментації зображень;

– вдосконалено метод опрацювання цитологічних і гістологічних зображень, який за рахунок використання бази знань алгоритмів фільтрації, правил гістограмного вирівнювання та адаптації до типу зображень, забезпечує покращення їх якості;

– отримав подальший розвиток нейромережевий метод класифікації цитологічних і гістологічних зображень, який за рахунок комбінації згорткових і субдискретизуючих шарів забезпечує підвищення точності класифікації.

5. Практичне значення результатів дослідження

Запропоновані Піцуном О.Й. науково обґрунтовані рішення щодо підвищення точності опрацювання біомедичних зображень доведено до рівня практичної розробки – інтелектуальної системи автоматизованої мікроскопії для опрацювання гістологічних та цитологічних зображень, яка забезпечена адаптивним графічним інтерфейсом, віддаленою базою даних, базою знань алгоритмів попереднього оброблення, сегментації і класифікації зображень. На основі експериментальних досліджень зображень передракових і ракових станів молочної залози розроблено базу даних мікроскопічних зображень для навчання згорткових нейронних мереж в системі автоматизованої мікроскопії. Час процесу навчання ЗНМ було скорочено за рахунок використання графічних процесорів, технології CUDA.

Програмна реалізація багатокористувацької системи автоматизованої мікроскопії та розроблена для цієї системи база даних захищені свідоцтвами про реєстрацію авторського права.

Результати експериментальних досліджень підтвердили правильність наукових положень дисертаційної роботи: точність оцінки результатів сегментації підвищена на 12 %, якість гістологічних і цитологічних зображень – на 16 %, точність класифікації, порівняно із існуючими класифікаторами, в середньому – на 20 %.

Результати роботи впроваджено у Тернопільському обласному патологоанатомічному бюро, Тернопільському державному медичному

університеті і ТЗоВ «Інститут біомедичних технологій» для розв'язання задач цитологічних і гістологічних досліджень.

6. Повнота викладення наукових результатів дисертації в опублікованих працях відображена у 23 опублікованих працях, серед них одна монографія, 9 статей у наукових фахових виданнях України, одна стаття у науковому періодичному виданні іноземної держави, що включено до міжнародної науково-метричної бази, 10 публікацій у матеріалах та тезах доповідей конференцій, 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права.

В роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить: дослідження метрик знаходження відстаней між полігональними областями, метод кількісної оцінки якості сегментації зображень, метод автоматичного підбору алгоритмів сегментації та їх параметрів на основі метрик, розроблення адаптивного методу попереднього оброблення зображень, розроблення структур загорткових нейронних мереж для класифікації цитологічних і гістологічних зображень, структура реляційної бази даних САМ, опис та аналіз розробленої гібридної інтелектуальної САМ, структура та програмні модулі САМ, структура системи класифікації зображень, метод перетворення неопуклих полігональних областей в опуклі для пошуку мінімальної відстані між просегментованими об'єктами, система класифікації біомедичних зображень засобами графічних процесорів.

Слід також відмітити, що одна стаття індексована у міжнародній науково-метричній базі Web of Science, 7 статей – у міжнародній науково-метричній базі Index Copernicus, є одноосібна стаття.

Опубліковані праці в повній мірі охоплюють основні результати дисертаційного дослідження.

7. Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертаційного дослідження

До недоліків та зауважень дисертаційної роботи можна віднести:

1. В першому розділі надано класифікацію біомедичних зображень (Таблиця 1.1, стор. 22 дисертації), за якою зображення УЗД віднесено до класу «чорно-біле». На мій погляд було б коректніше віднести його до класу «в градаціях сірого».

2. В першому розділі недостатньо повно обґрунтовано вибір згорткової нейронної мережі в якості класифікатора біомедичних зображень.

3. У роботі приділена увага покращенню якості біомедичних зображень при наявності адитивного та імпульсного шумів, але не наведені рішення для мультиплікативного шуму, який виникає в умовах нерівномірного освітлення.

4. В третьому розділі в алгоритмі навчання ЗНМ слід було б визначити критерій щодо автоматичного «підбору структур ЗНМ та їх параметрів».

5. Твердження, що розроблена інтелектуальна система автоматизованої мікроскопії «володіє адаптивним графічним інтерфейсом», не підкріплено поясненнями щодо способу забезпечення адаптації.

6. Порівняльний аналіз САМ (Таблиця 4.6, стор. 124 дисертації) здається надлишковим з точки зору кількості розглянутих систем-аналогів. Для демонстрування переваг розробленої системи достатньо було б провести порівняння її функціоналу з двома (трьома) системами автоматизованої мікроскопії з найкращими характеристиками.

7. Для оцінки точності методів автоматичної сегментації та класифікації в роботі застосований критерій, який показує тільки відсоток вірної сегментації (класифікації). Для області діагностики біомедичних зображень важливо також розраховувати і мінімізувати помилку другого роду («пропуску цілі»).

8. При представленні узагальненої структури інтелектуальної САМ (рисунок 4.2, стор. 102 дисертації), для встановлення логічного зв'язку між практичною реалізацією САМ та запропонованими в роботі рішеннями (пунктами наукової новизни), слід було б вказати, в яких саме блоках системи використано розроблені методи опрацювання біомедичних зображень.

9. Присутня неоднозначність позначення однакових по суті понять. Наприклад, «метод метричної кількісної оцінки якості сегментації», (перший пункт новизни, стор. 18 дисертації) та «метричний метод кількісної оцінки якості сегментації», (другий пункт висновків, стор. 133 дисертації), «точність сегментації» та «ефективність сегментації», що ускладнює сприйняття матеріалу.

10. Четвертий розділ дисертації здається перевантаженим загальними відомостями з питань програмування та технологій створення програмних продуктів і баз даних. Даний матеріал слід було б винести в додатки.

11. В тексті дисертації зустрічаються граматичні помилки та описки, наприклад, у четвертому розділі – в нумерації таблиць: Таблиця 4.7 (стор. 116, дисертації), Таблиця 4.6 (стор. 124), Таблиця 4.7 (стор. 126), у другому розділі – на рисунку 2.7.

Однак, зазначені зауваження істотно не впливають на зміст дисертаційної роботи та не знижують її наукової цінності.

8. Загальний висновок по дисертаційній роботі щодо її відповідності встановленим вимогам

Дисертаційна робота Піцуна Олега Йосиповича є завершеною кваліфікаційною науковою роботою, в якій поставлена, вирішена на високому рівні і втілена у практику важлива науково-технічна задача – розроблення методів та засобів опрацювання біомедичних зображень в системах автоматизованої мікроскопії.

Результати дисертації можуть бути рекомендовані до використання у наукових медично-діагностичних центрах та медичних установах, в яких для діагностування захворювань аналізуються цифрові біомедичні (цитологічні, гістологічні, імуногістохімічні) зображення.

Зміст дисертаційної роботи відповідає паспорту спеціальності 05.13.23 – «Системи та засоби штучного інтелекту».

Автореферат повністю відображає зміст та основні положення дисертації.

За обсягом дослідження, науковим рівнем і практичною цінністю отриманих результатів, апробацією та публікаціями дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» до кандидатських дисертацій, а її автор – Піцун Олег Йосипович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – «Системи та засоби штучного інтелекту».

Офіційний опонент
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інформаційних систем
інституту комп'ютерних систем
Одеського національного політехнічного
університету

рабун

О.Ю. Бабілунга

Вчений секретар



Ршч

В.І. Шевчук