

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора

Ярвого Андрія Анатолійовича

на дисертаційну роботу **Піцуна Олега Йосиповича**

**«Методи і засоби опрацювання біомедичних зображень
в системах автоматизованої мікроскопії»**

поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту

Актуальність теми.

Онкопатологія є другою з основних причин смертності у світі після серцево-судинних захворювань. В Україні більше мільйона онкохворих пацієнтів, щодня реєструються більше 300 нових випадків захворювання. Проте, за даними ВООЗ, 30–50% онкологічних захворювань можна попередити. Зважаючи на це, виникає необхідність у розробці автоматизованих систем для діагностування передракових і ракових станів, що дозволить підвищити зручність та якість діагностування. Існуючі системи автоматизованої мікроскопії не містять достатнього набору засобів для комплексного проведення досліджень. Об'єктом вивчення при діагностуванні передракових та ракових станів молочної залози є гістологічні, цитологічні, імуногістохімічні зображення, отримані в результаті мікроскопічного дослідження. Існуючі засоби опрацювання даного типу зображень не дозволяють здійснювати якісне оброблення, сегментацію та класифікацію зображень. Тому дослідження у сфері діагностування онкологічних захворювань є актуальними.

Обрана тема та мета дисертації, що спрямовані на створення методів та засобів оброблення біомедичних зображень з підвищеною точністю в системах автоматизованої мікроскопії, виявляють свою актуальність та перспективність.

У дисертації наведено теоретичні узагальнення і нові вирішення наукової задачі розроблення, вдосконалення і подальшого розвитку методів оброблення цитологічних та гістологічних зображень при діагностуванні онкологічних захворювань, а також відповідних програмних засобів їх реалізації.

Таким чином, тематика дисертаційної роботи є актуальною та важливою для сучасного рівня науки й техніки.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами, планами.

Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку кафедри комп'ютерної інженерії Тернопільського національного економічного

університету. Дисертація виконувалася в межах прикладної 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), в яких здобувач був виконавцем окремих етапів науково-дослідної роботи.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі.

Наукові положення, результати і висновки дисертації, отримані автором, в цілому є достатньо доказовими та обґрунтованими.

В роботі використані сучасні математичні та експериментальні методи, що також обґрунтовано досвідом їх застосування для створення інтелектуальної системи автоматизованої мікроскопії для опрацювання гістологічних і цитологічних зображень. Основні наукові положення дисертаційної роботи представлено математичними моделями, структурними схемами. Наведені в роботі теоретичні положення та твердження викладено у логічній послідовності та в достатній мірі аргументовано. Адекватність розроблених математичних моделей підтверджується результатами експериментальних досліджень.

Достовірність отриманих результатів забезпечено коректністю постановки завдання, відповідністю моделей та методів попереднього оброблення, сегментації та класифікації цитологічних і гістологічних зображень визначеним теоретичним основам, зокрема, теорії метрик для порівняння зображень в метриках Фреше та Хаусдорфа (розділ 2), комп'ютерного зору та оброблення зображень для сегментації та класифікації біомедичних зображень (розділи 2,3), теорії нечіткої логіки для формування бази знань із правилами опрацювання зображень (розділ 2), теорії алгоритмів для розроблення алгоритмів опрацювання зображень та методів об'єктно-орієнтованого програмування для програмної реалізації багатокористувацької системи автоматизованої мікроскопії (розділи 2,4).

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, що сформульовані в дисертаційній роботі, підтверджується апробацією та впровадженням результатів досліджень на реальних об'єктах професійної сфери діяльності, про що свідчать відповідні документи.

Наукова новизна отриманих результатів.

До найсуттєвіших нових наукових результатів, отриманих дисертантом особисто, 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 сегментації на 12%;
- 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, а також удосконалено 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 сегментації на 16%.
- отримав подальший розвиток нейромережевий метод класифікації цитологічних і гістологічних зображень, який за рахунок комбінації згорткових і субдискретизуючих шарів забезпечує підвищення точності класифікації в середньому на 20%.

Практичні результати роботи, їх рівень та ступінь впровадження.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що використання запропонованих алгоритмів та комп'ютерних засобів, забезпечує підвищення точності оцінювання результатів сегментації, підвищення якості гістологічних і цитологічних зображень та підвищення точності класифікації біомедичних зображень порівняно із існуючими класифікаторами.

Результати дисертаційного дослідження впроваджено у Тернопільському обласному патологоанатомічному бюро, Тернопільському державному медичному університеті (кафедра патологічної анатомії з секційним курсом та судової медицини) і ТЗоВ «Інститут біомедичних технологій» для розв'язання задач цитологічних і гістологічних досліджень. Теоретичні та практичні результати використано у навчальному процесі для вивчення дисциплін «Методи розпізнавання зображень і комп'ютерний зір», «Комп'ютерні системи штучного інтелекту», «Мережеве програмування», «Паралельні та розподілені обчислення», а також під час виконання курсових і дипломних робіт на кафедрі комп'ютерної інженерії факультету комп'ютерних інформаційних технологій Тернопільського національного економічного університету.

Впровадження результатів досліджень та використання матеріалів дисертаційної роботи підтверджено відповідними актами.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

За матеріалами дисертації опубліковано 23 друковані праці, а саме: 1 монографію, 9 статей (із них одна одноосібна) у наукових фахових виданнях України (зокрема, 1 стаття у виданні, що включено до міжнародної наукометричної бази Web of Science, 7 статей у виданнях, що включені до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus), 1 статтю у науковому періодичному виданні іноземної держави, 10 публікацій – у матеріалах та тезах доповідей наукових конференцій, 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір (комп'ютерну програму).

Рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації розкривають основний зміст дисертації та повністю відповідають вимогам МОН України.

Оцінка основного змісту дисертації та її структури.

Дисертація є завершеною науковою працею. Її структура логічна, містить вступ, чотири розділи, висновки, перелік літературних джерел та додатки.

Оформлення дисертації загалом відповідає основним вимогам. Можна відзначити, що у ній в достатньому обсязі наведено графічні та ілюстративні матеріали (45 рисунків та 25 таблиць), чітко зображені формули, акуратно оформлені додатки. В додатках є документи, які підтверджують впровадження наукових розробок здобувача. За структурою, мовою та стилем викладення дисертація відповідає вимогам МОН України.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено мету та задачі дослідження, що потребують розв'язання, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, охарактеризовано наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів. Наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію результатів, основні праці, опубліковані за темою дисертації, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі проаналізовано біомедичні зображення та здійснено їх класифікацію. Здійснено аналіз методів і алгоритмів опрацювання біомедичних зображень на трьох рівнях комп'ютерного зору, що дозволило виділити їх переваги та недоліки для опрацювання гістологічних та цитологічних зображень. Проаналізовано основні програмні бібліотеки та пакети опрацювання зображень. Здійснено порівняльний аналіз систем автоматизованої мікроскопії.

У другому розділі розроблено метод автоматичного оброблення зображень на низькому рівні, метричний метод кількісної оцінки якості

сегментації та метод автоматичного вибору алгоритмів сегментації та їх параметрів.

Вперше розроблено метричний метод кількісної оцінки якості сегментації, що базується на використанні метрик Громова – Хаусдорфа та Громова – Фреше. Метод базується на основі алгоритмів перетворення не опуклих полігонів у опуклі, алгоритму зважених хорд і дозволяє знаходити найменші відстані між контурами та областями зображень, що дало можливість покращити точність оцінки результатів сегментації на 12%. Вперше розроблено метод автоматичного вибору алгоритмів сегментації на основі використання метрик Громова-Фреше, Громова-Хаусдорфа, що дало можливість автоматично обирати алгоритми сегментації та їх параметри. Набув подальшого розвитку метод адаптивного оброблення зображень, що базується на алгоритмах фільтрації, алгоритмах правил гістограмного вирівнювання і дозволяє покращити якість гістологічних і цитологічних зображень на 16%.

У **третьому розділі** розроблено узагальнену структуру системи класифікації гістологічних і цитологічних зображень. Розроблено нейромережевий метод і алгоритми класифікації гістологічних і цитологічних зображень. Здійснено порівняльний аналіз роботи згорткових нейронних мереж та методу опорних векторів (SVM), k-найближчих сусідів (k-nearest neighbour). Здійснено порівняльний аналіз процесу навчання згорткових нейронних мереж на основі CPU- та GPU-орієнтованої платформи.

Наведено узагальнену структуру гібридної інтелектуальної системи автоматизованої мікроскопії, що містить альтернативні канали опрацювання інформації (канал згорткових нейронних мереж і канал класифікаторів) та базу знань, що дало можливість підвищити точність класифікації зображень. Запропонована структура згорткової нейронної мережі для класифікації гістологічних і цитологічних зображень на основі комбінації згорткових та субдискретизуючих шарів та їх вхідних параметрів забезпечує підвищення точності класифікації порівняно із існуючими класифікаторами (SVM, k-means) в середньому на 20%.

У **четвертому розділі** розроблено узагальнену структуру гібридної інтелектуальної системи автоматизованої мікроскопії. Наведено структуру апаратних і програмних компонентів інтелектуальної системи, описано структуру таблиць бази даних. Здійснено порівняльний аналіз із існуючими аналогами, виділено їх переваги та недоліки.

Порівняльний аналіз показав, що розроблена система HIAMS володіє рядом функцій для підвищення зручності роботи лікарів. До основних переваг розробленої системи можна віднести: наявність адаптивних графічних інтерфейсів для різних типів користувачів, модуль класифікації зображень, модуль обліку пацієнтів, модуль аналізу кількісних та якісних характеристик цитологічних та гістологічних зображень. Розроблена програмна система на відміну від існуючих (ДиаМорф, QCapture PRO, AMS – Diagnosis, ImageJ, ImagePro Plus, BioImage XD) дозволяє реалізувати одночасну роботу декількох лікарів незалежно від місця розташування.

У **висновках** наведено основні результати дисертаційної роботи та надано рекомендації щодо практичного застосування теоретичних напрацювань.

Список використаних джерел є достатнім, охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації, містить 166 найменувань.

У **додатках** представлено лістинги програмного коду основних класів розробленої системи автоматизованої мікроскопії, розроблених методів для знаходження мінімальної відстані між об'єктами на зображенні, а також подано акти впровадження результатів дисертаційних досліджень.

Відповідність дисертації та автореферату встановленим вимогам.

За своєю структурою, обсягом і оформленням дисертація та автореферат цілком відповідають вимогам, встановленим до кандидатських дисертацій, зокрема пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів».

Автореферат за змістом ідентичний основним положенням, що викладені в дисертації, та не містить інформації, яка не відображена в самій роботі. Стиль викладу матеріалів досліджень, наукових положень і рекомендацій забезпечує їх адекватне і належне сприйняття.

Наукова новизна відповідає паспорту спеціальності 05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту, зокрема п. 5 «Розроблення алгоритмів і програмно-апаратних засобів для систем комп'ютерного розпізнавання та відтворення (синтезу) мовних і зорових образів» та п. 14 «Аналіз, синтез і моделювання нейронних мереж, розроблення методів їх проектування, оптимізації та навчання».

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи:

1. У дисертаційній роботі необхідно було б більше уваги приділити проведенню детального порівняльного аналізу удосконалених та запропонованих автором методів (зокрема, на основі метрик Громова-Фреше та

Громова-Хаусдорфа) із відомими сучасними методами кількісного оцінювання якості сегментації.

2. В роботі докладно не визначено практичні обмеження на застосування запропонованих методів та програмних засобів опрацювання біомедичних зображень в системах автоматизованої мікроскопії.

3. У підрозділі 2.3 "Метод автоматичного вибору алгоритмів сегментації на основі метрик" недостатньо обґрунтовано вибір апарату нечіткої логіки для формування бази знань із правилами підбору алгоритмів сегментації для параметрів вхідного біомедичного зображення.

4. При описанні методу вибору алгоритмів і параметрів сегментації (розділ 2) не наведено обґрунтування вибору порогового значення (у межах 35-175). Варто було б обґрунтувати обрані порогові значення на основі здійснених експериментальних досліджень.

5. У розділі 2 доцільно було б також проаналізувати методи оброблення зображень на основі паралельних обчислень.

6. В експериментальних дослідженнях (розділ 3) доцільно було б використати більш сучасні моделі відповідного апаратного забезпечення (зокрема, апаратної GPU-платформи).

7. У розділі 4 доцільно було б розглянути питання впливу організації розподіленого доступу до бази даних, а також накладних витрат при комунікації між CPU- та GPU-платформами на загальну швидкодію системи.

8. При викладенні матеріалу зустрічаються понятійні, стилістичні та термінологічні неточності, а також граматичні та орфографічні помилки, на які вказано автору.

Відмічені зауваження не вплинули на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи та можуть розглядатися як рекомендації до подальших наукових досліджень та впроваджень отриманих результатів.

ВИСНОВКИ

1. Дисертаційна робота Піцуна Олега Йосиповича на тему «Методи і засоби опрацювання біомедичних зображень в системах автоматизованої мікроскопії» є завершеною науковою працею, яка розв'язує актуальне наукове завдання – розроблення методів кількісної оцінки якості сегментації та класифікації біомедичних зображень, які на відміну від існуючих, зменшують похибки сегментації та збільшують точність класифікації зображень в системах

- автоматизованої мікроскопії і відповідає паспорту спеціальності 05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту.
2. Автореферат повністю відповідає змісту дисертації і описує суть одержаних результатів та висновків у дисертаційній роботі і оформлений згідно з вимогами.
 3. У цілому за змістом, оформленням і науково-практичними результатами дисертаційна робота Піцуна Олега Йосиповича відповідає вимогам 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.
 4. Автор дисертації Піцун Олег Йосипович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри комп'ютерних наук
Вінницького національного
технічного університету,
доктор технічних наук, професор



А. А. Яровий

