

Голові разової спеціалізованої вченої ради №14933
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя
д.т.н, професору
Литвиненку Ярославу Володимировичу

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Гринюка Івана Олександровича

«Метод та програмно-апаратний засіб підвищення якості інтраскопічних зображень в умовах неоднорідного освітлення та нестаціонарних деградацій»,
подану на здобуття ступеня доктора філософії
з галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія»
за спеціальністю 163 «Біомедична інженерія»

1. Актуальність теми дисертаційної роботи та зв'язок з науковими напрямками, темами

Сучасний розвиток біомедичної інженерії характеризується активним впровадженням цифрових інформаційних технологій, методів математичного моделювання, комп'ютерного аналізу та інтелектуальної обробки даних у системах медичної діагностики. Одним із важливих напрямів сучасної медичної візуалізації є розвиток інтраскопічних систем, які забезпечують отримання діагностично значущої інформації про внутрішні органи та тканини організму у режимі реального часу.

Якість інтраскопічних зображень суттєво впливає на ефективність клінічної інтерпретації результатів дослідження, своєчасність виявлення патологічних змін та прийняття лікувальних рішень. Разом з тим, процес формування інтраскопічних зображень супроводжується впливом складного біологічного середовища, неоднорідного освітлення, оптичного розсіювання, адитивно-мультиплікативних шумів, артефактів руху та інших деградаційних факторів, що знижують контрастність, структурну інформативність та якість медичних зображень.

Більшість існуючих методів цифрової обробки зображень орієнтовані на загальні задачі комп'ютерної обробки сигналів та не повною мірою враховують фізичні особливості формування інтраскопічних зображень, мультиплікативний характер освітлення та нестаціонарність деградаційних процесів. Це зумовлює необхідність розроблення спеціалізованих адаптивних методів і програмно-апаратних засобів підвищення якості інтраскопічних зображень, орієнтованих на збереження анатомічно значущих структур та підвищення діагностичної інформативності.

Тема дисертаційної роботи відповідає фокусу освітньо-наукової програми «Біомедична інженерія» третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за спеціальністю 163 «Біомедична інженерія», яка передбачає підготовку фахівців, здатних розв'язувати комплексні науково-прикладні задачі у сфері біомедичної інженерії, медичної інформатики, цифрової обробки медичних зображень та інформаційних технологій медичної діагностики, проводити власні наукові дослідження, а також розробляти сучасні методи й засоби аналізу та обробки медичної інформації.

Дисертаційне дослідження виконано відповідно до наукових напрямів, пов'язаних із розробленням методів і засобів цифрової обробки інтраскопічних

зображень, математичного моделювання процесів формування медичних зображень, програмно-апаратних засобів медичної діагностики та інформаційних технологій аналізу медичних даних, що підтверджує його відповідність сучасним тенденціям розвитку біомедичної інженерії та практичним потребам галузі.

Отже, тема дисертаційної роботи є актуальною, має важливе наукове та практичне значення та відповідає сучасним напрямам розвитку біомедичної інженерії, медичної інформатики, цифрової обробки медичних зображень та інформаційних технологій у системах медичної діагностики.

2. Наукова новизна результатів дисертаційної роботи

Основні наукові результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно та характеризуються науковою новизною.

До результатів, що мають наукову новизну, належать:

- вперше розроблено адаптивний багатокритеріальний просторово-частотний метод підвищення якості інтраскопічних зображень на основі фізично обґрунтованої математичної моделі формування зображення та узгодженої просторово-частотної обробки, що дозволило підвищити інформативність інтраскопічних зображень шляхом компенсації локальних контрастних і шумових спотворень;
- вперше сформульовано багатокритеріальну постановку задачі підвищення якості інтраскопічних зображень із одночасним урахуванням критеріїв структурної подібності, контрастності та збереження меж, що дало змогу забезпечити баланс між пригніченням шумів і збереженням дрібних структурних елементів;
- удосконалено підхід до обробки інтраскопічних зображень в умовах неоднорідного освітлення та нестаціонарних деградацій шляхом використання адаптивної нормалізації та локально-статистичних характеристик зображення, що дозволило підвищити стійкість обробки та зменшити втрати дрібних анатомічних деталей;
- удосконалено математичну модель формування інтраскопічного зображення шляхом урахування мультиплікативної складової освітлення та адитивно-мультиплікативного характеру шумів, що дозволило більш адекватно описати процес формування медичного зображення в реальних умовах інтраскопічної діагностики;
- набули подальшого розвитку методи оцінювання якості інтраскопічних зображень шляхом комплексного використання метрик PSNR, SSIM, CNR та ROC-аналізу із статистичною перевіркою значущості результатів, що дозволило підвищити об'єктивність оцінювання ефективності методів обробки медичних зображень.

3. Практична цінність одержаних результатів

Практичне значення результатів дослідження полягає у розробленні методу та програмно-апаратного засобу підвищення якості інтраскопічних зображень для систем медичної діагностики.

Автором розроблено програмний модуль та алгоритмічне забезпечення адаптивної просторово-частотної обробки інтраскопічних зображень, які забезпечують компенсацію неоднорідного освітлення, пригнічення шумів і підвищення структурної інформативності медичних зображень без зміни апаратної конфігурації інтраскопічних систем.

Запропонований метод дозволяє підвищити якість візуалізації анатомічних структур, зменшити вплив деградаційних факторів та забезпечити покращення умов клінічної інтерпретації результатів інтраскопічної діагностики.

Автором реалізовано програмний алгоритм у середовищі MATLAB та створено структуру програмно-апаратного засобу для підвищення якості інтраскопічних зображень. Розроблені алгоритми та програмне забезпечення можуть бути використані у системах ендоскопічної діагностики, телемедичних комплексах, системах підтримки прийняття лікарських рішень та інших біотехнічних системах медичного призначення.

Результати дисертаційної роботи впроваджені:

- під час виконання науково-дослідної роботи «Інформаційні технології Data Science та Big Data в кіберфізичних системах медико-біологічних процесів» (№ державної реєстрації 0122U000030), що виконується у Тернопільському національному медичному університеті імені І.Я. Горбачевського;

- у навчальному процесі кафедри біотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя при викладанні дисциплін, пов'язаних із цифровою обробкою медичних зображень, біомедичними інформаційними технологіями та комп'ютерними системами медичної діагностики;

- у науково-дослідній діяльності, пов'язаній із розробленням інформаційних технологій аналізу та обробки медичних зображень.

Наявність результатів апробації та практичного використання підтверджує практичну значущість отриманих результатів та можливість їх застосування у сучасних системах медичної діагностики.

4. Повнота викладення результатів дослідження у наукових публікаціях

Основні наукові результати дисертаційного дослідження Гринюка І.О. достатньо повно відображені у 6 наукових публікаціях автора, з яких 3 статті опубліковано у фахових наукових виданнях України та 3 праці – у матеріалах міжнародних науково-практичних конференцій.

Опубліковані праці відображають ключові положення дисертаційної роботи, зокрема результати математичного моделювання процесу формування інтраскопічних зображень, розроблення адаптивного просторово-частотного методу підвищення якості медичних зображень, програмно-апаратної реалізації запропонованого підходу та результати експериментальних досліджень ефективності розробленого методу.

Наукові результати, представлені у публікаціях автора, відображають основні етапи проведеного дослідження та відповідають змісту і структурі дисертаційної роботи. Матеріали дисертації апробовано на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях, що підтверджує наукову значущість та актуальність отриманих результатів.

Кількість і рівень наукових публікацій здобувача відповідають вимогам, що висуваються до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, а їх зміст достатньо повно відображає основні результати дисертаційного дослідження.

Використання у дисертаційній роботі результатів досліджень інших авторів здійснено з дотриманням вимог наукової етики та містить коректні посилання на відповідні джерела. Порухень принципів академічної доброчесності, зокрема фактів академічного плагіату, фабрикації або фальсифікації наукових результатів, у дисертаційній роботі не встановлено.

5. Ступінь обґрунтованості та достовірність сформульованих у дисертації наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими та достовірними.

Обґрунтованість отриманих результатів забезпечується використанням сучасних методів математичного моделювання, цифрової обробки зображень, багатокритеріальної оптимізації, статистичного аналізу та комп'ютерного моделювання у середовищі MATLAB.

Теоретичні положення дисертації базуються на фізично обґрунтованій моделі формування інтраскопічних зображень та сучасних підходах цифрової обробки медичних зображень. Запропоновані методи та алгоритми підтверджені результатами експериментальних досліджень і порівняльним аналізом із класичними методами обробки.

Достовірність отриманих результатів підтверджується проведеними експериментальними дослідженнями, результатами комп'ютерного моделювання, кількісним оцінюванням характеристик якості зображень за показниками PSNR, SSIM, CNR та результатами ROC-аналізу.

Результати дослідження узгоджуються із сучасними науковими підходами у сфері цифрової обробки медичних зображень та біомедичної інженерії.

6. Оцінка змісту дисертації

Дисертаційна робота є завершеним самостійним науковим дослідженням, виконаним на належному науково-теоретичному та практичному рівнях. Робота має логічну структуру, послідовний виклад матеріалу та складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, сформульовано мету та основні завдання роботи, визначено об'єкт і предмет дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також подано інформацію щодо апробації та публікації результатів дослідження.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасних систем інтраскопічної діагностики, особливостей формування медичних зображень та основних факторів їх деградації. Розглянуто класичні й сучасні адаптивні методи підвищення якості медичних зображень, визначено їх переваги та обмеження, що дозволило сформулювати основні напрями подальших досліджень.

Другий розділ присвячено математичному моделюванню процесу формування інтраскопічного зображення та розробленню адаптивного багатокритеріального просторово-частотного методу підвищення якості медичних зображень. Наведено математичний апарат, багатокритеріальну постановку задачі та теоретичне обґрунтування ефективності запропонованого підходу.

У **третьому розділі** розроблено структуру програмно-апаратного засобу реалізації запропонованого методу, наведено алгоритмічний pipeline обробки інтраскопічних зображень та описано особливості реалізації програмного забезпечення у середовищі MATLAB.

У **четвертому розділі** наведено результати експериментальних досліджень ефективності розробленого методу підвищення якості інтраскопічних зображень.

Проведено порівняльний аналіз із класичними методами обробки, виконано кількісне оцінювання якості зображень та статистичний аналіз отриманих результатів.

У **висновках** наведено основні результати дисертаційного дослідження відповідно до поставлених завдань, сформульовано наукові та практичні результати роботи, а також визначено перспективи подальших досліджень у напрямі розвитку систем цифрової обробки медичних зображень.

Список використаних джерел містить сучасні наукові праці вітчизняних та закордонних авторів, що свідчить про ґрунтовне опрацювання автором науково-технічної літератури за тематикою дослідження.

У **додатках** наведено допоміжні матеріали, результати моделювання, фрагменти програмного забезпечення та інші матеріали, що підтверджують практичну цінність і достовірність отриманих результатів.

Структура дисертаційної роботи є логічною, а зміст розділів відповідає поставленим меті та завданням дослідження.

7. Відповідність дисертаційної роботи вимогам МОН України

Дисертаційна робота виконана на належному науковому рівні, має логічну структуру та відповідає вимогам, що висуваються до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

Тематика, зміст та отримані результати дослідження відповідають спеціальності 163 «Біомедична інженерія» галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія».

8. Зауваження до дисертації

Поряд із загальним високим науковим рівнем виконаної дисертаційної роботи, її теоретичною обґрунтованістю та практичною спрямованістю, у роботі можна відзначити окремі положення дискусійного характеру та рекомендаційні зауваження:

1. Проведений у роботі аналіз сучасних методів підвищення якості інтраскопічних зображень доцільно було б доповнити більш детальним обґрунтуванням вибору критеріїв оцінювання якості медичних зображень, зокрема показників SSIM, CNR, PSNR та ROC-аналізу. Такий аналіз дозволив би більш повно оцінити ефективність запропонованого методу з точки зору збереження анатомічно значущих структур та діагностичної інформативності інтраскопічних зображень.

2. Представлені технічні рішення щодо реалізації програмно-апаратного засобу є достатньо обґрунтованими та практично орієнтованими. Водночас більш детальний аналіз обчислювальної складності алгоритмів, швидкодії системи та можливостей її реалізації на вбудованих апаратних платформах дозволив би повніше оцінити перспективи практичного використання розробленого засобу в реальних інтраскопічних системах.

3. Наведені результати експериментальних досліджень підтверджують ефективність запропонованого методу підвищення якості інтраскопічних зображень. Разом з тим, доцільно було б розширити перелік тестових наборів медичних зображень та провести додаткові дослідження для різних типів інтраскопічних систем, що дозволило б більш повно оцінити універсальність запропонованого підходу.

4. У роботі значну увагу приділено математичному моделюванню та адаптивній просторово-частотній обробці зображень, однак питання впливу динамічних артефактів руху та змін умов формування зображення на стабільність

функціонування системи досліджено недостатньо детально. Проведення додаткових досліджень у цьому напрямі дало змогу б більш повно оцінити стійкість запропонованого методу в умовах реальної клінічної практики.

Зазначені зауваження не знижують загальної наукової та практичної цінності дисертаційної роботи, а мають переважно рекомендаційний характер.

9. Загальний висновок

1. Дисертаційна робота Гринюка Івана Олександровича на тему «Метод та програмно-апаратний засіб підвищення якості інтраскопічних зображень в умовах неоднорідного освітлення та нестаціонарних деградацій» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, у якій розв'язано актуальне науково-практичне завдання розроблення адаптивного просторово-частотного методу та програмно-апаратного засобу підвищення якості інтраскопічних зображень для систем медичної діагностики.

2. За тематикою, змістом та науковими результатами дисертаційна робота відповідає спеціальності 163 «Біомедична інженерія» галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія».

3. Вважаю, що дисертаційна робота «Метод та програмно-апаратний засіб підвищення якості інтраскопічних зображень в умовах неоднорідного освітлення та нестаціонарних деградацій» відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» (із змінами) та Порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 р., а її автор, Гринюк Іван Олександрович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 163 «Біомедична інженерія», галузь знань 16 «Хімічна та біоінженерія».

Рецензент:

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри біотехнічних систем
Тернопільського національного
технічного університету імені Івана Пулюя



[Signature] Микола ХВОСТИВСЬКИЙ
[Signature]
[Signature]