

Відгук

офіційного опонента про дисертаційну роботу Ізоніна Івана Вікторовича на тему: «Методи та засоби забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень з флюктуаційною функцією інтенсивності», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту

• Актуальність теми дисертації

Одним із найважливіших показників багатьох інтелектуальних систем технічного зору є якість отримуваної інформації. Це стосується систем для багатьох прикладних галузей, зокрема дистанційного зондування, медицини, військової справи тощо. Однією з основних характеристик якості зображення являється його роздільна здатність, яка характеризує рівень детальності або інформативності зображення.

Фізичний процес формування цифрового зображення зокрема при дистанційному зондуванні супроводжується природною втратою просторової роздільної здатності, яка викликана частотно-шумовими спотвореннями що виникають внаслідок дії атмосфери, оптичної системи, кодером стиснення тощо. Формування зображень у інших прикладних галузях теж характеризується певними втратами та обмеженнями, що впливають на якість отриманого зразка.

Метою традиційних методів відновлення зображення є його реконструкція при збереженні розмірів. Методи забезпечення надвисокої роздільної здатності працюють за іншою схемою – вони відновлюють зображення з високою роздільністю шляхом збільшення частоти дискретизації на основі обробки одного вхідного зображення чи набору вхідних зображень з низькою роздільною здатністю. Застосування цих методів дає змогу збільшити роздільну здатність вихідних зображень вище рівня, що забезпечується розміром датчика пристрою реєстрації.

Задача забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень ускладнюється у випадку існування флюктуацій функції на вхідному (одному чи декількох) зразку. У цьому випадку застосування існуючих методів супроводжується появою на вихідних зображеннях підвищеної роздільної здатності шумів, змазів, ефекту ступінчастості. Це призводить до зменшення ефективності подальшого інтелектуального аналізу зображення, а в деяких задачах - унеможливлює цей аналіз.

З огляду на це, вважаю, що дисертаційна робота Ізоніна І.В. присвячена актуальній темі удосконалення існуючих та розробленні нових методів забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень з флюктуаціями функції. Ця тема є важливою, оскільки її розв'язання забезпечує мінімізацію фінансових затрат на удосконалення пристройів реєстрації зображень, а у випадку обмежених

можливостей цих пристройів, дозволяє отримати якісне зображення підвищеної роздільної здатності для подальшої обробки.

Зв'язок роботи і науковими програмами та темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі інформаційних технологій видавничої справи Національного університету "Львівська політехніка" в рамках планових робіт та низки держбюджетних тем.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи Ізоніна Івана Вікторовича достатньо обґрунтовані коректним використанням математичного апарату, підкріплени успішною реалізацією програмних та апаратних засобів, які дають змогу здійснювати процес забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень розробленими методами, ефективним практичним впровадженням результатів дисертаційних досліджень, яке продемонструвало збігання теоретичних досліджень з реальними результатами.

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертації, логічно випливають із результатів, отриманих за допомогою чітких викладок і коректним використанням теорії мір, множин та операторів, функціонального аналізу, лінійної алгебри, теорії генетичних алгоритмів, нейронних мереж, методів обробки цифрових зображень, об'єктно-орієнтованого програмування для програмної реалізації розроблених методів та обробки результатів.

3. Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та 5-ти додатків. Робота містить 114 сторінок основного тексту, 36 рисунків та 4 таблиці. Список використаних літературних джерел містить 166 найменувань.

У вступі обґрунтована актуальність тематики, визначено об'єкт та предмет досліджень, сформульовані мета і задачі дослідження, визначена наукова новизна та практична цінність одержаних результатів, а також наведено відомості про апробацію та структуру роботи.

Перший розділ дисертаційного дослідження присвячено огляду сучасних методів забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень. У ньому описано загальну характеристику задачі, розглянуто два класи методів забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень (оптичний і геометричний), виділено основні недоліки апаратних підходів щодо її розв'язання. На основі цього аргументовано необхідність розвитку геометричних методів, здійснено їх класифікацію з використанням найновіших методів її розв'язання. Розглянуто два основні класи геометричних методів забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень просторової області при обробці одного зображення, виявлено основні недоліки методів на основі реконструкції

та особливості роботи методів на основі машинного навчання. Здійснено аналіз інструментарію, що використовується методами останньої групи для реалізації процедур навчання, окреслено можливості застосування пірамід особливостей, довірчих мереж та нейронних мереж для розв'язання поставленої задачі. Досліджено та проаналізовано вплив залежності розміру навчальної вибірки на результати роботи методу передискретизації зображень на основі конволюційної нейронної мережі. Здійснено огляд та окреслено основні недоліки методів частотної області щодо розв'язання поставленої задачі. Під час літературного огляду методів забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень просторової області, які для обробки використовують набір зображень однієї сцени здійснено порівняльний та критичний аналіз найбільш популярних на сьогодні представники цієї групи. На основі вищеописаного здійснено формулювання актуальних на сьогодні задач дослідження у частині удосконалення існуючих та розробки нових методів забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень.

Матеріал розділу висвітлено повно, однак у розділі присутні надлишкові описи. Наприклад, забагато уваги приділено аналізу методів частотної області які дуже рідко використовуються при обробці реальних цифрових зображень. В цілому автор провів ґрунтовний системний аналіз предметної галузі. Обґрутування актуальності вирішуваної наукової задачі виконано автором досить ретельно та всебічно.

Другий розділ дисертації присвячено розробленню методології передискретизації зображень на основі машинного навчання з використанням нейронних мереж моделі геометричних перетворень (НМ МГП). У розділі описано загальне формулювання задачі передискретизації зображень, алгоритмічну реалізацію методів (як збільшення так і зменшення роздільної здатності) її розв'язання. Окрім цього автор описує існуючу процедуру навчання НМ МГП для випадку розв'язання обох задач, наявність якої саме у цьому розділі, на мою думку є не доречною. Автором здійснено дослідження впливу розміру фрейму на якість зображень підвищеної роздільної здатності, зокрема на основі 4 показників якості. Проведено ряд експериментів щодо передискретизації зображень в 2, 3 та 4 рази. Подано рекомендації щодо практичного використання методу у разі необхідності здійснення процесу передискретизації з коефіцієнтом більшим за 4. При дослідженні ступеня нелінійності синаптичних зв'язків між нейронами, автором як теоретично так і на основі експериментальних результатів обґрутовано вибір лінійного значення синапсів при роботі методу збільшення роздільної здатності на основі НМ МГП. Окрім цього у розділі описано алгоритмічну реалізацію та приклад розробленої автором процедури отримання матричного оператора коефіцієнтів ваг синаптичних зв'язків з навченої НМ МГП з багатьма виходами. Використання цього оператора збільшує швидкодію процесу передискретизації зображень. Здійснено порівняння результатів роботи розробленого методу збільшення

роздільної здатності зображень з використанням НМ МГП з результатами роботи за існуючим методом, найкращим у своєму класі – методом на основі конволюційної нейронної мережі. Автором в повній мірі проаналізовано результати такого порівняння, подано недоліки та основні переваги розробленого ним методу, які свідчать при можливість його практичного використання. Як видно з проведеного дослідження щодо післяобробки передискретизованого зображення, застосування медіанного фільтру покращує якість вихідних зображень згідно співвідношення пікового сигналу до шуму. Проте результати цього експерименту висвітлено не достатньо повно.

В цілому, матеріал розділу викладений структуровано, логічно, супроводжується рядом таблиць, рисунків, наочних прикладів. Розроблена методологія передискретизації зображень на основі машинного навчання має наукову цінність. Okрім цього автор досить повно обґрунтував переваги розробленого методу збільшення роздільної здатності зображень як з використанням штучної нейронної мережі моделі геометричних перетворень на стадії застосування, так і без неї - з використанням отриманого матричного оператора коефіцієнтів ваг синаптичних зв'язків.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячено розроблення методів надвисокої роздільної здатності у випадку одного та двох зображень з флюктуаціями функції. Автором побудовано дві задачі – у випадку обробки одного та двох зображень та описано алгоритмічну реалізацію методів їх розв'язання. Метод забезпечення надвисокої роздільної здатності з використанням одного зображення на основі псевдообертання матричного оператора симетричних мір конвергенції передбачає необхідність розв'язку раду задач. Для цього, автором описано спосіб побудови оператора симетричних мір конвергенції, розроблено методику застосування псевдообертання Мура-Пенроуза відповідної матриці мір подібностей для визначення векторів ознак, що використовуватимуться в усіх розроблених методах. Опис першого і усіх наступних методів подано у алгоритмічній формі – для зручності розуміння. Okрім розв'язку цільової задачі, автором розроблено методологію зменшення роздільної здатності зображень у випадку опрацювання одного зображення. Результати розробленого методу порівнювалися з результатами роботи бікубічної інтерполяції. Автором здійснено детальний аналіз роботи методу при різних коефіцієнтах зменшення. Слід відмітити що цей аналіз ґрунтувався не лише на значеннях співвідношення пікового сигналу до шуму, а й градієнту цього показника, що, у свою чергу, забезпечило точніше виділення трендів. При описі інших методів – на основі обробки двох зображень автором описано процедури побудови оператора дивергенцій та агрегатного оператора дивергенцій. Оскільки методологія забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень згідно цих методів передбачає використання операції кросинговеру, автором запропоновано автоматизувати цю процедуру. Для цього розроблено

метод автоматичного вибору значення коефіцієнта операції кросинговеру на основі побудованої екстремальної задачі та критеріальної ознаки, яка ґрунтуються на континуумі мір подібності. В процесі експериментальних досліджень проаналізовано залежність оптимізаційного критерію від значень коефіцієнта кросинговеру для передискретизації зображень за різними методами. Проте, при розв'язанні оптимізаційної задачі автоматичного визначення коефіцієнта кросинговеру розглядався лише випадок, коли розв'язок мав характер квадратичної функції і строго визначенім єдиним максимальним значенням і не проаналізовано випадку, коли розв'язків буде більше одного.

У розділі здійснено порівняння усіх 4 розроблених методів забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень. Надано практичні поради щодо випадків у яких доцільно застосовувати той чи інший метод. Однак автор недостатньо уваги приділив порівнянню розроблених методів її з існуючими. Присутні також і надлишкові описи, наприклад, забагато уваги приділяється процедурі відомого методу псевдообертання Мура-Пенроуза.

У четвертому розділі описано розроблену автором програмну реалізацію методів надвисокої роздільної здатності зображень. Вона включає усі розроблені у роботі методи і утворює єдину систему, що ґрунтуються на принципах об'єктного-орієнтованого програмування, багатопотковості та динамічному управлінні ресурсами. Загальну структуру самої системи подано у вигляді діаграми пакетів. Не дивлячись на те, що опис прикладних функціоналів програмного рішення містить деяку інформацію про компоненти системи, із загальної структури системи не зовсім зрозуміло призначення його окремих частин. Тут автору слід було детальніше описати кожен окремий компонент.

Окрім програмної реалізації, у четвертому розділі здійснено опис розроблених паралельних алгоритмів та синтезованих структур одновимірного та двовимірного медіанних фільтрів, які орієнтовані на HBIC-реалізацію. Проведено аналіз можливих підходів щодо проектування подібних пристройів. Встановлено, що зменшити надлишковість, яка виникає при застосуванні повністю паралельного пристроя можна переходом на потоково-конвеєрні пристрой з послідовною реалізацією алгоритмів. У таких пристроях обчислення медіан зводиться до виконання послідовності операцій попарного порівняння і перестановки чисел. Розроблені паралельні алгоритми ґрунтуються на використанні методу сортування вставкою, оскільки він зменшує час формування результату.

У розділі наведено структурні компоненти обох фільтрів, описано кожен їх елемент, зв'язки між елементами та принципи роботи кожного пристроя. Здійснено аналітичну оцінку такту роботи кожного пристроя. Встановлено, що одновимірний пристрій медіанної фільтрації забезпечує підвищення швидкодії в порівнянні з аналогічними пристроями, а двовимірний, окрім цього, розширяє функціональні можливості.

У четвертому розділі недостатньо уваги приділено інтерфейсу розробленого програмного забезпечення, відсутні описи проектування та реалізації програмного засобу, а також особливостей та режимів його функціонування.

Висновки по роботі сформульовані чітко, вони повністю висвітлюють отримані в роботі результати. За своїм рівнем висновки відповідають вимогам, які висуваються до результатів кандидатської дисертації.

Список літератури є інформативним, достатньо повно охоплює предметну галузь та відображає опрацювання автором значної кількості іноземних джерел.

Додатки до роботи є змістовними і підтверджують позитивні результати роботи.

4. Наукова новизна результатів досліджень та їх теоретичне значення

Наукова новизна досліджень полягає у розв'язанні актуальної наукової задачі розроблення методів забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень, які зберігають краї об'єктів на зображеннях із флюктуаційною функцією інтенсивності.

До найбільш суттєвих і науко нових результатів дисертаційної роботи отриманих автором самостійно можна віднести:

- вперше розроблено метод забезпечення надвисокої роздільної здатності для випадку двох зображень із флюктуаційними функціями інтенсивності на основі сумісного використання операції кросинговеру та агрегатного матричного оператора дивергенцій, який характеризується зменшенням окремих видів артефактів, що підвищує ефективність процедури збільшення роздільної здатності на основі співвідношення сигнал/шум;
- вперше розроблено метод забезпечення надвисокої роздільної здатності для випадку одного зображення із флюктуаційною функцією інтенсивності на основі псевдообертання виродженого матричного оператора відносних симетричних мір конвергенції, який підвищує якість результатів збільшення роздільної здатності за оцінкою PSNR і мінімізує обчислювальні витрати в практичних реалізаціях алгоритмів, побудованих на основі операторів подібності;
- вперше, на основі навчання нейроподібної структури моделі геометричних перетворень з багатьма виходами отримано матричний оператор коефіцієнтів ваг синаптичних зв'язків, використання якого забезпечує ефективну передискретизацію цифрових сценарних зображень в on-line режимі;
- вдосконалено метод вибору значення коефіцієнта операції кросинговеру на основі розв'язання екстремальної задачі за критеріальною ознакою, побудованою на континуумі мір подібності, що дало можливість автоматизувати процедури передискретизації цифрових зображень, які

базуються на елементах теорії генетичних алгоритмів;

- отримала подальший розвиток методологія зміни роздільної здатності зображень на основі машинного навчання, внаслідок використання нейроподібних структур моделі геометричних перетворень, що дало змогу мінімізувати обчислювальні ресурси на стадії навчання під час розв'язання задач передискретизації зображень.

5. Достовірність наукових положень і висновків

Достовірність отриманих результатів забезпечується використанням теорії мір множин та операторів, функціонального аналізу та лінійної алгебри множин, з допомогою яких побудовано вироджені матричні оператори конвергенції та дивергенцій, теорії генетичних алгоритмів, елементи якої лягли в основу розробленого методу автоматизації процедури визначення коефіцієнта операції кросинговеру, методів нейронних мереж які були використані при розроблені методології передискретизації зображень на основі машинного навчання та об'єктно-орієнтованого програмування для програмної реалізації розроблених методів забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень. Достовірність результатів базується на обґрунтованості припущень, результатах експериментальних досліджень, правильному аналізі отриманих результатів та математичному і комп'ютерному моделюванні запропонованих методів, а також на успішній їх апробації на науково-технічних конференціях та успішному впровадженні отриманих рішень у ТзОВ «Клініка сучасних методів діагностики та інноваційних медичних технологій - «Водолій», ТзОВ «ЕЛСИ», Національному університеті «Львівська політехніка». Okрім цього отримані наукові результати захищені двома патентами на винаходи України та двома свідоцтвами про авторське право.

6. Практичне значення результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання

Практичне значення дисертаційної роботи полягає у тому, що її результати у вигляді методів та засобів забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень із флуктуаціями функції були використані у ТзОВ «Клініка сучасних методів діагностики та інноваційних медичних технологій - «Водолій», ТзОВ «ЕЛСИ», Національному університеті «Львівська політехніка», зокрема при виконанні трьох проектів, які фінансувалися за рахунок видатків державного бюджету України. Запропоновані рішення дали можливість: здійснювати процес передискретизації зображень із необхідним коефіцієнтом як збільшення так і зменшення для випадку одного чи двох вхідних зображень; підвищити якість вихідних зображень згідно із співвідношенням пікового сигналу до шуму (PSNR) на 10–15%; розширити спектр розв'язуваних задач на основі машинного навчання а також здійснювати процес передискретизації з навчальною вибіркою, яка містить лише одну пару зображень; усувати розмитість контурів, які існують

хоча б на одному із вхідних зображень, та забезпечити стійкість до виникнення артефакту пікселізації. Розроблені та запатентовані одновимірний та двовимірний пристрої медіанної фільтрації розширили функціональні можливості існуючих пристроїв, а також забезпечили підвищення швидкодії процедур фільтрації. Результати досліджень можуть бути рекомендовані до впровадження в різні системи штучного інтелекту що базуються на засадах комп'ютерного зору.

7. Стиль, оформлення дисертації, автореферату. Повнота викладу наукових висновків у публікаціях та відповідність спеціальності

Об'єм, структура, оформлення матеріалів досліджень в цілому відповідають вимогам "Порядку присудження наукових ступенів та присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника" щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Дисертаційна робота має логічну структуру. Основні висновки і рекомендації логічно витікають із результатів, які наведено у розділах роботи. Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертації. Усі основні положення та найбільш важливі результати дисертації, подані до захисту, опубліковані в необхідному обсязі у фахових наукових виданнях України та закордонних виданнях, пройшли відповідну апробацію на міжнародних науково-технічних конференціях. За темою дисертації опубліковано 20 друкованих праць, у тому числі 1 стаття у закордонному виданні, 5 статей у фахових наукових виданнях України, 4 з яких до того ж включено до міжнародних наукометрических баз. 9 публікацій у матеріалах міжнародних наукових конференцій. За результатами досліджень отримано 2 патенти на винаходи України та два свідоцтва про авторське право. Вимоги щодо кількості та якості публікацій виконано. Дисертація за змістом та отриманими результатами відповідає паспорту спеціальності 05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту, в частині його формули та напрямку досліджень, зокрема, п.5 «Розроблення алгоритмів і програмно-апаратних засобів для систем комп'ютерного розпізнавання та відтворення (синтезу) мовних і зорових образів».

8. Недоліки та зауваження

- Варто було б кількісно оцінити додаткового зашумлення, яке може виникати в результаті застосування процедури еквівалентування при передискретизації за допомогою нейронних мереж машини геометричних перетворень;
- При розв'язанні оптимізаційної задачі автоматичного визначення коефіцієнта кросинговеру розглядався лише випадок, коли розв'язок мав характер квадратичної функції і строго визначеним єдиним максимальним значенням і не проаналізовано випадку, коли розв'язків буде більше одного.

- У четвертому розділі дисертації забагато уваги приділено опису апаратної реалізації пристройів медіанної фільтрації та недостатньо уваги приділено інтерфейсу розробленого програмного забезпечення. Відсутній опис особливостей та режимів його функціонування.
- Основним увага дисертаційного дослідження зосереджена на зміні роздільної здатності зображень з флюктуаціями функції, проте варто було б розглянути також випадки зображень із гладкою функцією інтенсивності.
- Розроблені методи забезпечення надвисокої роздільної здатності у випадку двох зображень треба було б розглядати в контексті сумісного розв'язання із задачею автоматичного вирівнювання зображень в межах пікселя. Це б суттєво розширило область практичного використання отриманих методів.
- Присутня неоднозначність позначення змінних у різних розділах, зокрема: у другому розділі (ст. 43) змінна k визначає розмір фрейму вхідного зображення низької роздільної здатності, а третьому (ст. 80) – значення коефіцієнта операції кросинговеру; у другому розділі (ст. 43) змінна m визначає коефіцієнт зміни роздільної здатності, у четвертому (ст. 102) – розмір ковзного вікна фільтрації.

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

9. Загальні висновки

Дисертаційна робота Ізоніна Івана Вікторовича є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить нові науково обґрунтовані результати розв'язання важливої та актуальної наукової задачі - розроблення методів та засобів забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень із флюктуаційною функцією інтенсивності. Отримані нові наукові результати є суттєвими для області обробки цифрових зображень, зокрема в частині підвищення ефективності процедур покращення якості цифрових зображень. Тема дисертації відповідає спеціальності 05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту.

З огляду на актуальність теми дисертації, її науковий рівень, обґрунтованістю висновків та рекомендацій та практичну корисність отриманих результатів досліджень, вважаю, що дисертація відповідає вимогам пп. 9. 11, 12

"Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", а її автор Ізонін Іван Вікторович заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту.

Офіційний опонент - кандидат технічних наук,
доцент, доцент кафедри програмного
забезпечення систем ДВНЗ "Ужгородський
національний університет"


Повхан І.Ф.

