

67-72-26/1  
26.02.16

## ВІДГУК

*офіційного опонента на дисертаційну роботу*

*Ізоніна Івана Вікторовича*

**"МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДВИСОКОЇ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ З ФЛУКТУАЦІЙНОЮ ФУНКЦІЄЮ ІНТЕНСИВНОСТІ"**, подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту

### **Актуальність теми дисертації.**

У більшості сучасних завдань інтелектуального аналізу дуже часто виникає потреба у зображеннях з високою роздільною здатністю. Необхідність забезпечення високої роздільної здатності зображення виникає у зв'язку з необхідністю покращення інформативності як для людської інтерпретації так і для машинної обробки. Роздільна здатність при захопленні зображення тим чи іншим пристроєм реєстрації визначається фізичними параметрами реєстраційного пристрою. Існуючі обмеження пристроїв реєстрації в деяких випадках не дозволяють отримати зображення, розмір якого є необхідний для конкретного прикладного застосування. Саме це зумовлює виникнення практичної задачі збільшення розмірності зображень.

Сучасні методи збільшення роздільної здатності зображень не завжди забезпечують достатню якість як з точки зору візуального оцінювання так і на основі об'єктивних показників. Окрім цього методи забезпечення високої роздільної здатності в переважній більшості випадків працюють лише з одним зображенням. У випадках існування декількох зображень однієї сцени, які характеризуються субпіксельним зсувом на неціле значення пікселя в середині набору дозволяють отримати надвисоку роздільну здатність, за рахунок їх сумісного опрацювання. Існуючі методи забезпечення надвисокої роздільної здатності мають ряд недоліків: велика обчислювальна складність, неоднозначність розв'язку, побудова задачі надвисокої роздільної здатності як оберненої задачі, тощо. Окрім цього існуючі методи не забезпечують достатньої якості результату передискретизації у випадку, коли зображення характеризується флуктуаціями функції. Обробка таких зображень в процесі забезпечення надвисокої роздільної здатності супроводжується появою ефектів пікселізації, змазів країв об'єктів на зображеннях, шумів різного роду, тощо, що значно зменшують інформативність результуючого зображення. Тому важливим є вдосконалення існуючих чи створення нових методів забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень з флуктуаціями функції інтенсивності, які б

забезпечили достатню якість вихідного зображення при мінімальних витратах обчислювальних ресурсів для виконання цього процесу.

З цих міркувань вважаю, що тема дисертаційної роботи Ізоніна І.В., яка присвячена створенню та вдосконаленню методів та засобів забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень з флуктуаційною функцією інтенсивності, що забезпечують якісні результати роботи є особливо актуальною як в теоретичному, так і в прикладному аспекті.

### **Зв'язок роботи із науковими програмами, темами.**

Дисертаційна робота пов'язана з планами науково-дослідної та навчальної роботи Національного університету «Львівська політехніка». Дисертація безпосередньо пов'язана з планами наукових досліджень, які виконувалися в межах держбюджетних науково-дослідних робіт на кафедрах інформаційних технологій видавничої справи та автоматизованих систем управління. Дисертаційне дослідження виконувалося в межах таких держбюджетних НДР:

1. «Розвиток теорії синтезу нейронних мереж на НВІС-структурах для обробки сигналів в робототехнічних системах» (ДР № 0112U001204);
2. «Інструментальні засоби та інтелектуальні компоненти синтезу інтегрованих автоматизованих систем управління» (ДР № 0113U003186);
3. «Відслідковування рухомих об'єктів у відеопотоках реального часу» (ДР № 0115U000432).

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність.**

Запропоновані у дисертаційній роботі підходи та методи створення нових та вдосконалення існуючих методів забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень обґрунтовані з наукової та технічної точок зору. Обґрунтованість одержаних висновків і результатів дисертаційної роботи базується на коректному використанні методів обробки цифрових зображень, функціонального аналізу, теорій мір, множин та операторів, лінійної алгебри, генетичних алгоритмів, нейронних мереж. Припущення, покладені в основу теоретичних досліджень, є коректні і не суперечать особливостям предметної області.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, що сформульовані в дисертаційній роботі підтверджується низкою експериментальних досліджень розроблених засобів, апробацій результатів та впроваджень.

## **Наукова новизна отриманих результатів.**

Основними науковими результатами, що особисто одержані здобувачем є:

1. Вперше розроблено метод забезпечення надвисокої роздільної здатності для випадку двох зображень із флуктуаційними 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;
2. Вперше розроблено метод забезпечення надвисокої роздільної здатності для випадку одного зображення із флуктуаційною функцією інтенсивності на основі псевдообернення 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;
3. 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.
4. 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.
5. 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.

## **Практичне значення та ефективність результатів дисертаційних досліджень.**

Розв'язання поставлених завдань є основою побудови алгоритмів передискретизації у випадку одного чи двох зображень.

Розроблені у процесі дисертаційних досліджень методи підвищують якість вихідних зображень згідно із співвідношенням пікового сигналу до шуму (PSNR) на 10–15%.

Отримані методи забезпечення надвисокої роздільної здатності (НРЗ) зображень усувають розмитість контурів, що існують хоча б на одному із вхідних зображень, та характеризуються стійкістю до виникнення артефакту пікселізації.

Практичне значення дисертаційних досліджень підтверджується розробленою програмною реалізацією методів забезпечення НРЗ, яка може бути використана як модуль і інших програмних системах передискретизації зображень, особливо для випадку пакету зображень.

Розроблена апаратна реалізація пристроїв медіанної фільтрації розширює функціональні можливості існуючих пристроїв, а також підвищує швидкодію процедур фільтрації, що підтверджено отриманими двома патентами на винаходи в Україні.

### **Повнота викладу результатів в опублікованих працях, апробація роботи.**

Аналіз сукупності наукових результатів Ізоніна І.В., дає змогу зробити висновок про їх цілісність і засвідчує особистий внесок автора в науку щодо розроблення методів забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень, які б зберігали краї об'єктів на зображеннях із флуктуаційною функцією інтенсивності.

Основні положення та результати дисертаційного дослідження викладено в 20 наукових працях, серед них 5 статей у наукових фахових виданнях України з технічних наук (з них 4 включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory, Inspec та інші), 1 стаття у зарубіжному журналі, який включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus та інші; 2 патенти на винаходи України; 1 стаття в іншому виданні, яке включено до міжнародної наукометричної бази; 9 публікацій у збірниках праць міжнародних наукових конференцій (з них 2 входять до міжнародних наукометричних баз IEEE, Scopus); 2 свідоцтва про авторські права.

Опубліковані роботи в повній мірі охоплюють основні результати дисертаційних досліджень.

### **Оцінка основного змісту дисертації та її структури.**

Дисертаційна робота є завершеною науково-дослідною роботою, написана зрозуміло і грамотно, науково-технічна література використовується коректно. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. В додатках є документи, які підтверджують практичне впровадження наукових розробок здобувача. Оформлення дисертації відповідає основним вимогам щодо оформлення дисертацій.

У першому розділі дисертаційного дослідження проведено огляд та аналіз методів забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень. Розглянуто та проаналізовано дві групи методів забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень просторової області у випадку одного зображення, окреслено основні недоліки методів на основі реконструкції та на основі машинного навчання. Проаналізовано переваги та недоліки застосування пірамід особливостей, довірчих та нейронних мереж для реалізації процедури навчання у методах на основі машинного навчання. Досліджено та проаналізовано вплив залежності розміру навчальної вибірки на результати роботи методу передискретизації зображень на основі конволюційної нейронної мережі. Проаналізовано найбільш вживані на сьогодні методи забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень просторової області, у випадку набору зображень. За результатами проведеного аналізу визначено перелік завдань і наукових досліджень, які потрібно виконати для розв'язання наукової задачі, сформульованої у дисертаційній роботі.

У другому розділі дисертації розроблено методологію передискретизації зображень на основі машинного навчання з використанням нейроподібних структур моделі геометричних перетворень (НПС МГП). У розділі сформульовано задачу передискретизації зображень, описано алгоритмічну реалізацію методів її розв'язання, яка дає новий поштовх для розвитку методів передискретизації на основі машинного навчання. Проведено ряд досліджень щодо вибору найкращих параметрів роботи методу: впливу розміру фрейму на якість зображень підвищеної роздільної здатності, та впливу ступеня нелінійності синаптичних зв'язків між нейронами на результати роботи НПС МГП. На основі них, достатньо обґрунтовано вибір параметрів роботи методу збільшення роздільної здатності зображень. Автором вперше розроблено процедуру отримання матричного оператора коефіцієнтів ваг синаптичних зв'язків під час навчання НПС МГП з багатьма виходами для розв'язання задачі передискретизації цифрових зображень. При порівнянні результатів роботи розроблених методів з існуючим автором в повній мірі окреслено переваги розробленого ним методу.

У третьому розділі розроблено метод забезпечення надвисокої роздільної здатності із одного зображення з флуктуаціями функції на основі псевдообернення виродженого матричного оператора відносних симетричних мір конвергенції. Здійснено побудову матричного оператора відносних симетричних мір конвергенції, розроблено процедуру визначення характеристичних векторів на основі псевдообернення Мура-Пенроуза цього оператора. Проведено аналіз та порівняння результатів його роботи з результатами роботи за існуючим методом при різних коефіцієнтах збільшення, визначено переваги розробленого методу. Окрім цього у розділі подано ряд алгоритмічних реалізацій розробленого методу

забезпечення надвисокої роздільної здатності для випадку двох зображень із флуктуаціями функції на основі сумісного використання матричного оператора дивергенцій чи агрегатного матричного оператора дивергенцій та операції кросинговеру. Здійснено аналіз результатів роботи алгоритмічних реалізацій методу, надано рекомендації щодо випадків їх найкращого застосування. На основі розв'язання екстремальної задачі за критеріальною ознакою, побудованою на континуумі мір подібності вирішено проблему автоматизації вибору значення коефіцієнта операції кросинговеру, для методів які його використовують. Здійснено ряд експериментів щодо визначення значення цього показника для кожної з реалізацій методу надвисокої роздільної здатності у випадку двох зображень. Встановлено, що використання агрегатного оператора дивергенцій забезпечує найкращі результати при великих значеннях коефіцієнта збільшення.

У четвертому розділі представлено розроблену програмну реалізацію розроблених методів та запатентовану апаратну реалізацію пристроїв попередньої обробки зображень. Загальну архітектуру програмного рішення представлено у вигляді діаграми пакетів. Програмна реалізація методів надвисокої роздільної здатності базується на концепції Модель-Вид- Контролер, що має ряд очевидних переваг. Апаратну реалізацію пристроїв попередньої обробки представлено розробленими автором алгоритмами та синтезованими структурами одновимірного та двовимірного пристроями медіанної фільтрації, які орієнтовані на НВІС-реалізацію. Розроблена структура одновимірного медіанного фільтра забезпечує підвищення швидкодії процесу фільтрації, а структура двовимірного пристрою медіанної фільтрації окрім цього, розширює функціональні можливості за рахунок можливості фільтрації як у вікні розміром як  $m$  так і  $m \times m$ .

### **Відповідність дисертації та автореферату встановленим вимогам.**

За своєю структурою, об'ємом і оформленням дисертація та автореферат цілком відповідають вимогам, встановленим до кандидатських дисертацій, зокрема пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» України (Постанова № 567, від 24 липня 2013 р.). 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 пункту п.5 «Розроблення алгоритмів і програмно-апаратних засобів для

систем комп'ютерного розпізнавання та відтворення (синтезу) мовних і зорових образів».

### **Загальна оцінка роботи.**

Дисертаційна робота та автореферат написані грамотно, послідовно, коректно та мають завершену логічну структуру. Поставлену автором мету досягнуто, сформульовані задачі вирішено, а висновки повністю відображають основний зміст роботи.

### **Недоліки та зауваження.**

До недоліків та зауважень дисертаційної роботи можна віднести:

1. В дисертаційній роботі дуже мало уваги приділено дослідженню впливу характеристик навчальної вибірки на результат навчання в процесі передискретизації з використанням нейроподібної структури моделі геометричних перетворень;

2. Слабко обґрунтовано перехід до еквівалентних схем нейроподібної структури моделі геометричних перетворень і слабко проаналізовано зменшення часу процедури передискретизації, яке повинно виникати внаслідок цього еквівалентування.

3. Відсутня оцінка топологічного розбиття зображень у випадку їх великої розмірності для методів на основі псевдообернення вироджених операторів подібності.

4. Не розглянуто вплив розв'язання оптимізаційної задачі автоматичного визначення коефіцієнта кросинговера на швидкість процедури передискретизації у випадку сумісного використання агрегатного оператора дивергенцій та операції кросинговеру.

5. У висновках до четвертого розділу відсутнє чисельне значення збільшення швидкодії обробки зображень порівняно з аналогами при використанні розробленого пристрою одновимірної медіанної фільтрації зображень та методу сортування вставкою.

6. Опис прикладних функціональностей у четвертому розділі подано досить стисло, що ускладнює розуміння алгоритмічних реалізацій у програмному рішенні.

7. Не розглянута можливість використання розроблених методів стосовно інших типів зображень, зокрема із монотонними функціями інтенсивності.

Вказані зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

## ВИСНОВКИ

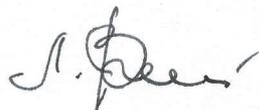
1. Дисертаційна робота Ізоніна Івана Вікторовича на тему «Методи та засоби забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень з флуктуаційною функцією інтенсивності» є завершеною науковою працею, яка розв'язує актуальну наукову задачу розроблення методів забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень, які б зберігали краї об'єктів на зображеннях із флуктуаційною функцією інтенсивності і відповідає паспорту спеціальності 05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту.

2. Автореферат повністю відповідає змісту дисертації й 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 Ізоніна Івана Вікторовича відповідає вимогам пунктів 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

4. Автор дисертації Ізонін Іван Вікторович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту.

Офіційний опонент,  
головний науковий співробітник  
Проблемної науково-дослідної  
лабораторії АСУ  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки,  
доктор технічних наук, професор



О. А. Винокурова

Підпис професора Винокурової О.А. засвідчую:

Учений секретар



I. В. Магдаліна