

УДК 004.93'11

О. О. Пікєнін, О. В. Прохорчук, І. О. Кучерявенко

МОДИФІКАЦІЯ ФІЛЬТРІВ ОБРОБКИ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ЗАДАЧ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Вступ

Методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) широко використовуються для розв'язання різноманітних задач [1]. Нині у світі є понад 20 компаній, які займаються обробкою зображень ДЗЗ, серед них: Jeppesen, Trimble, ArcGis, GeoGude, Spectra Precision та інші.

Сучасні апаратні засоби дистанційного зондування Землі з великовисотних носіїв фіксують зображення у видимому та інфрачервоному діапазонах. Сукупність розподілів яскравості відповідних зображень утворює багатовимірний геометричний об'єкт – багатоспектральне зображення (БСЗ), складові якого описують просторові форми та фізичний стан зафіксованих матеріальних об'єктів [2].

Методи та фільтри для покращення якості зображень детально описані в літературі [3]-[13]. Кожному методу фільтрації властиві свої недоліки та переваги, які слід враховувати при виборі методу фільтрації під час роботи з БСЗ. Майже всі фільтри є достатньо складними в плані математичного апарату та програмної реалізації, але досить прості в застосуванні та обробці даних.

Основним методом зменшення розміру БСЗ на даний час є фільтрація їх численних складових, яка зводиться до апроксимації розподілу яскравості вихідного растрового зображення сукупністю графічних примітивів [14].

Питання підвищення інформативності зображення ДЗЗ в кожному окремому випадку потребує індивідуального підходу до знімків з використанням комбінованих алгоритмів обробки інформації, оскільки не існує універсального підходу, який би зміг забезпечити високий рівень дешифрувального стану таких зображень.

Постановка задачі

Метою статті є модифікація існуючих фільтрів для підвищення інформативності багатоспектральних растрових зображень ДЗЗ на основі фільтрації поліхроматичних градацій та порогів яскравості.

Описання об'єкту дослідження

Апаратні засоби ДЗЗ фіксують розподіли яскравості зображень окремих спектральних складових БСЗ у растровому форматі – кожне таке зображення подається на прямокутній решітці, розташованій у картинній площині (растрі), комірки якої мають цілочислові значення рівнів яскравості, які подають різні відтінки сірого кольору.

Зазвичай кожне кольорове зображення представляється у одному з кольорових просторів. Для виділення певного компонента достатньо проводити обробку одного із вимірів простору, наприклад, в RGB проводити обробку компонента червоного кольору – R .

Спостережуване зображення можна математично записати наступним чином:

$$v(i) = u(i) + n(i),$$

де $v(i)$ – величина, яка спостерігається,

$u(i)$ – дійсна величина, яку необхідно відновити з $v(i)$,

$n(i)$ – шумове відхилення.

Метод очищення від шуму зображення u може бути визначений як D_h :

$$u = D_h u + n(D_h, u),$$

де h – параметр фільтрації,

$D_h u$ – очищене від шуму зображення,

$n(D_h, u)$ – шум, визначений цим методом.

Для покращення існуючих фільтрів обробки зображення використані наступні методи: для локальних методів фільтрації були обрані метод селективного згладжування [5] та метод селективної фільтрації [6], фільтри в частотній області доповненні нерізким маскуванню [8], алгоритм нелокального усереднення модифікований медіанним проходженням [6].

В якості об'єкту дослідження розглядається зображення аеропорту ESSA (Стокгольм), наданим компанією Jeppesen (США) (рис. 1).



Рис. 1. Вхідне необроблене БСЗ аеропорту ESSA (Стокгольм) та поліхроматичне зображення (прямокутником виділена частина знімка, яка буде оброблюватись фільтрами)

Методи фільтрації зображень

Необхідно виконати аналіз знімків оброблених фільтрами, зробити точносні оцінки отриманих результатів та зазначити доцільність використання та налаштування того чи іншого фільтру, в залежності від поставленої задачі (наприклад, пошук малорозмірних об'єктів).

1. Локальні методи фільтрації

Для зменшення розмивання зображення локальні методи фільтрації можна модифікувати методом селективного згладжування [5]. Також у ряді випадків, якщо яскравість пікселів вхідного зображення розподілена за нормальним законом, достатньо ефективною під час проведення попередньої обробки може виявитися сигма-фільтрація (поріг контрасту) [6], при якій враховуються тільки ті елементи вхідного зображення (всередині вікна), яскравість яких знаходиться в межах $E_x \pm 2\sigma$, де E_x – математичне очікування, а σ – середньоквадратичне відхилення яскравості пікселів зображення.

Підкреслення і загострення контурів або збільшення різкості зображення відбувається внаслідок збільшення високочастотних складових сигналу, до яких відносяться не тільки компоненти контурів і меж, але і

шум. Можливості реалізації цієї процедури за допомогою локальних фільтрів дуже різноманітні [3].

Оригінальне (півтонове) зображення u визначається в обмеженій області $\Omega \subset R^2$ та позначається як $u(x)$ для $x \in R^2$. Ми запишемо $|x|$ як L^2 норму та $x \times y$, як скалярний добуток.

Фільтр Гауса. Це найбільш поширений у використанні фільтр розмиття, який являє собою згортку зображення лінійним симетричним ядром. Необхідність згладжування зазвичай виражається з допомогою позитивності ядра. Формула такого ядра також називається ядром Гауса:

$$x \rightarrow G_h(x) = \frac{1}{(4\pi h^2)} e^{-\frac{|x|^2}{4h^2}},$$

де $G_h(x)$ має середньоквадратичне відхилення.

Обчислення правильне, якщо h достатньо мале. З іншого боку, властивості зменшення шуму залежать від того факту, що околиці, які приймають участь у згладжуванні, достатньо великі, тому шум зменшується шляхом усереднення.

В подальшому, якщо ми припустимо, що $h = k\epsilon$, де k – кількість відліків функції u та шуму в інтервалі довжиною h , ϵ^2 – розмір локального вікна, k повинно бути більше за 1. В початковому пікселі $i = 0$, гаусівський згладжувальний ефект обчислюється наступним чином:

$$G_h * n(0) = \sum_{i \in I} \int_{P_i} G_h(x) n(x) dx = \sum_{i \in I} \epsilon^2 G_h(i) n_i,$$

де $n(x)$ була інтерпольована як кускова функція,

P_i – квадратні пікселі з центром у i мають розмір ϵ^2 ,

$G_h(i)$ – визначає середнє значення функції G_h у пікселі i [3].

Білатеральні фільтри. Білатеральний фільтр застосовує просторове зважене усереднення без згладжування країв. Це досягається шляхом комбінування двох гаусівських фільтрів: один фільтр працює в просторовій області, інший – в області інтенсивності (яскравості). Для даного зображення $u(x)$ у пікселі x вихідний білатеральний фільтр може бути знайдений як:

$$B(x) = \frac{1}{C(x)} \sum_{y \in N(x)} e^{-\frac{\|y-x\|^2}{2\sigma_d^2}} e^{-\frac{|u(y)-u(x)|^2}{2\sigma_r^2}} u(y),$$

де σ_d та σ_r – параметри контролю зменшення ваги у просторовій (відстань) області та області інтенсивності,

$N(x)$ – просторовий окіл пікселя $u(x)$.

Коефіцієнт нормалізації:

$$C(x) = \sum_{y \in N(x)} e^{-\frac{\|y-x\|^2}{2\sigma_a^2}} e^{-\frac{|u(y)-u(x)|^2}{2\sigma_r^2}}.$$

Білатеральний фільтр широко використовується в задачах фільтрації, але немає достатнього теоретичного базису для вибору розміру вікна околу. Цей параметр, як правило, вибирається шляхом експериментів [4].

Покажемо на рис. 2 Гаусівський фільтр, модифікований Гаусівський фільтр, а також на рис. 3 білатеральний фільтр (БФ) та модифікований білатеральний фільтр, в яких розмір вікна околу варіювався для збільшення інформативності досліджуваного зображення.



а)

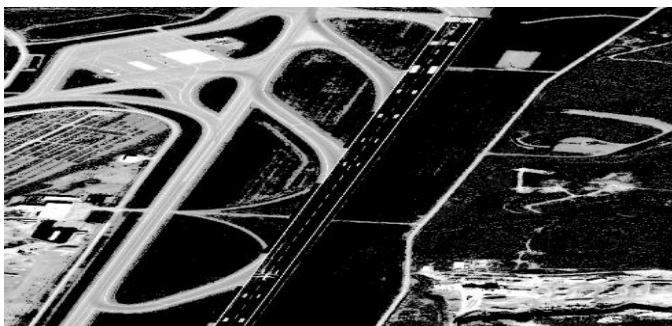


б)

Рис. 2. а) – обробка Гаусівським фільтром, б) – обробка модифікованим Гаусівським фільтром



а)



б)

Рис. 3. а) – обробка білатеральний фільтром, б) – обробка модифікованим білатеральний фільтром

Як бачимо з рис. 2, а та рис. 3, а при зменшенні аналогових шумів одночасно відбувається розмивання контурів зображення. Це викликано тим, що всі елементи вихідного зображення обробляються з однаковим коефіцієнтом, тобто в локальних методах фільтрації не приймається до уваги структури об'єктів зображення, і тому за їх допомогою не може бути визначена межа між шумовими і контурними елементами.

Аналізуючи знімки рис. 2, б та рис. 3, б, було встановлено, що після введення методу селективного згладжування та виділення порогу контрасту, розпізнавальна здатність (інформативність) підвищилась у

порівнянні зі звичайним фільтром Гауса, про що свідчать чисельні показники, приведені в розділі оцінки якості фільтрів, табл. 1.

2. Фільтри в частотній області

Нехай u буде зображенням, що визначається на n . Передбачається, що u модифікований білим шумом n , де $n(i)$ – випадковий процес – незалежний, однаково розподілений, з нульовим середнім значенням і сталою дисперсією σ^2 [7].

Нехай $B = \{g_a\}_{a \in A}$ буде ортогональним базисом R^n . Визначимо:

$$v_B(a) = \langle v, g_a \rangle, \quad u_B(a) = \langle u, g_a \rangle, \quad n_B(a) = \langle n, g_a \rangle$$

як скалярні добутки, тоді

$$v_B(a) = u_B(a) + n_B(a)$$

– трансформований шумовий процес.

Шумові коефіцієнти $n_B(a)$ залишаються некорельованими та дорівнюють нульовим середнім значенням, але дисперсії помножуються на $\|g_a\|^2$

$$E[n_B(a)n_B(\beta)] = \sum_{i,j \in I} g_a(i)g_\beta(j)E[n(i)n(j)] = \langle g_a, g_\beta \rangle \sigma^2 = \sigma^2 \|g_a\|^2 \delta[a - \beta].$$

Гранична вейвлет обробка

Для забезпечення кращої якості зображення метод м'якої граничної вейвлет обробки було модифіковано нерізким маскування [8]. Нерізде маскування вводить нові ознаки контурів, розділяючи на зображенні чорне та біле поля, значення тону яких відповідає ознакам "біліше білого" і "чорніше чорного".

Гранична вейвлет обробка [11] була представлена Д. Донохо [12]. Нехай $B = \{g_a\}_{a \in A}$ буде ортогональним вейвлет базисом. Для визначення μ вибирається певний поріг t , тобто:

$$a(a) = \begin{cases} 1 & |v_B(a)| > \mu \\ 0 & |v_B(a)| \leq \mu \end{cases}$$

Це так звана жорстка гранична обробка, яка відмінняє коефіцієнти менші за поріг. Ця процедура базується на ідеї, що зображення представляється з великими вейвлет коефіцієнтами, які зберігаються, в той час, як шум, розподілений малими коефіцієнтами, скасовується. Ефективність методу залежить від пропускну здатності апроксимації u шляхом використання маленького набору великих коефіцієнтів. Можна позначити цей оператор як $HTW_\mu(v)$.

Але через просте скасування вейвлет коефіцієнтів, нижчих за поріг, цей алгоритм створює деякі невеликі коливання, які мають назву явище Гіббса біля кутів. Донохо [12] показав, що ці ефекти можуть бути частково зменшені, якщо використовується м'яка гранична обробка:

$$a(a) = \begin{cases} \frac{v_B(a) - \text{sign}(v_B(a))\mu}{v_B(a)} & |v_B(a)| > \mu \\ 0 & |v_B(a)| \leq \mu \end{cases},$$

яку можна буде позначити як $STW_\mu(v)$. Неперервність оператора м'якої граничної обробки зберігає структуру вейвлет коефіцієнтів і зменшує коливання біля країв.

Покажемо на рис. 4 фільтр граничної вейвлет обробки та модифікований фільтр, який використовує м'яку граничну вейвлет обробку.

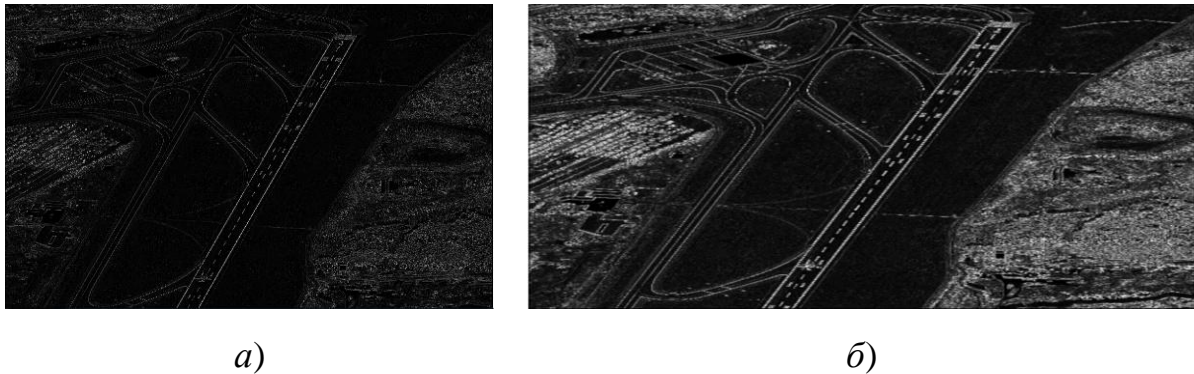


Рис. 4. *a)* – гранична вейвлет обробка, *б)* – обробка модифікованим фільтром м'якої граничної вейвлет обробки

Як, бачимо на рис. 4, *a* та рис. 4, *б* м'яка гранична вейвлет обробка має дуже хорошу частотно-просторову локалізацію і по цьому показнику традиційно перевищує звичайну вейвлет обробку, що дає нам змогу використати більш сильне квантування, але слід зазначити, що при тому ж ступені стиснення інші фільтри показують кращі результати по збереженню якості зображення. Ефективність нерізкого маскування показана в розділі оцінки якості фільтрів, табл. 1.

3. Алгоритм нелокального усереднення

Нелокальний метод в поєднанні з медіанним проходженням [6] дає можливість ефективно видаляти з зображення шум, не впливаючи на окремі пікселі. Наприклад, такими перешкодами є "биті" пікселі при цифровій зйомці, "сніговий" шум, коли частина пікселів замінюється на пікселі з максимальною інтенсивністю. Перевага методу медіанного проходження полягає в тому, що "гарячий" піксель на темному тлі буде

замінений темним, а не "розмазаний" по околиці, про що говорять дані табл.1 в розділі оцінки якості фільтрів.

Нехай $v(i)$ та $u(i)$ будуть досліджуваними зображеннями з шумом та оригінальним зображенням, де i – індекс пікселя. Відновлені значення можуть бути отримані як середньозважена величина усіх сірих значень в зображенні (індексовані у множині I):

$$NL(v)(i) = \sum_{j \in I} \omega(i, j)v(j),$$

де $NL(v)(i)$ – відновлені значення в пікселі i . Подібність між двома пікселями i та j залежить від подібності інтенсивностей сірого рівня векторів $v(N_i)$ та $v(N_j)$ [9]. Пікселі з аналогічним оточенням сірого рівня до $v(N_i)$ в середньому матимуть більшу вагу. Для обчислення схожості між двома блоками використовується гаусівськи зважена Евклідова відстань:

$$\|v(N_i) - v(N_j)\|_{2,a}^2 = (G_a * |v(N_i) - v(N_j)|^2)(0).$$

Ефросом та Ленгом було показано, що відстань L^2 – надійний засіб для порівняння вікон зображення [15]. Також цей засіб є більш адаптованим до будь-якого додаткового білого шуму.

Дійсно,

$$E\|v(N_i) - v(N_j)\|_{2,a}^2 = \|v(N_i) - v(N_j)\|_{2,a}^2 + 2\sigma^2,$$

де u і v відповідно оригінальне та зашумлене зображення, а σ^2 – шумова дисперсія. Ця рівність показує, що в очікуванні евклідова відстань зберігає порядок схожості між пікселями. Отже, найбільш схожі пікселі до i в v також очікуються бути найбільш схожими пікселями до i в u .

Покажемо на рис. 5 фільтр нелокального усереднення (НУ) та його модифікований варіант.

Як видно з рис. 5, а та рис. 5, б, доповнивши метод нелокальної фільтрації медіанним проходженням елементів масиву значень, ми отримуємо фільтр, який має виражену вибірковість по відношенню до елементів ма-

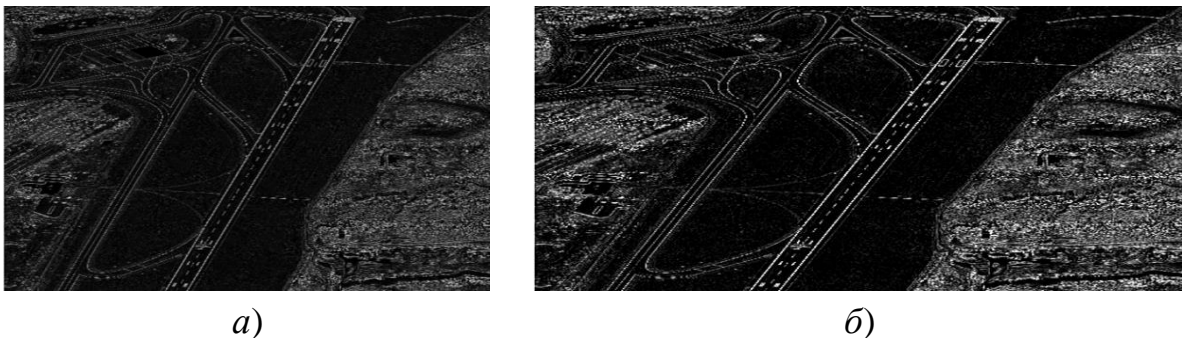


Рис. 5. а) – обробка нелокального усереднення, б) – модифікована обробка нелокального усереднення

сиву, що представляють собою немонотонну складову послідовності чисел в межах апертури фільтра. У той же час монотонну складову послідовності медіанне проходження залишає без змін. Завдяки цій особливості, медіанне проходження при оптимальних значеннях вибраної апертури зберігає без спотворення різкі межі об'єктів, зменшуючи некорельовані або слабо корельовані шуми і малорозмірні деталі.

4. Оцінка якості фільтрів

Запропоновані фільтри (Гаусівський фільтр, білатеральний фільтр, гранична м'яка вейвлет обробка, фільтр нелокального усереднення) були модифіковані (Мод.) поліхроматичною градацією, методом селективного згладжування, нерізким маскуванням та медіанним проходженням і опробуванні на знімках аеропорту міста Стокгольм (ESSA).

Оцінка зображень оброблених фільтрами здійснювалась на основі показників, що є об'єктивними оцінками якості зображень: контраст (Кон), повнота використання елементами зображення градацій яскравостей (ГЯ), середня різниця (СР), нормована кореляція (НК), якість кореляції (ЯК), максимальна різниця (МР), середньоквадратична похибка лапласіану (СкПЛ), середньоквадратична похибка (СкП), максимальна середньоквадратична похибка (МСП), нормована абсолютна похибка (НАП), нормована середньоквадратична похибка (НСкП), норма Мінковського (НМ), відношення сигнал/шум (ВСШ), максимум відношення сигнал/шум (МВСШ).

В табл. 1 наведені значення показників, що були обчислені для зображення, отриманого із використанням фільтрів.

Таблиця 1.

Показники якості зображень

	Кон	ГЯ	ЯК	МР	СкП	МВСШ
Оригінальний знімок	0.0158	1.3281	0.0102	0.0153	0.4181	-0.0021
Гаусівський фільтр	0.021	1.725	0.093	0.176	0.5	-0.0019
Мод. Гаусівський фільтр	0.022	1.756	0.092	0.173	0.6	-0.00195
Білатеральний фільтр	0.0137	1.366	0.065	0.16	0.497	-0.0019
Мод. білатеральний фільтр	0.014	1.4	0.075	0.15	0.52	-0.0019
Гранична м'яка вейвлет обробка	0.08	1.212	0.083	0.168	0.52	-0.0019
Мод. м'яка гранична	0.09	1.215	0.084	0.1701	0.52	-0.0018

	Кон	ГЯ	ЯК	МР	СкП	МВСШ
вейвлет обробка						
Обробка нелокального усереднення	0.010	1.423	0.049	0.083	0.35	-0.0016
Мод. обробка НУ	0.012	1.412	0.051	0.09	0.39	-0.0014

Дані табл. 1 свідчать, що оброблені зображення мають вищу інформативність, ніж первинне БСЗ та немодифіковані фільтри з позицій нормованих оцінок якості зображення. Модифікований Гаусівський фільтр краще використовувати для пошуку текстури трави, дерев та води, модифікований білатеральний фільтр – для пошуку споруд, машин, літаків та менших об'єктів (бочки, баки та контейнери).

Показано, що модифікована м'яка гранична вейвлет обробка, а також метод нелокального усереднення рівнянь є дуже важливими для покращення та виділення порогів контрастності зображення для оновлення (підсвічування) контурів об'єктів, адже після виділення контрастним порогом об'єкта ми зможемо описати його контур, будинок або дорога тощо.

Виявлено, що модифікований білатеральний фільтр може бути використано для знаходження малорозмірних об'єктів.

Висновки

Дослідження проведені в роботі на прикладі зображення аеропорту ESSA (Стокгольм), наданим компанією Jeppesen (США) показали, що після доповнення локальних методів фільтрації методом селективного згладжування, покращилося відношення сигнал/шум (зменшився вплив аналогових шумів) та розмиття контурів об'єкта майже не впливає на інформативність, що підвищило розпізнавальну здатність та дало можливість чітко виділити об'єкт (злітну смугу).

Нелокальний метод в поєднанні з медіанним проходженням дав можливість ефективно видаляти з зображення шум, не впливаючи на окремі пікселі. Медіанне проходження при оптимальних значеннях вибраної апертури зберігає без спотворення різкі межі об'єктів, зменшуючи некорельовані або слабо корельовані шуми і малорозмірні деталі.

Метод м'якої граничної вейвлет обробки модифікований нерізким маскування вводить нові ознаки контурів, розділяючи на зображенні чорне та біле поля, значення тону яких відповідає ознакам "біліше білого" і "чорніше чорного", ця властивість приводить до утворення чіткої середньої лінії злітної смуги.

Використання модифікованих фільтрів покращило дешифрувальний стан зображень, а саме підвищило контрастність, поліпшило градаційну

структуру, зменшило вплив шумів на оригінальне зображення, що дало можливість розрізняти малорозмірні об'єкти, які не можна було спостерігати на оригінальних знімках, та виділяти об'єкти з тепловими аномаліями та об'єкти, що несуттєво відрізняються за кольором у видимому діапазоні на оригінальних знімках.

Список використаної літератури

1. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування // за ред. В. І. Лялько та М. О. Попова./ — К. : Наук. думка, 2006. — 360 с.
2. *Гецелян Д.* Векторизация растрових зображень //Д. Гецелян / Пространственные данные. – 2009. - № 3. – С. 36 - 43.
3. *Шовенгердт Р. А.* Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений: Пер. с англ. // Р. А. Шовенгердт/ – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.
4. *Tomasi C.* Bilateral Filtering for Gray and Color Images //С. Tomasi and R. Manduchi / in Proc. 6th Int. Conf. Computer Vision, New Delhi, India. – 1998.
5. *Yaroslavsky L. P.* Digital Picture Processing. An Introduction // L. P. Yaroslavsky / Berlin-HeidelbergNew York, Springer-Verlag. – 1985. – P. 276.
6. *Прэтт У. К.* Цифровая обработка изображений //У. К. Прэтт / М.: Мир. – 1982. – P. 523.
7. *Wang Y.* A Total Variation Wavelet Algorithm for Medical Image Denoising //Y. Wang and H. M. Zhou/ The International Journal on Biomedical Imaging, Volume 2006, article ID 89095. – 2006. – P. 6.
- A. *Buades A.* Non-Local Algorithm for Image Denoising //A. Buades, B. Coll, and J.-M. Morel / In Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2. – 2005. – P. 605.
8. *Smith S. M.* Susan – a new approach to low level image processing //S. M. Smith and J. M. Brady / International Journal of Computer Vision Vol 23(1). – 1997. – P. 45-78.
9. *Perona P.* Scale space and edge detection using anisotropic diffusion //P. Perona and J. Malik / IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell. – 1990. – P. 629-639.
10. *Donoho D.* Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage //D. Donoho, I. Johnstone / Biometrika, vol. 81. – 1994. – P. 425–455.
11. *Ганжа А. П.* Виділення контурних ліній на знімках дистанційного зондування Землі //А. П. Ганжа, О. В. Збруцький, В. Я. Канченко / Наук.-тех. збірник “Інформаційні системи, механіка та керування”, Випуск 1, Київ, 2008. – С. 5–16.
12. *Ганжа А. П.* Автоматизація геокодування знімків дистанційного зондування Землі //А. П. Ганжа, О. М. Глущенко / Пятая Украинская

конференція по космическим исследованиям, 2005г.: сб. тезисов – НЦУИКС, Евпатория, 2005. – С. 51–52.

13. Бузовский О. В. Компьютерная обработка изображений //О. В. Бузовский, А. А. Болдак, М. Х. Мохаммед Руми./ – К.: Корнійчук, 2001. – 180 с.