

УДК 004.93'11

О.О. Пікенін, аспірант,
О.П. Мариношенко, канд. техн. наук, доц.,
О.В. Прохорчук, канд. техн. наук, доц.,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна
pikenaleksey@gmail.com

Цифрова фільтрація багатоспектральних зображень для пошуку та визначення опорних точок навігаційних орієнтирів

Використання цифрових методів для обробки знімків ДЗЗ дозволяє автоматизувати процес виділення потрібної інформації (ідентифікації навігаційних орієнтирів), на фоні загального зображення земної поверхні. Для успішного вирішення цієї задачі необхідно використання сучасного математичного апарату з нетрадиційних для задач навігації галузей знань та забезпечення реалізації алгоритмів в автоматичному режимі. Це: попередня обробка знімку ДЗЗ, яка потребує залучення цифрових методів обробки зображень; пошук і виділення сигналів певних типів та ідентифікація знайдених сигналів за каталогом навігаційних сигналів; залучення методів теорії розпізнавання образів для ідентифікації елементів зображень за каталогом еталонів. Метою роботи є розробка картографічної бази даних на основі модифікованих фільтрів та алгоритмів обробки зображень з використанням багатоспектральних знімків земної поверхні.

Ключові слова: спектральні зображення, безпілотний літальний апарат, навігаційні орієнтири, фільтри, обробка зображень, ДЗЗ.

Вступ

Одним з актуальних напрямків у розвитку сучасних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є розробка систем навігації, що забезпечують можливість їх автономного функціонування. Системи візуальної навігації засновані на порівнянні і ідентифікації зображень наземних орієнтирів (запомнених еталонів з відомими координатами) з поточними зображеннями підстильної поверхні, одержуваними на борту БПЛА. Системи візуальної навігації є автономними, але мають істотні обмеження щодо застосування, пов'язані зі складністю зіставлення еталонних і поточних зображень, одержуваних при різних умовах спостереження.

Системи візуальної навігації або системи дистанційного зондування землі є автономними, але мають суттєві обмеження щодо застосування, пов'язані зі складністю зіставлення еталонних і поточних зображень, одержуваних при різних умовах спостереження. 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]-[8]. 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.

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.

Спостережуване зображення можна математично записати наступним чином (1):

$$v(i) = u(i) + n(i) \quad (1)$$

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

Для опрацювання спостережуваної території було виконано серію ортофотопланових польотів для створення карти моніторингу місцевості на висоті 85 метрів (рис. 1) та на висоті 500 метрів (рис. 2).

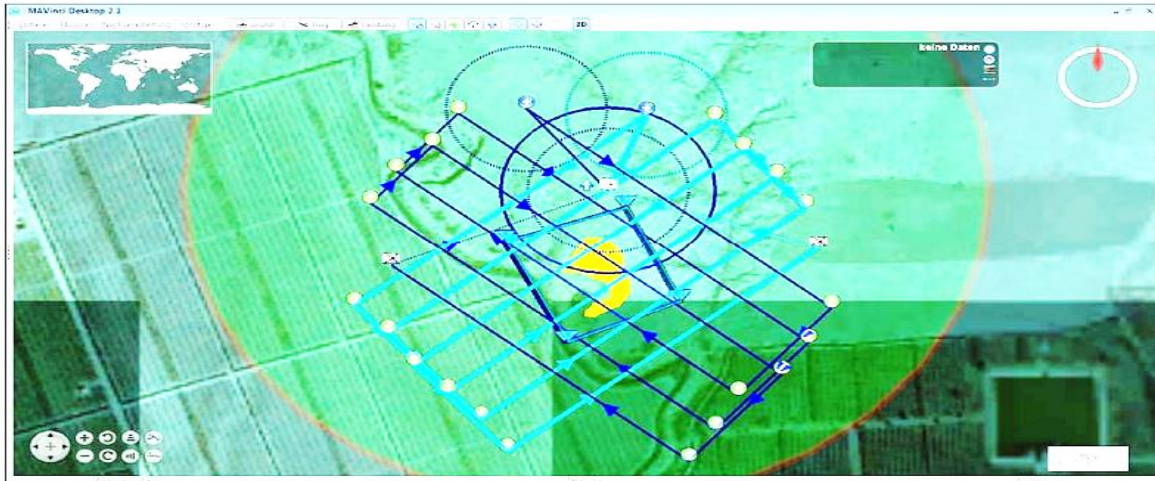


Рисунок 1 - План польоту для малого місця проведення дослідження (85 м висота польоту). Перемінно затінені сині лінії, два послідовних плани польотів, які зміщені та повернуті друг проти друга для того щоб повністю охопити невелику ділянку

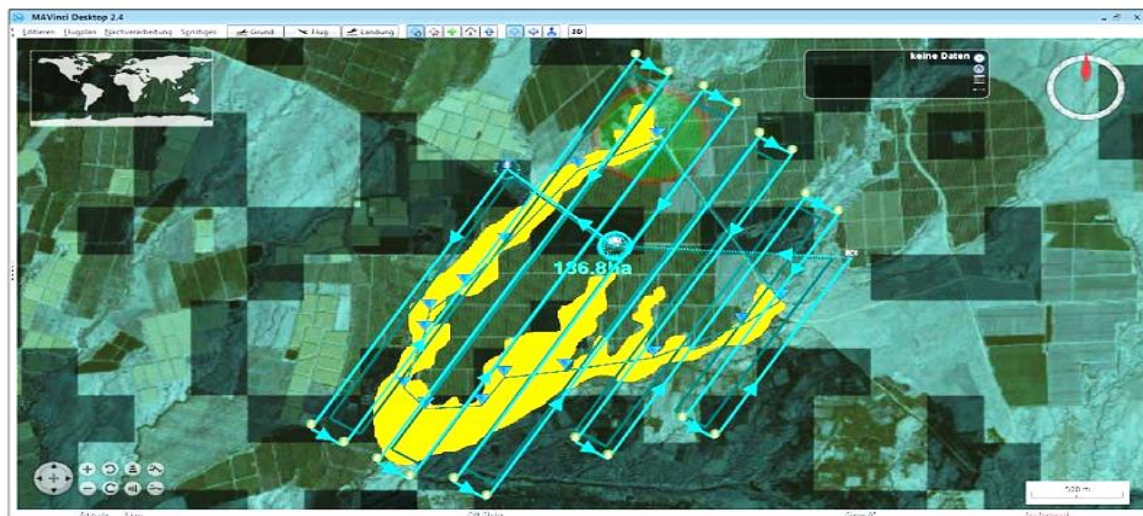


Рисунок 2 - План польоту для великого місця проведення дослідження (500 м висоти польоту)

В якості об'єкту дослідження розглядається зображення аеропорту ESSA (Стокгольм), наданим компанією Jerpesen (США) (рис. 3). Для подальшої

роботи над знімком створюємо поліхроматичну градацію сітки знімку (рис. 4).

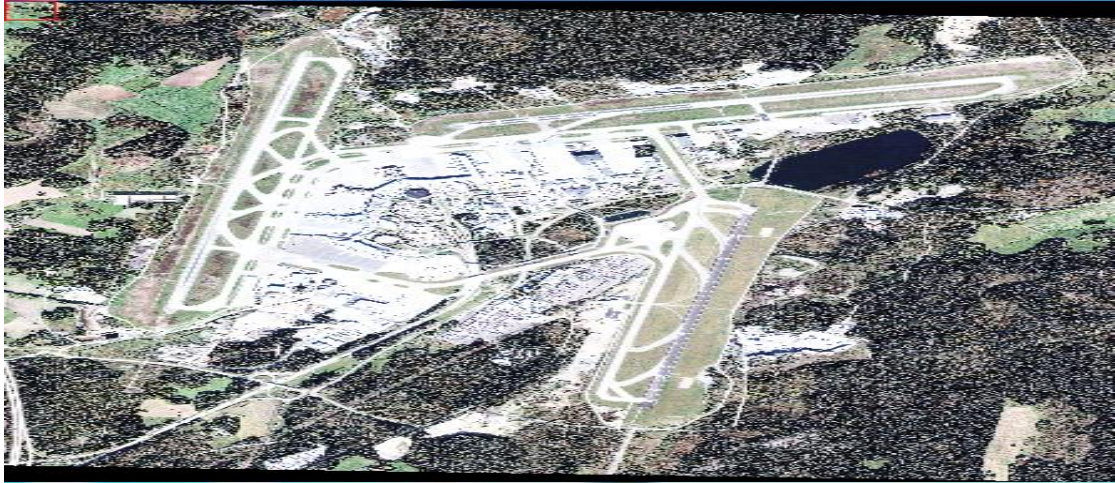


Рисунок 3 - Вхідне необроблене БСЗ аеропорту ESSA (Стокгольм)

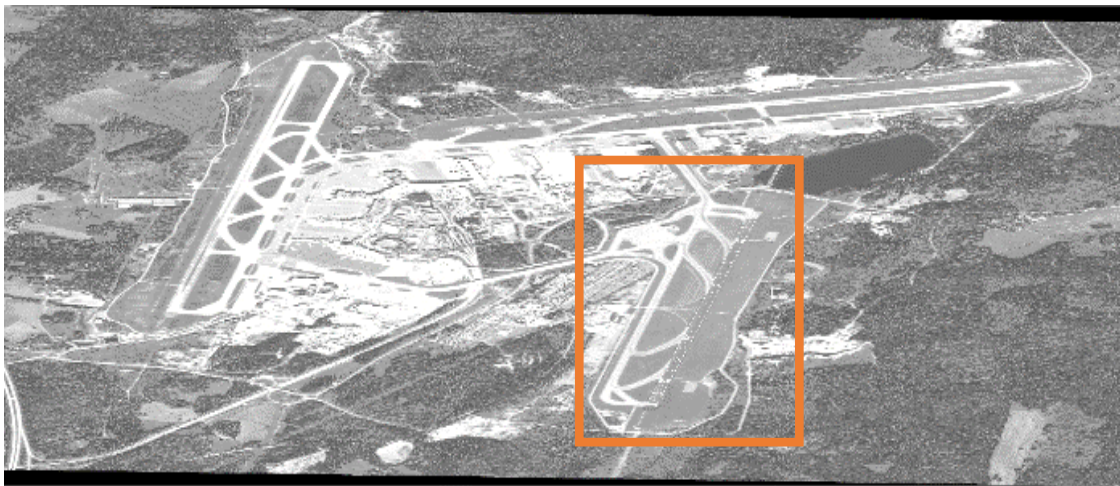


Рисунок 4 - Поліхроматичне зображення аеропорту ESSA (Стокгольм) (прямокутником виділена частина знімка, яка буде оброблюватись фільтрами)

Методи фільтрації зображень

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

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.

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, 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 (3):

$$G_h \square n(0) = \sum_{i \in I} \int_{P_i} G_h(x) n(x) dx = \sum_{i \in I} \epsilon^2 G_h(i) n_i, \quad (3)$$

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 (4):

$$B(x) = \frac{1}{C(x)} \sum_{y \in N(x)} e^{-\frac{\|y-x\|^2}{2\sigma_d^2}} e^{-\frac{|u(y)-u(x)|^2}{2\sigma_r^2}} u(y), \quad (4)$$

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

інтенсивності, $N(x)$ – просторовий окіл пікселя $u(x)$. 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. 5). Гаусівський фільтр, модифікований Гаусівський фільтр, а також на (рис. 6). білатеральний фільтр (БФ) та модифікований білатеральний фільтр, в яких розмір вікна околу варіювався для збільшення інформативності досліджуваного зображення.



Рисунок 5 - (а) – обробка Гаусівським фільтром, (б) – обробка модифікованим Гаусівським фільтром



Рисунок 6 - (а) - обробка білатеральним фільтром, (б) - обробка модифікованим білатеральний фільтром

Як бачимо з рис. 5. (а) та рис. 6. (б), 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. 5. (б) та рис. 6. (б), було встановлено, що після введення методу селективного згладжування та виділення порогу контрасту, інформативність підвищилась у порівнянні зі звичайним фільтром Гауса, про що свідчать чисельні показники (табл. 1).

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:

$v_B(a) = \langle v, g_a \rangle, u_B(a) = \langle u, g_a \rangle, n_B(a) = \langle n, g_a \rangle$ як скалярні добутки, тоді $v_B(a) = u_B(a) + n_B(a)$ трансформований шумовий процес.

Гранична вейвлет обробка

Для забезпечення кращої якості зображення метод м'якої граничної вейвлет обробки було модифіковано нерізким маскуванню [8]. Нерізде маскуванню вводить нові ознаки контурів, розділяючи

на зображенні чорне та біле поля, значення тону яких відповідає ознакам "біліше білого" і "чорніше чорного". Гранична вейвлет обробка [7] була представлена Д. Донохо [8]. Нехай $B = \{g_a\}_{a \in A}$ буде ортогональним вейвлет базисом. Для визначення μ вибирається певний поріг m , тобто (5):

$$a(a) = \begin{cases} 1 & |v_B(a)| > \mu \\ 0 & |v_B(a)| \leq \mu \end{cases} \quad (5)$$

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. Покажемо на (рис. 7) фільтр граничної вейвлет обробки та модифікований фільтр, який використовує м'яку граничну вейвлет обробку.

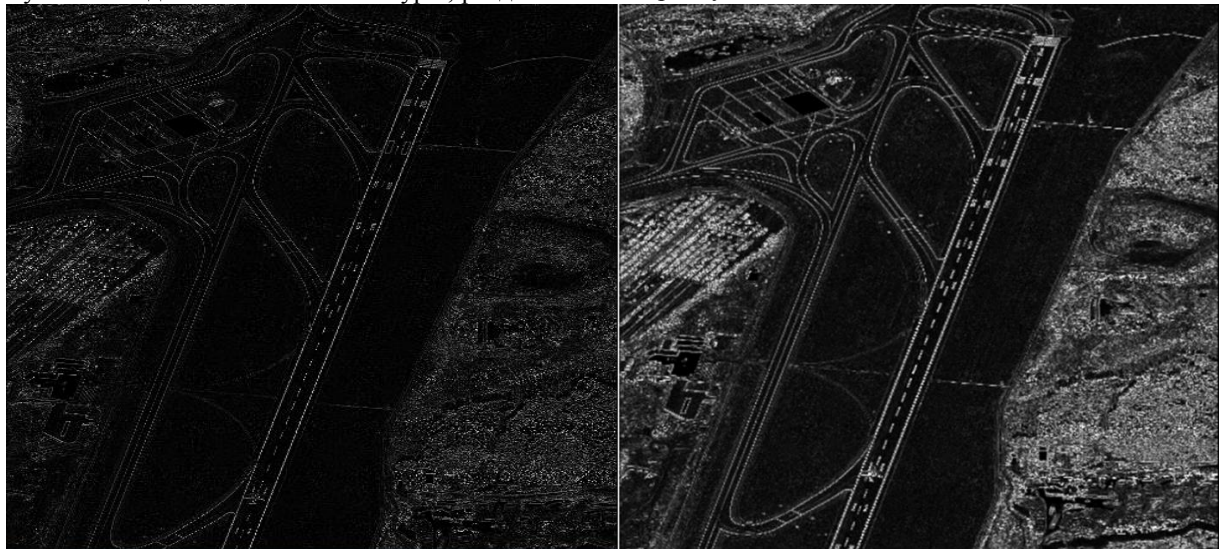


Рисунок 7 - (а) - гранична вейвлет обробка,

(б) - обробка модифікованим фільтром м'якої граничної вейвлет обробки

Як видно з рис. 7. (а) та рис. 7. (б) м'яка гранична вейвлет обробка має дуже якісну частотно-просторову локалізацію и 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 маскуванню показана в розділі оцінки якості фільтрів, табл.1.

Алгоритм нелокального усереднення

Нелокальний метод в поєднанні з медіанним проходженням [6] дає можливість ефективно видаляти з зображення шум, не впливаючи на окремі пікселі.

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):

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

значення в пікселі i . Подібність між двома пікселями i та j залежить від подібності інтенсивностей сірого рівня векторів $v(N_i)$ та $v(N_j)$ [8]. Покажемо на (рис. 8) фільтр нелокального усереднення (НУ) та його модифікований варіант.

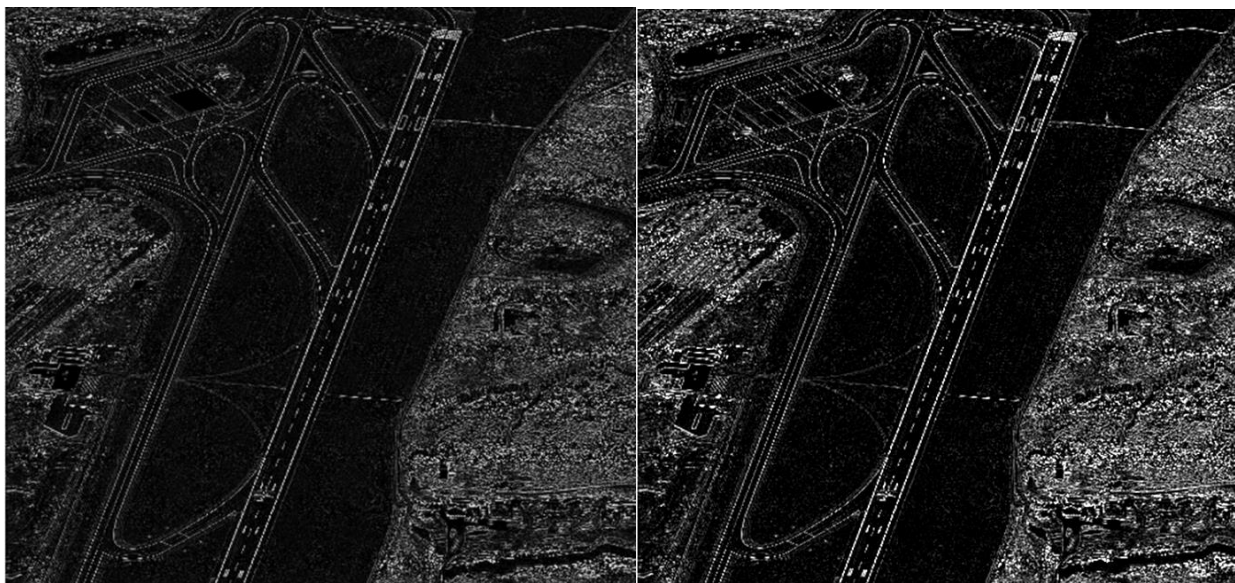


Рисунок 8 - (а) - обробка нелокального усереднення, (б) - модифікована обробка нелокального усереднення

Як видно з рис. 8. (а) та рис. 8. (б), доповнивши метод нелокальної фільтрації медіанним проходженням елементів масиву значень, ми отримуємо фільтр, який має виражену вибірковість по відношенню до елементів масиву, що представляють собою немонотонну складову послідовності чисел в межах апертури фільтра. У той же час монотонну складову послідовності медіанне проходження залишає без змін.

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 опробовані 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), якість кореляції (ЯК), максимальна різниця (МР), середньоквадратична похибка лапласіану (СкПЛ), середньоквадратична похибка (СкП), максимум відношення сигнал/шум (МВСШ). В табл. 1 наведені значення показників, що були обчислені для зображення, отриманого із використанням фільтрів.

Метод оцінки інформативності зображення шляхом знаходження інформативних точок. Добротність - відношення амплітуди головного максимуму до середньої амплітуди фону (6).

$$Q = \frac{\max |s(\mathbf{x})|}{\langle |s(\mathbf{x})| \rangle} \quad (6)$$

Залежність добротності від розміру та роздільної здатності зображень показано на рис. 9. Для кожної умови спостереження і для об'єкта були побудовані умовні щільності розподілу ознак математичного очікування й дисперсії яскравості. На рис. 10 представлені отримані поверхні.

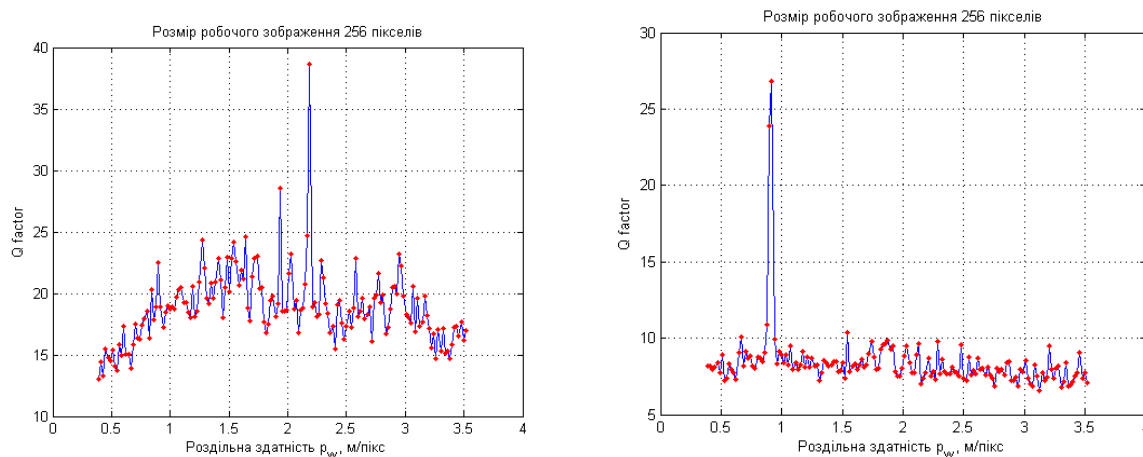


Рисунок 9 - Оцінка добротності спостережуваного зображення (а) та обробленого модифікованим фільтром нелокального усереднення (б)

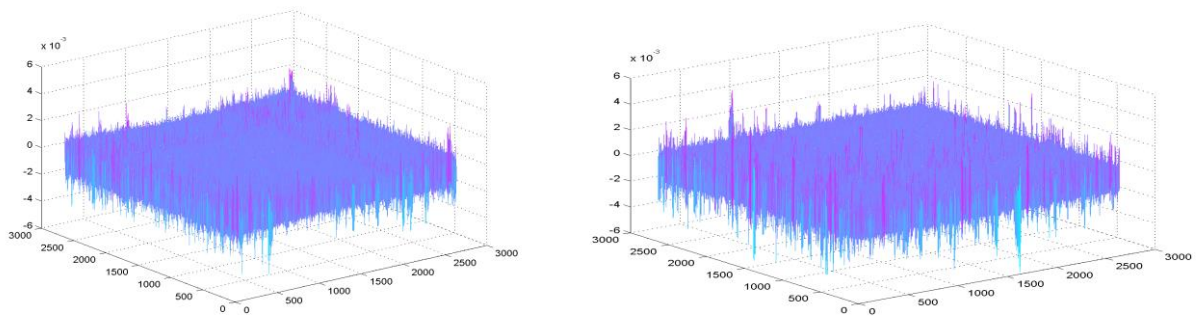


Рисунок 10 - Щільність інформативних точок на спостережуваному зображенні (а) та обробленого модифікованим фільтром нелокального усереднення (б)

Таблиця 1 - Показники, обчислені для зображення, отриманого із використанням фільтрів.

	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	-0.0019
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 вейвлет обробка	0.09	1.215	0.084	0.1701	0.52	-0.0018
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 і т. п. Виявлено, що модифікований білатеральний фільтр може бути використано для знаходження малорозмірних об'єктів.

Виділення контурів доріг на загальному знімку

За допомогою поєднання методу трас і комбінаторного методу, провести ідентифікацію точок масиву *A* за точками масиву *B* (рис. 11). та знайти параметри перетворення між координатами точок контурів реального та змодельованого знімків ДЗЗ.

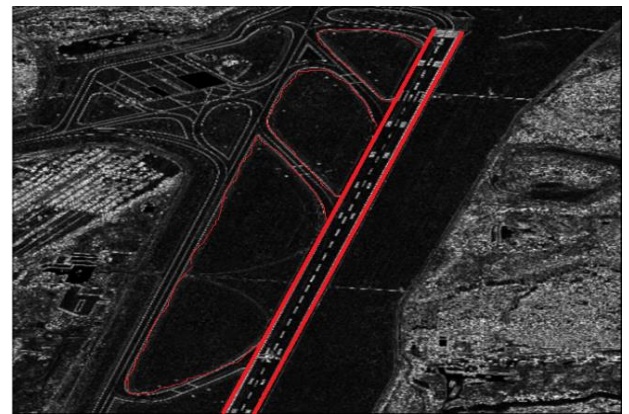


Рисунок 11 - Процес ідентифікації контурів

Провівши ідентифікацію контурів з урахування параметрів навігаційних орієнтирів та утворимо нові контури навігаційних орієнтирів (рис. 12).

Результат повного суміщення точок масиву це отримана інфраструктура всіх доріг та злітних смуг аеропорту (рис. 13).

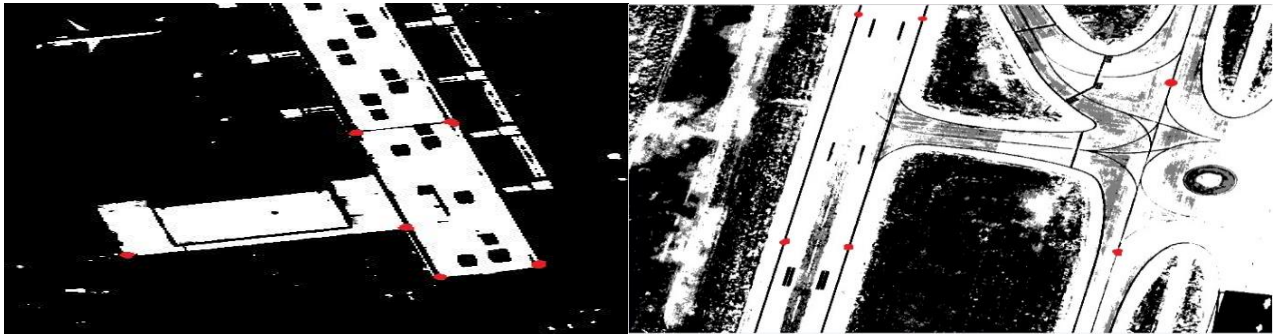


Рисунок 12 - Процес ідентифікації контурів



Рисунок 13 - Контури інфраструктури доріг аеропорту

Доведення процедури ідентифікації контурів знімка за їх картографічними образами у вигляді задачі суміщення точкових зображень дозволило створити надійний механізм ідентифікації елементів знімку дистанційного зондування Землі на основі картографічних даних об'єктів земної поверхні.

Висновки

При аналізі зображень важливою їх характеристикою служить текстура, яка присутня у всіх зображеннях, починаючи з зображень, одержуваних за допомогою БПЛА і супутникових пристроїв.

Один з аспектів текстури пов'язаний з просторовим розподілом і просторової взаємозалежністю значень яскравості локальна області зображення. Статистики просторової взаємозалежності значень яскравості обчислюються за матрицями переходів значень яскравості між найближчими сусідніми точками. Матриця суміжності рівнів яскравості являє собою оцінку щільності розподілу ймовірностей другого порядку, що щільність ймовірності залежить лише від розташування двох пікселів. Цілком очевидно, що такі матриці містять інформацію, що характеризує текстуру. По матриці суміжності обчислюється близько двадцяти ознак, такі як ступінь однорідності, максимальна ймовірність, контраст та інші.

Обчислюючи ознаки для різних зображень, можна отримати багатовимірний вектор ознак текстур. Такі ознаки чітко пов'язані з візуальними особливостями текстури і використовуються для пошуку схожих зображень.

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. C. Tomasi Bilateral Filtering for Gray and Color Images / C. Tomasi and R. Manduchi // in Proc. 6th Int. Conf. Computer Vision, New Delhi, India. – 1998.
5. L.P. Yaroslavsky Digital Picture Processing. An Introduction / L.P. Yaroslavsky // Berlin-HeidelbergNew York, Springer-Verlag. – 1985. – P. 276.
6. У. К. Прэрт Цифровая обработка изображений / У. К. Прэрт // М.: Мир. – 1982. – P. 523.
7. Y. Wang 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.
8. A. Buades 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.

Надійшла до редакції 12.10.2015

О.О. ПІКЕНІН, О.П. МАРИНОШЕНКО, О.В. ПРОХОРЧУК,

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

ЦИФРОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ПОИСКА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПОРНЫХ ТОЧЕК НАВИГАЦИОННЫХ ОРИЕНТИРОВ

Использование цифровых методов для обработки снимков ДЗЗ позволяет автоматизировать процесс выделения нужной информации (идентификации навигационных ориентиров), на фоне общего изображения земной поверхности. Для успешного решения этой задачи необходимо использование современного математического аппарата из нетрадиционных для задач навигации отраслей знаний и обеспечения реализации алгоритмов в автоматическом режиме. Это: предварительная обработка снимка ДЗЗ, которая требует привлечения цифровых методов обработки изображений; поиск и выделение сигналов определенных типов, и идентификация найденных сигналов по каталогу навигационных сигналов; привлечение методов теории распознавания образов для идентификации элементов изображений по каталогу эталонов. Целью работы является разработка картографической базы данных на основе модифицированных фильтров и алгоритмов обработки изображений с использованием многоспектральных снимков земной поверхности.

Ключевые слова: спектральные изображения, беспилотный летательный аппарат, навигационные ориентиры, фильтры, обработка изображений, ДЗЗ.

О.О. PIKENIN, O.P. MARINOSHENKO, O.V. PROHORCHUK

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

DIGITAL FILTRATION OF MULTISPECTRAL IMAGES FOR SEARCH AND DEFINITIONS OF REFERENCE POINTS OF NAVIGATION LANDMARKS

Using digital techniques for remote sensing image processing allows you to automate the process of allocating the necessary information (identification of the navigational landmarks), with the overall image of the Earth's surface. The successful solution of this problem requires the use of modern mathematical apparatus of non-traditional fields of knowledge navigation problems and the implementation of algorithms in automatic mode. These are: pre-processing of remote sensing image, which requires the use of digital image processing techniques; Search and selection signals and identification of certain types of signals found in the catalog of navigation signals; Involvement of pattern recognition techniques to identify items in the catalog of image standards. The aim is to develop a map database based on modified filters and image processing algorithms using multispectral images of the earth's surface.

Keywords: spectral imaging, unmanned aerial vehicle, navigational aids, filters, image processing, remote sensing.