

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЦІЛЕЙ В УМОВАХ СИЛЬНОЇ ЗАШУМЛЕНOSTІ, ЗУМОВЛЕНОЇ АТМОСФЕРНИМИ ЯВИЩАМИ, НА ОСНОВІ ТЕПЛОВИХ ПОРТРЕТІВ

Оксана Оборська¹, Степан Лис²

¹ Національний університет “Львівська політехніка”,
Кафедра систем автоматизованого проектування, Львів, Україна,

² Національний університет “Львівська політехніка”,
Кафедра інформаційних систем та мереж, Львів, Україна,

¹ E-mail: oksana.v.oborska@lpnu.ua, ORCID: 0009-0001-0825-1379

² E-mail: stepan.y.lys@lpnu.ua, ORCID: 0009-0007-8549-4845

© Оборська О., Лис С., 2025

У статті розглянуто проблему ідентифікації об'єктів за тепловими портретами в умовах сильної зашумленості, зумовленої атмосферними явищами, що є критичною для багатьох галузей, включаючи військову справу, безпеку, пошуково-рятувальні операції та промисловість. Основна увага приділяється аналізу сучасних методів компенсації впливу атмосферних факторів, таких як туман, дощ, пил і температурні коливання, які значно знижують якість теплових зображень. Проаналізовано основні підходи до компенсації зашумленості, включаючи методи фільтрації зображень, математичні моделі теплопереносу, мультиспектральні сенсори, алгоритми на основі машинного навчання та гібридні системи. Особливий акцент зроблено на алгоритмах атмосфери компенсації в межах сцени та розширення фільтра Калмана, які дозволяють ефективно адаптуватися до змінних умов і забезпечувати високу точність аналізу. Описано основні переваги та недоліки кожного методу, акцентуючи увагу на їхній практичній реалізації.

Ключові слова – тепловий портрет, атмосферні явища, зашумленість, ціль, ідентифікація цілі, алгоритм атмосфери компенсації в межах сцени, алгоритм розширення фільтра Калмана.

Постановка проблеми

Сучасні технології ідентифікації об'єктів активно розвиваються у багатьох галузях, від безпеки до наукових досліджень. Одним із перспективних підходів є використання теплових портретів, які дозволяють визначати об'єкти за їх тепловими характеристиками, навіть у складних умовах. Однак, у реальних сценаріях зображення може бути значно зашумлене через атмосферні явища, що ускладнює точність та відмовостійкість таких систем.

Шуми, зумовлені атмосферними явищами, створюються через численні фактори, такі як туман, дощ, дим, пил і температурні коливання. Ці чинники знижують якість термографічних даних, вводять спотворення та перешкоди, які можуть завадити ідентифікації цілей. Це є критичною проблемою для таких систем, особливо у військових застосунках, охоронних технологіях або пошуково-рятувальних операціях, де час і точність мають вирішальне значення.

У сучасних системах автоматизованої ідентифікації цілей з використанням тепловізійних засобів спостереження в умовах природного середовища критичним залишається вплив завад, що істотно знижують достовірність результатів. Основними джерелами зашумленості в інфрачервоному діапазоні є метеорологічні чинники — туман, опади, запиленість повітря, температурні градієнти та турбулентність. Їх наявність призводить до втрати контрастності зображень, зміщення температурного фону та порушення просторової структури теплових контурів об'єктів.

Існуючі методи компенсації таких впливів, зокрема цифрова фільтрація, алгоритми попередньої нормалізації зображень, а також засоби сегментації на основі класичних ознак, демонструють прийнятні результати лише в умовах слабкої або помірної зашумленості. В умовах сильної зашумленості, коли інтенсивність атмосферних перешкод перевищує поріг чутливості тепловізійного сенсора, ефективність традиційних підходів різко знижується. Крім того, методи машинного навчання, які активно впроваджуються в останні роки, значною мірою залежать від репрезентативності навчальних вибірок. У випадку тепловізійних даних, зібраних в екстремальних атмосферних умовах, формування таких вибірок є технічно складним і вимагає значних ресурсних витрат.

У зв'язку з вищезазначеним, науково-практичну актуальність становить розробка методів ідентифікації цілей за тепловими портретами, адаптованих до дії сильних атмосферних завад. Особливий інтерес викликає підхід, заснований на використанні гібридних сенсорних систем (наприклад, тепловізійного та оптичного діапазонів), поєднаних із алгоритмами глибинного навчання, що забезпечують адаптацію до змінних умов середовища та підвищують точність ідентифікації.

Таким чином, формулювання задачі зводиться до розроблення математичних методів та обчислювальних алгоритмів, здатних забезпечити достовірну ідентифікацію об'єктів за їх тепловими портретами в умовах значного зашумлення, зумовленого атмосферними явищами, з урахуванням обмежень апаратних ресурсів і необхідності опрацювання в реальному часі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Зашумленість теплових зображень є важливим фактором, який впливає на точність і достовірність отриманих даних під час використання тепловізійних систем. Джерела шумів можуть мати як природний, так і техногенний характер, залежачи від умов навколишнього середовища та властивостей об'єктів спостереження.

Одним із ключових джерел зашумленості є атмосферні умови. Атмосфера, як складне середовище, може поглинати, розсіювати та відбивати інфрачервоне випромінювання, що значно ускладнює формування теплових зображень. Вологість повітря, туман, дощ або сніг спричиняють значне поглинання інфрачервоних хвиль водяною парою та краплями рідини. Це знижує контрастність і деталізацію зображення, особливо у випадках, коли дистанція між тепловізійною системою та об'єктом є значною. Аналогічно, пил і дим у повітрі викликають розсіювання випромінювання, що призводить до додаткових спотворень (Rodgers, 2023).

Ще одним джерелом зашумленості є відбиття інфрачервоного випромінювання від поверхонь навколишніх об'єктів. Гладкі поверхні, такі як скло, полірований метал або вода, можуть відбивати інфрачервоне випромінювання, створюючи хибні сигнали на тепловому зображенні. Це явище особливо актуальне в міських умовах, де велика кількість штучних матеріалів і джерел тепла утворює складний тепловий фон. Відбиття може також призводити до появи «теплових фантомів» — сигналів, що не відповідають реальним джерелам тепла, але виникають внаслідок відбитого випромінювання.

Власне випромінювання атмосфери також є вагомим джерелом шуму. Воно виникає через теплову активність частинок газів, зокрема водяної пари та вуглекислого газу. Це випромінювання накладається на сигнал, що надходить від об'єкта, і може призводити до втрати точності виявлення температурних аномалій. Інтенсивність цього виду шуму зростає в умовах підвищеної вологості та за наявності хмарного покриву. Шуми можуть також виникати через теплове випромінювання навколишніх об'єктів. Сонячне нагрівання поверхонь, особливо вдень, створює значні температурні градієнти, які впливають на загальний тепловий фон. Такі джерела можуть перекривати теплові сигнали від менш інтенсивних об'єктів або змінювати їх контрастність. Важливим фактором є і взаємодія між випромінюванням різних об'єктів, що може створювати складний для аналізу тепловий патерн. Додаткові шуми вносяться самою тепловізійною системою. Внутрішні електронні шуми детекторів, похибки під час цифрового опрацювання сигналу та температурна нестабільність елементів системи можуть спричиняти спотворення зображення. Особливо це стосується неохолоджуваних детекторів, чутливість яких до зовнішніх впливів є вищою. Отже, зашумленість

теплових зображень є результатом комплексної взаємодії атмосферних умов, властивостей навколишніх об'єктів та технічних характеристик тепловізійних систем. Розуміння природи шумів і їх джерел є важливим для підвищення точності тепловізійного аналізу, зокрема шляхом розроблення методів їх компенсації та опрацювання даних (Schott, 2022).

Теплові зображення, що відображають розподіл температурних полів об'єктів, є потужним інструментом дослідження в широкому спектрі наукових і технічних галузей. Їх застосування ґрунтується на принципі вимірювання інфрачервоного випромінювання, яке є невід'ємною характеристикою будь-якого тіла з ненульовою температурою. Однак, якість та інформативність отриманих теплових зображень значною мірою залежать від комплексу факторів, пов'язаних як з характеристиками самого об'єкта дослідження, так і з умовами проведення експерименту (Рис.1).



Рис. 1. Порівняння зображень з камери і тепловізора в хорошу погоду

Одним з ключових факторів, що впливають на формування теплового зображення, є характер взаємодії інфрачервоного випромінювання з середовищем, через яке воно поширюється. Атмосферні умови, зокрема вологість, тумани, дощі та снігопади, здатні значною мірою поглинати або розсіювати інфрачервоне випромінювання, що призводить до зниження контрастності зображення та втрати деталей. Крім того, температура повітря відіграє важливу роль у формуванні теплового контрасту між об'єктом і фоном (Рис.2).

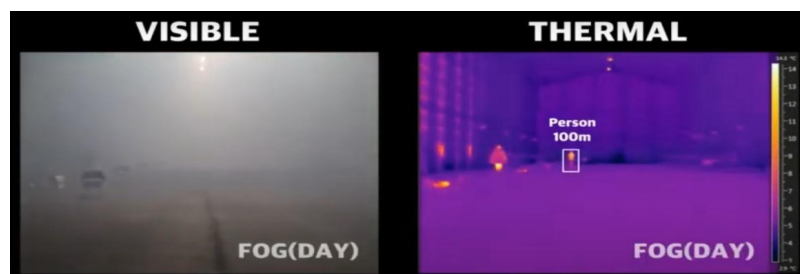


Рис. 2. Порівняння зображень з камери і тепловізора в сильний туман.

Тип об'єкта дослідження також суттєво впливає на характер теплового зображення. Розміри, форма, матеріал та температура об'єкта визначають інтенсивність і спектральний склад випромінювання, що ним випускається. Так, наприклад, металеві поверхні, як правило, мають низьку емісійну здатність в інфрачервоній області спектра, що ускладнює їх виявлення на теплових зображеннях. Рухомі об'єкти, завдяки зміні свого теплового профілю в часі, легше виявляються на тлі стаціонарного фону (Gao, Montes, Davis, & Goetz, 2023).

Іншим важливим фактором є фонове випромінювання. Наявність яскравих джерел інфрачервоного випромінювання в полі зору тепловізора може призводити до перенасичення детектора і, як наслідок, до втрати інформації про об'єкт дослідження (Schott, 2022).

Таким чином, інтерпретація теплових зображень (Richards, & Jia, 2023) є досить складним завданням, що вимагає глибокого розуміння фізичних процесів, які лежать в основі їх формування. Для отримання достовірних і інформативних даних необхідно враховувати широкий спектр факторів, що впливають на якість теплових зображень (Gao, & Zhang, 2023).

Формулювання цілі статті

Метою цієї статті є дослідження сучасних методів компенсації атмосферних впливів на теплові портрети з метою покращення точності ідентифікації цілей в умовах сильної зашумленості атмосфери. Стаття зосереджується на вивченні існуючих підходів до корекції зашумленості, аналізі їх обмежень та пропозиції нових, більш ефективних методів, які можна впровадити в сучасні тепловізійних системах для забезпечення надійної ідентифікації об'єктів у складних атмосферних умовах. Пропонується розробити та перевірити нові підходи, що зможуть підвищити ефективність тепловізійних систем в умовах сильних атмосферних зашумлень.

Виклад основного матеріалу

Компенсація атмосферних впливів на теплові портрети є складною задачею, що передбачає врахування динамічних змін фізичних параметрів атмосфери, таких як температура, вологість та щільність. Ці параметри впливають на передачу інфрачервоного випромінювання, що є основою теплових зображень.

Алгоритм внутрішньосценової атмосферної компенсації (ISAC) — це обчислювальний метод, що використовується переважно в дистанційному зондуванні та гіперспектральній зйомці. Його основна мета — коригувати атмосферні впливи у межах спостережуваної сцени для покращення точності отриманих характеристик поверхні, таких як відбивна здатність. Це особливо важливо для гіперспектральних або мультиспектральних даних, де атмосферне розсіювання та поглинання можуть суттєво спотворювати спектральні сигнатури об'єктів на поверхні. ISAC потребує лише каліброваних даних випромінювання на апертурі для оцінки висхідного випромінювання та прозорості атмосфери шляхом розв'язання рівняння (1), яке виведено із загального рівняння переносу випромінювання для випромінювання на апертурі, з припущенням, що об'єкти з найвищим випромінюванням є чорними тілами або подібними до чорних тіл (Young, Johnson, & Hackwell, 2022).

$$L_{obs} = \tau B(T) + L_u, \quad (1)$$

де L_{obs} — це спостережуване випромінювання на апертурі; τ — це прозорість атмосфери; $B(T)$ — функція Планка; L_u — висхідне випромінювання, зумовлене атмосферою.

Метод атмосферної компенсації в межах сцени (ISAC) оцінює випромінювання, що залишає земну поверхню, на основі температури яскравості кожного пікселя гіперспектрального зображення (Zhu, X., & Milanfar, P., 2024). Для кожного спектрального каналу (тобто окремої довжини хвилі або "смуги" гіперспектру) будується графік розсіювання. По осі абсцис відкладається значення функції Планка, обчислене для температури яскравості пікселя, а по осі ординат — виміряне сенсором випромінювання для цього ж пікселя. У верхній частині такого графіка переважно знаходяться пікселі, емісійність яких близька до 1 (тобто практично чорні тіла). Саме для цієї верхньої межі графіка виконується апроксимація прямою лінією методом найменших квадратів. Нахил цієї прямої відповідає атмосферній прозорості, а її перехоплення з віссю ординат — висхідному атмосферному випромінюванню. Оцінені значення прозорості та висхідного випромінювання використовуються для оберненої задачі — тобто для реконструкції випромінювання, що залишає поверхню Землі, на основі випромінювання, яке було зафіксоване сенсором, для кожного пікселя в гіперспектральному кубі (Li, Kwok, & Wang, 2022).

На відміну від методів, які потребують зовнішніх даних для калібрування, ISAC отримує параметри компенсації атмосфери безпосередньо з аналізованої сцени. Це робить його корисним у випадках, коли допоміжні атмосферні дані (наприклад, дані метеостанцій або радіозондів) недоступні. На рис. 4 продемонстровано роботу алгоритму ISAC, який застосовується для покращення аналізу сцени в умовах атмосферних перешкод, таких як туман.

Для ускладнення задачі на вихідне зображення було штучно додано симуляцію туману. Цей туман моделює атмосферні ефекти, які знижують контрастність і видимість об'єктів. Основна мета алгоритму ISAC полягає у компенсації цих впливів для відновлення інформативності сцени (Zhu, & Milanfar, 2024).

У цьому випадку алгоритм успішно виділив ключовий об'єкт — автомобіль і відокремив його від менш важливих елементів, таких як рослинність та фон. Завдяки цьому вдалося зберегти інформацію про структуру і термічні характеристики автомобіля, навіть у складних умовах видимості.

Якщо оператору необхідно деталізувати певні області зображення, наприклад, для виявлення присутності людей поблизу автомобіля, він може налаштувати параметри алгоритму. Це дозволяє змінювати чутливість алгоритму до різних рівнів фільтрації та деталізації, щоб отримати точнішу інформацію про інші об'єкти сцени, наприклад людей. Крім того, цей підхід є корисним для виявлення об'єктів в умовах поганої видимості, що дозволяє виділити значущі об'єкти в складних метеорологічних умовах (туман, дим тощо) (Rodgers, 2023).



Рис. 4. Робота алгоритму ISAC.

Таким чином, алгоритм ISAC не лише виділяє ключові об'єкти сцени, але й забезпечує можливість адаптації під специфічні завдання оператора, що робить його ефективним інструментом для опрацювання даних у складних умовах.

Розширення фільтра Калмана (КФА) є модифікацією базового фільтра Калмана, що спрямоване на покращення точності та стабільності опрацювання теплових зображень в умовах високого рівня шуму. Це досягається за рахунок адаптивного налаштування параметрів фільтра, модифікації стану системи та інтеграції додаткових математичних моделей, що описують вплив навколишнього середовища.

Фільтр Калмана в базовому вигляді виконує оцінку стану системи, що описується рівняннями: Рівняння стану системи (2):

$$x_k = Ax_{k-1} + Bu_k + \omega_k, \quad (2)$$

де x_k — вектор стану на k -му кроці; A — матриця переходу стану; B — матриця управління; u_k — вектор управління; ω_k — шум процесу з дисперсією Q .

Рівняння вимірювань (3):

$$z_k = Hx_k + v_k, \quad (3)$$

де z_k — вектор вимірювань; H — матриця спостереження; v_k — шум вимірювань з дисперсією R .

КФА модифікує базову модель. Динамічна адаптація коваріацій шуму досягається завдяки дисперсії шуму процесу Q і вимірювань R в базовому фільтрі Калмана, який вважають сталими, однак у реальних умовах їх значення можуть змінюватися через вплив факторів середовища, таких як вологість, температура або розсіювання випромінювання. У розширеному підході Q і R розраховуються адаптивно (4):

$$\begin{aligned} Q_k &= \sigma_{proc}^2 \times f_{env}(t, p), \\ R_k &= \sigma_{meas}^2 \times g_{atm}(h, \lambda), \end{aligned} \quad (4)$$

де $f_{env}(t, p)$ — функція, що враховує температуру t і тиск p ; $g_{atm}(h, \lambda)$ — функція, яка описує атмосферний вплив на заданій висоті h і довжині хвилі λ .

Розширена модель стану

У стандартному фільтрі Калмана (Kalman, 1960) стан x_k зазвичай включає лише основний сигнал, наприклад, інтенсивність теплового випромінювання. У розширеній моделі стану вводяться додаткові компоненти, градієнти температурного поля (5):

$$x_k = \begin{pmatrix} T_k \\ \nabla T_k \\ \Delta T_k \\ \vdots \end{pmatrix}, \quad (5)$$

де T_k — температура; ∇T_k — градієнт температури; ΔT_k — друга похідна температурного розподілу. Це дозволяє враховувати просторову структуру теплового поля та покращує стійкість оцінок.

Розширення включає попереднє опрацювання даних із застосуванням просторових фільтрів [5], таких як Гауссовий або медіанний, для згладжування локальних шумів. Просторові фільтри описуються згортокою (6):

$$I'(x, y) = \sum_{i=-k}^k \sum_{j=-k}^k G(i, j) \times I(x + i, y + j), \quad (6)$$

де $G(i, j)$ — ядро Гаусса; $I(x, y)$ — інтенсивність пікселя у вихідному зображенні; $I'(x, y)$ — фільтрована інтенсивність.

Врахування впливу атмосфери здійснюється через багатошарову модель (7):

$$I_{obs} = \int_0^h B(\lambda, T(z)) \times e^{-\tau(z)} dz, \quad (7)$$

де $B(\lambda, T(z))$ — функція Планка для температури $T(z)$ на висоті z ; $\tau(z)$ — оптична товщина. Оцінка параметрів $\tau(z)$ і $T(z)$ інтегрується у фільтр для покращення компенсації.

Ітеративна оцінка параметрів

У розширенні фільтру Калмана застосовуються ітеративні методи оптимізації для оцінки параметрів A, B, H, Q, R , що забезпечує точнішу адаптацію до змінних умов. Наприклад, для оптимізації використовується метод градієнтного спуску (8):

$$\theta_{k+1} = \theta_k - \alpha \nabla J(\theta_k), \quad (8)$$

де $J(\theta_k)$ — функція втрат, яка оцінює відхилення моделі від вимірювань; α — коефіцієнт навчання.

KFA забезпечує покращення точності теплових портретів навіть у складних умовах, завдяки чому він широко застосовується у військових, промислових та наукових завданнях. На рисунку 5 подано роботу алгоритму KFA.

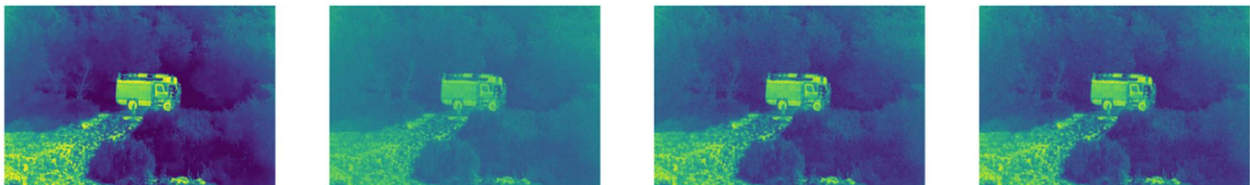


Рис. 5. Робота алгоритму KFA.

Алгоритм KFA працює шляхом постійної оцінки стану системи, що враховує вплив шуму, змін середовища та особливостей об'єкта аналізу. Він складається з двох основних етапів - прогнозування та оновлення. У цьому алгоритмі реалізовано адаптивне налаштування параметрів, інтеграцію додаткових характеристик стану та корекцію шумів, викликаних атмосферними умовами (Vettori, et al., 2023).

На початковому етапі задаються базові значення для стану системи, параметри, що описують процеси шуму, і матриці моделі. До них належать параметри, які враховують середовище (наприклад, вологість чи температуру), а також характеристики системи, такі як точність вимірювань і передбачуваність змін. Алгоритм робить попередню оцінку стану системи на основі попередніх даних. Це передбачає використання моделі, яка враховує зміну температурного розподілу, його похідні, а також вплив зовнішніх факторів, таких як потоки тепла або розсіювання.

Отримані від сенсорів дані використовуються для корекції прогнозованого стану. Алгоритм порівнює прогнозовані значення з реальними даними, визначає різницю (помилку) і коригує оцінку, щоб забезпечити максимальну точність. Для цього враховуються шуми вимірювань і невизначеність процесу.

Відмінність цього алгоритму від базового фільтра Калмана (Kalman, 1960) полягає в динамічному налаштуванні параметрів. Параметри, що описують шум процесу і вимірювань, адаптуються залежно від умов середовища, таких як концентрація аерозолів або атмосферний тиск. Це дозволяє зменшити вплив змінних факторів.

Для покращення результатів алгоритм опрацьовує теплові зображення як просторові дані. Наприклад, шуми, спричинені локальними аномаліями, згладжуються за допомогою фільтрів, а інформація про температурні градієнти враховується для забезпечення просторової узгодженості. Після оновлення алгоритм знову переходить до етапу прогнозування, використовуючи скориговані дані. Циклічний процес дозволяє постійно відстежувати зміни та адаптуватися до нових умов. Це особливо корисно для роботи в динамічних умовах, таких як зміна погоди або вплив зовнішніх джерел тепла.

Висновки

У роботі проведено детальний аналіз методів компенсації атмосферних впливів на теплові портрети з метою покращення точності ідентифікації цілей у складних умовах. Розглянуто сучасні підходи, такі як фільтрація зображень, математичне моделювання, мультиспектральні сенсори, алгоритми машинного навчання та гібридні системи, кожен з яких має свої переваги та обмеження. У роботі зосереджено увагу на сучасних підходах компенсації атмосферних шумів, зокрема на алгоритмах ISAC та KFA, які демонструють високу ефективність в умовах змінного середовища. Проведене дослідження показує, що ці методи мають значний потенціал для впровадження у тепловізійні системи нового покоління, сприяючи підвищенню їх точності та надійності.

Отримані результати підкреслюють доцільність подальшого розвитку комбінованих підходів, які інтегрують переваги декількох методів та враховують специфіку реальних сценаріїв спостереження. У перспективі розвиток технологій штучного інтелекту, удосконалення мультиспектральних сенсорів та зростання обчислювальних можливостей дозволяють очікувати вирішення більшості поточних проблем в області теплової ідентифікації. Таким чином, дослідження не лише сприяє вдосконаленню тепловізійних систем, а й розширює їхні можливості в безпеці, медицині, промисловості та інших галузях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Chen, Y., Nasrabadi, N. M., & Tran, T. D. (2021). Hyperspectral image classification using dictionary-based sparse representation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(10), 3973–3985. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2011.2128325>
2. Gao, B.-C., Montes, M. J., Davis, C. O., & Goetz, A. F. H. (2023). Atmospheric correction algorithms for hyperspectral remote sensing data of land and ocean. *Remote Sensing of Environment*, 113, S17–S24. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.12.015>
3. Gao, L., & Zhang, B. (2023). A novel method for automatic noise reduction in hyperspectral images using spectral derivatives. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(6), 2981–2987. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2038905>

4. Kalman, R. E. (1960). A new approach to linear filtering and prediction problems. *Journal of Basic Engineering*, 82(1), 35–45. <https://doi.org/10.1115/1.3662552>
5. Li, S., Kwok, J. T., & Wang, Y. (2022). Using the discrete wavelet frame transform to merge Landsat TM and SPOT panchromatic images. *Information Fusion*, 3(1), 17–23. [https://doi.org/10.1016/S1566-2535\(01\)00037-9](https://doi.org/10.1016/S1566-2535(01)00037-9)
6. Pashkov, R. A., & Balakhonova, N. O. (2019). Resolution of thermal imaging devices according to Johnson's criteria. *A look into the future of instrumentation: materials of the XII All-Ukrainian scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists*, Kyiv, May 5–16, 2019, 117–120.
7. Pustovietov, V. M., & Dobrovolskyi, A. B. (2022). Research on the effectiveness of thermal imaging observation tools in different climatic conditions. *Bulletin of Khmelnytskyi National University*, 2(187), 205–207.
8. Richards, J. A., & Jia, X. (2023). *Remote sensing digital image analysis: An introduction* (4th ed.). Springer.
9. Rodgers, C. D. (2023). *Inverse methods for atmospheric sounding: Theory and practice*. World Scientific Publishing Company.
10. Schott, J. R. (2022). *Remote sensing: The image chain approach* (2nd ed.). Oxford University Press.
11. Young, S. J., Johnson, B. R., & Hackwell, J. A. (2022). An in-scene method for atmospheric compensation of thermal hyperspectral data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D24), ACH 16-1–ACH 16-14. <https://doi.org/10.1029/2001JD001266>
12. Zhu, X., & Milanfar, P. (2024). Automatic parameter selection for denoising algorithms using a no-reference measure of image content. *IEEE Transactions on Image Processing*, 19(12), 3116–3132. <https://doi.org/10.1109/TIP.2010.2052823>
13. Vettori, S., Di Lorenzo, E., Peeters, B., Luczak, M. M., & Chatzi, E. (2023). An adaptive-noise augmented Kalman filter approach for input-state estimation in structural dynamics. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 184, 109654. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2022.109654>

USING THERMAL PORTRAITS TO IDENTIFY TARGETS IN CONDITIONS OF HIGH ATMOSPHERIC NOISE

Oksana Oborska¹, Stepan Lys²

¹ Lviv Polytechnic National University,
Computer-Aided Design Department, Lviv, Ukraine,

² Lviv Polytechnic National University,
Information Systems and Networks Department, Lviv, Ukraine,

¹ E-mail: oksana.v.oborska@lpnu.ua, ORCID: 0009-0001-0825-1379

² E-mail: stepan.y.lys@lpnu.ua, ORCID: 0009-0007-8549-4845

© Oborska O., Lys S., 2025

The article examines the problem of object identification based on thermal images in highly noisy atmospheric conditions, which is critical for various fields, including military applications, security, search and rescue operations, and industry. The primary focus is on analyzing modern methods for compensating for the effects of atmospheric factors such as fog, rain, dust, and temperature fluctuations, which significantly degrade the quality of thermal images. The study reviews key approaches to noise compensation, including image filtering techniques, mathematical heat transfer models, multispectral sensors, machine learning-based algorithms, and hybrid systems. Special emphasis is placed on In-Scene Atmospheric Correction and Kalman Filter Augmentation algorithms, which enable effective adaptation to changing conditions and ensure high accuracy in analysis. The main advantages and drawbacks of each method are discussed, with particular attention to their practical implementation.

Keywords: thermal signature, atmospheric noise, target, target identification, ISAC algorithm, KFA algorithm.