

ЗОННО-КОМБІНАТОРНИЙ МЕТОД ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ В СИСТЕМАХ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ

Стрілкова Т.О., Бородин Я.В.

Кафедра мікроелектроніки, електронних
приладів та пристроїв,
Харківський національний університет
радіоелектроніки,
Україна

E-mail: tetiana.strilkova@nure.ua,
borodin.yaroslav@nure.ua

Abstract

The cybersecurity of critical infrastructure is increasingly threatened by small unmanned aerial vehicles, necessitating robust detection by machine vision systems. The primary challenge for machine vision systems is the high level of non-stationary background noise caused by atmospheric brightness dispersion, whose statistical parameters (mean and variance) fluctuate significantly depending on the time of day, often masking the weak signal from a distant object. This paper presents a zonal-combinatorial approach for robust object detection, validated using a Python-based simulation that generates 100x100-pixel frames corrupted by additive Gaussian noise with time-variable presets (e.g., 'day' vs. 'night') and embeds a 1x1-pixel target signal. The methodology consists of two stages: zonal processing, where various spatial filters are applied to suppress noise and enhance the target's Signal-to-Noise Ratio, and combinatorial analysis, which makes a detection decision based on the filtered output. The main contribution is a comparative analysis of different filtering algorithms and their efficacy in increasing the output SNR under dynamic noise conditions, which is essential for reliably isolating candidate "zones" (potential targets) for subsequent spatio-temporal analysis and final threat classification in technical vision systems.

Сучасні інформаційно-комунікаційні технології формують основу функціонування об'єктів критичної інфраструктури. Їхня кібербезпека нерозривно пов'язана з фізичною безпекою. Однією з найбільш актуальних загроз є несанкціоноване використання малорозмірних безпілотних літальних апаратів з метою кібершпигунства: зчитування даних з Wi-Fi мереж, перехоплення радіосигналів; спостереження: збір візуальної інформації про периметр, розташування систем контролю, графіки роботи персоналу; фізичні атаки: доставка шкідливих вантажів або пряме втручання у технологічні процеси. Традиційні засоби захисту, такі як радіолокаційні станції, часто неефективні проти малих, низькошвидкісних безпілотних літальних апаратів через їхню низьку ефективну площу розсіювання. У теперішній час системи технічного зору при контролі повітряного простору розглядають як ключовий елемент захисту.

Метою роботи є розробка та удосконалення програмних методів зонно-комбінаторних алгоритмів обробки зображень, які формуються системами технічного зору. Завдяки розробленим зонно-комбінаторним методом обробки зображень збільшуються ймовірність та надійність виявлення точкових об'єктів на тлі завад різної інтенсивності, що дозволяє збільшити дистанцію виявлення та час на реагування. Стохастичні властивості оптичного випромінювання є ключовою проблемою при оптичному спостереженні за повітряним простором [1, 2]. Фізико-математичним підґрунтям для складання моделі сигналів та завад в системах технічного зору є статистичні властивості оптичного випромінювання [3, 4]. Статистичні параметри такі, як дисперсія, середнє значення (яскравості) та середньоквадратичне відхилення залежать від багатьох факторів: час

добу (рівень сонячної енергії), хмар та серпанку, напрямку спостереження відносно сонця. Сигнал від далекого точкового об'єкта може характеризуватись надзвичайно слабким рівнем енергії та мати інтенсивність, що є меншою або порівнянною з рівнем середньоквадратичного відхилення (дисперсії) шуму [5-9]. Це призводить до зниження величини відношення сигнал/шум та погіршення характеристик виявлення.

Розроблена стохастико-детермінована модель імітує послідовність зображень, яка формується системами технічного зору в режимі спостереження. Зонно-комбінаторний метод в даній задачі інтерпретується як дворівнева система обробки. Зонний етап (попередня обробка та фільтрація) – це етап придушення шуму та виділення потенційних зон аналізу кадрів. На цьому етапі до кожного змодельованого кадру (матриці 100x100) застосовується набір алгоритмів просторової фільтрації: лінійні фільтри, усереднюючі фільтри (box blur), гаусові фільтри. Вони ефективні проти рівномірного шуму, але можуть впливати на виявлення сигнальної складової, "розмивати" слабкий точковий сигнал. Ключовим показником ефективності цього етапу є максимізація величини відношення сигнал/шум. Високий рівень величини сигнал/шум означає, що точковий сигнал стає чітко відокремленим від фонових флуктуацій.

Формули віднімання середнього шуму (1) та (2), гаусового фільтру (3), усереднюючого фільтру (3):

$$\varphi = \frac{1}{NM} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} I(i, j) \quad (1)$$

$$I_{new}(x, y) = (0, I(x, y) - \mu) \quad (2)$$

$$I_{new}(x, y) = \frac{1}{16} \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 I(x-i, y-j) \cdot W(i, j) \quad (3)$$

$$I_{new}(x, y) = \frac{1}{9} \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 I(x+i, y+j) \quad (4)$$

Комбінаторний етап (Прийняття рішення). Після фільтрації кадр передається на етап прийняття рішення. "Зонами" тепер є пікселі-кандидати, що перевищили певний поріг інтенсивності. "Комбінаторний" аналіз може включати: просторовий аналіз, аналіз форми та кластеризації зон-кандидатів у межах одного кадру. Справжній об'єкт матиме певну просторову кореляцію з сусідніми пікселями, на відміну від випадкового сплеску шуму. Часовий аналіз: накопичення та аналіз зон-кандидатів між кількома послідовними кадрами. Випадкові шумові сплески з'являтимуться у різних місцях, тоді як справжній об'єкт спостереження буде формувати стабільне просторове значення.



Рис.1. Результати послідовної обробки зображення а) до обробки; б) після лінійного перетворення; в) після гаусового фільтру; г) усереднюючого фільтру

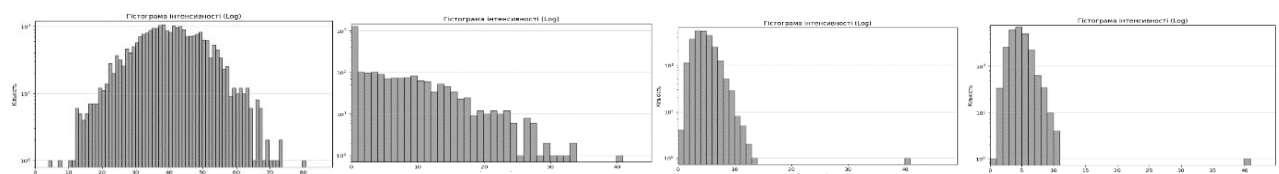


Рис.2. Гістограми інтенсивності зображення а) до обробки; б) після лінійного перетворення; в) після гаусового фільтру; г) усереднюючого фільтру

Табл. 1. Значення величини відношення сигнал/шум для кожного зображення

Кадр	Значення величини сигнал/шум
Початкове зображення	7.8771
Віднімання середнього шуму	6.7384
Гаусовий фільтр	22.4885
Усереднюючий фільтр	28.3647

Висновок: Дослідження підтверджує, що ефективність алгоритмів обробки зображень для виявлення точкових об'єктів безпосередньо залежить від статистичних характеристик шуму. Статичний підхід, що використовує один і той самий фільтр, є неоптимальним. Для створення надійних систем технічного зору для захисту інфраструктури, система обробки має бути адаптивною – вона повинна автоматично оцінювати поточний рівень атмосферної дисперсії (наприклад, за часом доби або через аналіз "чистих" ділянок кадру) та обирати відповідний алгоритм фільтрації. Ефективна реалізація зонного етапу є необхідною передумовою для успішного комбінаторного аналізу та надійної детекції загроз.

Література

1. Стрілкова Т.О., Калмиков О.С., Бендеберя Г.М., Пятайкіна М.І., Поліщук О.В. Стохастичні моделі вихідних сигналів в оптико-електронних системах // Колективна монографія «Сучасні технології в науці та освіті». 2021. Сєверодонецьк. С. 256-259.
2. Калмиков О. С., Стрілкова Т. О. Моделювання процесу поширення оптичного випромінювання в анізотропному середовищі // XXII Міжнародна науково-технічна конференція «ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи». Секція 2. Оптичні та оптико-електронні прилади системи. Фотоніка. 16-17 травня 2023 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна., С. 48-50.
3. Strelkova, T., Strelkov, A. I., Kartashov, V. M., Lytyuga, A. P., & Kalmykov, A. S. (2021). Methods of reception and signal processing in machine vision systems. In *Examining Optoelectronics in Machine Vision and Applications in Industry 4.0* (pp. 71-102).
4. Strelkova T.A., Lytyuga A.P., Kalmykov A.S. Statistical Characteristics of Optical Signals and Images in Machine Vision Systems *Examining Optoelectronics in Machine Vision and Applications in Industry 4.0*. 2021, Pages: 134-162. DOI: 10.4018/978-1-7998-6522-3.ch005.
5. Патров Д. О., Стрілкова Т.О. Технології обробки Big Data в оптико-електронних системах з урахуванням статистичних властивостей вихідних сигналів / Д. О. Патров, Т. О. Стрілкова // Приладобудування: стан і перспективи. : збірник матеріалів XXIV-ї Міжнар. наук.-техн. конф., 13-14 травня 2025 р. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – С. 56–58.
6. Бородин Я. В., Стрілкова Т. О. Застосування хмарних технологій в галузі мікро- та нанотехнологій / Я. В. Бородин, Т. О. Стрілкова // Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті : Матеріали 29-го Міжнародного молодіжного форуму, 16–19 квітня 2025 р. – Харків : ХНУРЕ, 2025. – Т. 1. – С. 71–73.
7. Кавецький В.С., Стрілкова Т.О. Розробка алгоритму виділення стаціонарних об'єктів / В. С. Кавецький, Т. О. Стрілкова // Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті : Матеріали 29-го Міжнародного молодіжного форуму, 16–19 квітня 2025 р. – Харків : ХНУРЕ, 2025. – Т. 1. – С. 44–46.
8. Стрілкова Т. О., Крохмаль А. В. Формування зображень в оптико-електронних системах з урахуванням умов спостереження / Т. О. Стрілкова, А. В. Крохмаль // Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті : Матеріали 29-го Міжнародного молодіжного форуму, 16–19 квітня 2025 р. – Харків : ХНУРЕ, 2025. – Т. 1. – С. 24–26. Патров Д.О., Стрілкова Т.О. Оцінка ефективності оптико-електронних систем формування та обробки сигналів та зображень // Матеріали 29-го Міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». Харків, 16-18 травня 2025 року, ХНУРЕ, С. 27–29.