

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації  
(повна назва)

Кафедра медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Удосконалення методів обробки зображень для підвищення ефективності  
систем виявлення БПЛА.  
(тема)

Виконав:  
студент 2 курсу, групи МІм-22-1  
Долгих П.В.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 172 Телекомунікації та  
радіотехніка  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Медіаінженерія  
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Шаповалов С.В.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри \_\_\_\_\_ Володимир КАРТАШОВ  
(підпис)

2023 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації

Кафедра медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Медіаінженерія

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту Долгих Павлу Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення методів обробки зображень для підвищення ефективності систем виявлення БПЛА.

затверджена наказом по університету від " 20 " 10 2023 р. № 1224 Ст \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 10.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Виконати аналіз методів обробки зображень в задачах їх покращення. Провести теоретичне обґрунтування методів поліпшення зображень в задачах розпізнавання дронів. Експериментально дослідити вплив попередньої обробки зображень на ефективність виявлення і розпізнавання дронів. Дослідити вплив протишумової обробки, градаційної обробки, еквалізації зображення. Провести оцінки впливу обраних методів обробки зображень на збільшення відношення сигнал-шум і збільшення контрасту об'єкту з фоном. Зробити висновки.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_

Вступ

1 Аналіз алгоритмів обробки зображення в завданнях їхнього поліпшення.

2 Теоретичне обґрунтування алгоритмів поліпшення зображень в задачах розпізнавання дронів.

3 Експериментальні дослідження впливу обробки зображень на підвищення помітності БПЛА на схожому фоні.

Висновки

Перелік посилань

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням обов'язкових креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій

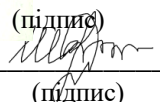
1. Задача виявлення БПЛА.
2. Постановка задачі.
3. Проблемна ситуація.
4. Методи градаційних перетворень.
5. Еквалізація гістограми.
6. Дослідження еквалізації гістограм (2 слайди).
7. Оцінка збільшення контрасту.
8. Помилкове виявлення руху.
9. Дослідження подавлення шуму.
10. Оцінка ефективності фільтрації.
11. Висновки.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд літератури	01.09.23–27.09.23	
2	Теоретичне обґрунтування методів обробки	28.09.23–11.10.23	
3	Дослідження градаційних перетворень	12.10.23–10.11.23	
4	Дослідження просторової фільтрації	11.11.23–03.12.23	
5	Оцінка ефективності обробок	04.12.23–17.12.23	
6	Графічна частина роботи	18.12.23–17.12.23	
7	Перевірка керівником	18.12.23–30.12.23	
8	Перевірка на академічний плагіат	02.01.24–05.01.24	
9	Перевірка завідувачем кафедри, рецензування	06.01.24–09.01.24	

Дата видачі завдання 20.10.2023 р.

Студент  Павло ДОЛГІХ

Керівник роботи  Сергій ШАПОВАЛОВ

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 68 сторінок, 39 рисунків, 4 таблиці, 26 джерел.

БПЛА, ВИЯВЛЕННЯ, ВІДНІМАННЯ ФОНУ, ГІСТОГРАМА, ГРАДАЦІЙНА ОБРОБКА, ДРОН, ЕКВАЛІЗАЦІЯ, НОРМАЛІЗАЦІЯ, ПРОСТОРОВА ОБРОБКА, ШУМОПОДАВЛЕННЯ

Об'єкт дослідження – процес обробки сигналів видимого оптичного діапазону для задачі виявлення і розпізнавання малих безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

Метою кваліфікаційної роботи є визначення послідовності та параметрів обробки зображень БПЛА, оцінка впливу даної обробки на збільшення відношення сигнал-шум і збільшення контрасту об'єкту з фоном.

Методи дослідження – модельний експеримент, натурний експеримент, статистична обробка експериментальних даних.

Виконано аналіз методів обробки зображень в задачах їх покращення. Проведено теоретичне обґрунтування методів поліпшення зображень в задачах розпізнавання дронів. Експериментально досліджено вплив попередньої обробки зображень на ефективність виявлення і розпізнавання дронів. Досліджено вплив протишумової обробки, градаційної обробки, еквалізації зображення. Проведена оцінка впливу даної обробки на збільшення відношення сигнал-шум і збільшення контрасту об'єкту з фоном.

## ABSTRACT

Explanatory note to the qualification work: 68 pages, 39 figures, 4 tables, 26 sources.

UAV, DETECTION, BACKGROUND SUBTRACTION, HISTOGRAM, GRADE PROCESSING, DRONE, EQUALIZATION, NORMALIZATION, SPATIAL PROCESSING, NOISE REDUCTION

The object of research is the process of processing signals in the visible optical range for the task of detecting and recognizing small unmanned aerial vehicles (UAVs).

The purpose of the qualification work is to determine the sequence and parameters of UAV image processing, to assess the effect of this processing on increasing the signal-to-noise ratio and increasing the contrast of the object with the background.

Research methods – model experiment, natural experiment, statistical processing of experimental data.

The analysis of image processing methods in the tasks of their improvement was performed. Theoretical substantiation of image improvement methods in drone recognition tasks has been carried out. The effect of image preprocessing on the effectiveness of drone detection and recognition was experimentally investigated. The effect of anti-noise processing, gradation processing, image equalization was studied. The impact of this processing on increasing the signal-to-noise ratio and increasing the contrast of the object with the background was evaluated.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	8
Вступ.....	9
<b>1 АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕННЯ В ЗАВДАННЯХ ЇХНЬОГО ПОЛІПШЕННЯ.....</b>	<b>11</b>
1.1 Градаційні перетворення зображень.....	11
1.2 Гістограмні алгоритми поліпшення зображень.....	18
1.3 Просторова фільтрація зображення.....	23
1.4 Висновки по розділу 1.....	27
<b>2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ АЛГОРИТМІВ ПОЛІПШЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ В ЗАДАЧАХ РОЗПІЗНАВАННЯ ДРОНІВ.....</b>	<b>28</b>
2.1 Еквалізація гістограм зображень.....	28
2.2 Попереднє оброблення зображень.....	35
2.2.1 Фільтрація шумних зображень БПЛА.....	35
2.2.2 Морфологічне перетворення.....	41
2.3 Використання табличного алгоритму при виконанні поелементних перетворень зображення.....	42
2.4 Висновки по розділу 2.....	43
<b>3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ НА ПІДВИЩЕННЯ ПОМІТНОСТІ БПЛА НА СХОЖОМУ ФОНІ.....</b>	<b>45</b>
3.1 Дослідження впливу антишумового оброблення.....	45
3.2 Дослідження впливу нормалізації гістограми зображення.....	52
3.3 Висновки по розділу 3.....	61
Висновки.....	62
Перелік посилань.....	65

ДОДАТКИ.....	69
Додаток А. Графічний матеріал.....	70
Додаток Б. Відомість кваліфікаційної роботи.....	83

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

БПЛА – безпілотний літальний апарат;

гістограма зображення – це графік статистичного розподілу елементів цифрового зображення з різною яскравістю, в якому по горизонтальній осі представлена яскравість, а по вертикалі – відносна кількість пікселів з конкретним значенням яскравості;

еквалізація гістограми – перетворення значень інтенсивності так, щоб гістограма вихідного зображення приблизно збігалася із заданою гістограмою;

медіанний фільтр – один із видів цифрових фільтрів, що широко використовується в цифровій обробці сигналів та зображень для зменшення рівня шуму;

$c$  – константа;

$m, n$  – розміри маски фільтру;

$n_k$  – число пікселів на зображенні, що мають яскравість  $r_k$ ;

$p(r_k)$  – оцінка вірогідності появи пікселя зі значенням яскравості  $r_k$ ;

$r$  – яскравість результуючого зображення;

$r_k$  –  $k$ -й рівень яскравості;

$s$  – яскравість вихідного зображення;

$T$  – певний оператор перетворення над вихідним зображенням;

$x, y$  – координати пікселя зображення;

$w$  – змінна інтегрування;

$\gamma$  – показник ступеня гама-корекції.

## ВСТУП

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) стали невід'ємною частиною життя людини. З їхньою допомогою відеооператори знімають вражаючі кадри, у мирних умовах БПЛА екстрено доставляють потрібні ліки у віддалені райони, і навіть їжу, здійснюють ландшафтну зйомку, служать для контролювання стану електричних мереж та трубопроводів.

До недавнього часу ці популярні апарати продавалися в Інтернет-магазинах, українських магазинах побутової техніки та іграшкових магазинах. Сьогодні вони продаються по всьому світу буквально за декілька сотень доларів. Але лише за останні два роки, зі вторгненням російських військ в Україну, БПЛА перетворилися на джерело сильної небезпеки.

Окрім розвідувальних функцій, БПЛА можуть наносити і ураження військам і цивільній інфраструктурі. БПЛА, які це вміють, називають ударними. Найвідомішим ворожим безпілотником у цьому класі є іранський Шахед. Він може нести до 40 кг вибухівки. Цей безпілотник може літати самостійно по сигналам супутникової навігації. Це зброя, яка може виконувати точкові ураження далеко в тилу.

Не менш небезпечними є малі БПЛА, побудовані по схемі квадрокоптерів. Несучі на собі до кілограму вибухівки, вони можуть причинити суттєві ураження військовим та військовій техніці, боєкомплекту.

Своєчасне виявлення і знешкодження БПЛА є актуальною задачею. Задача виявлення ускладнюється слабкою вираженістю сигнатур БПЛА в радіо- і акустичному діапазоні, слабкою радіолокаційною помітністю. Одним із методів виявлення є застосування систем відео нагляду за оточуючим повітряним простором. В світлу частину доби даний метод може мати гарну ефективність, доповнюючи інформацією інші системи виявлення.

Дана кваліфікаційна робота вирішує завдання покращення характеристик системи виявлення і розпізнавання БПЛА у потоці з камери відеонагляду. Задачею кваліфікаційної роботи є удосконалення методів

обробки зображень БПЛА для шумоподавлення і збільшення контрасту об'єкту з фоном і покращення надійності виявлення і розпізнавання БПЛА у відеопотоці.

Об'єкт дослідження – процес оброблення відеосигналів камери відеонагляду з метою виявлення і розпізнавання малих БПЛА.

Метою кваліфікаційної роботи є визначення послідовності та параметрів обробки зображень БПЛА, оцінка впливу даної обробки на збільшення відношення сигнал-шум і збільшення контрасту об'єкту з фоном.

# 1 АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕННЯ В ЗАВДАННЯХ ЇХНЬОГО ПОЛІПШЕННЯ

## 1.1 Градаційні перетворення зображень

Головна ціль поліпшення зображень полягає в застосуванні такої обробки, щоби результат виявився більш сприятливим для конкретного застосування.

Градаційні перетворення є підгрупою просторових алгоритмів поліпшення зображень. Термін «просторова область» відноситься до площини зображення, отже, всі просторові алгоритми засновані на прямих операціях з пікселями зображень.

Градаційні перетворення – це алгоритми, які оперують безпосередньо із величинами пікселей зображення. Алгоритми градаційної обробки описуються виразом [1,2]:

$$s(x, y) = T[r(x, y)], \quad (1.1)$$

де  $s$  та  $r$  – змінні, які позначають значення інтенсивностей вхідного та вихідного зображень відповідно у кожній точці  $(x, y)$  ;

$T$  – деякий оператор перетворення вхідного зображення.

У такому випадку  $s(x, y)$  залежить лише від значення інтенсивності  $r(x, y)$  вхідного зображення, і  $T$  стає функцією градаційного перетворення інтенсивностей (або функція відображення).

Визначаючи формулу (1.1), можна побудувати певні досить прості, але дієві алгоритми просторової обробки зображень (рис. 1.1). Так як результат поліпшення кожного пікселя зображення залежить лише від інтенсивності цього елемента, алгоритми цієї категорії часто належать до алгоритмів поелементної обробки [3].

Так як ми маємо справу із дискретним (квантованим) уявленням, величини функції перетворення, як правило, зберігаються в одновимірному масиві, і перетворення  $r \rightarrow s$  здійснюється у відповідності з таблицею. У разі 8-бітного уявлення таблиця перетворення, яка містить величини  $T$  буде складатися із 256 елементів [4].

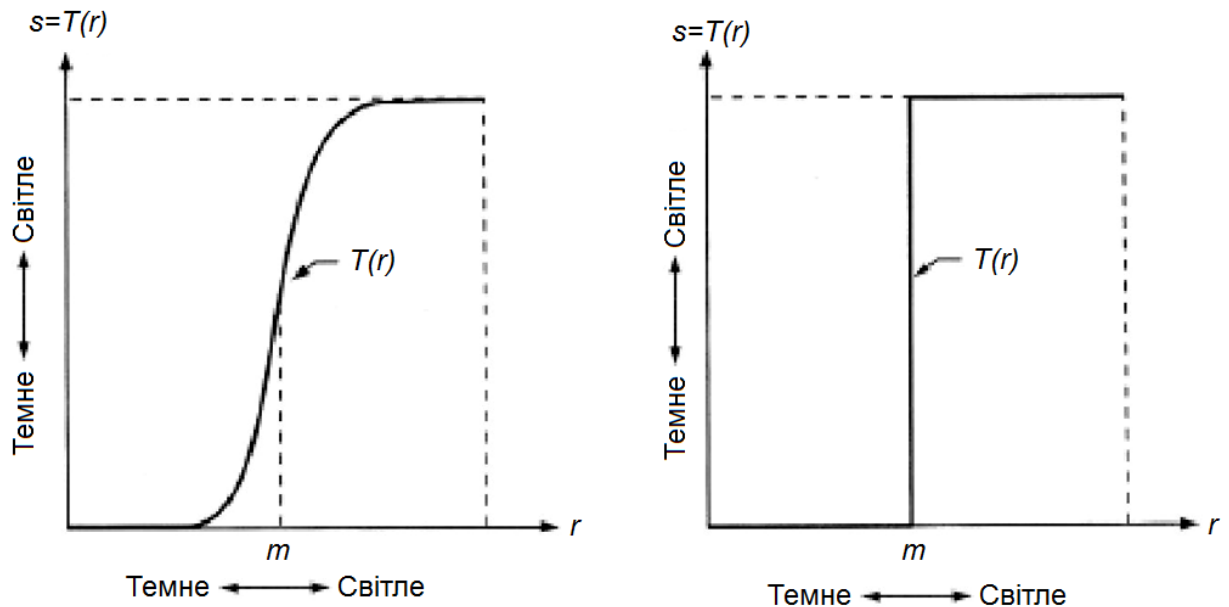


Рисунок 1.1 – Градаційне перетворення для поліпшення контрастності

Розглянемо графік на рис. 1.2, на якому зазначено 3 основних типи перетворень, що часто використовуються для поліпшення зображень: лінійне перетворення (негатив і тотожне), логарифмічне перетворення (логарифм і зворотний логарифм) і супінне перетворення ( $n$ -й ступінь і корінь  $n$ -го ступеня).

Тотожне перетворення тривіальне. Інтенсивності на виході є ідентичними інтенсивностям на вході. Дане перетворення зазначене на графіку лише для повноти картини.

Негативне перетворення – перетворення зображення на негатив з інтенсивностями у діапазоні  $[0, L-1]$  здійснюється з використанням виразу [4,5]:

$$s = (L-1) - r. \quad (1.2)$$

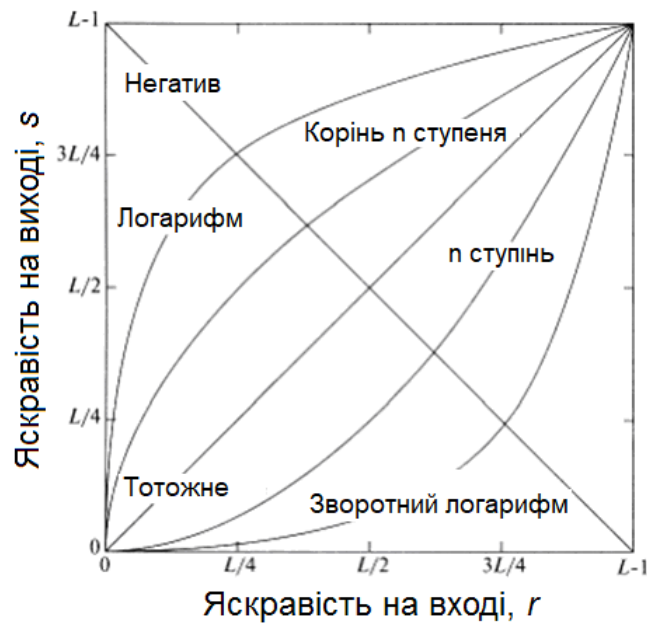


Рисунок 1.2 – Основні функції градаційного перетворення для поліпшення зображень

Подібна інверсія рівнів інтенсивності зображень формує еквівалент фотонегативу. Даний тип обробки особливо підходить для підсилення білих чи сірих деталей на фоні темних ділянок зображення, особливо коли темні ділянки мають великі розміри.

Зворотне логарифмічне перетворення.

Загальний вигляд логарифмічного перетворення описується виразом [4-6]:

$$s = c \lg(1 + r), \quad (1.3)$$

де  $c$  – постійна, а  $r > 0$ .

Форма логарифмічної функції показує, що дане перетворення відображає вузький інтервал малих значень інтенсивностей на вхідному зображенні у більш широкий діапазон вихідних значень. Для більших величин вхідного сигналу є вірним протилежне твердження.

І навпаки, при застосуванні зворотного логарифмічного перетворення відбувається розтягування діапазону інтенсивних пікселів і стиск діапазону темних пікселів.

Довільна крива, яка має загальний вигляд, близький до наведеної на рис. 1.2 логарифмічної кривої, здійснюватиме подібне розтягування /стиск діапазонів інтенсивності на зображенні. Більш універсальні, ніж логарифмічні, є ступінні перетворення. Тим не менш, незважаючи на це, логарифмічна крива має характерну особливість: вона дозволяє стискати динамічний діапазон зображень, які мають великий розкид в значеннях пікселів.

Ступінні перетворення описуються формулою [5,6]:

$$s = c \cdot r^\gamma, \quad (1.4)$$

де  $c$  і  $\gamma$  – позитивні постійні коефіцієнти.

Так само, як у випадку логарифмічного перетворення, ступінні криві при малих  $\gamma$  відображають вузький інтервал малих вхідних інтенсивностей у широкий інтервал вихідних інтенсивностей. При цьому для великих вхідних інтенсивностей вірне зворотне твердження. Однак, на відміну від логарифмічних кривих, тут з'являється ціле сімейство кривих для можливого перетворення, отримуваних при зміні параметра  $\gamma$ . Як і слід очікувати, функції, отримані зі значеннями  $\gamma > 1$ , мають точно протилежний ефект у порівнянні з тими, які отримані при  $\gamma < 1$ .

Зазначимо, що вираз (1.4) зводиться до тотожного перетворення за  $c = \gamma = 1$ .

Амплітудні характеристики багатьох систем, які використовуються для введення, друку чи відтворення зображень, відповідають ступінному закону. Процедура, яка застосовується для корекції подібної ступінної характеристики, зветься гамма-корекцією [7].

Гамма-корекція потрібна, якщо необхідне точне відтворення зображень на моніторі комп'ютера. Зображення, що правильно не відкоректовані, можуть виглядати або як висвітлені, або, що більш вірогідно, як занадто темні. Вірне відтворення кольорів також потребує деяких знань про гамма-корекцію, так як подібне перетворення змінює не лише інтенсивність, але й також співвідношення між червоними (R), зеленими (G) та синіми (B) кольорами [7].

Кусково-лінійні функції перетворень. Підходом, який доповнює розглянуті алгоритми, є застосування шматково-лінійних функцій. Основна перевага кусково-лінійних функцій в порівнянні з безперервними полягає в тому, що їхня форма може бути будь-якою. Насправді, практичне втілення багатьох важливих перетворень може бути здійснено лише із застосуванням кусково-лінійних функцій. Головний недолік кусково-лінійних функцій є в тому, що для їхнього описання треба задавати значно більше число параметрів.

Підсилення контрастності. Одним із найпростіших варіантів для застосування шматково-лінійних функцій є перетворення, яке підсилює контраст. Підсилення контрастності досягається зростанням динамічного діапазону інтенсивностей на оброблюваному зображенні [8].

На рис. 1.3 наведено типове перетворення, яке застосовується для підсилення контрастності. Положення точок  $(r_1, s_1)$  і  $(r_2, s_2)$  задає вигляд функції перетворення. Якщо  $r_1 = s_1$  і  $r_2 = s_2$ , то перетворення стає тотожним, що не вносить змін до значень інтенсивностей.

Якщо  $r_1 = r_2$ ,  $s_1 = 0$  і  $s_2 = L - 1$ , то перетворення стає граничною функцією, що в результаті дає бінарне зображення. Проміжні величини  $(r_1, s_1)$  і  $(r_2, s_2)$  дають різні ступені розтягування рівнів інтенсивності в результуючому зображенні, змінюючи тим самим контрастність.

Взагалі, умови  $r_1 < r_2$  і  $s_1 < s_2$  показують, що функція є однозначною і монотонно зростає, що забезпечує збереження вірної послідовності рівнів інтенсивності, запобігаючи цим появі хибних деталей в вихідному зображенні [8].

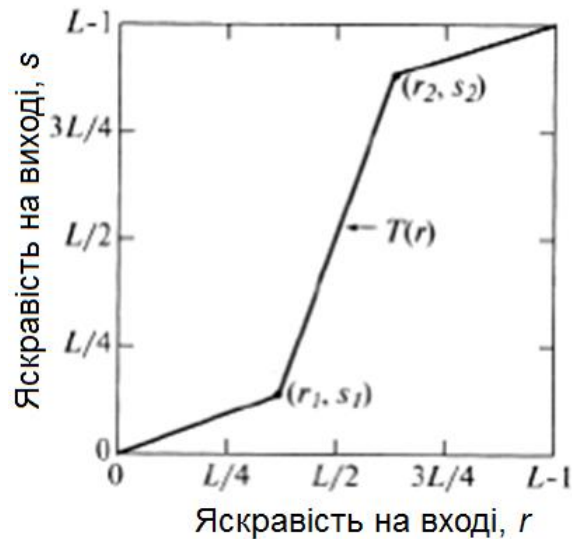


Рисунок 1.3 – Вигляд функції перетворення для підсилення контрастності

Вирізання діапазону інтенсивностей.

Найчастіше потрібно виділити якийсь конкретний діапазон інтенсивностей у зображенні. Так, у практичних задачах може знадобитися поліпшення контрастності лише окремих деталей. Є різні способи вирізання рівнів інтенсивностей, але більшість із них є варіаціями 2-х наступних підходів.

Перший підхід полягає у перетворенні усіх рівнів, що представляють інтерес, певною однією фіксованою інтенсивністю, а всієї решти рівнів – іншою (більшою або меншою). Дане перетворення, показане кривою на рис. 1.4 (а), надає в результаті бінарне зображення.

Другий підхід, оснований на перетворенні функцією, показаною на рис. 1.4 (б), фіксує інтенсивність точок з обраного діапазону, але зберігає інтенсивності фону та інших точок зображень. Легко побудувати подальші різновиди 2-х перетворень.

Вирізання бітових площин.

На заміну виділення діапазонів інтенсивностей, може бути корисним виділення інформації про вплив тих чи інших бітів на загальне зображення.

Якщо кожен піксел зображення кодовано 8-ми бітами, то все зображення можна уявити у вигляді 8-бітових площин, вишикуваних від площі 0 із найменш значимими бітами до площі 7 з найбільш значимими бітами. У термінах байтів з 8 біт площа 0 містить всі молодші біти, а площа 7 – усі старші біти з байтів, що складають зображення. Можна відмітити, що старші біти (переважно перші 4) містять головну частину візуально значущих даних. Інші бітові площин дають внесок у тонкіші деталі зображення [8,9].

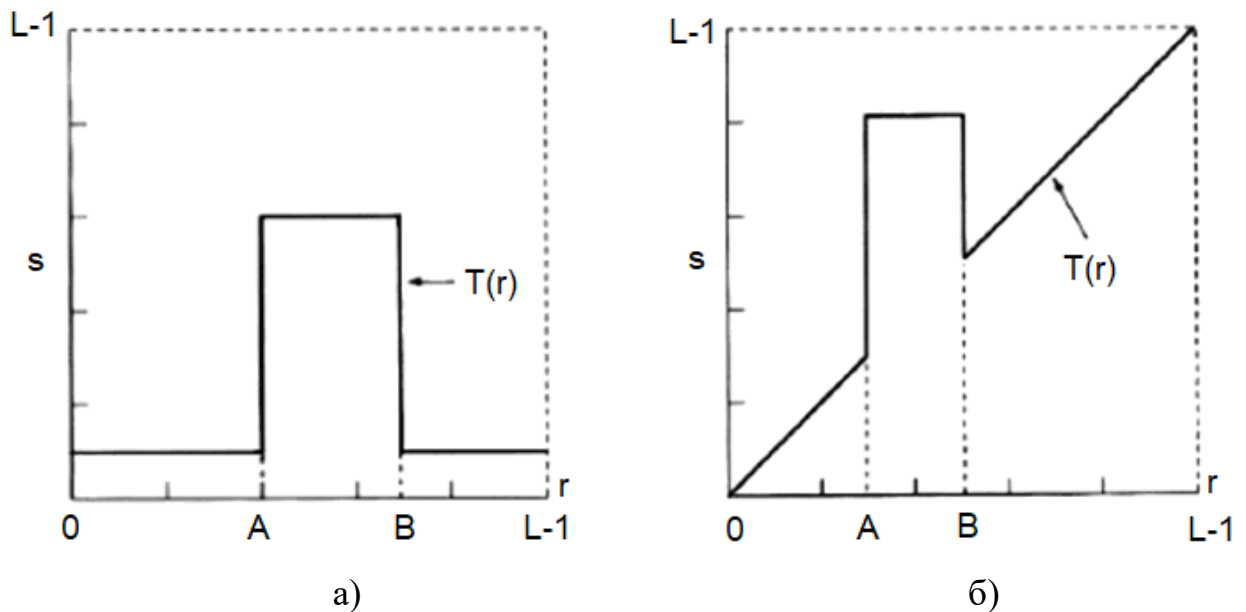


Рисунок 1.4 – Вирізання діапазону інтенсивностей  $[A, B]$  з приведенням інших величин до постійного коефіцієнта (а) зі збереженням інших величин (б)

Поділення зображення на бітові площини корисне для проведення аналізу відносної інформативності, що має кожен біт зображення. Це дозволяє оцінити потрібну кількість біт для квантування кожного пікселя, наприклад, під час стиску зображень.

На основі вирізання бітових площин із 8-бітного зображення легко показати, що зображення бітової площі 7 може бути отримано шляхом обробки вхідного зображення пороговим перетворенням градацій, що відображає усі інтенсивності зображення від 0 до 127 в одну (наприклад, 0), а усі рівні від 128 до 255 – в іншу (наприклад, 255).

## 1.2 Гістограмні алгоритми поліпшення зображень

Гістограми є основою для багатьох алгоритмів просторової обробки зображень. Окрім отримання корисної статистичної інформації про зображення, яка міститься в гістограмі, дана інформація також корисна і в таких задачах, як стиск та сегментація зображень.

Крім цього, зміна вигляду гістограми (гістограмне оброблення) може бути успішно використане для поліпшення зображень. Гістограми достатньо прості як для програмних розрахунків, так і в апаратній реалізації, що робить їх корисним інструментом для оброблення зображень в реальному часі.

Гістограмою зображення з рівнями інтенсивності у діапазоні  $[0, L-1]$  називають дискретну функцію [6,7]

$$h(r_k) = n_k, \quad (1.5)$$

де  $r_k$  –  $k$ -й рівень інтенсивності,

$n_k$  – число пікселей на зображенні, які мають інтенсивність  $r_k$ .

Загальним підходом є нормалізація гістограми методом розподілу кожного з її значень на загальне число пікселей у зображенні, позначене як  $n$ . Отже, значення нормалізованої гістограми дорівнюватимуть

$$p(r_k) = \frac{n_k}{n} \text{ для } k = 0, 1, \dots, L-1. \quad (1.6)$$

Взагалі,  $p(r_k)$  є оцінкою вірогідності появи пікселя зі значенням інтенсивності  $r_k$ . Зазначимо, що сума усіх значень нормалізованої гістограми дорівнює 1.

На рис.1.5 показані приклади випробувальних зображень та гістограм, побудованих на їхній основі.

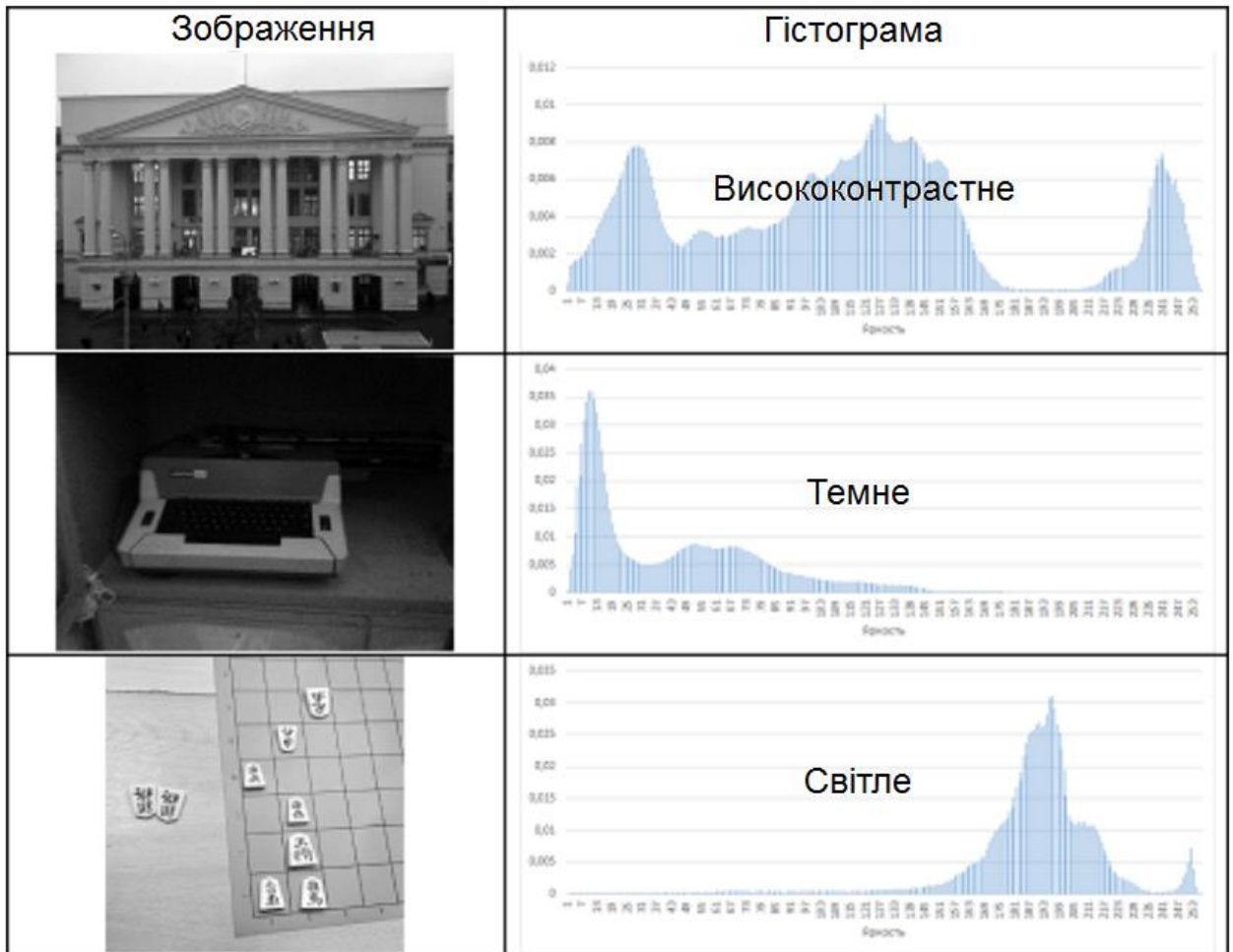


Рисунок 1.5 – Приклади випробувальних зображень та гістограм, побудованих на їхній основі

З рис.1.5 можна помітити, що на гістограмі темного фото ненульові рівні згруповані в області малих (темних) значень діапазону інтенсивностей. Аналогічно, великі рівні гістограми світлого фото зміщені до верхньої (світлої) частини діапазону. Фото з малою контрастністю має вузьку гістограму, розташовану близько до центру діапазону інтенсивностей. Для одноколіорового зображення це значить млявий, сірий вигляд. Нарешті, помітно, що ненульові рівні гістограми контрастного фото займають широкую частину діапазону інтенсивностей, а також, що розподілення числа пікселів не сильно відрізняється від рівномірного, за винятком малої кількості максимумів, що виділяються над іншими значеннями.

Інтуїтивно можна дійти висновку, що зображення, розподіл інтенсивностей пікселів якого близький до рівномірного і займає весь діапазон можливих інтенсивностей, виглядатиме дуже контрастним і відобразатиме велику кількість напівтонів.

Отже, ґрунтуючись лише на інформації, яка міститься в гістограмі вхідного зображення, можна сформувати функцію перетворення, що дозволить автоматично досягати даного ефекту.

Еквалізація гістограм.

Для спрощення спочатку розглянемо неперервні функції. Будемо вважати, що значення  $r$ , які відображають інтенсивність пікселів зображення, розподілені неперервно в діапазоні  $[0,1]$ , при цьому інтенсивність  $r=0$  відповідає чорному, а  $r=1$  – білому. Коли здійснюється перехід до дискретного вигляду, інтервал буде розширений до  $[0, L-1]$ .

Для будь-якого значення  $r$ , що задовольняє зазначеним вище умовам, розглядається перетворення вигляді [8]:

$$s = T(r), \quad 0 \leq r \leq 1, \quad (1.7)$$

яке для будь-якого пікселя, який має інтенсивність  $r$ , дає величину  $s$ . Вважається, що перетворення  $T(r)$  задовольняє таким умовам:

- $T(r)$  є однозначним та монотонно зростаючим на інтервалі  $0 \leq r \leq 1$ ;
- $0 < T(r) < 1$  при  $0 \leq r \leq 1$ .

В першій умові вимога однозначності  $T(r)$  потрібна задля реалізації зворотного перетворення, а вимога до монотонності – задля збереження зміни інтенсивностей від чорного до білого на вихідному обробленому зображенні. Перетворення, що не є монотонно зростаючим, може привести до появи на вихідному обробленому зображенні ділянок інтенсивності із інверсними значеннями. Друга умова значить, що припустимий діапазон вихідних інтенсивностей збігається з діапазоном вхідних інтенсивностей.

На рис. 1.6 наведено приклад функції перетворення, що задовольняє сформульованим вище умовам.

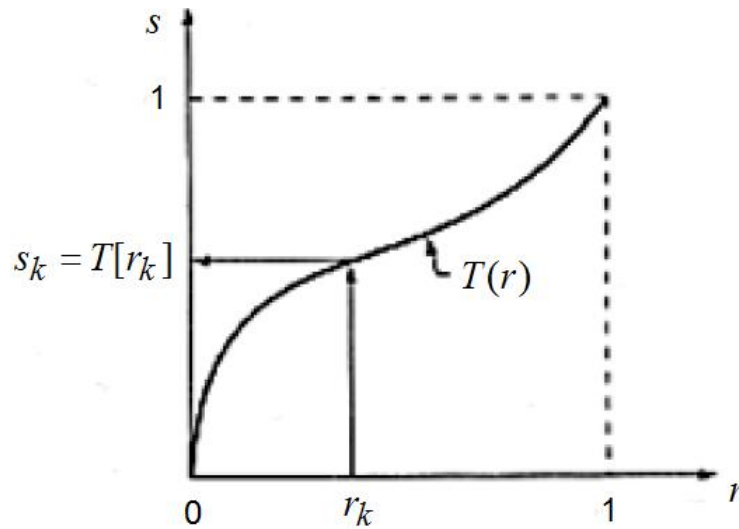


Рисунок 1.6 – Однозначна та зростаюча монотонно функція перетворення градацій інтенсивності

Зворотнє перетворення із  $s$  в  $r$  матиме запис [8,9]:

$$R = T^{-1}(s), \quad 0 \leq s \leq 1. \quad (1.8)$$

Рівні інтенсивності на зображенні можуть інтерпретуватися як випадкові величини в інтервалі  $[0,1]$ . Однією з найголовніших характеристик випадкових величин є густина розподілу вірогідності.

Нехай  $p_r(r)$  і  $p_s(s)$  означають густини розподілу вірогідності випадкових змінних  $r$  і  $s$  відповідно, де індекс біля  $p$  означає, що  $p_r(r)$  і  $p_s(s)$  є різними функціями. З елементарної теорії вірогідності випливає, що якщо  $p_r(r)$  і  $T(r)$  є відомими і задовольняють першій вимозі, то густина розподілу вірогідності значень обробленого сигналу  $s$  може бути розрахована за допомогою простого виразу:

$$p_s(s) = p_r(r) |dr/ds|. \quad (1.9)$$

Отже, густина розподілу вірогідності значень обробленого сигналу  $s$  визначається густиною розподілу вірогідностей інтенсивностей вхідного зображення та обраною функцією перетворення.

В обробленні зображень особливе значення має наступна функція:

$$s = T(r) = \int_0^r p_r(w)dw, \quad (1.10)$$

де  $w$  – змінна інтегрування.

Права частина виразу (1.10) є функцією розподілу випадкової змінної  $r$ . Так як густина розподілу вірогідності завжди позитивна, а інтеграл функції є площею під графіком функції, то така функція перетворення однозначно визначена і монотонно зростаюча, і, тим самим, відповідає умові 1. Аналогічно, так як інтеграл від густини розподілу вірогідності випадкової величини при зміні  $r$  у діапазоні  $[0,1]$  також знаходиться в діапазоні  $[0,1]$ , умова 2 також виконана.

Знаючи функцію  $T(r)$ , запишемо [10]:

$$\frac{ds}{dr} = \frac{dT(r)}{dr} = \frac{d}{dr} \left[ \int_0^r p_r(w)dw \right] = p_r(r). \quad (1.11)$$

Підставляючи (1.11) у формулу (1.9) і припускаючи, що дане значення густини вірогідності більше 0, в результаті отримаємо:

$$p_s(s) = p_r(r) \left| \frac{1}{p_r(r)} \right| = 1, \quad 0 \leq s \leq 1. \quad (1.12)$$

Отже, отримаємо, що  $p_s(s)$  є рівномірна густина розподілу вірогідності на відрізку  $[0,1]$ , що дорівнює 0 поза цим відрізком. Тобто, показано, що реалізація градаційного перетворення відповідно до функції, описаної

виразом (1.10), призводить до отримання деякої випадкової величини  $s$  із рівномірною щільністю розподілу ймовірностей.

Важливо відзначити, що хоча  $T(r)$ , як це слідує з (1.10), залежить від  $p_r(r)$ , результуюча густина розподілу вірогідності  $p_s(s)$ , як слідує з (1.12), завжди є рівномірною, не залежно від вигляду  $p_r(r)$ .

### 1.3 Просторова фільтрація зображення

Алгоритм просторової фільтрації засновано на зміщенні маски – матриці коефіцієнтів фільтру, який ковзає по поверхні кадру (маску також називають ядром або вікном) – від пікселя до пікселя зображення. У кожному пікселі  $(x, y)$  відгук фільтра розраховується із використанням попередньо встановлених зв'язків. У випадку лінійної просторової фільтрації відгук встановлюється сумою добутків коефіцієнтів фільтру на відповідні величини пікселей в області, накритою маскою фільтру.

Отже, фільтрація зображення  $f$  з розмірами  $M \times N$  фільтром розміру  $m \times n$  задається формулою загального вигляду [3,4]:

$$g(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) f(x + s, y + t), \quad (1.13)$$

де  $a = (m - 1) / 2$  і  $b = (n - 1) / 2$ .

При фільтрації усього кадру формула (1.13) має бути розрахована для усіх варіантів поєднань  $x = 0, 1, 2, \dots, M - 1$  і  $y = 0, 1, 2, \dots, N - 1$ .

Це означає, що усі піксели кадру будуть оброблені заданою маскою. Можна зазначити, що процедура лінійної фільтрації, яка задається формулою (1.13), у частотній області аналогічна до процедури згортки. З даної причини лінійна просторова фільтрація часто називається «згорткою маски із

зображенням». Точно так, маска фільтру часто називається маскою згортки чи ядром згортки.

Легко побачити, що за  $m = n = 3$  вираз (1.13) зведеться до рівняння для випадку, зображеного на рис. 1.7. Зокрема відмітимо, що коефіцієнт  $w(0,0)$  буде стояти при значенні  $f(x, y)$ , показуючи, що маска знаходиться у точці  $(x, y)$ .



Рисунок 1.7 – Ілюстрація просторового фільтру із маскою  $3 \times 3$

Далі будемо розглядати маски непарних розмірів, причому найменшою буде маска  $3 \times 3$  пікселів (маска  $1 \times 1$  пікселів буде тривіальною).

У тому випадку, коли інтерес має лише значення відгуку  $R$  на маску  $m \times n$  в точці  $(x, y)$ , користуються такою формулою [4,5]:

$$R = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \dots + w_{mn} z_{mn} = \sum_{i=1}^{mn} w_i z_i, \quad (1.14)$$

де  $w_i$  – коефіцієнти маски;

$z_i$  – інтенсивності пікселів, відповідних даним коефіцієнтам;

$mn$  – загальне число коефіцієнтів в масці.

На рис. 1.8 наведені 2 фільтри згладжування по околиці  $3 \times 3$ . Постійний коефіцієнт перед кожною із масок дорівнює 1, поділеної на суму коефіцієнтів, як це потрібно для нормування. Взагалі, всяка маска із розмірами  $m \times n$  має мати коефіцієнт нормування  $1/mn$ .

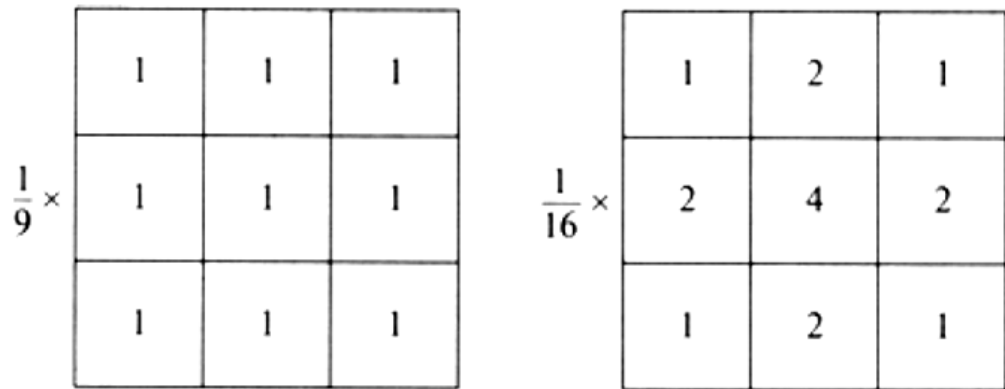


Рисунок 1.8 – Два варіанти маски фільтрів згладжування по околиці  $3 \times 3$

Перший фільтр розраховує звичайне середнє по масці. Застосування Такий фільтр, усі коефіцієнти якого рівні, називається однорідним фільтром.

Друга маска дає зважене середнє. Даний термін використовується, щоби вказати, що значення пікселів множаться на різні коефіцієнти. Це дозволяє надати їм різні ступені «важливості» (ваги) у порівнянні з іншими.

Наприклад, коефіцієнт у центрі маски має найбільшу вагу, тим самим ставлячи відповідному пікселю більшу важливість при розрахунку середнього. Вага інших коефіцієнтів зменшуються по мірі віддалення від центру маски. Основна задача присвоєння центральному пікселю найбільшої ваги, має за мету зменшити розмиття при згладжуванні.

Фільтри, на основі порядкових статистик.

Відгук таких фільтрів визначається попереднім ранжуванням інтенсивностей пікселів, які покриваються маскою, і наступним вибором значення, що знаходиться на певній позиції ранжованої послідовності.

Фільтрація полягає в заміщенні вихідної інтенсивності пікселя в центрі маски на отриману інтенсивність відгуку фільтра.

Найбільш відомим є медіанний фільтр. Він замінює значення пікселя на медіану розподілу інтенсивностей всіх пікселей, покритих маскою. Медіанні фільтри для деяких видів шумів демонструють відмінні результати подавлення шуму при сильно меншому ефекті розмиття, ніж у лінійних фільтрів згладжування аналогічних розмірів.

На рис. 1.9, а показано фото, сильно спотворене шумом. Щоби показати перевагу медіанної фільтрації у порівнянні з фільтром усереднення, показано результат фільтрації зашумленого фото фільтром усереднення маскою  $3 \times 3$  (рис. 1.9, б), а на рис. 1.9, в – результат медіанного фільтру маскою  $3 \times 3$ .



Рисунок 1.9 – Порівняння подавлення шуму фільтром усереднення і медіанним фільтром (а – зашумлене фото, б – подавлення шуму фільтром усереднення, в – подавлення шуму медіанним фільтром)

Можна зазначити, що на зображенні, отриманому фільтром усереднення, рівень шумів став меншим, але ціною сильного розмиття. При цьому дуже очевидна перевага медіанного фільтру в усіх відношеннях.

## 1.4 Висновки по розділу 1

Зображення БПЛА, отримані з камери відеонагляду часто мають недостатню контрастність із фоном. Ця ситуація може бути результатом випадкових обставин (світлий БПЛА на інтенсивно яскравому небі або темний БПЛА на фоні темних дерев). Є розробки, коли БПЛА можуть навмисне маскуватися за рахунок роботи покриття-хамелеону.

Для поліпшення помітності БПЛА на відео доцільно використовувати градаційну обробку зображення перед виявленням. Структуру та параметри даної обробки доцільно обрати після досліджень.

Також, при відеозйомці в умовах недостатньої освітленості, відео має значний рівень шуму, що, очевидно, може призводити до збільшення вірогідності хибного виявлення рухів у кадрі, навіть за їх відсутності. Також варто очікувати погіршення результатів розпізнавання БПЛА від інших рухомих об'єктів.

Таким чином, треба використовувати фільтрацію зображень перед виявленням. Тип та параметри просторових фільтрів також доцільно визначити в результаті досліджень.

На кафедрі МІРЕС ХНУРЕ виконуються дослідження з обробки оптичних [15-18], інфрачервоних [19-20], акустичних [21-24] і радіолокаційних сигналів та їх комплексування [25] для виявлення безпілотних літальних апаратів, визначення їх координат та параметрів руху. Дослідження в даній кваліфікаційній роботі відповідають даному науковому напрямку і доповнюють дослідження вчених кафедри.

## 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ АЛГОРИТМІВ ПОЛІПШЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ В ЗАДАЧАХ РОЗПІЗНАВАННЯ ДРОНІВ

### 2.1 Еквалізація гістограм зображень

У розділі 2 розглянемо те, як можна реалізувати один із алгоритмів поліпшення якості зображення за допомогою підсилення контрастності окремих його областей. Цей алгоритм називається еквалізацією або вирівнюванням гістограми.

Еквалізація гістограм – це один з простіших алгоритмів поліпшення якості зображень. Проте, в наукових роботах та Інтернеті складно знайти приклад його конкретної реалізації. Еквалізація – це процедура вирівнювання гістограми зображення шляхом корекції) інтенсивності окремих пікселів.

Гістограма будь-якого зображення є графіком, який показує у вигляді максимумів, число пікселів у зображенні з певною інтенсивністю, і, як правило, для певного зображення вона представляє собою велике число піків нерівномірно розподілених у графіку.

Нерівномірний розподіл показує, що у гістограмі є ділянки у яких зосереджена більшість максимумів чи навпаки менша. Тобто, у просторі графіка є ділянки, де густина значень вище або нижче, ніж у середньому по графіку. Алгоритм еквалізації робить вигляд гістограми більш рівномірним, а це означає, що в графіку майже не залишається прогалів та ділянок з занадто високою кількістю (і висотою) максимумів.

При усіх поелементних перетвореннях відбувається зміна закону розподілу вірогідностей, яким описується зображення. Розглянемо принцип цих змін на прикладі довільного перетворення із монотонною характеристикою, яка описується функцією  $y = f(x)$  (рис.2.1), яка має однозначну функцію зворотного перетворення  $x = \varphi(y)$ . Припустимо, що випадкова величина  $x$  відповідає густині вірогідності  $w_x(x)$ .

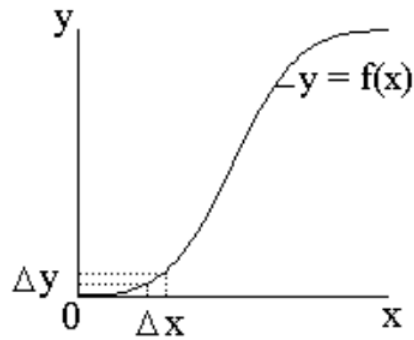


Рисунок 2.1 – Нелінійна функція перетворення випадкової величини

Нехай  $\Delta x$  – деякий малий інтервал значення випадкової величини  $x$ , а  $\Delta y$  – відповідний інтервал значення перетвореної випадкової величини  $y$ .

Попадання значення  $x$  в інтервал  $\Delta x$  спричиняє попадання значення  $y$  в інтервал  $\Delta y$ , що означає вірогіднісну еквівалентність даних двох подій. Тому, враховуючи мале значення обох інтервалів, можна сформулювати наближене рівняння:

$$w_x(x) |\Delta x| \approx w_y(y) |\Delta y|, \quad (2.1)$$

де модулі враховують залежність вірогідностей від абсолютних величин інтервалів (і незалежність від знаку прирощень  $\Delta x$  і  $\Delta y$ ). Обчислюючи з (2.1) густину вірогідності перетвореної величини, підставляючи замість  $x$  її вираз через функцію зворотного перетворення і здійснюючи граничний перехід при  $\Delta x \rightarrow 0$  (а, значить,  $\Delta y \rightarrow 0$ ), отримаємо:

$$w_y(y) = w_x(\varphi(y)) \cdot \left| \frac{d\varphi(y)}{dy} \right|. \quad (2.2)$$

Формула (2.2) дозволяє обчислити густину вірогідності результату перетворення, яка, як видно, не співпадає з густиною розподілення вихідної випадкової величини. Зрозуміло, що суттєвий вплив на густину  $w_y(y)$  має

виконуване перетворення, так як в (2.2) входить його зворотна функція та її похідна.

Співвідношення стають трішки складнішими, якщо перетворення можна описати тільки не взаємно-однозначною функцією [7]. Прикладом більш складнішої характеристики з неоднозначною функцією зворотного перетворення може бути пилкоподібна функція (рис. 2.2). Проте, взагалі, сенс вірогіднісних перетворень не змінюється.

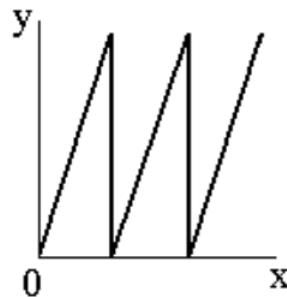


Рисунок 2.2 – Пилкоподібна функція перетворення випадкової величини

Всі розглянуті у розділі 2 поелементні перетворення зображення можна розглянути з точки зору зміни розподілу густини вірогідності, що описується виразом (2.2). Очевидно, що за жодного випадку їх густина вірогідності вихідного результату не буде збігатися з густиною вірогідності вихідного зображення (крім тотожного перетворення  $y = f(x) \equiv x$ ). Легко переконатися, що за лінійного контрастування зберігається вигляд густини вірогідності, однак у загальному випадку, тобто за довільних значень параметрів лінійного перетворення, змінюються параметри густини вірогідності перетвореного зображення.

Визначення вірогіднісних характеристик зображень, які пройшли нелінійну обробку, є головною задачею аналізу. При розв'язанні практичних завдань обробки зображень може мати місце зворотна задача: за відомим видом густини вірогідності  $w_x(x)$  та бажаному вигляді  $w_y(y)$  визначити потрібне перетворення  $y = f(x)$ , до якого слід піддати вхідне зображення. У практиці обробки зображень нерідко до корисного результату призводить перетворення зображень до рівновірогідного розподілу [8]. В даному випадку

$$w_y(y) = \begin{cases} \frac{1}{(y_{\max} - y_{\min})}, & \text{при } y_{\min} \leq y \leq y_{\max}, \\ 0, & \text{при інших } y. \end{cases} \quad (2.3)$$

де  $y_{\min}$  і  $y_{\max}$  – мінімальна та максимальна величина інтенсивності перетвореного зображення.

Визначимо характеристику перетворювача, який розв'язує це завдання. Нехай  $x$  і  $y$  пов'язані між собою як  $y = f(x)$ , а  $F_x(x)$  та  $F_y(y)$  – інтегральні закони розподілу вхідного та вихідного значень. Враховуючи вираз (2.3), запишемо:

$$F_y(y) = \int_{y_{\min}}^y w_y(y) dy = \frac{y - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}}. \quad (2.4)$$

Підставляючи (2.4) в умову вірогіднісної еквівалентності

$$F_x(x) = F_y(y), \quad (2.5)$$

після нескладних перетворень отримаємо вираз

$$y = (y_{\max} - y_{\min}) \cdot F_x(x) + y_{\min}, \quad (2.6)$$

що представляє собою функцію  $y = f(x)$  у розв'язуваному завданні. Відповідно до виразу (2.6) вхідне зображення пройшло нелінійне перетворення, характеристика  $F_x(x)$  котрого визначається законом розподілу вірогідності самого вхідного зображення. Після цього результат приводиться до потрібного діапазону інтенсивностей з допомогою лінійної операції контрастування.

Аналогічно можна отримати розв'язання інших подібних завдань, у яких треба привести закони розподілу зображення до потрібного вигляду. У

роботі [9] наведена таблиця таких перетворень. Одне з перетворень – так звана гіперболізація розподілу. Вона передбачає приведення густини вірогідності обробленого зображення до гіперболічного вигляду:

$$w_y(y) = \begin{cases} \frac{1}{y(\ln y_{\max} - \ln y_{\min})}, & \text{при } y_{\min} \leq y \leq y_{\max}, \\ 0, & \text{при інших } y. \end{cases} \quad (2.7)$$

З врахуванням того, що при проходженні світла крізь око вхідна інтенсивність логарифмується сітківкою, то результуюча густина вірогідності біде рівномірною. Отже, на відміну від попереднього прикладу, алгоритм полягає в урахуванні фізіологічних властивостей зору. Можна довести, що зображення з густиною вірогідності (2.7) отримується на виході нелінійного елемента з характеристикою

$$y = y_{\min} \cdot \left( \frac{y_{\max}}{y_{\min}} \right)^{F_x(x)}, \quad (2.8)$$

яка також визначається законом розподілу вірогідності вхідного зображення.

Отже, перетворення густини вірогідності передбачає знання розподілу вірогідності для вхідного зображення. Як правило, точних відомостей про нього немає. Застосування для цього аналітичних апроксимацій також мало придатне, так як їхні невеликі відхилення від справжніх розподілів можуть приводити до сильної відмінності результатів від потрібних. Тому в експериментальній обробці зображень перетворення розподілів виконується в два етапи.

На першому – обчислюється гістограма вхідного зображення. Для цифрового зображення, шкала інтенсивностей якого, наприклад, належить до цілісного діапазону 0...255, гістограма має вигляд таблиці із 256 чисел.

Кожне число показує число пікселів у кадрі, які мають цю яскравість. Розділивши усі числа даної таблиці на загальний розмір реалізації, що дорівнює кількості пікселів зображення, отримують оцінку розподілу вірогідності інтенсивності зображення. Позначимо дану оцінку як  $w_x^*(i)$ . Тоді оцінка інтегрального розподілу обчислюється за таким виразом:

$$F_x^*(j) = \sum_{i=0}^j w_x^*(i). \quad (2.9)$$

На другому етапі виконується безпосередньо нелінійне перетворення  $y = f(x)$ , яке забезпечує потрібні характеристики вихідного зображення. При тому замість невідомого справжнього інтегрального розподілу беруть оцінку, засновану на гістограмі. З огляду на це усі алгоритми поелементного перетворення зображень, задачею яких є зміна вигляду законів розподілу, отримали назву гістограмних алгоритмів. Зокрема, перетворення, в якому вихідне зображення рівномірно розподілене, називається вирівнюванням (або еквалізацією) гістограм.

Відзначимо, що алгоритми перетворення гістограм можуть використовуватися як до всього зображення, так і до окремих його областей. Останній варіант може бути корисним при обробленні нестационарних зображень, зміст яких сильно відрізняється за своїми параметрами у різних областях. У даному випадку кращого ефекту можна досягнути, використовуючи гістограмну обробку для окремих областей.

Використання формул (2.4) – (2.8), справедливих для зображень із неперервним розподілом інтенсивності, є не дуже коректним для цифрових зображень. Потрібно мати на увазі, що в результаті оброблення не вдається отримати ідеальний розподіл вірогідностей вихідного зображення, тому необхідно контролювати його гістограму.

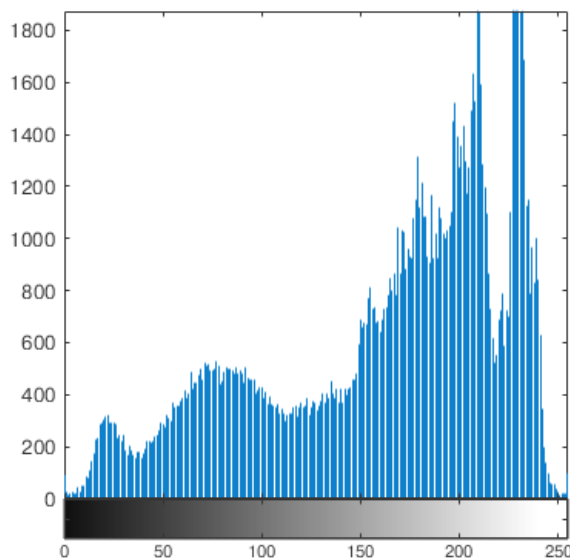
На рис.2.3 показано приклад еквалізації, що виконана відповідно до викладеного алгоритму. Характерною особливістю багатьох зображень у реальних фото- та відеосистемах, є значна вага темних областей та порівняно мале число областей з високою інтенсивністю. Еквалізація має скоригувати картину, вирівнявши сумарні площі областей із різними інтенсивностями.



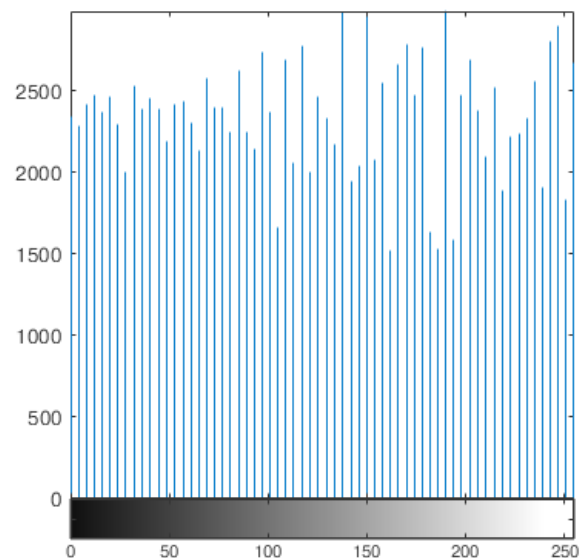
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2.3 – Приклад еквалізації зображення БПЛА (а – вхідне зображення, б – вихідне зображення, в – гістограма вхідного зображення, г – гістограма вихідного зображення)

Порівняння вхідного (рис.2.3, а) і вихідного (рис.2.3,б) зображень свідчить, що перерозподіл інтенсивностей, який відбувається при обробленні, приводить до поліпшення контрастності білого БПЛА на

світлому фоні. Це, очевидно, приведе до поліпшення подальшого виявлення і розпізнавання БПЛА.

## 2.2 Попереднє оброблення зображень

Попереднє оброблення зображень – процес поліпшення якості зображень, що ставить метою отримання на основі вхідного зображення максимально точного та адаптованого до автоматизованого аналізу зображення.

Серед дефектів цифрових зображень можна виділити такі:

- аналогові та цифрові шуми;
- кольорові дефекти (недостатня або надмірна яскравість, контрастність, невірний колірний тон);
- розмитість (розмазаність).

Алгоритми попереднього оброблення зображень залежать від завдання дослідження і можуть включати наступні види оброблення:

- фільтрація зображень;
- морфологічні перетворення зображень;
- корекція інтенсивності і контрастності зображень.

Розглянемо особливості зазначених обробок відносно зображень БПЛА.

### 2.2.1 Фільтрація шумних зображень БПЛА

Аналоговий та цифровий шум зображення – дефект, який вноситься світлочутливими сенсорами та електронікою приладів, що їх використовують. Особливо шуми мають місце при зйомці в умовах поганої освітленості. Система автоматизованого регулювання підсилення відеосигналу підвищує коефіцієнт передачі каналу зображення камери,

збільшуючи на виході шум разом із сигналом. Шум проявляє себе у вигляді зернистості зображення.

Для придушення шуму застосовують такі алгоритми.

Лінійне усереднення пікселей-сусідів – найпростіший алгоритм придушення шуму. Головна ідея у тому, щоби брати середнє арифметичне значення пікселей в певній околиці якості нового значення пікселя.

Практично така фільтрація реалізується шляхом обходу пікселей зображення матрицею згортки, яка має вигляд, як на рис.2.4.

$\frac{1}{div}$	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1

Рисунок 2.4 – Матриця згортки при лінійній фільтрації усередненням пікселей-сусідів

Знаменник *div* – це коефіцієнт нормування, його задача, щоби середня інтенсивність залишалася незмінною. Знаменник *div* дорівнює сумі коефіцієнтів матриці. У даному прикладі  $div = 25$ .

Розмиття за Гаусом є різновидом лінійної згортки. Реалізується за допомогою обходу пікселей зображення згортковою матрицею, яка має вигляд, як на рис.2.5.

$\frac{1}{273}$	1	4	7	4	1
	4	16	26	16	4
	7	26	41	26	7
	4	16	26	16	4
	1	4	7	4	1

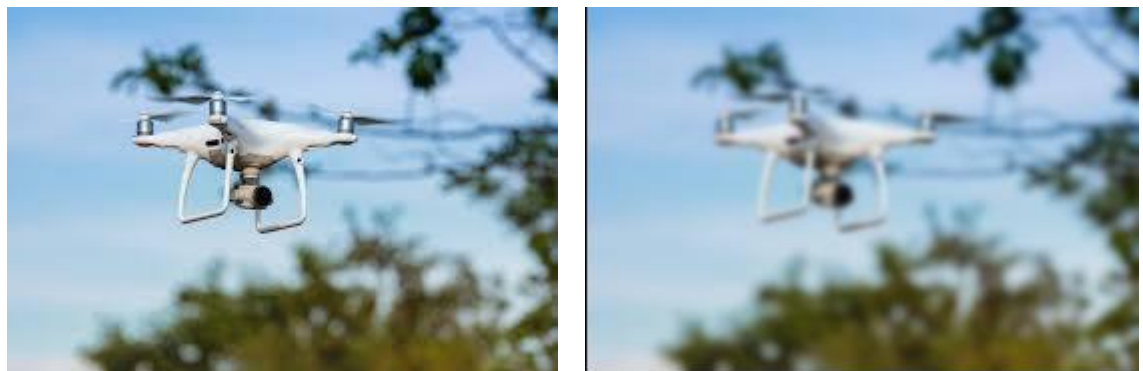
Рисунок 2.5 – Матриця згортки при фільтрації по Гаусу

Матриця розміром  $5 \times 5$  заповнена за гаусовим (нормальним) законом. На рис.2.6 показана та сама матриця, але коефіцієнти вже нормовані, так що для цієї матриці  $div = 1$ .

Від розмірів матриці залежить ступінь розмиття.

0,000789	0,006581	0,013347	0,006581	0,000789
0,006581	0,054901	0,111345	0,054901	0,006581
0,013347	0,111345	0,225821	0,111345	0,013347
0,006581	0,054901	0,111345	0,054901	0,006581
0,000789	0,006581	0,013347	0,006581	0,000789

Рисунок 2.6 – Нормована матриця згортки при фільтрації по Гаусу



а)

б)



в)

Рисунок 2.7 – Приклад застосування гаусового розмиття  
(а – вхідне зображення, б – вихідне зображення, радіус розмиття 5,  
в – вихідне зображення, радіус розмиття 10)

У верхнього лівого пікселя не існує «сусідів» зверху і ліворуч, отже, нема на що множити дані коефіцієнти матриці (рис. 2.8).

Для розв'язання даної проблеми треба створити проміжне зображення. Ідея полягає в тому, щоби мати тимчасове зображення із розмірами

$$width + 2 \text{ gap}/2, height + 2 \text{ gap}/2, \quad (2.10)$$

де  $width$  і  $height$  – ширина та висота обробленого зображення,  $gap$  – розміри матриці згортки.



Рисунок 2.8 – Відсутність сусідів у граничних пікселей

В центр зображення записується вхідна картина, а межі заповнюються крайніми пікселями зображення. Розмиття використовується до проміжного буферу, та потім із нього отримується результат (рис.2.9).

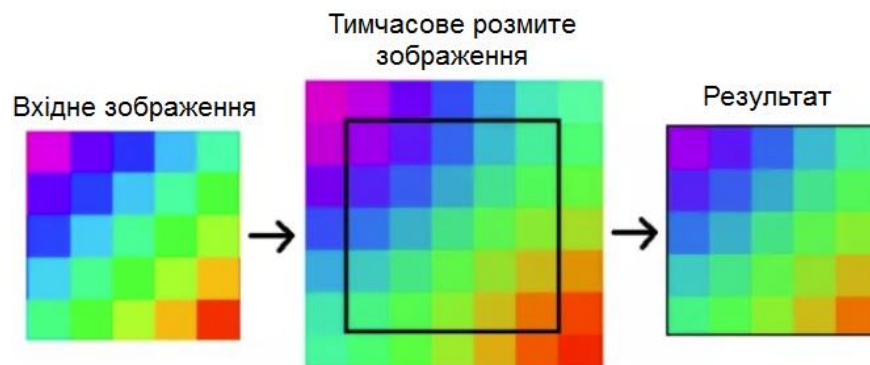


Рисунок 2.9 – Розв'язання проблеми відсутності сусідів у граничних пікселей

Медіанний фільтр – це віконний фільтр, що послідовно сканує зображення, і повертає на кожному кроці один із пікселів, що потрапили у вікно фільтра.

Піксели, що «потрапляють» у вікно, сортуються у порядку зростання і обирається значення, що знаходиться рівно в середині відсортованого списку (рис.2.10). Медіанний фільтр звичайно застосовується для придушення шуму або згладжування зображень.



Рисунок 2.10 – Процедура медіанної фільтрації

Приклад застосування медіанного фільтра до попередньо зашумленого зображення БПЛА (сигнал-шум 22 дБ) наведено на рис.2.11.



Рисунок 2.11 – Приклад використання медіанного фільтра  
(а – зашумлене зображення, б – оброблене медіанним фільтром)

До вхідного зображення в системі MATLAB додавався гаусівський білий шум. Необхідне середньоквадратичне відхилення шуму розраховувалося виходячи з виразу:

$$PSNR = 20 \lg \frac{255}{\sigma_{ш}}, \quad (2.11)$$

де  $PSNR$  – пікове значення сигнал-шум (peak signal-to-noise ratio).  $PSNR$  показує відношення між максимальною контрастністю (в нашому випадку – різницею між рівнем білого і чорного 255) і потужністю шуму, що спотворює зображення.

Медіанна фільтрація має менше розмиття, чим фільтр Гауса і достатньо ефективно придушує шуми.

Для поліпшення чіткості зображення застосовується наступний фільтр (рис. 2.12).

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

Рисунок 2.12 – Матриця фільтру для поліпшення чіткості зображення ( $div = 1$ )

Даний вигляд матриці дозволяє підкреслювати межі об'єктів. Приклад застосування фільтра поліпшення чіткості зображення попередньо обробленого медіанним фільтром наведено на рис.2.13.



а)



б)

Рисунок 2.13 – Приклад застосування фільтра поліпшення чіткості зображення (а – вхідне зображення, б – вихідне зображення)

Як помітно з рис. 2.13 при використанні фільтра поліпшення чіткості відбувається певне зростання рівня шуму, але результат цієї обробки все одно помітно краще, ніж у вхідного зашумленого зображення.

### 2.2.2 Морфологічне перетворення

Морфологічна фільтрація застосовується для розширення (дилатації) чи звуження (ерозії) пікселів бінарного зображення.

Дилатація (або морфологічне розширення) – це згортка зображення або його виділення зображення певним шаблоном. Шаблон може мати будь-яку форму та розмір. При тому в ньому виділяється одна провідна позиція (anchor), що поєднується з поточним пікселем при розрахунку згортки.

Приклад процедур дилатації і ерозії наведено на рис. 2.14.

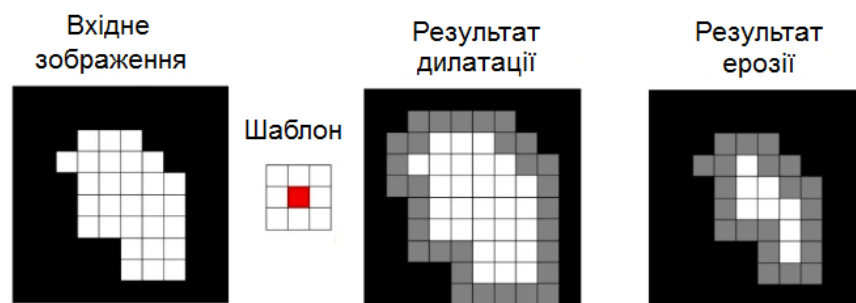


Рисунок 2.14 – Приклад процедур дилатації і ерозії

Бінарне зображення – це впорядкований набір чорно-білих пікселів. Максимум інтенсивності пікселів зображення дорівнює 1, мінімум – 0.

Використання дилатації зводиться до проходу шаблоном по всьому зображенні та використанні оператора пошуку локального піку інтенсивності пікселів зображення, які накриваються шаблоном. Якщо пік дорівнює 1 то піксел, в якій знаходиться анкор шаблону буде білим. Така операція призводить до зростання числа світлих областей на зображенні. На рисунку сірим кольором відмічені піксели, що в результаті процедури дилатації будуть білими.

Ерозія (або морфологічне звуження) – процедура, зворотна до дилатації. Дія ерозії схожа на дилатацію, різниця лише в тому, що застосовується оператор пошуку локального мінімуму. Коли мінімум дорівнює 0, то піксел, де знаходиться анкор шаблону, буде чорним. На рисунку праворуч сірим кольором відмічені піксели, що стануть чорними в результаті ерозії.

Процедура "Дилатація" є аналогом логічного "або", процедура "Ерозія" є аналогом логічного "і".

Результат морфологічних процедур багато в чому визначається шаблоном. Обираючи різний шаблон, можна розв'язувати різні задачі обробки зображень БПЛА:

- подавлення шуму;
- виділення меж об'єкту;
- виділення "скелета" об'єкту.

### 2.3 Використання табличного алгоритму при виконанні поелементних перетворень зображення

При виконанні поелементних перетворень зображень обчислення функції  $y = f(x)$  повинні виконуватися для всіх пікселей вхідного зображення. Навіть при не сильно затратних обчисленнях відповідно до виду застосовуваного перетворення загальний об'єм обчислювальної роботи, який виконується комп'ютером, може виявитися суттєвим. У тих завданнях, де функція  $y = f(x)$  передбачає складні обчислення (множення, ділення, обчислення тригонометричних формул, статистичних та інших функцій), використання прямого алгоритму перетворення інтенсивностей може виявитися взагалі нездійсненним. Незручним є той факт, що час оброблення залежить від його обчислювальної складності. Від даних недоліків позбавлений табличний алгоритм, який набув широкого використання у практиці цифрового оброблення зображень.

Сутність табличного алгоритму полягає у тому, що шляхом попереднього обчислення створюється таблиця залежності  $y = f(x)$ , загальний вигляд якої наведено в табл.2.1.

Таблиця 2.1 – Табличне уявлення функції  $y = f(x)$

$x$	$x_1$	$x_2$	·	·	·	·	·	$x_{n-1}$	$x_n$
$y = f(x)$	$y_1$	$y_2$	·	·	·	·	·	$y_{n-1}$	$y_n$

При обробленні зображення замість розрахунків використовуються готові результати звернення до цієї таблиці. При цьому значення вхідної інтенсивності  $x$  служить для визначення номера стовпця, із якого має бути розрахована величина  $y$  перетвореного сигналу. Виконання даної простої операції замість розрахунку на кожному кроці нового значення дозволяє зробити обробку достатньо швидкою, причому її тривалість буде незалежною від складності перетворення.

Разом з цим, якщо вхідне зображення представлено цілим числом в діапазоні 0..255, то розмір повної таблиці, яка містить всі значення, цілком прийнятний для її зберігання. З іншого боку, якщо значення інтенсивності вхідного сигналу служить адресою, визначальним є номер стовпця у таблиці. Обробка з застосуванням цього алгоритму є дуже зручною та швидкою.

## 2.4 Висновки по розділу 2

В результаті теоретичного обґрунтування алгоритмів оброблення зображень БПЛА в задачах поліпшення характеристик їх виявлення і розпізнавання можна навести чітку послідовність етапів обробленняки:

– подавлення шуму медіанною фільтрацією. Медіанний фільтр має менше розмиття, ніж фільтр Гаусу і досить ефективно придушує шуми;

– поліпшення чіткості зображень з застосуванням відповідної віконної фільтрації. Це дозволить системі точніше виділяти межі об'єкту. При застосуванні фільтру поліпшення чіткості відбувається певне зростання рівня шумів, але результат цієї обробки все одно набагато кращий, ніж вхідне зашумлене зображення;

– еквалізація гістограми рівнів інтенсивності зображення (нормалізація). Перерозподіл інтенсивностей, що відбувається при подібній обробці, призводить до поліпшення контрасту БПЛА з фоном. Що, очевидно, приведе до поліпшення подальшого виявлення і розпізнавання БПЛА.

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ НА ПІДВИЩЕННЯ ПОМІТНОСТІ БПЛА НА СХОЖОМУ ФОНІ

#### 3.1 Дослідження впливу антишумового оброблення

В системах виявлення і розпізнавання БПЛА в відеоканалі не поодинокі випадки, коли відеопотік має недостатньо велике, а часто і дуже мале відношення сигнал-шум (близько 20 дБ, або навіть менше). Такі ситуації трапляються найчастіше при відеонагляді за охороняємим простором в умовах слабкої освітленості – у похмуру погоду чи у ранкові або вечірні сутінки.

В даному випадку автоматичне регулювання поїдсилення відеокамери збільшує чутливість – підсилення у відеоканалі (ISO), внаслідок чого разом із сигналом збільшується і рівень відеошуму. Шум на відео проявляється у вигляді зернистості зображення. Це спотворює картинку як з точки зору візуального сприйняття, але головне – ускладнює роботу автоматизованих систем з виявлення і розпізнавання БПЛА.

Труднощі для роботи автоматизованої системи виявлення є в тому, що просторове розподілення шумів у 2-х сусідніх кадрах буде різнитися. Система виявлення на першому етапі виконує пошук руху за відмінністю 2-х сусідніх кадрів або поточного і опорного кадрів (рис. 3.1). Наявність відеошумів приводить до помилкового виявлення руху.

На рис. 3.2 показано випадок, коли рухи у кадрі відсутні, але рух виявляється помилково тільки внаслідок наявності шумів. В даному випадку пікове відношення сигнал-шум склало  $PSNR \approx 20$  дБ. Шуми мали нормальний розподіл вірогідності, що справедливо для багатьох систем відеонагляду. Потрібне значення дисперсії шуму  $\sigma_{\text{ш}}^2$  визначалася виходячи із співвідношення:

$$PSNR = 10 \lg \left( \frac{255}{\sigma_{\text{ш}}} \right)^2. \quad (3.1)$$

В даному випадку 255 – це максимальна контрастність – різниця між рівнями білого і чорного.

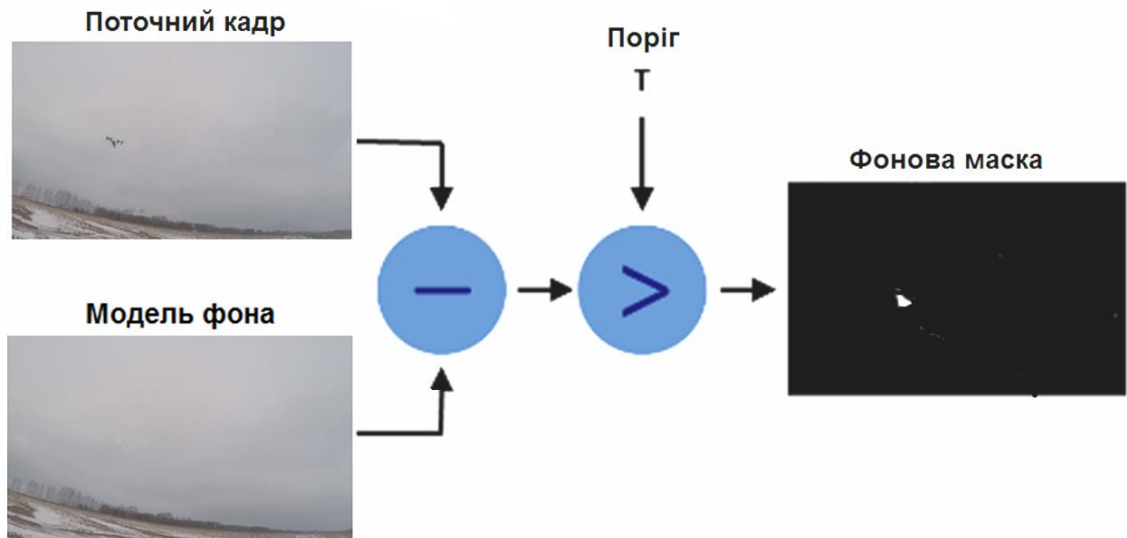


Рисунок 3.1 – Алгоритм виявлення рухомих об'єктів у відео

Скрипт відповідної програми в системі MATLAB наведено нижче.

```
clear; close all
Pic='C:\drone.JPG';

snr=20;
SNR=255/(10^(snr/20));
I=imread(Pic);

imshow(I);

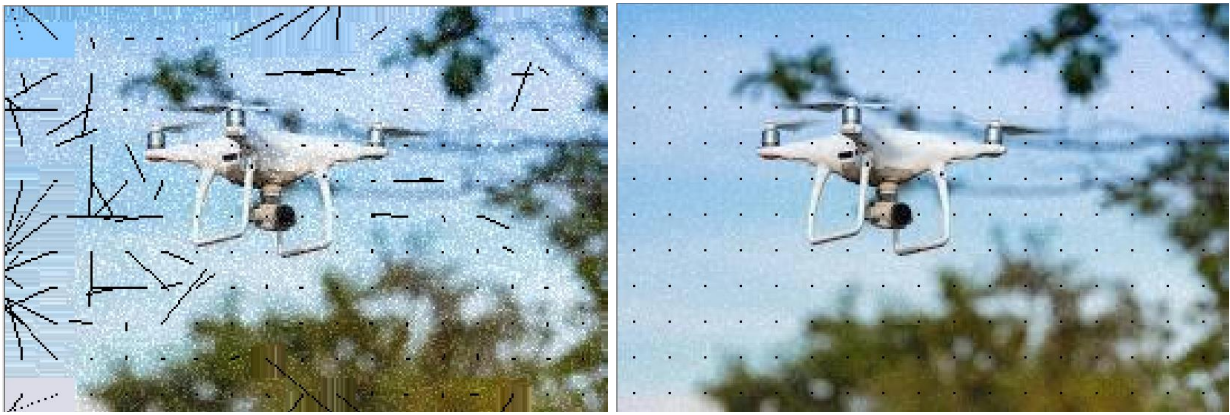
H=size(I,1); W=size(I,2);

N1=randn(H,W); N1=uint8(N1);
N2=randn(H,W); N2=uint8(N2);

Is1=I+SNR*N1; Is2=I+SNR*N2;

subplot(1,2,1), imshow(Is1);
subplot(1,2,2), imshow(Is2);

imwrite(Is1,'D:\Is1.JPG')
imwrite(Is2,'D:\Is2.JPG')
```



а)

б)

Рисунок 3.2 – Помилкове виявлення рухів у кадрі внаслідок шуму  
(а –  $PSNR=20$  дБ, б –  $PSNR=30$  дБ, лініями показані помилкові  
вектори руху)

З формули (3.1) слідує

$$\sigma_{ш} = \frac{255}{10^{PSNR/20}} \cdot \quad (3.2)$$

Дослідження в даній кваліфікаційній роботі показали, що порогом, коли виникає помилкове виявлення руху внаслідок впливу шумів, можна вважати величину  $PSNR=24...25$  дБ.

Досліджено вплив медіанної фільтрації на поліпшення відношення сигнал-шум у відеозображеннях і на ефективність виявлення і розпізнавання БПЛА.

Головна передумова медіанної фільтрації полягає у аналізі околиць пікселей зображення, сортуванні їх за інтенсивністю, а далі – у виборі середньої інтенсивності як результату обробки.

Один з підходів, який можемо запропонувати в MATLAB, полягає в тому, щоби застосувати функцію `im2col` для перетворення кожної околиці пікселя на єдиний вектор стовпців і взяти усі дані вектори стовпців для

створення єдиної матриці. Кожен стовпець являтиме інтенсивність пікселей у околиці пікселей.

Потім застосовуємо команду `sort` і виконуємо сортування за рядками для кожного стовпця. Далі захопимо середину відсортованої матриці, що складає середнє значення для кожної околиці пікселя. Це вийде вектор з одним рядком, який представляє медіанне значення для кожної околиці пікселя.

Як тільки процедура буде закінчена, повернемо цей вектор назад у той самий розмір, що і вхідне зображення, щоби отримати результат медіанної фільтрації. Використаємо функцію `col2im`, щоби виконати цей останній крок.

Скрипт відповідної програми в системі MATLAB наведено нижче.

```
im_pad = padarray(im, [floor(N/2) floor(N/2)]);
im_col = im2col(im_pad, [N N], 'sliding');
sorted_cols = sort(im_col, 1, 'ascend');
med_vector = sorted_cols(floor(N*N/2) + 1, :);
out = col2im(med_vector, [N N], size(im_pad), 'sliding');
```

Розглянемо такий приклад. Припустимо, ми обрали розміри фільтра 3 x 3, і будемо використовувати зашумлений файл зображення `droneN.JPG`, що був попередньо отриманий в системі MATLAB в результаті зашумлення зображення `drone.JPG`. Коли ми виконаємо наведений нижче скрипт, то запустимо програму медіанного фільтра, що був показаний вище:

```
N = 5;
im = imread('droneN.JPG');
```

В результаті ми отримаємо вхідне зображення та вихідне зображення, оброблене за допомогою медіанного фільтра (рис.3.3).

Даний результат є тим, що ми очікували, так як медіанна фільтрація (більше або менше) зберігає межі об'єкту в гарному стані при згладжуванні шумів.

Саме пікові значення шуму викликають на помилкове виявлення руху, а медіанний фільтр ефективно придушує ці значення.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.3 – Результати медіанної фільтрації зашумленого зображення БПЛА (а – зашумлений кадр з  $PSNR = 20$  дБ, б – результат медіанної фільтрації з вікном  $3 \times 3$ , в –  $5 \times 5$ , г –  $7 \times 7$ )

На рис. 3.4 показано графік залежності  $PSNR$  від розмірів вікна медіанного фільтру. В даному випадку значення  $PSNR$  розраховувалося за виразом (3.1), а середньоквадратична величина шуму за формулою:

$$\sigma_{\text{ш}} = \sqrt{\frac{1}{XY} \sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y [L(x, y) - L_0(x, y)]^2}, \quad (3.3)$$

де  $X, Y$  – розміри зображення;

$x, y$  – координати поточного пікселя;

$L$  – інтенсивність пікселей зображення, зашумленого або обробленого медіанним фільтром;

$L_0$  – інтенсивність пікселей вхідного зображення.

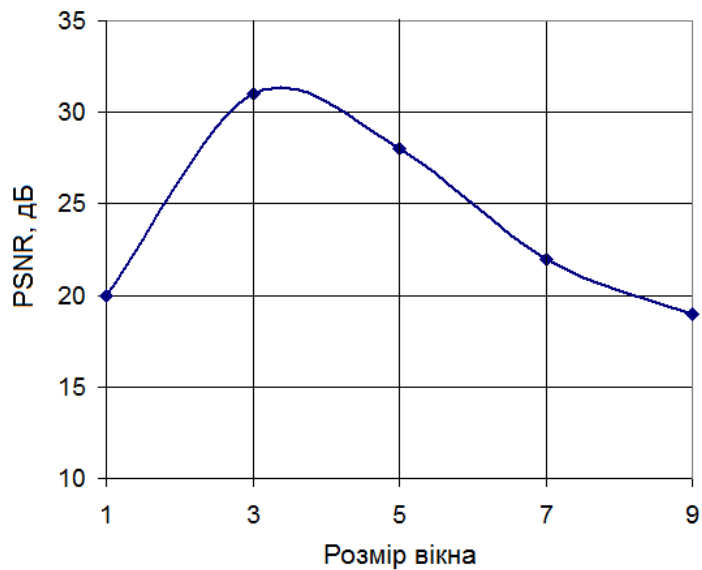


Рисунок 3.4 – Залежність пікового відношення сигнал-шум від розмірів вікна медіанного фільтра

Як слідує з результатів досліджень, оптимальним з точки зору  $PSNR$  є розміри вікна медіанного фільтра 3x3 або 4x4. При цьому величина  $PSNR$  покращується більше ніж на 10 дБ. Тобто цього уже достатньо, для уникнення помилкових спрацювань автоматизованої системи на етапі виявлення рухів.

При подальшому збільшенні розмірів вікна фільтра, відношення сигнал-шум зменшується, що, скоріш за все пов'язано зі спотворенням самого зображення фільтрацією. Тобто спотворення зображення в даному випадку вже виконують таку ж саму роль, що і шум. Це негативно впливатиме на наступний етап – розпізнавання БПЛА.

Для порівняння виконано експеримент з фільтрації зашумленого зображення droneN.JPG гаусовим фільтром зі змінними розмірами вікна. В результаті отримано вхідне зображення та вихідне зображення, оброблене за гаусовим фільтром (рис.3.5).

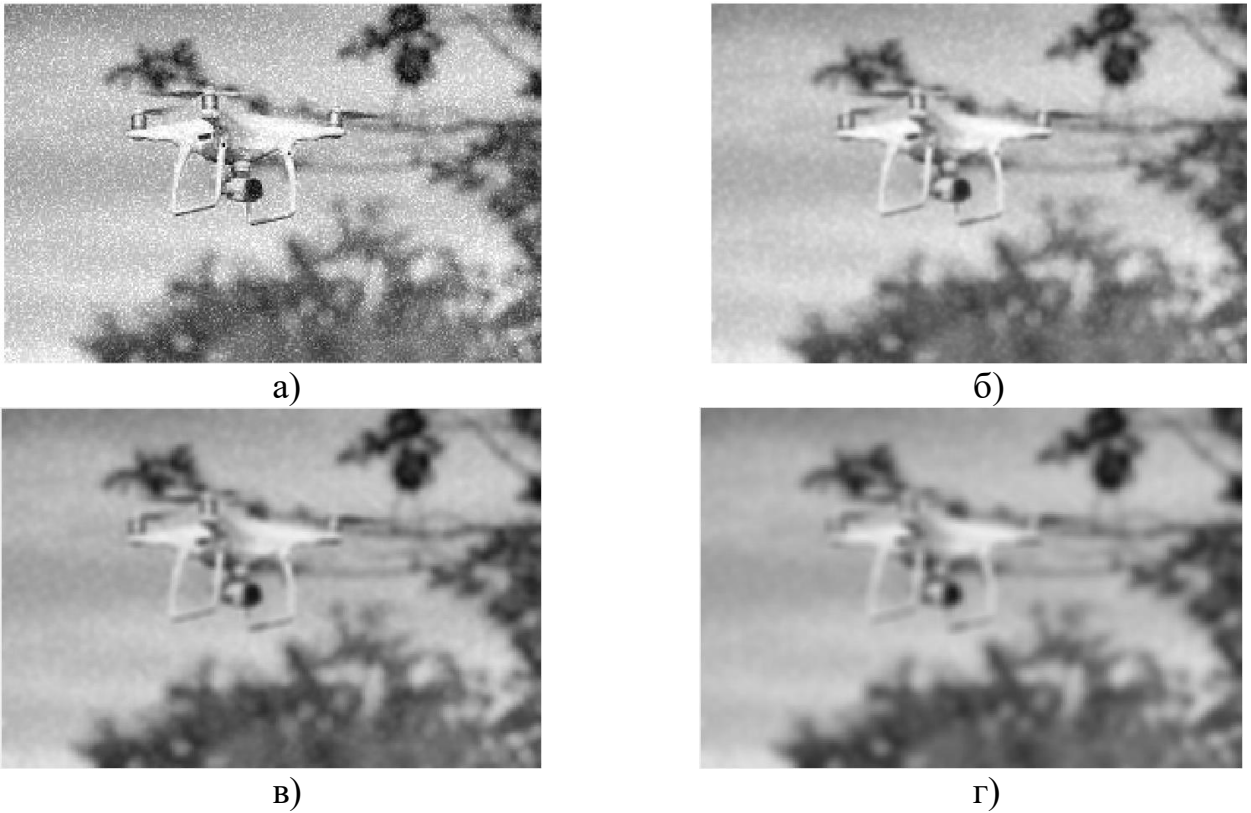


Рисунок 3.5 – Результати використання гаусового фільтра до зашумленого кадру БПЛА (а – шумне зображення з  $PSNR=20$  дБ, б – гаусова фільтрація з вікном  $3 \times 3$ , в –  $5 \times 5$ , г –  $7 \times 7$ )

На рис. 3.6 показано графік залежності  $PSNR$  від розміру вікна гаусового фільтра.

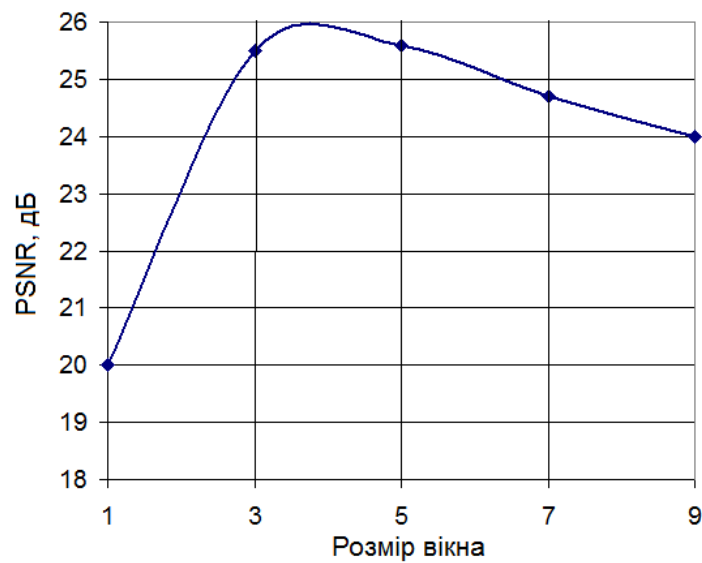


Рисунок 3.6 – Залежність пікового відношення сигнал-шум від розмірів вікна фільтра Гаусу

Як слідує з результатів досліджень, оптимальним з точки зору  $PSNR$  є розмір вікна фільтру Гаусу  $3 \times 3$  або  $4 \times 4$ . При цьому величина  $PSNR$  збільшується більше ніж на 5 дБ. Тобто результат шумоподавлення приблизно на 5 дБ гірше, ніж для медіанного фільтру.

При подальшому збільшенні розмірів вікна фільтру Гаусу, відношення сигнал-шум також зменшується, що, пов'язано зі значним розмиттям зображення. Тобто розмиття зображення в даному випадку вже виконує таку ж саму роль, що і шум. Це негативно впливатиме на наступний етап – розпізнавання БПЛА.

### 3.2 Дослідження впливу нормалізації гистограми зображення

Для спрощення розглядатимемо монохромні зображення БПЛА (тобто зображень, які містять інформацію тільки про інтенсивність, але не про колір пікселей). Гистограмою зображень будемо називати дискретну функцію  $H$ , визначену на множині  $[0; 2b_{pp}]$ , де  $b_{pp}$  – число біт, що відводиться для кодування інтенсивності одного пікселя. Хоча то не є обов'язковим, але гистограми часто нормують в діапазоні  $[0; q]$ , виконуючи поділ кожного значення функції  $H(i)$  на загальне число пікселей зображення. На рис. 3.7 і рис. 3.8 показані приклади випробувальних зображень БПЛА та гистограм, отриманий на їх основі.

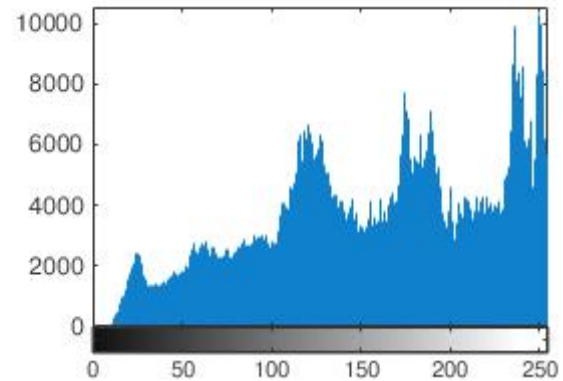
Уважно проаналізувавши відповідну гистограму можна зробити певні висновки і про вхідне зображення. Наприклад, гистограми темних кадрів характеризуються тим, що ненульові величини гистограм згруповані близько нульових рівнів інтенсивності, а для сильно світлих зображень навпаки – усі ненульові величини згруповані в правій частині гистограм.

Інтуїтивно можна дійти висновку, що найкращим для сприйняття як людиною так і системою виявлення БПЛА у відеопотоці буде зображення, у якого гистограма має рівномірний розподіл. Тобто, для поліпшення візуальної якості до вхідного зображення треба застосувати таке перетворення, щоби

гістограма результату мала всі можливі значення інтенсивності і при тому приблизно в однаковій кількості.



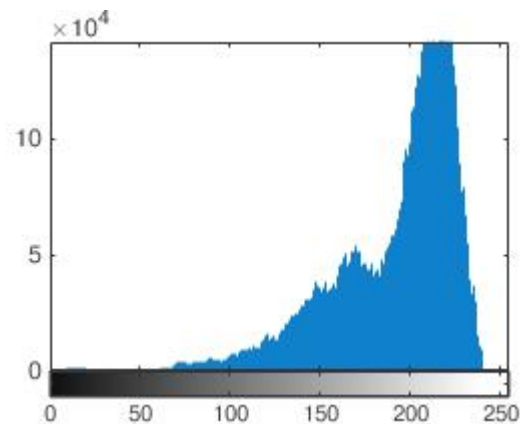
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.7 – Приклади випробувальних зображень БПЛА (а,в) та гістограм, отриманих на їх основі (б,г)

Дане перетворення називається нормалізацією гістограми і виконано в кваліфікаційній роботі в MATLAB за допомогою скрипту, показаного нижче.

```
Pic='C:\drone.JPG';
I=imread(Pic);
imshow(I);

Is=histeq(I);

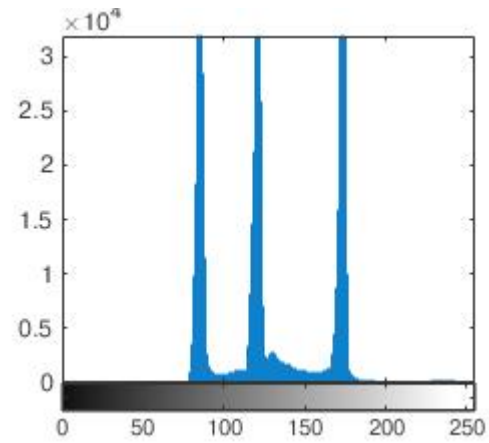
subplot(1,2,1), imshow(I);
subplot(1,2,2), imshow(Is);

figure

subplot(1,2,1), imhist(I);
subplot(1,2,2), imhist(Is);
```



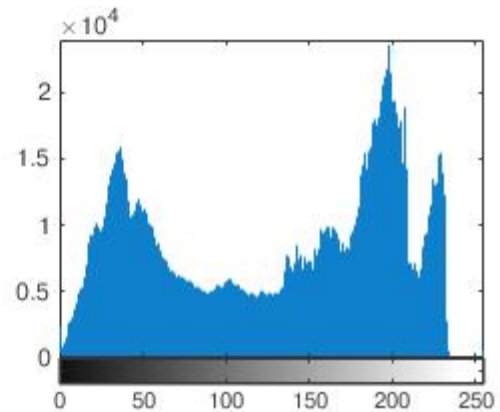
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.8 – Приклади випробувальних зображень БПЛА (а,в) та гістограм, отриманих на їх основі (б,г)

Результати нормалізації гістограм наведених вище випробувальних зображень показано на рис. 3.9 – рис 3.12.

В результаті нормалізації гістограм у всіх випадках суттєво розширюється динамічний діапазон зображень, що дозволяє відтворити непомітні раніше деталі. Особливо сильно цей ефект проявляється сильно дуже темних та сильно світлих зображеннях.

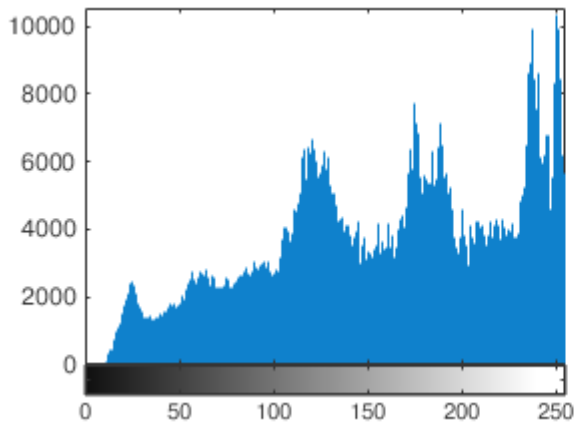
Крім того, слід відзначити ще одну важливу рису процедури нормалізації: на відміну від більшості фільтрів та градаційних перетворень, які вимагають налаштування параметрів (апертури і показників градаційних перетворень), нормалізації гістограм може виконуватися у повністю автономному режимі без втручання оператора.



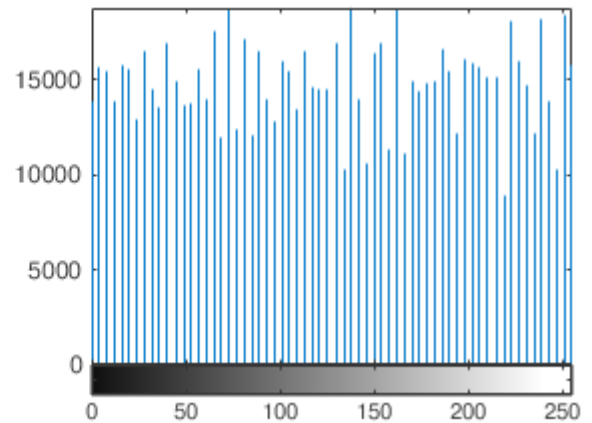
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.9 – Результат нормалізації зображення drone1.JPG (а – вхідне зображення, б – вихідне зображення, в – гістограма вхідного зображення, г – гістограма вихідного зображення)

Можна легко помітити, що гістограми після еквалізації мають помітні своєрідні розриви. Це пов'язано з тим, що динамічний діапазон інтенсивностей вихідного зображення ширше динамічного діапазону вхідного зображення. Очевидно, що у даному випадку розглянуте у скрипті перетворення не може забезпечити ненульові значення в усіх комірках гістограми. Особливо подібний дефект помітно на зображенні drone3.JPG.

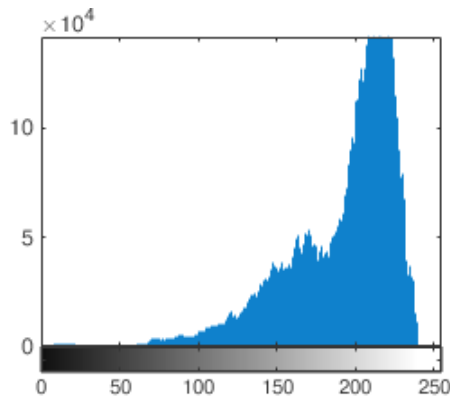
Якщо все-таки потрібно досягти більш природного вигляду вихідного зображення і гістограми, можна застосувати випадковий розподіл значень  $i$ -ї комірці гістограми в певній його околиці. Ще ліпший результат можна отримати, якщо для зйомки відео використати камеру, що має бітову роздільну здатність 10 або 12 біт.



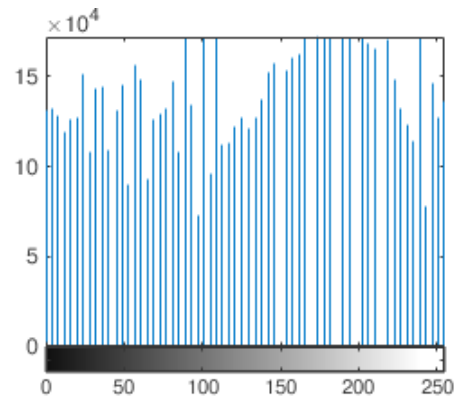
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.10 – Результат нормалізації зображення drone2.JPG (а – вхідне зображення, б – вихідне зображення, в – гістограма вхідного зображення, г – гістограма вихідного зображення)

Головним результатом нормалізації гістограм слід вважати розширення динамічного діапазону зображень, внаслідок чого, по-перше, збільшується контрастність об'єкту з фоном, а по-друге, збільшується контрастність деталей всередині самого об'єкту.

Найчастіше в таких системах розпізнавання об'єктів застосовується просте лінійне розтягування гістограм, метою якого є заповнити весь діапазон рівнів, включаючи області тіней і світла.

В кваліфікаційній роботі виконані порівняльні дослідження підвищення контрастності об'єкту з фоном та контрастності деталей всередині об'єкту для різних зображень БПЛА при обробці алгоритмами нормалізації та лінійного розтягування гістограм. Результати данії досліджень показані на рис. 3.13 – рис. 3.16, і у табл. 3.1 та табл. 3.2.

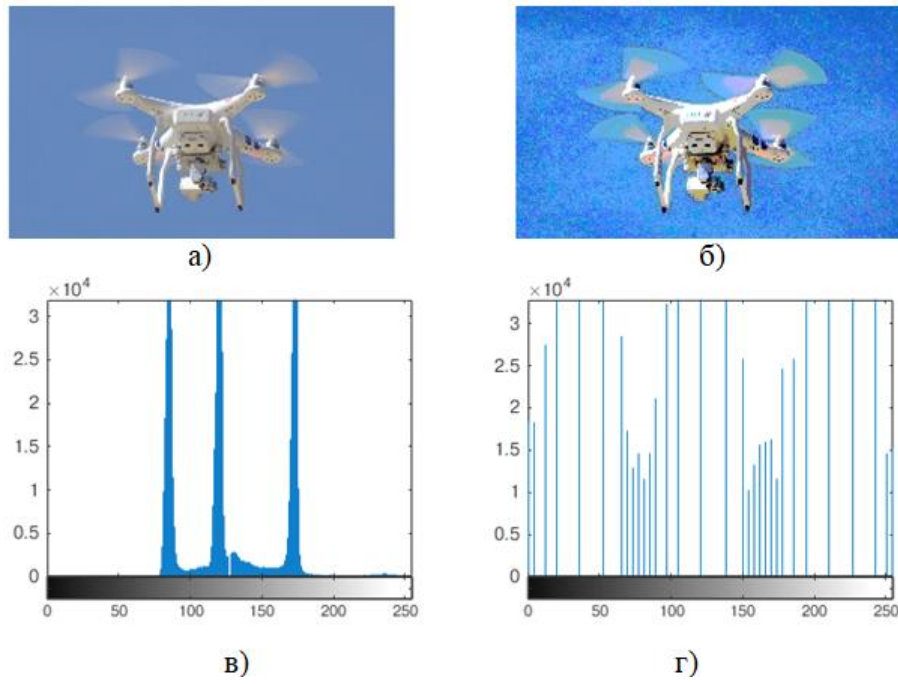


Рисунок 3.11 – Результат нормалізації зображення drone3.JPG (а – вхідне зображення, б – вихідне зображення, в – гістограма вхідного зображення, г – гістограма вихідного зображення)

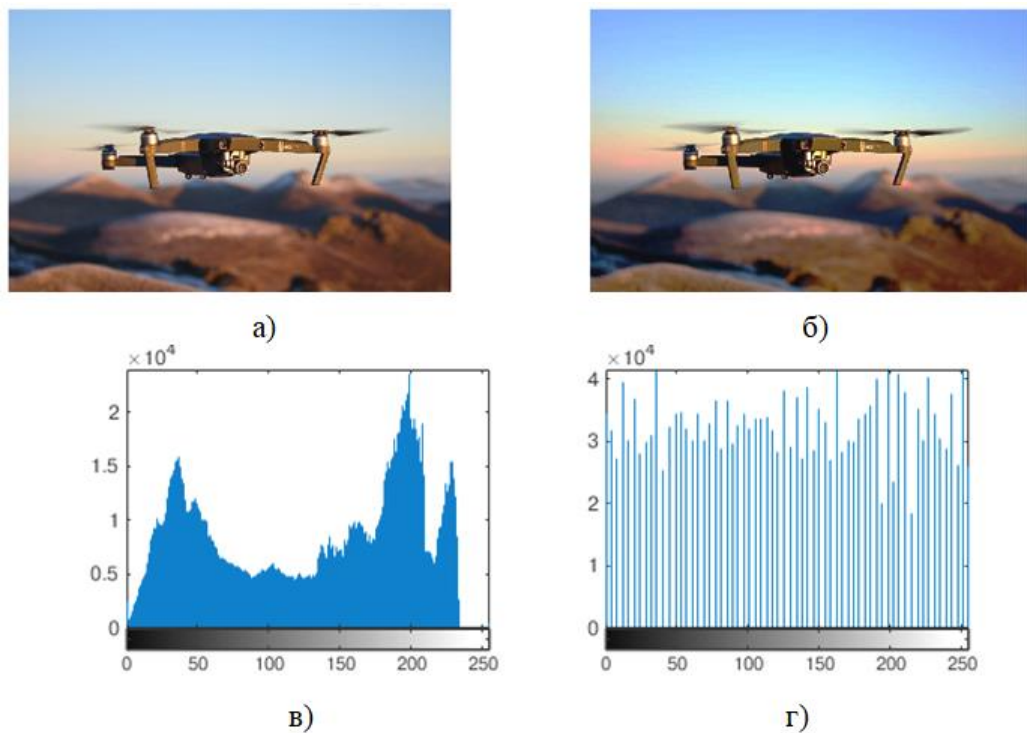


Рисунок 3.12 – Результат нормалізації зображення drone4.JPG (а – вхідне зображення, б – вихідне зображення, в – гістограма вхідного зображення, г – гістограма вихідного зображення)

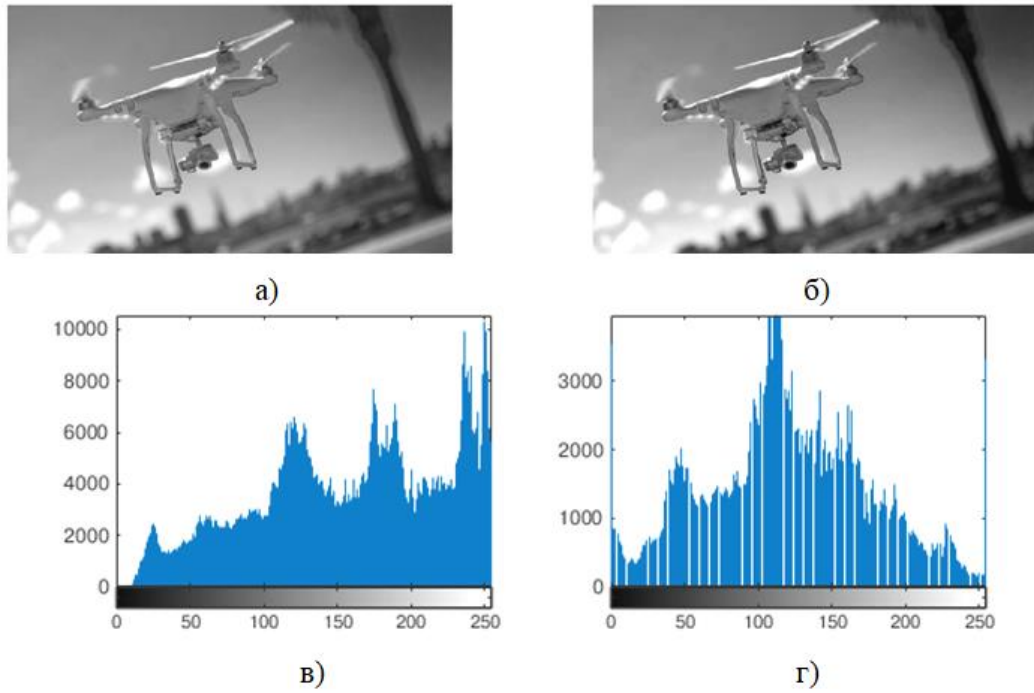


Рисунок 3.13 – Результати лінійного розтягнення гістограми зображення drone1.JPG (а – вхідне зображення, б – вихідне зображення, в – гістограма вхідного зображення, г – гістограма вихідного зображення)

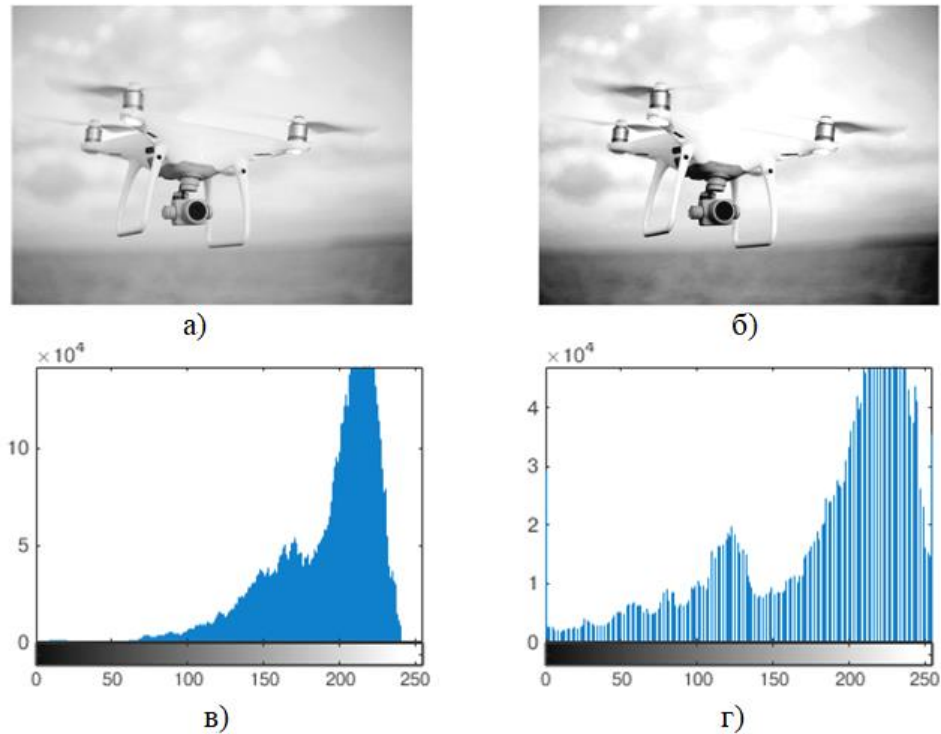


Рисунок 3.14 – Результати лінійного розтягнення гістограми зображення drone2.JPG (а – вхідне зображення, б – вихідне зображення, в – гістограма вхідного зображення, г – гістограма вихідного зображення)

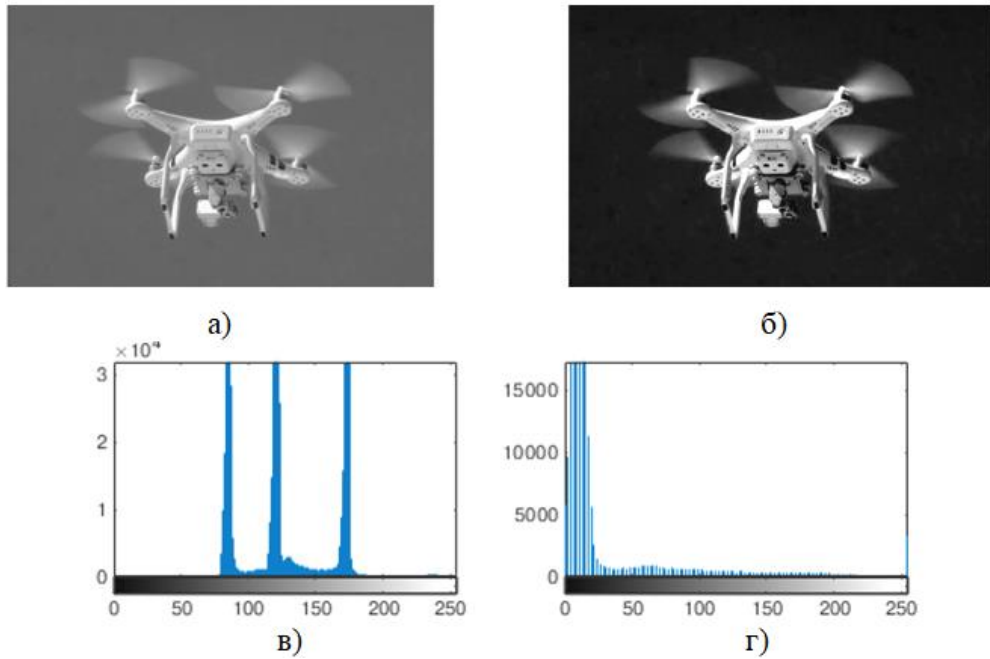


Рисунок 3.15 – Результати лінійного розтягнення гистограми зображення drone3.JPG (а – вхідне зображення, б – вихідне зображення, в – гистограма вхідного зображення, г – гистограма вихідного зображення)

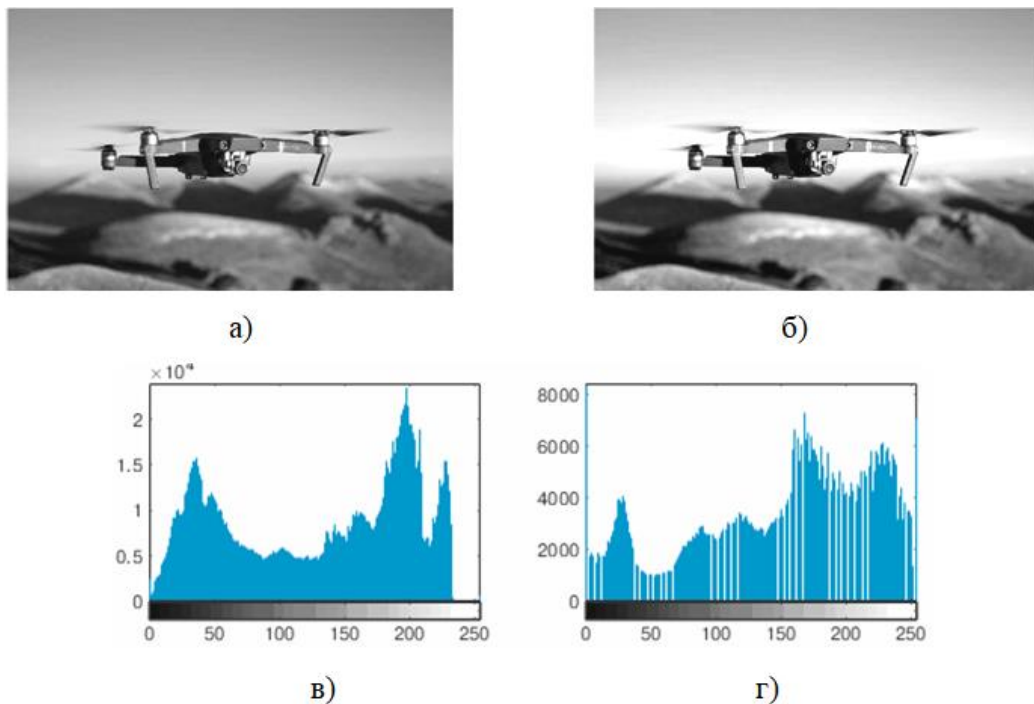


Рисунок 3.16 – Результати лінійного розтягнення гистограми зображення drone4.JPG (а – вхідне зображення, б – вихідне зображення, в – гистограма вхідного зображення, г – гистограма вихідного зображення)

Таблиця 3.1 – Збільшення контрастності БПЛА з фоном та контрастності деталей всередині об'єкту для різних зображень БПЛА при обробці методом нормалізації

Зображення	Контраст з фоном (оригінал)	Контраст з фоном (обробка)	Контраст всередині (оригінал)	Контраст всередині (обробка)
drone1.JPG	1,45	3,71	2,11	5,32
drone2.JPG	1,72	4,3	2,70	6,66
drone3.JPG	1,31	3,86	1,96	6,12
drone4.JPG	3,27	4,11	2,64	2,92

Таблиця 3.2 – Збільшення контрастності БПЛА з фоном та контрастності деталей всередині об'єкту для різних зображень БПЛА при обробці методом лінійного розтягнення гістограм

Зображення	Контраст з фоном (оригінал)	Контраст з фоном (обробка)	Контраст всередині (оригінал)	Контраст всередині (обробка)
drone1.JPG	1,45	1,51	2,11	2,17
drone2.JPG	1,72	2,11	2,70	3,22
drone3.JPG	1,31	2,98	1,96	4,33
drone4.JPG	3,27	3,50	2,64	2,76

Аналізуючи результати, надані в табл. 3.1 і табл. 3.2 можна помітити, що ефективність збільшення контрастності БПЛА з фоном та контрастності деталей всередині об'єкту для різних зображень БПЛА при обробці методом нормалізації становить приблизно 3 рази. В той час, як при обробці методом лінійного розтягнення гістограм – приблизно 1,2 рази.

### 3.3 Висновки по розділу 3

В результаті експериментального дослідження впливу попередньої обробки зображень на збільшення помітності БПЛА на подібному фоні була визначена найбільш доцільна послідовність обробок та оптимальні параметри фільтрів.

Досліджено подавлення шуму за допомогою гаусових та медіанних фільтрів. З'ясовано, що обробка медіанним фільтром більш ефективно придушує шум, зберігаючи при цьому контури зображення БПЛА, що є дуже важливим для його подальшого розпізнавання. Оброблення гаусовим фільтром теж ефективно придушує шуми, але сильно розмиває контури БПЛА навіть при невеликих розмірах ядра фільтру.

Оптимальним розміром ядра гаусового і медіанного фільтрів з точки зору ефективного придушення шуму при невеликих розмірностях зображень є  $3 \times 3$  або  $4 \times 4$ . При цьому придушення шуму медіанним фільтром складає близько 10 дБ, а гаусівським – близько 6 дБ.

Досліджена ефективність зростання контрастності зображення БПЛА з фоном методом лінійного розтягнення гістограм та методом нормалізації гістограм.

Метод нормалізації показав більшу ефективність. Збільшення контрастності при нормалізації становить 2...3 рази, а при лінійному розтягненні гістограми 10...20%. При цьому нормалізовані зображення можуть мати візуальні спотворення, але це потім не має негативно впливати на роботу нейронної мережі при їх розпізнаванні.

## ВИСНОВКИ

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) стали невід'ємною частиною життя людини. До недавнього часу ці популярні апарати продавалися в Інтернет-магазинах, українських магазинах побутової техніки та іграшкових магазинах. Сьогодні вони продаються по всьому світу буквально за декілька сотень доларів. Але лише за останні два роки, зі вторгненням російських військ в Україну, БПЛА перетворилися на джерело сильної небезпеки.

Окрім розвідувальних функцій, БПЛА можуть наносити і ураження військам і цивільній інфраструктурі. БПЛА, які це вміють, називають ударними. Це зброя, яка може виконувати точкові ураження як на лінії зіткнення, так і далеко в тилу.

Своєчасне виявлення і знешкодження БПЛА є актуальною задачею. Задача виявлення ускладнюється слабкою вираженістю сигнатур БПЛА в радіо- і акустичному діапазоні, слабкою радіолокаційною помітністю. Одним із методів виявлення є застосування систем відео нагляду за оточуючим повітряним простором. В світлу частину доби даний метод може мати гарну ефективність, доповнюючи інформацією інші системи виявлення.

Зображення БПЛА, отримані з камери відеонагляду часто мають недостатню контрастність із фоном. Ця ситуація може бути результатом випадкових обставин (світлий БПЛА на інтенсивно яскравому небі або темний БПЛА на фоні темних дерев). Є розробки, коли БПЛА можуть навмисне маскуватися за рахунок роботи покриття-хамелеону.

Також, при відеозйомці в умовах недостатньої освітленості, відео має значний рівень шуму, що, очевидно, може призводити до збільшення вірогідності хибного виявлення рухів у кадрі, навіть за їх відсутності. Також варто очікувати погіршення результатів розпізнавання БПЛА від інших рухомих об'єктів. Таким чином, треба використовувати фільтрацію і градаційну обробку зображень перед виявленням.

Метою кваліфікаційної роботи є удосконалення методів обробки зображень БПЛА для шумоподавлення і збільшення контрасту об'єкту з фоном і покращення надійності виявлення і розпізнавання БПЛА у відеопотоці.

В результаті теоретичного обґрунтування алгоритмів оброблення зображень БПЛА в задачах поліпшення характеристик їх виявлення і розпізнавання можна навести чітку послідовність етапів обробленняки:

- подавлення шуму медіанною фільтрацією. Медіанний фільтр має менше розмиття, ніж фільтр Гаусу і досить ефективно придушує шуми;
- поліпшення чіткості зображень з застосуванням відповідної віконної фільтрації. Це дозволить системі точніше виділяти межі об'єкту. При застосуванні фільтру поліпшення чіткості відбувається певне зростання рівня шумів, але результат цієї обробки все одно набагато кращий, ніж вхідне зашумлене зображення;
- еквалізація гістограми рівнів інтенсивності зображення (нормалізація). Перерозподіл інтенсивностей, що відбувається при подібній обробці, призводить до поліпшення контрасту БПЛА з фоном. Що, очевидно, приведе до поліпшення подальшого виявлення і розпізнавання БПЛА.

В результаті експериментального дослідження впливу попередньої обробки зображень на збільшення помітності БПЛА на подібному фоні була визначена найбільш доцільна послідовність обробок та оптимальні параметри фільтрів.

Досліджено подавлення шуму за допомогою гаусових та медіанних фільтрів. З'ясовано, що обробка медіанним фільтром більш ефективно придушує шум, зберігаючи при цьому контури зображення БПЛА, що є дуже важливим для його подальшого розпізнавання. Оброблення гаусовим фільтром теж ефективно придушує шуми, але сильно розмиває контури БПЛА навіть при невеликих розмірах ядра фільтру.

Оптимальним розміром ядра гаусового і медіанного фільтрів з точки зору ефективного придушення шуму при невеликих розмиттях зображень є

3x3 або 4x4. При цьому придушення шуму медіанним фільтром складає близько 10 дБ, а гаусівським – близько 6 дБ.

Досліджена ефективність зростання контрастності зображення БПЛА з фоном методом лінійного розтягнення гістограм та методом нормалізації гістограм.

Метод нормалізації показав більшу ефективність. Збільшення контрастності при нормалізації становить 2...3 рази, а при лінійному розтягненні гістограми 10...20%. При цьому нормалізовані зображення можуть мати візуальні спотворення, але це потім не має негативно впливати на роботу нейронної мережі при їх розпізнаванні.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. G. Brown, G. Michon, J. Peyri`ere, On the multifractal analysis of measures // J. Statist. Phys., 1992, 66 (3-4). pp. 775–790.
2. Chen, Jie; Кос, Ut-Va; Liu, KJ Ray. Design of Digital Video Coding Systems: A Complete Compressed Domain Approach. CRC Press, 2001. –71 p.
3. Rohit Kundu. Image Processing: Techniques, Types, & Applications. [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.v7labs.com/blog/image-processing-guide> (дата доступу 11.12.2023).
4. K. Jainю Fundamentals of Digital Image Processing. – Prentice Hall, 1989. – 452 p.
5. R. Gonzalez, R. Woods. Digital Image Processing. 4th Edition. – NY: Pearson Education Limited, 2018. – 1022 p.
6. Pitas I and A.N. Venetsanopoulos. Nonlinear Mean Filters in Image Processing / IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 34, No.3, 1986. – pp. 573-584.
7. Motion Detection Algorithms [Електронний ресурс]. – URL: <http://www.codeproject.com/Articles/10248/Motion-Detection-Algorithms> (дата доступу 11.12.2023).
8. Richard A. A New Algorithm for Image Noise Reduction using Mathematical Morphology / IEEE Transactions on Image Processing, Volume 4, Number 3, May 1995. – P. 554-568.
9. Pizurica A. Noise Reduction in Video Sequences Using Wavelet-Domain and Temporal Filtering / SPIE Conference on Wavelet Applications in Industrial, October 2003. – P. 27 – 31.
10. Kim B. H., Khan D., Choi W., Kim M. Y. Real-time counter-UAV system for long distance small drones using double pan-tilt scan laser radar // Preceding SPIE 11005, Laser Radar Technology and Applications XXIV, 110050C (2 May 2019). – 2019.

11. Sheu B. H., Chiu C. C., Lu W. T., Huang C. I., Chen W. P. Sheu B. H. et al. Development of UAV Tracing and Coordinate Detection Method Using a Dual-Axis Rotary Platform for an Anti-UAV System // *Applied Sciences*. 2019. V. 9. № 13. P. 2583.

12. de Visser E., Cohen M. S., LeGoullon M., Sert O., Freedy A., Freedy E., Weltman G., Parasuraman R. A Design Methodology for Controlling, Monitoring, and Allocating Unmanned Vehicles // *Third International Conference on Human Centered Processes (HCP-2008)*. – 2008. – С. 1-5.

13. S. Al-Emadi, F. Al-Senaïd. Drone Detection Approach Based on Radio-Frequency Using Convolutional Neural Network // *2020 IEEE International Conference on Informatics, IoT, and Enabling Technologies (ICIOT)*, Doha, Qatar, 2020. – pp. 29 – 34.

14. Raja Abdullah, Raja Syamsul Azmir. A Review of Copter Drone Detection Using Radar Systems // *Science & Technology Research Institute for Defence (STRIDE)*, 2019. – pp. 16 – 38.

15. I. Koryttsev, S. Sheiko, V. Kartashov, O. Zubkov, V. Oleynikov, I. Selieznov, M. Anohin. Practical Aspects of Range Determination and Tracking of Small Drones by Their Video Observation // *2020 International Scientific-Practical Conference. Problems of Infocommunications. Science and Technology*. Kharkiv, Ukraine. October 6-9, 2020. – 5 p.

16. V. Kartashov, V. Oleynikov, O. Zubkov, S. Sheiko. Optical detection of unmanned air vehicles on a video stream in a real-time // *The Fourth International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo'2019)*, 9–13 September 2019, Odessa, Ukraine, 4 p.

17. В.М. Карташов, И.В. Корытцев, С.А. Шейко, В.Н. Олейников, О.В. Зубков, С.И. Бабкин. Оптико-электронные методы обнаружения воздушных объектов и измерения их координат // *Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб.* – 2020. – Вып. 202. – С. 153 – 159.

18. О.В. Зубков, С.А. Шейко, В.Н. Олейников, В.М. Карташов, И.В. Корытцев, С.И. Бабкин. Исследование эффективности детектирования и

распознавания изображений дронов по видеопотоку // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2020. – Вып. 202. – С. 136 – 146.

19. И.В. Корытцев, С.А. Шейко, В.М. Карташов, О.В. Зубков, В.Н. Олейников, С.И. Бабкин, И.С. Селезнев. Обработка сигналов при пеленгации и определении дальности до малоразмерных БПЛА в оптическом и инфракрасном диапазонах // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2020. – Вып. 202. – С. 125 – 134.

20. Andraši P., Radišić T., Muštra M., Ivošević J. Night-time Detection of UAVs using Thermal Infrared Camera // Transportation Research Procedia. Vol. 28. 2017. P. 183–190.

21. В.Н. Олейников, О.В. Зубков, В.М. Карташов, И.В. Корытцев, С.И. Бабкин, С.А. Шейко, И.С. Селезнев. Экспериментальная оценка эффективности алгоритмов пеленгования беспилотных летательных аппаратов по акустическому излучению. Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2019. – Вып. 199. – С. 29 – 37.

22. V. Kartashov, V. Oleynikov, I. Koryttsev, S. Sheiko, O. Zubkov, S. Babkin, I. Selieznov. Use of Acoustic Signature for Detection, Recognition and Direction Finding of Small Unmanned Aerial Vehicles. 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). 2020. 4 p.

23. Kartashov V.M., Oleynikov V.N, Zubkov O.V., Koryttsev I.V., Babkin S. I., Sheiko S.A., Kolendovskaya M.M. Spatial-temporal Processing of acoustic Signals of Unmanned Aerial Vehicles/ Telecommunications and Radio Engineering. –New York. – 2020. – Vol. 79, №9. – P.769-780.

24. V. Kartashov, V. Oleynikov , I. Koryttsev, S. Sheiko, O. Zubkov, S. Babkin. Processing of Wide Band Acoustic Signals During Detection of Unmanned Aerial Vehicles // 2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW). Kharkiv, Ukraine, September 21 - 25, 2020. Volume 1 on 2020 IEEE 12th International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT). pp. 35-39.

25. В.М. Карташов, В.Н. Олейников, М.М. Колендовская, Л.П. Тимошенко, Н.В. Рыбников, А.И. Капуста. Комплексирование изображений

при обнаружении беспилотных летательных аппаратов // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2020. – Вып. 201. – С. 120 – 129.

26. Методичні вказівки з виконання атестаційної роботи магістра для студентів усіх форм навчання спеціальності 171 «Електроніка» освітньо-професійної програми «Системи, технології і комп'ютерні засоби мультимедіа» (СТМ). Освітній ступінь – магістр / Упоряд. В.М. Карташов, І.В. Савченко – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 42 с.