

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)

Дослідження методів обробки зображень як засобу підвищення ефективності
виявлення безпілотних літальних апаратів
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи СТМм-20-1
Довгаль К.С.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 171 Електроніка
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Системи, технології і
комп'ютерні засоби мультимедіа
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Коритцев І.В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис)

Карташов В.М.
(прізвище, ініціали)

2021 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації

Кафедра медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 171 Електроніка

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Системи, технології і комп'ютерні засоби мультимедіа

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

«____» _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Довгалю Костянтину Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження методів обробки зображень як засобу підвищення ефективності виявлення безпілотних літальних апаратів.

затверджена наказом по університету від " 08 " 11 2021 р. № 1675 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 16.12.2021 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 ефективність виявлення і розпізнавання дронів за допомогою нейронних мереж.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

Вступ

1. Аналіз методів обробки зображень в задачах їх покращення.

2. Теоретичне обґрунтування методів поліпшення зображень

в задачах розпізнавання дронів.

3. Експериментальне дослідження впливу попередньої обробки зображень

на ефективність виявлення і розпізнавання дронів.

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 аркуша).
7. Оцінка збільшення контрасту.
8. Помилкове виявлення руху.
9. Дослідження подавлення шуму.
10. Оцінка ефективності фільтрації.
11. Підвищення достовірності виявлення дронів.
12. Висновки.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд літератури	02.11.21–10.11.21	
2	Теоретичне обґрунтування методів обробки	11.11.21–17.11.21	
3	Дослідження градаційних перетворень	18.11.21–24.11.21	
4	Дослідження просторової фільтрації	25.11.21–1.12.21	
5	Оцінка ефективності виявлення дронів	02.12.21–8.12.21	
6	Обробка результатів досліджень	25.11.21–8.12.21	
7	Графічна частина роботи	25.11.21–8.12.21	
8	Перевірка керівником	9.12.21–10.12.21	
9	Перевірка на академічний плагіат	11.12.21	
10	Перевірка завідувачем кафедри, рецензування	12.12.21–14.12.21	

Дата видачі завдання _____ 08.11.2021 р. _____

Студент _____

(підпис)

Керівник роботи (проекту) _____

(підпис)

проф. Коритцев І.В.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 76 сторінок, 40 рисунків, 5 таблиць, 27 джерел.

БПЛА, ВИЯВЛЕННЯ, ВІДНІМАННЯ ФОНУ, ГРАДАЦІЙНА ОБРОБКА, ДРОН, ЗГОРТКОВА НЕЙРОННА МЕРЕЖА, ЕКВАЛІЗАЦІЯ, ПРОСТОРОВА ОБРОБКА, ШУМОПОДАВЛЕННЯ

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

Метою роботи є визначення складу та параметрів попередньої обробки зображень дронів, оцінка впливу цієї обробки на достовірності виявлення і розпізнавання дронів.

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 обраних методів обробки зображень на ефективність виявлення і розпізнавання дронів за допомогою нейронних мереж.

РЕФЕРАТ

Объяснительная записка к квалификационной работе: 76 страниц, 40 рисунков, 5 таблиц, 27 источников.

БПЛА, ОБНАРУЖЕНИЕ, ВЫЧИТАНИЕ ФОНА, ГРАДАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА, ДРОН, СВЕРТОЧНАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ, ЭКВАЛИЗАЦИЯ, ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОБРАБОТКА, ШУМОПОДАВАНИЕ

Объект исследования – процесс обработки сигналов видимого оптического диапазона для задач выявления и распознавания малых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Целью работы является определение состава и параметров предварительной обработки изображений дронов, оценка влияния этой обработки на достоверность обнаружения и распознавания дронов.

Способы исследования – модельный эксперимент, натурный эксперимент, статистическая обработка экспериментальных данных.

Проведен анализ методов обработки изображений в задачах их улучшения. Проведено теоретическое обоснование методов улучшения изображений в задачах распознавания дронов. Экспериментально исследовано влияние предварительной обработки изображений на эффективность обнаружения и распознавания дронов. Исследовано влияние противозумовой обработки, градационной обработки, эквализации изображения. Произведена оценка влияния выбранных методов обработки изображений на эффективность обнаружения и распознавания дронов с помощью нейронных сетей.

ABSTRACT

Explanatory note to the qualification work: 76 pages, 40 figures, 5 tables, 27 sources.

UAV, DETECTION, SUBTRACT SUBTRACTION, GRADATION TREATMENT, DRON, CONVOLVED NEURAL NETWORK, EQUALIZATION, SPATIAL TREATMENT, NOISE SUPPRESSION

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

The aim of the work is to determine the composition and parameters of pre-processing of drone images, to assess the impact of this processing on the reliability of detection and recognition of drones.

Research methods - model experiment, field experiment, statistical processing of experimental data.

The analysis of image processing methods in the tasks of their improvement is performed. Theoretical substantiation of methods of image improvement in drone recognition problems is carried out. The influence of image pretreatment on the efficiency of drone detection and recognition has been experimentally investigated. The influence of noise reduction, gradation processing, image equalization is investigated. The influence of the chosen methods of image processing on the efficiency of detection and recognition of drones using neural networks is evaluated.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	9
Вступ.....	10
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ В ЗАДАЧАХ ЇХ ПОКРАЩЕННЯ.....	12
1.1 Градаційні перетворення для покращення зображень.....	12
1.2 Гістограмні методи покращення зображень.....	19
1.3 Просторова фільтрація зображень.....	24
1.4 Висновки по розділу 1.....	31
2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ПОЛПШЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ В ЗАДАЧАХ РОЗПІЗНАВАННЯ ДРОНІВ.....	32
2.1 Еквалізація гістограми зображення.....	32
2.2 Попередня обробка зображення.....	39
2.2.1 Фільтрація зашумлених зображень дронів.....	39
2.2.2 Морфологічні перетворення.....	44
2.3 Застосування табличного методу при поелементних перетвореннях зображень.....	46
2.4 Висновки по розділу 2.....	47
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИЯВЛЕННЯ І РОЗПІЗНАВАННЯ ДРОНІВ.....	49
3.1 Дослідження впливу протишумової обробки.....	49
3.2 Дослідження впливу еквалізації зображення.....	56
3.3 Оцінка впливу обраних методів обробки зображень на ефективність виявлення і розпізнавання дронів за допомогою нейронних мереж.....	66
3.4 Висновки по розділу 3.....	68

Висновки.....	69
Перелік посилань.....	73
Додаток А. Графічний матеріал.....	77
Додаток Б. Відомість кваліфікаційної роботи.....	91

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;

γ – показник ступеня гама-корекції.

ВСТУП

Дрони стали невід'ємною частиною нашого життя. З їхньою допомогою кінооператори отримують вражаючі кадри, дрони доставляють екстрено необхідні ліки у віддалені райони, здійснюють ландшафтну розвідку, служать для контролю стану трубопроводів та електричних мереж.

Ці популярні безпілотні літальні апарати (БПЛА) продаються в інтернет-магазинах, магазинах побутової техніки та магазинах іграшок по всьому світу буквально за кілька сотень євро і лише за кілька років перетворилися на джерело серйозної небезпеки. Навіть якщо вдалося уникнути зіткнення, дрон може серйозно порушити повітряний рух. У грудні 2018 року аеропорт Гатвік був закритий більше, ніж на добу, через повідомлення про появу дронів, внаслідок чого було скасовано близько 1000 рейсів. А на початку травня 2019 року вкотре було паралізовано роботу аеропорту Франкфурта. У 2018 році німецькі авіадиспетчери зареєстрували 158 перешкод регулярному повітряному руху в німецьких аеропортах через дрони, що приблизно на 80 відсотків більше, ніж роком раніше. По одному повітряному простору США Федеральне управління цивільної авіації (FAA) отримує більше 100 повідомлень про інциденти з дронами на місяць.

Суворі обмеження на комерційне використання БПЛА не зупиняють творців аматорського відео, цікавих уболівальників, промислових шпигунів та інших злочинців, які знаються на електроніці. Рятувальна служба скасувала вертолітні вильоти через квадрокоптери, що крутяться неподалік. Дрон зняв нову модель автомобіля під час секретного показу для реклами. Посилені саморобні літальні апарати доставляли наркотики та зброю до в'язниць і навіть використовувалися як дистанційно керована зброя.

Дана атестаційна робота присвячена задачі покращення характеристик системи розпізнавання дронів у зображенні з камери відеоспостереження. Метою роботи є дослідження методів обробки зображень дронів в задачах покращення характеристик виявлення і розпізнавання БПЛА в відеопотоці.

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

Метою роботи є визначення складу та параметрів попередньої обробки зображень дронів, оцінка впливу цієї обробки на достовірності виявлення і розпізнавання дронів.

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

В роботі оброблюються результати експериментів, проведених колективом кафедри МІРЕС при виконанні низки наукових робіт з комплексної обробки оптичних, інфрачервоних, акустичних і радіолокаційних сигналів для виявлення безпілотних літальних апаратів, визначення їх координат та параметрів руху.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ В ЗАДАЧАХ ЇХ ПОКРАЩЕННЯ

1.1 Градаційні перетворення для покращення зображень

Головна мета поліпшення полягає в такій обробці зображення, щоб результат виявився більш підходящим з погляду конкретного застосування.

Градаційні перетворення зображень є підгрупою групи просторових методів покращення зображень. Термін просторова область відноситься до площини зображення як такої, і, таким чином, всі просторові методи засновані на прямому маніпулюванні пікселями зображення.

Градаційні перетворення – це процедури, що оперують безпосередньо значеннями пікселів зображення. Процеси градаційної обробки описуються рівняннями [1,2]:

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

де s та r – змінні, що позначають відповідно значення яскравостей вихідного та результуючого зображень у кожній точці (x, y) ;

T – певний оператор перетворення над вихідним зображенням.

У цьому випадку $s(x, y)$ залежить тільки від значення яскравості $r(x, y)$ вихідного зображення, і T стає функцією градаційного перетворення яскравостей (також функція перетворення інтенсивностей або функція відображення).

Визначаючи залежність (1.1), можна побудувати деякі досить прості, але дієві методи просторової обробки зображення (рис. 1.1). Оскільки результат покращення кожного елемента зображення залежить тільки від яскравості цього ж елемента, методи даної категорії часто належать до процедур поелементної обробки [3].

Оскільки ми маємо справу з дискретним (квантованим) представленням, значення функції перетворення, як правило, зберігаються в одномірному масиві, і відображення $r \rightarrow s$ здійснюється за таблицею. У випадку 8-бітного представлення таблиця перетворення, що містить значення T складатиметься з 256 елементів [4].

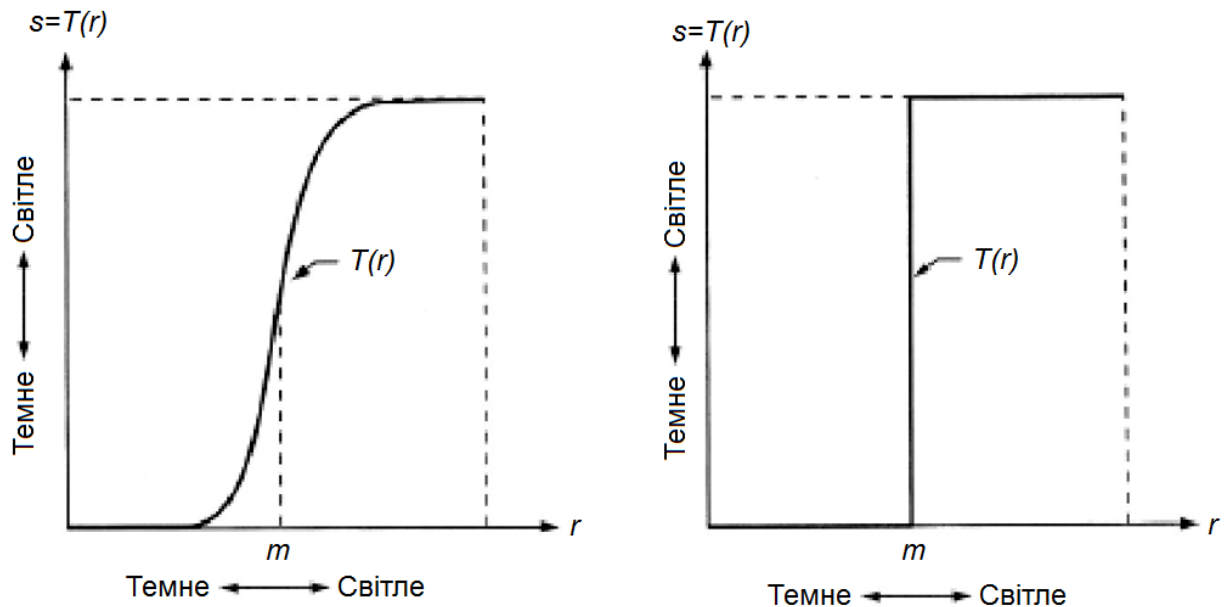


Рисунок 1.1 – Градаційне перетворення для покращення контрасту

Розглянемо рис. 1.2, на якому показано три основні типи перетворень, які часто використовуються для поліпшення зображень: лінійне (негатив і тотожне перетворення), логарифмічне (логарифм і зворотний логарифм) і супінний (n -й ступінь і корінь n -го ступеня).

Тотожне перетворення є тривіальним випадком, при якому яскравості на виході ідентичні яскравостям на вході. Воно наведено на графіку лише для повноти розгляду.

Негативне перетворення

Перетворення зображення на негатив з яскравостями в діапазоні $[0, L-1]$ здійснюється з використанням негативного перетворення, яке визначається виразом [4,5]:

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

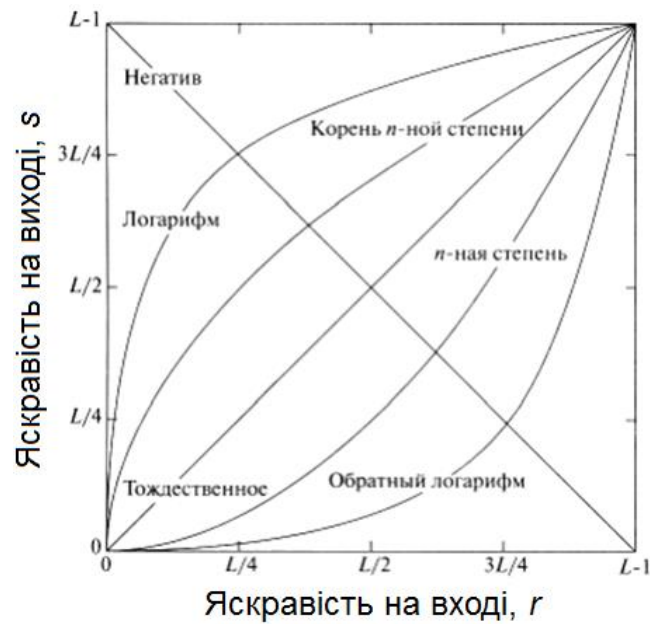


Рисунок 1.2 – Деякі основні функції градаційних перетворень для покращення зображень

Подібний переверот рівнів яскравості зображення створює еквівалент фотографічного негативу. Цей тип обробки особливо підходить для посилення білих або сірих деталей на фоні темних областей зображення, особливо коли темні області мають переважні розміри.

Зворотне логарифмічне перетворення

Загальний вид логарифмічного перетворення виражається формулою [4-6]:

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

де c – константа і вважається, що $r > 0$.

Форма логарифмічної кривої показує, що це перетворення відображає вузький діапазон малих значень яскравостей на вихідному зображенні у ширший діапазон вихідних значень. Для більших значень вхідного сигналу вірне протилежне твердження.

Навпаки, при використанні зворотного логарифмічного перетворення відбувається розтягнення діапазону яскравих пікселів і стиснення діапазона темних пікселів.

Будь-яка крива, що має загальний вигляд, близький до показаної на рис. 1.2 логарифмічної функції, здійснюватиме таке розтягнення/стиснення діапазонів яскравості на зображенні. Більш універсальними, ніж логарифмічні, є ступінні перетворення, але, незважаючи на це, логарифмічна функція має важливу особливість: дозволяє стискати динамічний діапазон зображень, що мають великі варіації в значеннях пікселів.

Ступінні перетворення

Ступінні перетворення мають вигляд [5,6]:

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

де c і γ є позитивними константами.

Так само, як у разі логарифмічного перетворення, криві ступінних залежностей при малих γ відображають вузький діапазон малих вхідних значень у широкий діапазон вихідних значень, при цьому для великих вхідних значень вірне зворотне твердження. Однак на відміну від логарифмічних функцій, тут виникає ціле сімейство кривих можливого перетворення, одержуваних простою зміною параметра γ . Як і слід очікувати, криві, отримані зі значеннями $\gamma > 1$, дають прямо протилежний ефект у порівнянні з тими, що отримані при $\gamma < 1$.

Зазначимо, що рівняння (1.4) наводиться до тотожного перетворення при $c = \gamma = 1$.

Амплітудна характеристика багатьох пристроїв, що використовуються для введення, друку або візуалізації зображень, відповідає ступінному закону. Процедура, що використовується для корекції такої ступінної характеристики, називається гамма-корекцією [7].

Гамма-корекція необхідна, якщо потрібно точне відтворення зображення на екрані комп'ютера. Зображення, які не відкоректовані правильно, можуть виглядати або як вибілені, або, що більш ймовірно, як надто темні. Правильне відтворення кольорів також вимагає деяких знань про гамма-корекцію, оскільки таке перетворення змінює не тільки яскравість, але також співвідношення між червоними, зеленими та синіми кольорами [7].

Кусково-лінійні функції перетворень

Підходом, що доповнює розглянуті методи, є використання шматково-лінійних функцій. Головна перевага кусково-лінійних функцій у порівнянні з вищерозглянутими полягає в тому, що їх форма може бути як завгодно складною. Насправді практична реалізація деяких важливих перетворень може бути здійснена тільки за допомогою кусково-лінійних функцій.

Основний недолік кусково-лінійних функцій полягає в тому, що для їх опису необхідно задавати значно більшу кількість параметрів.

Посилення контрасту. Одним із найпростіших випадків використання шматково-лінійних функцій є перетворення, що посилює контраст. Посилення контрасту досягається збільшенням динамічного діапазону яскравостей на оброблюваному зображенні [8].

На рис. 1.3 показано типове перетворення, що використовується для посилення контрасту. Положення точок (r_1, s_1) і (r_2, s_2) задають вид функції перетворення. Якщо $r_1 = s_1$ і $r_2 = s_2$, перетворення стає тотожним, що не вносить зміни до значення яскравостей.

Якщо $r_1 = r_2$, $s_1 = 0$ і $s_2 = L - 1$, перетворення перетворюється на граничну функцію, яка у результаті дає бінарне зображення. Проміжні значення (r_1, s_1) і (r_2, s_2) забезпечують різні ступені розтягування рівнів яскравості в результуючому зображенні, змінюючи цим контраст.

Взагалі, умови $r_1 < r_2$ і $s_1 < s_2$ означають, що функція є однозначною і монотонно зростаючою, що забезпечує збереження правильної послідовності

рівнів яскравості, запобігаючи тим самим появі хибних деталей на обробленому зображенні [8].

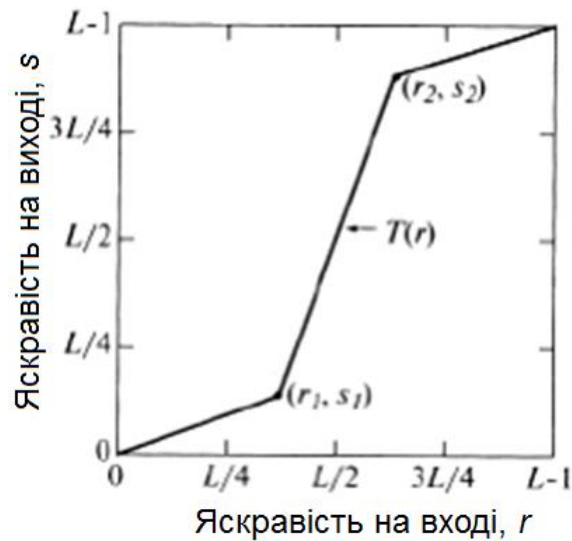


Рисунок 1.3 – Вид функції перетворення для посилення контрасту

Вирізання діапазону яскравостей

Найчастіше бажано виділити якийсь конкретний діапазон яскравостей на зображенні. Так, у практичних застосуваннях може знадобитися поліпшення контрасту тільки окремих деталей. Існують різні способи вирізування рівнів яскравостей, проте більшість із них є варіаціями двох наступних підходів.

Перший підхід полягає у відображенні всіх тих рівнів, які представляють інтерес, деякою однією фіксованою яскравістю, а всіх

решти рівнів – іншою (вищою або нижчою). Таке перетворення, показане функцією на рис. 1.4 (а), дає в результаті бінарне зображення.

Другий підхід, заснований на перетворенні із функцією на рис. 1.4 (б), фіксує яскравість точок з вибраного діапазону, але зберігає яскравості фону та інших точок зображення. Легко побудувати подільші різновиди двох перетворень.

Вирізання бітових площин

Замість виділення діапазонів яскравостей, може виявитися корисним виділення інформації про вклад тих чи інших бітів у загальне зображення.

Якщо кожен піксель зображення кодований 8 бітами, то все зображення можна представити у вигляді 8-бітових площин, ранжованих від площини 0 з найменш значущими бітами до площини 7 з найбільш значущими. У термінах 8-бітових байтів площина 0 містить усі молодші біти, а площина 7 – усі старші біти зі складових зображення байтів. Можна помітити, що старші біти (переважно перші чотири) містять основну частину візуально значимих даних. Інші бітові площини дають вклад у більш тонкі деталі зображення [8,9].

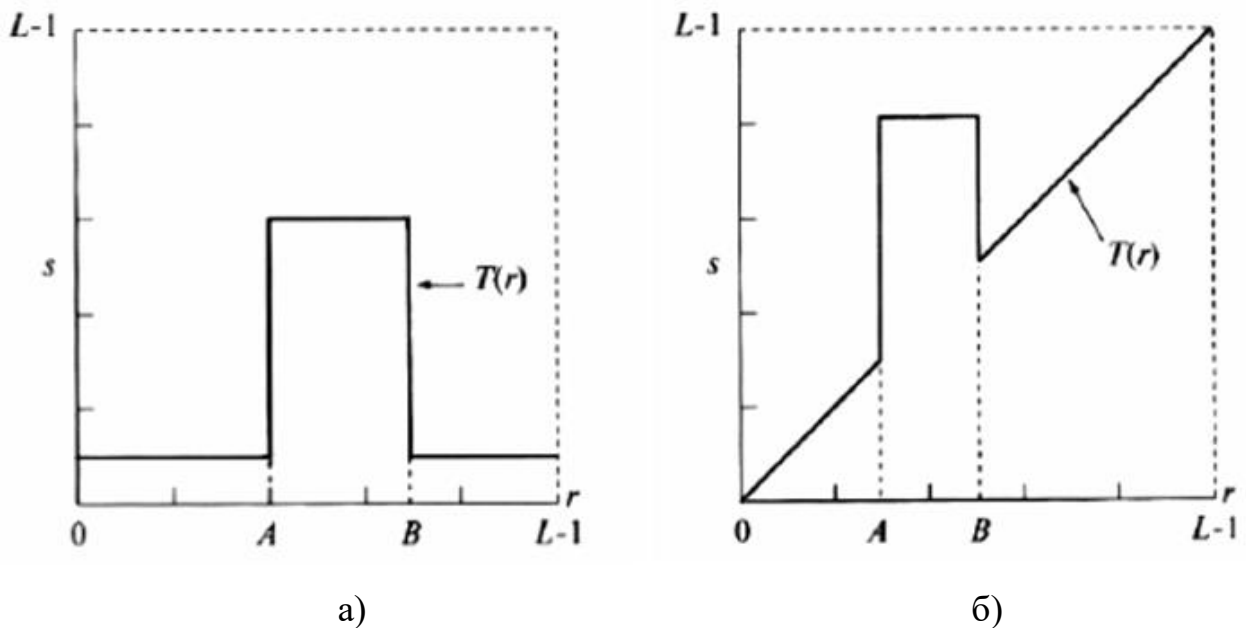


Рисунок 1.4 – Вирізання діапазону яскравостей $[A, B]$ з приведенням інших значень до константи (а) і із збереженням інших значень (б)

Поділ цифрового зображення на бітові площини корисний для аналізу відносної інформативності, яку несе кожен біт зображення, що дозволяє оцінити необхідну кількість бітів, потрібну для квантування кожного пікселя, наприклад, під час стиснення зображень.

На основі вилучення бітових площин з 8-бітового зображення неважко показати, що (бінарне) зображення бітової площини 7 може бути отримано обробкою вихідного зображення пороговим градаційним перетворенням, яке відображає всі рівні зображення від 0 до 127 в один (наприклад, 0), а всі рівні від 128 до 255 – в інший (наприклад, 255).

1.2 Гістограмні методи покращення зображень

Гістограми є основою для численних методів просторової обробки зображень. Крім отримання корисної статистики про зображення, що міститься в гістограмі інформація також дуже корисна і в таких задачах, як стиснення та сегментація зображень.

Крім того, зміна вигляду гістограми (гістограмна обробка) може бути успішно використана для покращення зображень. Гістограми досить прості як для програмного обчислення, так і для апаратної реалізації, що робить їх зручним інструментом для обробки зображень у реальному часі.

Гістограмою цифрового зображення з рівнями яскравості у діапазоні $[0, L-1]$ називається дискретна функція [6,7]

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

де r_k – k -й рівень яскравості,

n_k – число пікселів на зображенні, що мають яскравість r_k .

Загальною практикою є нормалізація гістограми шляхом розподілу кожного з її значень на загальну кількість пікселів у зображенні, позначену як n . Тим самим значення нормалізованої гістограми будуть

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

Взагалі кажучи, $p(r_k)$ є оцінка вірогідності появи пікселя зі значенням яскравості r_k . Зауважимо, що сума всіх значень нормалізованої гістограми дорівнює одиниці.

На рис.1.5 представлені приклади тестових зображень та гістограм, побудованих на їх основі.

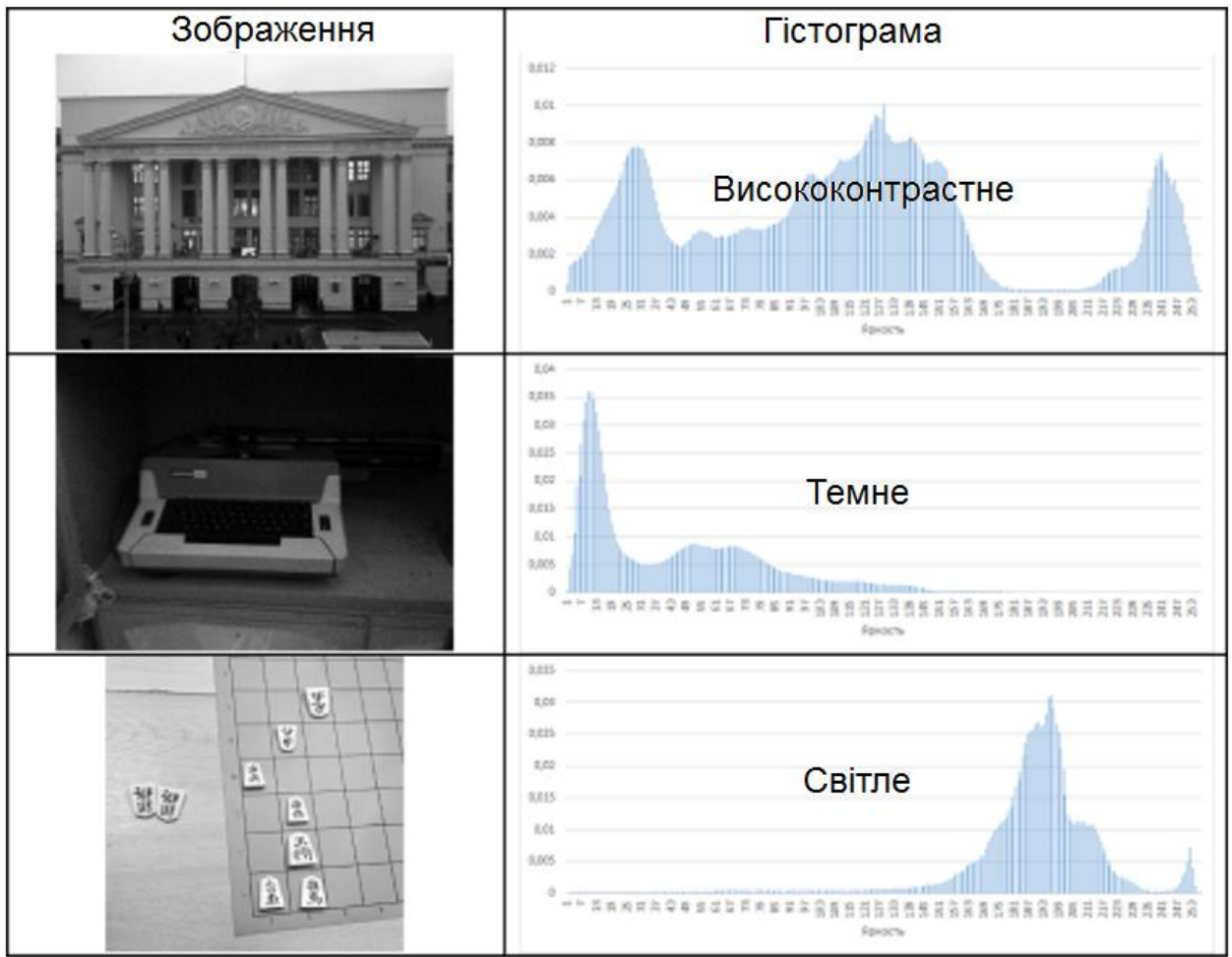


Рисунок 1.5 – Приклади тестових зображень та гістограм, побудованих на їх основі

Можна помітити, що на гістограмі темного зображення ненульові рівні сконцентровані в області низьких (темних) значень діапазону яскравостей. Аналогічно, значні рівні гістограми світлого зображення зміщені до верхньої частини діапазону. Зображення з низьким контрастом має вузьку гістограму, розташовану поблизу центру діапазону яскравостей. Для одноколірного зображення це означає млявий, сірий вигляд. Нарешті, видно, що ненульові рівні гістограми висококонтрастного зображення покривають широкую частину діапазону яскравостей, а також, що розподіл значень пікселів не дуже відрізняється від рівномірного, за винятком невеликої кількості піків, що височіють над іншими значеннями.

Інтуїтивно можна зробити висновок, що зображення, розподіл значень елементів якого близько до рівномірного і займає весь діапазон можливих значень яскравостей, буде виглядати висококонтрастним і міститиме велику кількість напівтонів.

Таким чином, ґрунтуючись тільки на інформації, що міститься в гистограмі вихідного зображення, можна побудувати функцію перетворення, яка дозволить автоматично досягати такого ефекту.

Еквалізація гистограми

Для простоти спочатку розглянемо безперервні функції. Вважатимемо, що значення r , які відображають яскравість елементів зображення, розподілені безперервно в діапазоні $[0,1]$, при цьому значення $r=0$ відповідає чорному, а $r=1$ – білому. Коли буде здійснено перехід до дискретного вигляду, інтервал значень буде розширено до $[0, L-1]$.

Для будь-якого r , що задовольняє вищезазначеним умовам, розглядається перетворення виду [8]:

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

яке для будь-якого пікселя, що має значення r , дає значення s . Вважається, що функція перетворення $T(r)$ задовольняє наступним умовам:

- $T(r)$ є однозначною та монотонно зростаючою на інтервалі $0 < r < 1$;
- $0 < T(r) < 1$ при $0 < r < 1$.

В першій умови вимога однозначності функції $T(r)$ потрібна для існування зворотного перетворення, а вимога монотонності – для збереження порядку зміни яскравостей від чорного до білого на обробленому зображенні. Функція перетворення, що не є монотонно зростаючою може призвести до появи на обробленому зображенні інтервалів яскравості із інвертованими значеннями. Друга умова означає, що допустимий діапазон вихідних значень сигналу збігається з діапазоном вхідних значень.

На рис. 1.6 показаний приклад функції перетворення, яка задовольняє поставленим вище умовам.

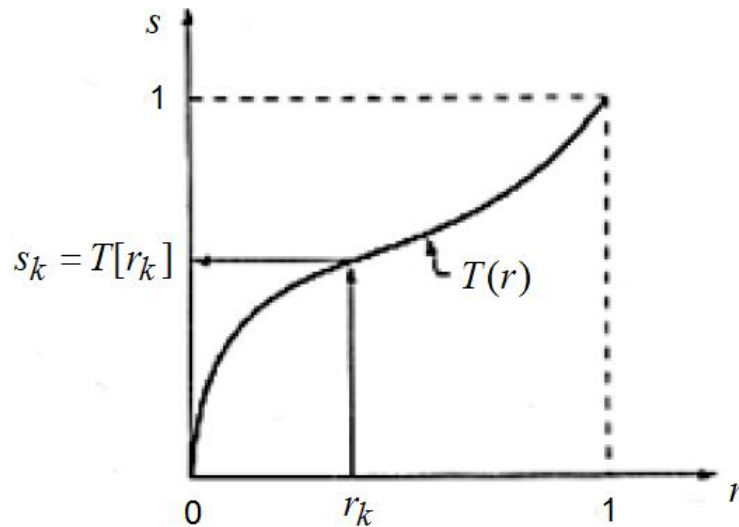


Рисунок 1.6 – Однозначна та монотонно зростаюча функція градаційного перетворення

Зворотнє перетворення з s в r буде наступним [8,9]:

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

Рівні яскравості на зображенні можуть розглядатися як значення випадкової величини в інтервалі $[0, 1]$. Однією з найважливіших характеристик випадкової величини є щільність розподілу ймовірностей.

Нехай $p_r(r)$ і $p_s(s)$ означають щільності розподілу ймовірностей випадкових змінних r і s відповідно, де індекс при p означає, $p_r(r)$ і $p_s(s)$ є різними функціями. З елементарної теорії вірогідностей слідує, якщо $p_r(r)$ і $T(r)$ відомі і задовольняють першій вимозі, то щільність розподілу ймовірностей значень перетвореного сигналу s може бути отримана за допомогою простої формули:

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

Таким чином, щільність розподілу ймовірностей значень перетвореного сигналу s визначається щільністю розподілу ймовірностей значень яскравостей вхідного зображення та обраною функцією перетворення.

В обробці зображень особливу важливість має така функція:

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

де w – змінна інтегрування.

Права частина цього рівняння є функцією розподілу випадкової змінної r . Оскільки щільність розподілу ймовірності завжди позитивна, а інтеграл функції є площа під графіком функції, то дана функція перетворення є однозначно визначеною і монотонно зростаючою, і, тим самим, задовольняє умові 1. Аналогічно, оскільки інтеграл щільності розподілу ймовірності випадкової величини при зміні r в діапазоні $[0,1]$ також знаходиться в діапазоні $[0,1]$, умова 2 також виконується.

Знаючи функцію перетворення $T(r)$, матимемо [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 цей результат рівняння (1.9) і припускаючи, що це значення щільності ймовірностей більше за нуль, отримуємо в результаті:

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

Таким чином, отримуємо, що $p_s(s)$ є рівномірна щільність розподілу ймовірностей на відрізку $[0,1]$, що дорівнює нулю поза цим інтервалом.

Тобто, було продемонстровано, що виконання градаційного перетворення відповідно до функції, заданої рівнянням (1.10), приводить до отримання деякої випадкової величини s з рівномірною щільністю розподілу ймовірностей.

Важливо відмітити, що хоча $T(r)$, як це випливає з (1.10), залежить від $p_r(r)$, результуюча щільність розподілу ймовірностей $p_s(s)$, як випливає з (1.12), завжди є рівномірною, незалежно від форми $p_r(r)$.

1.3 Просторова фільтрація зображень

Процес просторової фільтрації заснований на простому переміщенні щінні маски – матриці коефіцієнтів фільтра, що ковзає по поверхні кадру зображення (також називається ядром, шаблоном або вікном) – від точки до точки зображення. У кожній точці (x, y) відгук фільтра обчислюється з використанням попередньо заданих зв'язків. У разі лінійної просторової фільтрації відгук задається сумою добутків коефіцієнтів фільтра на відповідні значення пікселів в області, покритою маскою фільтра.

Так, фільтрація зображення f , яке має розміри $M \times N$, за допомогою фільтра розміру $m \times n$ задається виразом 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 всього зображення дана формула має бути обчислена для всіх поєднань $x = 0, 1, 2, \dots, M - 1$ і $y = 0, 1, 2, \dots, N - 1$.

Це означає, що всі елементи зображення будуть оброблені за заданою маскою. Можна відзначити, що процедура лінійної фільтрації, що задається рівнянням (1.13), у частотній області аналогічна операції згортки. З цієї

причини лінійну просторову фільтрацію часто називають «згорткою маски із зображенням». Аналогічно, маску фільтра іноді називають маскою згортки або ядром згортки.

Легко бачити, що при $m = n = 3$ формула (1.13) зведеться до формули для випадку, показаного на рис. 1.7. Зокрема зауважимо, що коефіцієнт $w(0, 0)$ стоятиме при значенні $f(x,y)$, вказуючи тим самим, що маска центрована у точці (x,y) .

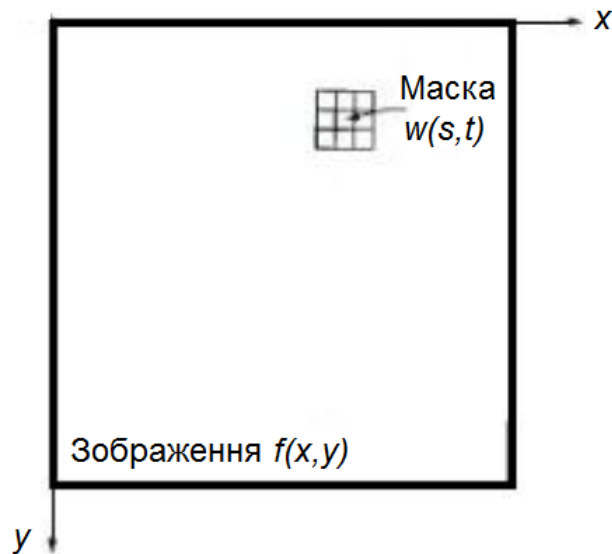


Рисунок 1.7 – Схема просторової фільтрації з маскою 3×3

Надалі розглядатимемо маски непарних розмірів, причому найменшою буде маска 3×3 елементи (маска розмірами 1×1 елемент буде тривіальною).

У випадку, коли інтерес представляє тільки значення відгуку R по масці $m \times n$ у точці (x, y) , а не схема реалізації маски згортки, іноді користуються таким виразом [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 – значення пікселів, відповідних цим коефіцієнтам;

mn – загальна кількість коефіцієнтів в масці.

Нелінійні просторові фільтри також працюють по околиці, причому механізм переміщення маски по зображенню той же, що був вище змальований. Схема дій операції нелінійної фільтрації також залежить від значень елементів аналізованої околиці, але не обов'язково потрібно використовувати коефіцієнти лінійної комбінації.

Важливим питанням при реалізації просторової операції фільтрації по околиці є розгляд ситуації, коли центр фільтра наближається до меж зображення. Для простоти розглянемо квадратну маску розмірами $n \times n$. Коли ця маска знаходиться на відстані $(n-1)/2$ елементи від межі зображення, як мінімум одна сторона маски перебуватиме з його краю. Якщо ж центр маски наближається до границі, то один або кілька рядків або стовпців маски будуть знаходитися поза зображенням.

Існують кілька способів врахувати цю обставину.

1. Обмеження переміщення центру маски на зображення не ближче ніж $(n-1)/2$ елементів від краю. Результуюче зображення після фільтрації буде за розмірами менше оригіналу, зате всі його точки будуть оброблені повною маскою.

Якщо результат повинен мати ті ж розміри, що й оригінал, то зазвичай використовується підхід, при якому для фільтрації використовується тільки частина маски, яка повністю знаходиться всередині зображення. При цьому біля меж зображення утворюється смуга точок, які обробляються лише частиною маски фільтра.

2. Розширення зображення за його межі додаванням рядків та стовпців з нулів (або інших постійних значень) або повторенням рядків і стовпців. Після обробки додані рядки та стовпці видаляються. Це дозволяє зберегти розміри обробленого зображення рівними розмірам вихідного, однак значення елементів, що використовувалися для розширення, будуть впливати на значення елементів зображення всередині аналогічної смуги, яка тим ширша, чим більші розміри маски.

Просторові фільтри згладження

Фільтри згладження застосовуються для розфокусування зображення та подавлення шуму. Розфокусування може застосовуватися як попередній крок обробки зображення, наприклад, для видалення дрібних деталей перед виявленням великих об'єктів, або ж для усунення розривів у лініях чи деталях. Для подавлення шумів може використовуватися розфокусування із застосуванням як лінійної, так і нелінійної фільтрації.

Лінійні фільтри згладження

Вихід (відгук) найпростішого лінійного просторового фільтра згладження є середнє значення елементів по околиці, покритою маскою фільтра. Такі фільтри іноді називають фільтрами усереднення.

Ідея застосування фільтрів згладження така. Заміною вихідних значень елементів зображення на середні значення по масці фільтра досягається зменшення «різких» переходів рівнів яскравості.

Оскільки випадковий шум якраз характеризується різкими стрибками яскравості, найбільш очевидним застосуванням згладжування є подавлення шуму. Однак контури, які зазвичай представляють інтерес на зображенні, також характеризуються різкими перепадами яскравостей, цьому негативною стороною застосування фільтрів згладження є розфокусування контурів.

Іншим застосуванням такої процедури може бути згладжування хибних контурів, які виникають при перетвореннях з недостатнім числом рівнів яскравості. Головне використання фільтрів згладження полягає в подавленні «несуттєвих» деталей на зображенні. Під «несуттєвими» розуміються сукупності пікселів, які малі в порівнянні з розмірами маски фільтра.

На рис. 1.8 показані два фільтри згладження по околиці 3×3 . Постійний множник перед кожною з масок дорівнює одиниці, поділеної на суму значень коефіцієнтів, як це необхідно для нормування. Взагалі, будь-яка маска з розмірами $m \times n$ повинна мати коефіцієнт нормування, рівний $1/mn$.

$\frac{1}{9} \times$	1	1	1
	1	1	1
	1	1	1

$\frac{1}{16} \times$	1	2	1
	2	4	2
	1	2	1

Рисунок 1.8 – Дві маски фільтрів згладження по околиці 3×3

Перший фільтр дає звичайне середнє за маскою. Застосування його до зображення якраз і дає середнє значення яскравостей по околиці 3×3. Такий просторовий фільтр, всі коефіцієнти якого однакові, іноді називають однорідним фільтром.

Друга маска дає так зване виважене середнє; цей термін застосовується, щоб показати, що значення елементів множаться на різні коефіцієнти, що дозволяє привласнити їм різні «важливості» (ваги) у порівнянні з іншими. Так, коефіцієнт у центрі маски має найбільше значення (вагу), тим самим ставлячи відповідному елементу більшу важливість при обчисленні середнього. Значення інших коефіцієнтів у масці зменшуються в міру віддалення від центру маски; діагональні члени, в порівнянні з ортогональними, розташовують від центру далі, і таким чином «важать» менше, ніж найближчі сусіди центрального елемента. Основна стратегія присвоєння центральному пікселю найбільшої ваги, а решті – зворотно пропорційно їх відстані, має на меті зменшення розфокусування при згладжуванні.

Фільтри, що базуються на порядкових статистиках

Фільтри, засновані на порядкових статистиках, відносяться до класу нелінійних просторових фільтрів. Відгук такого фільтра визначається попереднім упорядкуванням (ранжуванням) значень пікселів, що покриваються маскою фільтра, і наступним вибором значення, що

знаходиться на певній позиції впорядкованої послідовності (тобто має певний ранг). Фільтрація зводиться до заміщення вихідного значення пікселя (у центрі маски) на отримане значення відгуку фільтра.

Найбільш відомий медіанний фільтр, який, як впливає з назви, замінює значення пікселя на значення медіани розподілу яскравостей усіх пікселів на околиці (включаючи і оригінальний). Медіанні фільтри дуже популярні тому, що для певних типів випадкових шумів вони демонструють відмінні можливості подавлення шуму при значно меншому ефекті розфокусування, ніж у лінійних згладжуючих фільтрів з аналогічними розмірами.

Зокрема, медіанні фільтри ефективні при фільтрації імпульсних шумів, іноді званих шумами «сіль і перець», які проявляються як накладання зображення випадкових чорних і білих точок.

Медіана набору чисел є така кількість ξ , що половина чисел з набору менше або рівні ξ , а інша половина - більше або рівні ξ . Щоб виконати медіанну фільтрацію для елемента зображення, необхідно спочатку впорядкувати за зростанням значення пікселів усередині околиці, потім знайти значення медіани, і, нарешті, присвоїти отримане значення оброблюваного елементу.

Так, для околиці 3×3 елементів медіаною буде 5-е значення за величиною, для околиці 5×5 – 13-те значення, і так далі. Якщо кілька елементів в околиці мають однакове значення, ці значення будуть згруповані. Наприклад, нехай в околиці 3×3 елементи мають такі значення: (10, 20, 20, 20, 15, 20, 20, 25, 100). Після впорядкування вони будуть розташовані наступним чином: (10, 15, 20, 20, 20, 20, 20, 25, 100), і, отже, медіаною буде значення 20.

Можна сказати, що основна функція медіанного фільтра полягає в заміні значення пікселя, що відрізняється від фону, на інше, більш близьке його сусідам. Насправді ізольовані темні або світлі (в порівнянні з навколишнім фоном) кластери, що мають площу не більше ніж $n^2/2$

(половина площі маски фільтра), будуть видалені медіанним фільтром з маскою розмірами $n \times n$ – значення таких пікселів у відповідних точках будуть замінені на значення медіан по околицях.

Кластери великих розмірів спотворюються значно менше.

Хоча медіанний фільтр значно більш поширений в обробці зображень, ніж інші види фільтрів, заснованих на порядкових статистиках, тим не менш, він не є єдиним.

Медіана являє собою 50 відсотків упорядкованого набору чисел, але, як впливає з основ статистики, упорядкування надає багато інших можливостей. Наприклад, використання 100-го відсотка призводить до так званого фільтру максимуму, який корисний при пошуку на зображенні найбільш яскравих точок по відношенню до навколишнього фону.

Відсоток 0 є фільтром мінімуму, який використовується для пошуку протилежних значень.

На рис. 1.9, а представлений знімок, сильно спотворений шумом. Щоб проілюструвати перевагу медіанної фільтрації в порівнянні з усереднюючим фільтром, показаний результат обробки зашумленого зображення середнім фільтром по околиці 3×3 (рис. 1.9, б), а на рис. 1.9, в – результат медіанної фільтрації по околиці 3×3 .



Рисунок 1.9 – Порівняння шумоподавлення усереднюючим і медіанним фільтрами (а – зашумлене зображення, б – шумоподавлення усереднюючим фільтром, в – шумоподавлення медіанним фільтром)

Можна відзначити, що на зображенні, обробленому усереднюючим фільтром, рівень шумів став нижчим, але ціною значного. При цьому цілком очевидна перевага медіанного фільтра у всіх відношеннях.

1.4 Висновки по розділу 1

Зображення дронів, отримані з відеокамери часто мають недостатній контраст з фоном. Це може бути результатом або випадкового співпадіння обставин (світлий дрон на яскравому небі або темний дрон на фоні дерев), або виникати внаслідок навмисного маскування дрону за рахунок покриття-хамелеону.

Для покращення помітності дронів на відеозображеннях доцільно застосовувати градаційну обробку зображень перед операцією виявлення. Склад та параметри цієї обробки доцільно визначити в результаті досліджень.

Також, при зйомці в умовах поганої освітленості, відеозображення містить значний рівень шумів, що, очевидно, може призводити до збільшення хибного виявлення руху в кадрі, навіть при його відсутності. Також слід очікувати погіршення результатів процедури розпізнавання дронів від інших рухомих об'єктів.

Отже, треба застосовувати фільтрацію зображень перед операцією виявлення. Тип та параметри застосовуваних просторових фільтрів також треба 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 ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ПОЛІПШЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ В ЗАДАЧАХ РОЗПІЗНАВАННЯ ДРОНІВ

2.1 Еквалізація гистограми зображення

У даному розділі розглянемо те, як можна реалізувати один із методів покращення якості зображень за допомогою посилення контрасту окремих областей. Цей метод називається еквалізацією (вирівнюванням) гистограми.

Еквалізація гистограми – це один з найпростіших методів покращення якості зображення. Проте, в літературі та інтернеті складно знайти приклад будь-якої конкретної реалізації. Еквалізація, це просто процедура вирівнювання гистограми зображення шляхом впливу (тобто корекції) яскравості окремих пікселів.

Гістограма довільного зображення є графіком, що відображає у вигляді піків, кількість пікселів у зображенні з певною яскравістю, і, як правило, для деякого зображення вона являє собою велику кількість піків нерівномірно розподілених за графіком.

Нерівномірний розподіл, у разі, означає що у гистограмі є області у яких зосереджена більшість піків чи навпаки менша. Тобто, у просторі графіка присутні ділянки, де щільність значень вище/нижче, ніж у середньому за графіком. Процедура еквалізації зробить розподіл значень у гистограмі більш рівномірним, а це означає, що в ній майже не залишиться прогалін та областей з надмірно високою кількістю (і висотою) піків.

При всіх поелементних перетворення відбувається зміна закону розподілу ймовірностей, що описує зображення. Розглянемо механізм цієї зміни на прикладі довільного перетворення з монотонною характеристикою, що описується функцією $y = f(x)$ (рис.1.2), що має однозначну зворотну функцію $x = \varphi(y)$. Припустимо, що випадкова величина x підпорядковується густині ймовірності $w_x(x)$.

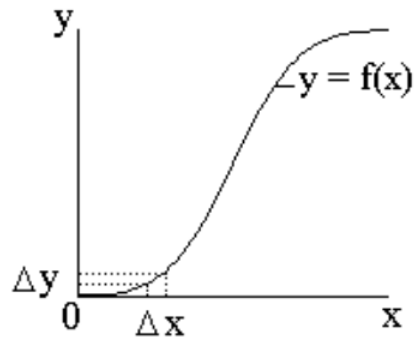


Рисунок 2.1 – Нелінійне перетворення випадкової величини

Нехай Δx – довільний малий інтервал значень випадкової величини x , а Δy – відповідний інтервал перетвореної випадкової величини y .

Попадання величини x в інтервал Δx спричиняє попадання величини y в інтервал Δy , що означає ймовірнісну еквівалентність цих двох подій. Тому, враховуючи малу величину обох інтервалів, можна записати наближену рівність:

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

де модулі враховують залежність ймовірностей від абсолютних довжин інтервалів (і незалежність від знаків прирощень Δx та Δy). Обчислюючи звідси щільність ймовірності перетвореної величини, підставляючи замість x його вираз через зворотну функцію і виконуючи граничний перехід при $\Delta x \rightarrow 0$ (і, значить, $\Delta y \rightarrow 0$), отримуємо:

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

Вираз (2.2) дозволяє обчислити густину ймовірності продукту перетворення, яка, як видно з нього, не збігається з густиною розподілу вихідної випадкової величини. Зрозуміло, що істотний вплив на щільність

$w_y(y)$ робить виконване перетворення, оскільки в (2.2) входить його зворотна функція і її похідна.

Співвідношення стають дещо складнішими, якщо перетворення описується не взаємно-однозначною функцією [7]. Прикладом такої складнішої характеристики з неоднозначною зворотною функцією може бути пилкоподібна характеристика (рис. 2.2). Проте, загалом, сенс імовірнісних перетворень не змінюється.

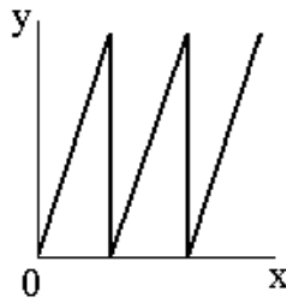


Рисунок 2.2 – Пилкоподібне перетворення випадкової величини

Усі розглянуті у даному розділі поелементні перетворення зображень можна розглянути з погляду зміни розподілу щільності ймовірності, описуваного виразом (2.2). Вочевидь, що за жодному їх щільність ймовірності вихідного продукту нічого очікувати збігатися з щільністю ймовірності вихідного зображення (крім, звісно, тривіального перетворення $y = f(x) \equiv x$). Неважко переконатися, що при лінійному контрастуванні зберігається вигляд густини ймовірності, однак у загальному випадку, тобто при довільних значеннях параметрів лінійного перетворення, змінюються параметри густини ймовірності перетвореного зображення.

Визначення імовірнісних параметрів зображень, що пройшли нелінійну обробку, є прямою задачею аналізу. При вирішенні практичних задач обробки зображень може бути поставлена зворотна задача: за відомим видом щільності ймовірності $w_x(x)$ та бажаному виду $w_y(y)$ визначити необхідне перетворення $y = f(x)$, якому слід піддати вихідне зображення. У практиці цифрової обробки зображень часто корисного результату призводить перетворення зображення до рівноймовірного розподілу [8]. В цьому 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} – мінімальне та максимальне значення яскравості перетвореного зображення.

Визначимо характеристику перетворювача, що вирішує це завдання. Нехай x і y пов'язані функцією $y = f(x)$, а $F_x(x)$ та $F_y(y)$ – інтегральні закони розподілу вхідної та вихідної величин. Враховуючи (2.3), знаходимо:

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

Підставляючи цей вираз в умову імовірнісної еквівалентності

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

після простих перетворень отримуємо співвідношення

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

яке являє собою характеристику $y = f(x)$ у розв'язуваній задачі. Відповідно до (2.6) вихідне зображення проходить нелінійне перетворення, характеристика якого $F_x(x)$ визначається інтегральним законом розподілу самого вихідного зображення. Після цього результат наводиться до заданого динамічного діапазону з допомогою операції лінійного контрастування.

Аналогічним чином можна отримати рішення інших подібних задач, у яких потрібно привести закони розподілу зображення до заданого виду. У [9] наведено таблицю таких перетворень. Одне з них, так звана гіперболізація

розподілу, передбачає приведення щільності ймовірності перетвореного зображення до гіперболічного вигляду:

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

Якщо врахувати, що при проходженні світла через око вхідна яскравість логарифмується його сітківкою, то підсумкова щільність ймовірності виявляється рівномірною. Таким чином, на відміну від попереднього прикладу полягає в обліку фізіологічних властивостей зору. Можна показати, що зображення з густиною ймовірності (2.7) виходить 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 інтегральним законом розподілу вихідного зображення.

Таким чином, перетворення густини ймовірності передбачає знання інтегрального розподілу для вихідного зображення. Як правило, достовірних відомостей про нього немає. Використання для цілей аналітичних апроксимацій також малоприслатне, оскільки їх невеликі відхилення від істинних розподілів можуть призводити до суттєвої відмінності результатів від необхідних. Тому в практиці обробки зображень перетворення розподілів виконують у два етапи.

На першому етапі вимірюється гістограма вихідного зображення. Для цифрового зображення, шкала яскравостей якого, наприклад, належить цілісному діапазону 0...255, гістограма є таблицею з 256 чисел. Кожне з них показує кількість точок у кадрі, що мають цю яскравість. Розділивши всі

числа цієї таблиці на загальний розмір вибірки, що дорівнює кількості використовуваних точок зображення, отримують оцінку розподілу ймовірностей яскравості зображення. Позначимо цю оцінку. Тоді оцінка інтегрального розподілу виходить за такою формулою:

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

На другому етапі виконується саме нелінійне перетворення $y = f(x)$, що забезпечує необхідні властивості вихідного зображення. При цьому замість невідомого істинного інтегрального розподілу використовується оцінка, заснована на гістограмі. З огляду на це всі методи поелементного перетворення зображень, метою яких є видозміна законів розподілу, отримали назву гістограмних методів. Зокрема, перетворення, у якому вихідне зображення має рівномірний розподіл, називається еквалізацією (вирівнюванням) гістограм.

Зазначимо, що процедури перетворення гістограми можуть застосовуватися як до зображення в цілому, так і до окремих його фрагментів. Останнє може бути корисним при обробці нестационарних зображень, зміст яких істотно відрізняється за своїми характеристиками різних ділянках. У цьому випадку найкращого ефекту можна досягти, застосовуючи гістограмну обробку до окремих ділянок.

Використання співвідношень (2.4) – (2.8), справедливих для зображень з безперервним розподілом яскравості, є не цілком коректним для цифрових зображень. Необхідно мати на увазі, що в результаті обробки не вдається отримати ідеальний розподіл ймовірностей вихідного зображення, тому корисно контролювати його гістограми.

На рис.2.3 наведено приклад еквалізації, виконаної відповідно до викладеної методики. Характерною рисою багатьох зображень, одержуваних у реальних зображуючих системах, є значна питома вага темних ділянок та

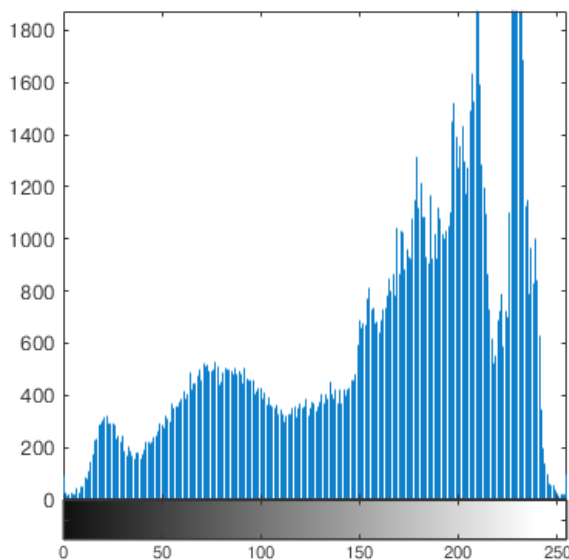
порівняно мала кількість ділянок з високою яскравістю. Еквалізація покликана відкоригувати картину, вирівнявши інтегральні площі ділянок із різними яскравостями.



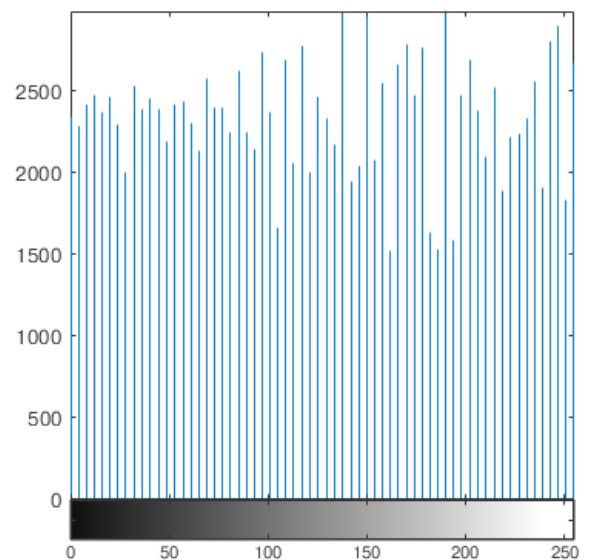
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2.3 – Приклад еквалізації зображення дрону (а – вихідне зображення, б – оброблене зображення, в – гістограма вихідного зображення, г – гістограма обробленого зображення)

Порівняння вихідного (рис.2.3, а) і обробленого (рис.2.3,б) зображень показує, що перерозподіл яскравостей, що відбувається при обробці, призводить до поліпшення контрасту білого дрону зі світлим фоном. Що, очевидно призведе до покращення його подальшого виявлення і розпізнавання.

2.2 Попередня обробка зображення

Попередня обробка зображення – процес поліпшення якості зображення, що ставить за мету отримання на основі оригіналу максимально точного та адаптованого для автоматичного аналізу зображення.

Серед дефектів цифрового зображення можна виділити такі види:

- цифровий шум;
- колірні дефекти (недостатні або надмірні яскравість та контраст, неправильний колірний тон);
- розмитість (розфокусування).

Методи попередньої обробки зображень залежать від задачі дослідження і можуть включати такі види обробки:

- фільтрація зображення;
- морфологічні перетворення;
- корекція яскравості і контрасту.

Розглянемо особливості зазначених процедур стосовно зображень дронів.

2.2.1 Фільтрація зашумлених зображень дронів

Цифровий шум зображення – дефект зображення, що вноситься фотосенсорами та електронікою пристроїв, які їх використовують. Особливо шуми проявляються при зйомці в умовах недостатньої освітленості. Система автоматичного регулювання підсилення (АРП) підвищує коефіцієнт передачі відеоканала камери, збільшуючи разом із сигналом і шум на виході. Він проявляється у вигляді зернистості зображення.

Для подавлення шуму використовують такі методи.

Лінійне усереднення точок сусідів – найпростіший вид алгоритмів видалення шуму. Основна ідея їх у тому, щоб брати середнє арифметичне значення точок в деякій околиці як нове значення точки.

Фізично така фільтрація реалізується за допомогою обходу пікселів зображення матрицею згортки, що має такий вигляд:

$\frac{1}{\text{div}}$	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 лінійному усередненні точок сусідів

Знаменник div – це коефіцієнт нормування, щоб середня інтенсивність залишалася не зрадою. Він дорівнює сумі коефіцієнтів матриці, на прикладі $\text{div} = 25$.

Розмиття за Гаусом (різновид лінійного згортання) реалізується за допомогою обходу пікселів зображення матрицею згортки, що має такий вигляд:

$\frac{1}{273}$	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 розмитті за Гаусом

Матриця 5×5 заповнюється за нормальним (гаусовим законом). На рис.2.6 наведена та сама матриця, де коефіцієнти вже є нормованими, так що div для цієї матриці дорівнює одному.

Від розміру матриці залежить сила розмиття.

де $width$ і $height$ – ширина та висота фільтрованого зображення,
 gap – розмір матриці згортки.



Рисунок 2.8 – Проблема відсутності сусідів у крайніх пікселів

В центр зображення копіюється вхідна картинка, а краї заповнюються крайніми пікселями зображення. Розмиття застосовується до проміжного буфера, та потім із нього витягується результат (рис.2.9).

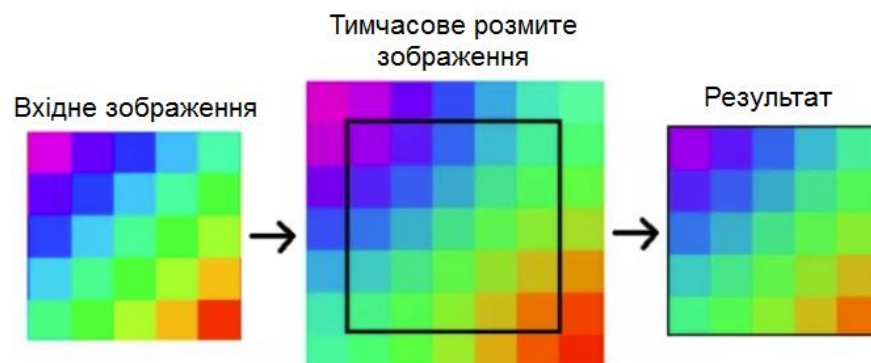


Рисунок 2.9 – Вирішення проблеми відсутності сусідів у крайніх пікселів

Медіанний фільтр є віконним фільтром, послідовно скануючим зображення, і повертаючим на кожному кроці один з елементів, що потрапили у вікно фільтра.

Пікселі, які «попадають» у вікно, сортуються в порядку зростання і вибирається значення, яке знаходиться посередині відсортованого списку (рис.2.10). Медіанний фільтр зазвичай використовується для зменшення шуму або згладжування зображення.



Рисунок 2.10 – Принцип медіанної фільтрації

Приклад використання медіанного фільтра до попередньо зашумленого зображення дрону (відношення сигнал-шум 22 дБ) показано на рис.2.11.

До оригінального зображення в MATLAB додавався нормальний білий шум. Потрібне середньоквадратичне відхилення шуму визначалося виходячи з умови:

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

де $PSNR$ – пікове відношення сигнал-шум (peak signal-to-noise ratio). $PSNR$ означає відношення між максимумальним контрастом (в нашому випадку різниця між рівнем білого і чорного 255) і потужністю шуму, який спотворює зображення.



а)



б)

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

Медіанний фільтр вносить менше розмиття, чим фільтр Гауса і досить ефективно подавляє шуми.

Для покращення чіткості зображення використовується наступний фільтр (рис. 2.12).

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

Рисунок 2.12 – Матриця віконного фільтру для покращення чіткості зображення (div=1)

Такий вигляд матриці дозволяє підкреслювати границі об'єктів. Приклад використання фільтра покращення чіткості до зображення попередньо обробленого медіанним фільтром показано на рис.2.13.



а)



б)

Рисунок 2.13 – Приклад використання фільтра покращення чіткості зображення (а – оригінальне зображення, б – оброблене фільтром покращення чіткості)

Як видно з рис. 2.13 при застосуванні фільтра покращення чіткості відбувається деяке зростання рівня шуму, але результат такої обробки все одно набагато краще, ніж у вихідного зашумленого зображення.

2.2.2 Морфологічні перетворення

Морфологічна фільтрація використовується для розширення (дилактації) чи звуження (ерозії) елементів бінарного зображення.

Дилатація (морфологічне розширення) – згортка зображення або виділення зображення деяким шаблоном. Шаблон може мати довільну форму та розмір. При цьому в ньому виділяється єдина провідна позиція (anchor), яка поєднується з поточним пікселем при обчисленні згортки.

Приклад операцій дилатації і ерозії показано на рис. 2.14.

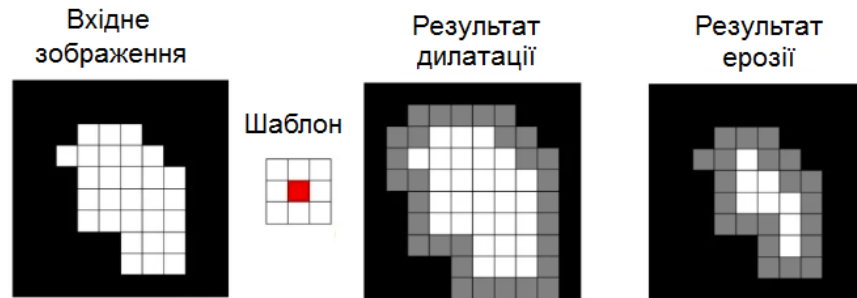


Рисунок 2.14 – Приклад операцій дилатації і ерозії

Бінарне зображення – впорядкований набір (упорядкованої множини) чорно-білих точок (пікселів). Максимум інтенсивності пікселів зображення дорівнює одиниці, мінімум – нулю.

Застосування дилатації зводиться до проходу шаблоном у всьому зображенні та застосуванні оператора пошуку локального максимуму інтенсивності пікселів зображення, що накриваються шаблоном. Якщо максимум дорівнює 1 то точка, в якій знаходиться анкор шаблону буде біла. Така операція викликає зростання світлих областей на зображенні. На малюнку сірим кольором відмічені пікселі, які в результаті застосування дилатації будуть білими.

Ерозія (морфологічне звуження) – операція, обернена до дилатації. Дія ерозії подібна до дилатації, різниця лише в тому, що використовується оператор пошуку локального мінімуму. Якщо мінімум дорівнює 0, то точка, де знаходиться анкор шаблону, буде чорна. На малюнку праворуч сірим кольором відмічені пікселі, які стануть чорними внаслідок ерозії.

Операція "Дилатація" – аналог логічного "або", операція "Ерозія" - аналог логічного "і".

Результат морфологічних операцій багато в чому визначається шаблоном (структурним елементом). Вибираючи різний структурний елемент, можна вирішувати різні завдання обробки зображень дронів:

- шумоподавлення;
- виділення границь об'єкта;
- виділення "скелета" об'єкта.

2.3 Застосування табличного методу при поелементних перетвореннях зображень

При поелементних перетвореннях зображень обчислення функції $y = f(x)$ мають бути виконані для всіх точок вихідного зображення. Навіть при не дуже трудомістких обчислення відповідно до виду застосовуваного перетворення загальний обсяг обчислювальної роботи, що виконується ЕОМ, може виявитися значним. У тих самих завданнях, де функція $y = f(x)$ передбачає трудомісткі обчислення (множення, ділення, розрахунки тригонометричних виразів, статечних та інших функцій), застосування прямого методу перетворення яскравостей може виявитися взагалі неприйнятним. Незручним є те, що час виконання обробки залежить від її обчислювальної складності. Від цих недоліків позбавлений табличний метод, що набув широкого поширення на практиці цифрової обробки зображень.

Сутність табличного методу полягає у тому, що шляхом попереднього розрахунку створюється таблиця функції $y = f(x)$, загальний вигляд якої показано в табл.2.1.

Таблиця 2.1 – Табличне завдання 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 обробці зображення замість обчислень використовуються готові результати звернення до цієї таблиці. При цьому значення вхідної яскравості x служить для визначення номера стовпця, з якого має бути рахована величина y перетвореного сигналу. Виконання цієї нескладної операції проти обчислення на кожному кроці значення дозволяє зробити обробку досить технологічною, причому її тривалість виявляється незалежною від складності перетворення.

Необхідно пам'ятати, що це реальні таблиці, які можна записані оперативної пам'яті ЕОМ, мають обмежену довжину. Якщо множина значень вхідного сигналу перевищує розміри таблиці, то при попаданні значення між точками, що містяться в ній, доводиться застосовувати інтерполяцію – наближене визначення значень, що відсутні, функції за наявними її сусідніми значеннями. Часто для цієї мети використовується лінійна інтерполяція, коли на ділянці між заданими вузлами незадана функція замінюється відрізком прямої.

Разом про те, якщо вихідне зображення представлено цілим записом в діапазоні 0..255, то розміри повної таблиці, що містить всі ці значення, цілком прийнятні для її зберігання. З іншого боку, у разі якщо значення яскравості вихідного сигналу служить адресою, визначальним є номер стовпця в таблиці. Обробка з використанням цього методу виявляється дуже зручною та швидкодіючою.

2.4 Висновки по розділу 2

В результаті теоретичного обґрунтування методів обробки зображень дронів в задачах покращення характеристик їх виявлення і розпізнавання можна вивести певну послідовність етапів обробки:

- подавлення шуму шляхом медіанної фільтрації. Медіанний фільтр вносить менше розмиття, ніж гаусовий фільтр і достатньо ефективно бореться з шумами;

– покращення чіткості зображення з використанням відповідного віконного фільтру. Це дозволить легше виділяти границі об'єкту. При застосуванні фільтра покращення чіткості відбувається деяке зростання рівня шуму, але результат такої обробки все одно набагато краще, ніж у вихідного зашумленого зображення;

– вирівнювання гістограми рівней зображення (еквалізація). Перерозподіл яскравостей, що відбувається при такій обробці, призводить до поліпшення контрасту дрону з фоном. Що, очевидно, призведе до покращення його подальшого виявлення і розпізнавання.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИЯВЛЕННЯ І РОЗПІЗНАВАННЯ ДРОНІВ

3.1 Дослідження впливу протишумової обробки

В практиці виявлення і розпізнавання дронів в оптичному каналі не поодинокі випадки, коли відеозображення має недостатньо велике, а інколи і мале відношення сигнал-шум (в районі 20 дБ, або навіть менше). Такі ситуації зустрічаються найчастіше при відеоспостереженні охороняемого простору в умовах недостатньої освітленості – в похмуру погоду або у вечірні або ранкові сутінки.

В цьому випадку система автоматичного регулювання підсилення відеокамери збільшує чутливість відеотракту (ISO), внаслідок чого разом із відеосигналом збільшується і рівень шуму. Шум на відеозображенні проявляється у вигляді зернистості. Це спотворює зображення як з точки зору візуального сприйняття, так і ускладнює роботу автоматичних систем з виявлення і розпізнавання дронів.

Складнощі для автоматизованої системи виявлення полягають в тому, що розподіл шумів у двох сусідніх кадрах буде розрізнятися. Система виявлення на першому етапі налаштована на пошук руху за відмінністю двох сусідніх кадрів або поточного кадру і опорного кадру (рис. 3.1). Наявність шумів призводить до помилкового виявлення руху.

На рис. 3.2 показана ситуація, коли рух у кадрі відсутній, а рух виявляється помилково лише внаслідок наявності шуму. В даному експерименті пікове відношення сигнал-шум складало $PSNR \approx 20$ дБ. Шум мав нормальний розподіл вірогідності, що підтверджується для багатьох систем відеоспостереження. Необхідна дисперсія шуму $\sigma_{\text{ш}}^2$ визначалася виходячи зі співвідношення:

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

В нашому випадку 255 – це максимальний контраст – різниця між рівнем білого і чорного.

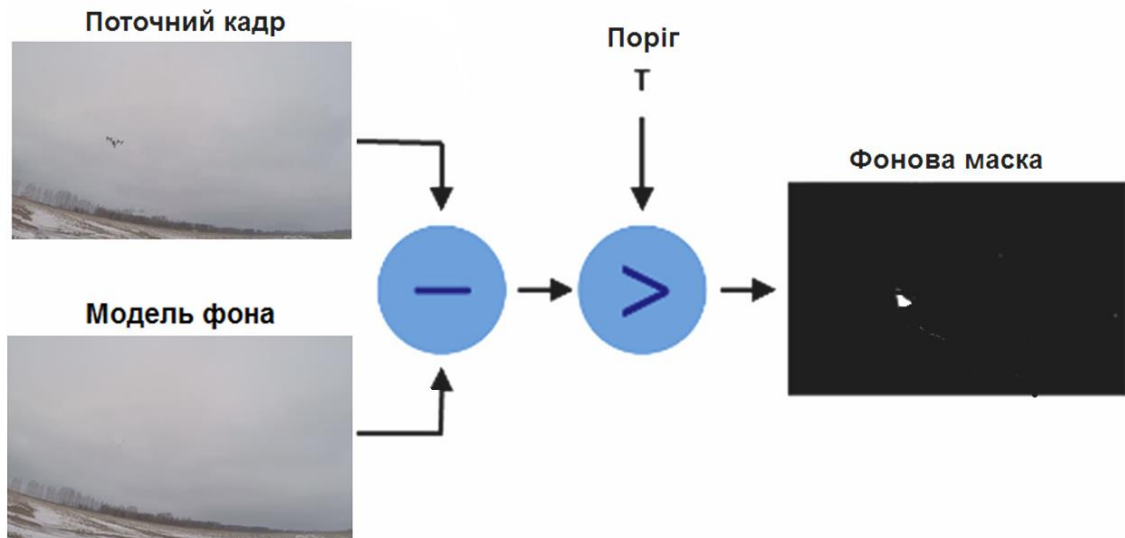


Рисунок 3.1 – Виявлення рухомих об'єктів у відеопотоці

Лістинг відповідної програми в MATLAB наведено нижче.

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

snr=20;
SNR=255/(10^(snr/20));
I=imread(Pic); % чтение исходного изображения и вывод его на экран.

imshow(I);

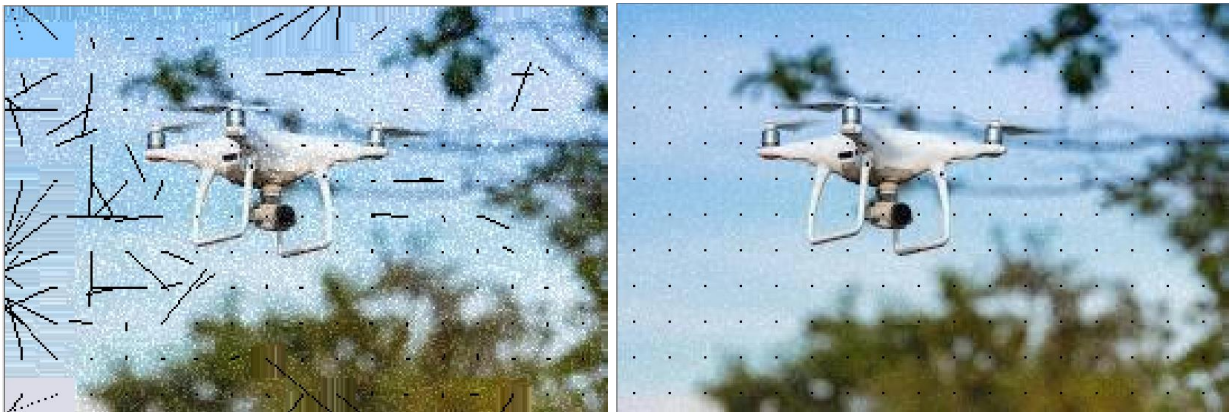
H=size(I,1); W=size(I,2);

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); % вывод исходного и полученного
subplot(1,2,2), imshow(Is2); % изображения в одно окно

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



а)

б)

Рисунок 3.2 – Помилкове виявлення руху в кадрі внаслідок наявності шумів (а – PSNR=20 дБ, б – PSNR=30 дБ, чорними лініями показані вектори руху)

З виразу (3.1) слідує

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

Дослідження в рамках даної кваліфікаційної роботи показали, що порогом, коли з'являється помилкове виявлення руху за рахунок впливу шумів, можна вважати значення PSNR \approx 24...25 дБ.

Дослідимо вплив медіанної фільтрації на покращення відношення сигнал-шум у відеозображенні і на ефективність виявленні і розпізнавання дронів.

Основна передумова медіанної фільтрації полягає в аналізі околиць пікселів на зображенні, сортуванні їх інтенсивності, а потім виборі середньої інтенсивності як результат.

Одна з пропозицій, яку можемо зробити в даній роботі, полягає в тому, щоб використовувати функцію `im2col` для перетворення кожної околиці пікселя на один вектор стовпців і взяти всі ці вектори стовпців для створення

однієї матриці. Кожен стовпець представлятиме інтенсивність пікселів на околиці пікселів.

Потім використовуємо `sort` і виконаємо сортування за рядками для кожного стовпця. Потім захопимо середину цієї відсортованої матриці, яка становить середнє значення для кожної околиці пікселя. Це буде вектор з одним рядком, що представляє медіанне значення кожної околиці пікселя.

Як тільки ми закінчимо, просто змінимо цей вектор назад у той самий розмір, що й вихідне зображення, щоб отримати результат медіанної фільтрації. Будемо використовувати функцію `col2im`, щоб полегшити цей останній крок.

Лістинг відповідної програми в 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 приклад. Допустимо, ми обрали розмір фільтра 3 x 3, і ми будемо використовувати файл зашумлений файл зображення `droneN.JPG`, який був попередньо отриманий в MATLAB в результаті обробки зображення `drone.JPG`. Якщо ми виконаємо наведений нижче код, то запустимо код медіанного фільтра, який був показаний вище:

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

В результаті ми отримуємо вихідне зображення та кінцеве зображення, відфільтроване за допомогою медіанної фільтрації (рис.3.3).

Цей результат є тим, що ми очікували, оскільки медіанна фільтрація (більше або менше) підтримує границі об'єкту в хорошому стані при згладжуванні зображення.

Медіанна фільтрація особливо корисна для шуму salt-and-pepper, де ймовірно, що ці зашумлені пікселі з'являться на початку і в кінці при сортуванні околиць пікселів, тому вибір середнього значення, швидше за все, відфільтрує ці зашумлені значення.

Саме великі викиди шумів впливають на помилкове виявлення руху, а медіанний фільтр ефективно згладжує ці значення.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.3 – Результати застосування медіанної фільтрації до зашумленого зображення дрону (а – зашумлене зображення з PSNR=20 дБ, б – медіанна фільтрація з вікном 3x3, в – з вікном 5x5, г – з вікном 7x7)

На рис. 3.4 наведено графік залежності PSNR від розміру вікна медіанного фільтру. В цьому випадку значення PSNR розраховувалося за формулою (3.1), а середньоквадратичне значення шуму за виразом:

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

де X, Y – розмір оброблюваного зображення;

x, y – поточні координати пікселя;

L – яскравість пікселів зображення, обробленого медіанним фільтром або зашумленого;

L_0 – яскравість пікселів оригінального зображення.

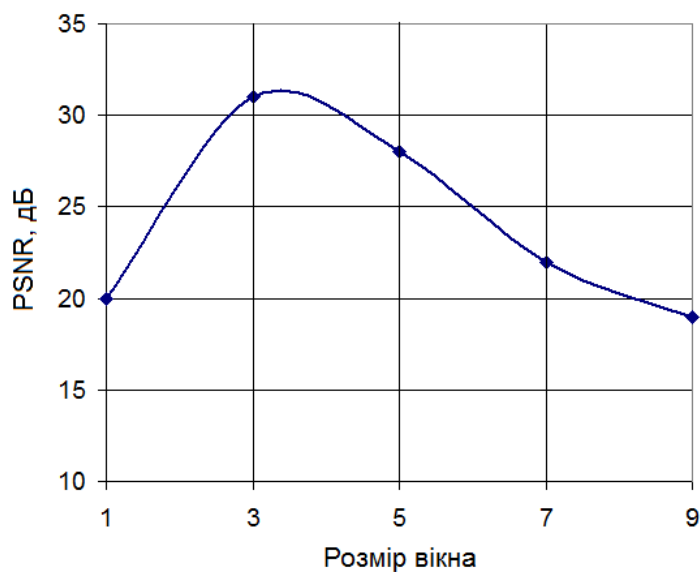


Рисунок 3.4 – Залежність пікового відношення сигнал-шум від розміру вікна медіанного фільтра

Як випливає з результатів досліджень, оптимальним з точки зору пікового відношення сигнал-шум є розмір вікна медіанного фільтра 3x3 або 4x4. При цьому значення PSNR покращується більше ніж на 10 дБ. Тобто цього вже достатньо, для запобігання помилковим спрацюванням автоматизованої системи виявлення руху.

При подальшому збільшенні вікна фільтра, виграш у відношенні сигнал-шум зменшується, що, очевидно пов'язано зі спотворенням самого зображення фільтром. Тобто спотворення в цьому разі вже виконують ту

саму роль, що і шум. Це буде негативно впливати на наступний етап – етап розпізнавання дрону від інших рухомих об'єктів.

Для порівняння проведено експеримент з фільтрації зашумленого зображення droneN.JPG за допомогою гаусового фільтра зі змінним розміром вікна. В результаті ми отримуємо вихідне зображення та кінцеве зображення, відфільтроване за допомогою гаусової фільтрації (рис.3.5).

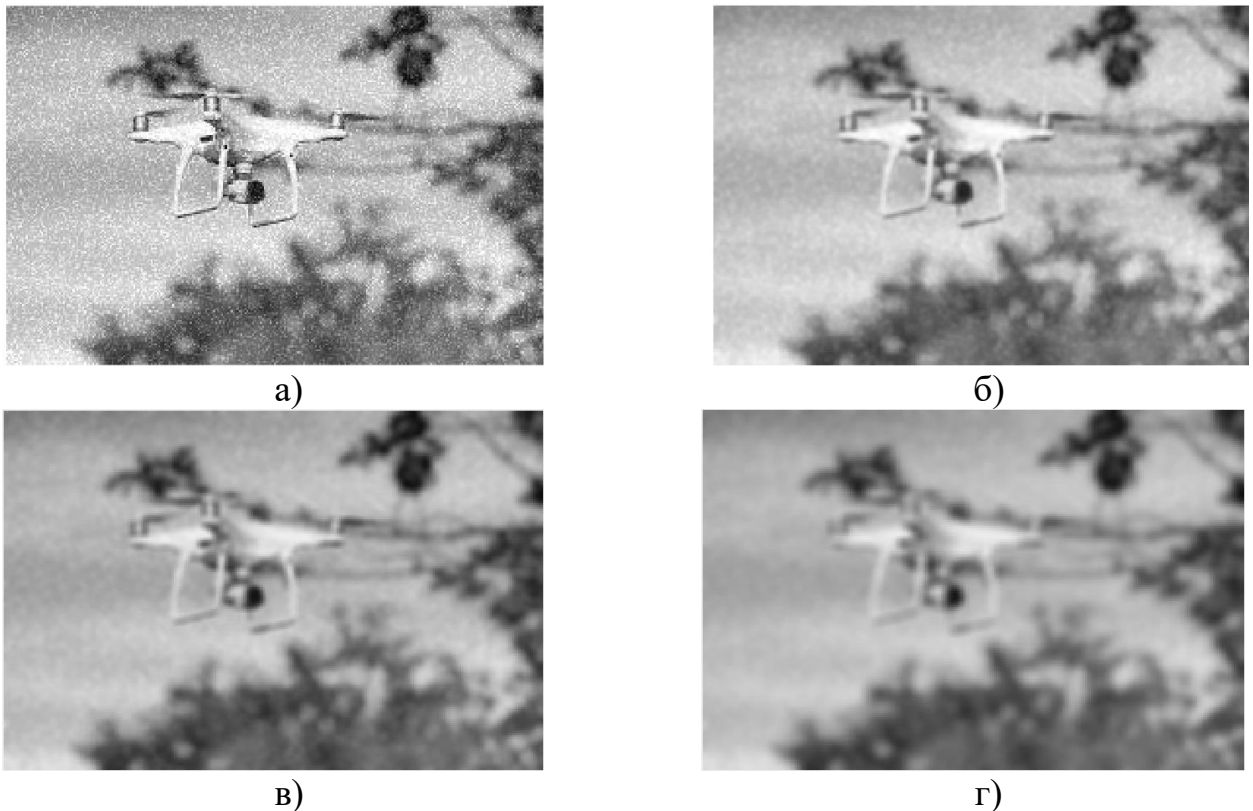


Рисунок 3.5 – Результати застосування гаусової фільтрації до зашумленого зображення дрону (а – зашумлене зображення з PSNR=20 дБ, б – медіанна фільтрація з вікном 3x3, в – з вікном 5x5, г – з вікном 7x7)

На рис. 3.6 наведено графік залежності PSNR від розміру вікна медіанного фільтру.

Як впливає з результатів досліджень, оптимальним з точки зору пікового відношення сигнал-шум є розмір вікна гаусового фільтру 3x3 або 4x4. При цьому значення PSNR покращується більше ніж на 5 дБ. Тобто результат подавлення шуму приблизно на 5 дБ гірший, ніж у випадку медіанного фільтру.

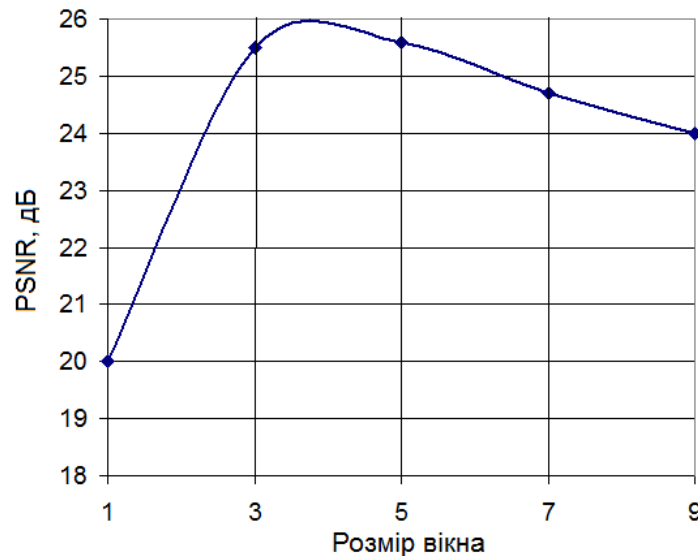


Рисунок 3.6 – Залежність пікового відношення сигнал-шум від розміру вікна гаусового фільтру

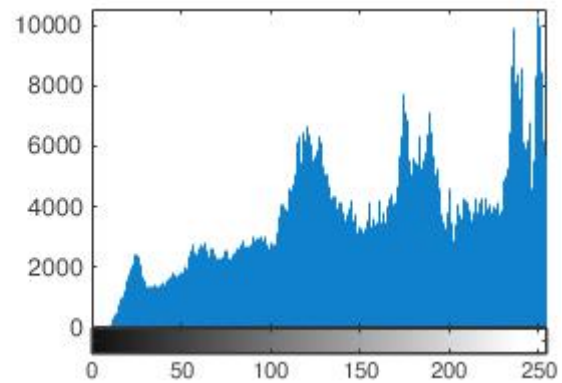
При подальшому збільшенні вікна гаусового фільтру, виграш у відношенні сигнал-шум також зменшується, що, пов'язано зі значним розмиттям зображення. Тобто розмиття в цьому разі вже виконує ту саму роль, що і шум. Це буде негативно впливати на наступний етап – етап розпізнавання дрону від інших рухомих об'єктів в кадрі.

3.2 Дослідження впливу еквалізації зображення

Для простоти будемо розглядати монохромні зображення дронів (тобто зображень, що містять інформацію тільки про яскравість, але не про колір пікселів). Гістограмою зображення називатимемо дискретну функцію H , визначену на множині значень $[0; 2b_{pp}]$, де b_{pp} – кількість біт, що відводиться для кодування яскравості одного пікселя. Хоч це і не є обов'язковим, але гістограми часто нормують в діапазон $[0; 1]$, виконуючи розподіл кожного значення функції $H(i)$ на загальну кількість пікселів зображення. На рис. 3.7 і рис. 3.8 представлені приклади тестових зображень дронів та гістограм, побудованих на їх основі.



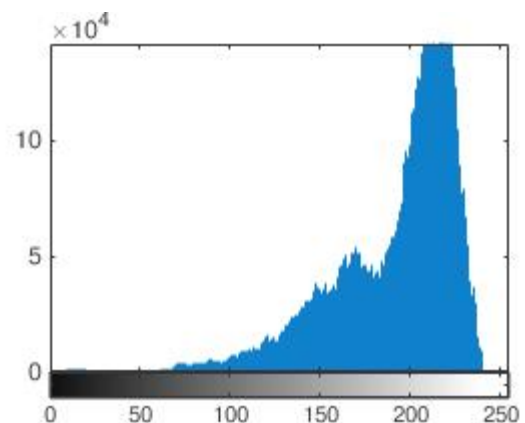
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.7 – Приклади тестових зображень дронів (а,в) та гістограм, побудованих на їх основі (б,г)

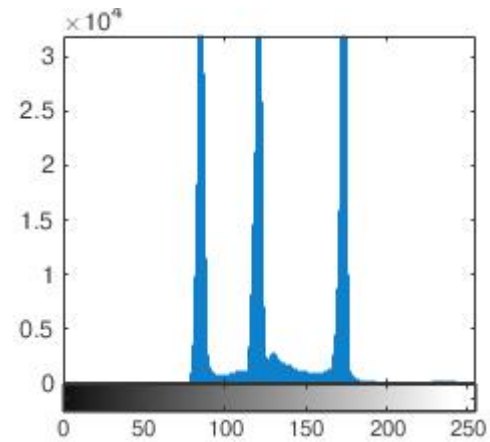
Уважно вивчивши відповідну гістограму можна зробити деякі висновки і про вихідне зображення. Наприклад, гістограми темних зображень характеризуються тим, що ненульові значення гістограми сконцентровані біля нульових рівнів яскравості, а для дуже світлих зображень навпаки – всі ненульові значення сконцентровані в правій частині гістограми.

Інтуїтивно можна зробити висновок, що найзручнішим для сприйняття як людиною так і системою виявлення БПЛА по відео буде зображення, у якого гістограма близька до рівномірного розподілу. Тобто, для покращення візуальної якості до зображення треба застосувати таке перетворення, щоб гістограма результату містила всі можливі значення яскравості і при цьому приблизно однаковій кількості.

Таке перетворення називається еквалізацією гістограми і виконано в кваліфікаційній роботі в системі MATLAB за допомогою коду, наведеного в наступному лістингу.



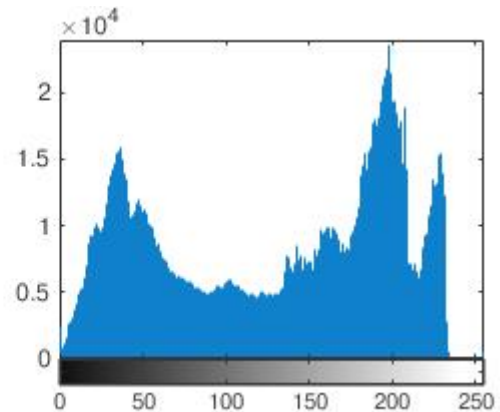
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.8 – Приклади тестових зображень дронів (а,в) та гістограм, побудованих на їх основі (б,г)

```
Pic='C:\drone.JPG';
I=imread(Pic); % чтение исходного изображения и вывод его на экран.
imshow(I);

Is=histeq(I); % выравнивание гистограммы яркостей исходного
% полутонового изображения

subplot(1,2,1), imshow(I); % вывод исходного и полученного
subplot(1,2,2), imshow(Is); % изображения в одно окно

figure

subplot(1,2,1), imhist(I); % вывод гистограммы яркостей исходного
subplot(1,2,2), imhist(Is); % и полученного изображения в одно окно
```

Результати еквалізації наведених вище тестових зображень наведено на рис. 3.9 – рис 3.12.

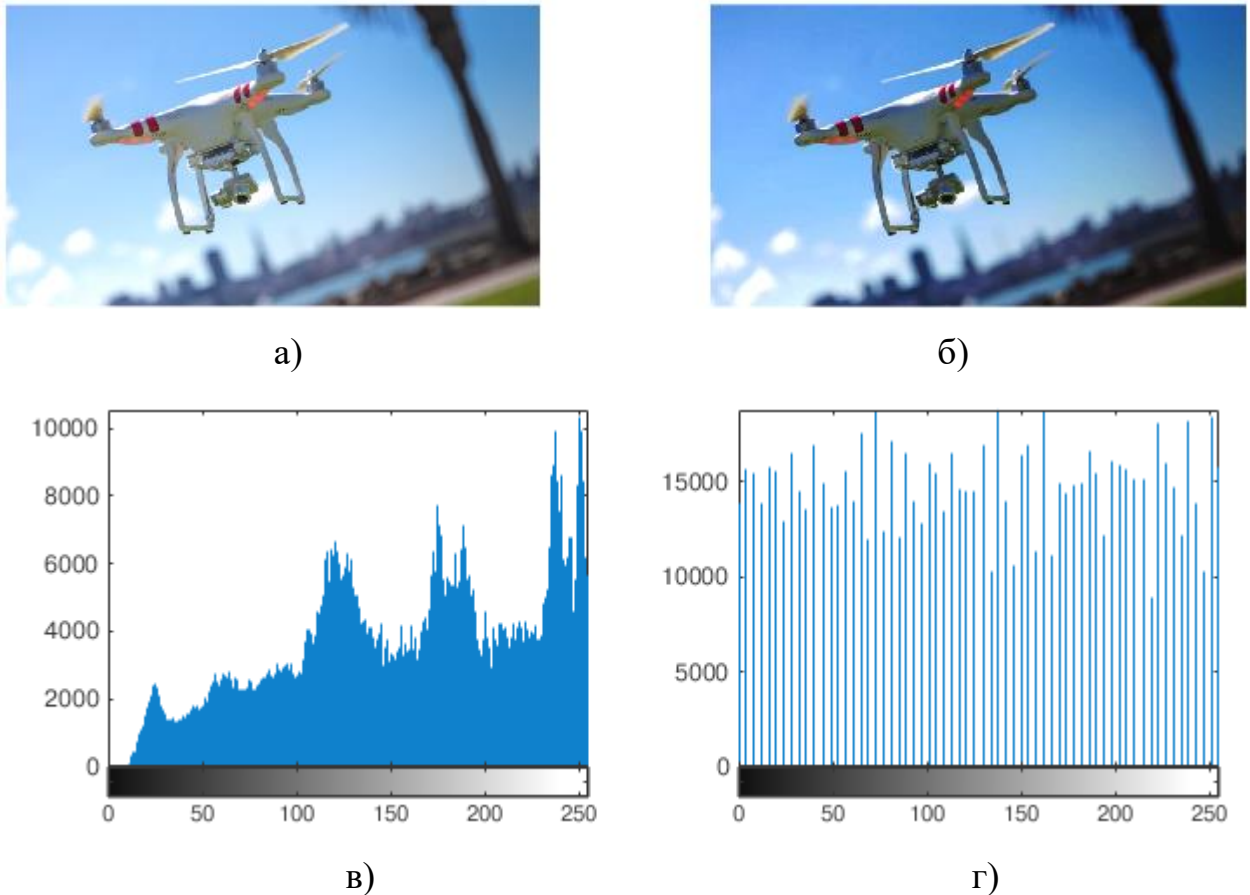


Рисунок 3.9 – Результат еквалізації зображення drone1.JPG (а – вихідне зображення, б – оброблене зображення, в – гістограма вихідного зображення, г – гістограма обробленого зображення)

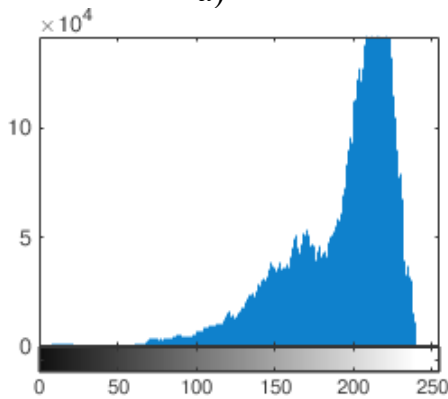
В результаті еквалізації гістограми у всіх випадках істотно розширюється динамічний діапазон зображення, що дозволяє відобразити раніше непомітні деталі. Особливо сильно цей ефект виявляється на дуже темних та дуже світлих зображеннях. Крім того, варто відзначити ще одну важливу особливість процедури еквалізації: на відміну від більшості фільтрів та градаційних перетворень, що потребують налаштування параметрів (апертури та констант градаційних перетворень), еквалізація гістограми може виконуватися у повністю автоматичному режимі без участі оператора.



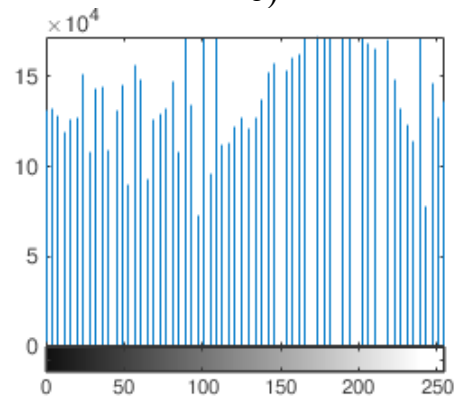
а)



б)



в)



г)

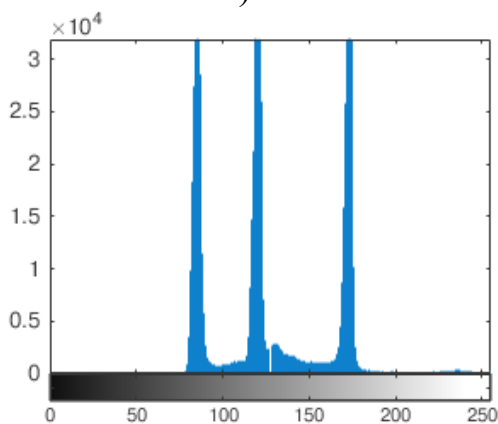
Рисунок 3.10 – Результат еквалізації зображення drone2.JPG (а – вихідне зображення, б – оброблене зображення, в – гістограма вихідного зображення, г – гістограма обробленого зображення)



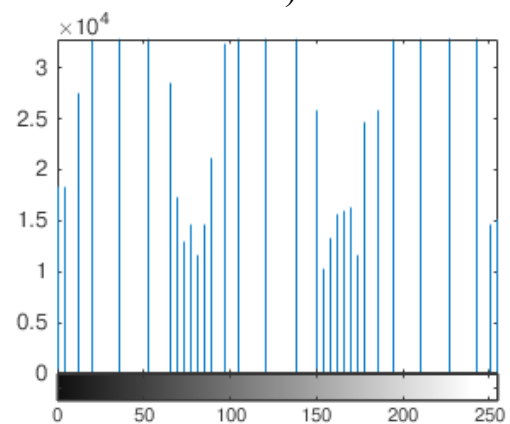
а)



б)



в)



г)

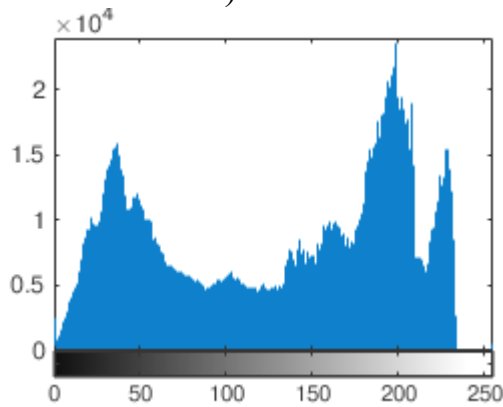
Рисунок 3.11 – Результат еквалізації зображення drone3.JPG (а – вихідне зображення, б – оброблене зображення, в – гістограма вихідного зображення, г – гістограма обробленого зображення)



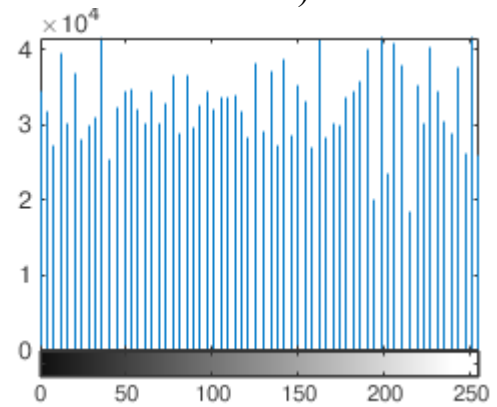
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.12 – Результат екваляції зображення drone4.JPG (а – вихідне зображення, б – оброблене зображення, в – гістограма вихідного зображення, г – гістограма обробленого зображення)

Легко можна помітити, що гістограми після екваляції мають своєрідні помітні розриви. Це з тим, що динамічний діапазон вихідного зображення ширше діапазону вхідного. Очевидно, що у цьому випадку розглянуте у лістингу відображення не може забезпечити ненульові значення у всіх кишнях гістограми. Особливо цей дефект помітний на зображенні drone3.JPG.

Якщо все-таки необхідно досягти більш природного виду вихідної гістограми, можна використовувати випадковий розподіл значень i -ої кишені гістограми в деякій його околиці. Ще кращого результату можна досягнути, якщо для відеозйомки використати камеру, яка має бітове розрізнення 10 або 12 біт.

Головним результатом еквалізації гістограм слід вважати збільшення динамічного діапазону зображення, внаслідок чого, по-перше, збільшується контраст об'єкту з фоном, а по-друге, збільшується контраст деталей всередині самого об'єкту.

Найчастіше в подібних системах розпізнавання об'єктів використовується просте лінійне розтягування гістограми, метою якого є заповнити невикористані рівні в області тіней та світла.

В даній кваліфікаційній роботі проведені порівняльні дослідження підвищення контрасту об'єкту з фоном та контрасту деталей всередині об'єкту для різних зображень дронів при обробці методами еквалізації та лінійного розтягування гістограми. Результати цих досліджень наведені на рис. 3.13 – рис. 3.16, а також в табл. 3.1 та табл. 3.2.

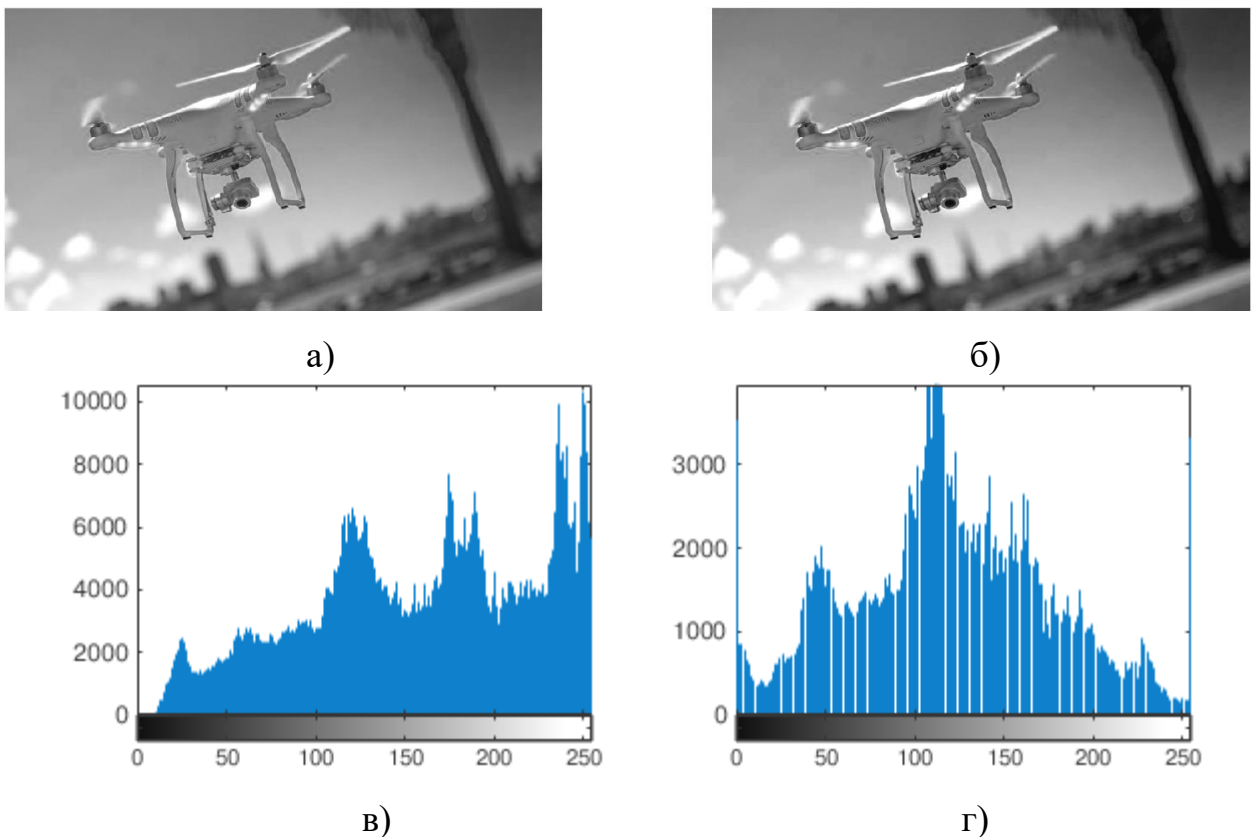


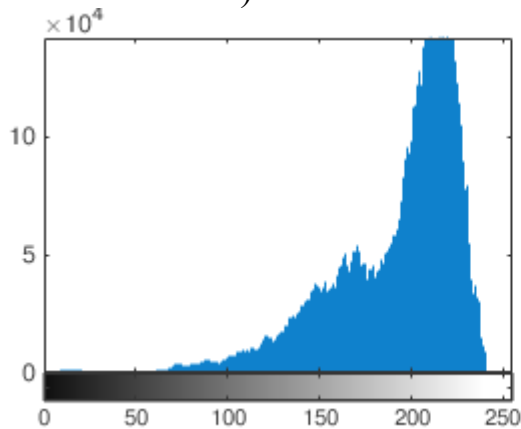
Рисунок 3.13 – Результат лінійного розтягування гістограми зображення drone1.JPG (а – вихідне зображення, б – оброблене зображення, в – гістограма вихідного зображення, г – гістограма обробленого зображення)



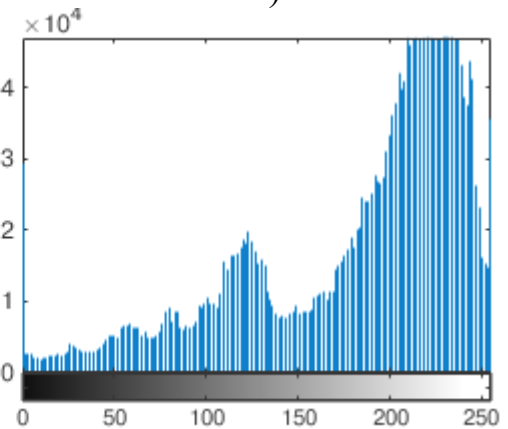
а)



б)



в)



г)

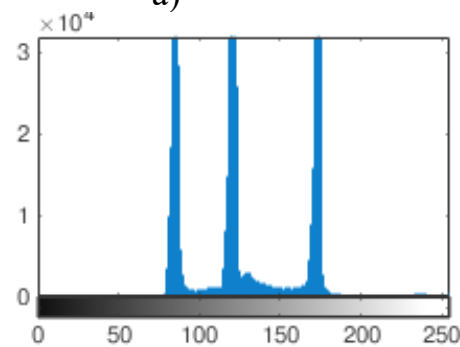
Рисунок 3.14 – Результат лінійного розтягування гистограми зображення drone2.JPG (а – вихідне зображення, б – оброблене зображення, в – гистограма вихідного зображення, г – гистограма обробленого зображення)



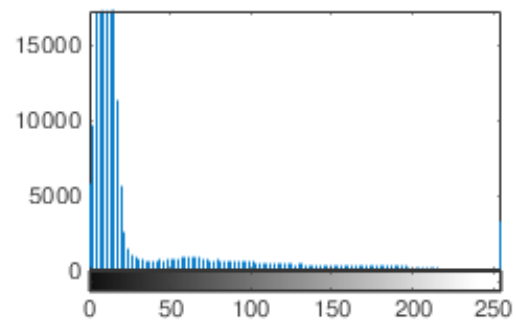
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.15 – Результат лінійного розтягування гистограми зображення drone3.JPG (а – вихідне зображення, б – оброблене зображення, в – гистограма вихідного зображення, г – гистограма обробленого зображення)

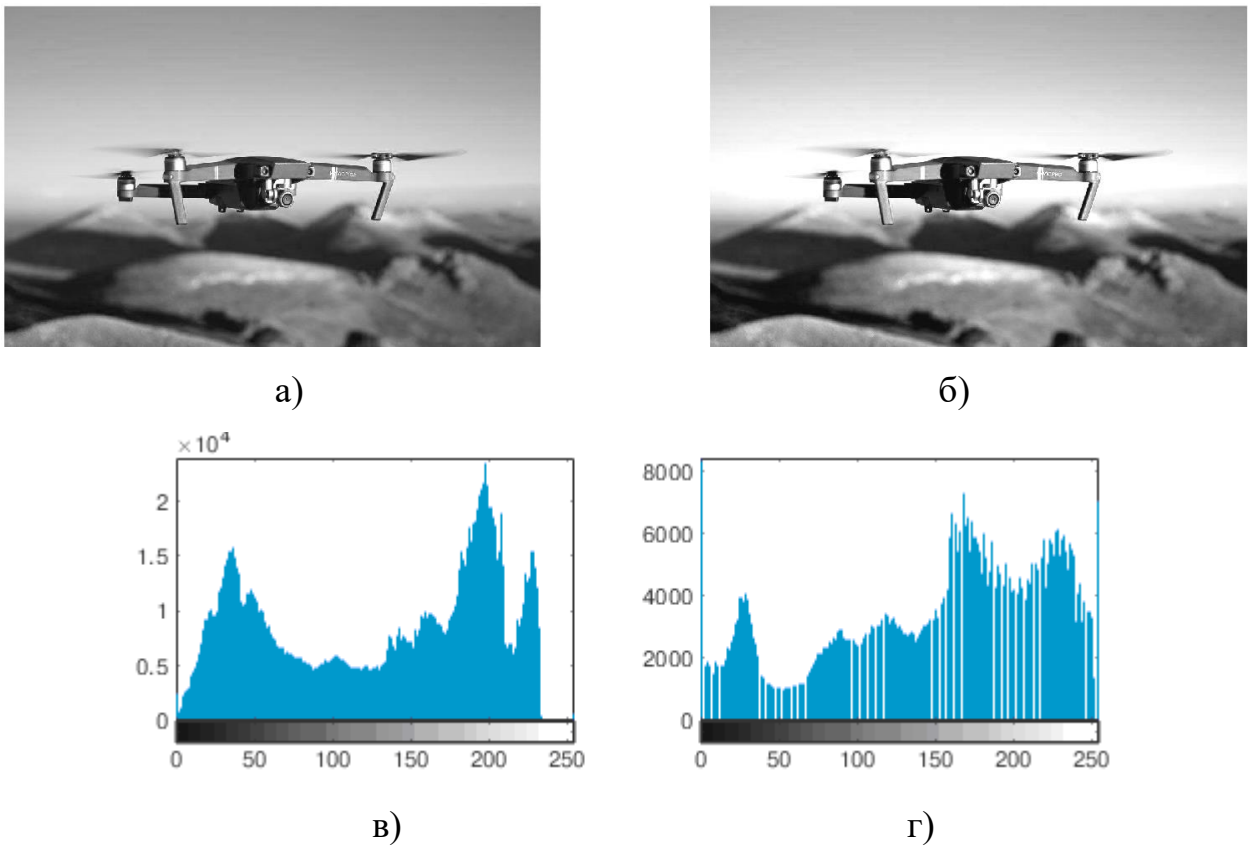


Рисунок 3.16 – Результат лінійного розтягування гістограми зображення drone4.JPG (а – вихідне зображення, б – оброблене зображення, в – гістограма вихідного зображення, г – гістограма обробленого зображення)

Таблиця 3.1 – Підвищення контрасту об'єкту з фоном та контрасту деталей всередині об'єкту для різних зображень дронів при обробці методом еквалізації

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 – Підвищення контрасту об'єкту з фоном та контрасту деталей всередині об'єкту для різних зображень дронів при обробці методом лінійного розтягування гистограми

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 дані табл. 3.1 і табл. 3.2 можна помітити, що ефективність збільшення контрасту об'єкту з фоном та контрасту деталей всередині об'єкту для різних зображень дронів при обробці методом еквалізації складає приблизно 3 рази. В той час, як при обробці методом лінійного розтягування гистограми – приблизно 1,2 рази.

Очевидно, що еквалізація гистограм дозволяє легко підвищувати і якість монохромних зображень. В даному експерименті застосована еквалізація яскравісного каналу колірного зображення.

В рамках кваліфікаційної роботи проведена низка експериментів, коли зображення були представлені у вигляді трьох колірних каналів RGB і процедура еквалізації гистограми була застосована до кожного колірного каналу окремо. У деяких рідкісних випадках це дозволяло досягти успіху, але в більшості випадків результат був незадовільним: кольори виходили неприродними, здебільше холодними. Це пов'язано з тим, що модель RGB неточно відображає сприйняття людини. Слід очікувати, що така обробка навпаки – призведе до погіршення роботи автоматизованої системи розпізнавання дронів у відеоканалі.

3.3 Оцінка впливу обраних методів обробки зображень на ефективність виявлення і розпізнавання дронів за допомогою нейронних мереж

Для дослідження використовувалася навчена згорткова нейронна мережа, описана в літературі [18]. Її структура показана на рис.3.17.

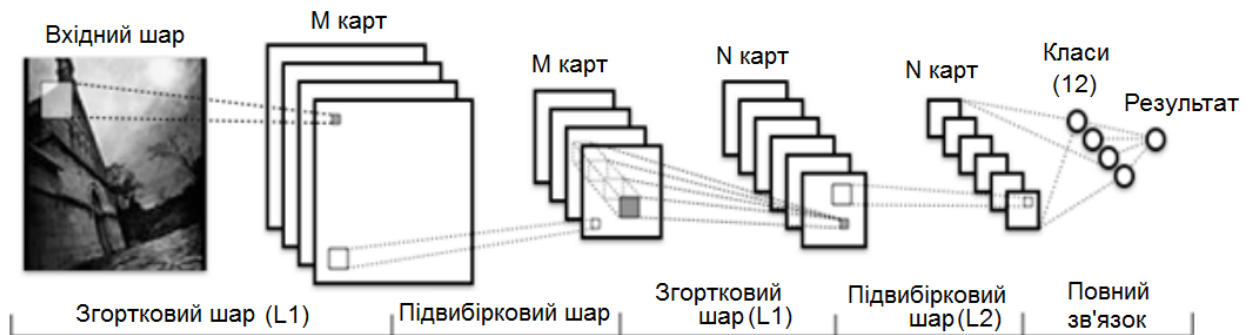


Рисунок 3.17 – Структура згорткової нейронної мережі

Вхідний шар має розмір 27×27 нейронів. Цей шар не несе ніякого функціонального навантаження і призначений тільки для передавання вхідного образу далі в нейронну мережу. Перед обробкою зображення переводяться в градації сірого кольору, після чого проводиться протишумова обробка та еквалізація. Задача, яку вирішує дана згорткова нейронна мережа – це класифікація рухомих об'єктів, виявлених раніше на попередньому етапі, на декілька класів. До таких класів відносяться дрони, люди, тварини, комахи, птахи, автомобілі, човни, літаки, хмари, гілки дерев і стеблі трави. Всього для навчання нейронної мережі використовувалось дванадцять класів об'єктів []. Тому ця мережа має 12 виходів, які відповідають усім класам.

Вихідні значення сигналів нейронної мережі знаходиться в інтервалі $[-1; 1]$, що відповідає обраній функції активації.

Ефективність методів попередньої обробки зображень в задачах виявлення і розпізнавання дронів за допомогою згорткових нейронних мереж також була проаналізована на сукупності тестових зображень. Результати цих досліджень наведені в табл. 3.3 і табл. 3.4.

Таблиця 3.3 – Характеристики досліджених мереж

Номер моделі	Кількість згорток в згорткових шарах				Кількість нейронів в повнозв'язному шарі
1	16	32			512
2	16	32			1024
3	16	32	64		512
4	16	32	64		1024
5	32	64	128		512
6	32	64	128	256	512

Таблиця 3.4 – Результати досліджень методів попередньої обробки зображень у згорткових мережах на сукупності тестових зображень

Номер моделі	Без обробки		З обробкою	
	Правильне виявлення	Хибна тривога	Правильне виявлення	Хибна тривога
1	0,85	0,01	0,87	0,01
2	0,85	0,008	0,88	0,007
3	0,87	0,007	0,90	0,007
4	0,88	0,006	0,90	0,006
5	0,88	0,005	0,92	0,005
6	0,89	0,007	0,91	0,007

Як впливає з аналізу результатів досліджень, наведених в табл. 3.4, запропонована попередня обробка зображень дронів з відношенням сигнал-шум 25 дБ підвищує вірогідність правильного виявлення на 3...5% і майже не впливає на вірогідність хибної тривоги.

Отже, можна стверджувати, що запропонована обробка є доцільною і ефективною при обробці не всього зображення в кадрі цілком, а лише тих областей, де було виявлено рух. Це суттєво знизить обчислювальне навантаження, що особливо актуально при обробці відео в реальному часі.

3.4 Висновки по розділу 3

В результаті експериментального дослідження впливу попередньої обробки зображень на ефективність виявлення і розпізнавання дронів були визначені найбільш доцільні типи обробки та оптимальні параметри фільтрів.

Так досліджено шумоподавлення за допомогою гасових та медіанних фільтрів. Вияснено, що обробка медіанним фільтром ефективно подавляє відеошум, зберігаючи при цьому контури зображення дрону, що є важливим для його подальшого розпізнавання. Обробка гаусовим фільтром теж ефективно подавляє шуми, але суттєво розмиває контури дрону навіть при невеликих розмірах маски фільтру.

Оптимальним розміром маски гаусового і медіанного фільтрів з точки зору ефективного подавлення шуму при невеликих спотвореннях зображень є 3x3 або 4x4. При цьому подавлення шуму медіанним фільтром складає близько 10 дБ, а гаусовим – близько 6 дБ.

Досліджена ефективність збільшення контрасту зображення дронів з фоном методом лінійного розтягування гістограм та методом еквалізації гістограм.

Метод еквалізації показав свою більшу ефективність. Збільшення контрасту при еквалізації досягає 2...3 рази, а при лінійному розтягуванні гістограми 10...20%. При цьому еквалізовані зображення можуть візуальні спотворення, але це потім не впливає негативно на роботу нейронних мереж при їх розпізнаванні.

Вияснено, що запропонована попередня обробка зображень дронів з відношенням сигнал-шум 25 дБ підвищує вірогідність правильного виявлення на 3...5% і майже не впливає на вірогідність хибної тривоги.

ВИСНОВКИ

Дрони стали невід'ємною частиною нашого життя. З їхньою допомогою кінооператори отримують вражаючі кадри, дрони доставляють екстрено необхідні ліки у віддалені райони, здійснюють ландшафтну розвідку, служать для контролю стану трубопроводів та електричних мереж. Однак використання дронів у злочинних цілях може завдати значної матеріальної шкоди і навіть стати небезпечним.

Дана кваліфікаційна робота присвячена задачі покращення характеристик системи виявлення і розпізнавання дронів у зображеннях з камери відеоспостереження. В роботі досліджуються методи попередньої обробки зображень дронів в задачах покращення характеристик виявлення і розпізнавання БПЛА у відеопотоці.

Метою роботи є визначення складу та параметрів попередньої обробки зображень дронів, оцінка впливу цієї обробки на достовірності виявлення і розпізнавання дронів.

Зображення дронів, отримані з відеокамери, часто мають недостатній контраст з фоном. Це може бути результатом або випадкового співпадіння обставин (світлий дрон на яскравому небі або темний дрон на фоні дерев), або виникати внаслідок навмисного маскування дрону за рахунок покриття хамелеону. Для покращення помітності дронів на відеозображеннях доцільно застосовувати градаційну обробку зображень перед операцією виявлення.

Також, при зйомці в умовах поганої освітленості, відеозображення містить значний рівень шумів, що, очевидно, може призводити до збільшення хибного виявлення руху в кадрі, навіть при його відсутності. Також слід очікувати погіршення результатів процедури розпізнавання дронів від інших рухомих об'єктів. Отже, треба застосовувати просторову фільтрацію зображень перед операцією виявлення.

Проведено теоретичне обґрунтування методів поліпшення зображень в задачах розпізнавання дронів.

Для покращення контрасту в задачах розпізнавання об'єктів найчастіше використовують нормалізацію гистограми зображення шляхом лінійного розтягування. При цьому збільшення динамічного діапазону відбувається за рахунок невикористаних рівнів в області тіней та світла. В іншому вигляд гистограми не змінюється.

Для подальшого покращення контрасту треба застосувати таке перетворення, щоб гистограма результату містила всі можливі значення яскравості і при цьому приблизно однакової кількості. Таке градаційне перетворення називається еквалізацією гистограми. В результаті гистограма обробленого зображення становиться рівномірною. В роботі отримано вираз для відповідного градаційного перетворення.

Перетворення слід виконувати у два етапи. На першому етапі вимірюється гистограма оригінального зображення. Кожне з чисел гистограми показує кількість точок у кадрі, що мають відповідну яскравість.

На другому етапі виконується саме нелінійне перетворення, що забезпечує необхідні властивості вихідного зображення. При цьому використовується оцінка розподілу яскравостей, заснована на гистограмі.

В системі MATLAB досліджено вплив на контрастність тестових зображень дронів методом лінійного розтягування гистограм та методом еквалізації гистограм. Для обробки обиралися зображення, в яких контраст об'єкту з фоном був невеликим і складав 1,3...3,2.

В результаті еквалізації гистограми у всіх випадках істотно розширюється динамічний діапазон зображення, що дозволяє відобразити раніше непомітні деталі. Особливо сильно цей ефект помітний на дуже темних та дуже світлих зображеннях. Перевагою еквалізації також є те, що вона може виконуватися у повністю автоматичному режимі без участі оператора.

Можна помітити, що гистограми після еквалізації мають своєрідні помітні розриви. Це з тим, що динамічний діапазон вихідного зображення

ширше діапазону вхідного. Кращого результату можна досягнути, якщо для відеозйомки використати камеру, яка має бітове розрізнення 10 або 12 біт.

В роботі проведені порівняльні дослідження підвищення контрасту об'єкту з фоном та контрасту деталей всередині об'єкту для різних зображень дронів при обробці методами еквалізації та лінійного розтягування гістограми. Показано, що ефективність збільшення контрасту для різних зображень дронів при обробці методом еквалізації складає приблизно 3 рази. В той час, як при обробці методом лінійного розтягування гістограми – 1,2 рази.

В даному експерименті застосована еквалізація яскравісного каналу кольорного зображення. В рамках кваліфікаційної роботи проведена низка експериментів, коли зображення були представлені у вигляді трьох кольорних каналів RGB і процедуру еквалізації гістограми була застосована до кожного кольорного каналу окремо. В більшості випадків результат був незадовільним: кольори виходили неприродними, здебільше холодними. Слід очікувати, що обробка RGB навпаки – призведе до погіршення роботи автоматизованої системи розпізнавання дронів у відеоканалі.

Проведено порівняльне дослідження ефективності шумоподавлення гаусовим і медіанним просторовими фільтрами при різних розмірах вікна обробки. Тестові зображення штучно зашумлювалися нормальним білим шумом з такою дисперсією, щоби отримати потрібне пікове відношення сигнал-шум PSNR. Дослідження показали, що порогом, коли з'являється помилкове виявлення руху при порівнянні поточного та опорного кадрів, можна вважати значення $PSNR \approx 24...25$ дБ.

Отримано графік залежності PSNR обробленого зображення від розміру вікна медіанного та гаусового фільтру. Як випливає з результатів досліджень, оптимальним з точки зору пікового відношення сигнал-шум для обох фільтрів є розмір вікна 3x3 або 4x4. При подальшому збільшенні вікна фільтра, виграш у відношенні сигнал-шум зменшується, що, очевидно пов'язано зі спотворенням самого зображення фільтром. Тобто спотворення в

цьому разі вже виконують ту саму роль, що і шум. Це буде негативно впливати на наступний етап – етап розпізнавання дрону від інших рухомих об'єктів.

При цьому подавлення шуму медіанним фільтром складає близько 10 дБ, а гаусовим – близько 6 дБ. Обробка медіанним фільтром ефективно подавляє відеошум, зберігаючи при цьому контури зображення дрону, що є важливим для його подальшого розпізнавання.

Для дослідження впливу описаної обробки на підвищення достовірності виявлення дронів використовувалася навчена згорткова нейронна мережа, описана в роботах Зубкова О.В.

Як впливає з результатів досліджень, попередня обробка зображень дронів з відношенням сигнал-шум 25 дБ у вигляді еквалізації та медіанної фільтрації підвищує вірогідність правильного виявлення на 3...5% і майже не впливає на вірогідність хибної тривоги. Отже, можна стверджувати, що запропонована обробка є доцільною і ефективною при обробці не всього зображення в кадрі цілком, а лише тих областей, де було виявлено рух. Це суттєво знизить обчислювальне навантаження, що особливо актуально при обробці відео в реальному часі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Даджион Д., Мерсеро Р. Цифровая обработка многомерных сигналов. – М.: Мир, 1988. – 488 с.
2. Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений. – М.: Сов. радио, 1979. – 312 с.
3. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Кн.1. – М.: Мир, 1982. – 312 с.
4. Методы передачи изображений. Сокращение избыточности / У.К. Прэтт, Д.Д. Сакрисон, Х.Г.Д. Мусманн и др. Под ред. У.К. Прэтта. – М.: Радио и связь, 1983.
5. Джайн А.К. Сжатие видеоинформации // ТИИЭР. – Т.69. – № 3. – с. 71-117.
6. Горбунов Б.А., Дементьев В.Н., Пяткин В.П. Распознавание изображений в дистанционном зондировании // Автоматизированная обработка изображений природных комплексов Сибири. – Новосибирск: Наука, 1988. – 223 с.
7. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Кн.1. – М.: Сов. радио, 1966. – 728 с.
8. Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений. – М.: Сов. радио, 1979. – 312 с.
9. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Кн.2. – М.: Мир, 1982. – 480 с.
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. Коротцев, 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. Коротцев, 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. Довгаль К.С. особливості роботи та використання програм тривимірного простору // 24-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті». Зб. матеріалів форуму. Т. 3. – Харків: ХНУРЕ. 2021. – с. 67 – 68.

27. 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.