

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії
(повна назва)

Кафедра Фізичних основ електронної техніки
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

РОЗВИТОК МЕТОДІВ АНАЛІЗУ

ОПТИЧНИХ СИГНАЛІВ ТА ЗОБРАЖЕНЬ

(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи ЛОЕТМ-19-1

Петренко М.С.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма «Лазерна і оптоелектронна техніка»

(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. каф. ФОЕТ Курський Ю. С.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

Мачехін Ю. П.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії
(повна назва)

Кафедра Фізичних основ електронної техніки
(повна назва)

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»
(код і повна назва)

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

Освітня програма «Лазерна і оптоелектронна техніка»
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« ____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ

НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Петренко Микиті Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розвиток методів аналізу оптичних сигналів та зображень

затверджена наказом по університету від " 27 "жовтня 2020 р. № 1451 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 14 грудня 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи методи аналізу оптичних сигналів та зображень; основи лазерної локації.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі 1 Дослідити популярні методи аналізу оптичних сигналів та зображень. 2 Визначити слабкі та сильні сторони методів. 3 Використання спіральних пучків в задачі розпізнавання образів. 4 Побудувати схему оптичної системи локації з функцією розпізнавання образів.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів)

Схема оптична структурна (Л1) — оптична локаційна система з функцією розпізнавання об'єктів

Демонстраційний матеріал – 16 шт.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Інформаційно-тематичний пошук та огляд літературних джерел про різні методи аналізу оптичних сигналів та зображень	02.11.20—08.11.20	Виконано
2	Аналіз новітніх і популярних методів розпізнавання образів і шляхів їх розвитку	09.11.20—14.11.20	Виконано
3	Дослідження спіральних пучків для задач розпізнавання і класифікації образів	15.11.20—21.11.20	Виконано
4	Побудова структурної схеми оптичної локаційної системи з функцією розпізнавання об'єктів	22.11.20—27.11.20	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	28.11.20—05.12.20	Виконано
6	Оформлення графічної та демонстраційної частин	06.12.20—10.12.20	Виконано
7	Проходження нормоконтролю та отримання рецензії на роботу	11.12.20—14.12.20	Виконано
8	Підготовка та захист атестаційної роботи	15.12.20—17.12.20	

Дата видачі завдання 2 листопада 2020 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ доц. каф. ФОЕТ Курський Ю. С.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка атестаційної роботи: 63с., 31 рис., 2 додатки, 20 джерел.

РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ, КЛАСИФІКАЦІЯ, ІДЕНТИФІКАЦІЯ, ОПТИЧНИЙ СИГНАЛ, КОНТУР ЗОБРАЖЕННЯ, СПІРАЛЬНІ ПУЧКИ, КОНТУРНИЙ АНАЛІЗ, ОПТИЧНИЙ ЛОКАТОР, ЛАЗЕРНА ЛОКАЦІЯ

Об'єкт дослідження — оптична локаційна система з функцією розпізнавання об'єктів.

Мета роботи — дослідити розвиток методів аналізу оптичних сигналів та зображень і шляхи їх розвитку.

Метод дослідження — теоретичний.

У роботі були розглянуті найбільш популярні методи аналізу оптичних сигналів та зображень, а також шляхи їх розвитку. Розглянуто їх слабкі і сильні сторони і задачі для яких вони використовуються.

Запропоновано розробити оптичну локаційну систему, в якій буде функція розпізнавання образів. За функцію розпізнавання в ній буде відповідати контурний аналіз, який використовує спіральні пучки світла. Була зображена схема оптичної локаційної системи з функцією розпізнавання об'єктів.

ABSTRACT

Explanatory note of certification work: 63 p., 31 fig., 2 appendices, 20 sources.

IMAGE RECOGNITION, CLASSIFICATION, IDENTIFICATION,
OPTICAL SIGNAL, IMAGE CONTOUR, SPIRAL BEAMS, CONTOUR
ANALYSIS, OPTICAL LOCATOR, LASER LOCATION

The object of study is an optical location system with the function of object recognition.

The purpose of the work is to investigate the development of methods for optical signals and images analysis, ways of their development.

The research method is theoretical.

The most popular methods of analysis of optical signals and images, as well as ways of their development were considered in the work. Their weaknesses and strengths and the tasks for which they are used are considered.

It is proposed to develop an optical location system, which will have an image recognition function. Contour analysis, which uses spiral beams of light, will be responsible for the recognition function. The scheme of the optical location system with the function of object recognition was depicted.

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка аттестационной работы: 63 с., 31 рис., 2 приложения, 20 источников.

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ, КЛАССИФИКАЦИЯ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ, ОПТИЧЕСКИЙ СИГНАЛ, КОНТУРЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ, СПИРАЛЬНЫЕ ПУЧКИ, КОНТУРНЫЙ АНАЛИЗ, ОПТИЧЕСКИЙ ЛОКАТОР, ЛАЗЕРНАЯ ЛОКАЦИЯ

Объект исследования — оптическая локационная система с функцией распознавания объектов.

Цель работы — исследовать развитие методов анализа оптических сигналов и изображений и пути их развития.

Метод исследования — теоретический.

В работе были рассмотрены наиболее популярные методы анализа оптических сигналов и изображений, а также пути их развития. Рассмотрены их слабые и сильные стороны и задачи для которых они используются.

Предложено разработать оптическую локационную систему, в которой будет функция распознавания образов. За функцию распознавания в ней будет отвечать контурный анализ, использующий спиральные пучки света. Была изображена схема оптической локационной системы с функцией распознавания объектов.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Методи аналізу оптичних сигналів та зображень.....	9
1.1. Вейвлет-аналіз	9
1.2. Метод передобробки. Кореляційний метод аналізу зображень.....	18
1.3. Морфологічний аналіз зображень	24
1.4. Основні методи контурного аналізу	31
2 Оптична локаційна система з функцією розпізнавання об'єктів.....	41
2.1. Використання спіральних пучків для вирішення задач розпізнавання образів.....	41
2.2. Оптична система локації з функцією розпізнавання образів	49
Висновки	61
Перелік джерел посилання	62
Додаток А Графічний матеріал.....	64
Додаток Б Демонстраційний матеріал	67

ВСТУП

Аналіз оптичних сигналів і зображень включає в себе методи ідентифікації і класифікації різних об'єктів. Вони характеризуються деяким набором властивостей і ознак, за якими їх можна відрізнити один від одного. Необхідність розпізнавання образу виникає в системах безпеки, інформаційних системах, військовому ділі, а також для оцифрування сигналу. Може використовуватися для розпізнавання обличчя певних людей в натовпі по відеозаписам. Проблема розпізнавання образів має велике значення в наш час, коли ми знаходимося в умовах інформаційного навантаження. Розпізнавання образів лягло в основу створення штучного інтелекту, а створення технічних систем і способів розпізнавання образу привертає до себе величезну увагу

Метою роботи є аналіз методів розпізнавання образів і шляхів їх розвитку. У роботі показано, які методи найбільш популярні і де вони можуть використовуватися, а також їх слабкі і сильні сторони.

В роботі запропоновано об'єднати оптичну локаційну систему з функцією розпізнавання об'єктів.

1 МЕТОДИ АНАЛІЗУ ОПТИЧНИХ СИГНАЛІВ І ЗОБРАЖЕНЬ

1.1 Вейвлет-аналіз

В науковому середовищі велику популярність має вейвлет-аналіз (від англ. wavelet — «маленька хвиля»). Він широко застосовується в різних областях: розпізнавання образів, обробка сигналів, аналіз зображень, упаковка великих обсягів інформації і т.п.

Термін «вейвлет» був введений в науковий обіг в середині 80-х років Гроссманом і Морле в зв'язку з аналізом акустичних і сейсмічних сигналів. Основна ідея вейвлет-аналізу полягає в тому, щоб для пошуку локальної особливості використовувати розкладання по функції, схожим на шукану особливість. Такий підхід передбачає подання функції однієї координати у вигляді функції двох координат — просторової і масштабної [1].

Вейвлет-аналіз часто порівнюють з Фур'є-аналізом. Обидва методи дозволяють визначити частотні характеристики сигналу. Перетворення Фур'є дає потужний математичний апарат, що дозволяє вирішити ряд важливих завдань. Найголовніше те, що перетворення Фур'є відноситься до категорії фізично обґрунтованих математичних моделей, так як воно фізично реалізується різними пристроями. Зокрема, в оптиці перетворення Фур'є реалізується позитивною лінзою [2].

Суть перетворення Фур'є полягає в поданні будь-якої квадратично інтегрованої з кінцевою енергією у вигляді нескінченної суми гармонійних складових. Під гармонікою розуміється нескінченна синусоїда. Спектральний аналіз дає інформацію про частоту, але не дає інформацію про локалізацію частоти в часі або просторі. Тому Фур'є-аналіз підходить для аналізу стаціонарних процесів.

Перевагою вейвлет-аналізу є те, що він дозволяє визначити, в який момент часу в сигналі присутня та чи інша частота. Таким чином, вейвлет-аналіз дозволяє визначити сигнал в координатному часі і в частотному просторі.

При Фур'є-аналізі процесу з будь-якою локальною особливістю, складно отримати інформацію про локалізацію досліджуваної особливості. Гармоніки — нескінченні функції. У точці локалізації особливості їх сума повинна дати цю особливість, а в стороні від неї гармоніки при додаванні повинні взаємно знищити одна одну.

Процесів з локальними особливостями в реальності зустрічається досить багато — це і геофізична інформація, і процеси обтікання перешкод повітряними і рідинними потоками, процеси горіння, поширення та взаємодія ультракоротких імпульсів, стиснення зображень і багато інших. Саме процеси з локальними особливостями представляють останнім часом найбільший інтерес з точки зору розвитку високих технологій [2].

На рис. 1.1 наведені два процеси — гармонійне коливання і теж саме коливання але зі збоєм по фазі в точці 400. Це і є особливість процесу.

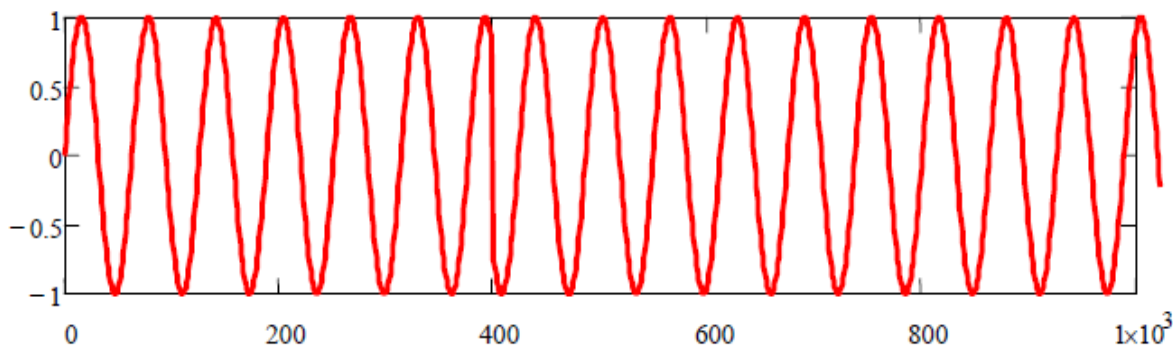


Рисунок 1.1 — Процес зі збоєм фази в точці 400

На рис. 1.2 наведені дійсні частини Фур'є спектрів цих процесів, з їх порівняння видно, що другий процес не є чистим гармонійним коливанням, але локалізувати особливість за дійсною частиною Фур'є спектра неможливо.

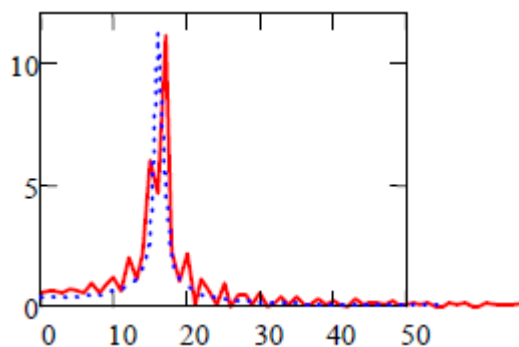


Рисунок 1.2 — Дійсні частини процесів з локальною особливістю (суцільна лінія) і гармонійного коливання (пунктир)

Проблема аналізу процесів з локальними особливостями частково знімається застосуванням «віконного перетворення Фур'є», але тільки частково. Найбільш потужний інструмент дає вейвлет-аналіз, забезпечує отримання одночасно як частотної, так і просторової інформації про досліджуваний об'єкт.

На рис. 1.3 наведено приклад розкладання по вейвлету тільки для одного масштабу — особливість процесу одразу локалізована.

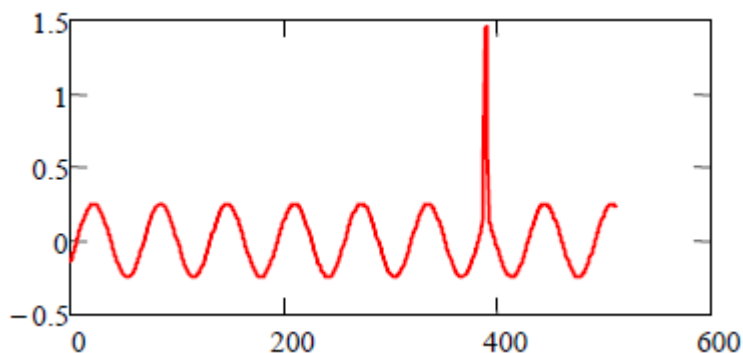


Рисунок 1.3 — Розкладання процесу з особливістю по вейвлету

Якщо використовувати інші базиси розкладання для пошуку такої особливості процесу, то результат буде не настільки показовим.

На рис. 1.4 і 1.5 результати, які отримані при використанні вейвлетів Хаара та DOG. Збій по фазі на цих графіках видно, але картинка якісно від

вихідної не відрізняється. Для апаратної реалізації краще підходить графік зображений на рис. 1.4, оскільки завдання детектування локального максимуму амплітуди з точки зору технічної не нова і методи її вирішення добре відомі.

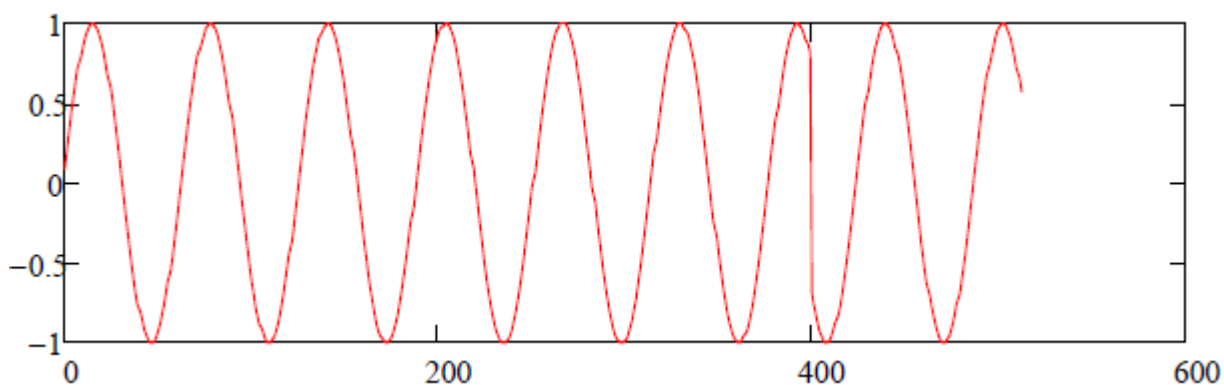


Рисунок 1.4 — Розкладання процесу з особливістю (рис. 1.1) за допомогою вейвлета Хаара

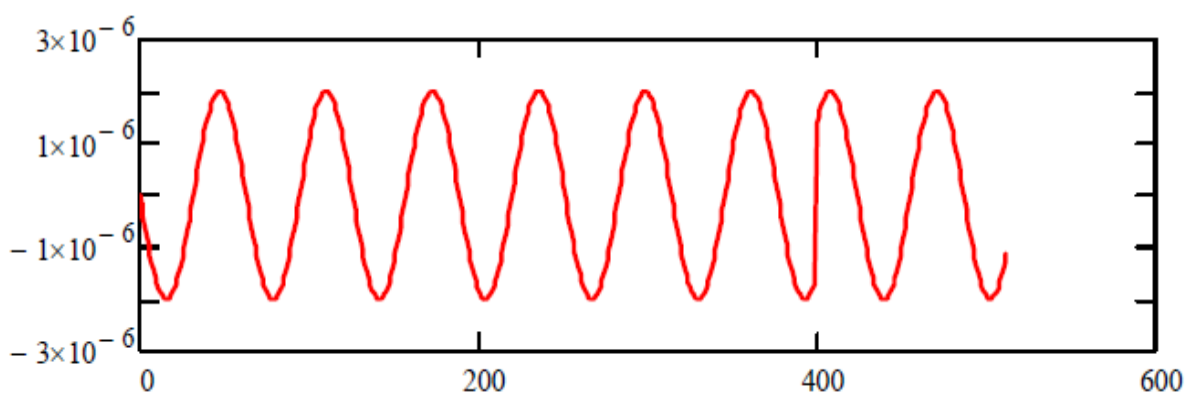


Рисунок 1.5 — Розкладання процесу з особливістю (рис. 1.1) за допомогою DOG вейвлета

Вейвлет-аналіз складається з вейвлет-перетворення і аналізу результатів вейвлет-перетворення.

Поділ на два етапи відбувається тому, що вейвлет-перетворення часто застосовується без подальшого аналізу результатів (стиснення зображення,

відеоінформації та т.д.). На першому етапі виконується основні математичні обчислення. Вони довготривалі за часом і виконуються автоматично, без участі людини. Результати, отримані на першому етапі, можна аналізувати різними способами [3].

Під вейвлет-перетворенням функції $f(x) \in L^2(R)$ розуміється скалярний добуток цієї функції і базисних функцій виду:

$$\Psi_{a,b}(x) = a^{-\frac{1}{2}} \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right). \quad (1.1)$$

В цій формулі a і b — параметри; a приймає позитивні дійсні значення, b — будь-які дійсні значення. Вейвлет-перетворення — це розкладання функції $f(x)$ за всіма можливими зрушеннями і стисканнями деякої функції $\Psi(x)$. Функцію $\Psi(x)$ називають породжуючим вейвлетом, материнською вейвлет-функцією або вейвлетом.

Прикладом породжуючого вейвлету є «Мексиканський капелюх» (Mexican hat, МЕХІНАТ) — друга похідна від гаусіани.

$$\Psi(x) = (x^2 - 1)e^{-\frac{x^2}{2}}. \quad (1.2)$$

«Мексиканський капелюх» один з найпростіших і найбільш часто використовуваних вейвлетів (рис. 1.6).

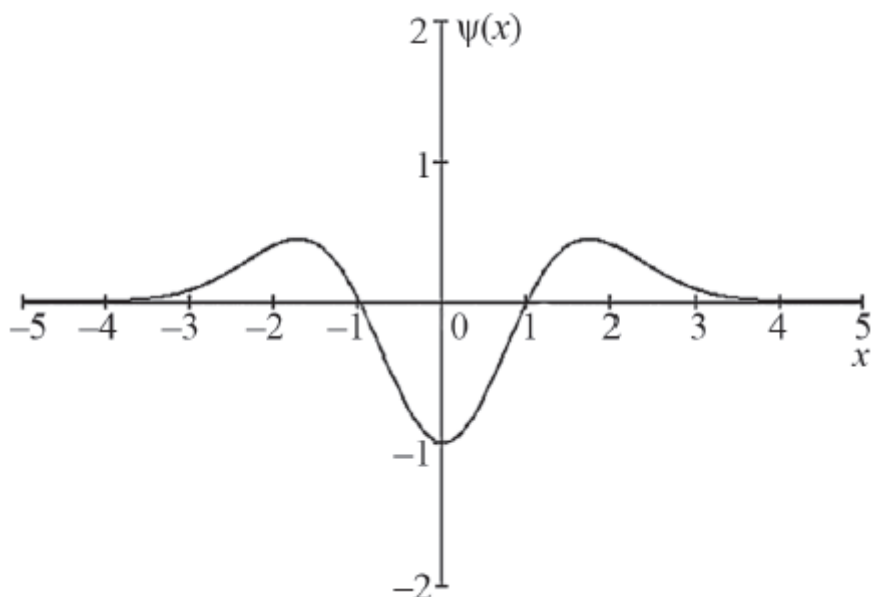


Рисунок 1.6 — Вейвлет «Мексиканський капелюх»

Для практичного застосування важливо знати ознаки, якими повинна володіти функція, щоб бути вейвлетом.

Обмеженість. Квадрат норми функції повинен бути кінцевим:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\phi(x)|^2 dx < \infty. \quad (1.3)$$

Локалізація. На відміну від перетворення Фур'є, вейвлет добре локалізований не тільки в частотному просторі, а також і в просторовому.

Властивості локалізації і обмеженості можуть бути спільно виражені наступним чином:

$$|\phi(x)| < (1 + |x|^n)^{-1}. \quad (1.4)$$

Нульове середнє. Графік вихідної функції повинен осцилювати навколо нуля на осі часу і мати нульову площу:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi(x) dx = 0. \quad (1.5)$$

Характерною ознакою вейвлету є його самоподоба. Оскільки всі вейвлети базису виходять з породжуючого вейвлету за допомогою масштабування і зсуву, то вони і є його масштабованими і зсунутими копіями.

Один з перших і найбільш простих вейвлетів є вейвлет Хаара (рис. 1.7).

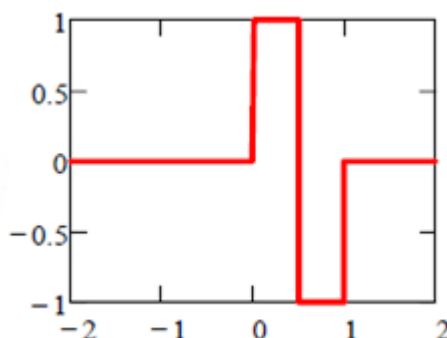


Рисунок 1.7 — Вейвлет Хаара

Вейвлети Хаара визначається наступним чином:

$$\phi^H(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } 0 \leq x < \frac{1}{2} \\ -1, & \text{if } \frac{1}{2} \leq x < 1 \\ 0, & \text{if } x < 0, x \geq 1 \end{cases} \quad (1.6)$$

Ці вейвлети ортогональні, мають компактний носій, добре локалізовані в просторі, але не є гладкими.

Вейвлет-аналіз дає не тільки інформацію про спектральний склад досліджуваного процесу, як аналіз Фур'є, а також і інформацію про зміну спектрального складу в часі або просторі, він знайшов застосування в першу

чергу при аналізі нестационарних процесів. Результат вейвлет-аналізу часто називають вейвлет-спектром або масштабно-тимчасовим спектром. Оскільки вейвлет-спектр функції від однієї координати являє собою функцію двох координат, то часто він зображується у вигляді проекції цієї тривимірної поверхні на площину з зображенням ізоліній [2].

Одне з цікавих застосувань вейвлет-аналізу є аналіз метеорологічних явищ і виявлення різних циклів. На рис. 1.8 наведено тимчасовий ряд метеорологічного явища Ель-Ніньйо і його вейвлет-спектр, який дозволяє виявити періодичні явища на окремих тимчасових проміжках і, тим самим, простежити глобальні закономірності [1].

Вейвлет-аналіз являє собою обчислювально витратну процедуру. Тому становить інтерес можливість реалізації вейвлет-аналізу оптичними методами.

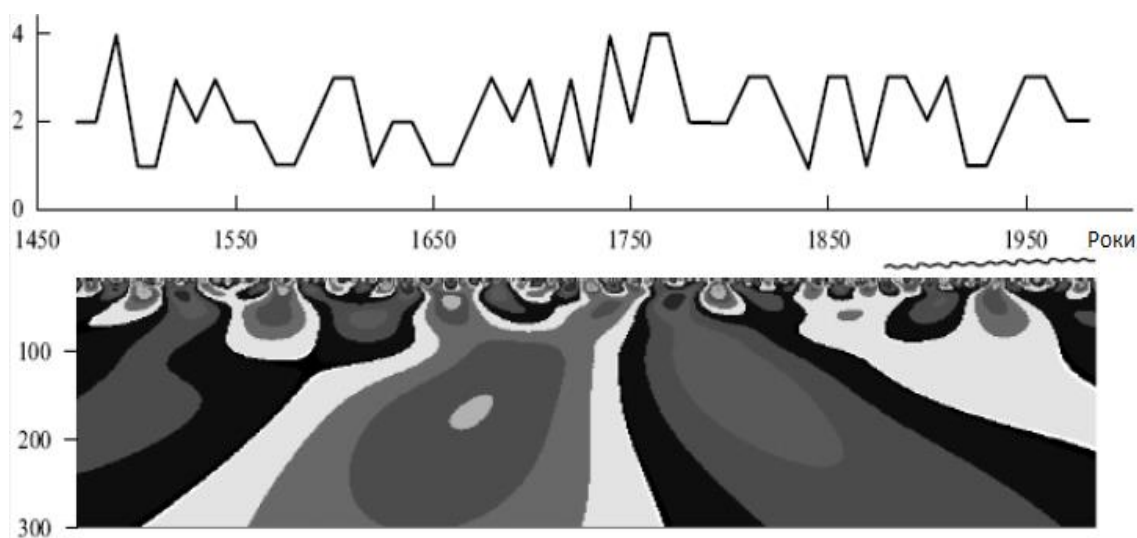


Рисунок 1.8 — Тимчасовий ряд Ель-Ніньйо і його вейвлет-спектр протягом 500 років спостережень

Схема оптичного пристрою, який реалізує вейвлет-перетворення, зображена на рис. 1.9 і має такі структурні елементи: 1 — лазер, 2 — оптична система, яка формує паралельний пучок світла, 3 — вхідна площина, в яку поміщається транспарант з аналізованим сигналом, представленим як

залежність пропускання від координати x . Циліндрична лінза L_1 виконує одномірне перетворення Фур'є цього сигналу. На масці 4 записані Фур'є-образи базису вейвлет-перетворення. Оскільки Фур'є-образ будь-якої функції (крім функції Гауса) — комплексна функція, то маска 4 виготовляється за голографічною технологією, подібно до того, як записується голографічний узгоджений фільтр в схемі корелятора Ван дер Люгта. Таким чином, в площині 4 виконується множення Фур'є-образу аналізованого сигналу на Фур'є-образ базисного вейвлета. Оскільки необхідно забезпечити перебір різних масштабів, то в площині 4 по вертикальній осі просторово рознесені кілька Фур'є-образів базисного вейвлета, кожен з яких відрізняється своїм масштабом [3].

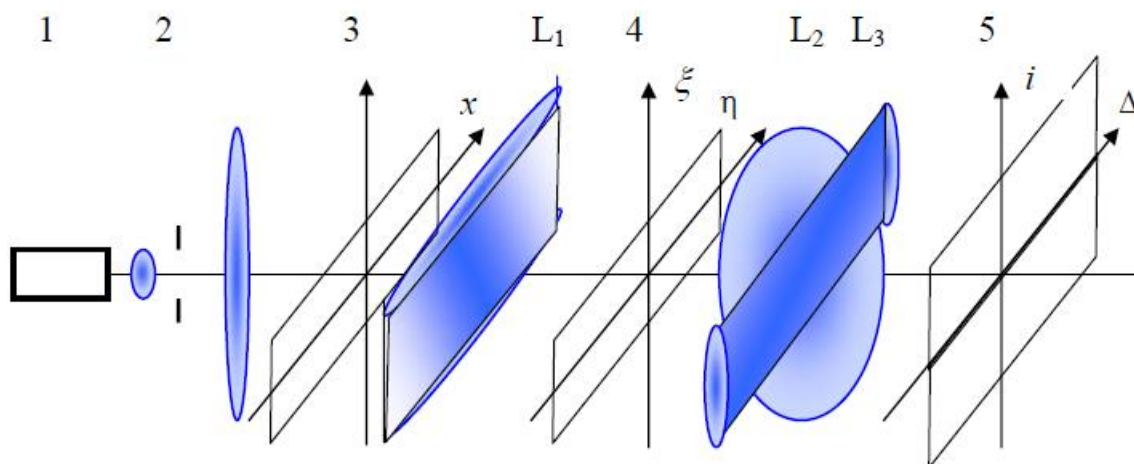


Рисунок 1.9 — Схема оптичного вейвлет-аналізатора

Система з сферичної лінзи L_2 і циліндричної L_3 виконує перетворення Фур'є по одній координаті і проєкцію зображення по іншій — в площині 5 формується двовимірна картина розкладання аналізованого сигналу по заданому базису.

1.2 Метод передобробки. Кореляційний метод аналізу зображень

Методам передобробки відводиться велике значення в сучасних технологіях аналізу даних. Одна з основних задач передобробки зображень в задачах технічного зору — це отримання інваріантного до умов зйомки або синтезу уявлення вхідного зображення. Основними елементами, які визначають внутрішню структуру зображення є особливі точки, лінії, межі об'єктів, області заданої форми. Вони можуть задаватися контрастом за яскравістю, кольору, текстурі, причому напрямлення перепаду яскравості або кольору також апріорно не визначено.

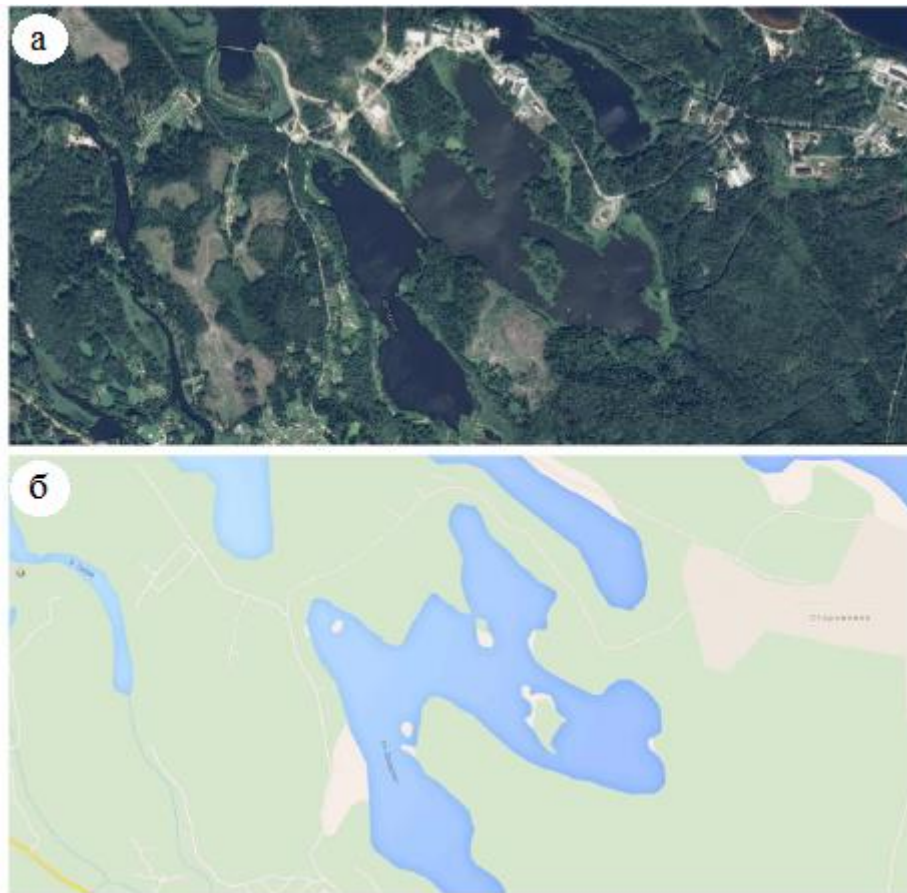
При отриманні декількох зображень в різноманітних умовах застосування процедур розпізнавання, таких як кореляційний детектор, сильно ускладнено. Результати структурного аналізу з опорою на внутрішні особливі точки зображень, також не завжди демонструють стійкість до зміни умов реєстрації сцен [4].

Для вирішення проблем зіставлення декількох зображень сцени, отриманих в різних умовах існує теоретико-інформаційний метод передобробки зображень, його ефективність демонструється при використанні спільно з кореляційним алгоритмом.

Однією з типових задач технічного зору є поелементне порівняння двох зображень одного і того ж об'єкту, зареєстрованого різними датчиками, або двох зображень одного і того ж об'єкту, отриманих за допомогою одного датчика, але в різний час. Щоб здійснити таке порівняння, необхідно виконати взаємну прив'язку цих зображень і таким чином скорегувати відносні просторові зрушення, відмінності в посиленні, зміщення, викликані поворотом, а також геометричні спотворення і спотворення яскравості кожного зображення.

Спосіб взаємного суміщення пари функцій складається в тому, що формується величина, яка вимірює кореляцію між цими функціями і знаходиться становище максимуму функції кореляції.

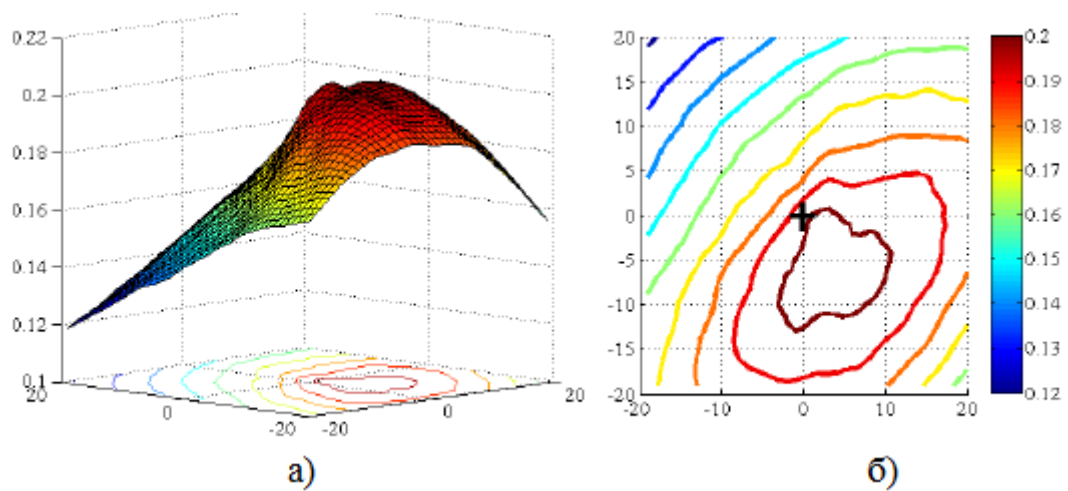
Наприклад, необхідно зіставити аерофотознімок і топографічну карту тієї самої місцевості (рис. 1.10).



- а) аерофотознімок;
- б) топографічна карта.

Рисунок 1.10 — Зображення місцевості

На рис. 1.11 зображена кореляційна функція аерофотознімку і топографічної карти.



- а) аерофотознімок;
 б) топографічна карта.

Рисунок 1.11 — Кореляційна функція

На рис. 1.11 видно, що кореляційна функція має два рівних за амплітудою максимума. Положення обох максимумів відмінні від точки з координатами $(0,0)$. З цих зображень видно, що кореляційний принцип має серйозні обмеження за типами порівнюваних зображень.

Для порівняння таких різномірних зображень використовують методи структурного аналізу, виділяють особливі точки і шукають відповідності між ними. На однотипних зображеннях однієї і тієї ж сцени, отриманих з деяким зрушенням точки зйомки або джерела освітлення, алгоритми виділення особливих точок можуть давати значні похибки. Унаслідок цього деякі особливі точки можуть не мати пари, а особливі точки в парі будуть мати декілька відрізнених просторових положень [4]. В разі різномірних зображень, відсутні підстави для пропозиції про те, що виділенні на них особливі точки не будуть унікальними для кожного із зображень.

Кореляційний метод при наявності рішення дає більш точне суміщення зображень, ніж структурні методи, за рахунок використання всієї наявної в зображенні інформації, а не тільки окремих точок [4]. Крім цього, маються

ефективні алгоритми і апаратні способи для виконання кореляційного аналізу зображення.

Також для вирішення подібної задачі використовується метод передобробки зображень, який оснований на ентропійному аналізі, зокрема заміні зображення картою його локальної ентропії, яка значно більш стійка до впливу досліджуваних факторів, ніж карта яскравостей.

Вирішення задачі досягається застосуванням методу передобробки зображень на основі врахування наявних в зображенні внутрішніх статистичних зв'язків між його елементами. Статистично зв'язані між собою елементи в умовах, що змінюються, отримання зображення залишаються статистично зв'язані.

Для виявлення внутрішніх статистичних зв'язків в даних будь-якої природи використовується теоретико-інформаційні методи. Здійснюється ентропійний аналіз зображень, тим самим обчислюється карта локальної ентропії для кожного з вихідних зображень.

Зображення розглядається як реалізація випадкового процесу [5]. Локальна ентропія характеризує ступінь несподіваності настання i події, чим менше його апріорна ймовірність, тим вище його локальна ентропія.

Для кожної пари сусідніх відліків в рядку обчислюється різниця значень яскравості. Для знайдених значень обчислюється різниця за стовпцями.

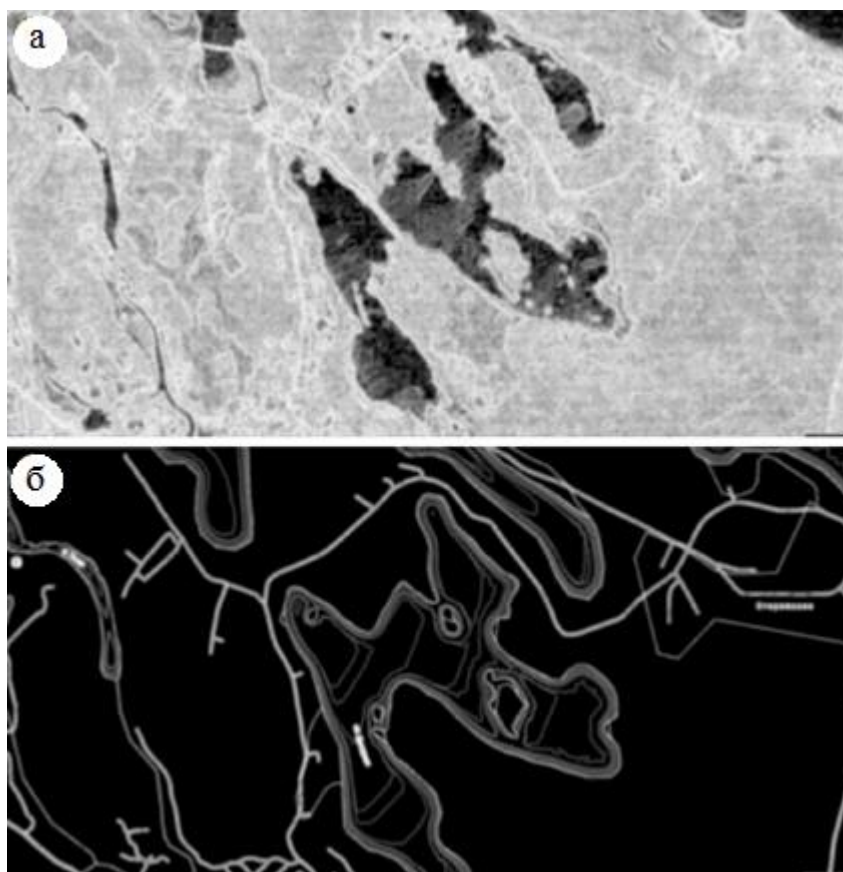
Подією вважається конкретне поєднання значень двох сусідніх різниць, ймовірність його оцінюється підрахунком кількості входжень цього поєднання по всьому зображенню і діленням на загальну кількість розглянутих пар пікселів.

Вихідне зображення формується шляхом заміни кожного відліку величиною, яка обчислюється за формулою локальної ентропії (будується карта локальної ентропії):

$$Y(i, j) = -\log p(e_{ij}) . \quad (1.7)$$

На рис. 1.12 показані карти ентропії зображень аерофотознімку та топографічної карти, які були показані на рис. 1.10.

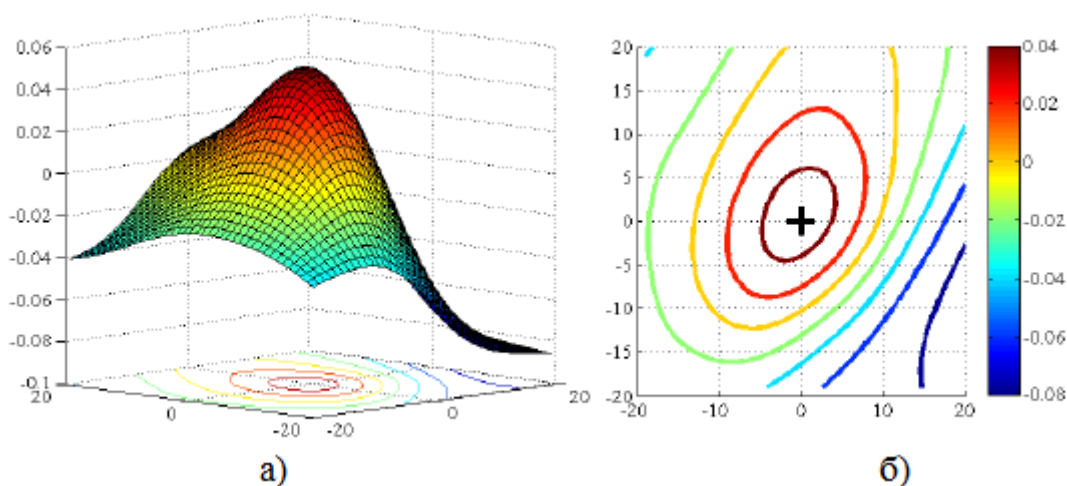
Вид кореляційної функції карт локальної ентропії зображений на рис. 1.13. На ньому видно, що кореляційна функція має яскраво виражений максимум, відповідний нульовому зсуву.



а) аерофотознімок;

б) топографічна карта.

Рисунок 1.12 — Карта локальної ентропії



а) аерофотознімок;

б) топографічна карта.

Рисунок 1.13 — Кореляційна функція ентропії зображень

Аналогічні результати також можуть бути отримані при використанні інших тестових зображень: карти і аерофотознімки, знімки в зимовий і літній час, оптичні та інфрачервоні знімки. Зображення після передобробки демонструють більш виражені коефіцієнти кореляції і більш гладку кореляційну функцію, ніж вихідні зображення.

Ентропійна обробка зображень може бути використана при зіставленні зображень кореляційним методом, вона приводить к підвищенню кореляції між різнорідними зображеннями. Також кореляційна функція ентропійних карт більш гладка, ніж кореляційна функція вихідних зображень, за рахунок цього можна значно зменшити обсяг обчислень з пошуку екстремуму [5].

Перевагами кореляційного аналізу є те, що дана технологія вже відпрацьована, є швидкі алгоритми обчислення кореляції і існують апаратно реалізовані рішення. На сьогоднішній день великий інтерес являють прості та дешеві кореляційні зорові системи, які реалізовані у вигляді спеціальних процесорів.

1.3 Морфологічний аналіз зображень

Однією з фундаментальних проблем аналізу зображень є створення адекватного математичного опису зображень, що передає їх зміст і сенс. Цей опис має відображати лише суттєві особливості зображення і не залежати від несуттєвих деталей. У морфологічному аналізі такі такими несуттєвими характеристиками є умови реєстрації зображень об'єкта або сцени і параметри реєстру апаратури. Методи морфологічного аналізу є виходом на шляху вирішення проблеми опису сутті зображень.

Зображення однієї і тієї сцени, що відповідають різним умовам освітлення і зміненим оптичним властивостям об'єктів можуть відрізнятися радикально. Ця обставина породжує значні труднощі в прикладних задачах аналізу та інтерпретації зображень реальних сцен, в яких рішення не повинно залежати від умов реєстрації зображень. Одними з таких прикладів є завдання виділення невідомого об'єкта на фоні відомої місцевості, відомого об'єкта на довільному тлі при неконтрольованих умовах освітлення, завдання суміщення зображень однієї і тієї ж сцени, отриманої в різних спектральних діапазонах і т.д.

Для вирішення таких задач розроблені методи морфологічного аналізу зображень, які є досить ефективними [6].

Основну ідею цих методів добре можна побачити на зображенні, яке сформоване за допомогою відеокамери у видимому діапазоні спектра. Це зображення несе найбільш докладну інформацію про геометричні форми зображуваних об'єктів сцени. Якщо припустити, що одна і та ж поверхня об'єкта, що відображається на відеозображенні областю однорідної яскравості, має однорідні властивості, що відображаються на зображеннях в інфрачервоному або радіодіапазоні, то будь-які зображення цієї сцени, отримані тим або іншим способом, будучи пов'язаними з геометричними властивостями об'єктів сцени, можуть бути отримані шляхом перетворення яскравості відеозображення. У цій ситуації різна природа механізмів формування зображення або змінені умови освітлення і т.п. можуть

моделюватися шляхом всіляких перетворень яскравості вихідного відеозображення. Максимальний інваріант такого класу перетворень визначить все те, що відноситься до даної сцени і не залежить від умов формування зображень — його можна назвати формою. Оскільки цей інваріант форму сцени повністю не визначає, його називають формою зображення сцени. Відмінності форми одного зображення від форми іншого характеризують властивості сцени, не пов'язані з умовами реєстрації і можуть відображати зміни в змісті зображуваного — наявність нових об'єктів або відсутність старих. Яскравість інфрачервоних зображень або зображень локатора, яка несе інформацію якісного характеру про фізичні властивості об'єктів — температурний контраст або відносну швидкість приймача і об'єкта — зв'язно пов'язати з геометричною формою зображення сцени і тим самим "прив'язати" до конкретних об'єктів сцени.

Важливим класом задач, що передують вирішенню завдання порівняння за формою пред'явлених зображень, є завдання суміщення і виділення заданих фрагментів. Прикладом цього є зображення місцевості, отримане з деякої «точки зору» і на ньому виділено певний фрагмент. На іншому зображенні, отриманому при інших умовах і в іншому діапазоні спектра, потрібно вказати виділений фрагмент місцевості і уточнити «точку зору», з якої було отримано. В таких завданнях погано працюють широко поширені кореляційні методи, це обумовлено значним спотворенням розподілу яскравості на шуканому фрагменті в порівнянні з виділеним на оригінальному зображенні, яке не зводиться до однорідного змінення яскравості і контрасту фрагмента як цілого.

В основі методів морфологічного аналізу лежить математичне поняття форми. Під формою зображення розуміється максимальний інваріант перетворень зображення, яким воно піддається при зміні умов спостереження, зміни параметрів записуючого устаткування та інше [6, 7].

Форма визначається не тільки досліджуваним об'єктом або сценою, а також тісно пов'язана з моделлю реєстрації зображення об'єкта або сцени. Якщо мова йде про завдання порівняння або класифікації об'єктів, що складаються з

однорідних світло розсіяваних площин за їхніми зображеннями, отриманими при збереженні ракурсу, але при різних умовах освітлення, то під формою зображення можна розуміти максимальний інваріант перетворення яскравостей зображення, яким є ортогональний проектор в гільбертовому просторі зображень на безліч кусочно-постійних зображень [6]. Таким чином, побудова форми зображення є основоположною частиною завдань морфологічного аналізу.

Поняття форми зображення показано на простому прикладі (рис. 1.14).



Рисунок 1.14 — Приклади зображень «одиниці», порівнюваних за формою

Форма зображень *a*, *б*, *в*, *г*, *д* збігаються, форма однорідного поля зору *г* не складніше, ніж форма будь-якого з попередніх.

Всі представлені на рис. 1.14 зображення мають одну і ту ж форму і відрізняються лише умовами реєстрації. Кожне зображення можна задати функцією:

$$f(x) = C_1 X_1(x) + C_2 X_2(x), \quad x \in X. \quad (1.8)$$

Крім зображень «одиниці» можна розглянути зображення однорідного поля зору. Форму такого зображення звичайно вважати більш простою, ніж форма «одиниці».

В цьому випадку форма будь-якого зображення f' отриманого за допомогою перетворення яскравостей $F(f'OV_f = F(f))$, не складніше, ніж форма f , при цьому $f' < f$.

Форма зображення f складається з зображень $f' < f$, які можна порівняти за формою з f , але не обов'язково порівняти за формою між собою.

Стосовно інших властивостей множини F , що визначає модель формування яскравості зображень, то в більшості випадків її можна вважати опуклою. Опуклість і замкнутість F гарантує для спостережуваного зображення g існування оператора проектування P_f на V_f , який визначається за допомогою рішення завдання найкращого наближення:

$$\{A_1, \dots, A_N\} = \arg \inf_{A_1, \dots, A_N} \left\| \xi - \sum_{i=1}^N C_i X_{A_i} \right\|^2. \quad (1.9)$$

Зображення $P_f g$ є найкращим наближенням зображення g образами, форма яких не складніша, ніж форма f , відповідно, зображення $g - P_f g$ представляє все те, що відрізняє g за формою від f .

Завдання побудови форми зображення є основною частиною морфологічного аналізу. Від того, наскільки якісно побудована форма, залежить і результат рішення задачі морфологічного аналізу [6].

Один із способів побудови форми полягає в тому, щоб завдати області постійної яскравості за фізичними властивостями об'єкта, тобто за розташуванням однорідних світних граней, відбиваючих граней або меж щодо спостерігача. Приписуючи цим областям всілякі яскравості, отримуємо форму зображення як безліч зображень. Якщо ж не мати настільки детальних

відомостей про об'єкт дослідження, то можна побудувати форму по якому-небудь одному зображенню, знаючи, до яких перетворень яскравості даного зображення можуть привести змінені умови спостереження.

Будь-яке зображення, форма якого не складніше f , можна отримати підбором яскравостей C_i . Таким чином, побудова форми зображення полягає у визначенні індикаторних функцій X_i . В найпростішому випадку можна діапазон зміни яскравості зображення f розбити на n однакових інтервалів.

Процес реєстрації і оцифрування зображення обов'язково супроводжується деякою погрішністю, тому вихідне зображення деякої системи є сумою «ідеального», незашумленого зображення $f(x)$ і шуму $n(x)$.

Безліч кусочно постійних зображень є усюди щільним. Це означає, що існує послідовність $\{f_N\}$, що сходиться до f . Апроксимація форми V_f складається в тому, щоб використовувати форму V_{fN} кусочно постійного зображення f_N , досить близько до f , замість форми зображення f . Близькість зображень f_N і f розуміється в тому сенсі, що їх різниця $f - f_N$ повинна бути мала в порівнянні з шумом g .

Вибираючи занадто високу точність апроксимації зображення x кусочно постійним зображенням, разом з формою зображення f , потрібно апроксимувати і форму шумового зображення. Якщо ж точність наближення x зображенням f_N недостатня, то можна втратити важливі особливості форми зображення f . Тому необхідний критерій вибору точності апроксимації, що дозволяє досягти компромісу між втратою інформації про форму з одного боку і її зашумлення з іншого [6].

Проектор P_N досить добре описує форму f , якщо зображення $f - P_N f$ непомітно на фоні шуму. Критерій того, що в апроксимації V_{fN} форми V_f не втрачено важливі деталі форми зображення f , може бути ототожнений з критерієм перевірки статистичної гіпотези про параметр розподілу статистики:

$$t_N(\xi) = \|(I - P_N)\xi\|^2. \quad (1.10)$$

Існує декілька способів вибору послідовностей $\{f_N\}$, апроксимуючих зображення g .

Перший спосіб. Нехай задана послідовність $\{A_1, \dots, A_N\}_N, N=1, 2, \dots$, все більш дрібних поділень поля зору X , а яскравість $C_i, i=1, \dots, N$, вибирається з рішення задачі найкращого наближення зображення g кусочно постійним зображенням [7]:

$$\{C_1, \dots, C_N\} = \arg \inf_{C_1, \dots, C_N} \left\| \xi - \sum_{i=1}^N C_i X_{A_i} \right\|^2. \quad (1.11)$$

Рішенням цього завдання є числа:

$$C_i = \frac{1}{\mu(A_i)} \int_{A_i} \xi(x) dx, \quad i=1, \dots, N. \quad (1.12)$$

Другий спосіб. Нехай задана послідовність $\{C_1, \dots, C_N\}_N, N=1, 2, \dots$, яскравостей кусочно постійного зображення і відповідне розбиття $\{A_1, \dots, A_N\}_N$ поля зору x , а яскравість C_i вибирається з рішення задачі найкращого наближення:

$$\{A_1, \dots, A_N\} = \arg \inf_{A_1, \dots, A_N} \left\| \xi - \sum_{i=1}^N C_i X_{A_i} \right\|^2. \quad (1.13)$$

В A_i можуть бути віднесені лише ті точки $x \in X$, для яких $|\xi - C_i| < |\xi - C_j|$. Ті точки, які можуть бути віднесені до декількох множин, повинні бути віднесені до одного з них.

У випадку третього способу для кожної N множини $\{A_1, \dots, A_N\}_N$ і їх яскравості $\{C_1, \dots, C_N\}_N$ вибираються з умови найкращої апроксимації зображення x зображеннями виду $f_N(x) = C_1 \times X_1 + \dots + C_{N \times N}$.

На першому кроці вибирається деяке початкове розбиття $\{C_1, \dots, C_N\}$ і обчислюються множини $\{A_1, \dots, A_N\}$. На наступному кроці на отриманому розбитті поля зору X обчислюються яскравості $\{C_1, \dots, C_N\}$, потім процедура повторюється до тих пір, поки зміна яскравості за один крок стане незначним.

Але таке розбиття не дає гарантії, що в кожному інтервалі буде знаходитися одна і тільки одна область постійної яскравості зображення f . Для виконання оптимально розбиття на рівномірні інтервали треба використовувати алгоритм оптимально приближення зображення [7].

Після того, як зображення розбите на рівномірні інтервали, потрібно обчислити зображення $f = P_f f$. Це зображення буде мати яскравості C_{1_i} , $i = 1, n$. Після цього зображення f' розбивається на інтервали, середні значення яких дорівнюють C_{1_i} . Повторюється обчислення зображення $P_f f$, отримуються яскравості C_{2_i} . Процес повторюється до тих пір, поки значення яскравостей в двох наступних ітераціях не співпадуть.

Цей алгоритм є алгоритмом оптимального наближення зображення кусково постійними функціями. В результаті його застосування діапазон яскравості зображення буде розбитий на n інтервалів, в кожному з яких буде не більше однієї області постійної яскравості зображення f .

1.4 Основні методи контурного аналізу

Аналіз зображення — це процес виділення потрібної інформації з зображення за допомогою автоматичних систем.

Системи аналізу не обмежуються поділом областей сцени на фіксоване число класів. Вони призначені для описання складних сцен, різноманітність яких може бути настільки великою, що їх не можна описати за допомогою заздалегідь заданих термінів. В системі аналізу також можуть використовуватися методи штучного інтелекту для управління різними блоками системи і організації ефективного доступу до бази апріорних відомостей про об'єкти.

Ознака зображення — це його найпростіша характеристика або властивість. Деякі ознаки є природними, вони встановлюються візуальним аналізом зображення, тоді як інші штучні ознаки, виходять в результаті його спеціальної обробки і вимірювань. Природні ознаки: яскравість, текстура різних областей зображення і форма контурів об'єктів [8].

Зазвичай аналіз зображення включає в себе отримання зовнішнього контуру зображених об'єктів і запис координат точок цього контуру. Частіше за всього потрібно отримати зовнішній контур у вигляді замкнутої кривої або сукупності відрізків дуг. Є три загальних підходи до подання границь об'єкта: апроксимація кривих, простежування контурів, зв'язування точок перепадів.

Контури зображень є областями з високою концентрацією інформації, яка слабо залежить від кольору і яскравості.

При розгляді будь-якого об'єкта в свідомості людини формується зоровий образ. При сприйнятті очей відстежує лінію контуру, що призводить до створення в свідомості образу с характерними деталями. При сприйнятті в свідомості людини формуються два образи: контуру і внутрішньої частини зображення. Необхідним етапом сприйняття вважається сканування по лінії контуру [9].

При цьому видно, що контури відіграють важливу роль при розпізнаванні зображень [9].

Контурний аналіз є сукупністю методів виділення, опису та перетворення контурів зображень та розпізнавання зорових образів. Контур цілком визначає форму зображення і містить всю необхідну інформацію для розпізнавання зображень за їхньою формою. Такий підхід дозволяє не розглядати внутрішні точки зображення і тим самим значно скоротити обсяг інформації, що переробляється. Наслідком цього часто становиться можливість забезпечення роботи системи в режимі реального часу.

Під контуром розуміється просторово-протяжний розрив, перепад або стрибкоподібна зміна значень яскравості. Існує ряд проблем при виділенні контурів зображення: розриви контуру в місцях, де яскравість змінюється не дуже швидко, наявність помилкових контурів внаслідок шуму на зображенні, широкі контурні лінії через розмитість або шум.

Контурний аналіз дозволяє описувати, зберігати, порівнювати і проводити пошук об'єктів, представлених у вигляді своїх зовнішніх обрисів-контурів, а також ефективно вирішувати основні проблеми розпізнавання образів, такі як перенесення, поворот і зміна масштабу зображення об'єкта [13].

В контурному аналізі контур кодується послідовністю, що складається з комплексних чисел. На контурі фіксується точка, яка називається початковою. Потім контур обходиться (наприклад, у напрямку руху годинникової стрілки) і кожен вектор зміщення записується комплексним числом $a + ib$, де a — зсув точки по осі x , b — зсув точки по осі y . Зсув береться щодо попередньої точки (рис. 1.15) [10].

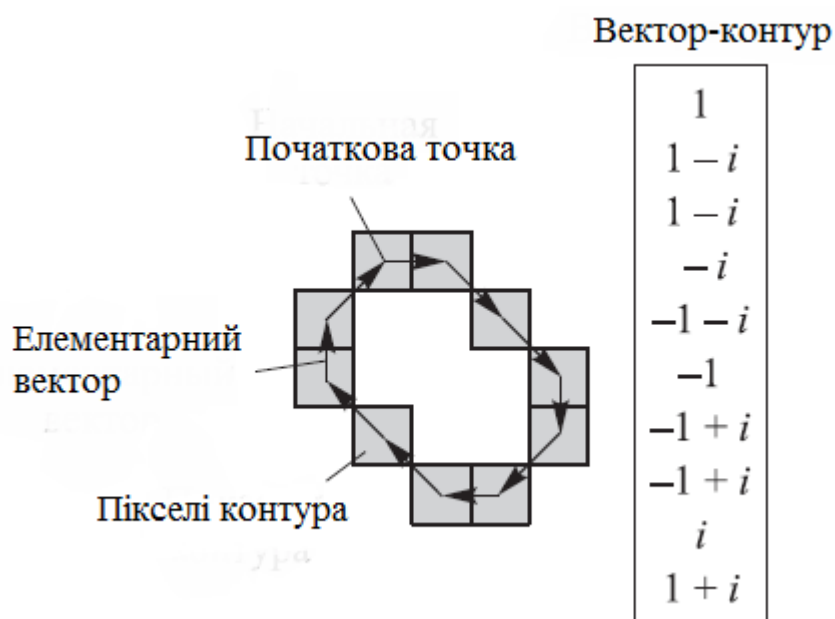


Рисунок 1.15 — Кодування контуру

Існує декілька різних методів контурного аналізу.

Метод активних контурів широко застосовується в задачах виділення контурів, границь і сегментації зображення. Для виявлення контурів на зображенні використовуються криві мінімальної енергії або змійки. Алгоритм протікає в такому порядку: спочатку контур формується як проста лінія, а потім він деформується для створення області об'єкта. Точки в контурі прагнуть до границі об'єкта при мінімізації енергії контуру. Для кожної точки v_i енергія:

$$E_i = \alpha E_{\text{int}}(v_i) + \beta E_{\text{ext}}(v_i), \quad (1.14)$$

де α , β — константи, що забезпечують відносну корекцію енергії;

$E_{\text{int}}(v_i)$ — функція енергії, яка залежить від форми контуру;

$E_{\text{ext}}(v_i)$ — функція енергії, яка залежить від властивостей зображення і типу градієнта в околиці точки v_i .

Величини E_i , $E_{int}(v_i)$, $E_{ext}(v_i)$ є квадратними матрицями. Значення в центрі кожної матриці відповідає енергії контуру в позначці v_i .

Кожна вершина v_i потенційно може перейти в будь-яку точку v'_i , відповідну до мінімальної енергії E_i .

Недоліки цього методу полягають в тому, що якщо об'єкт не має чітких меж або площа неоднорідна і містить плавні градієнти, то алгоритм не вирішить завдання сегментації правильно, що призведе до неможливості подальшого автоматизованого аналізу. Також нормаль вектору дотичної у точці може сильно змінюватися в напрямку, що може спричинити злиття точок. Від цього контур може вийти грубим і сильно відрізнятись від границь об'єкта, що виділяється.

Метод активних контурів без попереднього виділення границь. На відміну від традиційного способу активних контурів цей метод не вимагає попереднього виділення границь об'єкта зображення, а вихідне зображення не обов'язково згладжувати. Крива або змійка (замкнутої округлої форми), рухається з довільної точки зображення. При перетині границі вона починає деформуватися і приймати форму об'єкта на зображенні, як би заповнюючи внутрішню його частину [11].

Детектор границь Кенні. Дж. Кенні вивчив математичну проблему отримання фільтра, оптимального за критеріями виділення, локалізації та мінімізації декількох відгуків одного краю. Це означає, що детектор повинен реагувати на границі, але при цьому ігнорувати помилкові, точно визначати лінію границі і реагувати на кожну границю один раз, що дозволяє уникнути сприйняття широких смуг зміни яскравості як сукупності границь.

Алгоритм включає в себе згладжування — розмиття зображення для видалення шуму; пошук градієнтів — границі відзначаються там, де градієнт зображення набуває максимальне значення; придушення не максимумів — тільки локальні максимуми відзначаються як границі; подвійну порогову фільтрацію — потенційні границі визначаються порогоми; трасування області

неоднозначності — підсумкові границі встановлюються шляхом придушення всіх країв, не пов'язаних з певними границями.

Для зменшення чутливості алгоритму до шуму використовується перша похідна від гаусіани. Після застосування фільтра, зображення становляться злегка розмиті (рис. 1.16).

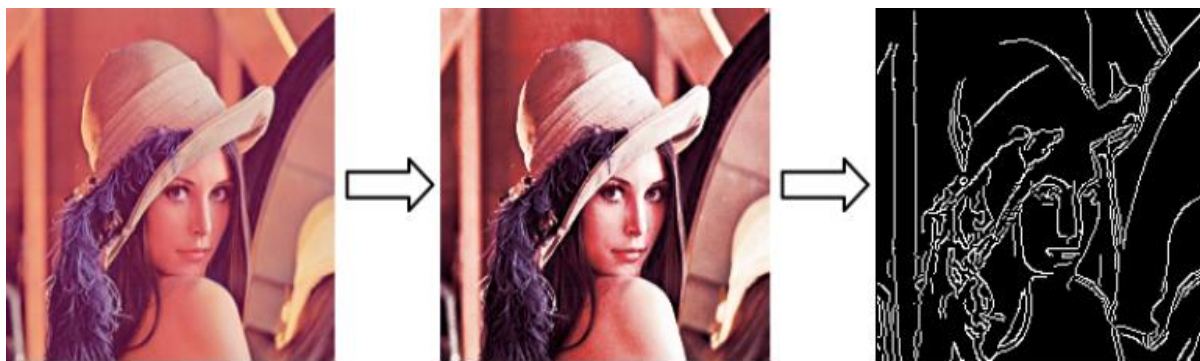


Рисунок 1.16 — Ілюстрація роботи контурного детектора Кенні

Метод відстеження контурів полягає в послідовному кресленні границі між об'єктом і фоном. Простежуюча точка у вигляді «жука» повзає по зображенню до тих пір, поки не доходить до темної області. Тоді «жук» розвертається наліво і рухається по кривій, поки не досягне границь об'єкта, після цього повертається направо і повторює процес, поки не досягне околиці початкової точки (рис. 1.17).

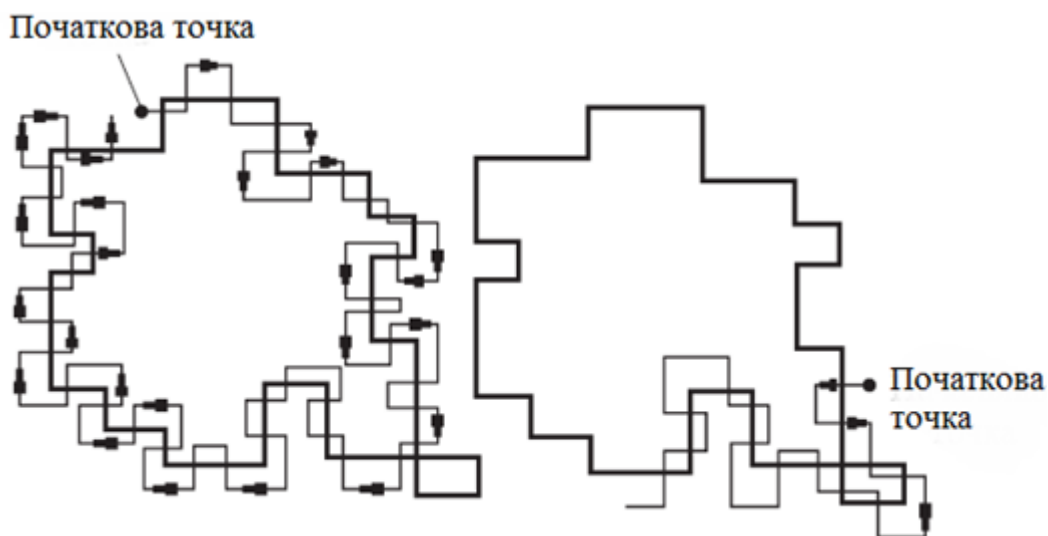


Рисунок 1.17 — Метод простежування контурів

Одним із методів контурного аналізу є кластеризація. По відношенню до швидкості і відстані використовують кластеризацію найближчого сусіда. Дві лінії позначаються як $\{p_1, \dots, p_m\} \in S_1$ і $\{q_1, \dots, q_n\} \in S_2$ за умови, що вони задовольняють нерівності:

$$\left\{ \left| x_{p_i} - x_{q_j} \right| + \left| y_{p_i} - y_{q_j} \right| \right\} \leq \alpha_d, \quad (1.15)$$

$$\left\{ \left| u_{p_i} - u_{q_j} \right| \right\} \leq \alpha_u, \quad (1.16)$$

$$\left\{ \left| v_{p_i} - v_{q_j} \right| \right\} \leq \alpha_v, \quad (1.17)$$

де $\alpha_d, \alpha_u, \alpha_v$ — порогові константи;

u_p, v_p — складові швидкості p в координатах (x_p, y_p) ; $i \in \{1, \dots, m\}$,
 $j \in \{1, \dots, n\}$.

Кластеризація найближчого сусіда — найбільш ефективний метод для сцен з перешкодами. Перешкоди обробляються на етапі спостереження [9].

Локальна обробка. Методи виявлення границь виділяють в зображенні тільки пікселі, що лежать на контурі. На практиці ця безліч пікселів рідко відображає контур досить точно, через шуми, розриви контурів через неоднорідність освітлення і т.п. Тому алгоритм виявлення контурів зазвичай доповнюється процедурами зв'язування, щоб сформувати безліч контурних точок.

Один із способів зв'язування точок контуру полягає в аналізі характеристик пікселів в невеликій околиці кожної точки зображення, яка була відзначена як контурна. Всі точки, які є подібними відповідно до деяких критеріїв, зв'язуються і утворюють контур, що складається з пікселів, які відповідають цим критеріям. При цьому використовуються два основних параметри для встановлення подібності пікселів контуру: відгук оператора градієнту, що визначає значення пікселя контуру і напрямок вектору градієнта.

Піксель контуру (x_0, y_0) , розташований всередині заданої околиці точки (x, y) , вважається схожим з пікселем (x, y) по модулю градієнта, якщо:

$$\nabla f(x, y) - \nabla f(x_0, y_0) \leq E, \quad (1.18)$$

де E — заданий невід'ємних поріг, і по напрямку градієнта, якщо:

$$\alpha(x, y) - \alpha(x_0, y_0) \leq A, \quad (1.19)$$

де $\alpha(x, y) = \arctg \frac{dx}{dy}$;

A — заданий невід'ємних кутовий поріг.

Піксель в заданій околиці об'єднується з центральним пікселем (x, y) , якщо виконані критерії подібності і за значенням, і за напрямком. Цей процес повторюється в кожній точці зображення з одночасним запам'ятовуванням знайдених пов'язаних пікселів при русі центру кола.

Простий спосіб обліку даних полягає в тому, що кожній множині пов'язаних пікселів контуру присвоюється своє значення яскравості [11].

Аналіз за допомогою графів. Підхід до виявлення і зв'язування контурів на основі подання у вигляді графа і пошуку на цьому графі шляхів з найменшою вартістю, які відповідають значущим контурам, дозволяє побудувати метод, добре працюючий в присутності шуму. Така процедура виявляється досить складною і вимагає великого часу обробки [10].

Елемент контуру — межа між двома пікселями p і q , які є сусідами. Елементи контуру ідентифікуються координатами точок p і q . На рис.1.18 елемент контуру визначається парами $(x_p, y_p)(x_q, y_q)$. Контур — послідовність з'єднаних між собою елементів.

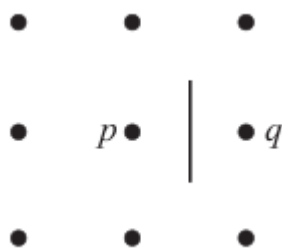


Рисунок 1.18 — Елемент контуру

Кожному елементу контуру, заданому пікселями p і q , відповідає вартість:

$$c(p, q) = H - [f(p) - f(q)], \quad (1.20)$$

де H — максимальний рівень яскравості в зображенні;

$f(p)$, $f(q)$ — яскравості пікселів p і q .

Завдання знаходження на графі шляху мінімальної вартості є нетривіальною по обчислювальній складності, тому доводиться жертвувати оптимальністю на користь швидкості обчислень.

Складність реалізації і велика ресурсомісткість — це основні недоліки такого аналізу, плюсом якого є слабка чутливість до шумів [10].

Методи обробки зображень та сигналів, які описані в даному розділі мають свої сильні та слабкі сторони і застосовуються для рішення різних завдань.

Вейвлет перетворення, як частина вейвлет-аналізу, має практично всі переваги перетворень Фур'є. Вейвлетні базиси можуть бути добре локалізованими як по частоті, так і за часом. При виділенні в сигналах добре локалізованих різномасштабних процесів можна розглядати тільки ті масштабні рівні розкладання, які представляють інтерес. На відміну від перетворення Фур'є, вейвлетні базиси мають досить багато різноманітних базових функцій, властивості яких орієнтовані на рішення різних завдань. Базисні вейвлети можуть мати і кінцеві, і нескінченні носії, що реалізуються функціями різної гладкості. Недоліком вейвлетних перетворень є їх відносна складність.

Кореляційний метод аналізу зображень показав себе як дуже ефективний засіб для дослідження макроскопічних механічних деформацій поверхні, де застосовуються маркери, які відбивають світло або обробка поверхні, що забезпечує необхідний контраст для доброї кореляції зображень. Важливі недоліки кореляційних методів виявлення проявляються в присутності радіометричних і особливо геометричних спотворень поточного зображення в порівнянні з еталонним. Зокрема, спостерігається швидке зменшення кореляційного зв'язку при ракурсних викривленнях, наприклад, при поворотах зображень.

Морфологічні методи успішно застосовуються для аналізу і змістової інтерпретації зображень реальних сцен, отриманих при неконтрольованих умовах реєстрації, таких як умови освітлення, його спектральний склад,

характеристики апаратури, яка реєструє зображення, оптичні властивості сцени та інше.

Контурний аналіз дозволяє ефективно вирішувати основні проблеми розпізнавання образів — перенесення, поворот і зміна масштабу зображення об'єкта. Він має слабку стійкість до перешкод, не допускає перетину або часткової видимості об'єкта тому, що контурний аналіз має сенс, тільки в тому випадку, коли контур об'єкта визначено однозначно правильно у всіх своїх точках. Незважаючи на недоліки, методи контурного аналізу привабливі своєю простотою і швидкістю. При наявності чітко вираженого об'єкта на контрастному фоні і відсутності перешкод контурний аналіз добре справляється з розпізнаванням.

2 ОПТИЧНА ЛОКАЦІЙНА СИСТЕМА З ФУНКЦІЄЮ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ

Розглянуті нами методи показують, що вони не є універсальними в задачах аналізу зображень і оптичних сигналів. На наш погляд слід розробити універсальну систему на декількох принципах аналізу зображень та розпізнавання образів. Ми можемо запропонувати оптичну систему локації з функцією розпізнавання образів. Така система повинна буде: визначати дистанцію до об'єкта; визначати координати об'єкта; виконувати функцію спостереження за об'єктом; класифікувати об'єкт.

Аналіз публікацій привів нас до того щоб використовувати спіральні пучки для вирішення задачі розпізнавання образів.

2.1 Використання спіральних пучків для вирішення задач розпізнавання образів

Спіральні пучки — об'єкт сучасної когерентної оптики, вони вперше були розглянуті як рішення рівняння поширення електромагнітного випромінювання в параксіальному наближенні для лазерного джерела світла. Такі рішення є окремим випадком описаних в фундаментальній праці Беррі і Ная світлових полів з дислокаціями хвильового фронту. Під дислокаціями розуміються такі точки, в яких фаза не визначена і має в окружності цих точок кручену структуру [17]. Світлові поля з дислокаціями хвильового фронту також прийнято називати полями з топологічним зарядом. В даному методі спіральні пучки — це поля, всі дислокації яких мають один і той же знак (позитивний або негативний).

Процес розпізнавання об'єктів починається з попередньої обробки зображення, а саме з виділення контурів і їх подальшої параметризації. На рис. 2.1 приклад виділення контуру для зображення корабля.

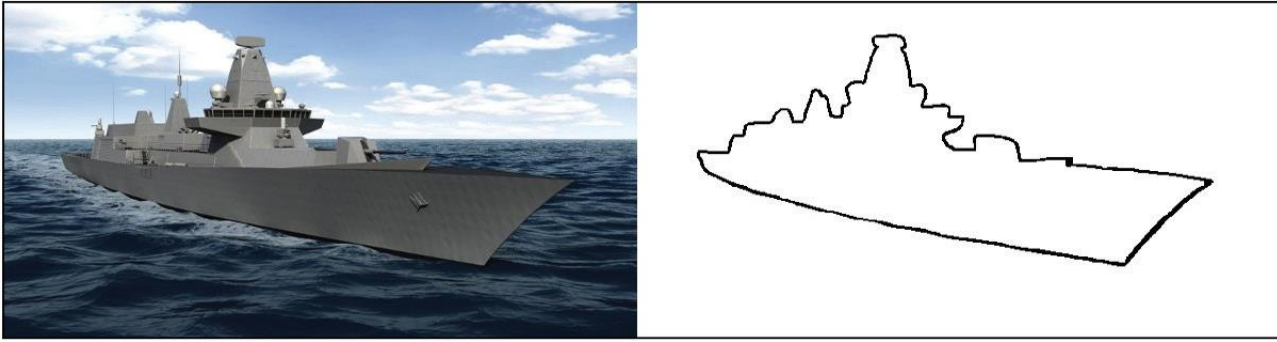


Рисунок 2.1 — Зображення корабля і виділений контур

Завдання виділення і розпізнавання контуру — різні завдання, тому для виділення границь об'єктів необхідно використовувати існуючі методи, такі як фільтри Собеля і граничний детектор Кенні [12]. Якщо при виділенні виходить більше одного контуру, то результат розпізнавання в цілому є сукупністю результатів розпізнавання окремих контурів на ньому. Математичним представленням контурів вважаються замкнуті плоскі криві, що складаються з упорядкованого набору точок:

$$\zeta(t) = x(t) + iy(t), \quad t \in [0, T]. \quad (2.1)$$

На рис. 2.2 наведені зображення літака, виділений контур і відповідно йому параметризація. Завдання розпізнавання буде складатися з того, щоб дві розглянуті плоскі криві відповідали одна одній щодо деякого критерію подібності.

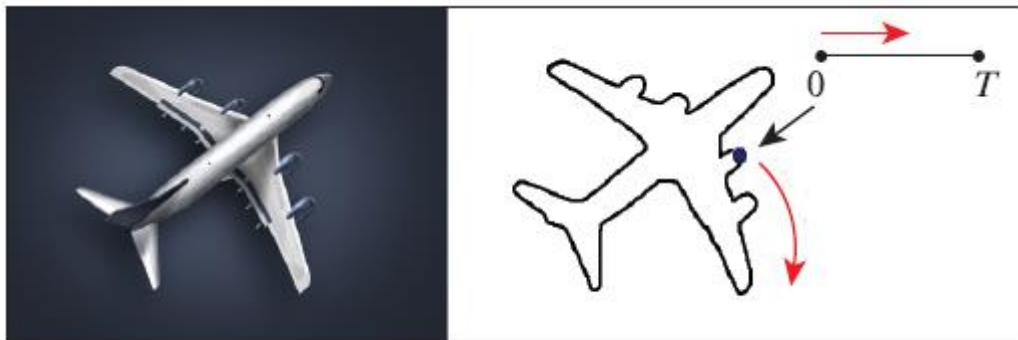
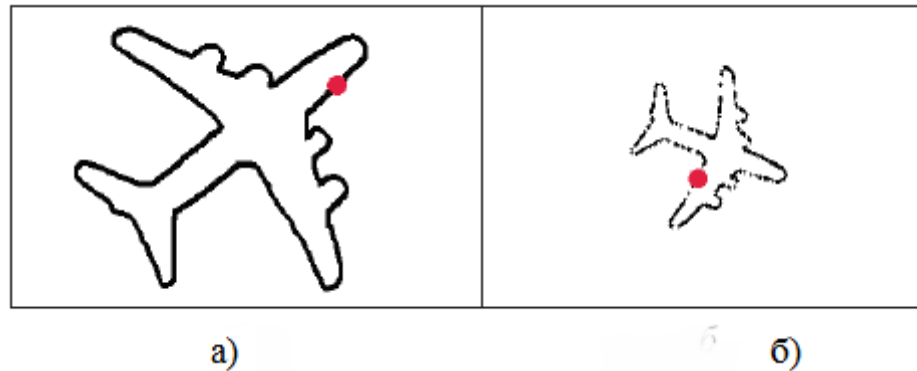


Рисунок 2.2 — Вихідне зображення і параметризований контур

Відзначають чотири класичні проблеми, з якими доводиться стикатися в рамках контурного аналізу: невизначеність вибору початкової точки на контурі, невизначеність виділення взаємного повороту і масштабу, а також шуми. Таку ситуацію наочно ілюструє рис. 2.3, де точкою виділена початкова точка на контурі [14].



а) еталон;

б) вхідний контур, який розпізнається.

Рисунок 2.3 — Ілюстрація ситуації

Для рішення завдання розпізнавання застосовується рутинний пошук максимуму деякого функціоналу правдоподібності чотирьох змінних $\Lambda(N, \Delta\varphi, d, |\mu|)$. До таких складних математичних об'єктів доводиться вдаватися тому, що традиційні інструменти аналізу не справляються із завданням в сформульованих умовах невизначеності. Крива $\zeta(t)$, не зобов'язана бути диференційованою, що перешкоджає її аналізу за допомогою рядів Тейлора і їм подібних. Розкладання в ряд для одномірних функцій значно залежить від вибору початкової точки [14].

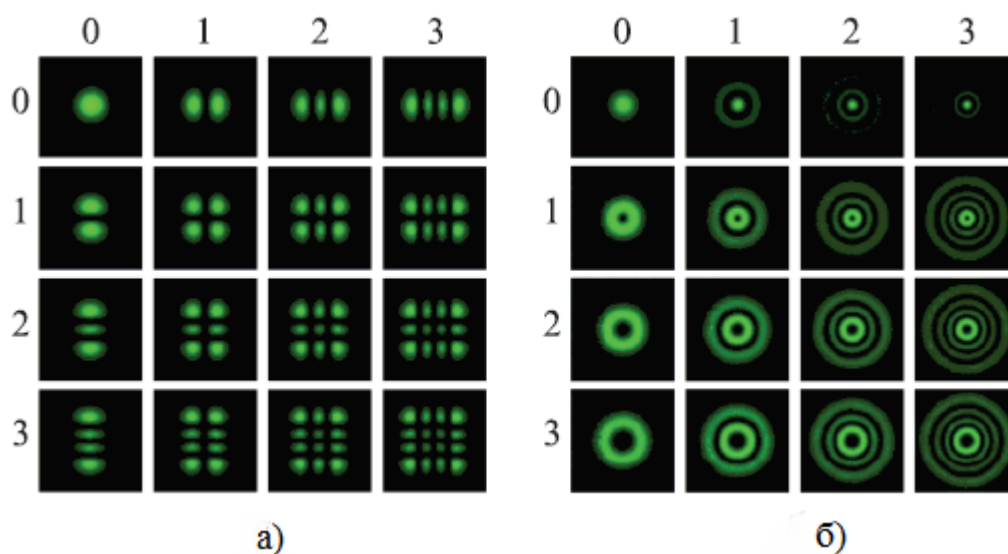
Існує теорія когерентних світлових полів, названих спіральними пучками світла. Комплексні амплітуди F цих полів є рішеннями параболічного рівняння Леонтовича-Фока в параксіальному наближенні:

$$\frac{d^2 F}{dx^2} + \frac{d^2 F}{dy^2} + 2ik \frac{dF}{dl} = 0, \quad (2.2)$$

де $(x, y, l) \in R^3$ — тривимірний простір;

l — вісь поширення лазерного пучка.

Рішеннями цього рівняння є ортогональні моди Ерміта-Гаусса і Лагерра-Гаусса (рис 2.4).



а) моди Ерміта-Гаусса;

б) моди Лагерра-Гаусса.

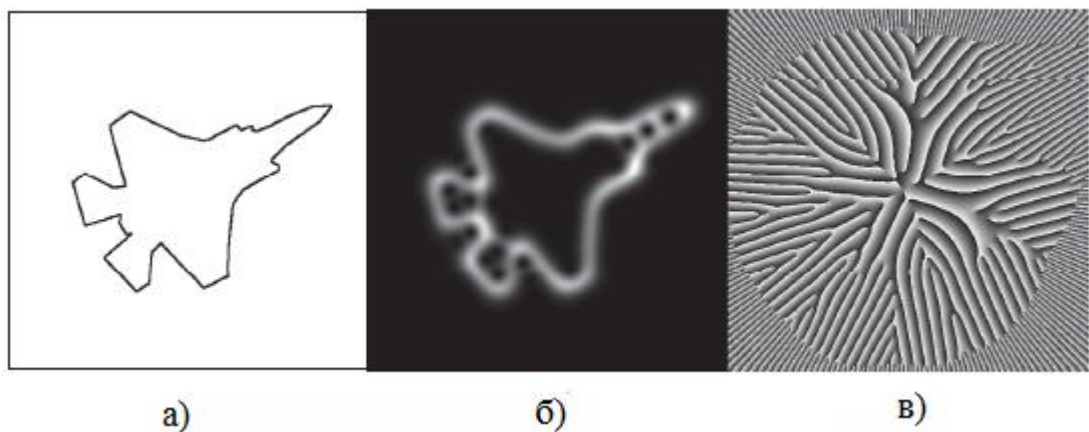
Рисунок 2.4 — Розподіл інтенсивності мод

Світлові поля мають властивість структурної стійкості: розподіл інтенсивності при поширенні пучків в просторі залишається незмінним. Єдина властивість, що змінюється і не зачіпає структуру пучка, полягає в природній зміні масштабу (рівномірне стиснення або збільшення) [17].

Спіральні пучки світла з'явилися в якості узагальнення класичних базисних мод при пошуку інших автомодельних рішень рівняння (2.2), які могли б не тільки масштабуватися, але і повертатися навколо осі поширення

пучка. Додавання нового ступеня свободи дозволяє отримати багате сімейство світлових полів з кінцевою енергією. Розподіл інтенсивності цих полів можуть мати форму довільної плоскої кривої.

На рис 2.5 чітко простежується взаємозв'язок контуру і розподілу інтенсивності і фази спірального пучка: розподіл інтенсивності відповідає породжуючій кривій, а на розподіл фази при детальному аналізі також можуть бути виявлені закономірності розташування дислокацій хвильового фронту.



- а) породжуючий контур;
- б) розподіл інтенсивності;
- в) розподіл фази.

Рисунок 2.5 — Взаємозв'язок контуру і розподілу інтенсивності і фази спірального пучка

Простір спіральних пучків є підпростір світлових полів з кінцевою енергією $L_2(R^2)$, всі комплексні амплітуди є квадратично-інтегрованими. Всі спіральні пучки містять цілі функції, які є комплексно-диференційованими необмежену кількість разів усюди на комплексній площині зображення, що дозволяє записувати їх у вигляді степеневих рядів:

$$\begin{aligned}
S(z, z^*) &= \exp\left(\frac{-zz^*}{p^2}\right) \sum_{n=0}^{\infty} C_n Z^n = \sum_{n=0}^{\infty} C_n \left[\exp\left(\frac{-zz^*}{p^2}\right) Z^n \right] = \\
&= \sum_{n=0}^{\infty} C_n L_{0n}(z, z^*),
\end{aligned} \tag{2.3}$$

де $L_{0n}(z, z^*)$ — ортогональні базисні моди Лагерра-Гаусса з нульовим першим індексом;

p — параметр гаусівого пучка.

Спіральні пучки дають можливість ввести залежність від вибору початкової точки на контурі. Параметр a відповідальний за вибір початкової точки на періодичній кривій $\zeta(t)$, задає її не на інтервалі $[0, T]$, а на інтервалі $[a, a + T]$. Тоді комплексні амплітуди зв'язані співвідношенням:

$$\begin{aligned}
S(z, z^* | \zeta(t), t \in [a, a + T]) &= \\
&= S(z, z^* | \zeta(t), t \in [0, T]) \exp[i\Delta\phi(a)].
\end{aligned} \tag{2.4}$$

Зміщення початкової точки впливає тільки на фазу спірального пучка яка в кожній точці z площині отримує однакову добавку $\Delta\phi(a)$ і не змінює розподіл інтенсивності [17].

Процес зміни спірального пучка в залежності від параметра p показаний на рис. 2.6.

Рисунок наочно демонструє підстроювання спірального пучка при зміні параметра гаусового пучка. Цю корисну властивість можна успішно використовувати для протидії спотворюючого впливу шумів, а також для вирішення завдання віднесення об'єкта, що розпізнається до того чи іншого класу. Верхній ряд на рис. 2.6 дає можливість визначити приналежність контуру до літаків, а нижній — до конкретного екземпляру транспортної авіації.

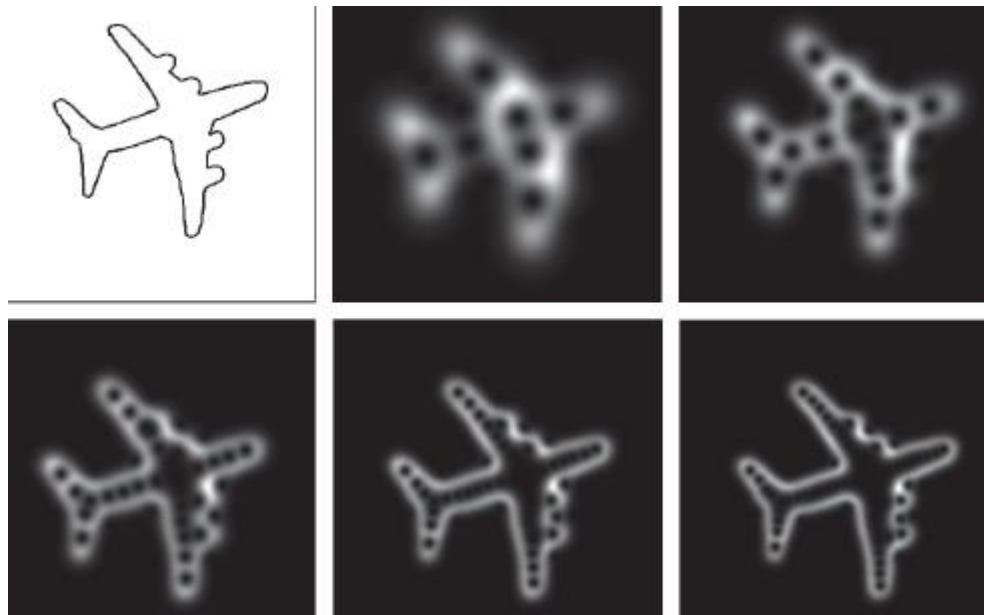


Рисунок 2.6 — Контур літака і розподіл інтенсивностей пучків

Математичний апарат спіральних пучків дозволяє говорити про коректність застосування принципів когерентної оптики в задачі розпізнавання контурних зображень, оскільки з'являється можливість подолання складнощів контурного аналізу.

Класична задача розпізнавання зображень полягає в завданні на множині всіх контурів K метрики μ_K , що визначає ступінь схожості двох контурів — ζ_1 і ζ_2 , з подальшим обчисленням відстані в заданій метриці від вхідного контуру ζ до множини еталонних об'єктів K_{DB} [18]. Якщо обчислена відстань менше певної величини ε , яка в ідеалі відповідає точному збігу, то фіксується факт розпізнавання. Існуючі методики розпізнавання контурів завжди явно або неявно визначають такі метрики, однак існує значна трудність: необхідно не просто побудувати метрику, а зробити її максимально інваріантною до зміни таких характеристик контуру, як вибір початкової точки, масштабу, повороту і по можливості стійкість до шумів.

В даному методі процес розпізнавання контурів здійснюється не шляхом введення метрики μ_K в просторі контурів K , а шляхом введення метрики $\mu_S : S \times S \rightarrow [0,1]$ в просторі спіральних пучків S , оскільки комплексні амплітуди

мають ряд корисних властивостей, які можна інтерпретувати як інваріанти деякої перспективної метрики μ_S .

Цей метод пропонує ототожнити метрики μ_K і μ_S за рахунок використання інтегрального перетворення контуру в спіральний пучок.

Процес порівняння вхідного контуру з еталоном виглядає наступним чином: для вхідного контуру обчислюється набір коефіцієнтів розкладання; для контуру-еталона з бази даних робиться вибірка збережених, заздалегідь розрахованих коефіцієнтів; обчислюється значення метрики схожості; приймається рішення про розпізнавання, якщо отримана відстань не перевищує деякого порогового значення ε .

Математичний апарат спіральних пучків має значний недолік, який відсутній у апарата кореляційних функцій: для розрахунку багатьох величин використовується операція обчислення експоненти, яка є більш ресурсномісткою з точки зору обробки зображень на засобах обчислювальної техніки, ніж операція множення комплексних чисел при обчисленні функції кореляції.

Даний метод аналізу зображень показує, що спіральні пучки можуть використовуватися в задачі класифікації і розпізнавання контурів на графічних зображеннях. Математичний апарат оптики спіральних пучків дає можливість успішно долати класичні складності контурного аналізу.

2.2 Оптична система локації з функцією розпізнавання образів

В нашій системі за функцію оптичної локації відповідає оптичний локатор. Оптичні локатори добре підходять для виявлення маленьких об'єктів — таких як дрони.

Оптичною локацією називають виявлення і визначення місця розташування різних об'єктів, їх дальності і кутових координат за допомогою когерентного електромагнітного випромінювання оптичного діапазону.

Технічні засоби, як призначені для лазерної локації, називають лазерними локаційними системами або оптичними локаторами.

При лазерній локації інформація про об'єкт локації, яку добуває оптичний локатор, переноситься прийнятими електромагнітними хвилями оптичного діапазону, параметри яких певним чином пов'язані з координатами і характеристиками об'єктів локації [19].

Виявлення цілей за допомогою лазерної локації полягає в фіксації лазерних локаційних сигналів, які надходять на вхід оптичного локатора і є першим етапом первинної обробки інформації в лазерних локаційних системах. Цей етап складається з двох операцій: виділення сигналу на тлі перешкод і прийняття рішення про наявність чи відсутність сигналу від об'єкта локації на вході приймача локатора з деякими ймовірностями правильного і помилкового виявлень. При цьому використовуються відмінності спектральних і статистичних характеристик лазерного локаційного сигналу і шуму.

Вимірювання координат об'єкта локації і інших параметрів його руху є другим етапом первинної обробки локаційної інформації в лазерних локаційних системах. На цьому етапі визначаються значення відповідних параметрів лазерних локаційних сигналів. При цьому використовуються ті ж фізичні властивості електромагнітних хвиль, що і в радіолокації.

Сталість швидкості поширення лазерного випромінювання в однорідному середовищі дозволяє виміряти похилу дальність цілі R за часом запізнювання t_R відбитого лазерного сигналу щодо початку випромінювання сигналу джерела:

$$R = \frac{ct_R}{2}. \quad (2.5)$$

Таки чином, принцип лазерної дальнометрії при активній локації зводиться до вимірювання тимчасового інтервалу t_R .

Прямолінійність поширення лазерного випромінювання дозволяє вимірювати кутові координати об'єкта локації. Для цього використовується

висока спрямованість лазерного випромінювання за допомогою оптичних антен лазерної локаційної системи.

По доплерівському зміщенню частоти оптичних коливань при відображенні від рухомої цілі можна виміряти радіальну складову швидкості переміщення цілі відносно лазерної локаційної системи.

Вхідні лазерні локаційні сигнали, містять обмежену інформацію о координатах цілі, за якою спостерігають і їх похідних. Первинна обробка сигналів в лазерних локаційних системах дозволяє визначати координати об'єкта та їх похідні, ефективність цієї обробки значно залежить від тривалості спостереження цілі. При досить тривалому спостереженні цілі аналіз зміни дальності і кутових координат дозволяє знайти обидві складові лінійної швидкості відносно лазерної локаційної системи і кутову швидкість лінії візування об'єкта локації, які необхідні для визначення траєкторії об'єкта.

Тимчасова і просторова когерентність випромінювання лазера забезпечує стабільність частоти і високу спектральну щільність випромінювання, що перевищує спектральну щільність всіх відомих джерел випромінювання. Дуже висока частота лазерного випромінювання дозволяє отримати дуже вузькі діаграми спрямованості випромінювання навіть при дуже малих розмірах випромінювачів. Можливість формування надкоротких імпульсів відкриває широкі можливості в використанні лазерів в системах локації. Зазначені властивості лазерного випромінювання дозволяють створювати ефективні лазерні локаційні системи, зокрема оптичні локатори для спостереження віддалених об'єктів.

Діаграми спрямованості лазерної локаційної системи не мають бічних пелюсток, які можуть привести до супроводу помилкових цілей. Мала розбіжність випромінювання лазера дозволяє концентрувати енергію його випромінювання в строго заданих напрямках, забезпечувати просторову скритність і високу перешкодозахищеність лазерної локаційної системи [19].

Використання лазерів для локації значно підвищує точність визначення дальності і кутових координат об'єктів порівняно з локаційними системами

радіодіапазону. Поряд з незаперечними перевагами перед радіолокацією оптична локація має недоліки, які зумовлені розсіюванням лазерного випромінювання в земній атмосфері, що в багатьох випадках не дозволяє реалізувати високу кутову роздільну здатність. Крім цього, різні світлові перешкоди в значній мірі ускладнюють виділення корисного лазерного локаційного сигналу в приймальному пристрої.

До специфічних особливостей, які властиві лазерній локації, відносяться: просторова розподіленість більшості об'єктів локації для лазерної локаційної системи зважаючи на малу тривалість зонduючого імпульсу і вузькості діаграм спрямованості передавальної і приймаючої оптичних антен; залежність точності багатьох локаційних вимірювань при роботі лазерної локаційної системи в земній атмосфері від умов розповсюдження оптичних хвиль; сильне ослаблення лазерного випромінювання і відображених лазерних сигналів в несприятливих погодних умовах — під час дощу, снігу і туману, що обмежує дальність дії лазерної локаційної системи; великий час огляду і складність наведення на об'єкт локації вузьких діаграм спрямованості лазерної локаційної системи; обмеженість ефективності виявлення лазерних сигналів в лазерній локаційній системі, зумовлено не тільки шумами, але і квантовою природою самих сигналів; використання дискретного способу реєстрації слабких лазерних сигналів методом рахунку окремих фотонів.

Узагальнена схема лазерної локаційної системи показана на рис. 2.7. Відповідно до цієї схеми лазерне випромінювання джерела проходить через середовище поширення випромінювання, послаблюється в ній і потрапляє на об'єкт локації. Частина лазерного випромінювання відбивається об'єктом локації в зворотному напрямку.



Рисунок 2.7 — Узагальнена схема лазерної локаційної системи

Відбитий сигнал уловлюється приймальною оптичною антеною і за допомогою приймальної оптики збирається і прямує на фотоприймач, який перетворює його в електричний сигнал, який пропорційний інтенсивності прийнятого лазерного випромінювання. Далі цей сигнал піддається посиленню і відповідній обробці з метою отримання інформації про дальність до об'єкта локації, його кутових координат тощо. При цьому, щоб витягти необхідну інформацію про об'єкт локації, потрібно використовувати спеціальні методи вимірювання та алгоритми обробки, так як значення лазерного сигналу, що реєструється приймачем оптичного локатора, залежить від характеристик земної атмосфери на трасі поширення випромінювання, відображаючих властивостей об'єкта локації, параметрів джерела і приймача випромінювання і геометричної схеми локації [19].

У загальному випадку процес виявлення лазерного сигналу і вимірювання його параметрів відбувається при різних оптичних перешкод (фонових, флуктуаційних, зворотне розсіювання) в умовах, коли корисний сигнал значно ослаблений і спотворений через вплив середовища поширення випромінювання.

Відповідно до розташування в оптичному локаторі джерела і приймача випромінювання, існують дві основні геометричні схеми лазерної локації — бістатична і моностатична.

В бістатичній схемі локації джерело и приймач випромінювання рознесені на помітну відстань для того, щоб домогтися хорошої просторової роздільної здатності.

На рис. 2.8 показана схема роботи бістатичної локації.

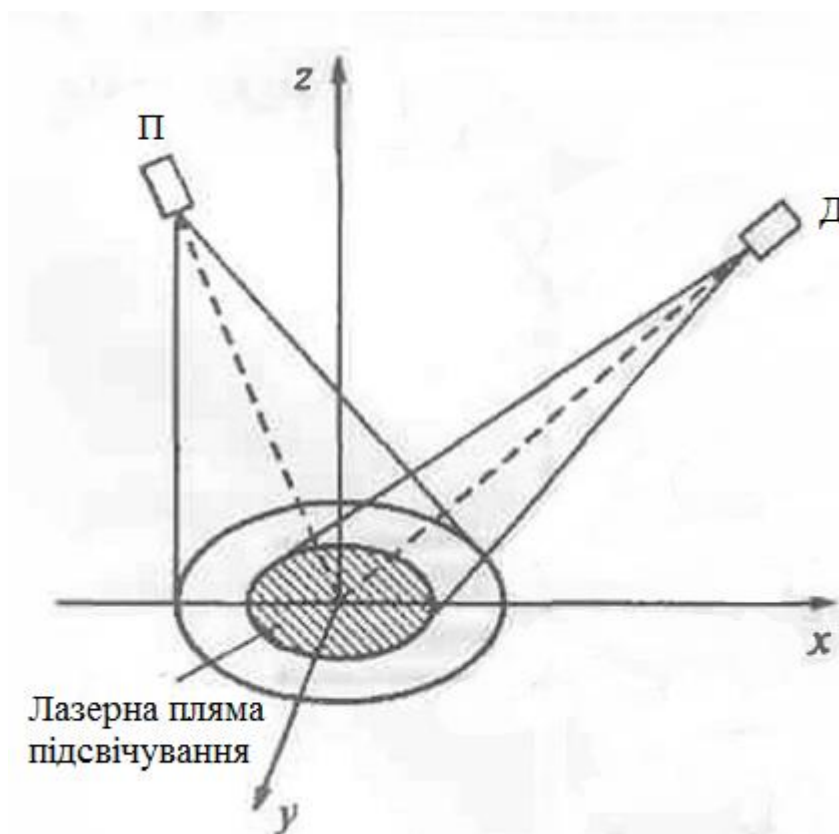


Рисунок 2.8 — Бістатична схема лазерної локації

При роботі оптичного локатора по бістатичній схемі лазерної локації поверхні джерело $Д$, яке розташовано в точці $(x_Д, y_Д, z_Д)$ земної системи координат x, y, z опромінює деяку ділянку поверхні. Розсіяне поверхнею випромінювання реєструється приймачем $П$, який розташований в точці $(x_П, y_П, z_П)$ земної системи координат.

На рис. 2.9 показано приклад використання бістатичної схеми локації в військових цілях для високоточного наведення снарядів, ракет, бомб.

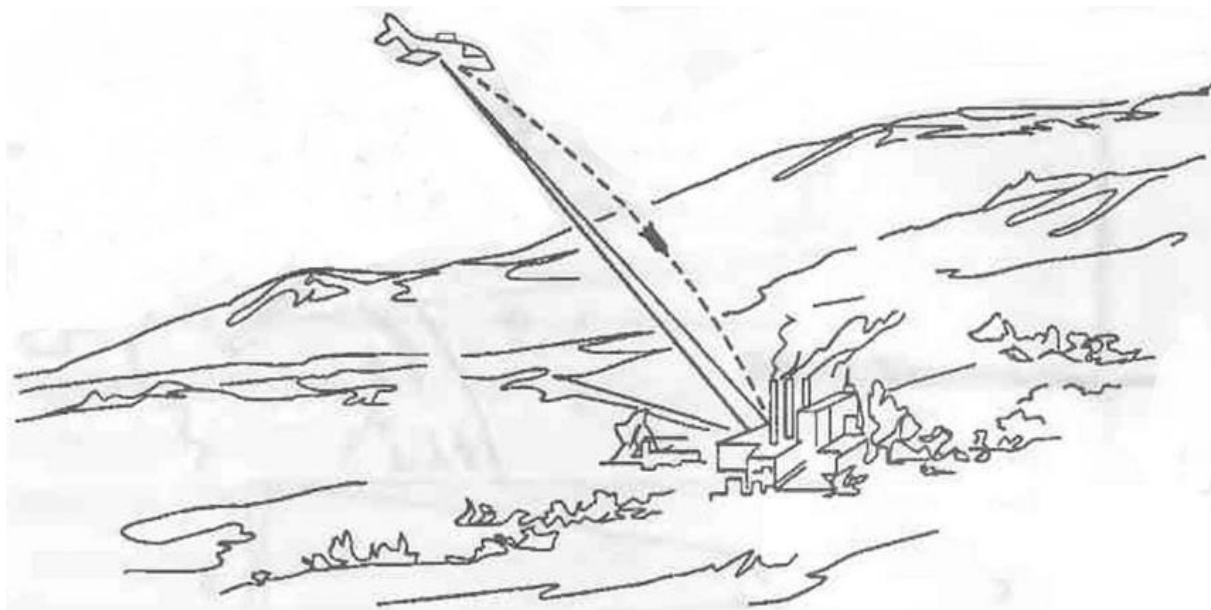


Рисунок 2.9 — Приклад використання бістатичної схеми лазерної локації

На рис. 2.9 представлена напівактивна лазерна локаційна система наведення, в якій лазерне підсвічування об'єкта локації здійснюється з борту літака.

В моностатичній схемі локації джерело і приймач випромінювання конструктивно встановлюються в одному місці.

Моностатичний оптичний локатор з суміщеними джерелом і приймачем випромінювання може мати як коаксіальне, так і біаксіальне розташування оптичних вісей джерела і приймача.

В коаксіальній системі оптична вісь лазерного пучка джерела випромінювання збігається з оптичною віссю приймача. Один із типів оптичної схеми моностатичного оптичного локатора при коаксіальній конфігурації вісей показано на рис. 2.10.

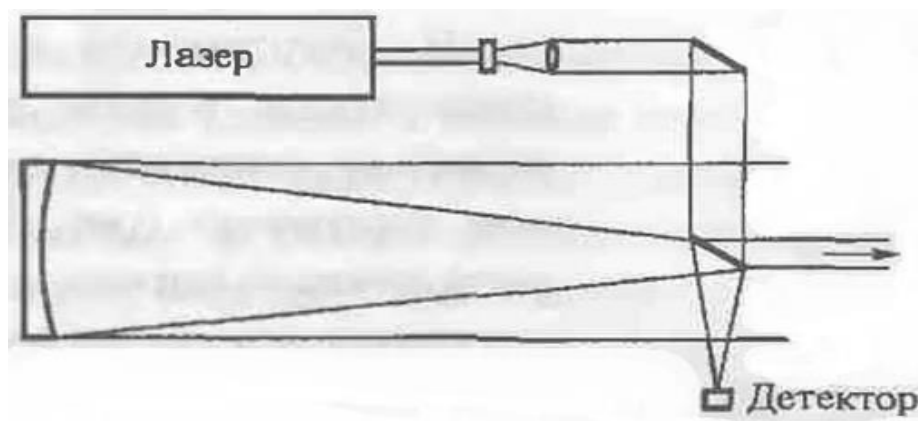


Рисунок 2.10 — Оптична схема моностатичного оптичного локатора з коаксіальною конфігурацією вісей

На рис. 2.10 відбувається роздільне поширення променя лазерного джерела і випромінювання, що приймається.

В біаксіальній системі лазерний пучок входить до поля зору приймача тільки на деякій, заздалегідь певній відстані (рис. 2.11). Така схема розташування оптичних вісей джерела випромінювання і приймача дозволяє уникнути насичення фотодетектора приймача, що викликане зворотнім розсіюванням випромінювання в ближній зоні локатора.

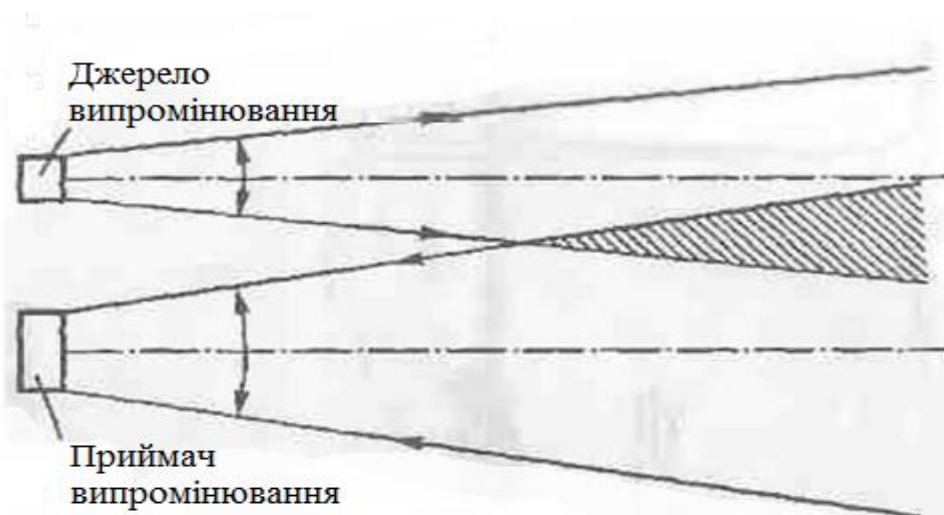


Рисунок 2.11 — Моностатичний оптичний локатор з біаксіальною конфігурацією оптичних вісей

Створення лазерної локаційної системи, яка працює в умовах земної атмосфери, неможливо без врахування властивостей атмосфери. Атмосфера спотворює лазерні сигнали і викликає появу різного роду перешкод на вході приймаючого пристрою, при цьому обмежує технічні можливості лазерної локаційної системи. Тому слід підбирати довжину хвилі лазера і враховувати властивість атмосфери як «вікна прозорості» [19].

Для довжини хвилі $\lambda < 0,2$ мкм атмосфера повністю непрозора через поглинання в смугах молекулярного кисню. В діапазоні значень довжини хвилі від 0,2 мкм до 20,0 мкм поглинання атмосферними газами обумовлено коливально-обертальними смугами. В середній інфрачервоній області $\lambda = 2,5—20$ мкм розташовані сильні лінії поглинання багатьох газів. В ближній інфрачервоній області $\lambda = 0,7—2,5$ мкм лінії поглинання слабкіші. У видимій області $\lambda = 0,4—0,7$ мкм лише декілька молекул мають лінії поглинання. В ультрафіолетовій області $\lambda = 0,25—0,40$ мкм лише двоатомні і невеликі багатоатомні молекули мають характерну дозовану структуру смуг.

Представлення про «вікна прозорості» атмосфери дає рис. 2.12.

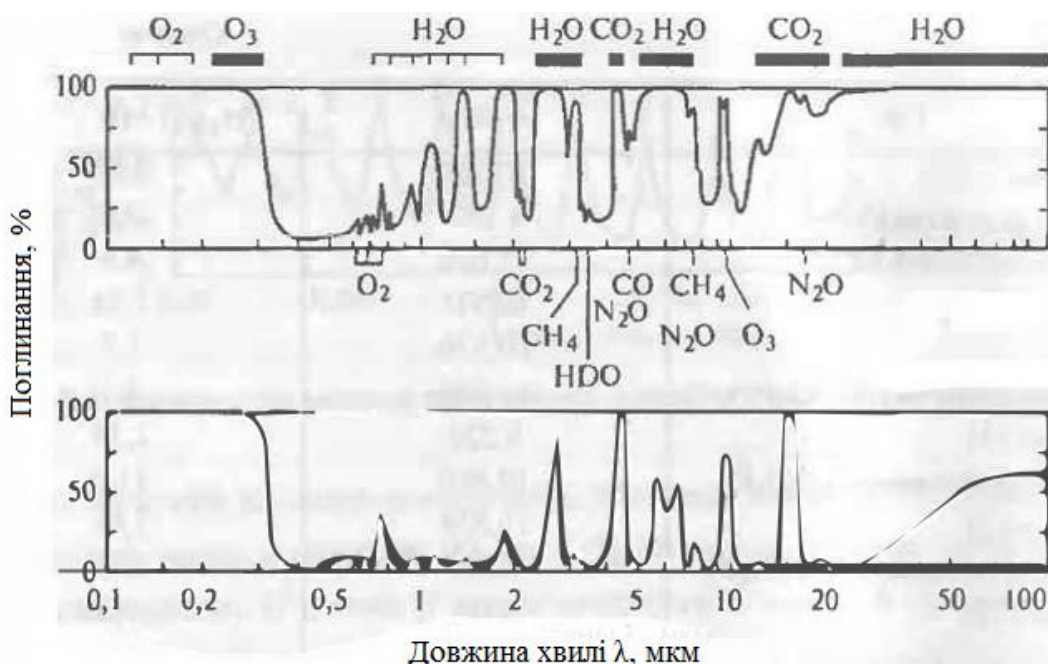


Рисунок 2.12 — Спектр поглинання сонячного випромінювання

Найбільш перспективними довжинами хвиль для лазерної локації є такі, котрі потрапляють в проміжки між смугами поглинання. Ділянки спектра з високим коефіцієнтом пропускання називають «вікнами прозорості» атмосфери. Найбільше значення мають «вікна прозорості» оптичного діапазону 0,95—1,06; 1,2—1,3; 1,5—1,8; 2,1—2,4; 3,3—4,0; 8,0—12,0 мкм.

На рис. 2.12 показані два запису спектра поглинання сонячного випромінювання з малою спектральною роздільною здатністю. Верхня крива характеризує спектр поглинання сонячного випромінювання, яке досягає поверхні Землі. Нижня крива отримана при тих же умовах, але запис проводився на висоті 11 км. Також указані положення центрів основних смуг поглинання атмосферних газів.

Якщо записати спектр поглинання сонячного випромінювання за допомогою спектрометра з високою роздільною здатністю, то кожна зображена смуга поглинання і кожне «вікно прозорості» будуть складатися з багатьох тисяч окремих ліній поглинання. При цьому в центрі смуг поглинання будуть сильні лінії, а в «вікнах прозорості» — слабкі.

В межах «вікон прозорості» атмосфери, які зображені на рис. 2.12 є багато «мікрівікон прозорості» між слабкими сусідніми лініями. Саме «мікрівікна прозорості», які розташовані поблизу довжин хвиль випромінювання розроблених лазерів і представляють найбільший інтерес для задач лазерної локації. Кількісне визначення енергетичних втрат випромінювання лазерних джерел за рахунок поглинання атмосферними газами вимагають детальних знань спектрів випромінювання джерел і спектрів поглинання газів.

Необхідно мати на увазі, що випромінювання лазерів може сильно поглинатися в «вікнах прозорості» атмосфери, оскільки тут знаходиться велике число тонких, але інтенсивних ліній поглинання. Наявність таких ліній майже не позначається на широкосмугове випромінювання, але при збігу такої лінії поглинання зі спектральною лінією випромінювання лазера може відбуватися сильне поглинання [19].

Оптичні локатори в основному складаються з декілька основних блоків таких як лазерний передавальний пристрій, оптико-електронний приймальний пристрій, система первинної обробки локаційних даних, а також система наведення і управління. В оптичні локатори, які стежать за об'єктом додається система автоматичного супроводу цілі.

В залежності від конкретних задач для яких використовується оптичний локатор його конструкція може змінюватися, можуть змінюватися його окремі блоки і вузли.

Існує багато різних оптичних локаційних систем, але у всіх них відсутня функція розпізнавання образів. Ми пропонуємо додати в оптичну локаційну систему функцію розпізнавання образів, яка буде використовувати спіральні пучки для вирішення задач розпізнавання.

На рис. 2.13 показана структурна схема оптичного локатора з функцією розпізнавання образів, в якій використовується лазер в якості передавача.

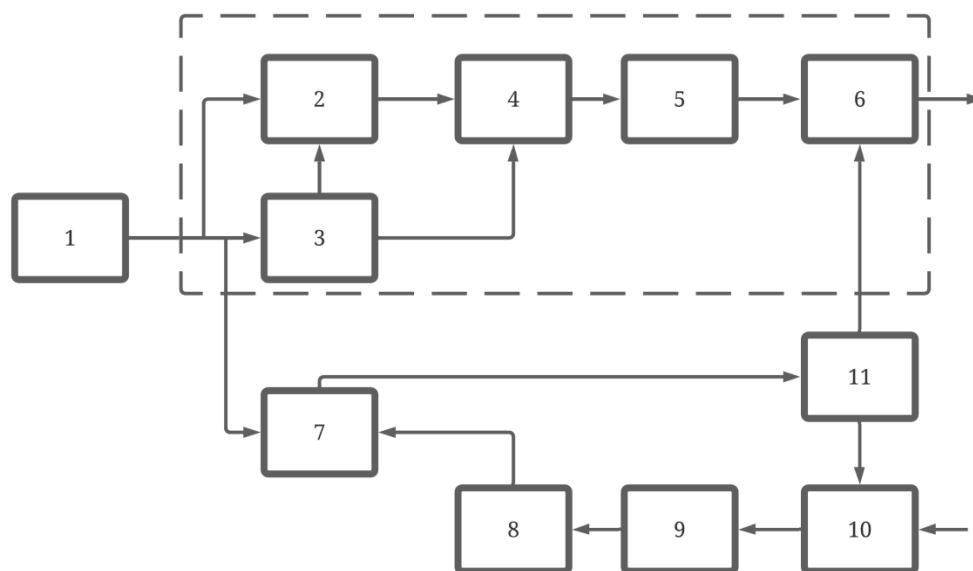


Рисунок 2.13 — Схема оптичного локатора з функцією розпізнавання образів

Синхронізатор локаційної системи 1 виробляє сигнали управління, які поступають на передавальні і приймаючі пристрої. Лазерний передавальний

пристрій призначений для генерації когерентних коливань хвиль оптичного діапазону, їх модуляції за певним законом і випромінювання зондуючого сигналу в заданому напрямку і певному куті, який характеризує спрямованість лазерного передавального пристрою. Цей пристрій представляє собою сам лазер 2, системи управління часовими 3, енергетичними 4 характеристиками випромінювання лазера, блок підготовки спіральних пучків 5, передавальну оптичну систему 6, яка включає в себе колімуючі і скануючі блоки. Невелика частина імпульсу лазера використовується для виділення моменту початку відліку часу і калібрування інтенсивності, а також для контролю довжини хвилі лазерного випромінювання.

Випромінювання, яке відбите від цілі потрапляє на приймаючу оптичну систему 10, потім на блок аналізу отриманої інформації 9, а потім на фотоприймаючий пристрій 8 і пристрій обробки сигналу 7, яке приймає рішення про наявність або відсутність цілі, управляє режимом роботи антенних систем, переводячи їх з режиму пошуку в режим автосупроводу цілі через систему наведення 11.

Основними елементами приймаючої оптики в оптичних локаторах є відображаючі телескопи систем Ньютона, Грегорі, Касегрена. Розмір апертури приймача сильно залежить від об'єкта локації і відстані, з якої проводиться локація [20].

Випромінювання, яке зібране приймаючою оптикою, перш ніж потрапити в блок детектування, проходить через спектроаналізатор. Він служить для виділення інтервалу довжини хвиль, в якому проводиться спостереження, а також для відсічення фонового випромінювання.

Вибір фотодетектора оптичного локатора визначається спектральною областю спостереження, яка залежить від характеру об'єкта локації і типу лазера, який використовується.

Існує два основних методи прийому відбитих від цілі сигналів. Метод прямого детектування — фотоприймаючий пристрій реагує тільки на енергію сигналу, при цьому не сприймаючи інформацію про фазу несучої частоти

випромінювання. Метод фотозміщення — відноситься до когерентних методів прийому.

В даний час майже всі оптичні локатори для роботи використовують метод прямого детектування тому, що він найбільш легко реалізується технічно.

ВИСНОВКИ

В атестаційній роботі були проаналізовані методи аналізу оптичних сигналів і зображень, а також шляхи їх розвитку. Показані найбільш популярні методи і їх застосування, визначені слабкі та сильні сторони цих методів.

В роботі було виділено контурний аналіз, який використовує спіральні пучки світла для вирішення завдань розпізнавання образів. Показано, що спіральні пучки можуть застосовуватися в задачах розпізнавання і класифікації контурів зображення. Математичний апарат спіральних пучків долає класичні складності контурного аналізу але і має недолік перед апаратом кореляційних функцій.

Методи аналізу оптичних сигналів і зображень, які були розглянуті в роботі показали, що вони не універсальні. На основі цього було запропоновано розробити оптичну локаційну систему з функцією розпізнавання об'єктів, яка буде використовувати спіральні пучки для вирішення задач розпізнавання. Побудована блок-схема такої локаційної системи. Зображені дві основні геометричні схеми лазерної локації. Відзначена важливість враховувати «вікна прозорості» при створенні оптичної локаційної системи.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Вейвлет-анализ: Основы теории и примеры применения / Н.М. Астафьева // Успехи физических наук. 1996. Т. 166, №11. С. 1145—1170.
2. Дремин И. М., Иванов О. В., Нечитайло В. А. Вейвлеты и их использование // Успехи физических наук. 2001. Т. 171, №5. С. 467—500.
3. Яковлев А. Н. Введение в вейвлет-преобразование. Новосибирск: изд-во НГТУ, 2003. 104 с.
4. Сырямкин В. И., Шидловский В. С. Корреляционно-экстремальные радионавигационные системы. Томск: изд-во Том. ун-та, 2010. 316 с.
5. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: пер. с англ. Москва: Мир, 1982. Кн. 1. 312 с.
6. Пытьев Ю. П., Чуличков А. И. Методы морфологического анализа изображений. Москва: Физматлит, 2010. 336 с.
7. Ryt'ev Y. P. Morphological Image Analysis // Pattern Recognition and Image Analysis. Vol. 3, №1. 1993. P. 19—28.
8. Сирота А. А., Соломатин А. И. Статистические алгоритмы обнаружения границ объектов на изображениях // Вестник ВГУ. 2008. №3. С. 58—64.
9. Heikkila M., Pietikainen M. A texture-based method for modeling the background and detecting moving objects // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2006. Vol. 28, №4. P. 657—662.
10. Возможности распараллеливания алгоритмов выделения контура по технологии CUDA: материалы IV междунар. науч.-практ. конф., / редкол.: Чудовская А. К. Донецк, 2010. С. 67—70.
11. Canny J. F. Finding edges and lines in images // Master's thesis. MIT, Cambridge, USA, 1983. P. 50—67.
12. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Москва: Техносфера, 2005. 1072 с.

13. Фурман Я. А. Введение в контурный анализ и его приложения к обработке изображений и сигналов. Москва: Физматлит, 2003. 592 с.
14. Haykin S. Neural Networks. A Comprehensive Foundation. New Jersey: Pearson Education, 2009. 864 p.
15. Волостников В. Г., Кишкин С. А., Котова С. П. // Квантовая электроника, 2013. Т. 43, №7. С. 646—650.
16. Волостников В. Г., Кишкин С. А. Котова С. П. // Компьютерная оптика, 2014. Т. 38, №3. С. 476—481.
17. Абрамочкин Е. Г., Волостников В. Г. Современная оптика гауссовых пучков. Москва: Физматлит, 2010. 184 с.
18. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения: Физматкнига / Визильтер Ю. В. и др., 2010. 672 с.
19. Основы импульсной лазерной локации: учеб. пособие для вузов / Козинцев В. И., Белов М. Л., Орлов В. М. и др.; под ред. В. Н. Рождествина. Москва: изд-во МГТУ им. Баумана, 2006. 512 с.
20. Курской Ю. С. Топологическая идентификация оптических систем. // Радиотехника. 2019. Вып. 196. С. 51—54.