

Національний університет
“Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка”

National University
“Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”

СИСТЕМИ управління, навігації та зв'язку

Control, navigation and communication systems

Випуск 2 (76)

Issue 2 (76)

Щоквартальне видання

Засноване у 2007 році

У журналі відображені результати наукових досліджень з розробки та удосконалення систем управління, навігації та зв'язку у різних проблемних галузях.

Засновник і видавець:

Національний університет
“Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка”

Телефон:

+38 (050) 302-20-71

E-mail редколегії:

kuchuk_nina@ukr.net

Інформаційний сайт:

<http://journals.nupp.edu.ua/sunz>

Quarterly

Founded in 2007

Journal represent the research results on the development and improvement of control, navigation and communication systems in various areas

Founder and publisher:

National University
“Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”

Phone:

+38 (050) 302-20-71

E-mail of the editorial board:

kuchuk_nina@ukr.net

Information site:

<http://journals.nupp.edu.ua/sunz>

За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор

*Журнал індексується міжнародними наукометричними базами: Index Copernicus (ICV = **82.05**),
General Impact Factor, Google Scholar, Academic Resource Index, Scientific Indexed Service*

*Затверджений до друку Вченою Радою Національного університету
“Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка” (протокол від 30 квітня 2024 року № 5).*

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 24464-14404 ПР від 27.03.2020 р.

Включений до “Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії” до категорії Б – наказами МОН України від 17.03.2020 № 409 та від 09.02.2021 № 157

Полтава • 2024

Редакційна колегія

Головний редактор:

КОСЕНКО Віктор Васильович
(*д-р техн. наук, проф., Полтава, Україна*).

Заступники головного редактора:

НЕСТЕРЕНКО Катерина Сергіївна
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*);
ШЕФЕР Олександр Віталійович
(*д-р техн. наук, проф., Полтава, Україна*).

Члени редакційної колегії:

БЛАУНШТЕЙН Натан Олександрович
(*д-р техн. наук, проф., Ізраїль*);
БОГОМ'Я Володимир Іванович
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*);
ВАРБАНЕЦЬ Роман Анатолійович
(*д-р техн. наук, проф., Одеса, Україна*);
ВЕСОЛОВСЬКИЙ Кшиштоф
(*д-р техн. наук, проф., Польща*);
ГАВРИЛКО Євген Володимирович
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*);
ГАШИМОВ Ельшан Гіяс огли
(*д-р наук, проф., Баку, Азербайджан*);
ГЛИВА Валентин Анатолійович
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*);
ДАКІ Олена Анатоліївна
(*д-р техн. наук, доц., Ізмаїл, Україна*);
КОВАЛЕНКО Андрій Анатолійович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);
КОЛОМІЙЦЕВ Олексій Володимирович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);
КОРОБКО Богдан Олегович
(*д-р техн. наук, доц., Полтава, Україна*);
КРАСНОБАЄВ Віктор Анатолійович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);
КУЧУК Георгій Анатолійович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);
ЛЕВЧЕНКО Лариса Олексіївна
(*д-р техн. наук, доц., Київ, Україна*);
ЛУКОВА-ЧУЙКО Наталія Вікторівна
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*);
ЛУНТОВСЬКИЙ Андрій Олегович
(*д-р техн. наук, проф., Німеччина*);
МИРОНЦОВ Микита Леонідович
(*д-р ф.-м. наук, с.н.с., Київ, Україна*);
ПИСАРЧУК Олексій Олександрович
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*);
ПОДКОПАЄВ Сергій Вікторович
(*д-р техн. наук, проф., Покровськ, Україна*);
СЕМЕНОВ Сергій Геннадійович
(*д-р техн. наук, проф., Краків, Польща*);
ТИМОЦУК Олена Миколаївна
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*);
ТРИСТАН Андрій Вікторович
(*д-р техн. наук, проф., Чернігів, Україна*);
ФРОЛОВ Євгеній Андрійович
(*д-р техн. наук, проф., Полтава, Україна*);
ЧОРНИЙ Олексій Петрович
(*д-р техн. наук, проф., Кременчук, Україна*);

Відповідальний секретар:

КУЧУК Ніна Георгіївна
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*).

Технічні секретарі:

ЗАХАРЧЕНКО Руслан Володимирович
(*канд. техн. наук, доц., Полтава, Україна*);
ПЕТРОВСЬКА Інна Юріївна
(*д-р філософії, Харків, Україна*).

Editorial board

Editor-in-Chief:

Viktor KOSENKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Poltava, Ukraine*).

Associates editor:

Katerina NESTERENKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*);
Oleksandr SHEFER
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Poltava, Ukraine*).

Editorial board members:

Nathan BLAUNSTEIN
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Israel*);
Volodymyr BOHOMYA
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*);
Roman VARBANETS
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Odesa, Ukraine*);
Krzysztof WESOŁOWSKI
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Poland*);
Yevhen HAVRILKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*);
Elshan Giyas oglu HASHIMOV
(*Dr. Sc., Prof., Baku, Azerbaijan*);
Valentyn GLYVA
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*);
Olena DAKI
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Izmail, Ukraine*);
Andriy KOVALENKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*);
Oleksii KOLOMIITSEV
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*);
Bohdan KOROBKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Poltava, Ukraine*);
Viktor KRASNOBAYEV
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*);
Heorhii KUCHUK
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*);
Larysa LEVCHENKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kyiv, Ukraine*);
Natalia LUKOVA-CHUIKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*);
Andryy LUNTOVSKYY
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*);
Mykyta MYRONTSOV
(*Dr. Sc. (Ph.&M.), Senior Res., Kyiv, Ukraine*);
Oleksii PYSARCHUK
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*);
Serhii PODKOPAIEV
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Pokrovsk, Ukraine*);
Serhii SEMENOV
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Krakow, Poland*);
Olena TYMOSHCHUK,
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*);
Andrii TRYSTAN
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Cherkasy, Ukraine*);
Yevhen FROLOV
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Poltava, Ukraine*);
Oleksii CHORNYI
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kremenchuk, Ukraine*).

Responsible secretary:

Nina KUCHUK
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*).

Technical secretaries:

Ruslan ZAKHARCHENKO
(*PhD (Tech.), Ass. Prof., Poltava, Ukraine*);
Inna PETROVSKA
(*PhD (Tech.), Kharkiv, Ukraine*).

З М І С Т

НАВІГАЦІЯ ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

<i>Гурін А. П., Худов Г. В., Масленко О. В., Минко П. Є., Соломоненко Ю. С.</i> Метод пошуку об'єктів інтересу за спектральними ознаками на зображеннях з активної оптико-електронної системи спостереження	5
<i>Нечаусов А. С., Горелик С. І., Андрєєв С. М., Лахтіна А. В.</i> Методика аналізу зон пішої доступності укриттів залежно від типу балістичних снарядів за допомогою сучасних засобів геопросторового аналізу	11

АВТОМОБІЛЬНИЙ, РІЧКОВИЙ, МОРСЬКИЙ ТА АВІАЦІЙНИЙ ТРАНСПОРТ

<i>Головань А. І.</i> Дослідження процесів адаптивізації системи технічного обслуговування за результатами зміни стану суднових технічних засобів	18
<i>Савчук В. П., Зінченко Д. О., Дзигар А. К., Сатулов А. І.</i> Порівняльний аналіз напружено-деформованого стану модернізованих поршнів малообертових суднових двигунів WARTSILA RT-FLEX96C та RTA96C	24
<i>Симбірський Г. Д., Плехова Г. А., Костікова М. В., Очеретенко С. В.</i> Застосування інформаційних технологій та мікропроцесорної техніки для проведення вимірювань у транспортних засобах	28

УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

<i>Вжеснєвський М. О., Чала О. О.</i> Автоматизація внутрішньо-складських виробничих логістичних процесів для впровадження концепції INDUSTRY 4.0: енергоощадливість, продуктивність, мобільність, модульність, автономність	34
<i>Запорожець О. В., Штефан Н. В., Яценко І. С.</i> Вимірювання якості програмного забезпечення на основі стандартів SQuaRE	39
<i>Леві Л. І., Бороздін М. К., Ястреба О. С.</i> Застосування комбінаторно-графового підходу до оперативного управління інженерними мережами	44
<i>Trystan A., Zhukov D., Bereznyi A.</i> Models of the system of collective self-organisation of unmanned aerial vehicles using artificial intelligence	47

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Аль-Амморі Алі, Клочан А. Є., Дегтярьова А. О., Шкурко О. П., Аль-Амморі Х. А.</i> Інформаційна модель аналізу рожеж силової установки повітряних суден	53
<i>Baranenko R., Mostova A., Sas N., Kurbanova O.</i> CRM tools to ensure the protection of intellectual property rights	60
<i>Бовчалюк С. Я., Коломоєць Б. М., Коломоєць В. С., Гаращенко Я. В.</i> Розвиток моделі та структури керуючих пристроїв з паралельною архітектурою	64
<i>Бульба С. С., Соловійова О. І., Семеренко Ю. О.</i> Дослідження алгоритмів пошуку оптимального шляху	67
<i>Волк М. О., Курочкін В. С., Запорожченко А. П., Паронікян П. А.</i> Гібридний метод розподілу ресурсів в хмарних системах	70
<i>Hulevych M.</i> CIDER : assisted automation tool for C++ libraries testing	74
<i>Дяченко Д. О., Кайда В. В., Левченко А. О., Міхаль О. П.</i> Методи функціонування пристроїв IoT з використанням машинного навчання	78
<i>Єр'оміна Н. С., Колтун Ю. М., Беспалий А. В., Шматько Ю. М.</i> Аналіз сучасних методів сегментації зображень в інтересах навігації мобільних роботів	82
<i>Zhovtonizhko D., Zubenko V., Mozhaev O., Huk A.</i> Study of local image features detectors	87
<i>Заковоротний О. Ю., Хулап А. В.</i> Оптимізація обчислення нейромереж за допомогою використання цілочисельної арифметики	90
<i>Залеський В. Д., Івановський П. С., Федорченко В. М.</i> Сучасні інструменти оркестрації даних для побудови конвеєрів автоматичної обробки даних	95
<i>Іващенко Г. С., Онищенко О. І., Бондаренко М. Е., Здорик Н. В.</i> Методи рішення задачі комівояжера на основі обчислювального інтелекту	99
<i>Каргін А. О., Гієвський Д. О., Олійник Д. Г.</i> Безперервне планування і ситуаційне управління як завдання штучного інтелекту що відчуває	106
<i>Кожевніков Г. К., Черниш Д. С., Матяш О. Ю.</i> Онтологічний підхід до перерозподілу навантаження Інтернету Речей	111
<i>Ладоня В. Г., Мелешко Є. В., Якименко М. С.</i> Розробка та програмна реалізація інтелектуального вебсервісу для вивчення іноземної мови методом інтервальних повторень	115
<i>Mezin D., Kuchuk N., Lyashova A., Partyka S., Lysytsia D.</i> The method of observing moving objects	122
<i>Мінухін С. В., Башкіров М. О.</i> Дослідження ефективності методів генерації тестових даних в реляційних базах даних	127

<i>Николаєнко Д. С., Філімончук Т. В., Майстренко Г. В.</i> Модель обробки спектральних даних астрономічних об'єктів	135
<i>Попович Б. Р., Заволодько Г. Е.</i> Впровадження штучного інтелекту в TestHUB	138
<i>Radchenko I., Shekhovtsov O., Kovalenko A., Sytnyk O.</i> Formation of clusters on single-board computers in IoT networks	141
<i>Skakalina O., Kapiton A.</i> Comparative analysis of the application of heuristic algorithms for solving the TSP problem	144
<i>Steblyanko B., Ni O., Kuchuk H., Volk D.</i> Fuzzy interactive clustering method	152
<i>Шматко О. В., Сальніков С. С.</i> Модель децентралізованої системи обміну електричними медичними картками на основі технології блокчейн	155
<i>Юдін О. В., Шипунов М. Ю.</i> Методи протидії автоматизованому збору інформації з вебсторінок	163

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

<i>Кузьменко О. Ю., Кузьменко В. С.</i> Основи охорони праці на морському транспорті	169
<i>Столітній А. В.</i> Впровадження Е-системи під час нагляду за додержанням законів при умовно-достроковому звільненні засуджених від покарання або його заміни на більш м'яке	173
<i>Тихенко О. М., Зозуля Л. А., Зозуля С. В.</i> Композиційні безсвинцеві матеріали для захисту від іонізуючих та неіонізуючих електромагнітних полів та випромінювань	179
<i>Ченчева О. О.</i> Математичне моделювання процесів осадження пилу карбонових композитів при штучній іонізації повітря робочої зони	183

ЗВ'ЯЗОК, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

<i>Почерняєв В. М., Магомедова М. С., Сивкова Н. М.</i> Плоска фазована антенна решітка для мобільних цифрових станцій зв'язку «точка-багатоточка» НВЧ діапазону	187
--	-----

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК	191
----------------------------------	-----

Організації авторів

Варненський університет менеджменту, Варна, Болгарія
 Федеральний інститут Парани, Парана, Бразилія
 Державний НДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Черкаси, Україна
 Київський фаховий коледж зв'язку, Київ, Україна
 Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук, Україна
 Міжрегіональна академія управління персоналом, Київ, Україна
 Науково-дослідний інститут воєнної розвідки, Київ, Україна
 Національна академія Служби безпеки України, Київ, Україна
 Національний авіаційний університет, Київ, Україна
 Національний аерокосмічний університет імені М. С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна
 Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна
 Національний транспортний університет, Київ, Україна
 Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна
 Національний юридичний університет імені Ярослава Мудрого, Харків, Україна
 Одеський національний морський університет, Україна
 Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна
 Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна
 Харківський національний економічний університет імені С. Кузнеця, Харків, Україна
 Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна
 Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна
 Уманський національний університет садівництва, Умань, Україна
 Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна
 Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна

Authors affiliation

Varna University of Management, Varna, Bulgaria
 Instituto Federal do Parana, Parana, Brazil
 SR Institute of Testing and Certification of Weapons and Military Equipment, Cherkasy, Ukraine
 Kyiv College of Communication, Kyiv, Ukraine
 Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine
 Interregional Academy of Personnel Management, Kyiv, Ukraine
 Defence Intelligence Research Institute, Kyiv, Ukraine
 National Academy of Security Services of Ukraine, Kyiv, Ukraine
 National Aviation University, Kyiv, Ukraine
 National Aerospace University named after M.E. Zhukovsky "KHAІ", Kharkiv, Ukraine
 National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine
 National Transport University, Kyiv, Ukraine
 National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava, Ukraine
 Yaroslav Mudryi National Law University, Kharkiv, Ukraine
 Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine
 Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
 Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine
 S. Kuznets Kharkiv National Economic University, Kharkiv, Ukraine
 Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine
 Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
 Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine
 Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine
 Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Навігація та геоінформаційні системи

УДК 621.331

doi: 10.26906/SUNZ.2024.2.005

А. П. Гурін¹, Г. В. Худов¹, О. В. Масленко², П. Є. Минко³, Ю. С. Соломоненко¹

¹ Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

² Науково-дослідний інститут воєнної розвідки, Київ, Україна

³ Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

МЕТОД ПОШУКУ ОБ'ЄКТІВ ІНТЕРЕСУ ЗА СПЕКТРАЛЬНИМИ ОЗНАКАМИ НА ЗОБРАЖЕННЯХ З АКТИВНОЇ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Анотація. Предметом вивчення в статті є метод пошуку об'єктів інтересу за спектральними ознаками на основі активної оптико-електронної системи, у якій в якості джерела випромінювання застосовується набір багатоспектральних лазерних випромінювачів, з подальшою комп'ютерною обробкою отриманого зображення. **Метою** є розробка методу пошуку об'єктів інтересу із застосуванням активної оптико-електронної системи з подальшою комп'ютерною обробкою отриманого зображення. **Завдання:** аналіз особливостей побудови і функціонування активних оптико-електронних систем з динамічною спектральною обробкою; розробка методу пошуку об'єктів за спектральними ознаками активною оптико-електронною системою з комп'ютерною обробкою зображень; розробка математичної моделі, яка дозволяє прийняти рішення про наявність об'єкта інтересу шляхом визначення ділянок зображення з елементами, що мають найбільше значення яскравості. Використовуваними **методами** є: методи цифрової обробки зображень, методи математичного моделювання, методи теорії оптимізації, аналітичні та емпіричні методи аналізу зображень після їх цифрової обробки. Отримані такі **результати**. Проаналізовано особливості побудови і функціонування активних оптико-електронних систем з динамічною спектральною обробкою. Розроблено метод пошуку об'єктів за спектральними ознаками активною оптико-електронною системою з комп'ютерною обробкою зображень. Розроблена математична модель, яка дозволяє прийняти рішення про наявність об'єкта інтересу шляхом визначення ділянок зображення з елементами, маючими найбільше значення яскравості. **Висновки.** Розроблено метод пошуку об'єктів за спектральними ознаками активною оптико-електронною системою з комп'ютерною обробкою зображень. Особливістю розробленого методу є застосування на початковому етапі активної оптико-електронної системи для вимірювання спектрального коефіцієнту відбиття досліджуваної ділянки, який в подальшому разом зі спектральними характеристиками об'єкта інтересу, використовується в обчисленні апаратної функції (вектора фільтру) для забезпечення підвищення контрасту зображення об'єкта інтересу. На заключному етапі проводиться комп'ютерна обробка отриманого зображення з метою визначення ділянки, на якій розміщено об'єкт інтересу, за елементами зображення з найбільшим значенням яскравості. Проведено математичне моделювання розробленого методу пошуку об'єкта інтересу в зоні спостереження. За результатами математичного моделювання рішення про наявність об'єкта інтересу було прийнято для ділянок, складові елементи яких мають найвищі показники яскравості.

Ключові слова: активна оптико-електронна система, комп'ютерна обробка зображення, пошук об'єктів на зображенні, спектральна ознака.

Вступ

Постановка проблеми. Найбільш розповсюдженими задачами, які розв'язуються оптико-електронними системами, є виявлення, розпізнавання та класифікація об'єктів. Під час розв'язання такого класу задач використовують певний опис образів (сукупність сигналів, що обробляються), які складають відмінні ознаки об'єктів. Найчастіше використовують такі групи ознак: геометричні ознаки, спектральні, енергетичні та динамічні [1].

За принципом формування інформаційних полів (полів випромінювання) усі оптико-електронні системи поділяються на пасивні та активні [2]. Пасивні оптико-електронні системи використовують інформаційні поля, які утворені природним випромінюванням у просторі об'єктів. Активний метод будови оптико-електронних систем передбачає створення інформаційного поля із застосуванням штучних джерел випромінювання.

Стаття присвячена розробці методу пошуку об'єктів за спектральними ознаками активною оптико-електронною системою з комп'ютерною обробкою зображень. При застосуванні активних оптико-електронних систем з узгодженою фільтрацією необхідна наявність даних про спектральні характеристики об'єкта інтересу та ділянки пошуку (фону) – ділянки місцевості, на якому імовірно може бути розміщений об'єкт інтересу. Відомо, що дані про спектральні характеристики ділянки пошуку не постійні, не однорідні та схильні до змін. Це пов'язано з можливою зміною погодних умов, пори року або часом доби, що робить застосування активної оптико-електронної системи з узгодженою фільтрацією не ефективною.

Особливістю розробленого методу є застосування на початковому етапі активної оптико-електронної системи для вимірювання спектрального коефіцієнту відбиття досліджуваної ділянки пошуку, який в подальшому разом зі спектральними

характеристиками об'єкта інтересу, використовується в обчисленні апаратної функції (вектора фільтру) для забезпечення підвищення контрасту зображення об'єкта інтересу. На заключному етапі проводиться комп'ютерна обробка отриманого зображення з метою визначення ділянки, на якій розміщено об'єкт інтересу, за елементами зображення з найбільшим значенням яскравості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вибір спектральних ознак обумовлений тим, що під час спектральної обробки відсутня необхідність високої просторової роздільної здатності, тому що розпізнавання може проводитися за мінімальною кількістю пікселів [3].

Також слід зазначити, що при використанні геометричних ознак необхідно мати високу просторову роздільну здатність і, отже, велику приймальну апертуру приймальної частини оптико-електронної системи, що призводить до зниження відношення сигнал-шум системи виявлення [4].

Обчисленню спектрального коефіцієнту відбиття фону присвячена робота [5]. В ній обговорюється метод, який полягає в тому, що в передавальній частині оптико-електронної системи формуються багатоспектральні лазерні сигнали однакової інтенсивності, якими послідовно опромінюється зондована поверхня. Відбиті сигнали кожної спектральної компоненти реєструються приймачем випромінювання, що дозволяє обчислити спектральний коефіцієнт відбиття як відношення випромінювання на вході приймача випромінювання до випромінюваної системою енергії. Далі, використовуючи результати обчислення спектральних характеристик фону та апріорно відомі дані про характеристики об'єкта інтересу, обчислюється вектор фільтру для зміни характеристик яскравості зондуемого багатоспектрального випромінювання в інтересах підвищення контрасту зображення об'єкта інтересу.

Також слід вказати роботи, в яких обговорюються методи виявлення спектральних аномалій на зображеннях [6; 7] та завдання сегментування зображень [8]. Під спектральною аномалією слід розуміти область невеликого розміру на зображенні, спектральні відмінності пікселів якої суттєво відрізняються від оточуючої її околиці.

Мета статті – розробка методу пошуку об'єктів за спектральними ознаками активною оптико-електронною системою з комп'ютерною обробкою зображень.

Виклад основного матеріалу

1. Особливості побудови і функціонування активних оптико-електронних систем з динамічною спектральною обробкою.

При вирішенні задач оптимального прийому сигналів зазвичай використовують методи математичної статистики і формують задачу наступним чином. Апріорно повинні бути відомі статистичні характеристики корисного сигналу та завад, - необхідно розробити пристрій, який найкращим чином може приймати рішення про виявлення об'єкту з мінімальними помилками.

Принцип побудови оптико-електронних систем з динамічною спектральною обробкою полягає в тому, що для підвищення контрасту зображення об'єкта або ймовірності виявлення використовуються багатоспектральні лазерні зондувальні сигнали. Спектральний та енергетичний склад зондуемого випромінювання формується на основі апріорних даних про спектральні характеристики фону та об'єкту таким чином, щоб на виході оптико-електронної системи формувалася найменший відгук (зареєстрований сигнал) для випромінювання, відбитого від фону, та найбільший відгук для випромінювання, відбитого від поверхні об'єкта [9].

Фізична основа побудови активних оптико-електронних систем з узгодженою обробкою оптичних сигналів полягає в тому, що кольорові поверхні мають вибірккову здатність відбивати та поглинати світло різних довжин хвиль. Якщо поверхня здатна відбивати промені червоного кольору, то при освітленні його зеленим кольором поверхня відбиватиме мінімальну кількість енергії і, відповідно, буде чорною на зареєстрованому зображенні [10]. Це пов'язано з тим, що частина падаючого випромінювання проникає всередину середовища, в якому поглинаються спектральні компоненти, які відрізняються від червоних.

Математичною основою, що використовується при вирішенні завдань підвищення контрасту зображень об'єктів спостереження за спектральними ознаками, є векторне представлення сигналів. В активній системі зондуемый поліхроматичний сигнал формується у вигляді суми монохроматичних лазерних сигналів. Тому оптичне випромінювання, яке відбивається від об'єкта та фону, може бути представлене у вигляді векторів у багатовимірному спектральному просторі.

Використавши векторне представлення оптичних сигналів, розглянемо принцип визначення апаратної функції, яка забезпечує підвищення контрасту зображення однорідного об'єкту на однорідному фоні (рис. 1).

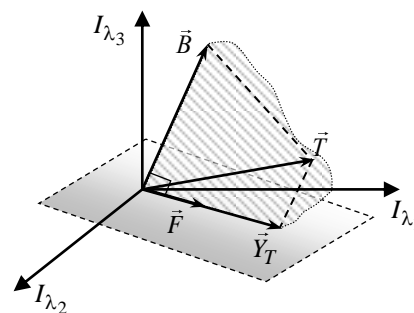


Рис. 1. Ілюстрація до динамічної спектральної обробки випромінювання однорідного об'єкту на однорідному фоні (джерело: [11])

Випромінювання об'єкту в цьому випадку характеризується вектором \vec{T} , а випромінювання, яке відбивається від фону – вектором \vec{B} . Апаратна функція розраховується на основі апріорних даних спектральних характеристик вектора об'єкту \vec{T} і вектора фону \vec{B} з використанням наступного виразу [11]:

$$\vec{F} = \frac{\vec{T} - N \cdot \vec{B}}{\|\vec{T} - N \cdot \vec{B}\|}, \quad (1)$$

де $N = \frac{\vec{T}^T \cdot \vec{B}}{\vec{B}^T \cdot \vec{B}}$ – проекція вектора об'єкту на вектор фону.

Вектор апаратної функції

$$\vec{F} = f_1 \vec{\lambda}_1 + f_2 \vec{\lambda}_2 + f_3 \vec{\lambda}_3$$

є ортогональним до вектора фону

$$\vec{B} = b_1 \vec{\lambda}_1 + b_2 \vec{\lambda}_2 + b_3 \vec{\lambda}_3,$$

та лежить в площині, яка створена вектором \vec{B} і вектором, що ілюструє спектральні властивості об'єкту

$$\vec{T} = t_1 \vec{\lambda}_1 + t_2 \vec{\lambda}_2 + t_3 \vec{\lambda}_3.$$

В алгебраїчній формі скалярний добуток являє собою операцію множення проекцій векторів, які приймають участь у процесі селекції з подальшим їх підсумовуванням.

У випадку, який надається, скалярний добуток ортогональних векторів фону та апаратної функції дорівнює нулю, а скалярний добуток вектора об'єкту та апаратної функції відмінний від нуля

$$(\vec{T} \cdot \vec{F}) = t_1 f_1 + t_2 f_2 + t_3 f_3 \neq 0 \quad (2)$$

та характеризує величину сигналу на виході приймача оптико-електронної системи.

У роботі [9] розроблені принципи побудови активної оптико-електронної системи з динамічною спектральною обробкою, у якій джерелом випромінювання є набір багатоспектральних лазерних випромінювачів.

Для підвищення контрасту зображення використовуються апріорні дані про спектральні характеристики об'єкту та фону. У відповідності до апріорних даних обчислюється управляючий сигнал для зміни яскравості випромінювання системи лазерних випромінювачів таким чином, щоб зменшити величину спектральних складових сигналу, що відбитий від поверхні, яка належить фону, з найменшим ослабленням інтенсивності сигналу, відбитого від поверхні об'єкта.

На рисунку (рис. 2) зображена структурна схема активної оптико-електронної системи з динамічною спектральною фільтрацією, яка складається з передавальної та приймальної частин. Передавальна частина активної оптико-електронної системи складається з:

- формувача апаратної функції (1),
- бібліотеки спектральних характеристик (2);
- лазерного блоку (3),

формувача багатоспектрального лазерного пучка (4).

До приймальної частини системи входять:

- об'єктів (5),
- приймач випромінювання (6),
- електронний блок обробки (7).

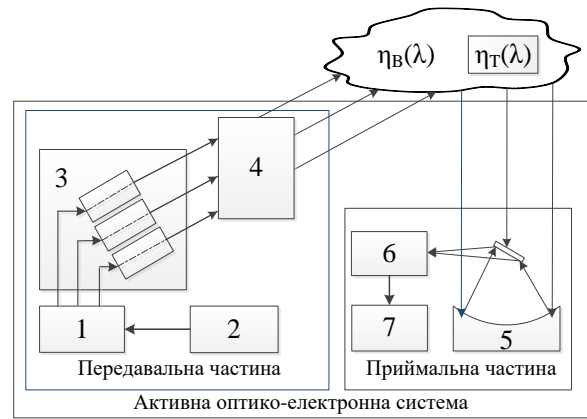


Рис. 2. Структурна схема активної оптико-електронної системи з динамічною узгодженою спектральною фільтрацією (джерело: [12])

Формувач апаратної функції призначений для створення на основі апріорних спектральних характеристик об'єкту та фону управляючого сигналу, який забезпечує на виході лазерного блоку багатоспектральне випромінювання з необхідною спектральною щільністю. Лазерний блок складається з набору лазерів, які працюють в одномодовому режимі і генерують монохроматичне випромінювання.

Формувач багатоспектрального лазерного пучка призначений для створення з набору монохроматичних лазерних сигналів поліхроматичного випромінювання та управління його кутовою розбіжністю.

В приймальній частині оптико-електронної системи відбите від зондуєчої поверхні поліхроматичне оптичне випромінювання перетворюється в електричні сигнали приймачем випромінювання та реєструється в електронному блоці обробки.

2. Метод пошуку об'єктів за спектральними ознаками активною оптико-електронною системою з комп'ютерною обробкою зображень.

Метод пошуку об'єктів за спектральними ознаками активною оптико-електронною системою складається з таких етапів:

На початковому етапі, передбачається, що в результаті опромінення багатоспектральними лазерними сигналами однакової інтенсивності зондованої поверхні приймачем випромінювання відбувається реєстрація відбитого випромінювання, на підставі якого формується цифрове RGB зображення (об'єкт інтересу на оточуючому фоні) та розраховується його математичне очікування (вектор фону) за допомогою виразу [13]:

$$\vec{\mu}_B = \frac{1}{b} \sum_{K=1}^r \vec{X}_K, \quad (3)$$

де \vec{X}_K – тривимірний вектор K -го елементу репрезентативної вибірки фону; b – кількість елементів репрезентативної вибірки фону.

На другому етапі, передбачається, що маються апріорні дані про спектральні характеристики сигналу об'єкту інтересу (вектор об'єкта інтересу), який розрахований за допомогою виразу [13]:

$$\vec{\mu}_T = \frac{1}{t} \sum_{L=1}^r \vec{X}_L, \quad (4)$$

де \vec{X}_L – тривимірний вектор L -го елемента репрезентативної вибірки об'єкта інтересу; t – кількість елементів репрезентативної вибірки об'єкта інтересу.

На третьому етапі, використовуючи числові параметри спектральних характеристик сигналів об'єкта інтересу та фону, визначається вектор фільтру \vec{F} , який забезпечує підвищення контрасту об'єкта за допомогою виразу (1).

На заключному етапі, обчислюється скалярний добуток векторів елемента цифрового RGB зображення \vec{X} та фільтру \vec{F} з метою підвищення контрасту зображення об'єкта інтересу.

Розроблений метод пошуку об'єктів передбачає подальшу комп'ютерну обробку отриманого оптико-електронною системою зображення, а саме: отримане зображення умовно поділяється на ділянки однакового розміру з подальшим обчисленням найбільшої яскравості їх елементів. Рішення про наявність об'єкта інтересу слід прийняти для ділянки з елементами, які мають найбільший показник яскравості.

3. Математичне моделювання методу пошуку об'єктів за спектральними ознаками активною оптико-електронною системою з комп'ютерною обробкою зображень.

Метою математичного моделювання було, обчисливши значення спектральних характеристик фону, та, використавши відомі значення спектральних характеристик об'єкта інтересу, здійснити цифрову обробку зображення та визначити на ньому ділянку з об'єктом інтересу за елементами з найбільшим показником яскравості.

На початковому етапі, передбачається, що в результаті опромінення багатоспектральними лазерними сигналами однакової інтенсивності зондованої поверхні приймачем випромінювання відбувається реєстрація відбитого випромінювання, на підставі якого формується цифрове RGB зображення (фон), на якому зображено причал з пришвартованими суднами, одним із яких є об'єкт інтересу – катер червоного кольору (рис. 3).

Це зображення, яке отримане за допомогою літального апарату з фотоапаратом в простих метеороумовах, яке містить (1000x920) елементів роздільної здатності. Було розраховано коефіцієнт відбиття цього зображення (вектор математичного очікування фону) за допомогою виразу (3).

На другому етапі, передбачається, що маються апріорні дані про спектральні характеристики сигналу об'єкта інтересу (вектор математичного очікування об'єкта інтересу) (рис. 4), які розраховано за допомогою виразу (9).

На третьому етапі, на підставі числових параметрів спектральних характеристик сигналів об'єкта інтересу та фону, визначається вектор фільтру \vec{F} , який забезпечує підвищення контрасту об'єкта інтересу за допомогою виразу (1).

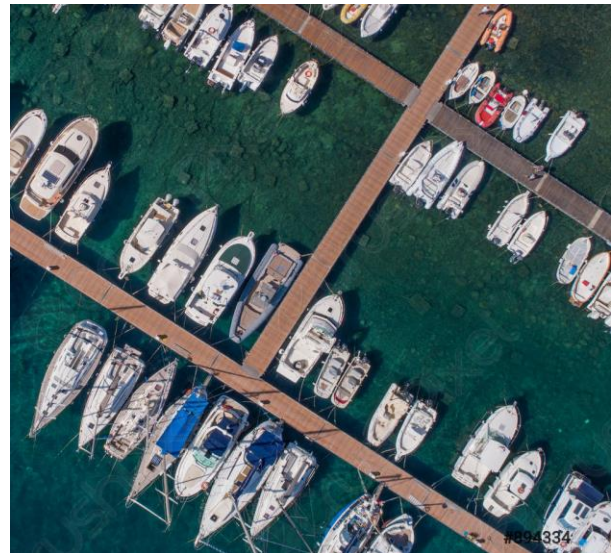


Рис. 3. Досліджуване RGB зображення (фон)
(джерело: розроблено авторами)



Рис. 4. Зображення об'єкта інтересу
(джерело: розроблено авторами)

На четвертому етапі, обчислюється скалярний добуток векторів елемента цифрового RGB зображення (\vec{X}) та фільтру (\vec{F}) з метою підвищення контрасту зображення об'єкта інтересу. На зображенні (рис. 5) представлено результат цифрової обробки досліджуваного RGB зображення (фону).

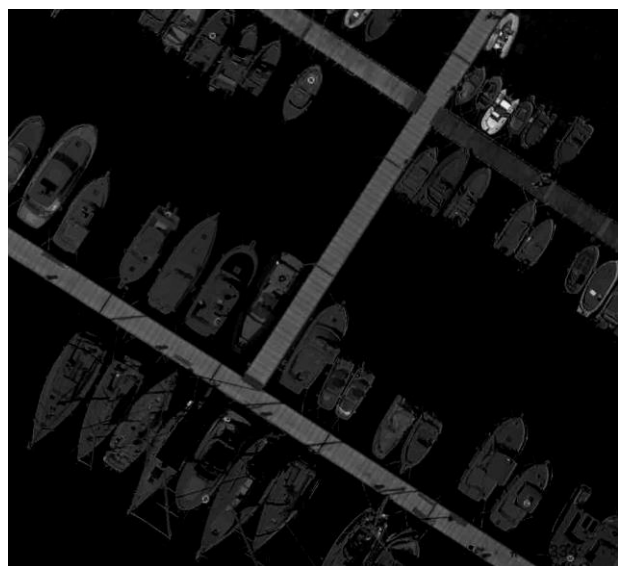


Рис. 5. Результат цифрової обробки досліджуваного RGB зображення (фону)
(джерело: розроблено авторами)

На заключному етапі, для здійснення пошуку об'єкта інтересу отримане зображення (рис. 5) слід поділити на ділянки однакового розміру та дати їм умовні позначення (наприклад, на 16 однакових ділянок) (рис. 6).

Було проведено оцінку найбільших значень яскравості елементів зображення I_{max} ($I \in [0;255]$) кожної ділянки досліджуваного RGB зображення після цифрової обробки (рис. 6). На зображенні

(рис. 7) зображено гістограму значень найбільшої яскравості елементів кожної ділянки досліджуваного RGB зображення після цифрової обробки.

Отже, за результатами математичного моделювання рішення про наявність об'єкта інтересу слід прийняти для ділянки №4 (на рис. 7 найбільше значення яскравості позначене контуром чорного квадрату), тому що елементи саме цієї ділянки мають найвищий показник яскравості ($I_{\#4max} = 255$).

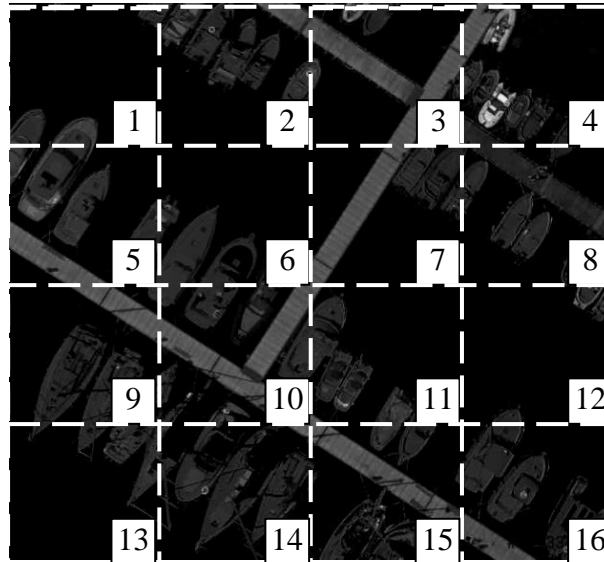


Рис. 6. Досліджуване RGB зображення (фон) після цифрової обробки, поділене на 16 однакових ділянок з умовними позначеннями (джерело: розроблено авторами)

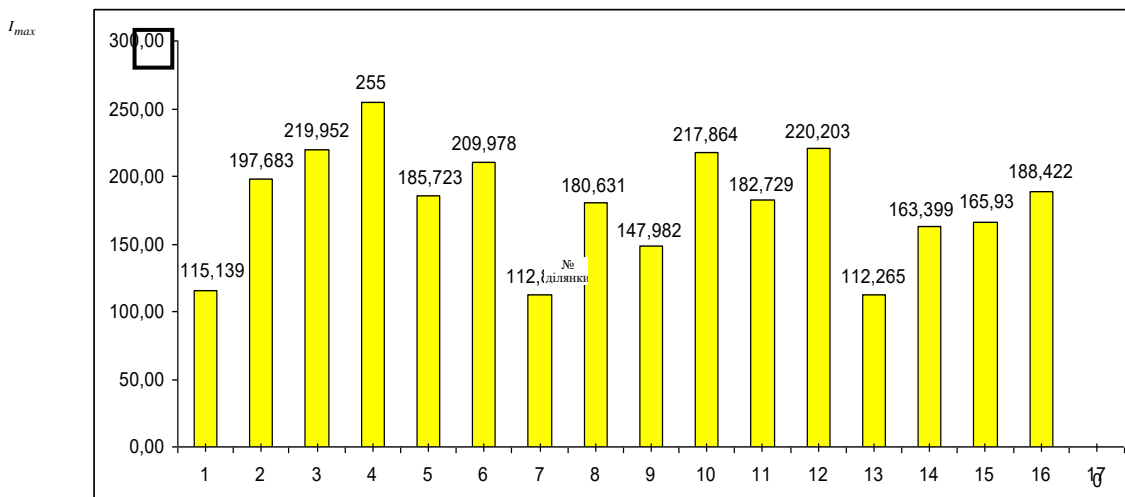


Рис. 7. Гістограма значень найбільшої яскравості елементів кожної ділянки поточного зображення №1 після цифрової обробки (джерело: розроблено авторами)

Висновки

В статті розроблено метод пошуку об'єктів за спектральними ознаками активною оптико-електронною системою з комп'ютерною обробкою зображень.

Особливістю розробленого методу є застосування на початковому етапі активної оптико-електронної системи для вимірювання спектрально-

го коефіцієнту відбиття досліджуваної ділянки пошуку, який в подальшому разом зі спектральними характеристиками об'єкта інтересу, використовується в обчисленні апаратної функції (вектора фільтру) для забезпечення підвищення контрасту зображення об'єкта інтересу.

На заключному етапі проводиться комп'ютерна обробка отриманого зображення з метою визначення ділянки, на якій розміщено об'єкт

інтересу, за елементами зображення з найбільшим значенням яскравості.

Було проведено математичне моделювання розробленого методу пошуку об'єкта інтересу в зоні

спостереження. За результатами математичного моделювання рішення про наявність об'єкта інтересу було прийнято для ділянок, складові елементи яких мають найвищі показники яскравості.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Білінський Й. Й., Огородник К. В., Юкиш М. Й. Оптико-електронні системи, основні тенденції розвитку. Електронні системи : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2011. С. 14-16.
2. Skvortsov L. Active spectral imaging for standoff detection of explosives. *Quantum Electron.* 2011. No. 41(12). P. 1051–1060.
3. Manolakis D., Marden D., Shaw G. Hyperspectral image processing for automatic target detection applications. *Lincoln Laboratory Journal.* 2003. Vol. 14. No. 1. P. 79-113. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.163.733>.
4. Купченко Л. Ф., Риб'як А. С., Проклов В. В., Антонов С. Н. Виявлення об'єктів за спектральними ознаками в оптико-електронних системах з використанням принципів динамічної спектральної фільтрації. *Прикладна радіоелектроніка.* 2011. № 10(1). С. 22–26.
5. Купченко Л. Ф., Худов Г. В., Гурін А. П., Гурін О. О., Риб'як А. С. Метод вимірювання коефіцієнту відбиття фону активною оптико-електронною системою виявлення об'єктів з динамічною спектральною обробкою оптичного випромінювання. *Системи обробки інформації.* 2023. № 2(173), С. 32-39. <https://doi.org/10.30748/soi.2023.173.04>.
6. Денисова А. Ю., М'ясников В. В. Виявлення аномалій на гіперспектральних зображеннях. *Комп'ютерна оптика.* 2014. Т. 38. № 2. С. 287-296.
7. Купченко Л. Ф., Худов Г. В., Гурін А. П., Риб'як А. С., Гурін О. О. Удосконалений метод виявлення спектральних аномалій на основі інформаційного критерію Кульбака-Лейблера в системах дистанційного зондування. *Системи озброєння і військова техніка.* 2022. № 2(70). С. 56-61. <https://doi.org/10.30748/soivt.2022.70.07>
8. Kumar S., Kumar A., Lee D.-G. Semantic Segmentation of UAV Images Based on Transformer Framework with Context Information. *Mathematics.* 2022. Vol. 10. No. 24:4735. <https://doi.org/10.3390/math10244735>.
9. Kupchenko L.F., Goorin O.A., Karlov V.D., Ponomar A.V., Rybiak A.S., Natarova A.O. Active electro-optical system with dynamic spectral processing of optical radiation. *2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL).* 2019. P. 489-492. <https://doi.org/10.1109/CAOL46282.2019.9019458>.
10. Tulansky S. Curiosities of light rays and light waves. New York: American Elsevier Publishing Company, 1965. 109 p.
11. Купченко Л.Ф., Слабунова Н.В., Гурін О.А. Акустооптичний процесор в оптико-електронній системі забезпечує динамічну спектральну фільтрацію. *Прикладна радіоелектроніка.* 2016. Т. 15, № 4. С. 359-361.
12. Kupchenko L.F., Karlov V.D., Rybiak A.S., Goorin O.A., Ponomar A.V. Active electro-optical system of targets detection with dynamic spectral processing of optical radiation. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics.* 2021. Vol. 24, No 2. P. 218-226. <https://doi.org/10.15407/spqeo24.02.218>.
13. Fukunaga K. Introduction to statistical pattern recognition. San Diego : Academic Press, Inc., 1990. 626 p.

Received (Надійшла) 20.01.2024

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.03.2024

APPLICATION OF AN ACTIVE OPTIC-ELECTRONIC SYSTEM AND COMPUTER PROCESSING OF IMAGES FOR THE PURPOSE OF SEARCHING FOR OBJECTS OF INTEREST BY SPECTRAL CHARACTERS

A. Hurin, H. Khudov, O. Maslenko, P. Mynko, Y. Solomonenko

Abstract. The **subject matter** of the article is the method of searching for objects of interest by spectral features based on an active electro-optical system, in which a set of multispectral laser emitters is used as a radiation source, followed by computer processing of the received image. The **goal** is to develop a method of searching for objects of interest using an active optical-electronic system followed by computer processing of the received image. The **tasks** are: consideration of the features of construction and operation of active electro-optical systems with dynamic spectral processing; development of a method of searching for objects by spectral features using an active electro-optical system with computer image processing; development of a mathematical model that allows you to make a decision about the presence of an object of interest by determining the areas of the image with elements that have the highest brightness value. The **methods** used are: methods of digital image processing, methods of mathematical modeling, methods of optimization theory, analytical and empirical methods of image analysis after their digital processing. The following **results** were obtained. Features of construction and operation of active electro-optical systems with dynamic spectral processing are considered. A method of searching for objects by spectral features using an active electro-optical system with computer image processing has been developed. A mathematical model has been developed that allows you to make a decision about the presence of an object of interest by identifying areas of the image with elements that have the highest brightness value. **Conclusions.** The article develops a method that allows you to search for objects by spectral features with an active electro-optical system with computer image processing. A feature of the developed method is the application at the initial stage of an active electro-optical system for measuring the spectral reflectance of the studied area, which is subsequently used, together with the spectral characteristics of the object of interest, in the calculation of the hardware function (filter vector) to ensure an increase in the contrast of the image of the object interest. At the final stage, computer processing of the received image is carried out in order to determine the area where the object of interest is located, based on the elements of the image with the highest brightness value. Mathematical modeling of the developed method of searching for an object of interest in the observation area was carried out. According to the results of mathematical modeling, the decision about the presence of an object of interest was made for the areas whose constituent elements have the highest brightness indicators.

Keywords: active electro-optical system, computer image processing, search for objects in the image.