

Ю.О. Подчашинський, д.т.н., проф.  
О.А. Лугових, ст. викладач  
Л.О. Чепюк, к.т.н.

Державний університет «Житомирська політехніка»

## Аналіз методів обробки відеозображень з вимірювальною інформацією, отриманих від тепловізора / спектральної камери

*Інформаційні технології здатні забезпечити людину необхідною інформацією про стан об'єктів, що контролюються, в складних умовах її роботи. Це можуть бути виробничі об'єкти, що мають властивості, видимі тільки в певному спектральному діапазоні випромінювань. Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи, що побудовані на основі формування та програмно-алгоритмічної обробки тепловізійних та спектральних зображень, можуть забезпечити отримання інформації про геометричні параметри та поточне положення виробничих об'єктів, виявлення дефектів виробів, а також формування керуючих впливів на технологічне обладнання. Спостереження та контроль за різноманітними об'єктами враховує визначення геометричних параметрів цих об'єктів, їх переміщень та інших параметрів руху. Для цього потрібно враховувати особливості фізичних принципів роботи тепловізора та/або спектральної камери, що є в цьому випадку пристроями формування зображень. Основними методами попередньої обробки зображень є покращення зображень (фільтрація шумів та відновлення динамічних викривлень), бінаризація та морфологічні операції на виділених контурах та об'єктах. Визначено, що для тепловізійних зображень найбільше підходить сегментація за методом Otsu, сегментація за методом  $k$ -середніх та сегментація за текстурою. Для тепловізійних зображень морфологічна обробка застосовується для замикання контурів, потовищення ліній, заповнення областей та побудови остова. Такі морфологічні операції дозволяють підвищити якість розпізнавання об'єктів та точність визначення їх геометричних параметрів за рахунок програмно-алгоритмічної компенсації викривлень, обумовлених неідеальністю умов формування зображень за допомогою тепловізора та/або спектральної камери. Також ці методи забезпечують виділення пов'язаних компонентів та визначення форми об'єктів на зображенні.*

**Ключові слова:** машинний зір; зображення; тепловізор; спектральна камера; бінаризація.

**Актуальність теми.** Інформаційні технології здатні забезпечити людину необхідною інформацією про стан об'єктів, що контролюються, в складних умовах її роботи. Це можуть бути виробничі об'єкти, що мають властивості, видимі тільки в певному спектральному діапазоні випромінювань. Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи, що побудовані на основі формування та програмно-алгоритмічної обробки тепловізійних та спектральних зображень, можуть забезпечити отримання інформації про геометричні параметри та поточне положення виробничих об'єктів, виявлення дефектів виробів, а також формування керуючих впливів на технологічне обладнання. Спостереження та контроль за різноманітними об'єктами враховує визначення геометричних параметрів цих об'єктів, їх переміщень та інших параметрів руху. Для цього потрібно враховувати особливості фізичних принципів роботи тепловізора та/або спектральної камери, що є в цьому випадку пристроями формування зображень.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори.** Методи та алгоритми обробки зображень розглянуто у роботах Gonzalez and. Richard E. Woods [1], David Forsyth, Jean Ponce [2], Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Steven L. Eddins [3]. Обробку тепловізійних зображень розглянуто у [4, 5] Методи комп'ютеризованої обробки відео зображень розглянуто у роботах [6–8].

**Метою статті** є аналіз методів обробки відеозображень з вимірювальною інформацією з тепловізора / спектральної камери.

**Викладення основного матеріалу.** Тепловізор – пристрій для безконтактного вимірювання температури. За допомогою тепловізора можна виявляти енергію, що випромінює об'єкт у діапазоні інфрачервоного випромінювання та візуалізувати її у вигляді термограми. Термограма – це теплове зображення, на якому кожен окремий показник температури відображається іншим кольором [9, 10].

За допомогою інфрачервоного термометра можна визначити значення температури тільки в одній точці, в той час як тепловізор дає можливість отримати повну картину і одночасно відобразити результати, що отримано з багатьох точок вимірювання. Можна зробити висновок, що тепла візуалізація – один із самих ефективних способів пошуку можливих проблем у різних областях науки і техніки [9, 10].

Тепловізор (інше визначення – тепла камера) – датчик теплового випромінювання, за допомогою якого можна виявляти дуже малі зміни в температурі різних об'єктів. Чутливий елемент тепловізора

реєструє інфрачервоне випромінювання від об'єктів та створює електронне зображення на основі інформації про різницю температури. Об'єкти можуть мати різні температури у порівнянні з оточуючими предметами, тому за допомогою тепловізора виявляється різниця температур. Таким чином об'єкти з різною температурою будуть відрізнятися на тепловому зображенні [9–10].

Теплові зображення зазвичай мають відтінки сірого: чорні предмети холодні, білі – гарячі, а глибина сірих позначає варіації між двома кольорами. Деякі теплові камери додають кольори зображення, щоб допомогти користувачам ідентифікувати об'єкти за різних температур. За допомогою тепловізора можна визначати температуру в діапазоні від 50 до 2000 °C [9–10].

Найчастіше на теплових картах (інша назва – теплограми) самі гарячі області позначають білим, червоним або помаранчевим кольорами, а самі холодні – чорним або темно-синім. Усі об'єкти випромінюють інфрачервону енергію (тепло). Інфрачервона енергія, що випромінюється об'єктом має назву теплова сигнатура. Чим вища температура об'єкта, тим більше буде його інфрачервоне випромінювання [11]. Інфрачервоне випромінювання від об'єктів перетворюється тепловізором у теплову карту, яка виводиться у вигляді зображення на дисплей. Основою тепловізора є матриця, чутлива до температури. Інфрачервоне випромінювання від об'єкта за допомогою об'єктива тепловізора збирається і фокусується на матриці, де нагріває її елементи відповідно до розподілу температури об'єкта, що спостерігається [11]. Принцип роботи тепловізора засновано на перетворенні інфрачервоного випромінювання у видиме світло. Світло – це хвиля електромагнітного діапазону. Залежно від енергії, якою ця хвиля насичена, вона має різну частоту, що відповідає різній колірній температурі [11].

Інфрачервоне випромінювання – електромагнітне випромінювання, що знаходиться у діапазоні від 430 ТГц (довжина хвилі  $\lambda = 700$  нм, що відповідає червоній межі видимого світла) до 300 ГГц (довжина хвилі  $\lambda \sim 1$  мм що відповідає мікрохвильовим випромінюванням) [12–13].

Інша назва інфрачервоного випромінювання – теплове випромінювання або інфрачервоне світло. Його спектр та інтенсивність залежать від температури і сприймаються шкірою людини як відчуття тепла. Довжини хвиль, які випромінюються тілом, залежать від температури нагрівання: чим вища температура, тим коротша довжина хвилі і вища інтенсивність випромінювання. По мірі росту температури інтенсивність випромінювання буде переміщуватись у сторону більш коротких хвиль, що відповідає видимому діапазону. Для абсолютно чорного тіла при відносно невисоких значеннях температур (до декількох тисяч °K) спектр випромінювання буде зосереджено у цьому діапазоні. Інфрачервоне випромінювання випускає збуджені атоми або іони [12].

Основні характеристики тепловізора [14]:

- роздільна здатність сенсору (матриці) – визначається кількістю чутливих елементів, з яких складається матриця;
- коефіцієнт заповнення (Fill factor) – відношення поверхні пік селів, чутливої до сигналу, до площі пікселів. Сенсор з більш високим Fill factor здатний вловлювати більшу кількість енергії;
- збільшення – показує, у скільки разів зображення об'єкта, що спостерігається у тепловізорі, більше у порівнянні зі спостереженням об'єкта неозброєним оком;
- поле зору – характеризує розмір простору, який можна розглянути одночасно через тепловізор.
- частота оновлення кадру;
- температурна роздільна здатність (NETD – noise equivalent temperature difference) (чутливість; мінімальна різниця температур, що може бути виявлена) – це граничне співвідношення сигналу об'єкта спостереження до сигналу фону з урахуванням шуму чутливого елемента (сенсора) тепловізійної камери. Висока температурна роздільна здатність означає, що тепловізор зможе відобразити об'єкт певної температури на фоні з близькою температурою, причому чим менше різниця між температурами об'єкта і фону, тим температурна роздільна здатність вище.
- Просторова роздільна здатність характеризує здатність приладу зображати окремо дві близько розташовані точки або лінії.
- Дальність спостереження і ідентифікації.
- Діапазон робочих температур.

Під час візуалізації даних, отриманих за допомогою тепловізійних зображень, необхідно виконувати попередню обробку.

Попередня обробка враховує виконання таких операцій над зображенням [10]:

1. Реєстрацію;
2. Покращення зображення;
3. Порогову обробку (бінаризацію та покращення гістограми);
4. Морфологічну обробку;
5. Сегментацію;
6. Розпізнавання.

Реєстрація зображення на тепловізійному знімку містить масштабування та виділення необхідної області для подальшої обробки. Захват зображення з тепловізійного знімка друкованої плати наведено на рисунку 1.

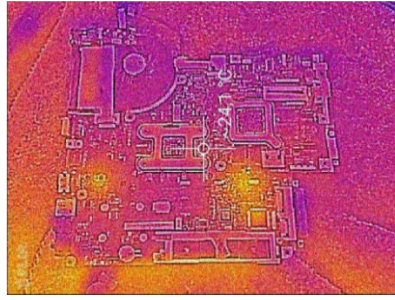


Рис. 1. Захват зображення з тепловізійного знімка

Бінаризація – це перетворення зображення з багатьма рівнями сірого в чорно-біле (або двійкове) зображення (з бітовою глибиною 1). Бінаризація характеризується порогом. Поріг може бути один (верхній) або декілька. Найчастіше поріг бінаризації визначається від 0 до 1, також буває від 0 до 255.

Найбільшою проблемою, яка супроводжує операцію бінаризації, є правильний вибір порогу. Від цього залежить класифікація пікселів за класами (фон і зображення) і, отже, корисність отриманого зображення для подальшого аналізу. Якщо порогове значення однакове для всього зображення, то воно називається глобальним. Трапляється, однак, що точки одного і того ж об'єкта мають різні значення залежно від свого положення (наприклад, через нерівномірність освітлення). Тоді краще використовувати місцеві методи.

Цілі бінаризації для обробки відеозображення з тепловізора [10]:

- можливість використання зображення для подальшої обробки;
- можливість вимірювання основних параметрів зображення (кількість об'єктів, площа поверхні, довжина);
- зміна форми предметів (заповнення отворів, відділення склеєних часток, згладжування контуру);
- аналіз форми елементів;
- визначення перетворень зображень у градаціях сірого (розглядаються як набір стількох бінарних зображень, скільки рівнів сірого вони містять);
- векторизація, розпізнавання записаного [10].

Бінаризоване зображення за порогом наведено на рисунку 2. Гістограма зображення з рисунка 2 наведена на рисунку 3. Вирівнювання гістограми бінаризованого зображення за порогом наведено на рисунку 4.

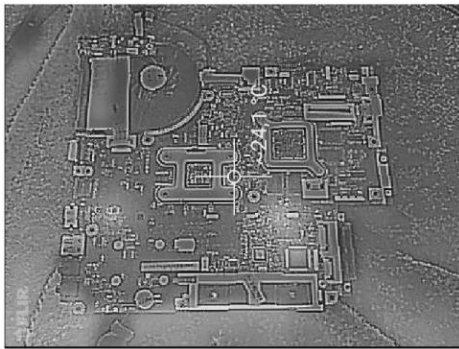


Рис. 2. Бінаризоване зображення за порогом

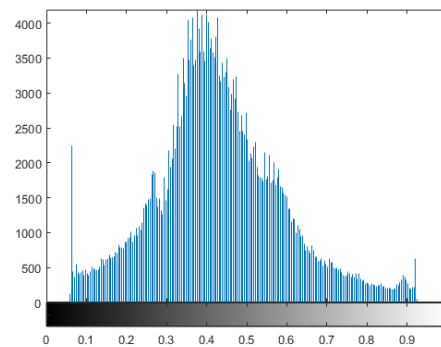


Рис. 3. Гістограма бінаризованого зображення

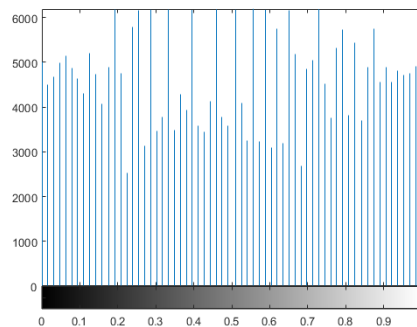


Рис. 4. Покращена гістограма бінаризованого зображення

Бінаризація зображення за методом Otsu представлена на рисунку 5. Бінаризацію зображення за методом Отса [6] можливо використовувати і для сегментації зображення з попередньою морфологічною обробкою.

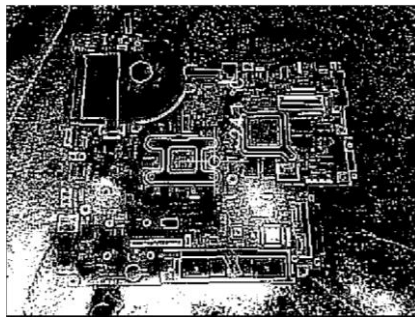


Рис. 5. Бінаризоване зображення методом Otsu

Покращення зображення входить до найпростіших і вражаючих областей цифрової обробки зображень. По суті, за методами покращення зображень стоїть ідея виявлення погано помітних деталей або просто підкреслення характеристик, що цікавлять, на вихідному зображенні. Відомим прикладом покращення є посилення контрасту зображення, тому що в результаті «воно виглядає краще».

До покращення також належить відновлення зображень. Відновлення зображень – це область, також пов'язана з підвищенням візуальної якості зображення, однак, на відміну від покращення, критерії якого суб'єктивні, відновлення зображення є об'єктивним у тому сенсі, що методи відновлення зображень спираються на математичні або ймовірнісні моделі спотворень зображення. Навпаки, покращення зображень засноване на суб'єктивних уподобаннях людського сприйняття, пов'язані з тим, що саме вважається «хорошим» результатом покращення.

Для тепловізійних зображень покращення полягає в фільтрації і підвищенні контрастності.

Існують різні типи шуму зображення. Зазвичай їх можна розділити на 3 види: фотоелектронні, імпульсні і структуровані. Фотоелектронні поділяються на фотонні і теплові. Імпульсні поділяються на шум солі та шум перцю. До дробового шуму можна зарахувати шум Пуасона. До структурованого шуму – мультиплікативний шум.

Для видалення шуму з зображень використовують фільтрацію. Цілі фільтрації зображень:

- зменшення небажаного шуму;
- покращення якості розмитих зображень;
- контраст;
- усунення специфічних дефектів зображення;
- посилення окремих елементів іміджу;
- реконструкція зображення при частковому пошкодженні;
- виявлення країв, кутів.

Фільтрація – складне, контекстне перетворення. Обчислення виконуються не лише для окремого пікселя, але й для пікселів у сусідстві.

Існують такі типи фільтрів:

- лінійний (фільтрація на основі лінійної комбінації пікселів вихідного зображення);
- нелінійний (логічний, медіанний, мінімальний, максимальний, адаптивний).

Лінійні фільтри зазвичай простіші в експлуатації, тоді як нелінійні фільтри дають більш широкі можливості.

З математичної точки зору фільтр – це функція з кількома аргументами, яка перетворює вихідне зображення на нове за допомогою методу «піксель за пікселем» [2]. Приклад покращення зображення за допомогою фільтра наведено на рисунку 6.



Рис. 6. Покращення зображення за допомогою фільтра

Морфологічна обробка пов'язана з інструментами для вилучення таких компонентів зображення, які можуть бути корисними для подання та опису форми. Морфологічна обробка дає основи переходу від процесів, що мають на виході зображення, до процесів, що мають на виході атрибуту [10].

Математична морфологія – це теорія та методика аналізу й обробки геометричних структур.

Спочатку метод був розроблений для бінарних зображень, а пізніше був розширений до функцій і зображень у відтінках сірого. Основні операції: дилатація, ерозія, відкриття, закриття. Інші операції: потовщення / проріджування, морфологічний скелет, трансформація обрізання, «потрапляння або промах».

Основна ідея бінарної морфології полягає в тому, щоб досліджувати зображення за допомогою простої, попередньо визначеної форми, роблячи висновки про те, як ця форма підходить або пропускає форми на зображенні. Цей простий «зонд» називається структурним елементом і сам собою є бінарним зображенням.

Ерозія використовується для спрощення структури предмета, видалення дрібних деталей, згладжування краю, поділу складового предмета на кілька простіших складових.

Ерозія є адитивним перетворенням, тобто ефект комплексного розмивання буде такий самий, як ефект послідовних прямих перетворень.

Ерозія і дилатація не є повністю оберненими операціями. Використані послідовно, вони не дають в результаті вихідного зображення, оскільки воно зазвичай істотно спрощене.

Використання поздовжнього фасонного структуруючого елемента дозволяє розрізнити поздовжні форми на зображенні у напрямку, подібному до напрямку структуруючого елемента.

Точка відкриття полягає в переміщенні кола (структурного елемента) на внутрішню сторону краю фігури та відхилення всіх тих точок, до яких не можна дістатися колесом.

Ця трансформація використовується для видалення дрібних об'єктів, западин і опуклостей, щоб від'єднати об'єкти зі звуженнями.

Точка замикання полягає в переміщенні кола (структурного елемента) на зовнішній край фігури і додавання до нього всіх тих точок, до яких не можна дістатися колесом. Операція, яку можна використовувати для заповнення прогалін і невеликих дірок всередині об'єкта. Відкривання і закриття не змінюють форму або площу об'єктів з великими розмірами і плавним контуром.

Перетворення «потрапляння або промах» – це операція, яка виявляє задану конфігурацію (або шаблон) у бінарному зображенні за допомогою оператора морфологічної ерозії та пари непересічних структурних елементів. Результатом перетворення «потрапляння або промах» є набір позицій, де перший структуруючий елемент підходить на передньому плані вхідного зображення, а другий структуруючий елемент повністю пропускає його [2].

Для тепловізійних зображень морфологічна обробка застосовується для замикання / розмикання контурів, потовщення / потоншення ліній, виділення меж, заповнення областей, виділення пов'язаних компонентів, побудови остова, зрізання визначення форми об'єктів на зображенні [10].

Приклад морфологічної обробки зображення за допомогою дилатації наведено на рисунку 7.

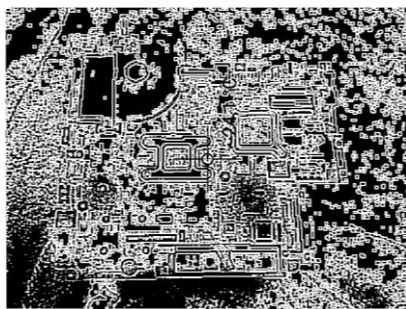


Рис. 7. Морфологічна обробка зображення за допомогою дилатації

Сегментація зображень є основною сферою комп'ютерного зору за результатами величезної кількості досліджень із залученням як алгоритмів обробки зображень, так і методів навчання.

Сегментація зображення – це піддомен комп'ютерного зору та обробки цифрових зображень. Метою сегментації є зосередження подібних областей або сегментів зображення у класи з відповідними мітками.

Процес є цифровим, тому доступне подання аналогового зображення у формі пікселів, що робить завдання формування сегментів еквівалентним завданням групування пікселів.

Сегментація зображень є розширенням класифікації зображень, де, окрім класифікації, виконується локалізація. Сегментація зображення, таким чином, є надмножиною класифікації зображень із моделлю, яка точно визначає, де наявний відповідний об'єкт, окреслюючи межі об'єкта.

Сегментація зображення спочатку почалася з цифрової обробки зображень у поєднанні з алгоритмами оптимізації. Ці примітивні алгоритми використовували такі методи, як вирощування області та алгоритм кривих, де вони встановлювали початкові області, а алгоритм порівнював значення пікселів, щоб отримати уявлення про карту сегментів. Ці методи використовували локальний погляд на особливості зображення та зосереджувалися на локальних відмінностях і градієнтах у пікселях.

Алгоритми, які брали глобальний погляд на вхідне зображення, з'явилися набагато пізніше, коли серед класичних методів обробки зображень були запропоновані такі методи, як адаптивне порогове визначення, алгоритм Otsu та алгоритми кластеризації [2].

Існують такі методи сегментації:

- порогова сегментація (отсу та середня зміна) [15];
- метод за областями (область зростання, області розщеплення та зливання);
- метод виділення контурів (кані, градієнт, лапласіан);
- метод за водорозділами;
- метод кластеризації.

При сегментації зображення розділяється на складові або об'єкти. Одним із самих важких завдань цифрової обробки зображень є автоматична сегментація. Якщо сегментація дуже детальна, то обробка зображення стає набагато складнішою, особливо в випадку ідентифікації об'єктів окремо. При недостатньо детальній або помилковій сегментації будуть виникати помилки на заключному етапі обробки зображення. Успіх при розпізнаванні зображення в основному залежить від сегментації – чим вона точніше, тим точніше розпізнавання.

Для тепловізійних зображенням більше підходить сегментація методом Otsu (рис. 5), сегментація за методом  $k$ -середніх (рис. 8) та сегментація за текстурою (рис. 9).

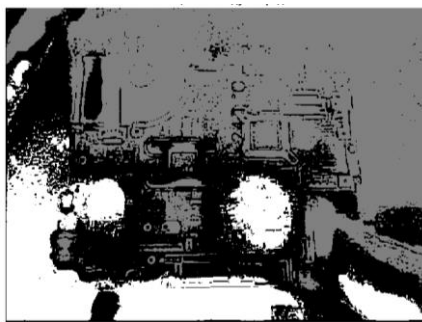


Рис. 8. Сегментація за методом  $k$ -середніх

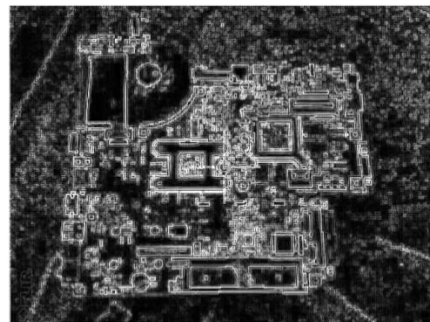


Рис. 9. Сегментація за текстурою

Побудова опису, або вибір ознак, пов'язана з виділенням атрибутів, які б висловлювали кількісну інформацію, що цікавить, або могли слугувати основою для розрізнення класів об'єктів.

Розпізнавання є процесом, який присвоює деякому об'єкту ідентифікатор (наприклад, «транспортний засіб») на підставі його опису. Сфера цифрової обробки зображень закінчується розробкою методів розпізнавання окремих об'єктів [10].

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Для тепловізійних зображень розпізнавання застосовується як визначення досліджуваних об'єктів: машина, людина, тварина, дерева, вода, вогнище. Також важливим завданням є визначення геометричних параметрів вказаних об'єктів, їх переміщень та інших параметрів руху. Для цього потрібно враховувати особливості фізичних принципів роботи тепловізора та/або спектральної камери, що є в цьому випадку пристроями формування зображень.

Основними методами попередньої обробки зображень є покращення зображень (фільтрація шумів та відновлення динамічних викривлень), бінаризація та морфологічні операції на виділених контурах та об'єктах. Для тепловізійних зображень найбільше всього підходить сегментація за методом Otsu, сегментація за методом  $k$ -середніх, та сегментація за текстурою.

Для тепловізійних зображень морфологічна обробка застосовується для замикання контурів, потовщення ліній, заповнення областей та побудови остова. Такі морфологічні операції дозволяють підвищити якість розпізнавання об'єктів та точність визначення їх геометричних параметрів за рахунок програмно-алгоритмічної компенсації викривлень, обумовлених неідеальністю умов формування зображень за допомогою тепловізора та/або спектральної камери, також ці методи забезпечують виділення пов'язаних компонентів та визначення форми об'єктів на зображенні.

Всі відібрані методи можуть бути у подальшому реалізовані у програмно-алгоритмічному забезпеченні комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем, що застосовуються для спостереження, контролю та оцінки параметрів об'єктів у несприятливих умовах вимірювань.

## Список використаної літератури:

1. *Gonzalez Digital Image Processing*. – 4th Edition / *Gonzalez and Richard E. Woods'* // Pearson Education Limited. – 2018. – 1022 p.
2. *David Forsyth Computer Vision: A Modern Approach 2nd Edition* / *David Forsyth, Jean Ponce* // Pearson Education. – 2011. – 800 p.
3. *Gonzalez Rafael C. Eddins Digital Image Processing Using MATLAB*. – 3rd edition / *C.Rafael Gonzalez, E. Richard Woods, L.Steven* // Gatesmark Publishing. – 2020. – 1009 p.
4. *Tomasz Sosnowski Image Processing in Thermal Cameras* / *Tomasz Sosnowski, Grzegorz Bieszczad, Henryk Madura* [Electronic resource]. – Access mode : [https://www.researchgate.net/publication/319912243\\_Image\\_Processing\\_in\\_Thermal\\_Cameras](https://www.researchgate.net/publication/319912243_Image_Processing_in_Thermal_Cameras).
5. *Ashish Vijay Review on thermal image processing techniques formachine condition monitoring* / *Ashish Vijay* [Electronic resource]. – Access mode : <http://surl.li/hxutx>.
6. *Подчашинський Ю.О. Вимірювання параметрів руху об'єктів на основі комп'ютеризованої обробки відео зображень* : монографія / *Ю.О. Подчашинський, О.О. Лугових, Ю.О. Шавурський*. – Житомир : ЖДТУ, 2018. – 192 с.
7. *Geometric errors of determination of objects coordinates by their video images* / *Y.Podchashynskiy, T.Voronova, O.Luhovykh, I.Omelchuk* // *European scientific discussions. Proceedings of the 10th International scientific and practical conference. Potere della ragione Editore*. – Rome, Italy. – 2021. – 287 p. – P. 48–54.
8. *Theoretical Estimates of the Accuracy of Determination of Geometric Parameters of Objects on Digital Images* / *I.Korobiichuk, Y.Podchashynskiy, O.Luhovykh and other* // *Advances in Intelligent Systems and Computing 1140 AISC*, – Springer International Publishing Switzerland. – 2020. – P. 289–299.
9. *Принцип роботи тепловізора* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ekspertiza.com.ua/ru/eto-polezno-znat/792-printsip-raboty-teplovizora>.
10. *Лугових О.О. Аналіз методів обробки відеозображень з тепловізора* / *О.О. Лугових* // *Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення* : Тези доповідей V Всеукраїнської науково-технічної конференції, 01–02 грудня. – Житомир : Житомирська політехніка, 2022. – С. 332–334.
11. *Що таке тепловізор: принцип роботи, ціна, характеристики, де використовується* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://tsn.ua/ato/scho-take-teplovizor-princip-roboti-cina-harakteristiki-de-vikoristovuyetsya-2079811.html>.
12. *Інфрачервоне випромінювання* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/wiki/>.
13. *Liew S.C. Electromagnetic Waves* / *S.C. Liew* // *Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/em.htm>.
14. *Основні характеристики тепловізорів* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://brom.ua/uk/osnovni-harakteristiki-teplovizoriv>.
15. *Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms* / *N.Otsu* // *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*. – 1979. – Vol. 9, № 1. – P. 62–66.

## References:

1. Gonzalez and. Woods', E. Richard (2018), «Digital Image Processing», 4th Edition, *Pearson Education Limited*, 1022 p.
2. Forsyth, David and Ponce, Jean (2011), «Computer Vision: A Modern Approach», 2nd Edition, Pearson Education, 800 p.
3. Gonzalez, C.Rafael, Woods, E.Richard and Steven, L. (2020), «Eddins Digital Image Processing Using MATLAB», 3rd edition, *Gatesmark Publishing*, 1009 p.
4. Sosnowski, Tomasz, Bieszczad, Grzegorz and Madura, Henryk «Image Processing in Thermal Cameras», [Online], available at: [https://www.researchgate.net/publication/319912243\\_Image\\_Processing\\_in\\_Thermal\\_Cameras](https://www.researchgate.net/publication/319912243_Image_Processing_in_Thermal_Cameras)
5. Ashish, Vijay «Review on thermal image processing tecniques formachine condition monitoring», [Online], available at: <http://surl.li/hxutx>
6. Podchashynskiy, Yu.O., Luhovykh, O.O. and Shavurskiy, Yu.O. (2018), *Vymiriuvannia parametriv rukhu obektiv na osnovi kompiuteryzovanoi obrobky video zobrazen*, monohrafiia, ZhDTU, Zhytomyr, 192 p.
7. Podchashynskiy, Y., Voronova, T., Luhovykh, O. and Omelchuk, I. (2021), «Geometric errors of determination of objects coordinates by their video images», *European scientific discussions. Proceedings of the 10th International scientific and practical conference. Potere della ragione Editore*, Rome, Italy, 287 p., pp. 48–54.
8. Korobiichuk, I., Podchashynskiy, Y., Luhovykh, O. et al. (2020), «Theoretical Estimates of the Accuracy of Determination of Geometric Parameters of Objects on Digital Images», *Advances in Intelligent Systems and Computing 1140 AISC*, Springer International Publishing Switzerland, pp. 289–299.
9. *Pryntsy roboty teplovizora*, [Online], available at: <https://ekspertiza.com.ua/ru/eto-polezno-znat/792-printsip-raboty-teplovizora>
10. Luhovykh, O.O. (2022), «Analiz metodiv obrobky videozobrazen z teplovizora», *Kompiuterni tekhnolohii: innovatsii, problemy, rishennia, Tezy dopovidei V Vseukrainskoi naukovu-tekhnichnoi konferentsii*, 01–02 hrudnia, Zhytomyrska politekhnika, Zhytomyr, pp. 332–334.
11. *Shcho take teplovizor: pryntsy roboty, tsina, kharakterystyky, de vykorystovuietsia*, [Online], available at: <https://tsn.ua/ato/scho-take-teplovizor-princip-roboti-cina-harakteristiki-de-vikoristovuyetsya-2079811.html>
12. *Infrachervone vyprominiuvannia*, [Online], available at: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>



13. Liew, S.C. «Electromagnetic Waves», *Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing*, [Online], available at: <http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/em.htm>
14. *Osnovni kharakterystyky teplovi zoriv*, [Online], available at: <https://brom.ua/uk/osnovni-harakteristiki-teplovizoriv>
15. Otsu, N. (1979), «A threshold selection method from gray-level histograms», *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, Vol. 9, No. 1, pp. 62–66.

**Подчашинський** Юрій Олександрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри метрології та інформаційно-виміральної техніки Державного університету «Житомирська політехніка».  
<http://orcid.org/0000-0002-8344-6061>.

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційно-вимірвальні системи;
- цифрова обробка сигналів і відеозображень;
- метрологія, засоби вимірювання;
- системний аналіз складних технічних систем.

**Лугових** Оксана Олександрівна – старший викладач кафедри метрології та інформаційно-виміральної техніки Державного університету «Житомирська політехніка».  
<http://orcid.org/0000-0001-6138-8991>.

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційно-вимірвальні системи;
- цифрова обробка сигналів і відеозображень;
- метрологія, засоби вимірювання;
- системний аналіз складних технічних систем.

**Чепюк** Ларіна Олексіївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри метрології та інформаційно-виміральної техніки Державного університету «Житомирська політехніка».  
<http://orcid.org/0000-0002-8072-8186>.

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційно-вимірвальні системи;
- цифрова обробка сигналів і відеозображень;
- метрологія, засоби вимірювання;
- системний аналіз складних технічних систем.

**Podchashynskiy Yu.O., Luhovykh O.O., Chepiuk L.O.**

**Analysis of methods for processing video images  
with measurement information from a thermal imager / spectral camera**

Information technologies are able to provide a person with the necessary information about the state of controlled objects in difficult working conditions. These can be industrial objects with properties visible only in a certain spectral range of radiation. Computerized information and measurement systems, built on the basis of the formation and software-algorithmic processing of thermal and spectral images, can provide information on geometric parameters and the current position of production facilities, detection of product defects, as well as the formation of control influences on technological equipment. Observation and control of various objects includes determination of geometric parameters of these objects, their movements and other movement parameters. For that purpose, it is necessary to take into account the peculiarities of the physical principles of the operation of a thermal imager and/or a spectral camera, which in this case are image forming devices. The main methods of image preprocessing are image enhancement (noise filtering and restoration of dynamic distortions), binarization and morphological operations on selected contours and objects. It was determined that segmentation according to the Otsu's method, segmentation according to the k-means method, and segmentation according to texture are most suitable for thermal imaging. For thermal images, morphological processing is used to close contours, thicken lines, fill areas, and build a skeleton. Such morphological operations make it possible to improve the quality of object recognition and the accuracy of determining their geometric parameters due to software-algorithmic compensation of distortions caused by non-ideal conditions by forming images using a thermal imager and/or spectral camera, these methods also ensure the selection of related components and shape determination objects in the image.

**Keywords:** machine vision; image; thermal imager; spectral camera; binarization.

Стаття надійшла до редакції 17.04.2023.