

О. С. КРАВЧЕНКО**ЗАГАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ В ПРИКЛАДАХ І ЗАДАЧАХ**

Розглянуто лазерну систему технічного зору для слідкування за зварювальним швом. Описане математичне обґрунтування застосованого алгоритму. Алгоритм використовує метод екстремального значення, що полягає у виборі максимального значення на поперечному перерізі лазерної лінії в якості центра. Для вдосконалення точності алгоритму застосовується метод згортання матриці.

Ключові слова: інтелектуальна власність; система технічного зору; слідкування за процесом роботи і швом; триангуляція.

А. С. КРАВЧЕНКО**ОБЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СИСТЕМИ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ В ПРИМЕРАХ И ЗАДАЧАХ**

В материалах статьи рассмотрены возможности лазерной системы технического зрения для слежения за сварочным швом. Описанное математическое обоснование применяемого алгоритма. Алгоритм использует метод экстремального значения, состоит в выборе максимального значения на поперечном сечении лазерной линии в качестве центра. Для совершенствования точности алгоритма применяется метод сворачивания матрицы.

Ключевые слова: интеллектуальная собственность; система технического зрения; наблюдение за процессом работы и швом; триангуляция.

O. S. KRAVCHENKO**GENERAL TECHNOLOGY OF TECHNICAL VISION SYSTEM IN EXAMPLES AND TASKS**

This paper introduces positions of system analysis concept on shortening of time needed for robot's algorithms and software successful development with taking into consideration the mechanic, electronic and technological circumstances. The means of the in-creasing of the robot's work reliability are also considered. The work is based on the experience of creation of great number of control systems and software for a wide number of the robots, different by appointment and the constructive scheme. The laser system of technical vision for tracking the weld is considered. The mathematical justification of the applied algorithm is described. The algorithm uses the extreme value method, which is to select the maximum value at the cross section of the laser line as the center. To improve the accuracy of the algorithm, the method of minimizing the matrix is used.

Keywords: intellectual property; system of technical vision; monitoring of work process and seam; triangulation.

Вступ. У всьому світі, за даними The Robot Report, існує більш 343 компаній, які виробляють промислових роботів, понад 347 компаній, що займаються інтеграцією робототехнічних комплексів в виробничий процес, більш 886 компаній, виробляють сервісних роботів для професійного використання, і 204 компанії, виробляють сервісних роботів для персонального використання. Основні драйвери зростання світових продажів промислових роботів – автомобільна промисловість і електрика/електроніка [1, 2].

Основними трендами ринку промислової робототехніки на 2015–2018 рр., за даними International Federation of Robotics (IFR), є:

1) удосконалення взаємодії людини і робота: роботи допомагають робочим виконувати широке коло завдань, підвищують якість виробничого процесу, збільшують продуктивність, виконують найнебезпечнішу, тяжку і брудну частину роботи, виконання якої людиною неможливо або небезпечно;

2) спрощення використання роботів відкриває великі можливості у всіх сферах промисловості, в тому числі для малого і середнього бізнесу, для дрібно- та середнє серійне виробництва;

3) індустрія 4.0, що зв'язує реальне виробництво з віртуальною реальністю, буде відігравати значну роль у світовій промисловості;

4) глобальна конкуренція вимагає продовження модернізації виробничих потужностей;

5) оптимізація енергоспоживання і використання нових матеріалів, таких як вуглецеві композити, зажадають продовження переобладнання виробництва;

6) зростаючі споживчі ринки формують запит на розширення виробничих потужностей;

7) зниження терміну використання продукції і її зростаюче розмаїття тягнуть необхідність в гнучкій автоматизації;

8) зростання попиту на простих у використанні роботів з обмеженим застосуванням, коротким життєвим циклом і низькою ціною: частково він надходить від виробників електроніки (смартфони, планшетні комп'ютери та ін.);

9) одночасно з цим, триваюче поліпшення якості продукції формує запит на складні високотехнологічні роботизовані системи та ін.

© Кравченко О.С., 2019

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.

1. Аналіз сучасного стану проблеми.

Метою даного дослідження є отримання центрів лазерних ліній за допомогою вирішальної функції, що генерується щоб відрізнити реальні центри від точок-кандидатів з високою швидкістю розпізнавання.

Сучасні ергатичних (людино-машинні) системи управління оснащуються інтелектуальними

системами технічного зору – призначення таких систем, здійснювати не тільки пасивний контроль і візуалізацію поточних значень параметрів відбуваються динамічних процесів і попереджати суб'єктів системи управління або осіб, які приймають рішення про наближення до експлуатаційних кордонів окремих критичних параметрів системи, але і на основі багатофакторного аналізу визначати поточний рівень їх безпеки, синтезувати оптимальні рішення. Відповідно до технічного завдання встановлені наступні задачі (табл. 1).

Таблиця 1 – Складові дослідження за темою проекту

№	ЗМІСТ
1	ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ
2	ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ: 2.1. Методи визначення центрів лазерної лінії; 2.2. Конволюція матриці; 2.3. Паралельне програмування
3	ОПИС АЛГОРИТМІВ: 3.1. Алгоритм пошуку центрів лазерної лінії; 3.2. Алгоритм роботи паралельного процесу
4	ОПИС ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ: 4.1. Функціональна структура програмного забезпечення; 4.2. Опис функцій частин програмного забезпечення; 4.2.1. Користувацькі функції; 4.2.2. Стандартні функції
5	ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ: 5.1. План тестування; 5.2. Приклади тестування; 5.2.1. Тестування правильності введених значень; 5.2.1.1. Тестування при натисканні кнопки "STOP" коли програма ще не працює; 5.2.1.2. Тестування при натисканні кнопки "START" коли програма вже працює; 5.2.2. Тестування коректності роботи; 5.2.2.1. Перевірка коректності обчислення відстані шва до центра зображення; 5.2.2.2. Перевірка коректності знаходження лазерної лінії; 5.2.2.3. Перевірка коректності знаходження шва
6	ІНСТРУКЦІЯ КОРИСТУВАЧА: 6.1. Робота з програмою; 6.2. Формат вхідних та вихідних даних; 6.3. Системні вимоги
7	ВИСНОВКИ

У вимірювальних системах технічного зору на основі структурованого світла, ключовим моментом точності виявлення є точне визначення центрального положення проектованої лазерної лінії на зображенні.

Перший спосіб полягає у попередній обробці зображення методом диференціювання зображення, що проводиться для відокремлення зображення від лазерної лінії. При другому способі особливі точки на інтегральному піксельному рівні вибираються в якості центрів ліній ініціюючого світла власними значеннями матриці Гессе. Третій спосіб ґрунтується на тому, що оскільки розподіл інтенсивності світла лазерної лінії підкоряється розподілу Гауса в поперечному перерізі і рівномірному розподілу в поздовжньому перетині, нормалізована модель власних чисел матриці Гессе в якості точок-кандидатів на центри лазерної лінії представлена щоб розумно збалансувати два власних числа, які вказують варіативні тенденції частинних похідних другого порядку функції Гауса та функції рівномірного розподілу, відповідно.

Методи визначення центрів лазерної лінії. Вимірювання технічним зором структурованого світла є одним з важливих підходів для визначення

тривимірного об'єкта і має переваги безконтактності й інформативності, помірної швидкості вимірювання і точності вимірювань. Він широко використовується в інспекції автомобільних деталей, випробування морфології поверхонь транспортних засобів, забезпечення якості та інших метрологічних полів. Вимірювальна система для структурованого світла, як правило, складається з камери, лазерного проектора і комп'ютера.

Зображення від лінії лазера, що падає на об'єкт, є джерелом інформації для виконання вимірювального завдання. Одним з ключових кроків завдання є отримання точного положення центру лазерної лінії. Ідеальні позиції центру лазерної лінії повинні бути однопіксельною по ширині кривою, розташованою в центрі світлової лінії. Оскільки фактична світлова площа створюється з певною товщиною, перетин кривої світлової площині і поверхні вимірюваного об'єкта також має певну ширину.

Таким чином, швидке і точне визначення центру лазерної лінії в тестовому зображенні є великим досягненням системи вимірювання технічним зором структурованого світла.

Принцип методу екстремального значення полягає у виборі пікселя з максимальним значенням сірого на поперечному перерізі лазерної лінії в якості центра. Цей метод забезпечує просте і швидке визначення і дає кращі результати розпізнавання, коли розподіл відтінків сірого світлового лінії ідеально підпорядковується розподілу Гауса. Проте, він чутливий до шуму. Шумові точки в зображенні, захопленому камерою, часто залишаються на зображенні навіть після фільтрації.

Таким чином, при реальному вимірюванні, коли розподіл сірого лазерної лінії не є строго підпорядкованим розподілу Гауса або впливу шуму, визначені центри будуть відхилятися від дійсних центрів лазерної лінії, що призводить до визначення результатів з нижчою точністю.

Граничний метод встановлює граничний поріг для отримання двох кордонів в поперечному перерізі лазерного променя, а центри лазерної лінії вважаються центрами двох кордонів. Характеристики цього методу аналогічні тим методу екстремального значення, що дають високу швидкість обробки даних. Проте, помилки розпізнавання з'являються, коли відтінки сірого поперечного перерізу лазерної лінії розподілені асиметрично або страждають від шуму. Крім того, складним завданням є розумний вибір порогу. Корисні пікселі пропускаються, якщо поріг занадто високий, в той час як непотрібні пікселі генеруються, якщо граничне значення занадто низьке. Оскільки поріг заважає результатам цього методу, пороговий метод часто використовується з іншими методами в якості першого кроку, щоб вибрати центри лазерної лінії.

Метод спрямованого шаблону послідовно згортає шаблони напрямку 0° , 90° і 45° із зображенням, що містить лазерну лінію. За допомогою цього методу, крайні точки в поперечному перерізі лазерної лінії посилюються після згортки, в той час як інші навколишні точки відповідно пригнічуються. Якщо напрямок лінії лазера збігається з орієнтацією шаблону, розташування крайніх точок буде більш помітним.

Порівнюються результати обробки кожного спрямованого шаблону, точка з максимальним значенням є центром лазерної лінії даної секції. Метод спрямованого шаблону покращує старі підходи шляхом відновлення від'єднаних ліній і пригнічення шуму. Проте, цей метод збільшує обсяг обчислень і потрібне місце для зберігання інформації, так як кожен рядок в зображенні повинен бути згорнутих з шаблонами в чотирьох напрямках.

В цілому, методи, описані вище, шукають центри лазерної лінії на рівні одного пікселя точності.

Для підвищення точності вимірювання методом структурованого світла, дослідники додатково

запропонували кілька методів визначення на рівні субпікселів.

Сіро-центроїдний метод безпосередньо обчислює чорно-білий центр уздовж осі абсцис, як центральне положення відповідно до розташування значень сірого лінії лазера в певному діапазоні.

Спочатку, точка максимуму сірої шкали лазерної лінії виявляється методом екстремального значення вище; потім кілька пікселів вибираються навколо цієї точки максимуму.

Центральне положення лазерної лінії в цій області визначається рівнянням центроїда.

Сіро-центроїдний метод досліджує інтенсивності світла всіх точок навколо крайньої точки, уникаючи негативних наслідків нерівномірного розподілу світла за результатами визначення. Проте, так як цей метод виконує пошук точки максимуму в відтінках сірого лазерної лінії, застосовуючи метод екстремального значення, він також дуже чутливий до шуму. Так як Сіро-центроїдний метод виконує сканування лінії, точність вилучення залежить від кривизни лінії лазера, тому цей метод зазвичай використовується для лазерної лінії з невеликою кривизною.

Метод апроксимації кривої описує розподіл відтінків сірого в поперечному перерізі лазерного променя з використанням кривої Гауса або параболи.

Центральна точка поперечного перерізу є локальним максимумом кривої. Цей метод можна застосовувати тільки для широкої лазерної лінії з постійним напрямком її нормальних векторів. Крім того, фактичний розподіл відтінків сірого на лазерній лінії не є строго симетричним, тому крайня точка, знайдена за допомогою процесу апроксимації кривої, часто відхиляється від фактичного центру лазерної лінії.

В даний час методи визначення центрів лазерної лінії можна розділити на дві категорії. Одна з категорій базується на рівні пікселів, наприклад метод екстремального значення, пороговий метод, а також метод спрямованого шаблону; інша категорія виконується на рівні субпікселів, в тому числі сіро-центроїдний метод, апроксимації кривої, а також метод матриці Гессе.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

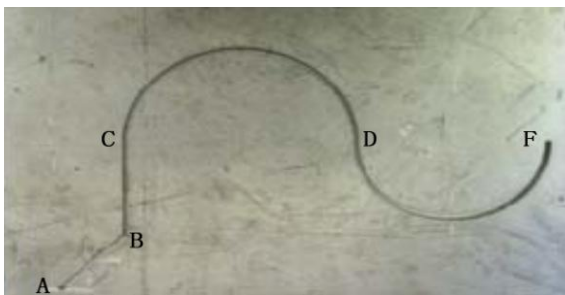
У даній роботі за основу береться метод екстремального значення. Проте задля вдосконалення метода виконується також математична операція згортання (або конволюції) матриці зображення, що позбавляє метод небажаної чутливості до шуму та значно підвищує точність визначення центрів лазерної лінії.

На рис. 1 зображено приклад відсіювання шумів даним методом.



Рис. 1. Відсіювання шумів

Метод знаходить розташування шва в реальному часі та буде точну траєкторію рухів робота. Приклад вхідного шва зображено на рис. 2.

Рис. *Ошибки! Текст указанного стиля в документе отсутствует.* Приклад шва

Траєкторія руху робота, побудована програмою для даного прикладу, зображена на рис. 3.

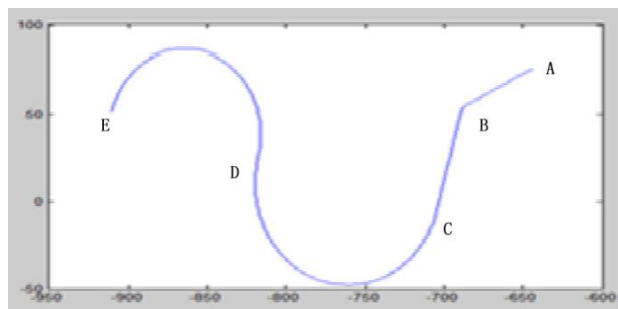


Рис. 3. Траєкторія руху робота

Розроблена модель поєднує функцію розпізнавання Гауса і синусоїдальну функцію розпізнавання. Функція розпізнавання Гауса оцінює ознаку того, що одне власне значення наближається до нуля, і підвищує чутливість функції прийняття рішення до ознаки, що відповідає подовжньому напрямку лазерної лінії.

Синусоїдальна функція розпізнавання оцінює ознаку того, що інше власне значення негативне та велике за модулем, в результаті чого функція прийняття рішення більш чутлива до ознаки, яка пов'язана з поперечним напрямком лазерної лінії.

У моделі функція прийняття рішення зважується для більш високих значень, порівняно з реальними центрами, в подовжньому і поперечному напрямках лінії лазера. Нормовані результати пікселів, близьких до 1, визначаються як реальні центри прогресивної розгортки стовпців зображення. Нульова точка другого порядку розкладання Тейлора в напрямку власного вектора використовуватися для подальшого уточнення результатів визначення центральних точок на рівні субпікселів.

Експериментальні результати показують, що метод, заснований на цій моделі нормалізації точно визначає координати центрів лазерних ліній і має високу швидкість розпізнавання.

Процес подальшого розвитку наукового напрямку з технології визначення системи технічного зору у вигляді об'єктів інтелектуальної власності [1, 2] потребує визначення складових дослідження.

До теоретичних відомостей входить науково-обґрунтований аналіз:

- 1) методів визначення центрів лазерної лінії;
- 2) конволюція матриці;
- 3) паралельне програмування. У даній роботі за основу береться метод екстремального значення.

Для проектування системи розроблено схему пристрою – рис. 4. Цифра 1 вказує на власне робота, 2 – на камеру, що відслідковує лазер, 3 – лазерний промінь, 4 – шов.

Визначення центрів лазерної лінії. У даній роботі за основу береться метод екстремального значення, що полягає у виборі пікселя з максимальним значенням сірого на поперечному перерізі лазерної лінії в якості центра. Він забезпечує просте і швидке визначення і дає кращі результати розпізнавання, коли розподіл відтінків сірого світлової лінії ідеально підпорядковується розподілу Гауса. Проте, він чутливий до шуму. Шумові точки в зображенні, захопленому камерою, часто залишаються на зображенні навіть після фільтрації.

Таким чином, при реальному вимірюванні, коли розподіл сірого лазерної лінії не є строго підпорядкованим розподілу Гауса або впливу шуму, визначені центри будуть відхилятися від дійсних центрів лазерної лінії, що призводить до визначення результатів з нижчою точністю. Тому, задля вдосконалення метода, виконується також математична операція згортання (або конволюції) матриці зображення, що позбавляє метод небажаної чутливості до шуму та значно підвищує точність визначення центрів лазерної лінії.

Алгоритм застосовується до кожного кадру відео потоку, захопленого під час руху системи над металевими поверхнями.

Використана операція згортання матриці наведена на рис. 5.

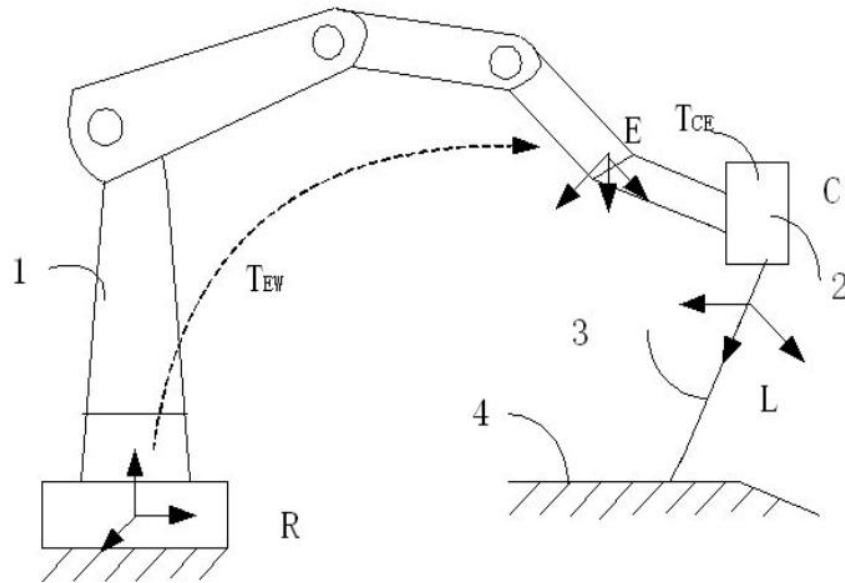


Рис. 4. Схема пристрою:
1 – робот, 2 – камера, що відслідковує лазер, 3 – лазерний промінь, 4 – шов.

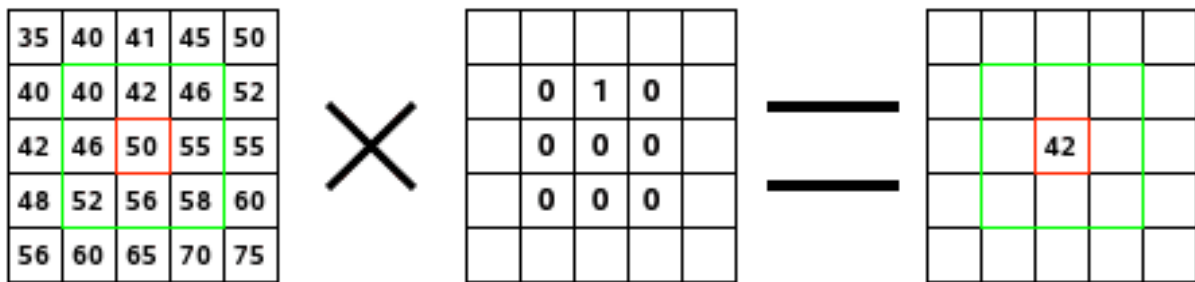


Рис. 5. Операція згортання матриці

Проте задля вдосконалення метода виконується також математична операція згортання (або конволюції) матриці зображення, що позбавляє метод небажаної чутливості до шуму та значно підвищує точність визначення центрів лазерної лінії (рис. 5). Зліва – матриця зображення: кожен піксель означений своїм значенням. У початкового пікселя червона межа. В середині – ядро. Активна область ядра – зелений кордон. Праворуч – результат конволюції.

Апаратною частиною системи є робот із 6 ступенями свободи, що несе зварювальне обладнання, лазерний пристрій та систему технічного зору. Відео потік у реальному часі захоплюється та оброблюється системою для розрахунку координат шва відносно позиції камери. У подальшому ця інформація використовується для корегування напрямку руху зварювального обладнання.

Для переваги червоного спектру та додаткового відсіювання шумів поверх системи технічного зору встановлено пластину зі склом рубінового кольору.

Прикладом дослідження системи технічного зору є дослідження з отримання центрів лазерних ліній за допомогою вирішальної функції, що генерується з метою можливості відрізнити реальні центри від точок-кандидатів з високою швидкістю розпізнавання.

В межах дослідження розроблене програмне та апаратне забезпечення, за допомогою якого реалізований пошук шву між металевими листами.

Програма повинна забезпечувати можливість виконання нижче наведених функцій:

- 1) виокремлення лазерної лінії на зображенні в реальному часі;
- 2) визначення викривлення лінії; аналіз викривлення лінії;
- 3) обчислення довжини шва та відстані від центру площини, що паралельна площині матриці камери;
- 4) подання проміжних результатів на екран; виведення графіка траєкторії шва.

Вхідними даними до програми є зображення, що знімається камерою; вихідними даними є координати траєкторії шва (рис. 6). За допомогою означеного пристрою та використаного методу можна знаходити розташування шва в реальному часі та будувати двовимірну траєкторію руху робота. Приклад вихідного зображення наведено на рис. 6.

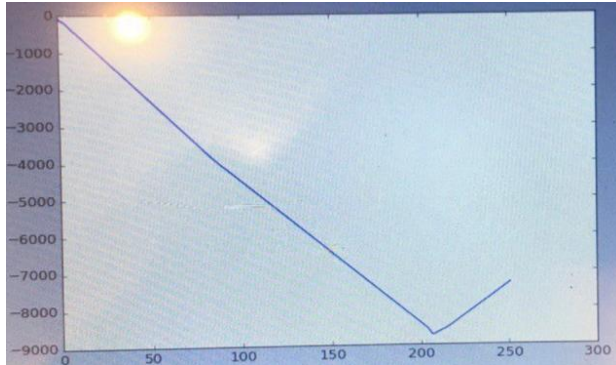


Рис. 6. Траєкторія руху робота.

Проведено тестування системи, у ході якого не було виявлено жодних помилок в роботі програми, всі виміри було здійснено точно, некоректні вхідні дані було виявлено, в їхній обробці було відмовлено. Система технічного зору, призначена для застосування на промислових лініях підприємств, що займаються металообробкою. [1–5].

Система технічного зору виокремлює лазерну лінію на зображенні в реальному часі, визначає та аналізує місце викривлення лінії, обчислює довжину шву та відстань від центру площини, що паралельна площині матриці камери, подає проміжні результати на екран, виводить графік траєкторії шву.

Подальше дослідження зв'язане з визначенням алгоритму пошуку центрів лазерної лінії та алгоритму роботи паралельного процесу.

Алгоритм пошуку центрів лазерної лінії

1. ПОЧАТОК.
2. Зняти зображення з матриці камери.
3. Перевести зображення у чорно-білий колір.
4. Нормалізувати яскравість до одиниці.
5. Поки не закінчилися рядки в матриці зображення:
 - 5.1. Перевести поточний рядок у рядок нормального розподілу.
 - 5.2. Обрізати центральні 11 значень рядка.
 - 5.3. Зробити згортання оригінального рядка з рядком-ядром центральних значень.
 - 5.4. Знайти позицію максимального елемента і визначити її як позицію центра лазерної лінії в даному рядку.
 - 5.5. Намалювати червону крапку на екрані у відповідному місці.
 - 5.6. Якщо відстань знайденого центру знаходиться далі ніж 40 пікселів від центру зображення або найяскравіший елемент недостатньо яскравий, то:

- 5.6.1. Вивести на екран: “Laser Lost”.
- 5.7. Інакше:
 - 5.7.1. Якщо у даному рядку було знайдено шов:
 - 5.7.1.1. Додати координати знайденого шва у відповідний масив.
 6. Якщо довжина масиву шва більше за нуль:
 - 6.1. Визначити індекс центрального елемента масиву.
 - 6.2. Намалювати жовту крапку на екрані у місці, відповідному центральному елементу.
 - 6.3. Визначити дистанцію до центра зображення в пікселях.
 - 6.4. Визначити дистанцію до центра зображення в міліметрах.
 - 6.5. Визначити позицію шва відносно центра зображення.
 7. Обрізати вихідне зображення.

8. КІНЕЦЬ.

Алгоритм роботи паралельного процесу

1. ПОЧАТОК.
2. Визначити глобальний вказівник на об'єкт класу Multiprocessing.Process.
3. Визначити чергу і подію багатопоточності.
4. Запустити процес через вказівник.
5. Якщо подія НЕ визначена:
 - 5.1. Продовжувати роботу.
6. Якщо подія визначена:
 - 6.1. Очистити подію (зняти визначення).
 - 6.2. Зупинити роботу.
 - 6.3. З'єднати процеси.
7. КІНЕЦЬ

Опис програмного забезпечення складається з функціональної структури програмного забезпечення та опису функцій частин програмного забезпечення (користувацькі та стандартні).

Функціональна структура програмного забезпечення (рис. 7): зображено загальну структуру додатку, де наявні усі класи програми та стрілками відношення між класами.

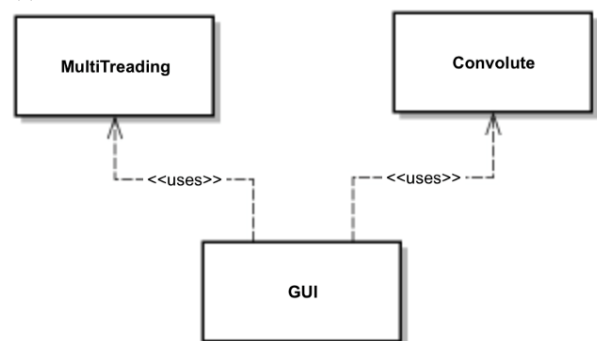


Рис. 7. Загальна структура класів проекту

На рис. 8 зображено загальну структуру класу додатку інтерфейсу користувача – GUI, який безпосередньо пов'язує всі компоненти програми між собою та надає інтерфейс користувача.



Рис. 8. Загальна структура класу GUI

На рис. 9 зображено можливу загальну структуру класу, що виконує обробку зображення – Convolute.

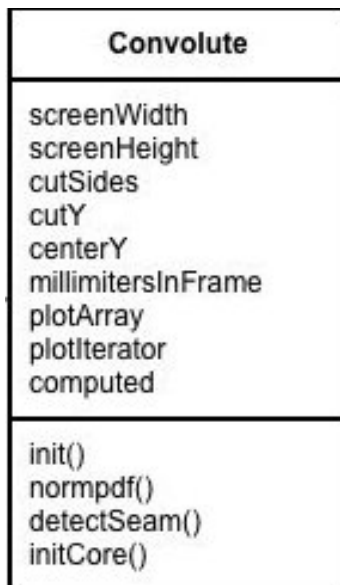


Рис. 9. Загальна структура класу Convolute

На рис. 10 зображено загальну структуру класу, що забезпечує підтримку паралельного програмування – MultiTreading.

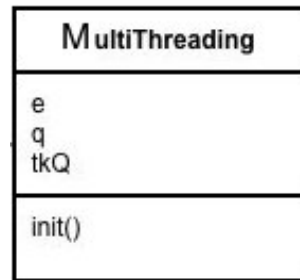


Рис. 11. Загальна структура класу MultiTreading

До загальної технології системи входить тестування програмного забезпечення:

1. План тестування;
2. Приклади тестування;
 - 2.1. Тестування правильності введених значень;
 - 2.1.1. Тестування при натисканні кнопки “STOP” коли програма ще не працює;
 - 2.1.2. Тестування при натисканні кнопки “START” коли програма вже працює;
 - 2.2. Тестування коректності роботи;
 - 2.2.1. Перевірка коректності обчислення відстані шва до центра зображення;
 - 2.2.2. Перевірка коректності знаходження лазерної лінії;
 - 2.2.3. Перевірка коректності знаходження шва

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Тестування програмного забезпечення проходить за планом. До інструкції користувача входять: робота з програмою; формат вхідних та вихідних даних; системні вимоги. Можливі випадки виникнення помилок у програмі залежать як від вхідних даних, так і від команд користувача. Тому тестування програми полягає у виявленні правильності та коректності обробки програмою різних вхідних даних. Задля виявлення усіх помилок у роботі програми потрібно запустити її на виконання в таких умовах:

1) тестування коректності взаємодії з інтерфейсом: тестування при натисканні кнопки «STOP» коли програма ще не працює; тестування при натисканні кнопки «START» коли програма вже працює;

2) тестування коректності роботи: перевірка коректності обчислення відстані шва до центра зображення; перевірка коректності знаходження лазерної лінії; перевірка коректності знаходження шва [5, 6].

У цій статті було розглянуто система технічного зору, що виокремлює лазерну лінії на зображенні в

реальному часі, визначає місце викривлення лінії та аналізує його, обчислює довжину шву та відстань від центру площини, що паралельна площині матриці камери. Система призначена для застосування на промислових лініях підприємств, що займаються металообробкою і є прикладом створення інтелектуальної власності студентами [5–14].

Список литературы

1. Study on Robotic Seam Tracking of Laser Scanning System: <https://pdfs.semanticscholar.org/7a62/e1d75668769cfc5714968b3af7782ae57a.pdf>
2. A visual seam tracking system: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-007-0939-6>
3. 11 IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI 2016) : [электронный ресурс] / [официальный сайт]. – URL: <http://humanrobotinteraction.org/2016/>
4. Ботуз С.П. Методы поискового проектирования интеллектуальных систем технического зрения эргатических систем управления. Тезисы научно-технической конференции Техническое зрение в системах управления-2017, М., с. 7.
5. Кравченко О.С., Бухкало С.І. Загальна технологія визначення системи технічного зору для комплексних проєктів. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.: НТУ «ХПІ». 277 с.
6. Кравченко О.С. Складові технології визначення системи технічного зору для комплексних проєктів. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II/за ред. проф. Сокола Є.І. Х.: НТУ «ХПІ». 276 с.
7. S. Bukhkalov, A. Ageicheva, O. Komarova. Distance learning main trends. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.: НТУ «ХПІ». 205 с.
8. S. Bukhkalov, A. Ageicheva, I. Rozhenko. Distance learning investigation some aspects. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.: НТУ «ХПІ». 206 с.
9. Бухкало С.І. Особливості розробки об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.: НТУ «ХПІ». 201 с.
10. Бухкало С.І., Іглінь С.П., Ольховська О.І. та ін. Особливості управління розробками об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.: НТУ «ХПІ». 208 с.
11. Бухкало С.І. Удосконалювання методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів. Вісник НТУ «ХПІ». Х.: НТУ «ХПІ». 2014, № 16, с. 3–11.
12. Бухкало С.І. Визначення загальної технології комплексних курсових проєктів. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 217.
13. Прищенко О.П., Черногор Т.Т., Бухкало С.І. Деякі особливості проведення кореляційного аналізу. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II./за ред. проф. Сокола Є.І. – Х.: НТУ «ХПІ». 320 с.

14. Bukhkalov S.I., Ageicheva A.O. Complex projects development problems, Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 193.

References (transliterated)

1. Study on Robotic Seam Tracking of Laser Scanning System: <https://pdfs.semanticscholar.org/7a62/e1d75668769cfc5714968b3af7782ae57a.pdf>
2. A visual seam tracking system: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-007-0939-6>
3. 11 IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI 2016) : [электронный ресурс] / [официальный сайт]. – URL: <http://humanrobotinteraction.org/2016/>
4. Botuz S.P. Metody poiskovogo proektirovaniya intellektual'nyh sistem tehničeskogo zrenija jergaticheskikh sistem upravlenija. Tezisy nauchno-tehničeskoy konferencii Tehničeskoe zrenie v sistemah upravlenija-2017, M., p. 7.
5. Kravchenko O.S., Bukhkalov S.I. Zagal'na tehnologija viznachennja sistemi tehničnogo zoru dlja kompleksnih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnja 2018r. Ch. II / za red. prof. Sokola E.I. Kh.: NTU «KhPI». 277 p.
6. Kravchenko O.S. Skladovi tehnologij viznachennja sistemi tehničnogo zoru dlja kompleksnih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnja 2018. Ch. II/za red. prof. Sokola E.I. Kh.: NTU «KhPI», 276p.
7. S. Bukhkalov, A. Ageicheva, O. Komarova. Distance learning main trends. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnja 2018r. Ch. II / za red. prof. Sokola E.I. Kh.: NTU «KhPI», 205 p.
8. S. Bukhkalov, A. Ageicheva, I. Rozhenko. Distance learning investigation some aspects. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnja 2018. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. Kh.: NTU «KhPI», 206 p.
9. Bukhkalov S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noi vlasnosti zi studentami. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnja 2018r. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. Kh.: NTU «KhPI», 201 p.
10. Bukhkalov S.I., Iglin S.P., Ol'hov'ska O.I. ta in. Osoblivosti upravlinja rozrobkami ob'ektiv intelektual'noi vlasnosti zi studentami. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnja 2018r. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. Kh.: NTU «KhPI», 208 p.
11. Bukhkalov S.I. Udokonaljuvanja metodiv ocinki znan' studentiv vishhijh navchal'nyh zakladiv. Visnik NTU «HPI». Kh.: NTU «KhPI», 2014, no. 16, pp. 3–11.
12. Bukhkalov S.I. Viznachennja zagal'noi tehnologij kompleksnih kursovyh proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II./za red. prof. Sokola E.I. Kh.: NTU «KhPI», p. 217.
13. Prishhenko O.P., Chernogor T.T., Bukhkalov S.I. Dejaki osoblivosti provedennja koreljacijnogo analizu. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II / za red. prof. Sokola E.I. Kh.: NTU «KhPI», p. 320.
14. Bukhkalov S.I., Ageicheva A.O. Complex projects development problems, Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. Kh.: NTU «KhPI», p. 193.

Надійшла (received) 19.05.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кравченко Олександр Сергійович (Кравченко Александр Сергеевич, Kravchenko Oleksandr Serhijovych) – магістр, НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна.