

Применение средств библиотеки OpenCV для выделения лазерной линии на поверхности физической модели нагреваемого промышленного изделия

А.В. Нестеров¹, М.В. Ленков¹, И.Н. Романов¹

¹ Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, Рязань, 390005, Россия

Аннотация

В настоящей статье рассматриваются проблемы контроля геометрических параметров нагретых изделий в промышленности при помощи систем компьютерного зрения. Делается вывод о необходимости применения физического моделирования для обеспечения удобного и безопасного тестирования алгоритмов компьютерного зрения в лабораторных условиях с дальнейшим перенесением результатов на промышленное производство. Приводится описание стенда и физической модели нагреваемого изделия, позволяющих осуществить такое моделирование и соответствующие исследования. Акцентируется внимание на его конструктивных особенностях и применяемом оборудовании. Описывается принцип функционирования модели, основанный на том, что длина волн, излучаемая нагреваемыми металлическими изделиями, изменяется в зависимости от температуры нагрева. Исследуется использование методов обработки изображений физической модели на основе библиотеки OpenCV. Рассматриваются функции выделения локальной области на изображении физической модели и функции, реализующие методы предварительной обработки полученной области – применение фильтров и коррекция контрастности. Применяются медианные и гауссовы фильтры. Тестируются функции выделения лазерного луча на обработанном изображении. В качестве таких функций рассматриваются функции, реализующие методы пороговой и адаптивной пороговой обработки изображения, методы Оцу, детектор краев Кэнни.

Ключевые слова

OpenCV, лазер, модель, нагрев, распознавание.

The use of OpenCV Library Tools to Isolate a Laser Line on the Surface of a Physical Model of a Heated Industrial Product

A.V. Nesterov¹, M.V. Lenkov¹, I.N. Romanov¹

¹ Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin, Ryazan, 390005, Russia

Abstract

This article discusses the problems of controlling the geometric parameters of heated products in industry using computer vision systems. It is concluded that it is necessary to use physical modeling to ensure convenient and safe testing of computer vision algorithms in laboratory conditions with further transfer of the results to industrial production. The description of the stand and the physical model of the heated product is given, which allow such modeling and corresponding studies to be carried out. Attention is focused on its structural features and the equipment used. The principle of operation of the model is described, based on the fact that the wavelength emitted by heated metal products varies depending on the heating temperature. The use of image processing methods of a physical model based on the OpenCV library is investigated. The functions of highlighting a local

ГрафиКон 2022: 32-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению, 19-22 сентября 2022 г., Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, Рязань, Россия

EMAIL: avnester@yandex.ru (А.В. Нестеров); lenkov.m.v@rsreu.ru (М.В. Ленков); inromanov@live.ru (И.Н. Романов)

ORCID: 0000-0002-5469-2263 (А.В. Нестеров); 0000-0002-9553-2047 (М.В. Ленков); 0000-0003-2941-5448 (И.Н. Романов)



© 2022 Copyright for this paper by its authors.

Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

area in the image of a physical model and functions that implement methods of preprocessing the resulting area – the use of filters and contrast correction - are considered. Median and Gaussian filters are used. The functions of laser beam selection on the processed image are tested. As such functions, the functions implementing the methods of threshold and adaptive threshold image processing, the methods of Ocu, the edge detector Canny are considered.

Keywords

OpenCV, laser, model, heating, recognition.

2. Введение

Алгоритмы и методы компьютерного зрения в настоящее время часто применяются для определения размеров, профиля, формы различных изделий. Их применение обеспечивает возможность реализации комплексов, позволяющих осуществлять бесконтактные измерения профиля заготовок и готовых изделий в промышленности.

Работа системы на основе алгоритмов компьютерного зрения включает в себя захват изображения исследуемого объекта и последующую обработку данного изображения.

Это типовая структура таких систем. И такие системы хорошо справляются со своими задачами при их применении для исследования объектов с невысокими температурами поверхности. В тоже время, если возникает необходимость контроля профиля высокотемпературных изделий в промышленности, то часто применение подобных систем связано с негативными технологическими факторами нагрева исследуемых объектов.

Температура промышленных заготовок может достигать больших значений (до 1200 °С). При данных температурах возникает интенсивное свечение поверхности, происходит процесс её окисления, формирования окалины и, как следствие этого, образование неровностей, имеющих случайное распределение.

У поверхности нагретого изделия присутствуют конвективные потоки, вызывающие явление рефракции.

Таким образом, на сегодняшний день актуальной является научно-техническая задача обработки изображений нагретых промышленных изделий на основе алгоритмов компьютерного зрения, в условиях воздействия на изображения негативных технологических факторов, вызванных нагревом изделий, с целью обеспечения автоматизации определения профиля, повышения эффективности и производительности промышленного оборудования.

В рамках реализации проектов, связанных с применением компьютерного зрения в промышленности, в том числе и при работе с нагретыми изделиями, часто ведущую роль играет необходимость обеспечить минимальные сроки внедрения и желание обеспечить экономию средств на аппаратно-программном обеспечении. При учете того, что аппаратная составляющая систем промышленного компьютерного зрения, как правило, недешево, то, в существующих условиях, разработчику в идеальном случае требуется программная составляющая, имеющая бесплатную лицензию для применения в коммерческих проектах, большую библиотеку готовых решений и возможность написания собственных алгоритмов обработки. Данным условиям полностью отвечает программная библиотека OpenCV.

2. Выделение лазерной линии на поверхности физической модели нагреваемого промышленного изделия

2.1. Физическая модель нагреваемого промышленного изделия

Негативные факторы, возникающие в процессе нагрева заготовок и механические воздействия, вызванные технологическим процессомковки, серьезно осложняют отладку программного обеспечения компьютерного зрения в условиях действующего производства. Это, в свою очередь, делает актуальной задачу переноса исследования в лабораторные условия – реализацию моделирования влияния физико-технологических особенностей нагрева на компьютерное изображение профиля исследуемого объекта.

Для решения задачи переноса процесса отладки и тестирования алгоритмов компьютерного зрения в условия лаборатории и обеспечения максимальной безопасности исследований была разработана специализированная экспериментальная установка, позволяющая моделировать нагрев изделия, разработана методика проведения эксперимента, а также качественного и количественного анализа результатов работы различных алгоритмов компьютерного зрения на данной установке. Установка является лабораторным стендом. Вид данного стенда и модель нагретого изделия показаны на рисунке 1.

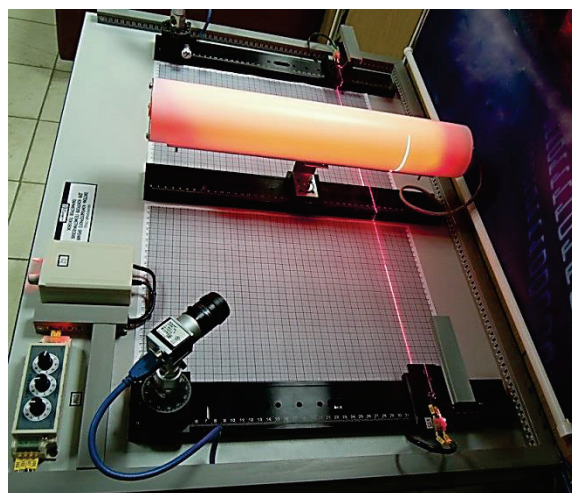


Рисунок 1 – Внешний вид экспериментальной установки

Установка действует следующим образом. Генераторы лазерных лучей, установленные по обеим сторонам от модели нагретой заготовки, проецируют на модель лазерную линию, подсвечивающую профиль заготовки.

Генераторы – два лазерных модуля LG-H650-8-5 от ЗАО «ФТИ-Оптроник» (г. Санкт - Петербург).

Основой модели является труба из органического стекла, оклеенная светорассеивающим покрытием, содержащая внутри трехканальные светодиоды RGB, расположенные на алюминиевой трубе квадратного сечения. При помощи трехканального регулятора яркости имеется возможность получать любые цвета в цветовом пространстве RGB.

Работа модели основана на том, что длина волн, излучаемая нагреваемыми металлическими изделиями, изменяется в зависимости от температуры нагрева. Цвет, характеризующий каждую температуру можно разложить на компоненты в RGB пространстве, исходя из полученной зависимости в Таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость между температурой изделия и цветовыми составляющими его изображения

Цвета	Температура, °C	R	G	B
Начало свечения	550	100	13	0
Темно-красный	630	120	13	0
Темно-вишневый	680	150	20	0
Вишневый	740	170	23	0
Светло-вишневый	770	204	31	0
Красный	850	238	38	0
Светло-красный	900	255	41	0

Разработанная физическая модель имитирует нагрев изделия выше температуры начала свечения, изменение цвета и интенсивности излучения поверхности нагретого изделия. Регулируя интенсивность RGB компонент, данная физическая модель обеспечивает возможность имитации различных температур в широком диапазоне без реального нагрева

модели. При этом, излучающая поверхность принимает на себя проекцию лазерного излучения.

Две USB3.0 видеокамеры Basler acA2500-14uc с объективами BaslerLens C125-0818-5M, пространственно разнесенные с источниками лазерного излучения, фиксируют участки световых линий, попадающих в их поле зрения.

Генераторы лазерных лучей установлены на специальных перемещающихся по рельсам Standa 2OR02-470 основаниях Standa 2RC01-50. Камеры на основаниях закреплены на поворотных конструкциях. Данные устройства позволяют позиционировать камеру с точностью до 1мм и поворачивать на угол до 360° с точностью до 1'. Все оптические элементы установлены на лабораторном столе СЛн 90.65.75 LA.

Полученные изображения передаются в компьютер и поступают в программу для дальнейшей обработки алгоритмами и методами компьютерного зрения при помощи библиотеки компьютерного зрения OpenCV.

2.2. Обработка изображения лазерной линии на поверхности физической модели нагреваемого промышленного изделия

Обработка изображения проводится в несколько этапов, включающих в себя:

1. выделение локальной области, содержащей изображение проекции лазерного луча;
2. применение алгоритмов фильтрации полученного изображения;
3. применение алгоритмов коррекции полученного изображения;
4. применение алгоритмов пороговой обработки полученного изображения.

Перечисленные алгоритмы реализуются на основе компонент библиотеки OpenCV. Далее рассмотрим применение данной библиотеки для реализации экспериментов, связанных с обработкой изображения проекции лазерного луча на поверхности динамической физической модели нагретого промышленного изделия.

При выделении локальной области вводится понятие **Region Of Interest (ROI)** - определённая пользователем прямоугольная область на изображении объекта, которую он может выделить для дальнейшей обработки.

Для определения ROI в библиотеке OpenCV используется функция `cvSetImageROI (IplImage* img, CvRect rect )`, где `img` - исходное изображение, а `rect` - прямоугольная область внутри этого изображения.

Для удаления ROI используется функция `cvResetImageROI (IplImage* img )`, где `img` - исходное изображение [1].

Пример выделения локальной области на изображении макета нагретого изделия шириной W и высотой H относительно исходного пикселя изображения $C(i,j)$ представлен на рисунке 2.

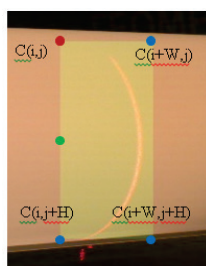


Рисунок 2 – Локальная область на изображении макета нагретого изделия

Полученная локальная область далее используется для обработки и распознавания. Первым этапом обработки является фильтрация. Фильтры могут быть линейные и нелинейные. Наиболее простыми и быстрыми фильтрами являются линейные. В библиотеке OpenCV представлен набор линейных фильтров, которые могут быть применены для обработки изображений. К таким фильтрам относятся Homogeneous (Однородное) сглаживание, Gaussian сглаживание, Median сглаживание, Bilateral (Двустороннее) сглаживание [2].

Пример применения фильтра Гаусса (GaussianBlur в OpenCV) и медианного фильтра (medianBlur в OpenCV) представлен на рисунке 3.

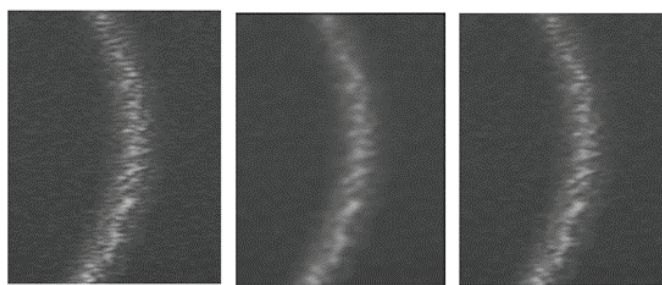


Рисунок 3 – Изображение проекции лазерного луча на поверхности модели, полученное при моделировании температуры 800 °С. Слева направо – без фильтрации, фильтр Гаусса с окном 7x7 и $\sigma = 0,5$, медианный фильтр с окном 7x7

Использование гауссовой фильтрации ведет к размытию контура и снижению детальности объектов на полученном изображении луча лазера. Следствием этого является существенное снижение точности фиксации координат его осевых точек. В случае же медианного фильтра сохраняются перепады яркости на изображении луча, искаженного спекл-шумом.

Следует отметить, что применение только лишь фильтрации не позволяет получить изображение, пригодное для последующего анализа. Требуется провести дополнительную обработку – повысить его контрастность. При этом методика коррекции контраста должна реализовывать быстрое и качественное преобразование в режиме реального времени.

Есть несколько ключевых способов коррекции контраста. Данные методы можно разбить на глобальные, в основе которых лежит преобразование шкалы яркости, и адаптивные, в которых величина изменения яркости каждого пикселя зависит от характеристики окружающей его окрестности [3]. Пример работы метода приведен на рисунке 4.

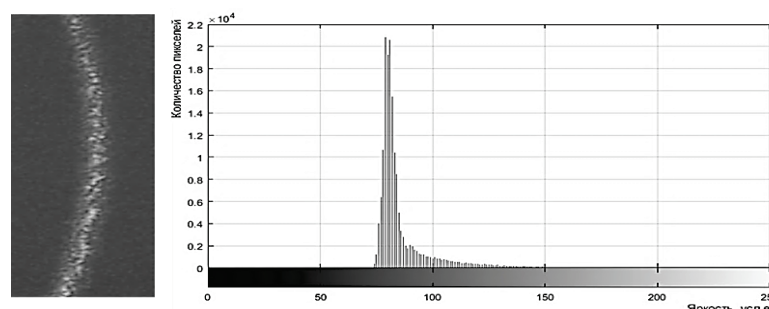


Рисунок 4 – Исходное изображение при моделировании температуры 800 °С (слева) и его гистограмма (справа)

Для коррекции контрастности библиотека OpenCV содержит функцию `cv.equalizeHist`, реализующую метод эквализации гистограмм. Метод основан на предположении, что наибольшая контрастность достигается на изображении, гистограмма которого представляет равномерное распределение пикселей по яркостям на всем возможном диапазоне. Пример работы метода приведен на рисунке 5.

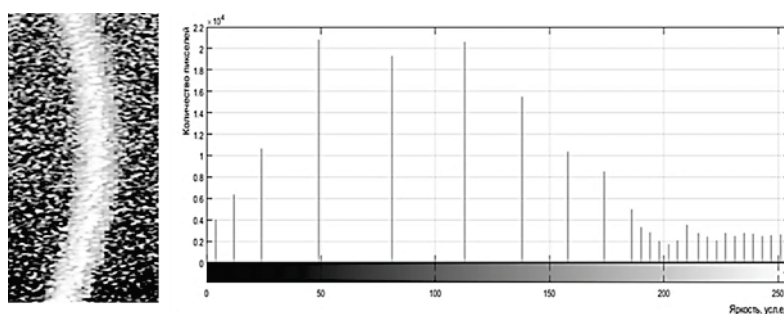


Рисунок 5 – Изображение при моделировании температуры 800 °С после применения метода эквализации гистограммы (слева) и гистограмма данного изображения (справа)

После проведения процедуры коррекции контраста следует следующий этап - выделение луча на фоне излучения поверхности модели. Для этого используется сегментация [4]. Существует много методов сегментации:

1. Пороговая обработка;
2. Классификация пикселей;
3. Сегментация изображений, воспроизводящих трехмерную структуру сцены;
4. Сегментация цветных изображений;
5. Выделение краев на изображениях;
6. Методы теории нечетких множеств.

Пороговая обработка – простой и популярный метод сегментации. Алгоритмы пороговой обработки быстрые, что позволяет использовать их в системах реального времени и могут быть применены и для полутоновых и для цветных изображений.

В системах компьютерного зрения реального времени наиболее широко применяются алгоритмы, основанные на автоматическом определении порогов и алгоритмы выделения краев. В библиотеке OpenCV это метод Оцу, адаптивной бинаризации, детектор краев Кэнни.

Совокупность данных методов пороговой обработки может быть протестирована для выделения лазерного луча на изображении модели нагретого изделия в режиме реального времени. В OpenCV для решения большинства задач пороговой обработки используется функция `cvThreshold(src, dst, threshold, max, thresholdType)`, где `src` — исходное изображение, `dst` — конечный массив, `threshold` — значение порога, `max` — максимальное значение, `thresholdType` — тип порогового преобразования.

В зависимости от типа порогового преобразования данная функция позволяет реализовать различные методы пороговой обработки. Так, например, при типе `CV_THRESH_BINARY` реализуется бинаризация с глобальными постоянными порогами сверху и снизу, а при `CV_THRESH_OTSU` реализуется метод Оцу (Otsu's Method), использующий гистограмму изображения для автоматического расчета глобального порога, минимизирующего среднюю ошибку сегментации.

OpenCV позволяет также применить метод адаптивной бинаризации, основанный на движении скользящего окна по изображению и сопоставлении уровня яркости преобразуемого пикселя со значениями локальных средних, вычисляемых в его окружении. Для этого используется функция `adaptiveThreshold(src, max, adaptiveMethod, thresholdType, blockSize, C, dst)`, где `src` — исходное изображение, `max` — максимальное значение, `adaptiveMethod` – алгоритм адаптивного порога (средний или гауссовский), `threshold_type` — тип порогового преобразования, `blockSize` – размер блока (1,3,5...), `C` – константа, число, вычтенное из среднего или средневзвешенного значения, `dst` — конечный массив.

К адаптивным методам относится также и детектор краев Кэнни, реализуемый в OpenCV функцией `cvCanny(src, dst, threshold_1, threshold_2, blockSize)`, где `src` — исходное изображение, `dst` — конечный массив, `threshold_1` — значение минимального порога, `threshold_2` — значение максимального порога, `blockSize` – размер блока для оператора Собеля.

Детектор краев Кэнни (Canny) предназначен для выделения граничных сегментов (контуров) на полутоновом изображении. Результаты применения указанных выше методов на модели нагретого тела при моделировании нагрева до 550С и 800С показаны на рисунках 6 и 7 соответственно.

На данных изображениях хорошо видно, например, что метод Оцу хорошо работает для изображений имеющих бимодальное или близкое к бимодальному, распределение значений интенсивности, в иных случаях данный метод неэффективен. К недостаткам метода Оцу можно также отнести размытие и потерю тонких линий, «слипание» объектов в местах их пересечений.

Реализация физической модели нагретого объекта и применение открытой библиотеки компьютерного зрения обеспечили безопасность и удобство проведения исследований и разработок в области обработки изображений нагретых промышленных изделий на основе алгоритмов компьютерного зрения, в условиях воздействия на изображения негативных технологических факторов, вызванных нагревом изделий, с целью обеспечения автоматизации определения профиля, повышения эффективности и производительности промышленного оборудования.

Рисунок 6 – Результаты выделения лазерной линии, при моделировании нагрева до 550 °С (слева направо – методы Оцу, алгоритм адаптивной бинаризации при помощи локальных средних, детектор границ Кэнни)

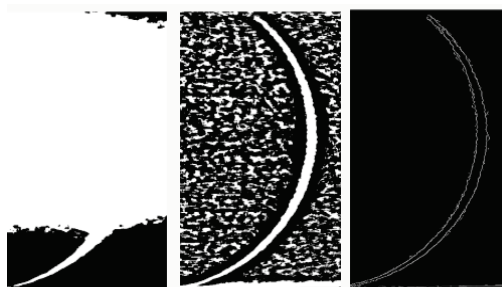


Рисунок 7 – Результаты выделения лазерной линии, при моделировании нагрева до 800 °С (слева направо – методы Оцу, алгоритм адаптивной бинаризации при помощи локальных средних, детектор границ Кэнни)

Полученные результаты могут быть применены в процессе создания и опробования систем компьютерного зрения для контроля геометрических параметров нагретых изделий в металлургии, машиностроении и т.п. В частности, результаты исследования были использованы для разработки программы компьютерного зрения для контроля геометрических параметров поволоков [5].

3. Благодарности

Исследование, описанное в данной статье, проведено на базе стенда, разработанного при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фонд содействия инновациям).

4. Список источников

- [1] Bradski G. Learning OpenCV. Computer Vision with the OpenCV Library.: O'Reilly Media, 2008. p.580.
- [2] Bradski G. Learning OpenCV 3: Computer Vision in C++ with the OpenCV Library.: O'Reilly Media, 2017. p.1024.
- [3] Сергеев М. Б. Методы повышения контрастности растровых изображений для систем цифровой обработки видеoinформации // Информационно-управляющие системы. 2007. №1. С. 2–7.
- [4] Сойфер В. А. Методы компьютерной обработки изображений / под ред. В. А. Сойфера. – 2-е изд. М. : Физматлит, 2003. 784 с.
- [5] Программа компьютерного зрения для контроля геометрических параметров поволоков : свидетельство о государственной регистрации ПрЭВМ 2016610714 Рос. Федерация / Нестеров А. В. ; заявитель и правообладатель ООО «СИНЭЛТ». № 2015661325 , заявл. 23.11.2015 ; опубли. 20.02.2016.