

УДК 621.791.7:004.932.72

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ВНЕШНЕГО ВИДА КРЫШЕК НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

¹И.Л. Касимов, ²Li Jianjun, ¹MA Zhenhuai

¹Таджикский национальный университет

²Университет Цзяотун в Шаньдуне

В данной работе предложен метод обнаружения дефектов на крышках, основанный на машинном зрении. Для решения проблем, связанных с техническими сложностями в обнаружении дефектов, была предложена методика обнаружения царапин. На первом этапе двусторонний фильтр применяется к полученным образцам и образцам шаблонов для снижения шума. Затем метод сопоставления шаблонов на основе формы используется для извлечения признаков, точного позиционирования целевого региона и определения области интереса (ROI). Далее выполняется анализ Blob на образцах с применением алгоритма автоматического определения порога Otsu для двухуровневой дискретизации изображения. Это преобразует градиентное изображение в бинарное, чтобы четче выделить область дефектов. На основе этого, морфологическая операция закрытия используется для заполнения внутренних пустот в области дефекта, обеспечивая непрерывность пятен. После этого проводится анализ связанных областей (ССА) для выделения и извлечения признаков областей пятен, а также вычисляется площадь каждого связанного региона. Наконец, на основе заданного порога площади определяется область дефектов, а образцы с отклонением от порога подлежат удалению. Эксперименты показали, что данный алгоритм обладает высокой точностью и устойчивостью к ошибкам при обнаружении дефектов, эффективно удовлетворяя требованиям реальности и точности в промышленной обработке данных.

Ключевые слова: обнаружение дефектов, машинное зрение, крышки бутылок, анализ изображений, шумоподавление, сопоставление шаблонов, область интереса (ROI), анализ Blob, алгоритм Otsu, бинаризация, морфологические операции, сегментация, обработка дефектов, контроль качества, позиционирование региона, выделение дефектов, классификация, цифровая обработка изображений, промышленная автоматизация, оценка качества.

ТАДҚИҚИ АЛГОРИТМИ ОШКОРСОЗИИ НУҚСОНҲОИ НАМУДИ ЗОҲИРИИ САРПЎШҲО БАР АСОСИ БИНИШИ МОШИНӢ

И.Л. Қосимов, Ли Цзянцун, МА Ченхуай

Дар ин кор усули ошкорсозии нуқсонҳо дар сарпӯшҳо, ки ба биниши мошинӣ асос ёфтааст, пешниҳод карда мешавад. Барои ҳалли мушкилоти марбут ба душвории техникии ошкорсозии нуқсонҳо, методи ошкорсозии харошидан пешниҳод шудааст. Дар марҳилаи аввал филтри дутарафа ба намунаҳои гирифташуда ва намунаҳои қолаби барои коҳиши садо таътиб карда мешавад. Баъдан, усули мутобиксозии қолабҳо бар асоси шакл барои истихроҷи хусусиятҳо, ҷойгиркунии дақиқи минтақаи ҳадаф ва муайян кардани минтақаи тавачҷӯх (ROI) истифода мешавад. Сипас, таҳлили Blob ба намунаҳо бо таътиби алгоритми муайянкунии остонаи худкори Otsu барои дусатҳабандии тасвир иҷро карда мешавад. Ин тасвири градиентиро ба бинарӣ табдил медиҳад, то минтақаи нуқсонҳо равшантар ҷудо шавад. Дар асоси ин, амалиёти морфологии басташавӣ барои пур кардани холигиҳои дохилии минтақаи нуқсон истифода мешавад, ки пайвастиҳои доғхоро таъмин мекунад. Пас аз ин, таҳлили минтақаҳои пайваста (ССА) барои ҷудокунии хусусиятҳо ва ҳисобкунии масоҳати ҳар як минтақаи пайваста анҷом дода мешавад. Дар ниҳоят, минтақаи нуқсонҳо дар асоси остонаи масоҳати муайяншуда муайян карда шуда, намунаҳое, ки аз остона берунанд, рад карда мешаванд. Таҷрибаҳои нишон доданд, ки ин алгоритм дақиқии баланд ва устуворӣ нисбат ба ҳатоҳои дар ошкорсозии нуқсонҳоро доро буда, талаботи воқеият ва дақиқиро дар коркарди маълумоти саноатӣ самаранок қоне мебардорад.

Калидвожаҳо: ошкорсозии нуқсонҳо, биниши мошинӣ, сарпӯшҳои шиша, таҳлили тасвир, коҳиши садо, мутобиксозии қолабҳо, минтақаи тавачҷӯх (ROI), таҳлили **Blob**, алгоритми Otsu, бинаризация, амалиёти морфологӣ, сегментатсия, коркарди нуқсонҳо, назорати сифат, ҷойгиркунии минтақа, ҷудокунии нуқсонҳо, таснифот, коркарди рақамии тасвир, автоматикунунии саноатӣ, баҳодиҳии сифат.

INVESTIGATION OF AN ALGORITHM FOR DETECTING DEFECTS IN THE APPEARANCE OF CAPS BASED ON MACHINE VISION

I.L. Qosimov, Li Jianjun, MA Zhenhuai

This paper presents a method for detecting defects on bottle caps based on machine vision. To solve the problems associated with technical difficulties in detecting defects, a scratch detection technique has been proposed. In the first stage, a bilateral filter is applied to the captured samples and template images to reduce noise. Then, a shape-based template matching method is employed to extract features, precisely locate the target region, and determine the region of interest (ROI). Next, Blob analysis is performed on the samples using the Otsu thresholding algorithm for two-level image segmentation. This converts the grayscale image into a binary image, highlighting the defect areas more clearly. Based on this, a morphological closing operation is used to fill internal voids within the defect region, ensuring continuity of the defect spots. After that, connected component analysis (CCA) is carried out to identify and extract features of the defect regions, and the area of each connected region is calculated. Finally, based on a predefined area threshold, defect areas are determined, and samples deviating from the threshold are removed. Experimental results show that the proposed algorithm demonstrates high accuracy and robustness in defect detection, effectively meeting real-world demands and precision requirements in industrial data processing.

Keywords: defect detection, machine vision, bottle caps, image analysis, noise reduction, template matching, region of interest (ROI), Blob analysis, Otsu algorithm, binarization, morphological operations, segmentation, defect processing, quality control, region positioning, defect extraction, classification, digital image processing, industrial automation, quality assessment.

Введение

Крышки, как ключевой элемент упаковки, напрямую влияют на безопасность товара и доверие потребителей к качеству [1-2]. Однако в процессе изготовления крышек могут возникать дефекты (заусенцы, цветовые несоответствия, повреждения) из-за аномалий давления формования, дефектов

матриц или попадания посторонних предметов [3-4]. Традиционные методы ручного контроля имеют низкую эффективность, высокое физическое напряжение и высокий процент ошибок, что затрудняет удовлетворение потребностей современной производственной линии в высокой точности и эффективности. Поэтому разработка надежной и малозатратной автоматизированной системы контроля стала актуальной задачей.

Технология машинного зрения, сочетающая оптоэлектронные датчики и обработку изображений, позволяет эффективно и точно распознавать дефекты внешнего вида крышек, такие как повреждения, загрязнения и деформации [5-6]. По сравнению с традиционными методами контроля с помощью датчиков эта система обладает рядом преимуществ: гибкость настроек, высокая скорость обнаружения, точность. Она особенно полезна в условиях работы с токсичными или опасными веществами, так как повышает эффективность проверки и снижает расходы на рабочую силу и вероятность человеческих ошибок [7-8]. По этой причине технология машинного зрения для контроля внешнего вида крышек становится предметом пристального внимания отрасли. [21].

Wang et al. [9] разработали метод обнаружения щелей на крышках в фармацевтической промышленности, используя алгоритмы маркировки областей CCL, Canny edge detection и двухуровневую дискретизацию изображения для обработки полученных изображений. Они определили ширину пикселя анализа крышек и предоставили физическую ширину. Zhang et al. [10] предложили метод обнаружения дефектов на основе выделения области крышки, определяя положение заусенцев путем локализации центра крышки и используя метод разницы изображений для расчета площади заусенца. В сочетании с формулой взвешенного цветового различия реализована проверка цветовых отклонений. Wang et al. [11] представили систему контроля медицинских бутылок на основе машинного зрения, которая использовала операции гистограммного выравнивания, усиления изображения, сегментации и извлечения границ, чтобы завершить проектирование программного обеспечения системы с помощью MATLAB GUI. Peng et al. [12] предложили алгоритм обнаружения дефектов противоугонной кольца на крышке, который использует расчет кривизны контура и обнаружение угловых точек. Они определяют разрыв противоугонного кольца на основе наличия или отсутствия зазора между кольцом опоры и противоугонным кольцом. Wen et al. [13] разработали систему обнаружения дефектов крышек на основе Canny-оператора и SVM, чтобы решить проблему пропусков при ручном контроле черных точек на поверхности крышки.

С развитием технологий глубокого обучения [14-15] точность обнаружения повысилась. Peng et al. [16] предложили метод онлайн-обнаружения дефектов стеклянных фармацевтических бутылок, используя проекционный анализ для позиционирования стеклянной бутылки в целом изображении, локальное максимальное энтропийное уравнение для автоматического удаления области помех и многоуровневую морфологическую фильтрацию с множеством морфологических операторов для обнаружения дефектов. Shu et al. [17] предложили метод обнаружения дефектов крышек, который объединяет усиление изображения при низкой освещенности, сегментацию с использованием значений и обнаружение аномалий. С помощью модели Retinex на основе максимального энтропия усиливается изображение при низком освещении, для удаления фона используется сеть сегментации OCR-Net, а сеть GANomaly улучшает способность к реконструкции изображений за счет внимания в форме креста и функции потерь наименьших квадратов. Для решения проблемы качества поверхности крышек бутылок с белым напитком и громоздкости алгоритма параметров Zhao et al. [18] внесли изменения в YOLOv5s и предложили SEGC-YOLO, который является легким и высокоточным алгоритмом. Вместо операции интерполяции ближайшего соседа используется оператор CARAFE для замены процедуры сэмплирования вверх, а использование ядра предсказания выборки повышает способность к информационной передаче в шейковой сети, что приводит к повышению точности обнаружения. По мере совершенствования алгоритмов и методов модернизации точность обнаружения продолжает расти, однако структура моделей алгоритмов становится все более сложной, параметры увеличиваются, что затрудняет развертывание многих моделей на мобильные и встроенные устройства. Поэтому разработка алгоритмов и систем на основе легких моделей глубокого обучения является важной направленностью исследований.

В целом, применение технологий машинного зрения для контроля внешнего вида крышек по-прежнему сталкивается с рядом проблем. Высокая зависимость системы от высокопроизводительных аппаратных средств приводит к увеличению стоимости и сложности; алгоритмы обнаружения являются сложными, и их устойчивость и обобщающая способность при обработке дефектов разных типов недостаточны; отсутствие способности к автоматической классификации и идентификации типов дефектов ограничивает возможности поддержки принятия решений на основе глубокого анализа качества.

В связи с этим, будущие исследования в области технологии машинного зрения для контроля внешнего вида крышек должны сосредоточиться на оптимизации аппаратных средств, упрощении алгоритмов, повышении эффективности и внедрении методов интеллектуальной классификации, чтобы добиться точного обнаружения и классификации дефектов и способствовать дальнейшему развитию и применению этой технологии.

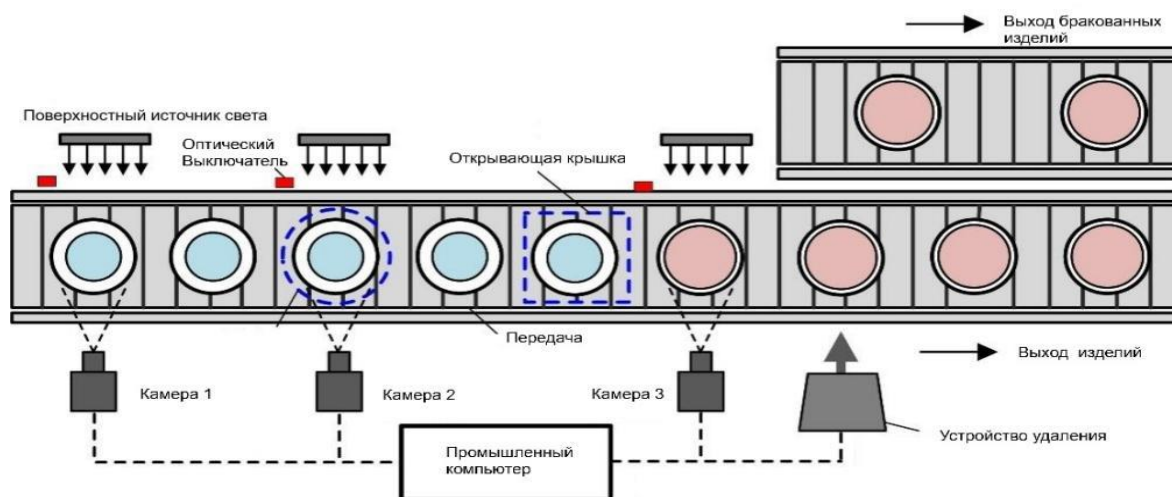


Рисунок 1 – Система обнаружения дефектов крышек бутылок

Основная система включает модули датчиков, транспортировочного устройства, устройства поворота, устройства удаления некачественной продукции и модуль визуального контроля, как показано на рисунке 1. Модуль датчиков в реальном времени обнаруживает наличие крышек на транспортировочном устройстве и передаёт сигнал в систему управления, которая контролирует скорость и частоту цикла транспортировки. Когда крышка достигает заданного рабочего места, камера CCD 1 снимает изображение передней стороны крышки, а затем, достигнув следующего этапа, камера 2 снимает изображение боковой стороны крышки. Устройство поворота поворачивает крышку на 120° и 240° перед повторной съемкой боковых изображений, а затем, когда крышка продолжает двигаться к следующему рабочему месту, устройство переворачивания крышки совершает движение и переворачивает крышку полностью. Камера 3 затем снимает изображение перевернутой крышки. Фотографии, полученные в результате съемки, передаются в систему управления ПЛК, где системой вызывается алгоритм обработки изображений для определения качества поверхности крышки. При обнаружении крышек с дефектом поверхности, устройство удаления некачественной продукции активируется и удаляет крышку с конвейера на боковую конвейерную систему, в результате чего обеспечивается сортировка соответственных и несоответственных крышек. Типичные фотографии с дефектными крышками представлены на рисунке 2.

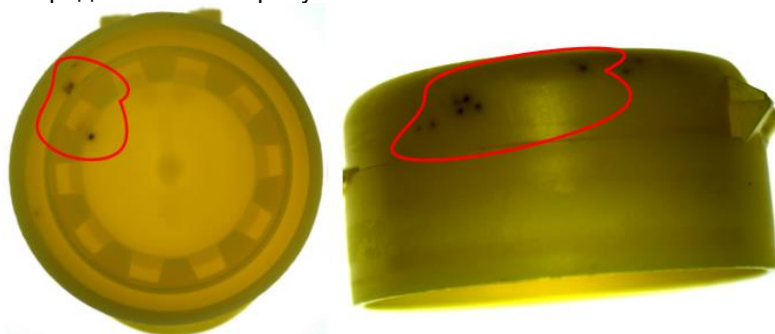


Рисунок 2 – Типичный образец крышки бутылки с дефектом

Общий аппаратный каркас системы представлен на рис. 3.

Система промышленного контроля соединена с CCD-камерами по протоколу GigE через интерфейс, управление всеми модулями осуществляется микроконтроллером. В рамках настоящего исследования для разработки алгоритмов обработки изображений используется среда разработки Visual Studio, библиотеки Open CV и C++. Для реализации интерактивного взаимодействия пользователя с системой обработки изображений и настройки параметров используется платформа Qt.

Алгоритм обнаружения дефектов. Нелинейная двусторонняя фильтрация. Во время захвата изображений крышек на процесс оказывают влияние факторы внешней среды (пыль, неравномерность освещения) и характеристики поверхности крышки (блеск, текстура), что приводит к заметной посторонней за шумок изображения. Эта шум может существенно помешать извлечению признаков мелких царапин, приводя к ошибкам пропуска (False Negative) и ложным срабатываниям (False Positive), в результате чего снижается точность и надежность обнаружения дефектов. Поэтому процедура шумоподавления является важным шагом на этапе предварительной обработки.

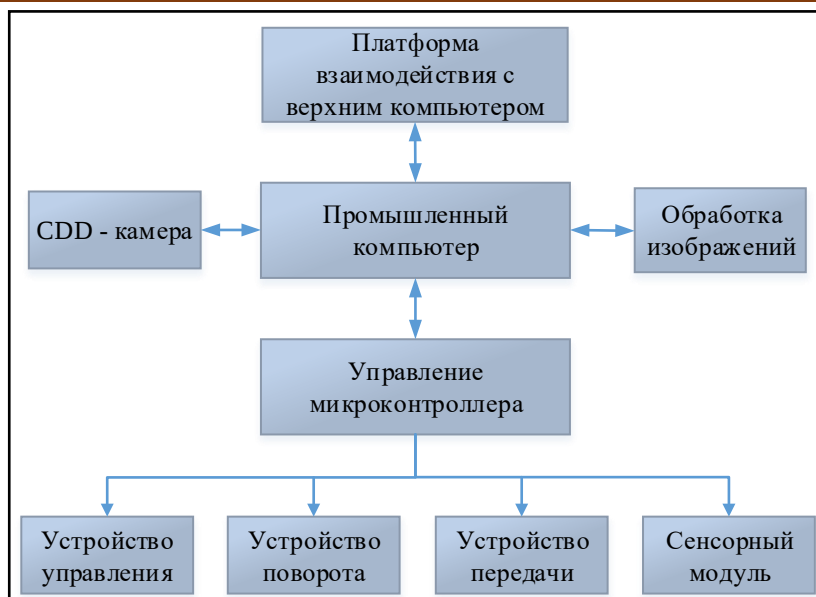


Рисунок 3 – Схема программно-аппаратной архитектуры системы

В настоящее время широко распространенные фильтры, такие как средние, медианы и гауссовы фильтры, при обработке тонких или небольших по площади царапин сталкиваются с врожденными ограничениями. Эти методы, удаляя шум, не всегда могут полностью защитить пиксели на краях царапин, что приводит к потере или размытию деталей края и снижению точности обнаружения дефектов. Двусторонняя фильтрация как нелинейный метод фильтрации, используя комбинацию пространственной близости и локальной взвешенной средней стратегии по подобию пикселей, может одновременно подавлять шум и сохранять информацию о границах. Этот подход преодолевает недостатки традиционных фильтров, которые игнорируют информацию о градиентах изображения, и обеспечивает лучшую балансировку между шумоподавлением и защитой краев. Главное выражение для него:

$$f(x, y) = \frac{\sum_{(m,n) \in H(x,y)} Z_s(x,y) Z_r(m,n) g(m,n)}{\sum_{(m,n) \in H(x,y)} Z_s(x,y) Z_r(m,n)} \quad (1)$$

где:

$f(x, y)$ — это обработанное изображение;

$H(x, y)$ — это окрестность центрального пикселя (x, y) ;

$g(m, n)$ — это один из пикселей в данной окрестности;

$z_s(m, n)$ — это функция, которая измеряет пространственную близость между центром области и соседними точками.

$$z_s(m, n) = \exp\left[-\frac{(|m-x|^2 + |n-y|^2)}{2\sigma_s^2}\right] \quad (2)$$

σ_s — это стандартное отклонение пространственного сходства, которое контролирует скорость уменьшения пространственного веса.

$Z_r(m, n)$ — это функция измерения сходства яркостей, выраженная как:

$$z_r(m, n) = \exp\left[-\frac{(|g(m,n) - g(x,y)|)^2}{2\sigma_r^2}\right] \quad (3)$$

σ_r — это стандартное отклонение яркостного сходства, которое контролирует скорость уменьшения веса яркости.

Сравнение шаблонов. Как правило вид спереди, боковая и обратная стороны крышек для обработки имеют различные области, где применяется сравнение шаблонов для классификации типа изображения. Данный метод предполагает локализацию шаблона в изображении.

Сопоставления шаблонов имеют следующие основные типы:

По яркости: сравнение пикселей, отражающих яркости в шаблоне и образце, характеризуется хорошей точностью при устойчивом освещении, и даёт ошибки при изменении освещения и нестабильной среде.

По форме: метод находит оптимальное положение шаблона в изображении. Отличительные особенности метода: устойчивость к различным изменениям освещения и высокая точность.

Как происходит извлечение нужных признаков. Этап обнаружения границ — главное в извлечении признаков по форме изображений. Здесь осуществляется поиск областей с резкими

переходами яркости, особенно это происходит вблизи контуров объектов на обрабатываемом изображении. Для обнаружения границ используются следующие пакеты реализующие алгоритмы, основанные на различных способах дифференцирования и цифровой обработки данных:

Sobel, Prewitt, LoG: классические методы, основанные на операциях дифференцирования первого порядка.

Canny: метод, основанный на многоступенчатой оптимизации для достижения баланса между подавлением шума и точностью обнаружения границ.

Сглаживание изображения производится с помощью гауссовского фильтра:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

Изображение после сглаживания функцией Гаусса имеет вид $f_s(x, y)$:

$$f_s(x, y) = G(x, y) * f(x, y) \quad (5)$$

Где: $G(x, y)$ — функция гауссова ядра, используемая для сглаживания изображения. Она представляет собой двумерную функцию распределения Гаусса, в которой σ — стандартное отклонение, определяющее степень сглаживания.

$f_s(x, y)$ — результат сглаживания изображения. Путём свёртки исходного изображения $f(x, y)$ с гауссовым ядром $G(x, y)$ можно эффективно подавить шум, сохранив при этом основную структуру изображения.

Рассчитываются сила (величина) и направление градиента границы после применения фильтрации, а также определяется граница, проходящая через заданное пороговое значение. Для вычисления величины и направления градиента используется метод конечных разностей частных производных. Частные производные g_x и g_y по направлениям x и y соответственно вычисляются следующим образом:

$$g_x(x, y) = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \approx f(x + 1, y) - f(x, y) \quad (6)$$

$$g_y(x, y) = \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \approx f(x, y + 1) - f(x, y) \quad (7)$$

Модуль и направление градиента для соответствующей точки:

$$M(x, y) = \sqrt{g_x^2 + g_y^2} \quad (8)$$

$$\theta(x, y) = \arctan(g_y/g_x) \quad (9)$$

где:

g_x и g_y — компоненты градиента изображения в горизонтальном и вертикальном направлениях соответственно. Они рассчитываются как разность значений яркости между соседними пикселями и отражают скорость изменения интенсивности изображения по соответствующим осям.

$M(x, y)$ — величина градиента, характеризующая силу (интенсивность) границы изображения в точке (x, y) . Более высокие значения соответствуют более выраженным (контрастным) границам.

$\theta(x, y)$ — направление градиента, указывающее на ориентацию границы в данной точке изображения.

Чтобы определить, является ли пиксель точкой границы, необходимо выполнение следующих условий:

- Величина градиента (сила границы) в данном пикселе должна быть больше, чем у двух его соседей вдоль направления градиента.
- Разница направлений между пикселем и его двумя соседями по направлению градиента должна быть менее 45° .
- Максимальное значение градиента в окрестности 3×3 , центрированной на рассматриваемом пикселе, должно быть меньше заданного порогового значения.
- Для более точного обнаружения и соединения границ применяется алгоритм двойного порогового значения, который позволяет уменьшить количество ложных (псевдо) границ. Затем выполняется анализ связности для обнаружения и объединения реальных границ изображения.

Измерение сходства:

Признаки моментов H_u являются классическим методом описания изображений, широко используемым в задачах обработки изображений и распознавания образов благодаря высокой вычислительной эффективности и хорошим показателям в реальном времени.

Основываясь на методе Ху, Р.Й. Вонг [19–20] предложил использовать обычные моменты порядка $(p + q)$, обозначаемые как m_{pq} , а также центральные моменты u_{pq} , рассчитанные для двумерного дискретного изображения $f(x, y)$ размером $m \times n$.

Ху построил семь инвариантных моментных признаков $M_1, M_2, \dots, M_7$, обладающих инвариантностью относительно смещения (трансляции) и вращения изображения. Эти признаки формируются на основе центральных моментов второго и третьего порядка и обеспечивают устойчивость к геометрическим преобразованиям.

После вычисления моментных признаков формируется вектор признаков. Степень сходства III между эталонным (стандартным) образцом и тестируемым изображением определяется на основе этих векторов. После вычисления векторов признаков Ху для эталонного образца и тестируемого изображения, степень сходства I (A, B) между ними определяется по следующей формуле:

$$I(A, B) = \max_{i=1, \dots, 7} \left| \frac{\text{sign}(h_i^A \cdot \log |h_i^A|) - \text{sign}(h_i^B \cdot \log |h_i^B|)}{\text{sign}(h_i^A \cdot \log |h_i^A|)} \right| \quad (10)$$

где:

h_i^A и h_i^B — i — е моментные признаки Ху для изображений A и B соответственно.

$\text{sign}(\cdot)$ — функция знака, возвращающая -1, 0 или +1 в зависимости от знака аргумента.

$\log$ — десятичный логарифм (в случае использования натурального логарифма указывается $\ln$).

I (A, B) отражает максимальное относительное отличие между соответствующими логарифмированными моментами двух изображений.

Чем меньше значение I (A, B), тем выше степень сходства между изображениями.

Вычисленное значение сходства подвергается численной обработке таким образом, что при сходстве с эталонным образцом оно приближается к 1, а при значительных различиях от эталонного образца, к 0.

Анализ пятен дефектов (Blob-анализ).

Процесс начинается с двоизации изображения, которая является пиксельной классификационной методикой, основанной на пороге. Она преобразует изображение в шкале серого в двухуровневое пространство (0 или 1), что эффективно разделяет области участка от фона. В случае обнаружения дефектов на крышках бутылок двоизации выполняется за счет заполнения:

Белые пиксели для представления края крышки (область без дефектов, $B(x, y) = 1$), а черный цвет заполняет фон и дефектную часть ($B(x, y) = 0$). Классический алгоритм Оцу применяется для автоматического определения оптимального порогового значения T^* путём максимизации межклассовой дисперсии. Это позволяет значительно повысить эффективность распознавания дефектных областей. В результате бинаризации формируется двоичное изображение, состоящее из значений 0 и 1, где 0 соответствует дефектной области, а 1 — неповреждённой части крышки бутылки.

Метод Оцу отличается высокой вычислительной эффективностью и обладает чёткой физической интерпретацией, что делает его надёжной основой для задач автоматического обнаружения дефектов.

После бинаризации изображения крышки, морфологические операции и анализ связанных областей являются ключевыми шагами для оптимизации извлечения и отображения областей дефектов.

На первом этапе, с помощью морфологического закрытого преобразования заполняются внутренние пустоты дефектов, обеспечивая непрерывность зон пятен. Математическое определение закрытого преобразования: $A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B$, где A - бинарное изображение, B - структурный элемент, в данном случае выбирается эллипсоидальное ядро. Закрытое преобразование эффективно устраняет разрывы внутри пятен, сохраняя при этом информацию о границах, тем самым повышая целостность зон дефектов.

Далее, с помощью анализа связанных областей (ССА) бинарному изображению проводятся маркировка и извлечение признаков зон пятен. Алгоритм на основе правила 8-связности перебирает бинарное изображение, связывая каждый пиксель со своими 8 соседними элементами (вверх, вниз, влево, вправо и по диагонали). Все связанные области маркируются, а для каждой из них извлекаются геометрические характеристики. Алгоритм просматривает изображение и присваивает каждому связанному домену уникальный тег, одновременно регистрируя его геометрические характеристики, такие как площадь, центр тяжести, ограничивающий прямоугольник и т.д. Площадь пятна A_k рассчитывается путем подсчёта пикселей:

$$A_k = |R_k| = \sum_{(x,y) \in R_k} B(x, y) \quad (11)$$

где:

R_k обозначает k-й связанный домен.

С помощью установки порога площади фильтруются области шума, сохраняя реальные дефекты. В конечном итоге, области дефектов отображаются в виде черных связанных областей $B(x, y) = 0$, а фон и не являющиеся дефектами области как белые $B(x, y) = 1$.

Идентификация и тестирование

Поступательность обработки алгоритма распознавания.

В связи с трудностями, возникающими при обнаружении дефектов на крышках, предлагаемый в данном исследовании метод детекции царапин, основанный на машинном зрении, реализует следующий пошаговый процесс:

Предобработка: Начальной стадией служит двусторонняя фильтрация изображения шаблона и стандарта для удаления шума. Затем, с использованием метода сопоставления шаблонов на основе формы извлекаются характеристики обрабатываемого изображения, а также определяется область интереса (ROI).

Анализ объектов: проводится анализ объектов в виде blob-графиков на образце. Применяется автоматизированный метод Oust для бинаризации. После этого объект преобразуется с помощью морфологических операций закрытия. Затем выполняется анализ связанных областей, что позволяет помечать и извлекать характеристики пятен.

Фильтрация: определяется площадь пятна и отбрасываются образцы с размером площади, превышающим установленный порог. Общая схема работы алгоритма представлена на рисунке 4.

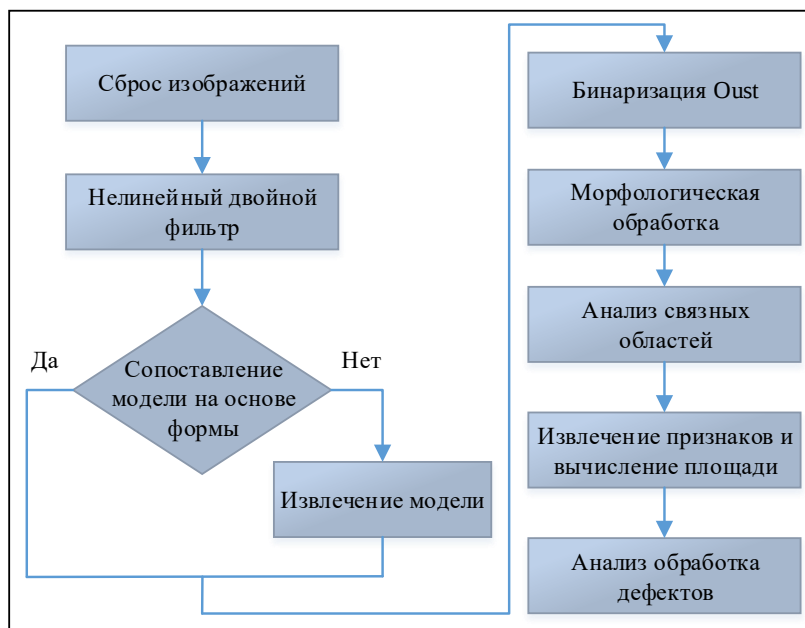


Рисунок 4 – Алгоритм обнаружения дефекта

Экспериментальное тестирование и анализ результатов

Для оценки эффективности алгоритма были введены три параметра: точность распознавания H , ложное срабатывание X , точность Y , определяемые как:

$$H = \frac{H_T}{H_T + X_F} \times 100\% \quad (12)$$

$$X = \frac{X_T}{X_T + H_F} \times 100\% \quad (13)$$

$$Y = \frac{H_T + X_T}{H_T + X_F + H_F + X_T} \times 100\% \quad (14)$$

где:

H - точность распознавания изображений с пятнами;

X - точность распознавания изображений без пятен;

Y - точность распознавания пятен на поверхности объекта.

Для подтверждения превосходства предлагаемого алгоритма, было собрано 400 образцов из реального производства, из которых 400 изображений не содержали дефектов, а 150 – имели дефекты. Дефекты разделялись на категории: крупные пятна (90 изображений) и мелкие пятна-царапины (60 изображений).

Результаты сравнения с алгоритмом, основанным на локальных градиентах, а также с ручной проверкой представлены в таблице 1. В таблице 2 приведены показатели производительности различных методов распознавания. Как видно из результатов, предложенный алгоритм достигает точности 95,7% при среднем времени обработки 122 секунды.

Таблица 1 – Статистические результаты, полученные с помощью различных методов обнаружения

Категория	Наш алгоритм		Ручной проверка		Текстовый алгоритм	
	Пятнистый	Пятен нет	Пятнистый	Пятен нет	Пятнистый	Пятен нет
На самом деле есть пятна	144	6	131	19	133	17
Практически безупречный	11	239	34	216	22	228

Таблица 2 - Показатели эффективности различных методов обнаружения

Метод обнаружения	Точность (%), Суждений %	Процент Отрицательных суждений %	Точность (%), %	Среднее время обработки /мс
Наш алгоритм	96	95.6	95.7	122
Ручная проверка	87.3	86.4	86.7	100
Алгоритм [Wen]	88.6	91.2	90.2	163

Заключение

В данной работе предложен метод обнаружения дефектов на крышках, основанный на машинном зрении. Метод включает в себя следующие шаги: двусторонняя фильтрация для удаления шума, сопоставление шаблонов по форме для определения ROI (Области интереса), бинаризация методом Otsu, морфологические операции закрытия и анализ связанных областей для извлечения признаков пятен. Затем вычисляется площадь пятна и на основе заданного порога производится классификация дефектов. Экспериментальные результаты показывают, что предложенный метод обладает высокой точностью и устойчивостью к ошибкам, удовлетворяя требованиям реального времени и точности для промышленной дефектоскопии.

Рецензент: Бандишоева Р.М. - к.т.н., доцент зав. кафедрой «Автоматизация технологических процессов и производств» ЛПГУ имени академика М.С. Осими

Литература

1. Юэ Хао, У. Шуанху, Сюй Цзиндун и др. Разработка системы контроля качества медицинских крышек для бутылок с использованием машинного зрения [J]. – Техника измерительных приборов и датчиков, 2019, 441(10): 83-87, 107. (China)
2. Ян Дж., Син Л., Ду Ц. Дж. Обнаружение царапин на крышках бутылок с использованием машинного зрения [J]. – Инженерия упакованные, 2019, 40(13): 227-232. (China)
3. Чжоу Х. Р., Цзян Х., Сун В. В., и др. Система контроля и отбраковки крышек для бутылок с напитками на основе машинного зрения [J]. – Машиностроение легкой промышленности, 2022, 40(4). (China)
4. Рен Х. Д., Вэн Дж., Лань Й. Л., и др. Разработка системы обнаружения крышек на основе обработки изображений [C] // IEEE. – Китайская конференция по автоматическому управлению и принятию решений (CCDC). Hefei: IEEE, 2020: 4880-4885.
5. Хорпутра П., Фраджонтог Р., Кайпрапа П. Проверка крышек на бутылках с помощью глубокого обучения в процессе производства и упаковки напитков [C]//IEEE. – 9-я международная конференция по электротехнике (iEECON). Паттайя: IEEE, 2021: 499-502.
6. Лё Чэнкан, Шэнь Фэй, Жан Цзинтао, и др. Обзор состояния исследований в области обнаружения аномалий на изображениях [J]. – Журнал автоматизации, 2022, 48(6): 1402-1428. (China)
7. Сы К., Ма Й., Чэнь С. Исследование реального времени контроля качества крышек из полиэтилентерефталата [C]//2017 IEEE. – Международная конференция по информации и автоматизации (ICIA), 18-20 июля 2017 г., Макао, Китай. Нью-Йорк: IEEE Press, 2017: 1023-1026.
8. Хуан Цюши. Система обнаружения дефектов крышек для бутылок с паропроницаемой и водонепроницаемой влагостойкой мембраной на основе машинного обучения [D]. – Шицзячжуан, Хэбэйский университет науки и технологий, 2023. (China)
9. Ван Хайдун, Чжао Юйфэн, Гао Сюэмин, и др. Исследование технологии визуального контроля зазоров на крышках в линии производства лекарств [J]. – ОптикаInstrumentation, 2016, 38(4): 283-287. (China)
10. Чжан Жэ, Жу Цзэнтао, Ли Юань, и др. Исследование технологии автоматического онлайн-контроля дефектов на крышках [J]. – Компьютерные науки и технологии, 2016, 26(6): 151-154. (China)

11. Ван Бэньцзинь, Ян Гуйян. Система обнаружения бутылок с медицинским оборудованием на основе машинного зрения [J]. – Applied Mechanics and Materials, 2013 (373-375): 521-524.
12. Пэн Ю, Ван Яонан, Чжоу Шаньэнь, и др. Обнаружение разломов на антиграбежных кольцах PET-бутылок с использованием кривизны контура [J]. – Журнал электронной измерительной техники и приборостроения, 2017 (3): 422-429. (China)
13. Вэнь Синьюй, Лянь Сиаоцин, Хао Баоджи, и др. Исследование системы обнаружения дефектов крышек на основе оператора Кэнни и SVM [J]. – Техника измерения и управления, 2018, 37(8):4. (China)
14. Ян И, Дэн Чао, Ли Лин, и др. Обзор методов сегментации образов в эпоху глубокого обучения [J]. – Журнал изображений и графики, 2023, 28(11):3342-3362. (China)
15. Чжоу Вэйцзин, Фэй Минруй, Чжоу Хуэйюнь, и др. Быстрый метод обнаружения дефектов поверхности крышек на основе разреженной представления [J]. – Neurocomputing, 2014, 123: 406-414.
16. Пэн Синьцзоань, Ли Синьхуа. Метод онлайн-контроля дефектов стеклянных бутылок с медицинским оборудованием на основе машинного зрения [J]. – Glass Technology: European Journal of Glass Science & Technology Part A, 2015, 56(3): 88-94.
17. Шу Цзюнь, Ван Сиан, Ли Лин, и др. Метод обнаружения дефектов винтовых крышек на основе улучшенной сети GANomaly [J]. – Журнал Южно-Центрального Университета Национальностей (Натуральная наука), 2023, 42(6):788-798. (China)
18. Цао Лей, Цяо Ликуань, Чжай Рэн. Легковесный алгоритм обнаружения дефектов упаковки крышек на основе YOLOv5 [J]. – Прогресс в лазерной и оптоэлектронике, 2023, 60(22): 210009. (China)
19. Ху Минкуй. Визуальное распознавание шаблонов с использованием инвариантных моментов [J]. – IEEE Transactions on Information Theory, 1962, 8(1): 179-187.
20. Ли Дун. Анализ инвариантов моментов на масштабирование и вращение изображений [J]. – Innovations in Computing Sciences and Software Engineering, 2010, 1(1): 415-419.
21. Косимов И.Л. Теория и концепции машинного обучения, искусственного интеллекта и нейронных сетей. – Вестник Академии образования Таджикистана. 2024. № 4 (54). С. 189-196. – ID:80275199 EDN: KYHWWX.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН - СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ - INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Қосимов Исмоил Латипович н.и.т., дотсент	Касимов Исмаил Латипович к.т.н., доцент	Qasimov Ismail Latipovich Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
E-mail: qosismoil@yandex.ru		
TJ	RU	EN
Ли Цзянцун доктори PhD, дотсент	Ли Цзяньцзюнь Доктор философии PhD, доцент	Li Jianjun PhD, Associate Professor
Донишгоҳи Шандонг Циаотонг	Университет Цзяотун в Шаньдуне	Shandong Jiaotong University
E-mail: Lijianjunsd@163.com		
TJ	RU	EN
Ма Ченхуай докторанти PhD кафедраи информатика	Ma Zhenhuai докторант PhD. кафедры информатики	Ma Zhenhuai PhD student, Department of Informatics
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
E-mail: zhenhuai@asu.edu		