

УДК 004.932:620.19

М.Ю. Катаев, Р.К. Карпов, К.А. Ламинский

Программная система обнаружения дефектов кирпичей на основе методов компьютерного зрения

Для промышленных предприятий важным направлением деятельности является применение неразрушающего контроля в оценке качества продукции. Одними из наиболее развиваемых подходов на практике являются оптические методы (видимая или инфракрасная области спектра) и связанные с ними алгоритмические подходы компьютерного зрения, так как на большом количестве производств используется ручной метод выявления дефектов, который является трудозатратным, интенсивным, медленным и субъективным. В статье представлено описание автоматизированной системы оптического контроля по обнаружению дефектов кирпичей на транспортной ленте, в процессе производства. Основой оптического контроля являются RGB-изображения цифровых камер. Показан алгоритм обработки и приведены полученные результаты.

Ключевые слова: компьютерное зрение, анализ изображения, дефекты кирпичей, контроль качества.
doi: 10.21293/1818-0442-2021-24-1-62-67

В России все большее внимание обращают на разработку экономически эффективных технологических процессов с использованием новейших информационных и телекоммуникационных технологий. Важным в таких технологиях является направление, связанное с автоматизацией оценки качества выпускаемой продукции. Техника, основанная на видении, в которой в качестве датчиков используются оптические устройства получения изображений, в настоящее время становится все более используемой в технологических процессах для целей мониторинга [1]. В настоящее время визуальный контроль применяется в задачах мониторинга коррозии [2], выявления сколов [3], трещин [4], деформаций [5] и др. Несмотря на популярность, у техники, основанной на видении (измерении изображений), есть ограничения, которые пока ограничивают практическое использование. К таким ограничениям относятся физические характеристики, связанные с освещенностью, прозрачностью атмосферы, конструктивными особенностями технологического процесса, а также программно-математического плана, так как невозможно разработать алгоритм, способный в себе содержать возможные возникающие ситуации измерения.

Одним из важнейших для человека является производство кирпичей, так как это связано с возможностью строить дома, промышленные объекты и т.д. Поэтому разработка автоматизированных систем визуального контроля для определения качества кирпича является важной и актуальной. Данная статья показывает алгоритм решения задачи обработки изображений RGB-цифровой камеры для контроля дефектов кирпичей, двигающихся по ленте конвейера. Приводятся подходы компьютерного зрения для обработки изображений, которые позволяют решать задачи выделения каждого кирпича из группы и анализа их поверхности индивидуально. Под дефектами понимается наличие на одной из сторон кирпича трещин или сколов, изменения цвета, а также изменения площади и периметра кирпича от некоторого шаблона (формируется по ГОСТу [6]).

Описание проблемы

Перед продажей кирпичей на каждом производстве проводится анализ соответствия отдельной группы кирпичей определенным требованиям к качеству по требованиям ГОСТ и внутренних стандартов [6, 7]. Чаще всего эту работу выполняют специально обученные инспекторы, которые выбирают для анализа из партии некоторое количество кирпичей и оценивают их по определенным требованиям. Этот подход позволяет работать не с отдельным кирпичом, а с партиями, которая либо пускается в продажу или каким-то образом отделяется от других партий. Так как в отобранной партии может быть всего некоторая часть несоответствующей ГОСТу, бракуется вся партия, и это имеет существенное экономическое значение.

Кроме того, инспекторы подвержены влиянию человеческого фактора и могут не заметить или выполнять непоследовательно операции экспертизы и потерять много времени на проверке больших партий кирпичей. Этот аспект тоже несет за собой не только временные, но и экономические проблемы. В этом плане применение методов компьютерного зрения может улучшить результаты мониторинга качества по отношению к визуальной, интенсивной работе человека-инспектора. Кроме того, человек осматривает лишь только часть кирпичей из партии, а автоматизированная система осматривает все кирпичи.

Отметим, что к настоящему времени выполнены различные исследования, связанные с применением компьютерного зрения, и они широко представлены в литературе. Одним из новых направлений мониторинга, набирающим обороты, является разработка автоматизированных инспекционных линий для машинной сортировки картофеля по размеру, весу, диаметру и цвету [8], контроля свежих и переработанных фруктов [9] или качества пищевых продуктов [10]. В этом плане применение компьютерного зрения позволяет предоставить существенно больший объем точной информации о характеристиках продуктов, что снижает затраты на отбраковку и

гарантирует поддержание стандартов качества в реальном масштабе времени.

Качество кирпича определяется несколькими параметрами, определенными в нормативных документах: 1) отклонением от размеров, мм, не более по длине (± 4), по ширине (± 3), по толщине (± 3); 2) неперпендикулярностью граней и ребер кирпича, отнесенной к длине 120 мм, не более (± 2); 3) неперпендикулярностью лицевых поверхностей и ребер, мм, не более: по ложку (± 3) и по тычку (± 2) и др. На лицевой поверхности кирпича не допускаются сколы и трещины, а также изменения цвета от эталона (кирпич, на котором отсутствуют дефекты).

Постановка задачи

Аппаратная система анализа качества поверхности (определения числа и типа дефектов) представлена на рис. 1, где показаны лента конвейера с блоком кирпичей на ней, система освещения и цифровая RGB-камера.

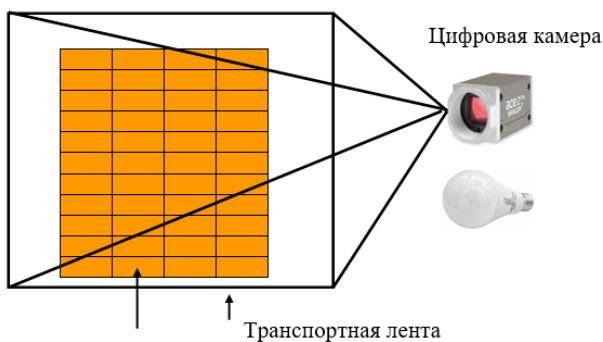


Рис. 1. Схема получения изображений цифровой камерой блока кирпичей на ленте конвейера

Блок имеет $(N \cdot M)$ кирпичей, каждый из которых имеет размеры $(L_w \cdot L_h)$ образует пространство размером $(LW \cdot LH) = (L_w \cdot N + (N - 1) \cdot d) \cdot (L_h \cdot M + (M - 1) \cdot d)$, где d – среднее расстояние зазора между кирпичами. В поле зрения цифровой камеры $(W \cdot H)$ попадает лента конвейера с находящимся на ней блоком кирпичей. Имеется производственное или специальное освещение места съемки движения блока кирпичей (например, $N = 4$ и $M = 10$ кирпичей) на конвейере до места сборки поддона. Задачей является получение RGB-изображения блока кирпичей, оценка параметров каждого кирпича в соответствии с ГОСТом и подготовка отчета, содержащего информацию о найденных дефектах отдельных кирпичей.

Для решения поставленной задачи предлагается структура программы, которая показана на рис. 2.



Рис. 2. Структура программы решения задачи оценки качества кирпичей

На рис. 2 показана структура программы решения задачи оценки качества кирпичей, состоящая из блоков: 1) получения изображений; 2) предварительной обработки; 3) обработки; 4) анализа и 5) формирования протокола и записи информации в базу данных в согласовании с ранее записанным изображением.

Решение задачи

Цифровая обработка изображений [11, 12], являющаяся элементом компьютерного зрения, используется для подготовки и извлечения информации из изображения. Для тематики статьи, наиболее важными операциями с цифровыми изображениями являются выявление и классификация различных видов дефектов кирпича. Обнаружение дефектов на поступающих от цифровой камеры изображениях (см. рис. 2) связано с набором методов, которые связаны с тремя уровнями (на низком уровне – предварительная обработка, среднем – обработка и высоким – анализ). На низком уровне применяются методы, которые работают с поступающими, еще не обработанными, возможно, зашумленными изображениями. Зашумление возможно от многих факторов, которые возникают на производстве, поэтому задачей этого уровня является преобразование изображений к одному, некоторому стандартному виду (наличие шумов, освещенность и т.д.). На среднем уровне используются методы выделения каждого кирпича на изображении в отдельности. Для этого решаются задачи цветовой сегментации и поиска краев кирпичей. На высшем уровне находятся методы, которые предназначены для извлечения информации о дефектах и записи информации о каждом кирпиче в протокол.

По многим причинам, представленным выше, невозможно отрицать высокое значение автоматизации процесса обнаружения и классификации дефектов кирпичей. Целью нашего исследования, представленного в статье, является разработка эффективного по времени и точности метода обнаружения и классификации дефектов. Для этого необходимо рассмотреть техническую сторону процессов получения изображения.

Анализируемый блок кирпичей занимает площадь около одного метра квадратного (размер одного кирпича составляет $25 \cdot 6,5 \text{ см}^2$, тогда сторона блока, например, состоящая из 4 кирпичей, расположенных по длинной стороне, что составляет $25 \cdot 4 + 3 \cdot 1 = 103 \text{ см}$, а другая сторона для 10 кирпичей и 1 см (среднее расстояние зазора), дает $6,5 \cdot 10 + 9 \cdot 1 = 74 \text{ см}$). Учитывая, что кирпичи не всегда стоят параллельно друг другу, размеры блока могут увеличиваться на несколько десятков сантиметров.

При работе с одной цифровой камерой необходимо расположить цифровую камеру таким образом, чтобы при определенных характеристиках объектива был виден весь блок кирпичей (рис. 3).

По законам оптики поле зрения объектива (углы FOV_x , FOV_y , от Field of View) рассчитывается по формуле

$$FOV_x = 2 \cdot \arctg(dx/(2 \cdot f)),$$

$$FOV_y = 2 \cdot \arctg(dy/(2 \cdot f)),$$

здесь f – фокусное расстояние; D – расстояние цифровой камеры от исследуемой поверхности; dx, dy – размер сторон RGB-матрицы цифровой камеры; S_x, S_y – размер сторон исследуемой прямоугольной поверхности, которая включает в себя блок кирпичей и некоторое окружающее его пространство.

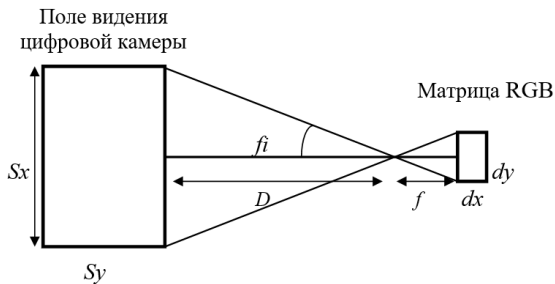


Рис. 3. Определение поля зрения цифровой камеры

Учитывая рассчитанные (или данные в техническом описании объектива цифровой камеры) значения углов поля зрения, можно рассчитать размер стороны изображения с учетом расстояния D цифровой камеры от исследуемой поверхности:

$$S_x = 2 \cdot D \cdot \operatorname{tg}(FOV_x/2),$$

$$S_y = 2 \cdot D \cdot \operatorname{tg}(FOV_y/2).$$

Зная число пикселей $[Px]$ матрицы по сторонам изображения ($N \cdot M$), можно рассчитать пиксельное разрешение матрицы, необходимое для оценки возможности обнаруживать типичные дефекты кирпичей:

$$R_x = S_x/N,$$

$$R_y = S_y/M.$$

Учитывая вышеприведенные формулы, можно оценить какое пиксельное разрешение (сколько миллиметров находится в пикселе) может быть достигнуто при определенном расстоянии D и стороной S_x (углами поля зрения). Таким образом, можно подобрать соответствующий вариант камеры, необходимый для достижения того или иного пиксельного разрешения, а значит, и обнаружения определенных дефектов (например, царапин или трещин).

Рассмотрим цветовую палитру кирпича (рис. 4). Однородный красный кирпич имеет распределение яркости по каналам $I(x, y) = \{R(x, y), G(x, y), B(x, y)\}$ (из $(0 \div 255)$): красная составляющая ($155 \div 205$) и максимум в районе 195, зеленая составляющая ($85 \div 130$) и максимум в районе 120, синяя составляющая ($50 \div 95$) и максимум в районе 82. На рис. 4 приведены гистограммы распределения яркости для трех кирпичей, два из которых, номер 1 и номер 2, относятся к категории «норма» и один, номер 3 – к категории «брак». Хорошо видно, что распределение яркости достаточно хорошо позволяет выделить кирпич, на поверхности которого присутствует дефект. Конечно же, изменение гистограммы будет тем более заметным, чем больше по размеру будет дефект [13]. Присутствующие трещины на красном кирпиче изменяют распределение яркости: максимум красной составляющей 185, для зеленой составляющей трещины 110 и для синей составляющей

70. Эти отличия дают основание для выделения трещины по цветовому признаку с высокой надежностью.

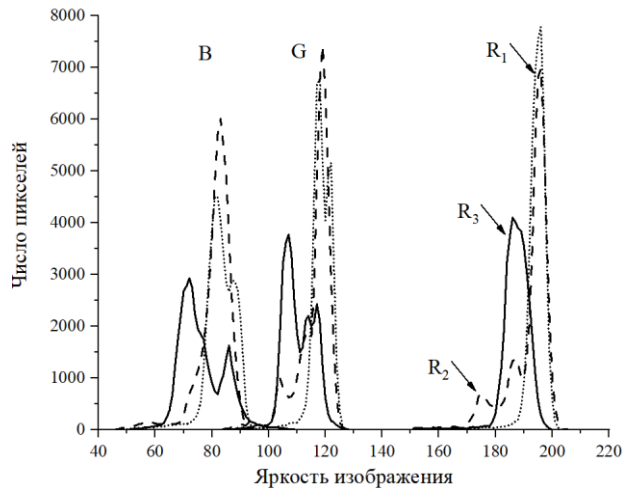


Рис. 4. Гистограммы распределения яркости RGB-каналов на изображении кирпича

Другой аспект, который важен при определении дефектов, связан с тем, что трещина на кирпиче детектируется в случае, если она занимает не менее 2–3 пикселей (рис. 5), и эта трещина выделяется на основе цветового отличия (см. рис. 4). Три пикселя гарантируют, что при наклонной трещине, хотя бы один пиксель будет принадлежать ей целиком. Параллельно с этим изучение цветового пространства поверхности кирпича позволяет выделить средний тон кирпича, чтобы использовать этот показатель для сравнения партий кирпича не только по качеству, но и цветовой палитре. Так как сколы имеют достаточно большую площадь в пикселях, они детектируются по изменению средней палитры RGB, которая отличается от цветовой палитры кирпича без дефектов.



Рис. 5. Изображения кирпичей с различного рода дефектами

При нахождении дефектов освещение блока кирпичей должно быть равномерным, чтобы цветовая палитра каждого кирпича не отличалась за счет освещенности. Например, если освещение неравномерно, то один ряд кирпичей будет светлее, а другой темнее, что скажется на цветовой палитре кирпичей.

Для выделения кирпичей на фоне ленты конвейера нами применяется кластеризация методом k -средних [14]. Идея метода k -средних состоит в минимизации суммарного квадратичного отклонения точек выборки от заранее определенных центров кластеров на основе информации о центрах кластеров кирпичей с дефектами и без них (см. рис. 4). Алгоритм основывается на итерационной процедуре из нескольких шагов: 1) выбирается число кластеров K (в нашем случае $k = 3$ – фон, дефект и цвет кирпича без дефектов (см. рис. 5); 2) для каждого пикселя изображения (i, j) определяется ближайшее расстояние в метрике Евклида от центра каждого кластера $\{(R(i, j) - Rc(k))^2 + (G(i, j) - Gc(k))^2 + (B(i, j) - Bc(k))^2\}$; 3) ближайшее расстояние позволяет определить наименьшее расстояние между конкретным пикселем и всеми выбранными центрами, что позволяет подстроить координаты пикселей центров на основе среднеарифметического; 4) далее идет процедура распределения всех пикселей изображения по уточненным кластерам при помощи сравнения расстояния от каждого пикселя до центров. Пиксель с координатами (i, j) помечается принадлежащим кластеру, центр которого расположен ближе, чем остальные центры кластеров; 5) такая процедура итерационно продолжается до тех пор, пока все пиксели не будут распределены по кластерам. Выходом работы алгоритма является новое изображение, показанное на рис. 5.

Следующим шагом является поиск прямоугольников на полученном изображении и поворот его до параллельности оси абсцисс. Нами под контуром понимается совокупность точек границы объекта на изображении, которые отличаются от фона в виде перепада величин яркости. Отметим, что контур содержит информацию, необходимую для понимания формы объекта (в нашем случае прямоугольник). В этом плане задача выделения всех кирпичей на изображении связана с поиском контуров каждого кирпича. Так как задача чаще всего решается на основе выявления пикселей изображения, в которых яркость значительно меняется, эти пиксели тем или иным методом соединяются и образуют контур объекта. Этому процессу могут мешать различные изменения яркости за счет разных объектов на изображении [15], неравномерности освещения, поворота и наклона кирпича относительно цифровой камеры и др.

В нашем случае поиск контура кирпичей находится из следующей процедуры: 1) выбираем пиксель на изображении (см. рис. 5) с координатами $(1,1)$; 2) проверяем, какому кластеру ($k = 3$ – фон) принадлежит данный пиксель, и если не принадлежит $k = 1$ (белый) или $k = 2$ (серый), то смещаемся по строке на один пиксель; 3) повторяем п. 2 до тех пор, смещаясь по столбцам и строкам, пока не будут найдены кластеры $k = 1$ или $k = 2$, считаем, что этот пиксель принадлежит прямоугольнику (кирпичу) и помечаем координаты этого пикселя в матрице; 4) для найденного в п. 3 пикселя увеличиваем раз-

мер области на один пиксель в сторону движения, и если следующий пиксель снова принадлежит кластерам $k = 1$ или $k = 2$, то повторяем п. 4; 6) если следующий пиксель принадлежит $k = 3$, тогда двигаемся далее по строке и при необходимости сдвигаемся на новую строку. Таким образом, после прохода всех пикселей матрицы имеем разметку, которая четко выделяет координаты прямоугольников (кирпичей) на изображении.

Для поиска углов каждого прямоугольника нами применяется детектор Моравеца [16], который хорошо подходит под нашу задачу. Данный алгоритм основан на расчете яркости квадратной области (блока) на изображении и оценке изменения яркости при смещении блока по алгоритму:

$$1) \text{ для каждого направления смещения в окне } (3 \cdot 3): \\ (u, v) \rightarrow \{(1,0), (1,1), (0,1), (-1,1), (-1,0), (-1,-1), \\ (1,0), (0,-1), (1,-1)\};$$

2) рассчитывается изменение яркости для окна размером (a, b) :

$$V(x, y, u, v) = \sum \{I(x+u+a, y+u+b) - I(x+a, y+b)\} / 2;$$

3) определяется вероятность определения угла через вычисление:

$$C(x, y) = \min \{V(x, y, u, v)\}.$$

На этапе нахождения угла по матрице $C(x, y)$ определяются координаты пикселей, которые соответствуют минимальному изменению яркости через их отбраковку по определенному, заранее вычисленному пороговому значению. В итоге находятся углы каждого кирпича g_1 с координатами (x_1, y_1) , $g_2 \rightarrow (x_2, y_2)$, $g_3 \rightarrow (x_3, y_4)$, $g_4 \rightarrow (x_4, y_4)$ и соответственно стороны (c_1, c_2) – длинные, (c_3, c_4) – короткие, которые позволяют оценить периметр P , площадь S , соотношения сторон между собой (например, $Z_1 = c_1/c_2$, $Z_2 = c_3/c_4$). Площадь кирпича S может быть найдена с произвольным расположением на плоскости изображения в порядке обхода по формуле

$$S = 0,5 \cdot |(x_1 - x_2) \cdot (y_1 + y_2) + (x_2 - x_3) \cdot (y_2 + y_3) + \\ + (x_3 - x_4) \cdot (y_3 + y_4) + (x_4 - x_1) \cdot (y_4 + y_1)|.$$

Также можно вычислить диагонали прямоугольника $D_1^2 = (c_1^2 + c_3^2)$ и $D_2^2 = (c_2^2 + c_4^2)$ и их соотношение $D_{12} = D_1/D_2$.

После того, как положение каждого кирпича на изображении (см. рис. 5) известно, происходит подсчет площади всего кирпича, а также число пикселей, которые занимают трещины, сколы и мелкие артефакты. Эта процедура выполняется простым методом деления площади кирпича на блоки $(3 \cdot 3)$ пикселя и подсчета типов дефектов $k = 1$ и/или $k = 2$. Таким образом, вся найденная числовая информация о цветовых площадных характеристиках дефектов заносится в протокол вместе с изображением каждого кирпича в отдельности в формате Json. Такая структура хранения информации позволяет легко проверить любой результат обработки, а также выполнить аналитические исследования по времени, типу дефектов и т.д., что необходимо для поддержания высокого качества производства.

Заключение

Разработаны структура и принципы функционирования программной системы локализации дефектов поверхности по изображениям ленты конвейера, на котором находится блок кирпичей перед укладкой их в поддон. Представлена методическая и алгоритмическая реализация предлагаемых методов локализации дефектов. Проведена обработка реальных изображений методами компьютерного зрения для решения задачи обнаружения и локализации каждого кирпича на изображении в отдельности и поиска дефектов. Результаты обработки записываются в протокол, который является основой для аналитических исследований при оценке качества производимой продукции.

Литература

1. Ананьев А.И. Керамический кирпич и его место в строительстве современных зданий / А.И. Ананьев, О.И. Лобов // Проектирование и строительство в Сибири. – 2013. – № 5. – С. 28–31.
2. Гурьев В.В. Современная нормативная база по мониторингу технического состояния зданий и сооружений / В.В. Гурьев, В.М. Дорофеев // Промышленное и городское строительство. – 2006. – № 4. – С. 24–25.
3. Кудря А.В. Некоторые практические соображения, связанные с компьютерными процедурами обработки изображений в материаловедении / А.В. Кудря, Э.А. Соколовская, В.Ю. Пережогин // Вектор науки ТГУ. – 2019. – № 4 (50). – С. 35–44.
4. Жизняков А.Л. Использование локальных признаков самоподобия цифровых изображений для решения задач дефектоскопии / А.Л. Жизняков, Д.Г. Привезенцев // Ползуновский вестник. – 2012. – № 3/2. – С. 43–47.
5. Machine learning algorithms application to road defects classification / T.H. Nguyen, T.L. Nguyen, D.N. Sidorov, A.I. Dreglea // Intelligent Decision Technologies. – 2018. – Vol. 12. – P. 59–66.
6. Вавилов В.П. Тепловой неразрушающий контроль материалов и изделий (обзор) // Дефектоскопия. – 2017. – № 10. – С. 34–57.
7. ГОСТ 530–2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. – М.: ВНИИСТРОМ «Научный центр керамики», 2013. – 49 с.
8. Миронов Б.М. Сегментация изображений кластерным методом и алгоритмом случайных скачков: сравнительный анализ / Б.М. Миронов, А.Н. Малов // Компьютерная оптика. – 2010. – Т. 34, № 1. – С. 132–137.
9. Development of a computer vision system to measure the color of potato chips / F. Pedreschi, J. Leon, D. Mery, P. Moyano // Food Research International. – 2006. – Vol. 39. – P. 1092–1098.
10. Raghavendra A. A survey on internal defect detection in fruits by non-intrusive methods / A. Raghavendra, M. Rao // Int. J. Latest Trends Eng. Technol. – 2016. – Vol. 6(3). – P. 343–348.
11. Kim M., Chen Y., Mehl P. Hyperspectral reflectance and fluorescence imaging system for food quality and safety // Transactions of the ASAE, St. Joseph. – 2001. – Vol. 44, № 3. – P. 721–729.
12. Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.
13. Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход / Ж. Понс, Д. Форсайт. – М.: ИД Вильямс, 2004. – 465 с.
14. Катаев М.Ю. Методика распознавания растительности на основе цветового и текстурного анализа RGB изображений / М.Ю. Катаев, М.М. Дадонова // Светотехника. – 2019. – № 2. – С. 34–39
15. Гороховатский В.А. Структурный анализ и интеллектуальная обработка данных в компьютерном зрении // В.А. Гороховатский. – Харьков: Компания СМИТ, 2014. – 316 с.
16. Moravec H. Rover visual obstacle avoidance // Proc. Intl. Joint Conference on Artificial Intelligence. – Vancouver, British Columbia, 1981. – P. 785–790.

Катаев Михаил Юрьевич

Д-р техн. наук, профессор каф. автоматизированных систем управления (АСУ), научный руководитель Центра космического мониторинга земли из космоса, Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-960-975-27-85, +7 (382-2) 70-15-36
Эл. почта: kmy@asu.tusur.ru

Карпов Роман Константинович

Студент каф. АСУ ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 70-15-36
Эл. почта: doitlaunot@gmail.com

Ламинский Константин Андреевич

Магистрант каф. АСУ ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 70-15-36
Эл. почта: klaminskiy@mail.ru

Kataev M.Yu., Karpov R.K., Laminsky K.A. Software system for detecting brick defects based on computer vision methods

For industrial enterprises, an important area of activity is the use of non-destructive testing in assessing product quality. One of the most developed approaches in practice are optical methods (visible or infrared spectral regions) and associated algorithmic approaches to computer vision. Today a large number of industries use a manual method for detecting defects, which is labor-intensive, slow and subjective. The article presents a description of an automated optical control system to detect imperfections in bricks on a conveyor belt during their production. The optical control is based on RGB images from digital cameras. The processing algorithm is shown and the results obtained are presented.

Keywords: computer vision, image analysis, brick defects, quality control.

doi: 10.21293/1818-0442-2021-24-1-62-67

References

1. Ananiev A.I., Lobov O.I. [Ceramic brick and its place in the construction of modern buildings]. *Design and construction in Siberia*, 2013, no. 5, pp. 28–31 (in Russ.).
2. Guryev V.V., Dorofeev V.M. [Modern normative base for monitoring the technical condition of buildings and structure]. *Industrial and urban construction*, 2006, no. 4, pp. 24–25 (in Russ.).

3. Kudrya A.V., Sokolovskaya E.A., Perezhogin V.Yu. [Some practical considerations associated with computer procedures for image processing in materials science]. *Vector of Science TSU*, 2019, no. 4(50), pp. 35–44 (in Russ.)
 4. Zhiznyakov A.L., Privezentsev D.G. [The use of local signs of self-similarity of digital images for solving flaw detection problems]. *Polzunovsky Bulletin*, 2012, no. 3/2, pp. 43–47 (in Russ.).
 5. Nguyen T.H., Nguyen T.L., Sidorov D.N., Dreglea A.I. Machine learning algorithms application to road defects classification. *Intelligent Decision Technologies*, 2018, vol. 12, pp. 59–66.
 6. Vavilov V.P. [Thermal non-destructive testing of materials and products (review)]. *Defektoskopiya*, 2017, no. 10, pp. 34–57 (in Russ.).
 7. GOST 530-2012 [Ceramic bricks and stones. General technical conditions]. Moscow, VNIISTROM "Scientific Center of Ceramics", 2013, 49 p. (in Russ.).
 8. Mironov B.M., Malov A.N. [Image segmentation by the cluster method and random jump algorithm: comparative analysis]. *Computer Optics*, 2010, vol. 34, no. 1, pp. 132–137 (in Russ.)
 9. Pedreschi F., Leon J., Moyano P. Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. *Food Research International Conference*, 2006, vol. 39, pp. 1092–1098.
 10. Raghavendra A., Rao M. A survey on internal defect detection in fruits by non-intrusive methods. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, 2016, vol. 6 (3), pp. 343–348.
 11. Kim M., Chen Y., Mehl P. Hyperspectral reflectance and fluorescence imaging system for food quality and safety. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, 2001, vol. 44, no. 3, pp. 721–729.
 12. Shapiro L., Stockman J. [Computer vision]. Moscow, BINOM. Knowledge Laboratory, 2006, 752 p. (in Russ.).
 13. Pons J., Forsyth D. [Computer vision. Modern approach], Moscow, Ed. D. Williams, 2004, 465 p. (in Russ.).
 14. Kataev M.Yu., Dadonova M.M. [Vegetation recognition method based on color and texture analysis of RGB-images]. *Lighting*, 2019, no. 2, pp. 34–39 (in Russ.).
 15. Gorokhovatsky V.A. [Structural analysis and intelligent data processing in computer vision]. Kharkov., Company SMITH, 2014, 316 p. (in Russ.).
 16. Moravec H. Rover visual obstacle avoidance. *Proceedings of International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 1981, pp. 785–790.
-

Michael Yu. Kataev

Doctor of Engineering Sciences, Department of Automated Control Systems (ACS), Scientific Director of the Center for Space Monitoring of the Earth from Space, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR) 40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7-960-975-27-85, +7 (382-2) 70-15-36
Email: kataev.m@sibmail.com

Roman K. Karpov

Student, Department of ACS TUSUR
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7 (382-2) 70-15-36
Email: doitlaunot@gmail.com

Konstantin A. Laminsky

Student, Department of ACS TUSUR
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: 7 (382-2) 70-15-36
Email: klaminskiy@mail.ru