

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-3-135-147>

Метод коррекции дисторсии в задачах обработки изображений этикеток

Д.А. Волков ¹, В.С. Панищев ² ✉, М.И. Труфанов ²

¹ Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, Ленинский проспект, 65, г. Москва, 119991, Российская Федерация

² Центр информационных технологий в проектировании Российской академии наук, ул. Маршала Бирюзова, 7а, г. Одинцово, Московская обл., Российская Федерация

✉ e-mail: gskunk@yandex.ru

Резюме

Цель исследования. В работе объектом исследования являются методы и алгоритмы автоматического получения и улучшения качества цифровых изображений в контроллерах для систем этикетирования и систем обработки и распознавания изображений. Цель работы – разработка новых методов улучшения качества и обработки изображений для использования в оптико-электронных устройствах и системах технического зрения. Отмечена актуальность научно-технической задачи по расширению функциональных возможностей и повышению качества функционирования вычислительных устройств в системах управления и контроля качества этикетирования объектов, в частности, отмечена необходимость выделения изображения этикетки с целью определения нарушения качества ее нанесения. В качестве основной корректируемой особенности получаемых изображений выбрана дисторсия.

Методы. Рассмотрены основные подходы, используемые при определении и коррекции дисторсии, выявлены их недостатки, проведен анализ основных методов, описанных в литературе. В работе использовались аппарат аналитической геометрии, теория распознавания образов, методы обработки и анализа растровых изображений.

Результаты. Разработан метод обработки изображений для улучшения их качества, программное обеспечение для обнаружения и обработки изображений этикеток и документов. Предложен вариант определения радиальной дисторсии при смещении наблюдения в различных направлениях. Выполнено моделирование разработанного метода с помощью специально созданного программного обеспечения. Проведены экспериментальные исследования созданного программного обеспечения. Приведены их результаты и отмечены достоинства и недостатки.

Заключение. Разработанный метод может использоваться в устройствах получения и обработки изображений, функционирующих в автоматическом режиме и применяемых в системах технического зрения и контроля качества этикетирования.

Ключевые слова: обработка изображений; обнаружение этикетки; коррекция дисторсии.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы № 0071-2019-0001 Развитие теории и методов прикладной математики, нейросетевых технологий и систем управления процессами в задачах CAD-систем, анализа визуальных данных, защиты информации и прогнозирования.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Волков Д.А., Панищев В.С., Труфанов М.И. Метод коррекции дисторсии в задачах обработки изображений этикеток // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019; 23(3): 135-147. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-3-135-147>.

Статья поступила в редакцию 02.04.2019

Статья подписана в печать 14.05.2019

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-3-135-147>

A Method for Distortion Correction in Label Images Processing

Denis A. Volkov ¹, Vladimir S. Panishchev ² ✉, Maksim I. Truphanov ²

¹ National University of Oil and Gas "Gubkin University", 65, Leninsky prospekt, Moscow, 119991, Russian Federation

² Design information technologies Center of Russian academy of sciences, 7a, Marhsala Biryuzova str., Odintsovo, Moscow region, Russian Federation

✉ e-mail: gskunk@yandex.ru

Abstract

Purpose of research. Methods and algorithms for automatic acquisition and improvement of digital image quality in controllers for labeling systems and image processing and recognition systems are the objects of the article. The purpose of the study is to develop new methods to improve quality and image processing for optoelectronic devices and vision systems. The topicality of the scientific and technical task to expand the functionality and improve the quality of computing devices in control systems and quality control of objects labeling is mentioned; in particular, the need to extract the image of the label in order to determine defects of the quality of labeling is highlighted. Distortion was chosen as the main adjustable feature of the obtained images.

Methods. The main approaches used in the determination and correction of distortion are considered; their shortcomings are revealed; the analysis of the main methods described in the literature is carried out. The paper used the framework of analytical geometry, pattern recognition theory, methods for processing and analysis of bitmap images.

Results. A method for image processing to improve image quality, software for detecting and processing images of labels and documents were developed. A variant of determining the radial distortion in case of the shift of the observation in different directions is proposed. The modeling of the developed method by means of the specially created software is performed. The experimental studies of the developed software were carried out. Their results are provided, and advantages and disadvantages are highlighted.

Conclusion. The developed method can be used in image acquisition and processing devices operating in automatic mode and applied in vision and labeling quality control systems.

Keywords: image processing; label detection; distortion correction.

Acknowledgements: The work was done under the theme n 0071-2019-0001 Development of theory and methods of applied mathematics, neural network technology and systems management of processes in problems of CAD systems, analysis of visual data, protection of information and forecasting.

Conflict of interest: The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Volkov D.A., Panishchev V.S., Truphanov M.I. A Method for Distortion Correction in Label Images Processing. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta* = *Proceedings of the Southwest State University*. 2019, 23(3): 135-147 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-3-135-147>.

Received 02.04.2019

Accepted 14.05.2019

Введение

В организации обслуживания технологического процесса большую роль играют вычислительные устройства для локальных систем управления технологическим оборудованием и процессами. Примером таких систем являются устройства-контроллеры для систем этикетирования (нанесения этикеток, марок, ценников и т.п.) на подвижный объект. Такие контроллеры позволяют решать следующие задачи: обработка информации от различного рода датчиков (температуры, движения, объекта и т.п.), расчет необходимых параметров технологического процесса, ввод настроечных параметров процесса этикетирования, а также формирование управляющих воздействий для исполнительных механизмов [1-3]. При этом актуальной научно-технической задачей является расширение функциональных возможностей и повышение качества функционирования вычислительных устройств в системах управления и контроля качества этикетирования объектов. В частности существует необходимость выделения изображения этикетки с целью определения нарушения качества ее нанесения.

Особенностью получаемых изображений является наличие в них искажений, самым распространенным из которых является дисторсия.

Для определения основных подходов, используемых при определении и коррекции дисторсии, и выявления их

особенностей проведен анализ описанных в статьях и патентных документах существующих моделей, устройств и способов калибровки, определения и коррекции дисторсии.

Материалы и методы решения задачи

Наиболее широко известной на сегодняшний день является полиномиальная модель [4], описывающая дисторсию. Ряд проведенных экспериментов [5, 6] показал, что использование только коэффициента радиальной дисторсии первого порядка k_1 достаточно, так как обеспечивает точность определения дисторсии до 0.1 пикселя на изображении при использовании стандартных оптических систем [7].

Неискаженные координаты точек изображения могут быть получены по формуле

$$\begin{aligned} x_u &= x_d(1 + k_1 r_d^2), \\ y_u &= y_d(1 + k_1 r_d^2), \end{aligned} \quad (1)$$

где $r_d = \sqrt{x_d^2 + y_d^2}$ - радиус дисторсии.

Инверсная модель, описывающая дисторсию, выглядит следующим образом:

$$r_u = r_d(1 + k_1 r_d^2), \quad (2)$$

где $r_u = \sqrt{x_u^2 + y_u^2}$ - это неискаженный радиус, а r_d - искаженный радиус.

Это полином третьей степени, где значение r_d можно получить, вычислив корни уравнения $r_d^3 + cr_d + d = 0$, с

$c = \frac{1}{k_1}$ и $d = -cr_u$, которое решается с

использованием метода Кардана. Этот метод является основным для решения полиномов третьей степени. Уравнение имеет один или три реальных решения, в зависимости от знака дискриминанта:

$$\Delta = Q^3 + R^2,$$

где $Q = \frac{c}{3}$, а $R = -\frac{d}{2}$.

Если $\Delta > 0$, то есть только один реальный корень:

$$r_d = \sqrt[3]{R + \sqrt{\Delta}} + \frac{Q}{\sqrt[3]{R + \sqrt{\Delta}}}, \quad (3)$$

если $\Delta < 0$, то в этом случае три решения, но только одно правильное, т.к. когда r_u постоянно, r_d может быть непрерывным функционалом k_l . Непрерывность в $k_l = 0$ дает решение:

$$r_d = -S \cos T + S\sqrt{3} \sin T, \quad (4)$$

где $S = \sqrt[3]{\sqrt{R - \Delta}}$ и $T = \frac{1}{3} \arctan \frac{\sqrt{-\Delta}}{R}$.

Объединяя (1) и (2), получают:

$$x_d = x_u \frac{r_d}{r_u}, \quad (5)$$

$$y_d = y_u \frac{r_d}{r_u}.$$

С линзами с большой дисторсией необходимо использовать слагаемые большего порядка в выражении (1) в модели дисторсии [8]. В этом случае преобразование из неискаженных в искаженные координаты имеет решение в аналитическом виде, и может быть использован алгоритм решения, например, метод Ньютона.

Задача калибровки дисторсии, по мнению Девернея и Фаугераса [9], состоит в нахождении такого преобразования, которое отображает реальную

картинную плоскость на изображение для перспективной камеры. То есть для калибровки дисторсии используют некоторые объекты в трехмерном пространстве, которые должны отображаться на плоскость прямыми линиями, но вследствие влияния дисторсии, линии становятся кривыми, а задача стоит в нахождении этих линий, определении степени их искажения и последующей коррекции всего изображения.

Другой распространенный метод для определения дисторсии – это аппроксимация ее влияния методом наименьших квадратов. Так аппроксимируется каждый контур, который считается проекцией сектора пространственного объекта, содержащего линию [10], и принимается за ошибку дисторсии сумма квадратов расстояний от точки до линии (т.е. χ^2 наименьшей квадратичной аппроксимации).

Это отражают в следующем выражении для каждого контура, задаваемого n точками с координатами (x_j, y_j) :

$$\chi^2 = a \sin^2 \varphi - 2|b| |\sin \varphi| \cos \varphi + c \cos^2 \varphi, \quad (6)$$

$$a = \sum_{j=1}^n x_j^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n x_j \right)^2, \quad (7)$$

$$b = \sum_{j=1}^n x_j y_j - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \sum_{j=1}^n y_j, \quad (8)$$

$$c = \sum_{j=1}^n y_j^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n y_j \right)^2, \quad (9)$$

$$\alpha = a - b; \beta = \frac{\alpha}{2\sqrt{\alpha^2 + 4b^2}}, \quad (10)$$

$$|\sin \varphi| = \sqrt{\frac{1}{2} - \beta}; \cos \varphi = \sqrt{\frac{1}{2} + \beta}, \quad (11)$$

где φ – угол между линией и оптической осью, $\sin \varphi$ должен быть того же знака, что и b , φ может быть рассчитан, как

$\varphi = \frac{1}{2} \arctan 2(b, a - c)$, но только $\sin \varphi$ и $\cos \varphi$ используются для расчета χ^2 .

Традиционным подходом к определению дисторсии [11] является использование специально созданного эталонного объекта, расположенного в заданной плоскости рабочей сцены, по изображению которого производится определение искажений [12,13]. Однако для реализации адаптивной калибровки необходима математическая модель калибровки дисторсии, позволяющая определять дисторсию в автоматическом режиме без использования специально созданного калибровочного объекта.

Искажения, вызванные радиальной дисторсией линз, определяются [13] по формулам:

$$\begin{aligned} \Delta x_r &= x (k_1 r^2 + k_2 r^4 + \dots + k_n r^{2n}), \\ \Delta y_r &= y (k_1 r^2 + k_2 r^4 + \dots + k_n r^{2n}), \end{aligned} \quad (12)$$

где $(\Delta x_r, \Delta y_r)$ – отклонение точки изображения от ее истинного положения – положения, которое занимала бы точка при отсутствии радиальной дисторсии; k_1, k_2, \dots – коэффициенты радиальной дисторсии; $r = (x^2 + y^2)^{1/2}$ – расстояние от центра кадра до точки с координатами (x, y) .

Для практического применения достаточно определять коэффициент k_1 [13], тогда выражение (12) преобразуется к виду:

$$\Delta x_r = x k_1 r^2, \Delta y_r = y k_1 r^2. \quad (13)$$

Отклонения $\Delta x_r, \Delta y_r$ между измеренными координатами точки по горизонтали x' и вертикали y' и их истинными координатами x по горизонтали и y по вертикали соответственно равны [14]

$$\Delta x_r = x' - x, \quad \Delta y_r = y' - y. \quad (14)$$

Для определения коэффициента k_1 изменяют направление наблюдения так, чтобы центральная точка занимала на изображении положение А (рис. 1), характеризующееся равенством ординаты точки нулю, затем смещают направление наблюдения в вертикальной плоскости так, чтобы центральная точка занимала положение В. При этом истинные абсциссы точек А и В равны. Получим систему уравнений, используя определенные по изображению координаты точек А(x_A, y_A) и В(x_B, y_B):

$$\begin{cases} x'_A - x_A = k_1 \cdot x_A^3 \\ x'_B - x_B = x_B \cdot k_1 \cdot (x_B^2 + y_B^2) \\ y'_B - y_B = y_B \cdot k_1 \cdot (x_B^2 + y_B^2) \\ x_A = x_B. \end{cases} \quad (15)$$

При определении радиальной дисторсии наряду со смещением направления наблюдения в вертикальной плоскости используется смещение в горизонтальной плоскости и в произвольном направлении. Рассмотрим вариант определения радиальной дисторсии при смещении наблюдения в горизонтальном направлении и произвольных абсциссах точек А, В, при этом система уравнений (15) преобразуется к виду

$$\begin{cases} x'_A - x_A = x_A \cdot k_1 \cdot (x_A^2 + y_A^2) \\ y'_A - y_A = y_A \cdot k_1 \cdot (x_A^2 + y_A^2) \\ x'_B - x_B = x_B \cdot k_1 \cdot (x_B^2 + y_B^2) \\ y'_B - y_B = y_B \cdot k_1 \cdot (x_B^2 + y_B^2) \\ y_A = y_B. \end{cases} \quad (16)$$

В результате решения системы уравнений (16) определяется коэффициент k_1

$$k_1 = \frac{x'_A - x'_A / y'_A \cdot y}{y^3 \cdot (x'^2_A / y'^2_A + 1)}, \quad y = \frac{x'_B \cdot (x'^2_A / y'^2_A + 1) - x'_A \cdot (x'^2_B / y'^2_B + 1)}{-x'_A / y'_A \cdot (x'^2_B / y'^2_B + 1) + x'_B / y'_B \cdot (x'^2_A / y'^2_A + 1)}. \quad (17)$$

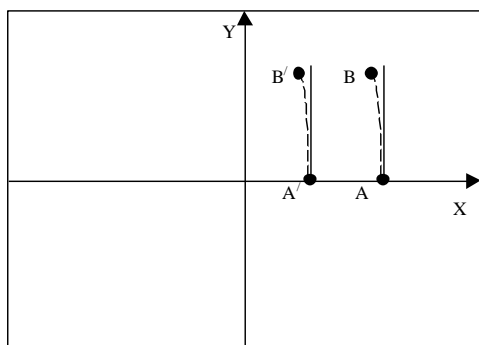


Рис. 1. Положения контрольной точки при определении параметров радиальной дисторсии

Fig. 1. The position of the control point when determining the parameters of radial distortion

Получим формулу, позволяющую корректировать искаженное изображение при известном коэффициенте радиальной дисторсии k_2 .

Согласно формулам (16), координаты (x', y') точки на изображении при дисторсии отличаются от координат точки при отсутствии дисторсии (x, y) на величину $(\Delta x, \Delta y)$:

$$x' = x + \Delta x, \quad y' = y + \Delta y. \quad (18)$$

Тогда исправленные координаты (x_{kor}, y_{kor}) точки равны

$$x_{kor} = x' - \Delta x, \quad y_{kor} = y' - \Delta y. \quad (19)$$

Для определения величин $(\Delta x, \Delta y)$ при известном коэффициенте k_1 , найденном по формуле (17), составим систему уравнений и решим ее относительно $(\Delta x, \Delta y)$:

$$\begin{cases} \Delta x = (x' - \Delta x) \cdot k_1 \cdot ((x' - \Delta x)^2 + (y' - \Delta y)^2) \\ \Delta y = (y' - \Delta y) \cdot k_1 \cdot ((x' - \Delta x)^2 + (y' - \Delta y)^2). \end{cases} \quad (20)$$

Выразим Δy через Δx

$$\Delta y = \Delta x \cdot \frac{y'}{x'}. \quad (21)$$

Подставив в первое уравнение системы (21) $\Delta y = \Delta x \cdot \frac{y'}{x'}$, получим кубическое уравнение с одним неизвестным Δx

$$\Delta x = (x' - \Delta x) \cdot k_1 \cdot \left((x' - \Delta x)^2 + \left(y' - \Delta x \cdot \frac{y'}{x'} \right)^2 \right). \quad (22)$$

В результате решения уравнения (22) по формулам Кордана при $k_1 > 0$ уравнение имеет единственное действительное решение Δx

$$\Delta x = \sqrt[3]{-q + (q^2 + p^3)^{0.5}} + \sqrt[3]{-q - (q^2 + p^3)^{0.5}}, \quad (23)$$

$$p = (3 \cdot k_1 \cdot (1 + y'^2 / x'^2))^{-1},$$

$$q = -x' \cdot (2 \cdot k_1 \cdot (1 + y'^2 / x'^2))^{-1}.$$

При $k_1 < 0$ уравнение (23) имеет несколько решений Δx , истинное из которых выбирается ограничением области допустимых значений Δx , размерами изображения X, Y и знаком величины Δx .

Математические модели определения $M_{kk}(K)$ и коррекции $M_{rd}(I_n(x, y) |_{x=\overline{1, X}, y=\overline{1, Y}})$ радиальной дисторсии ОС ОЭД позволяют провести коррекцию изображения путем расчета истинных $I_n(x, y)$ координат точек изображения

$$k_1 = M_{kk}(K), \quad (24)$$

$$I_n(x, y) = M_{rd}(M_{kk}(K), I_n(x, y) |_{x=\overline{1, X}, y=\overline{1, Y}}). \quad (25)$$

Моделирование. Для проведения экспериментальных исследований раз-

работанного метода выделения этикетки была разработана специальная программа. Моделирование проводилось на изображениях документов и этикеток.

Входными данными для программы является изображение, предположительно содержащее этикетку.

Выходными данными является изображение этикетки, выделенное из исходного.

Программа позволяет загружать изображения и сохранять выделенные изображения этикетки. Кроме того, в про-

грамме отображаются изображения, получаемые на промежуточных этапах обработки (а именно – после коррекции дисторсии и бинаризации).

При экспериментальном исследовании была создана база из 50 изображений.

При запуске программы появляется главное окно с панелями для прорисовки изображений и кнопками загрузки и сохранения. Результат обработки введенного изображения представлен на рис. 2.

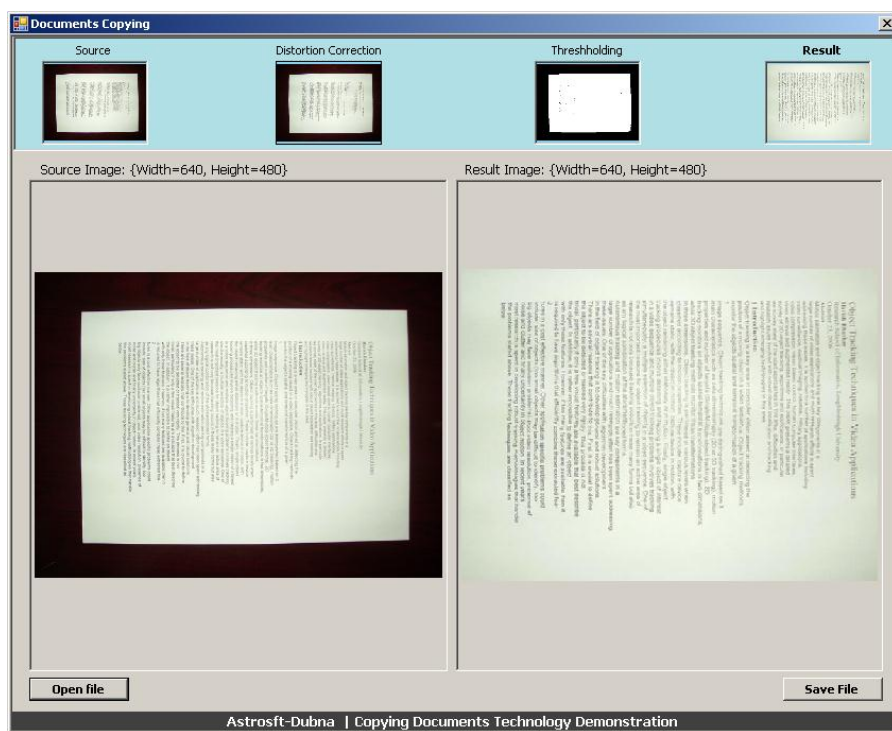


Рис. 2. Пример обработки изображения

Fig. 2. Image processing example

Область окна программы разделена на несколько областей. В двух нижних областях представлены: исходное изображение и выделенное из него изображение документа. В верхней области представлены изображения, получен-

ные на промежуточных этапах обработки. Увеличенные изображения, полученные на промежуточных этапах обработки, можно увидеть, выбрав их из верхнего ряда левой кнопкой мыши (рис. 3).

Кроме того, все изображения можно посмотреть в увеличенном виде, кликнув левой кнопкой мыши на выбранном изображении.

В случае недостаточного качества обрабатываемого изображения, а также

в том случае, если на обрабатываемом изображении этикетка или документ не найден, выдается следующее сообщение (рис. 4).

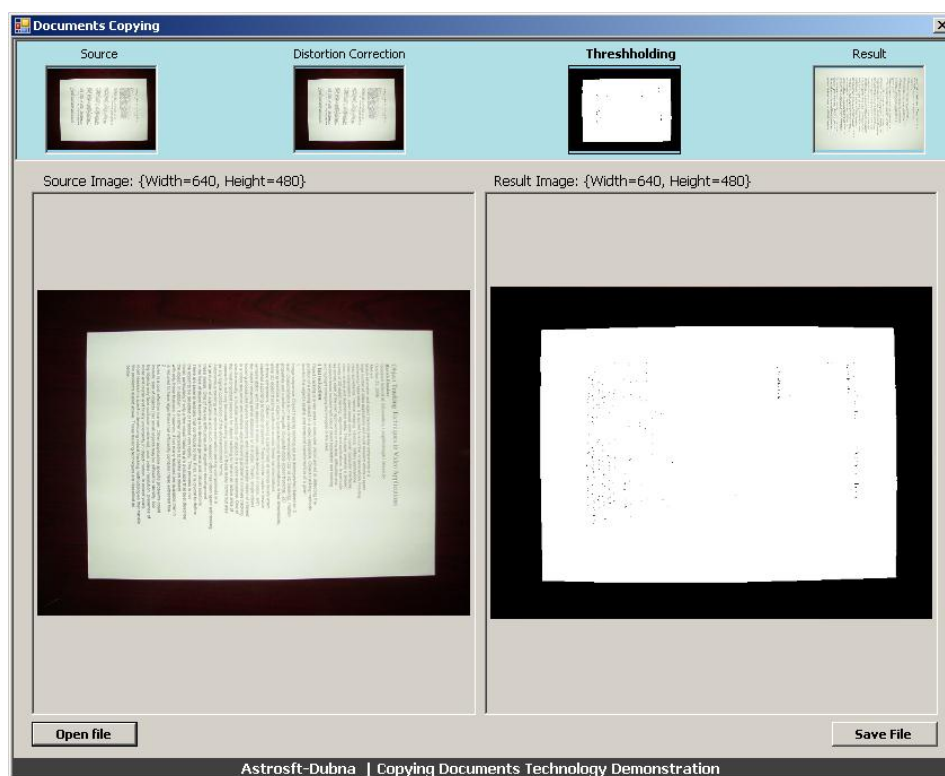


Рис. 3. Выбор изображения для обработки

Fig. 3. Image selection for processing

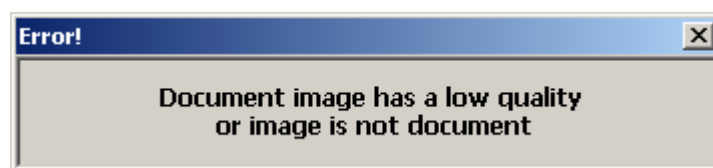


Рис. 4. Сообщение о недопустимости входного изображения

Fig. 4. Message about the inadmissibility of the input image

Результаты и их обсуждение

Результаты обработки тестовых изображений представлены в таблицах 1 и 2.

Экспериментальные исследования разработанного метода показали воз-

можность его применения в задачах обнаружения этикеток. Наряду с этим выявлен ряд недостатков, требующий их устранения, и пути возможной доработки программного обеспечения (табл. 2).

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований

Table 1

The results of experimental studies

Исходное изображение	Результат обработки
	
	
	
	

Таблица 2

Анализ недостатков

Table 2

Analysis of deficiencies

Недостаток	Причина	Возможное устранение
Смазанные буквы на конечном изображении документа	Для поворота обнаруженного изображения используются стандартные алгоритмы растровой графики, не позволяющие получить четкие изображения при углах поворота, отличающихся от 90 и 180 градусов, что вызвано погрешностями округления функций синуса и косинуса при вычислении новых координат точек	Использование алгоритмов поворота, учитывающих особенности текста. Однако для этого может потребоваться дополнительное распознавание и перевод изображения в векторный формат, что сильно усложнит задачу
Время обработки изображений	Время обработки определяется, прежде всего, размером исходного изображения – чем больше изображение, тем больше время обработки	Возможно использование оптимизации вычислений, которая позволит в значительной степени уменьшить время обработки

Выводы

При решении задачи выделения изображения этикетки с целью определения нарушения качества ее нанесения распознавание текста не является основной задачей, в связи с чем дальнейшие исследования разработанного метода необходимо проводить в области оптими-

зации вычислений. Таким образом, разработанный метод может использоваться в устройствах получения и обработки изображений, функционирующих в автоматическом режиме и применяемых в системах технического зрения и контроля качества этикетирования.

Список литературы

1. Панищев В.С., Решетникова В.П., Чернецкая И.Е. Блок управления автоматизированной системой нанесения этикеток на подвижный объект // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2010. Т. 53. № 9. С. 58-62.

2. Панищев В.С., Славкова О.Б. Схема управления шаговым двигателем для автоматизированной системы нанесения этикетки на подвижный объект // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2012. Т. 55. № 2. С. 43-46.
3. Панищев В.С., Славкова О.Б. Алгоритм работы автоматической системы нанесения этикетки на подвижный объект // Информационно-измерительные диагностические и управляющие системы. Диагностика - 2011: сборник материалов II Международной научно-технической конференции. Курск, 2011. С. 152-155.
4. Devernay F., Faugeras O. Straight lines have to be straight // MVA. 2001. N13(1). P. 14-24.
5. Beyer H. Accurate calibration of CCD-cameras // Proc. International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Urbana Champaign. IEEE CS Press, Piscataway, June 1992.
6. Tsai R. A versatile camera calibration technique for highaccuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses // IEEE Robotics Autom, 1987. N3(4), P. 323-344.
7. Faugeras O. Toscani G. Structure from Motion using the Reconstruction and Reprojection Technique // IEEE Workshop on Computer Vision, Miami Beach, November-December, IEEE CS Press, Piscataway, 1987. P. 345-348.
8. Lavest J., Viala M., Dhome M. Do we really need an accurate calibration pattern to achieve a reliable camera calibration // Proceedings of the 5th European Conference on Computer Vision. Vol. 1 of Lecture Notes in Computer Science, Freiburg, Germany. Springer, Berlin Heidelberg New York, June 1998. P. 158-174.
9. Brown D. Close-range camera calibration // Photogrammetric Engineering, 1971, N37(8), P. 855-866.
10. Deriche R., Vaillant R., Faugeras O. From noisy edge points to 3D reconstruction of a scene: A robust approach and its uncertainty analysis // Proceedings of the 7th Scandinavian Conference on Image Analysis, Alborg, Denmark, August 1991. P. 225-232.
11. Shah S., Aggarwal J.K. Intrinsic parameter calibration procedure for a (high-distortion) fish-eye lens camera with distortion model and accuracy estimation // Pattern Recognition, N29(11). P. 1175-1788.
12. Devernay F. A non-maxima suppression method for edge detection with sub-pixel accuracy // Technical report RR 2724, NRIA, 1995.
13. Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms // IEEE Trans. Syst. Man Cybern. 1979. Vol. 9, No.1. P. 62-66.
14. Коростелев С.И. Программа для распознавания образов // Молодежь и XXI век: матер. XXXV межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов в области научных исследований: в 2 ч. Курск, 2007. Ч.1. С. 20-21.

Reference

1. Panishchev V.S., Reshetnikova V.P., Chernetskaya I.Ye. Blok upravleniya avtomatizirovannoy sistemoy naneseniya etiketok na podvizhnyy ob"yekt. [Control block of automated system for label gluing to mobile object] *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroyeniye = Journal of Instrument Engineering*, 2010, vol. 53, no. 9, pp. 58-62 (In Russ.).
2. Panishchev V.S., Slavkova O.B. Skhema upravleniya shagovym dvigatelem dlya avtomatizirovannoy sistemy naneseniya etiketki na podvizhnyy ob"yekt [Control circuit of stepper motor for automated system of moving objects labeling] *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroyeniye = Journal of Instrument Engineering*, 2012, vol. 55, no. 2, pp. 43-46 (In Russ.).
3. Panishchev V.S., Slavkova O.B. [The algorithm of the automatic system for applying labels to a moving object] *Informatsionno-izmeritel'nyye diagnosticheskiye i upravlyayushchiye sistemy. Diagnostika - 2011. Sbornik materialov II Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [In the collection: Information-measuring diagnostic and control systems. Diagnostics - 2011. Collection of materials of the II International Scientific and Technical Conference]. Kursk, 2011, pp. 152-155 (In Russ.).
4. Devernay F., Faugeras O. Straight lines have to be straight F. Devernay. *MVA*, 2001, no.13(1), pp. 14-24.
5. Beyer H. Accurate calibration of CCD-cameras. Proc. International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Urbana Champaign. IEEE CS Press, Piscataway, June 1992.
6. Tsai R. A versatile camera calibration technique for highaccuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses. *IEEE Robotics Autom*, 1987, no.3(4), pp. 323-344.
7. Faugeras O., Toscani G. Structure from Motion using the Reconstruction and Reprojection Technique. IEEE Workshop on Computer Vision, Miami Beach, November-December, IEEE CS Press, Piscataway, 1987, pp. 345-348.
8. Lavest J., Viala M., Dhome M. Do we really need an accurate calibration pattern to achieve a reliable camera calibration. Proceedings of the 5th European Conference on Computer Vision. Vol. 1 of Lecture Notes in Computer Science, Freiburg, Germany. Springer, Berlin Heidelberg New York, June 1998, pp. 158-174.
9. Brown D. Close-range camera calibration. *Photogrammetric Engineering*, 1971, N37(8), pp. 855-866.
10. Deriche R., Vaillant R., Faugeras O. From noisy edge points to 3D reconstruction of a scene: A robust approach and its uncertainty analysis. Proceedings of the 7th Scandinavian Conference on Image Analysis, Alborg, Denmark, August 1991, pp. 225-232.

11. Shah S., Aggarwal J.K. Intrinsic parameter calibration procedure for a (high-distortion) fish-eye lens camera with distortion model and accuracy estimation. *Pattern Recognition*, no.29(11), pp. 1175–1788.
12. Devernay F. A non-maxima suppression method for edge detection with subpixel accuracy. Technical report RR 2724, NRIA, 1995.
13. Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, 1979, vol. 9, no.1, pp. 62-66.
14. Korostelev S.I. [Program for pattern recognition]. *Mater. XXXV mezhvuzovskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i aspirantov v oblasti nauchnykh issledovaniy: "Molodezh' i XXI vek"*. [Materials of XXXV interuniversity scientific and technical conference of students and graduate students in the field of scientific research. "Youth and the 21st Century"]. Kursk, 2007, pp. 20-21 (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the Authors

Волков Денис Андреевич, ассистент,
Российский государственный университет
нефти и газа (национальный исследовательский
университет) имени И.М. Губкина, г. Москва,
Российская Федерация,
e-mail: volkov.d.a.@mail.ru

Denis A. Volkov, Assistant Lecturer, Gubkin
Russian State University of Oil and Gas
(National Research University), Moscow,
Russian Federation
e-mail: volkov.d.a.@mail.ru

Панищев Владимир Славиевич, кандидат
технических наук, старший научный сотрудник,
Центр информационных технологий в проекти-
ровании Российской академии наук, г. Москва,
Российская Федерация,
e-mail: gskunk@yandex.ru

Vladimir S. Panishchev, Candidate
of Engineering Sciences, Senior Research Fellow,
Center of Information Technologies in Design
of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation,
e-mail: info@ditc.ras.ru

Труфанов Максим Игоревич, кандидат
технических наук, старший научный сотрудник,
Центр информационных технологий в проекти-
ровании Российской академии наук, г. Москва,
Российская Федерация,
e-mail: info@ditc.ras.ru

Maksim I. Truphanov, Candidate
of Engineering Sciences, Senior Research Fellow,
Center of Information Technologies in Design
of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation,
e-mail: info@ditc.ras.ru