

Распознавание символьной информации для автоматизации производственных процессов

В. С. Панищев ¹ ✉, М. И. Труфанов ¹, О. Г. Добросердов ², О. О. Хомяков ²

¹ ФГБУН Центр информационных технологий в проектировании Российской академии наук
ул. Маршала Бирюзова 7а, г. Одинцово 143003, Московская обл., Российская Федерация

² Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: gskunk@yandex.ru

Резюме

Цель исследования. В настоящее время системы оптического распознавания символов имеют высокий уровень зависимости от конкретного вида маркировки, которая подлежит распознаванию, в связи с чем, создание универсального решения является важной и сложной задачей. В работе рассмотрен вопрос создания системы распознавания символьной информации, которая может быть использована на различных этапах производства для автоматизации процессов в системах управления, в частности для анализа маркировки автоматических выключателей.

Методы. Методы цифровой обработки изображений, в частности бинаризации, фильтрации и определения границ. Методы распознавания символов, такие как: метод поиска линий, метод поиска базовых линий, алгоритмы разбиения слова, способы улучшения изображения путем сегментации, метод распознавания поврежденных символов, алгоритм увеличения финального качества распознавания.

Результаты. Проведен анализ алгоритмов, используемых для предобработки и последующего распознавания изображений, содержащих маркировку автоматических выключателей. Создана математическая модель обработки изображения для последующего распознавания. Описаны методы, используемые для определения символов маркировки. Приведены наглядные примеры работы алгоритмов, на которых построена система. Проведено тестирование полученного решения. Описаны пути развития системы, которые могут повлечь улучшение результатов, для частных случаев использования.

Заключение. Предложено решение, выполняющее распознавание символьной информации на маркировке автоматических выключателей, которое может быть основой для разработки и описания систем, служащих для автоматизации производства, путем передачи информации, считываемой с изделия в процессе производства. Данная система на своем примере описывает компоненты систем распознавания символов, и для непосредственного использования необходима доработка в соответствии с техническими требованиями и особенностями условий, в которых она будет применяться.

Ключевые слова: распознавание символьной информации; OCR; предобработка изображений; лингвистический анализ; автоматические выключатели, маркировка.

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

Финансирование: 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».

Для цитирования: Распознавание символьной информации для автоматизации производственных процессов / В. С. Панищев, М. И. Труфанов, О.Г. Добросердов, О. О. Хомяков // Известия Юго-Западного государственного университета. 2021; 25(1): 122-137. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-1-122-137>.

Поступила в редакцию 17.12.2020

Подписана в печать 29.01.2021

Опубликована 31.03.2021

Recognition of Character Information for Automation of Production Processes

Vladimir S. Panishchev ¹ ✉, Maxim I. Trufanov ¹, Oleg G. Dobroserdov ²,
Oleg O. Khomyakov ²

¹ Center for Information Technology in Design of the Russian Academy of Sciences,
7a Marshal Biryuzov str., Odintsovo 143003, Moscow region, Russian Federation

¹ Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: gskunk@yandex.ru

Abstract

Purpose of research. Nowadays optical character recognition systems have a high level of dependence on the specific type of marking that is to be recognized, and therefore, the creation of a universal solution is an important and difficult task. The paper considers the issue of creating a system for recognizing symbolic information that can be used at various stages of production to automate processes in control systems, in particular, to analyze the labeling of circuit breakers.

Methods. Binarization, filtering, and boundary detection are digital image processing techniques. Line search method, baseline search method, word splitting algorithms, image enhancement methods by segmentation, damaged characters recognition method, an algorithm for increasing the final recognition quality are character recognition methods.

Results. The analysis of algorithms used for preprocessing and subsequent recognition of images containing marking of circuit breakers is carried out. The mathematical model of image processing for subsequent recognition has been created. We have described methods used to define marking symbols. Illustrative examples of the operation of the algorithms on which the system is built are given. The obtained solution was tested. The ways of system development are described here, they can lead to improved results, for particular use cases.

Conclusion. It is proposed a solution that recognizes symbolic information on the labeling of circuit breakers, which can be the basis for the development and description of systems serving for the automation of production, by transferring information read from the product during the production process. This system, by its example, describes the components of character recognition systems, and for direct use, it needs to be refined in accordance with the technical requirements and the specifics of the conditions in which it will be used.

Keywords: recognition of symbolic information; OCR; image preprocessing; linguistic analysis; circuit breakers, marking.

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

Funding: The work was carried out within the framework of the topic No. 0071-2019-0001 "Development of the theory and methods of applied mathematics, neural network technologies and process control systems in CAD systems, visual data analysis, information security and forecasting".

For citation: Panishchev V. S., Trufanov M. I., Dobroserdov O. G., Khomyakov O. O. Recognition of character information for automation of production processes. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2021; 25(1): 122-137 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-1-122-137>.

Received 17.12.2020

Accepted 29.01.2021

Published 31.03.2021

Введение

На данный момент в области автоматизации производства широко востребованы системы, реализующие считывание маркировки, нанесенной на изделие и понятной человеку. Автоматизация данного процесса позволяет реализовать впоследствии автоматизацию процессов, следующих за определением маркировки. Кроме независимости от человеческого фактора это позволяет избавиться от необходимости наносить промежуточные маркировки или же от необходимости наносить 2 вида маркировок, понятных для человека и понятных для устройств, работающих со специальными видами маркировки, которые необходимы исключительно для машин.

В связи с развитием систем оптического распознавания символов (optical character recognition, OCR), на рынке начали появляться решения подобного рода. Но данные решения имеют высокий уровень зависимости от конкретного вида маркировки, которая подлежит распознаванию. Кроме того, создание универсального решения является крайне нетривиальной задачей, из-за существования большого количества неопределенностей, с исходным изображением и его качеством, возможностями аппаратной части и спецификой её установки на конкретном производстве, различными методами, которые необходимы для предобработки изображения и т.д.

Анализируя рынок распознавания маркировок в данный момент, можно выделить 3 вида систем распознавания.

1. Системы, работающие на основе RFID. В основе метода лежит идентификация на основе радиочастотных меток и устройств считывающих информацию с меток. К преимуществам данных методов относится возможность бесконтактной идентификации и возможность незаметной установки метки. Основным недостатком является высокая зависимость от условий использования, а также необходимость вносить изменения в процесс производства, что зачастую является существенным препятствием при внедрении. К представителям данных систем относятся решения фирм «ЮНИСКАН/ГС1 РУС» и «Систематика».

2. Системы, чья работа основана на использовании штрихового кодирования. Достоинствами систем, использующих данный подход, является высокая точность и низкая стоимость. Недостатками – необходимость обеспечения фиксированного положения объекта, с которого происходит распознавание, а так же необходимость внедрения дополнительного процесса в производства для нанесения подобной маркировки. К представителям данных систем относятся решения фирм «Shark ID», «ПАЛЬМА» и ««ДатаСкан»».

3. Системы, работающие с маркировкой, понятной человеку. Преимуществом данного подхода является отсут-

ствие необходимости внедрения дополнительных процессов нанесения специальной маркировки, что позволяет снизить стоимость внедрения, так же сохраняется точность и низкая стоимость аналогично с решениями, основанными на штриховом кодировании. Недостатками является сложность разработки, при использовании для различных типов маркировок, необходимость дополнительных корректировок системы, для работы со спецификой конкретного производства. Кроме того, присутствующие в данный момент на рынке решения, зачастую требуют использования специализированных технических устройств, гарантирующих правильность распознавания. В данный момент активно ведутся разработки по ликвидации данных недостатков [1-7]. Представителями данных решений являются системы фирм «ВидеоМатрикс» и «Малленом Системс».

В ходе данной работы был проведен анализ существующих решений в сфере обработки изображений, в частности методов предобработки, которые позволяют улучшить исходное изображение, для повышения качества последующего распознавания значимой информацией, правильного выделения информации и исправления недостатков аппаратной части. Были рассмотрены существующие способы распознавания изображений. На основе данного исследования было реализовано решение, объединяющее в себе предобработку и

распознавание текста, и реализующее поиск и распознавание значимой информации на маркировке автоматических выключателей. Данная информация впоследствии может быть классифицирована и использована для дальнейшей автоматизации производства, в зависимости от конкретных требований производства и специфики того, какая именно информация наносится на изделие.

Решение, разработанное в ходе данной работы, является универсальным и не учитывает специфику конкретных моделей автоматических выключателей, но является легко расширяемым под конкретные модели, за счет чего может быть достигнуто более высокое качество распознавания, за счет оптимизации некоторых этапов обработки изображения.

Материалы и методы

В ходе данной работы не рассматриваются способы получения изображения, предполагается, что на вход алгоритма подается оцифрованное изображение автоматического выключателя. Исходное изображение I представляется в виде 3 матриц R , G , B , для соответственно цветов RGB изображения: красного, зеленого и синего. Данные матрицы имеют размерности x и y , соответствующие ширине и высоте изображения [8, 9]. Значения матриц находятся в диапазоне от 0 до 255, что представляет стандартное 8-битное изображение.

$$I_G(x, y) = \begin{bmatrix} I_{G(0, 0)} & L & I_{G(x, 0)} \\ M & O & M \\ I_{G(0, y-1)} & L & I_{G(x-1, y-1)} \end{bmatrix}$$

Первым этапом обработки является преобразование в оттенки серого.

$$G(x, y) = 0,299 \times I_R(x, y) + 0,587 \times I_G(x, y) + 0,114 \times I_B(x, y).$$

Следующим этапом является размытие по Гауссу. В ходе работы данный фильтр создает свертку, используя σ – стандартное отклонение Гаусса [10,11].

$$G(x, y) = \sum_{l=-n}^n \sum_{k=-m}^m G(x-l)(y-k) \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{l^2+k^2}{2\sigma^2}},$$

где n и m – это разрешение изображения по высоте и по ширине (кол-во пикселей), а x и y – это положение обрабатываемого пикселя по высоте и ширине.

После этого происходит бинаризация по методу Отсу [12,13]. В результате бинаризации вычисляются новые значения яркостей точек. Для бинаризации используется порог t .

$$B[i, j] = \begin{cases} 0, & \text{если } G[i, j] < t; \\ 1, & \text{если } G[i, j] \geq t, \end{cases}$$

где

$$t = \arg(\min_{1 \leq k \leq L} \left(\sum_{i=0}^k i - \left(\frac{1}{\sum_{i=0}^k p_i} \right) \cdot \sum_{i=0}^k i \cdot p_i \right) \cdot p_i + \sum_{i=k+1}^{L-1} \left(i - \left(\frac{1}{1 - \sum_{i=0}^k p_i} \right) \cdot \sum_{i=k+1}^{L-1} i \cdot p_i \right) \cdot p_i),$$

$\{p_i\}_{i=0}^L$ – гистограмма исходного изображения; $[0, L]$ – диапазон яркостей.

Метод Отсу самостоятельно выбирает порог бинаризации, основываясь на гистограмме изображения (в данном случае используется 8-битное изображение в оттенках серого). Гистограмма строится путем прохода по всем пикселям и сохранения частоты пикселей, имеющих одинаковую интенсивность (в данном случае интенсивность пикселей лежит в диапазоне от 0 до $L = 255$) [14].

$$p_i = \frac{n_i}{N},$$

где n_i – количество пикселей с интенсивностью i ; N – общее количество пикселей на изображении.

После получения гистограммы метод Отсу разделяет изображение на 2 класса и находит идеальной порог t , который позволяет наиболее четко разделить значимую и незначимую информацию.

Далее необходимо выполнить фильтрацию с целью улучшения качества изображения, решив задачу выбора из множества известных методов обработки [15-17]. Процесс предобработки в данном случае направлен на удаление шумов, отбрасывание излишней незначимой информации, такой как цвет, и подготовку изображения для распознавания путем бинаризации.

Первым этапом после бинаризации изображения является проведение поиска линий. Метод обнаружения линий используется в системе оптического распознавания символов, когда есть вероятность, что текст, расположенный на изображении, находится под углом, или

строки имеют сложную структуру. Данный метод призван устранить поворот изображения или разбить сложную структуру на составляющие для улучшения качества работы дальнейших систем распознавания [18,19]. Основной целью данного этапа является подготовка к дальнейшему применению одного из методов выделения и распознавания текста [20-23].

В предлагаемом решении в первую очередь метод применяет фильтр высот, это позволяет избежать помех при распознавании текста, где есть большие заглавные буквы, располагающиеся на нескольких строках [24].

В основе работы положен метод границы высот, которая рассчитывается исходя из размера текста в регионах. Впоследствии контуры, находящиеся за границами, будут с высокой вероятностью считаться или шумами, или знаками пунктуации, или незначащей информацией.

Границы измеряются в пикселях и определяются по следующим формулам. H_{min} – минимальная высота контура, рассчитывается из минимальной высоты печатного символа в 6 пикселей и границы распознавания текста человеком, рассчитанной как не более 0,6 мм, исходя из количества пикселей на дюйм DPI. H_{max} – максимальная высота контура, рассчитывается исходя из условия, что на изображении высотой $imgH$, контуры размером более 20%, и контуры, превосходящие среднюю высоту контуров $AvrH$ более чем в 2,5 раза

не могут содержать значимой информации (зачастую это логотипы и дополнительные изображения, нанесенные на маркировку).

$$MinH = \max\left(6, \frac{0,6DPI}{25.4}\right).$$

$$MaxH = \min\left(\frac{imgH}{5}, 2,5AvrH\right).$$

Контуры, отфильтрованные с помощью этих границ, представляют собой параллельные линии, не имеющие перекрытий. Далее происходит обработка данных контуров по горизонтали.

Каждый контур при обработке по горизонтали присваивается к индивидуальной строке, при этом отслеживается наклон строки по вертикали, что позволяет работать с наклоном страницы и делает возможным корректную работу со строками, имеющими перенос. Впоследствии контуры используются для выбора базовых линий. Работа данного метода заключается в отсеивании контуров, содержащих недостаточное количество значащей информации по порогу $MinD$, где $AvrD$ – среднее количество значащей информации, измеряемой как кол-во пикселей в контуре. Контуры, содержащие менее 10% $AvrD$, в данной строке отбрасываются.

$$MinD = 0,1AvrD.$$

Наклон строки $LineA$ определяется как угол наклона по следующей формуле, где x , y – координаты нижнего среднего пикселя контура, а n – кол-во контуров в строке.

$$LineA = \arctan \left(\frac{\sum_{i=0}^n xy - \left(\sum_{i=0}^n x \sum_{i=0}^n y \right)}{\sum_{i=0}^n x^2 - \left(\sum_{i=0}^n x \right)^2} \right).$$

Последним этапом работы данного алгоритма является соединение контуров, перекрывающих друг друга. Это нужно, чтобы символы, разбитые в ходе оцифровки или предварительной обработки, смогли быть корректно распознаны [25].

После обработки, описанной выше, для поиска базовых линий используются контуры, созданные алгоритмом поиска линий, проводится их анализ с помощью квадратичного сплайна. Данные действия необходимы для того, чтобы впоследствии распознающие символы алгоритмы смогли правильно обработать строки, имеющие наклон, что крайне вероятно при получении изображений методом фотографии (рис. 1).



Рис. 1. Наглядный результат работы алгоритма поиска базовых линий

Fig. 1. Visual result of the baseline search algorithm

Для поиска слов в первую очередь происходит разбиение по пробелам, но поиск пробелов в тексте может быть затруднен за счет нефиксированного шага (что часто встречается на маркировке), кроме того, возникают сложности при работе с некоторыми видами начертаний. Для решения подобных проблем измеряются пробелы в некотором вертикальном расстоянии, которое находится между базовой линией и центральной линией строки. Пробелы, которые не могут быть однозначно распознаны и находятся слишком близко к порогу разделения, становятся нечеткими, итоговое принятие решение откладывается до этапа распознавания слов.

При оптическом распознавании символов, разбиение слова на символы является стандартной операцией, которая позволяет упростить последующее распознавание символа. При обнаружении слова в первую очередь анализируется наличие фиксированного шага между символами, который позволит разделить их однозначным способом. После определения фиксированного шага между символами выполняется повторный проход по слову, разделяя его в соответствии с этим шагом. Пример работы данного алгоритма можно пронаблюдать на рис. 2.



Рис.2. Пример работы алгоритма разбиения слова на символы с использованием фиксированного шага

Fig. 2. Example of the operation of the algorithm for splitting a word into characters using a fixed step

В основе любого метода обработки символьной информации на изображении лежит задача определения границ символа. Определение символа может быть выполнено сразу после нахождения слов с фиксированным шагом. Для слов, фиксированный шаг которых найти не удалось, применяются остальные, представленные ниже алгоритмы, позволяющие определить и классифицировать символы, которые не смогли быть полноценно распознаны на этапе разбиения слова по фиксированному шагу.

Первым этапом улучшения изображения после того, как не удалось справиться с задачей распознавания по фиксированному шагу, является задача разделения соединенных символов. На основе данных, полученных от классификатора символов, происходит удаление контуров и элементов символа, которые не подходят символу.

Для разделения символов необходимо найти координаты точек разбиения. Эти точки могут располагаться как на вогнутых вершинах контуров, так и на контурах линий. При разделении символов по данному методу используются три пары подобных точек [26]. Пример поиска точек, по которым будет происходить сегментация, представлен на рис. 3.

Далее, после поиска точек, происходит разделение. Результат разделения, который классификатор символа не определяет как улучшающий результат распознавания, сохраняется в памяти и используется только после попыток

альтернативного разделения, в случае если классификатор определяет, что это сможет улучшить результат. Таким образом, за счет классификатора возникает несколько альтернативных веток разделения символов, которые помогают определить оптимальный способ улучшения изображения, максимально повышающий качество распознавания.

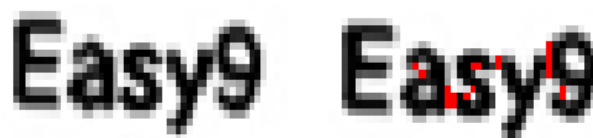


Рис. 3. Пример поиска точек, по которым будет происходить сегментация

Fig. 3. Example of searching for points by which segmentation will occur

Следующим этапом обработки, после того, как все символы разделены, но все ещё не могут быть распознаны, является применение метода распознавания поврежденных символов. Этот метод работает через ассоциатор, который выполняет «А*» поиск символов, имеющих повреждения или разделенные границы.

После прохода данного алгоритма для каждого символа строится маршрут для каждого эталонного символа классификатора, таким образом находится наиболее похожий на переданный данному алгоритму символ. Таким образом классификации подвергаются как нераспознанные символы, так и их фрагменты, и наборы фрагментов.

Данный подход имеет недостатки, например, из-за объединения фрагментов

символов в наборы, могут быть потеряны значимые разделения символов, что скажется на последующей обработке.

В основе поиска символов используется модуль, который определяет принадлежность получаемого на обработку символа к одному из эталонных путем поиска эталонных признаков. Данные признаки не зависят от шрифта и размера

текста. Поэтому подходят для распознавания текста со сложной структурой.

На рис. 4 представлено изображение с идеальным символом (с которого извлекаются значимые признаки) и поврежденным символом, а также представлено наглядное изображение общих признаков у эталона и у поврежденного символа [27].

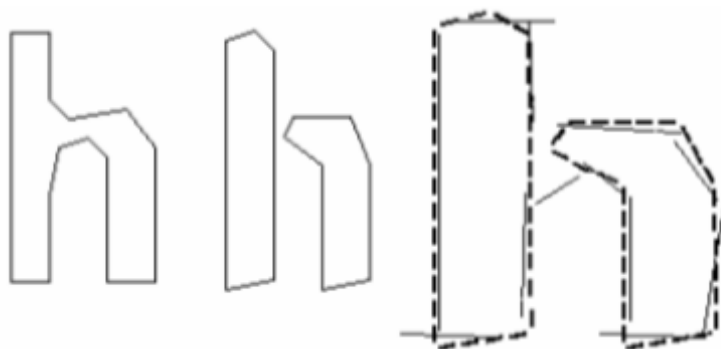


Рис. 4. Эталонный символ, поврежденный символ, их общие признаки

Fig. 4. Reference symbol, damaged symbol, their common features

Как видно из рис. 4, даже при наличии повреждения символа выбранные меньшие по размеру ключевые признаки позволяют, при их сравнении с большими эталонными признаками, выявить совпадение символа. Для того чтобы выявить эталонные признаки производится процедура обучения системы, направленная на то, чтобы выявить наибольшее возможное значение ключевых признаков для каждого конкретного символа. Создание подобной выборки во многом зависит от особенностей распознаваемых изображений (несмотря на то, что алгоритм не зависит от шрифта, при обучении на конкретном шрифте он показывает более высокие результаты распознавания).

Достаточной формой обучения считается, когда для каждого символа существует 50-100 эталонных признаков и по 10-20 вариаций деформации каждого признака, не влияющих на результат распознавания.

Недостатком метода является требовательность к ресурсам машины, выполняющей вычисления, так как для сравнения и выявления признаков для каждого символа при большом объеме текста требуется много времени. Но данный недостаток не значителен в системах автоматического распознавания символов маркировки, поскольку на каждой маркировке содержится крайне мало текста для таких систем, а преимущества в качестве распознавания имеют решающее значение.

Процесс обработки данных наглядно представлен на рис. 5.

Дальнейшим этапом распознавания является лингвистический анализ. Под лингвистическим анализом в системах оптического распознавания символьной информации понимается процесс, в хо-

де которого происходит анализ текстового содержимого страницы. Для этого подобные системы используют различные методы. Самым простым методом из данной категории является метод сравнения со словарем.

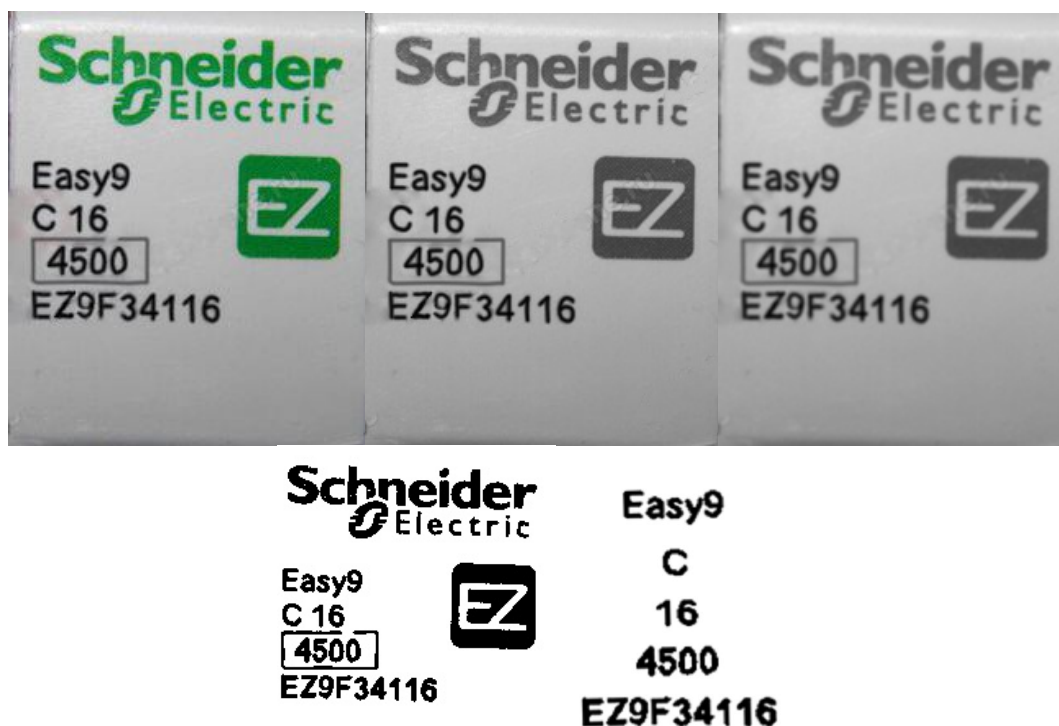


Рис. 5. Наглядное представление процесса предобработки и выделения значимой информации

Fig. 5. Visual representation of the preprocessing process and the selection of meaningful information

На маркировке автоматических выключателей основной информацией, распознавание которой происходит в реализованной в ходе данной работы, являются:

- линейная серия автоматов;
- время-токовая характеристика;
- номинальный ток;
- предельный ток отключения;
- код продукта (индивидуальный для производителя).

Данный список характеристик может меняться в зависимости от произ-

водителя изделия, за счет чего алгоритмы лингвистического анализа должны видоизменяться и проходить доработку.

В случае с нетривиальной маркировкой, которую невозможно полноценно разбить на этапе лингвистического анализа, могут применяться алгоритмы поиска и сегментации изображений ещё до этапа распознавания.

Результаты и их обсуждение

В ходе создания программного продукта качество его реализации оценива-

лось на выборке изображений маркировки автоматических выключателей различных производителей. В выборку входили изображения как с отличающейся маркировкой, так и с одинаковой, но подобные изображения имели разный угол поворота, наклон и степень зашумленности. Качество распознавания оценивалось по нескольким критериям.

Количество верно распознанных значимых символов определяется как процент верно распознанных символов, отвечающих за основную информацию, которую несет в себе маркировка.

Количество верно разбитых частей маркировки это процент верно разбитых на слова частей маркировки, этот параметр имеет значения, когда серия, ток или код продукта, являющийся одним целым, был разбит на несколько частей. Чем выше данный показатель, тем меньше ошибок при разбиении было в ходе работы алгоритма.

Количество распознанных символов, не являющихся значимыми для маркировки, определяется процентом символов, не являющихся значимыми относительно значимых символов. Данный параметр при его высоком значении усложняет алгоритм лингвистического анализа, так как в случае наличия большого количества незначимых символов они могут быть восприняты как значимая часть маркировки, но не является критическим.

Количество незначащих слов это параметр, обозначающий процент незначащих для маркировки слов относительно значащих слов. Данный параметр при его высоком значении так же усложняет алгоритм лингвистического анализа, но зачастую не влияет на итоговое качество.

Итоговые данные по выборке представлены в табл.1.

Таблица 1. Статистические данные по выборке

Table 1. Sample statistics

Параметр оценки / Evaluation parameter	Среднее значение / Average value	Диапазон отклонений / Deviation range
Количество верно распознанных значимых символов	92.03 %	70.5 – 100%
Количество верно разбитых частей маркировки	93.06 %	66.66 – 100%
Количество распознанных символов, не являющихся значимыми для маркировки	22.44 %	0 – 50 %
Количество незначащих слов	24.49 %	0 – 50%

Большой разброс отклонений при высоком среднем значении обусловлен наличием в выборке сильно зашумленных и искаженных изображений. Такие изображения показывают, что данный алгоритм хоть и не является требовательным к аппаратной части, но не решает полностью проблем недостаточно-

го освещения или установки аппаратуры, получающей изображения под углом. Данные проблемы являются частными случаями обработки изображений и не рассматриваются в данном решении.

Так же решение сравнивали с аналогами [1, 2], по показателю точности mAP. Данные представлены в табл.2.

Таблица 2.Сравнение с аналогами

Table 2. Comparison with analogues

Аналог 1 / Analog 1	Аналог 2 / Analog 2	Разработанное решение / Developed solution
0,86	0,92	0,97

Выводы

В ходе работы был произведен анализ решений в области распознавания символьной информации, произведен подбор методов и реализована система оптического распознавания символьной информации на маркировке автоматических выключателей. Большая часть внимания уделена именно алгоритмам предобработки и распознавания текста, за счет чего данное решение является универсальным и при необходимости может быть доработано с учетом конкретной специфики изделий, маркировка с которых распознается.

На основании данных выборки можно говорить о том, что решение, разработанное в ходе данной работы, позволяет распознавать большую часть значимой информации. Благодаря высокому уровню распознавания значимой информации данное решение может использоваться в сфере распознавания символьной информации на маркировке автоматических выключателей. Так же это решение может быть улучшено и универсализировано путем развития алгоритмов лингвистического анализа, для увеличения количества моделей автоматических выключателей, для которых данное решение пригодно.

Список литературы

1. An efficient industrial system for vehicle tyre (tire) detection and text recognition using deep learning / W. Kazmi, I. Nabney, G. Vogiatzis, P. Rose, A. Codd // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2020.

2. Implementation of an intelligent decision support system to accompany the manufacturing process / В.А. Головкин, А.А. Крошечко, М.В. Ковалев, В.В. Таберко, Д.С. Иванюк // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. 2020. С. 175-182.
3. Панищев В.С., Хомяков О.О. Распознавание символьной информации на маркировке автоматических выключателей // Труды международной научно-технической конференции «Информационные технологии и математическое моделирование систем». М., 2019. С. 106-109.
4. Марков В.В. Решение задачи распознавания символов на изображениях товарных ценников // Евразийский союз ученых. 2020. С. 63-65.
5. Hayashi N., Koyanaka S., Oki T. Constructing an automatic object-recognition algorithm using labeling information for efficient recycling of WEEE // Waste Management, 2019. С. 337-346.
6. Копылов И.В., Казаков А.В., Малыгин Л.Л. Идентификация маркировок рулонов металлопроката // Вестник Череповецкого государственного университета. 2016. С. 12-15.
7. Metal stamping character recognition algorithm based on multi-directional illumination image fusion enhancement technology / Z. Xiang, Z. You, M. Qian, J. Zhang, X. Hu // EURASIP Journal on Image and Video Processing. 2018. С 1-11.
8. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. М.: БИНОМ, 2013. 752 с.
9. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2012. 1104 с.
10. Обработка цифровых аэрокосмических изображений для геоинформационных систем / С.Г. Емельянов, С.Ю. Мирошниченко, В.С. Панищев, В.С. Титов, М.И. Труфанов. Старый Оскол: ТНТ, 2011. 175 с.
11. Mark S. Nixon and Alberto S. Aguado. Feature Extraction and Image Processing. Academic Press. 2008. 350 p.
12. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms // IEEE Trans. Sys., Man., Cyber journal. 1979. Vol. 9. P. 62–66.
13. Ping-Sung Liao, Tse-Sheng Chen, Pau-Choo Chung. A Fast Algorithm for Multi-level Thresholding // J. Inf. Sci. Eng. 2001. T. 17. С. 713–727.
14. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: 2-х кн./ пер. с англ. под ред. Д.С. Лебедева. М.: Мир, 1982. 2 кн., 790 с.
15. Panishchev V.S., Titov V.S. Application of neural networks for the contour extraction in images // Pattern Recognition and Image Analysis (Advances in Mathematical Theory and Applications). 2005. Т. 15. № 2. P. 277-278.
16. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2007. 752 с.
17. Яне Б. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2007. 584 с.
18. Сойфер В.А. Методы компьютерной обработки изображений / под ред. В.А. Сойфера. 2-е изд., испр. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 784 с.

19. Введение в контурный анализ и его приложение к обработке изображений и сигналов / под ред. Я.А. Фурмана. М.: Физматлит, 2002. 592 с.
20. Zhong Y., Karu K., Jain A. K. Locating text in complex color images // *Pattern Recognition*. 1995. Vol. 28, is. 10, P. 1523-1535.
21. Kimmel R., Klette R., Sugimoto A. (Eds.): ACCV 2010, Part III, LNCS 6494. P. 770–783, 2011.
22. Chen X., Yuille A. Detecting and Reading Text in Natural Scenes, *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2004. pp. 366-373
23. Lienhart R., Wernicke A. Localizing and Segmenting Text in Images and Videos", *IEEE transactions on circuits and systems for video technology*. April 2002. Vol. 12. № 4. P. 256-268,.
24. Исследование методов сегментации изображений текстовых блоков документов с помощью алгоритмов структурного анализа и машинного обучения / Т.С. Чернов, Д.А. Ильин, П.В. Безматерных, И.А. Фараджев, С.М. Карпенко // *Вестник российского фонда фундаментальных исследований*. 2013. С. 55-71.
25. Debled-Rennesson I., Tabbone S., Wendling L. Fast polygonal approximation of digital curves // *Proceedings of the 17th International Conference*. 2004.
26. Marosi I., Industrial OCR approaches: architecture, algorithms and adaptation techniques // *Document Recognition and Retrieval XIV*. SPIE, 2007.
27. Smith R.W. An Overview of the Tesseract OCR Engine *IEEE*, 2007. 640 с.

References

1. Kazmi W., Nabney I., Vogiatzis G., Rose P., Codd A. An efficient industrial system for vehicle tyre (tire) detection and text recognition using deep learning. *IEEE (Transactions on Intelligent Transportation Systems)*, 2020.
2. Golovko V. A. Kroshchanka A. A. Kovalev M. V. Taberko V. V. Ivaniuk D. S. Implementation of an intelligent decision support system to accompany the manufacturing process. *Otkrytye semanticheskie tekhnologii proektirovaniya intellektual'nyh sistem*, 2020, pp. 175-182.
3. Panishchev V.S., Khomyakov O.O. [Recognition of symbolic information on the marking of circuit breakers]. *Trudy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Informatsionnye tekhnologii i matematicheskoe modelirovanie sistem"* [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Information Technologies and Mathematical Modeling of Systems"]. Moscow, 2019, pp. 106-109 (In Russ.).
4. Markov V. V. Reshenie zadachi raspoznavaniya simvolov na izobrazheniyakh tovarnykh tsennikov [Solving the problem of character recognition in images of product price tags]. *Evrazijskij soyuz uchenykh = Eurasian Union of Scientists*, 2020, pp. 63-65 (In Russ.).
5. Hayashi N., Koyanaka S., Oki T. Constructing an automatic object-recognition algorithm using labeling information for efficient recycling of WEEE. *Waste Management*, 2019, pp. 337-346.

6. Kopylov I. V., Kazakov A. V., Malygin L. L. Identifikatsiya markirovok rulonov metalloprokata [Identification of rolled metal roll markings]. *Vestnik cherepoveckogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Cherepovets State University*, 2016, pp. 12-15 (In Russ.).
7. Xiang Z., You Z., Qian M., Zhang J., Hu X. Metal stamping character recognition algorithm based on multi-directional illumination image fusion enhancement technology. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2018, pp. 1-11.
8. Shapiro L., Stokman Dzh. *Komp'yuternoe zrenie* [Computer vision]. Moscow, BINOM Publ., 2013. 752 p. (In Russ.).
9. Gonsales R., Vuds R. *Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii* [Digital image processing]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2012. 1104 p. (In Russ.).
10. Yemel'yanov S.G., Miroshnichenko S.YU., Panishchev V.S., Titov V.S., Trufanov M.I. *Obrabotka tsifrovyykh aerokosmicheskikh izobrazhenii dlya geoinformatsionnykh sistem* [Processing of digital aerospace images for geographic information systems]. Staryy Oskol, TNT Publ., 2011. 175 p. (In Russ.).
11. Mark S. Nixon, Alberto S. Aguado. Feature Extraction and Image Processing. Academic Press Publ., 2008. 350 p.
12. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Trans. Sys., Man., Cyber journal*, 1979, vol. 9, pp. 62–66.
13. Ping-Sung Liao and Tse-Sheng Chen and Pau-Choo Chung. A Fast Algorithm for Multilevel Thresholding. *J. Inf. Sci. Eng.*, 2001, vol. 17, pp. 713–727.
14. Prett W. *Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii* [Digital image processing]. Moscow, Mir Publ., 1982, vol. 2, 790 p. (In Russ.).
15. Panishchev V.S., Titov V.S. Application of neural networks for the contour extraction in images. *Pattern Recognition and Image Analysis (Advances in Mathematical Theory and Applications)*, 2005, vol. 15, no. 2, pp. 277-278.
16. Sergiyenko A.B. *Tsifrovaya obrabotka signalov* [Digital signal processing]. Saint-Petersburg, Piter Publ., 2007. 752 p. (In Russ.).
17. Yane B. *Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii* [Digital image processing]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2007. 584 p. (In Russ.).
18. Soyfer V.A. *Metody komp'yuternoy obrabotki izobrazheniy* [Methods of Computer Image Processing]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2003. 784 p. (In Russ.).
19. *Vvedeniye v konturnyy analiz i yego prilozheniye k obrabotke izobrazheniy i signalov* [Introduction to contour analysis and its application to image and signal processing]; ed. by YA.A. Furman. Moscow, Fizmatlit Publ., 2002. 592 p. (In Russ.).
20. Zhong Y., Karu K., Jain A. K. Locating text in complex color images. *Pattern Recognition*, 1995, vol. 28, is. 10, pp. 1523-1535.
21. Kimmel R., Klette R., Sugimoto A. (Eds.): ACCV 2010, Part III, LNCS 6494, pp. 770–783.
22. Chen X., Yuille A. Detecting and Reading Text in Natural Scenes, Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2004, pp. 366-373.

23. Lienhart R., Wernicke A. Localizing and Segmenting Text in Images and Videos". *IEEE transactions on circuits and systems for video technology*, APRIL 2002, vol. 12, no. 4, pp. 256-268.

24. Chernov T.S., Il'in D.A., Bezmaternykh P.V, Faradzhev I.A, Karpenko S.M. Issledovanie metodov segmentatsii izobrazhenii tekstovykh blokov dokumentov s pomoshch'yu algoritmov strukturnogo analiza i mashinnogo obucheniya. [Research of segmentation methods for images of text blocks of documents using structural analysis and machine learning algorithms]. *Vestnik rossiiskogo fonda fundamental'nykh issledovanii*. Moscow, 2013, pp. 55-71 (In Russ.).

25. Debled-Rennesson I., Tabbone S., Wendling L. Fast polygonal approximation of digital curves. *Proceedings of the 17th International Conference*, 2004.

26. Marosi I., Industrial OCR approaches: architecture, algorithms and adaptation techniques. *Document Recognition and Retrieval XIV*. SPIE, 2007.

27. Smith R.W. An Overview of the Tesseract OCR Engine IEEE, 2007, 640 p.

Информация об авторах / Information about the Authors

Панищев Владимир Славиевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Центр информационных технологий в проектировании РАН, г. Одинцово, Московская область, Российская Федерация, e-mail: gskunk@yandex.ru

Vladimir S. Panishchev, Cand. of Sci. (Engineering), Senior Researcher, Center for Information Technology in Design of the Russian Academy of Sciences, Odintsovo, Moscow region, Russian Federation, e-mail: gskunk@yandex.ru

Труфанов Максим Игоревич, кандидат технических наук, зав. лабораторией, ФГБУН Центр информационных технологий в проектировании РАН, г. Одинцово, Московская область, Российская Федерация, e-mail: info@ditc.ras.ru

Maxim I. Trufanov, Cand. of Sci. (Engineering), head laboratory of Center for Information Technology in Design of the Russian Academy of Sciences, Odintsovo, Moscow region, Russian Federation, e-mail: info@ditc.ras.ru

Добросердов Олег Гурьевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, советник при ректорате, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: serfing@yandex.ru

Oleg G. Dobroserdov, Dr. of Sci. (Engineering), Senior Research Associate, Adviser to the Rector, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: serfing@yandex.ru

Хомяков Олег Олегович, магистрант, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: homyakov46rus@yandex.ru

Oleg O. Khomyakov, Master Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: homyakov46rus@yandex.ru