

В.С. Панищев, О.О. Хомяков, Д.В. Титов, С.И. Егоров**МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ
НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ**

Целью исследования является исследование проблем, возникающих в процессе цифровой обработки изображений, в системах получения текстовых характеристик объектов продукции. Таких как выделение объектов, попадающих в кадры видеопотока и распознавание текстовой маркировки, без использования специализированного аппаратного обеспечения. В частности, проблемы, возникающие при работе с изображениями, содержащими различный уровень шумов и искажений. В задачи исследования входит сравнение и анализ методов и алгоритмов, используемых для цифровой обработки изображений, с целью поиска объектов в видеопотоке, выделения и сегментации участков, содержащих текст, распознавания текста и классификации полученных данных. Построение математической модели обработки изображений, с целью получения текстовой информации о продукции в кадрах видеопотока, с возможностью работы с различными объектами. Оценить точность распознавания при различном уровне шума и провести сравнительный анализ с альтернативными решениями на основе полученных данных. В результате работы проведен анализ методов, используемых для работы с кадрами видеопотока с целью выделения определенных объектов. Проведен анализ методов, используемых для цифровой обработки изображений, в частности для выделения текстовой информации. Разработан алгоритм классификации частей текстовой информации на основе эталонных признаков. Представлена математическая модель обработки изображений для выделения искомого объекта в кадре, получения текстовой информации и классификации характеристик продукции. Проведено тестирование данных методов и алгоритмов в различных условиях. Проведено сравнение реализации классификатора символов с альтернативным вариантом. Наглядно представлены примеры и результаты работы разработанной системы.

OCR; обработка видеопотока; выделение текстовой информации; классификация; распознавание образов; маркировка.

V.S. Panishchev, O.O. Khomyakov, D.V. Titov, S.I. Egorov**METHOD FOR RECOGNIZING TEXT DATA IN IMAGES**

The purpose of the study is to study the problems arising in the process of digital image processing in systems for obtaining textual characteristics of product objects. Such as the selection of objects that fall into the frames of the video stream and the recognition of text markings, without the use of specialized hardware. In particular, the problems that arise when working with images containing different levels of noise and distortion. The objectives of the study include a comparative and analytical examination of diverse methods and algorithms utilized in the realm of digital image processing. The primary objectives include identifying, segmenting, and classifying text-containing portions within the video stream. The study aims to construct a mathematical model for text extraction from video frames that is adaptable to a wide array of objects. Evaluate recognition accuracy under varying levels of noise and perform a comparative analysis against alternative solutions based on the acquired data. The presented system analyzes the frames of the video stream and classifies the characteristics of the products in the frame. The solution demonstrates the behaviour and capabilities of digital image processing methods in various conditions in relation to the tasks of text classification and object search in a video stream. During the development of this system, a comparison of various options for recognizing symbolic information was carried out.

OCR; video stream processing; text information extraction; classification; image recognition; labeling.

Введение. В данный момент системы, опирающиеся в процессе своей работы на характеристики продукции, активно используются в различных областях. Основными применениями является автоматизация процессов производств и складских помещений. Системы, решающие задачи используют в своей основе информацию, наносимую производителем или потребителем при приобретении продукции, необходимую исключительно для автоматизации технических процессов.

Постановка задачи. В ходе данной работы был разработан прототип системы позволяющей исключить данные недостатки за счет работы с символьной информацией, понятной человеку, наносимой на этикетки продукции производителем. На данный момент существуют решения, использующие только символьную информацию понятную человеку. Данные решения используют в своей работе специализированные технические устройства, позволяющие увеличить точность распознавания. В текущий момент актуальной задачей является уход от специализированных технических устройств, и в данной сфере ведутся активные разработки. [1–4, 6, 7] В данной работе рассматривается пример системы, для работы которой не требуются подобные устройства.

Метод решения задачи. Система выполняет такие задачи как: получение изображения продукции из видеопотока, обработку изображения, распознавание текста, классификацию характеристик продукции. Результатом работы системы является текстовая информация о характеристиках, которая может быть использована в других информационных системах для решения прикладных технических задач.

В ходе данной работы рассматривается использование решения на примере обработки изображений элементов резервного питания, используемых в авионике. Однако данное решение универсально и может быть использовано применительно к другим изделиям, в частности проводилось тестирование с определением характеристик автоматических выключателей.

На вход системы подаются кадры видеопотока с подключенной к устройству камеры, результатом работы является классифицированная текстовая информация описывающая набор характеристик продукции. Алгоритм работы в общем виде состоит из обнаружения объекта в кадре, предобработки изображения, распознавания символьной информации и классификации полученной информации для получения характеристик. Результат работы алгоритма может быть представлен в виде функции R:

$$R = C_c(C_t(P(S(I))), P_a(S(I))), \quad (1)$$

где I – кадр видеопотока, S – функция поиска объекта в кадре видеопотока, P – функция предобработки изображения, P_a – функция получения дополнительной информации необходимой для классификации характеристик, C_t – функция распознавания символьной информации на изображении, C_c – функция классификации характеристик.

Кадр видеопотока I , получаемый с камеры, представляет из себя матрицу размерности x и y .

$$I(x, y) = \begin{bmatrix} i_{(0,0)} & \cdots & i_{(x,0)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ i_{(y,0)} & \cdots & i_{(x,y)} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где i – кортеж, содержащий интенсивность цвета точки изображения в RGB представлении (красный, зеленый, синий цвета соответственно), в ходе данной работы диапазон интенсивности находится в пределах между 0 и 255 (стандартное 8-битное изображение).

Этап обнаружения объекта служит для отсеивания кадров видеопотока, содержащих объект продукции. В общем виде данный алгоритм можно представить как функцию

$$S(I) = V(T(I)), \quad (3)$$

где T – функция сравнения с шаблоном, V – валидация формы объекта.

Сравнение с шаблоном позволяет с высокой точностью определить присутствие в кадре объекта продукции. Метод основан на сравнении дескрипторов искомого изображения (шаблона) и дескрипторов кадра видеопотока. Для осуществления сравнения строится набор дескрипторов этих изображений после чего находится расстояние между этими наборами и в случае, если расстояние не превышает определенный порог, принимается решение о том, что в кадре находится искомым объект [8, 9].

Процесс получения дескрипторов начинается с поиска особых точек изображения. Данные точки вычисляются для исходного изображения и набора уменьшенных изображений. Для данных точек вычисляется мера Харриса, после чего точки чья мера принимает слишком маленькое значение отсеиваются. Далее вычисляется центроид ориентации (угол ориентации особой точки), через вычисление момента яркости в окрестностях каждой особой точке.

Дескрипторы вычисляются как бинарный вектор особенностей точки, характеризующийся Гауссовским распределением случайных точек вокруг ней. Использование данного подхода для поиска дескрипторов позволяет стабильно обнаруживать шаблонное изображение даже при условии трансформаций перспективы, изменяющегося освещения и повороту изображения.

Изображение, на котором был найден объект изображения впоследствии проходит проверку на соответствие формы. Данный этап позволяет исключить изображения на которых продукция не полностью попадает в кадр и изображения, на которых содержатся критические перекрытия объекта другими элементами, не позволяющие провести полноценную классификацию текста [10, 11]

Для выполнения проверки на форму в первую очередь происходит поиск значащей информации. Изображение проходит фильтрацию по нижнему и верхнему порогу, а для частных случаев применяется фильтрация в разных каналах изображения. Далее на полученном бинаризованном изображении компенсируются незначительные перекрытия объекта для распознавания, для этого используются методы эрозии и дилатации.

Далее выполняется поиск контуров объекта на изображении и его аппроксимация (алгоритм Рамера-Дугласа-Пекера). После чего полученный контур объекта проверяется на соответствие форме. В случае если изображение удовлетворяет проверке, оно поступает на дальнейшие этапы распознавания. Кроме того, передается дополнительная информация, полученная на данном этапе, в частности информация о контурах и положении объекта.

Цель этапа предобработки изображения заключается в удалении шумов и артефактов изображения, компенсации вращения изображения и поиска регионов с текстом. В результате работы данного этапа вычисляются блоки изображения, содержащие текст которые в последствии передаются на этап распознавания текста. Кроме того, генерируется информация о взаимном положении элементов текста, и информация о цветовой составляющей изображения которая впоследствии может использоваться для классификации характеристик продукции.

Функция предобработки может быть представлена в следующем виде

$$P(s) = P_i(P_l(P_o(P_r(P_g(s))))). \quad (4)$$

Функция получения дополнительной информации, представленной в виде кортежа с информацией о взаимном положении элементов и цветовых характеристиках участков изображения, описывается следующим образом

$$P_a(s) = P_c(P_r(P_g(s))), P_l(P_o(P_r(P_g(s))))), \quad (5)$$

где s – кортеж, содержащий информацию, полученную на этапе поиска изображения (само изображение и информацию о положении объекта продукции), P_g – функция удаления шумов, P_r – функция исправления наклона изображения, P_o – функция бинаризации изображения методом Оцу, P_l – функция разбиения изображения на строки и символы, P_c – функция получения цветовых характеристик изображения, P_l – функция получения информации о положении элементов текста.

Первым этапом предобработки полученного кадра является фильтрация шумов, для этого используется алгоритм Гаусса. После чего происходит поиск угла поворота объекта с использованием информации, полученной на этапе обнаружение объекта.

В качестве точки вращения выбирается нижняя точка аппроксимированного контура объекта. Далее определяется направление вращения объекта для этого происходит расчет расстояния до соседних точек контура, и выбирается точка с наибольшим расстоянием. Для расчета угла наклона выбирается горизонтальная ось, проходящая через нижнюю точку контура объекта. Относительно этой оси с использованием нижней точки контура и соседней точки с наибольшим расстоянием вычисляется угол наклона изображения. С использованием угла наклона строится матрица аффинного преобразования, с помощью которой выполняется поворот изображения [12].

После выполнения данного алгоритма распознаваемый объект принимает горизонтальное положение в пространстве, данное преобразование необходимо, чтобы увеличить точность классификации символов, так как система классификации символов показывает наилучший результат при распознавании строк текста с незначительным вращением.

Следующими этапами являются анализ цветовой характеристики изображения, для ряда частных случаев это позволяет, как отсеять незначительную информацию, так и повысить точность в дальнейшем на этапе классификации характеристик. Для составления подобной цветовой характеристики составляется матрица соответствия, описывающая частные случаи цветовой характеристики.

После этого происходит бинаризация изображения методом Оцу, позволяющая в общем случае выделить элементы изображения, содержащие текст. Элементы, содержащие текст передаются алгоритму поиска строк, слов и символов. Поиск строк в первую очередь находит базовые линии каждой строки, по которым происходит поиск интервалов разбиения. По базовым линиям находятся расстояния между контурами, описывающими символы текста, далее вычисляются интервалы для разбиения строк на символы и слова. Разбитые на слова элементы изображения далее передаются на этап классификации символов [13].

На этапе распознавания символьной информации выполняется преобразование элементов изображения, содержащих текст в текстовую информацию, которая впоследствии может обрабатываться цифровыми методами.

Классификация символов выполняется с использованием библиотеки Keras. Для обучения была создана выборка, содержащая реальные примеры изображений текста, наносимого на элементы резервного питания. Для увеличения точности работы сети, и увеличения устойчивости к различным искажениям, первоначальные примеры изображений были искусственным образом размножены с изменением. Для создания искусственных искажений использовались: изменение цветовой

характеристики изображения; нанесение дополнительных искажающих элементов; наклон текста; изменение геометрии изображения. В качестве основы для обучения была выбрана сверточная рекуррентная нейронная сеть [14–19].

Этап анализа результатов классификации символьной информации служит для получения характеристик продукта, классифицированных по категории. Характеристики продукта, полученные в результате работы данного этапа, могут быть представлены в любом необходимом виде, зависящем от сферы применения. В общем виде анализ результатов распознавания представляет собой кортеж пар названия характеристики и её значения, функция получения которого представляет собой

$$C_c(t_i, a_i) = H(S_i), \quad (6)$$

для S_i выполняется условие

$$\min(S_i - d_j), d_j \in D(t_i, a_i), S_i \in S, \quad (7)$$

где t_i – результат распознавания блока текста, a_i – дополнительная информация о блоке текста, d_j – признак блока текста, D – функция, формирующая признаки текста, S – набор эталонных признаков характеристик, H – функция, формирующая кортеж результата (название характеристики и её значения).

Классификация может быть выполнена за счет того, что каждая из характеристик обладает специфичными признаками, позволяющими однозначно определить её. Такими признаками являются взаимное сочетание определенных символов, взаимное положение элементов относительно друг друга и абсолютное положение в пространстве, определенный набор возможных вариаций, специфичный цвет нанесения или фона для отдельных характеристик (данный признак является зависимым от производителя, но в тоже время позволяет увеличить точность классификации при работе с изображениями продукции нескольких производителей).

Для каждой характеристики формируется вектор эталонных признаков S , позволяющий выявить принадлежность определенной текстовой составляющей изображения к определенной характеристике. На основании данного вектора производится расчет расстояния от полученных признаков $D(t_i, a_i)$ текстовой информации, до эталонных признаков. Таким образом текстовая информация классифицируется как характеристика, для которой расстояния до эталонных признаков является наименьшим $\min(S_i - d_j)$. В ряде случаев, этот подход приводит к получению одинаковых расстояний и невозможности однозначной классификации характеристики.

Для однозначной классификации характеристик, а также для повышения общей точности классификации вводится матрица эталонных признаков. Матрица эталонных признаков содержит информацию о взаимном влиянии признаков друг на друга и влиянии дополнительной информации [20].

С использованием матрицы эталонных признаков становится возможным использовать дополнительную информацию, такую как взаимное положение элементов относительно друг друга, цветовая составляющая, исходные размеры распознаваемого блока. Таким образом имея набор дополнительной информации об изображении, можно изменять расчет признаков характеристик.

Результаты и их обсуждение. Точность обнаружения объекта продукции на кадре видеопотока с использованием данного алгоритма была протестирована в трех вариациях с использованием видеопотока с различным процентом перекрытий объекта и различным уровнем шума, результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Статистические данные по точности обнаружения объекта

Уровень шума	Площадь перекрытия объекта	Точность обнаружение продукта в кадре
До 5%	До 5%	98%
До 25%	До 15%	81%
До 50%	До 30%	21%

Точность классификации символов составила 97.66%. Данный подход был выбран при финальной реализации системы, так как он превосходит подход, основанный на сравнении с эталоном [21], которая в свою очередь показывает точность в 92.03%. Сравнение представлено в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение точности распознавания символов

Уровень шума	Точность распознавания (Разработанное решение)	Точность распознавания (Решение на основе сравнения с эталоном [21])
До 5%	97.66%	92.03%
До 25%	91.76%	70.5%
До 50%	80%	-

Процессы получения кадра видеопотока, выделения продукции и выделения блоков текста наглядно представлены на рис. 1.

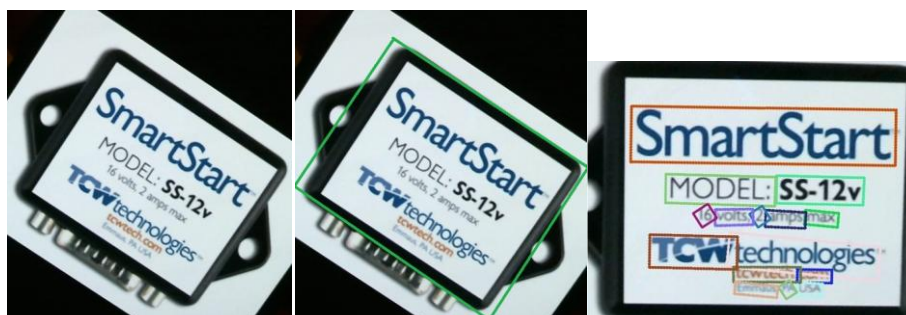


Рис. 1. Пример работы системы, получение кадра из видеопотока, выделение объекта продукции, выделение блоков текста

Выводы. В ходе работы произведен анализ различных алгоритмов и методов по распознаванию символьной информации и обработке кадров видеопотока с целью выделения объекта продукции в кадре. Разработанная система протестирована в различных условиях.

Данное решение обладает универсальностью поскольку возможность использования нескольких шаблонных изображений на этапе поиска объекта в кадре позволяет использовать данную систему для работы с различной продукцией, а система классификации характеристик, основанная на матрице эталонных признаков, показывает наилучший результат при наличии большого количества эталонных признаков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Копылов И.В., Казаков А.В., Малыгин Л.Л. Идентификация маркировок рулонов металлопроката // Вестник череповецкого государственного университета. – 2016. – № 5 (74). – С. 12-15.
2. Hsu C., Yang Y., Chang A., Morsalin S., Shen G., Shiu L. Automatic Recognition of Container Serial Code // 2023 International Conference on Consumer Electronics. – 2023. – P. 257-258.
3. Feng W., He W., Yin F., Zhang X., Liu C. TextDragon: An End-to-End Framework for Arbitrary Shaped Text Spotting // International Conference on Computer Vision (ICCV). – 2019. – P. 9075-9084.
4. Yazdi M., Bouwmans T. New Trends on Moving Object Detection in Video Images Captured by a moving Camera: A Survey // Computer Science Review. – 2018. – No. 28. – P. 157-177.
5. Провоторов А.В., Орлов А.А. Методика поэтапного обнаружения маркировки слябов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – №. 6. – С. 98-98.
6. Пыж С.В., Ганичева О.Г. Мобильная автоматизированная система инвентаризации металлургической продукции и обеспечения безопасности в складских помещениях // Научно-технический прогресс в чёрной металлургии: Сб. статей. Череповец, 2013. – С. 266-271.
7. Xiang Z., You Z., Qian M., Zhang J. Metal stamping character recognition algorithm based on multi-directional image fusion enhancement technology // EURASIP Journal on Image and Video Processing. – 2018. – Vol. 18. – P. 1-11. – DOI: 10.1186/s13640-018-0321-7.
8. Захаров А.А., Жизняков А.Л., Титов В.С. Метод нахождения соответствий на изображениях с использованием структур // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 5. – С. 810-817. – DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-5-810-817.
9. Горемыкин И.В., Бутенко Л.Н. Дескрипторы цветовых регионов в задаче обеспечения цветовой согласованности изображения // Перспективы развития информационных технологий. – 2015. – № 27. – С. 6-17.
10. Силаков Н.В., Тассов К.Л. Обзор алгоритмов обнаружения текстовых областей на кадрах видеопотока // Вестник РГГУ. Серия: Информатика. Информационная безопасность. Математика. – 2020. – №. 2. – С. 27-45. – DOI: 10.28995/2686-679X-2020-2-27-45.
11. Mahajan S., Rani R., Trehan K. DELIGHT-Net: DEep and LIGHTweight network to segment Indian text at word level from wild scenic images // International Journal of Multimedia Information Retrieval. – 2023. – No. 12 (2). – P. 29-37.
12. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
13. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. – М.: БИНОМ, 2013. – 752 с.
14. Хомоненко А.Д., Яковлев Е.Л. Обоснование архитектуры сверточной нейронной сети для автономного распознавания объектов на изображениях бортовой вычислительной системой // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. – 2018. – Т. 10, № 6. – С. 86-93.
15. Busta M., Neumann L., Matas J. Deep TextSpotter: An End-to-End Trainable Scene Text Localization and Recognition Framework // 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). – 2017. – P. 2223-2231.
16. Liu Y., Wang Y., Shi H. A Convolutional Recurrent Neural-Network-Based Machine Learning for Scene Text Recognition Application. Symmetry // Symmetry. – 2023. – No. 15 (4). – 849.
17. Liu X., Liang D., Yan S., Chen D., Qiao Y., Yan J. FOTS: Fast Oriented Text Spotting with a Unified Network // Computer Vision and Pattern Recognition. – 2018. – P. 5676-5685.
18. Chaitra Y., Dinesh R., Gopalakrishna M., Prakash B.A. Deep-CNNLT: Text Localization from Natural Scene Images Using Deep Convolution Neural Network with Transfer Learning // Arabian Journal for Science and Engineering. – 2021. – No. 47 (9). – P. 9629-9640.
19. He T., Tian Z., Huang W., Shen C., Qiao Y., Sun C. An End-to-End TextSpotter with Explicit Alignment and Attention // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2018. – P. 5020-5029.
20. Bulatov K.B. A method to reduce errors of string recognition based on combination of several recognition results with per-character alternatives // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. – 2019. – Т. 12, №. 3. – С. 74-88. – DOI: 10.14529/mmp190307.
21. Панищев В.С., Труфанов М.И., Добросердов О.Г., Хомяков О.О. Распознавание символической информации для автоматизации производственных процессов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2021. – № 1. – С. 122-137.

REFERENCES

1. Kopylov I.V., Kazakov A.V., Malygin L.L. Identifikatsiya markirovok rulonov metalloprokata [Identification of markings of rolled metal rolls], *Vestnik cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Cherepovets State University], 2016, No. 5 (74), pp. 12-15.
2. Hsu C., Yang Y., Chang A., Morsalin S., Shen G., Shiu L. Automatic Recognition of Container Serial Code, *2023 International Conference on Consumer Electronics*, 2023, pp. 257-258.
3. Feng W., He W., Yin F., Zhang X., Liu C. TextDragon: An End-to-End Framework for Arbitrary Shaped Text Spotting, *International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2019, pp. 9075-9084.
4. Yazdi M., Bouwmans T. New Trends on Moving Object Detection in Video Images Captured by a moving Camera: A Survey, *Computer Science Review*, 2018, No. 28, pp. 157-177.
5. Provotorov A.V., Orlov A.A. Metodika po etapnogo obnaruzheniya markirovki slyabov [Methodology for step-by-step detection of slab markings], *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2012, No. 6, pp. 98-98.
6. Pyzh S.V., Ganicheva O.G. Mobil'naya avtomatizirovannaya sistema inventarizatsii metallurgicheskoy produktsii i obespecheniya bezopasnosti v skladskikh pomeshcheniyakh [Mobile automated system for inventory of metallurgical products and security in warehouses], *Nauchno-tekhnicheskii progress v chernoy metallurgii: Sb. statey* [Scientific and technical progress in ferrous metallurgy: Collection of articles]. Cherepovets, 2013, pp. 266-271.
7. Xiang Z., You Z., Qian M., Zhang J. Metal stamping character recognition algorithm based on multi-directional illumination image fusion enhancement technology, *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2018, Vol. 18, pp. 1-11. DOI: 10.1186/s13640-018-0321-7.
8. Zakharov A.A., Zhiznyakov A.L., Titov V.S. Metod nakhozhdeniya sootvetstviy na izobrazheniyakh s ispol'zovaniem struktur [Method for finding correspondences in images using structures], *Komp'yuternaya optika* [Computer Optics], 2019, Vol. 43, No. 5, pp. 810-817. – DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-5-810-817.
9. Goremykin I.V., Butenko L.N. Deskriptory tsvetovykh regionov v zadache obespecheniya tsvetovoy soglasovannosti izobrazheniya [Descriptors of color regions in the problem of ensuring color consistency of an image], *Perspektivy razvitiya informatsionnykh tekhnologiy* [Prospects for the development of information technologies], 2015, No. 27, pp. 6-17.
10. Silakov N.V., Tassov K.L. Obzor algoritmov obnaruzheniya tekstovykh oblastey na kadrakh videopotoka [Review of algorithms for detecting text areas on video stream frames], *Vestnik RGGU. Seriya: Informatika. Informatsionnaya bezopasnost'. Matematika* [Bulletin of the Russian State University for the Humanities. Series: Computer Science. Information Security. Mathematics], 2020, No. 2, pp. 27-45. DOI: 10.28995/2686-679X-2020-2-27-45.
11. Mahajan S., Rani R., Trehan K. DELIGHT-Net: DEep and LIGHTweight network to segment Indian text at word level from wild scenic images, *International Journal of Multimedia Information Retrieval*, 2023, No. 12 (2), pp. 29-37.
12. Gonsales R., Vuds R. TSifrovaya obrabotka izobrazheniy [Digital image processing]. Moscow: Tekhnosfera, 2012, 1104 p.
13. Shapiro L., Stokman Dzh. Komp'yuternoe zrenie [Computer vision]. Moscow: BINOM, 2013, 752 p.
14. Khomonenko A.D., Yakovlev E.L. Obosnovanie arkhitektury svertochnoy neyronnoy seti dlya avtonomnogo raspoznavaniya ob"ektov na izobrazheniyakh bortovoy vychislitel'noy sistemoy [Justification of the architecture of a convolutional neural network for autonomous recognition of objects in images by an on-board computer system], *Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyakh Zemli* [Science-intensive technologies in space research of the Earth], 2018, Vol. 10, No. 6, pp. 86-93.
15. Busta M., Neumann L., Matas J. Deep TextSpotter: An End-to-End Trainable Scene Text Localization and Recognition Framework, *2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2017, pp. 2223-2231.
16. Liu Y., Wang Y., Shi H. A Convolutional Recurrent Neural-Network-Based Machine Learning for Scene Text Recognition Application. Symmetry, *Symmetry*, 2023, No. 15 (4), 849.
17. Liu X., Liang D., Yan S., Chen D., Qiao Y., Yan J. FOTS: Fast Oriented Text Spotting with a Unified Network, *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2018, pp. 5676-5685.

18. Chaitra Y., Dinesh R., Gopalakrishna M., Prakash B.A. Deep-CNNLT: Text Localization from Natural Scene Images Using Deep Convolution Neural Network with Transfer Learning, *Ara-bian Journal for Science and Engineering*, 2021, No. 47 (9), pp. 9629-9640.
19. He T., Tian Z., Huang W., Shen C., Qiao Y., Sun C. An End-to-End TextSpotter with Explicit Alignment and Attention, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2018, pp. 5020-5029.
20. Bulatov K.B. A method to reduce errors of string recognition based on combination of several recognition results with per-character alternatives, *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Matematicheskoe modelirovanie i programmirovaniye* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical modeling and programming], 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 74-88. DOI: 10.14529/mmp190307.
21. Panishchev V.S., Trufanov M.I., Dobroserdov O.G., Khomyakov O.O. Raspoznavanie simvol'noy informatsii dlya avtomatizatsii proizvodstvennykh protsessov [Recognition of symbolic information for automation of production processes], *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta* [News of the South-Western State University], 2021, No. 1, pp. 122-137.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.В. Курейчик.

Панищев Владимир Славиевич – Юго-Западный государственный университет; e-mail: gskunk@yandex.ru; г. Курск, Россия; кафедра вычислительной техники; к.т.н.; доцент; с.н.с.

Хомяков Олег Олегович – e-mail: homyakov46rus@yandex.ru; кафедра вычислительной техники; аспирант.

Титов Дмитрий Витальевич – e-mail: amazing2004@inbox.ru; д.т.н.; доцент; профессор кафедры вычислительной техники.

Егоров Сергей Иванович – e-mail: sie58@mail.ru; д.т.н.; доцент; профессор кафедры вычислительной техники.

Panishchev Vladimir Slavievich – South-West State University; e-mail: gskunk@yandex.ru; Kursk, Russia; the department of computer science; cand. of eng. sc., associate professor; senior researcher.

Khomyakov Oleg Olegovich – e-mail: homyakov46rus@yandex.ru; the department of computer science; postgraduate.

Titov Dmitry Vitalievich – e-mail: amazing2004@inbox.ru; dr. of tech. sc., associate professor of the department of computer science.

Egorov Sergey Ivanovich – e-mail: sie58@mail.ru; dr. of eng. sc., associate professor; professor of the department of computer science.

УДК 004.9

DOI 10.18522/2311-3103-2023-4-65-74

К.С. Задиран

НОВЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ДАННЫХ С НЕОДНОРОДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ РАБОЧИХ ЦИКЛОВ

Достижения в машиностроении позволяют создавать более совершенное и эффективное оборудование, однако при этом повышается его сложность и требования к управлению его жизненным циклом, техническим обслуживанием. К этому прибавляются требования по надежности и доступности, которые также создают дополнительные испытания при управлении жизненным циклом. Существуют различные стратегии планирования технического обслуживания. Среди них наиболее перспективной является предиктивная стратегия, основанная на прогнозировании остаточного ресурса оборудования. Существующие методы прогнозирования остаточного ресурса оборудования фокусируются на