

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-5-367-373>

УДК 004+681.2

Автоматическая локализация номерного знака автомобиля в системе Wolfram Mathematica

Канд. физ.-мат. наук, доц. М. А. Гундина¹⁾, М. Н. Жданович²⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь),

²⁾Отраслевая лаборатория новых технологий и материалов ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ» (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2022
Belarusian National Technical University, 2022

Реферат. Современные устройства формирования изображений позволяют решать комплекс технических прикладных задач, требующих синтеза и анализа компьютерных методов обработки с использованием пороговой бинаризации, классификации изображений, кластеризации, с применением машинного обучения для определения областей интереса. Так, алгоритмы сегментации нашли широкое использование в обработке медицинских снимков. Компьютерные технологии применяются для функционирования интеллектуальной среды, которая позволяет анализировать состояние здоровья человека. Развитие микроэлектроники дает возможность повысить сложность применяемых алгоритмов обработки изображений для решения прикладных задач инженерии. В литературе широко обсуждаются вопросы сегментации, распознавания образов, описания и представления деталей, морфологического анализа снимков, полученных промышленным оборудованием, например теории обработки оптического сигнала с учетом помех. Вопросы восприятия и анализа изображений подробно представлены в отечественной и зарубежной литературе. В статье описан разработанный алгоритм локализации номерного знака автомобиля, реализованный в системе Wolfram Mathematica. Вначале определяется область интереса, изолируется от остальной части изображения для последующей ее обработки. Реализуется представление изображения с помощью аффинного преобразования. Дальнейшая сегментация символов на номерной пластине позволяет их определить. В системе Mathematica разработан программный код алгоритма локализации номерного знака автомобиля для его дальнейшего распознавания. Решение задачи получено с помощью поэтапного применения встроенных и пользовательских функций системы Wolfram Mathematica. Алгоритм протестирован на репрезентативной выборке изображений. Погрешность в среднем не превышала 10 %, что соответствует современным алгоритмам обработки промышленных изображений. Полученный алгоритм идентификации номерного знака автомобиля может использоваться в цифровых устройствах для автоматического определения и дальнейшей обработки изображений.

Ключевые слова: обработка изображений, номерной знак, Wolfram Mathematica, бинаризация, идентификация, фильтрация

Для цитирования: Гундина, М. А. Автоматическая локализация номерного знака автомобиля в системе Wolfram Mathematica / М. А. Гундина, М. Н. Жданович // *Наука и техника*. 2022. Т. 21, № 5. С. 367–373. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-5-367-373>

Automatic Localization of License Plate for Car in Wolfram Mathematica

М. А. Hundzina¹⁾, М. N. Zhdanovich²⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus),

²⁾Industry Laboratory of New Technologies and Materials JSC “INTEGRAL” – Management Company of “INTEGRAL” Holding (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Modern imaging devices make it possible to solve a complex of technical applied problems that require the synthesis and analysis of computer processing methods using threshold binarization, image classification, clustering, and the use of machine learning to determine areas of interest. Thus, segmentation algorithms are widely used for processing medical

Адрес для переписки

Гундина Мария Анатольевна
Белорусский национальный технический университет
ул. Я. Коласа, 22,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 292-67-84
hundzina@bntu.by

Address for correspondence

Hundzina Maryia A.
Belarusian National Technical University
22, Ya. Kolasa str.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 292-67-84
hundzina@bntu.by

images. Computer technologies are used for the functioning of the intellectual environment, which allows to analyze the state of human health. The development of microelectronics makes it possible to increase the complexity of the applied image processing algorithms used to solve applied engineering problems. The issues of segmentation, pattern recognition, description and presentation of details, morphological analysis of images obtained by industrial equipment are widely discussed in the literature. For example, theories of optical signal processing taking into account interference, issues of image perception and analysis are presented in detail in domestic and foreign literature. The paper describes the developed algorithm for localizing a car license plate, implemented in the Wolfram Mathematica system. First, the region of interest is determined, isolated from the rest of the image for its subsequent processing. An image representation is implemented using an affine transformation. Further segmentation of the characters on the license plate allows the characters to be identified. In the Mathematica system, a program code for the car license plate localization algorithm for its further recognition has been developed. The solution to the problem was obtained using the step-by-step application of the built-in and user-defined functions of the Wolfram Mathematica system. The algorithm has been tested on a representative sample of images. The average error did not exceed 10 %, which is in line with modern industrial image processing algorithms. The resulting car license plate identification algorithm can be used in digital devices to automatically determine and further image processing.

Keywords: image processing, license plate, Wolfram Mathematica, binarization, identification, filtering

For citation: Hundzina M. A., Zhdanovich M. N. (2022) Automatic Localization of License Plate for Car in Wolfram Mathematica. *Science and Technique*. 21 (5), 367–373. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-21-5-367-373> (in Russian)

Введение

Алгоритмы идентификации номерного знака автомобиля широко используются в цифровых устройствах для автоматического определения и дальнейшей обработки полученных изображений. Такие алгоритмы обработки изображений обычно включают в себя несколько этапов. Для начала производится локализация области интереса на изображении, которая изолируется от остальной его части. После этого осуществляется представление изображения с помощью аффинного преобразования. Обычно аффинное преобразование определяют через три точки изображения, оно сопоставляет исходное наклонное изображение с ненаклонным изображением. Нахождение аффинного преобразования в системе Wolfram Mathematica может осуществляться с помощью функции *FindRegionTransform*. Оно дает возможность учесть угол поворота изображения номерного знака на снимке. Дальнейшая сегментация символов на номерной пластине позволяет их определить.

С помощью современных устройств формирования изображений можно решать комплекс технических и научных задач, требующих синтеза и анализа методов обработки с использованием пороговой бинаризации, классификации изображений, кластеризации, с применением машинного обучения [1–4]. Так, алгоритмы сегментации нашли широкое использование для обработки снимков, полученных медицинским оборудованием. Также компьютерные технологии применяются при разработке интеллектуальной среды, которая позволяет управлять состоянием здоровья граждан и по-

мочь специалистам здравоохранения в решении актуальных проблем [2]. Развитие микроэлектроники повышает сложность применяемых алгоритмов для решения прикладных задач. В литературе широко обсуждаются вопросы сегментации, распознавания образов, описания и представления деталей, морфологического анализа снимков, полученных промышленным оборудованием. Теории обработки оптического сигнала с учетом помех, вопросы восприятия и анализа изображений подробно представлены в отечественной и зарубежной литературе [3–9].

Автоматическая обработка статических и динамических изображений, содержащих номерной знак автомобиля, является актуальной задачей, поскольку может быть использована для автоматического открытия и закрытия шлагбаума, расчета оплаты парковки и решения других задач [10]. Предварительная обработка такого изображения направлена на улучшение и восстановление изображения. Этот процесс устраняет шум, выделяет края и улучшает общее качество изображения. При предварительной обработке полутоновое изображение проходит через множество процедур – таких, как масштабирование, расширение, эрозия, фильтрация и улучшение контуров [11, 12].

Устройства, использующие в работе подобные алгоритмы, в основном представляют собой программно-аппаратный комплекс. Эти устройства можно использовать во многих областях, таких как парковка [13], контроль безопасности в зонах ограниченного доступа [14], соблюдение правил дорожного движения [15, 16]. Типичный программно-аппарат-

ный комплекс состоит из четырех модулей, которые осуществляют получение изображения, извлечение номерного знака, сегментацию символов и их распознавание [17]. Эффективность и точность системы во многом зависят от второго модуля, и для этой цели используются различные подходы. Так, алгоритм с применением проекции и евклидова расстояния достигает 87 % по своей производительности [18], алгоритм с использованием вероятностной нейронной сети – 86 % [19]. Процедура с применением фильтрации и сопоставления с шаблоном показала, что производительность алгоритма может быть около 91 % [20]. Алгоритм, применяющий анализ краев и прямую нейронную сеть, достигает более 92 % в качестве скорости распознавания символов [21]. Создание комбинации этих алгоритмов и реализация в Wolfram Mathematica и определили цель исследований авторов: в компьютерной системе Wolfram Mathematica разработан алгоритм локализации номерного знака автомобиля для его дальнейшего распознавания, основанный на фильтрации и анализе краев на изображении.

Методы исследования

Процесс распознавания автомобильных номеров делится на этапы:

1) предварительная обработка изображения. На этом этапе осуществляется улучшение изображения с помощью изменения формы его гистограммы, что позволяет ее выровнять. В частности, может быть использована эквализация гистограммы, при которой выходное изображение имеет равномерное распределение;

2) дилатация. Применение этой операции позволяет устранить тонкие выступы. Фильтр удаляет небольшие светлые детали на изображении, сохраняя общую яркость и яркость крупных деталей. Он сглаживает и удаляет шумы, а также помогает избавиться от маленьких фрагментов, выступающих наружу области вблизи ее границы. В основном данное преобразование используется для выравнивания неравномерной освещенности фона изображения. Полученное изображение вычитается из исходного полутонового изображения, что позволяет выделить символы и другие части;

3) бинаризация изображения. Количество информации в полученном бинарном изображении на порядок меньше, чем в совпадающем с ним по размерам полутоновом изображении.

Его легче обрабатывать и хранить. Применяя бинаризацию, необходимо помнить об ограничениях ее использования, а именно – о необходимости высокой степени контраста между изображением номерного знака и фоном снимка. Бинаризация позволяет кодировать информацию о силуэте объекта [7]. Для преобразования полутонового изображения в бинарное разработано большое число методов. Наиболее известные – методы, предложенные такими авторами, как Отсу, Гонсалес, Вудс и др. Подробный анализ особенностей каждого из подходов подробно описан в [22];

4) определение контуров на изображении. На этом этапе находится набор пикселей, которые проходят на границе между областями изображения;

5) морфологическая обработка, представляет собой серию операций обработки изображений на основе форм. К ним относятся дилатация, эрозия и др.;

6) непосредственная локализация номерного знака и отсечение фона изображения.

Рассмотрим реализацию каждого этапа в системе Wolfram Mathematica. Импорт изображения осуществляется с помощью встроенной функции *Import*. Результат работы этой функции запишем в переменную *img1*.

Для анализа характеристик изображения часто используется гистограмма. В условиях обычного и ровного освещения при правильно подобранной выдержке гистограмма изображения показывает максимум в центральной части, спадая в области теней и яркостей. Несмотря на то что большинство приборов в режиме автоматической экспозиции зафиксирует центрированную гистограмму, разброс пиков в гистограмме зависит также от тонального диапазона предмета съемки. Поэтому для произвольного изображения необходимо выравнивание гистограммы. Процедура ее выравнивания осуществляется с помощью следующей команды:

$$\text{img2} = \text{HistogramTransform}[\text{img1}].$$

Гистограмма – хороший инструмент контроля засветок, поскольку они непосредственно видны на границе диапазона. Она может также описать степень контраста в изображении. Контраст является измерением разницы яркостей между светлыми и темными частями изображения. Широкие гистограммы отражают сцены со значительным контрастом, тогда как узкие

гистограммы означают, что контраст снижен и изображение может оказаться плоским или малоинформативным. Это может быть вызвано любой комбинацией предметов съемки и условий освещения. Для последующей обработки необходима корректировка контраста для эффективной работы методов бинаризации. Выровненная гистограмма представлена на рис. 1.

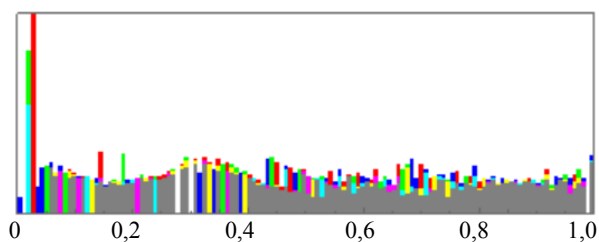


Рис. 1. Выровненная гистограмма
Fig. 1. Leveled histogram

Далее изображение преобразуется в полутоновое с помощью команды

```
img3 = ColorConvert[img2,"Grayscale"].
```

Удаление незначительных по величине компонентов осуществляется с помощью встроенной функции *DeleteSmallComponents*, которая заменяет значения пикселей малых связных компонентов на значения пикселей фона. Для выполнения операции размывания изображения используется функция *Opening*. Результат операции представлен на рис. 2.



Рис. 2. Результат операции размывания
Fig. 2. Result of opening operation

В качестве этого этапа предобработки к выделению границ вместо размывания практически всегда применяется сглаживание изображения, обычно фильтром Гаусса, основанным на матрице свертки. Как правило, матрица заполняется по нормальному закону. Коэффициенты уже нормированы. От размера матрицы зависит сила размывания изображения.

Основное применение сглаживающих фильтров – шумоподавление. Поскольку шум меняется независимо от пикселя к пикселю, шумы соседних пикселей при суммировании будут компенсировать друг друга. Чем больше окно

фильтрации, тем меньше усредненная интенсивность шума, однако побочное действие таких фильтров – существенное размытие деталей изображения.

Широкое распространение в системах технического зрения роботов получили усредняющие и медианные фильтры. Медианный фильтр – один из видов цифровых фильтров, используемых в цифровой обработке сигналов и изображений для уменьшения уровня шума. Одномерный медианный фильтр представляет собой скользящее окно, охватывающее нечетное число элементов изображения. Центральный элемент заменяется медианой всех элементов изображения в окне. В случае четного числа отсчетов в окне выходное значение фильтра равно среднему значению двух отсчетов в середине упорядоченного списка. Окно перемещается вдоль фильтруемого сигнала, и вычисления повторяются. Медианная фильтрация – это эффективная процедура обработки сигналов, подверженных воздействию импульсных помех.

Возможны различные стратегии применения медианного фильтра для подавления шумов. Одна из них рекомендует начинать с медианного фильтра, окно которого охватывает три элемента изображения. Если ослабление сигнала незначительно, окно фильтра расширяют до пяти элементов. Так поступают до тех пор, пока медианная фильтрация начинает приносить больше вреда, чем пользы. Другая возможность состоит в осуществлении каскадной медианной фильтрации сигнала с использованием фиксированной или изменяемой ширины окна. В общем случае те области, которые остаются без изменения после однократной обработки фильтром, не меняются и после повторной обработки. Области, в которых длительность импульсных сигналов составляет менее половины ширины окна, будут подвергаться изменениям после каждого цикла обработки. Эти фильтры могут использоваться как однократно, так и многократно в различных комбинациях. Однако в ряде случаев применение данных способов не дает нужных результатов.

Следует заметить, что для качественного распознавания контуров изображения границы должны быть яркими (что имеет место при бинарном изображении), тонкими и без разрывов. Для получения контура после фильтрации изображения необходимо повысить его контрастность (перепады яркости).

Для бинаризации в системе Wolfram Mathematica используется функция *Binarize*, для медианной фильтрации – *MedianFilter*. Функция *ImageSubtract* позволяет найти разность двух изображений

```
img5 = MedianFilter[ImageSubtract[img3,img4]//
  Binarize,3].
```

Выделение границ основывается на алгоритмах, выделяющих точки цифрового изображения, в которых резко изменяется яркость или есть другие виды неоднородностей. Основной целью обнаружения резких изменений яркости изображения является фиксация важных перепадов и изменений. Они могут отражать различные предположения о модели формирования изображения, изменения в яркости изображения могут указывать на изменения глубины, на изменения в свойствах материала, различие в освещении сцены. Определение контуров осуществляется с помощью встроенной функции *ContourDetect*

```
img6 = ColorNegate[ContourDetect[img5//
  DeleteSmallComponents]].
```

Затем осуществляют несколько раз операции эрозии и дилатации

```
img7 = Binarize[Erosion[Dilation [Erosion
  [Dilation[Erosion[Dilation[img6,1],2],1],2],1],2]]].
```

Результат применения медианного фильтра к полученному изображению представлен на рис. 3

```
img8 = MedianFilter[img7,2]//
  DeleteSmallComponents.
```



Рис. 3. Компонент бинарного изображения, соответствующий расположению номерного знака

Fig. 3. Binary image component, corresponding to the location of the license plate

Определение координат прямоугольной области может осуществляться с помощью следующей команды:

```
ComponentMeasurements[img8,
  "BoundingBox"][[All,2]].
```

Данная команда позволяет представить координаты вершин прямоугольника в виде массива чисел.

Результаты расчетов

Отображение области интереса осуществляется с помощью следующей команды:

```
Show[img1,Graphics[{Red,Opacity[.5],Rectangle
  #[[1]],#[[2]]}&/@ComponentMeasurements
  [img8,"BoundingBox"][[All,2]]}]].
```

Кроме этого, подсвечиваются границы прямоугольника, координаты вершин которого определяются автоматически с помощью функции *ComponentMeasurements* (рис. 4). Изображение на рис. 4 рассматриваем в качестве тестового, поэтому один из символов специально убран со снимка.



Рис. 4. Автоматически выделенная область интереса

Fig. 4. Auto-selected area of interest

Затем, зная координаты прямоугольной области, осуществляем обрезку фона. Результат показан на рис. 5:

```
img9 = ImageTake[img1, {ImageDimensions
  [img1][[2]]-ComponentMeasurements
  [img8,"BoundingBox"][[All,2]][[1]][[2]],
  ImageDimensions[img1][[2]]-Component
  Measurements[img8,"BoundingBox"]
  [[All,2]][[1]][[1,2]]}, {ComponentMeasurements
  [img8,"BoundingBox"][[All,2]][[1]][[1,1]],
  ComponentMeasurements[img8,"BoundingBox"]
  [[All,2]][[1]][[2,1]]}].
```

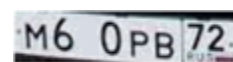


Рис. 5. Локализованная область с номерным знаком

Fig. 5. Localized area with license plate

Примеры обработанных изображений представлены на рис. 6.



Рис. 6. Примеры действия алгоритма идентификации номерного знака
 Fig. 6. Examples of the operation of the license plate identification algorithm

В 95 % снимков из выборки возможно было определить местонахождение номера, из них в 40 % случаев наблюдалось точное совпадение, в 55 % – автоматически выделена область номера, но с незначительной погрешностью. В 5 % случаев номер не был определен по причине низкой контрастности снимка.

ВЫВОД

Алгоритм идентификации номерного знака может быть использован в основе программно-аппаратного комплекса устройства для автоматического определения изображения. Устройство можно применять во многих областях – таких как парковка, контроль безопасности в зонах ограниченного доступа, соблюдение правил дорожного движения. По своей производительности предлагаемый алгоритм достигает 90 %.

ЛИТЕРАТУРА

- Blanchet, G. Digital Signal and Image Processing Using Matlab / G. Blanchet, M. Charbit. London: Science Europe, 2006. 764 p. <https://doi.org/10.1002/9780470612385>.
- Breton, V. The Healthgrid White Paper / V. Breton, K. Dean, T. Solomonides // Studies in Health Technology and Informatics. 2005. Vol. 112. P. 249–318.
- Мирошников, М. М. Теоретические основы оптико-электронных приборов / М. М. Мирошников. СПб.: Лань, 2010. 704 с.
- Селянкин, В. В. Анализ и обработка изображений в задачах компьютерного зрения / В. В. Селянкин, С. В. Скороход. Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2015. 82 с.
- Image Perception and Interpretation of Abnormalities; Can we Believe Our Eyes? Can we do Something about it? / D. E. Sabih [et al.] // Insights into Imaging. 2011. Vol. 1, No 2. P. 47–55. <https://doi.org/10.1007/s13244-010-0048-1>.
- Liu, J. Aesthetic Perception of Visual Textures: a Holistic Exploration Using Texture Analysis, Psychological Experiment, and Perception Modeling / J. Liu, E. Lughofer, X. Zeng // Front Comput Neurosci. 2015. No 9. P. 1–14. <https://doi.org/10.3389/fncom.2015.00134>.
- Gonzalez, R. C. Digital Image Processing / R. C. Gonzalez, R. E. Woods. New Jersey: Prentice Hall, Upper Saddlr River, 2002. 797 p.
- Bribiesca, E. A Chain Code for Representing 3-D Curves / E. Bribiesca // Pattern Recog. 2000. Vol. 33, No 5. P. 755–765. [https://doi.org/10.1016/S0031-3203\(99\)00093-X](https://doi.org/10.1016/S0031-3203(99)00093-X).
- Рудаков, П. И. Обработка сигналов и изображений. MATLAB 5.x / П. И. Рудаков, И. В. Сафонов. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2000. 416 с.
- Weihua, W. License Plate Recognition Algorithm Based on Radial Basis Function Neural Networks / W. Weihua // Intelligent Ubiquitous Computing and Education, International Symposium. 2009. P. 38–41. <https://doi.org/10.1109/IUCE.2009.20>.
- Patel, S. G. Vehicle License Plate Recognition Using Morphology and Neural Network / S. G. Patel // International Journal on Cybernetics & Informatics. 2013. Vol. 2, No 1. P. 1–7. <https://doi.org/10.5121/ijci.2013.2101>.
- Reshma, P. Noise Removal and Blob Detection Approach for Number Plate Identification / P. Reshma // International Journal of Computer Applications. 2012. Vol. 47, No 8. P. 13–16. <https://doi.org/10.5120/7207-9992>.
- Vehicle Parking Inventory System Utilizing Image Recognition Through Artificial Neural Networks / L. S. Bartolome [et al.] // IEEE Region 10 Conference. 2012. P. 1–5. <https://doi.org/10.1109/tencon.2012.6412301>.
- Draghici, S. A Neural Network Based Artificial Vision System for License Plate Recognition / S. Draghici // International Journal of Neural Systems. 1997. Vol. 8, No 1. P. 113–126. <https://doi.org/10.1142/S0129065797000148>.
- License Plate Recognition from Still Images and Video Sequences: a Survey / C. N. E. Anagnostopoulos [et al.] // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2008. Vol. 9, No 3. P. 377–391. <https://doi.org/10.1109/TITS.2008.922938>.
- A Method for Identifying Specific Vehicles Using Template Matching / K. Yamaguchi [et al.] // Proceedings 199 IEEE/IEEE/ JSAI International Conference on Intelligent Transportation Systems, 1999. P. 8–13. <https://doi.org/10.1109/ITSC.1999.821019>.
- Lotufo, R. A. Automatic License Plate Recognition (ALPR) a State-of-the-Art Review / R. A. Lotufo,

- A. D. Morgan, A. S. Johnson // IEEE Transaction on Circuits and System for Video Technology. 2013. Vol. 23, No 2. P. 311–325. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2012.2203741>.
18. Hegt, H. A. A High Performance License Plate Recognition System / H. A. Hegt, R. J. Dela Haye, N. A. Khan // SMC'98 Conference Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 1998. Vol. 5. P. 4357–4362. <https://doi.org/10.1109/ICSMC.1998.727533>.
 19. A License Plate-Recognition Algorithm for Intelligent Transportation System Applications / C. N. E. Anagnostopoulos [et al.] // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2006. Vol. 7, No 3. P. 377–392. <https://doi.org/10.1109/TITS.2006.880641>.
 20. Optical Recognition of Motor Vehicle License Plates / P. Comelli [et al.] // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 1995. Vol. 44, No 4. P. 790–799. <https://doi.org/10.1109/25.467963>.
 21. Jiao, J. B. A Configurable Method for Multi-Style License Plate Recognition / J. B. Jiao, Q. X. Ye, Q. M. Huang // Pattern Recognition. 2009. Vol. 42, No 3. P. 358–369. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2008.08.016>.
 22. Горитов, А. Н. Предварительная обработка изображений в системах технического зрения / А. Н. Горитов // Доклады ТУСУР. 2018. Т. 21, № 4. С. 70–82.
- Поступила 12.05.2022
Подписана в печать 14.07.2022
Опубликована онлайн 30.09.2022
- REFERENCES
1. Blanchet G., Charbit M. (2006) *Digital Signal and Image Processing Using Matlab*. London: Science Europe. 764. <https://doi.org/10.1002/9780470612385>.
 2. Breton V., Dean K., Solomonides T. (2005) The Healthgrid White Paper. *Studies in Health Technology and Informatics*, 112, 249–318.
 3. Miroshnikov M. M. (2010) *Theoretical Foundations of Optoelectronic Devices*. Saint-Petersburg, Lan Publ. 704 (in Russian).
 4. Selyankin V. V., Skorokhod S. V. (2015) *Image Analysis and Processing in Computer Vision Problems*. Taganrog, Publishing House of Southern Federal University. 82 (in Russian).
 5. Sabih D. E., Sabih A., Sabih Q., Khan A. N. (2011) Image Perception and Interpretation of Abnormalities; Can we Believe Our Eyes? Can we do Something about it? *Insights into Imaging*, 2 (1), 47–55. <https://doi.org/10.1007/s13244-010-0048-1>.
 6. Liu J., Lughofer E., Zeng X. (2015) Aesthetic Perception of Visual Textures: a Holistic Exploration Using Texture Analysis, Psychological Experiment, and Perception Modeling. *Front Comput Neurosci*, (9), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fncom.2015.00134>.
 7. Gonzalez R. C., Woods R. E. (2002) *Digital Image Processing*. New Jersey, Prentice Hall, Upper Saddle River. 797 (in Russian).
 8. Bribiesca E. (2000) A Chain Code for Representing 3-D Curves. *Pattern Recog*, 33 (5), 755–765. [https://doi.org/10.1016/S0031-3203\(99\)00093-X](https://doi.org/10.1016/S0031-3203(99)00093-X).
 9. Rudakov P. I., Safonov I. V. (2000) *Processing of Signals and Images. MATLAB 5.x*. Moscow, DIALOG-MEPHI Publ. 416 (in Russian).
 10. Weihua W. (2009) License Plate Recognition Algorithm Based on Radial Basis Function Neural Networks. *Intelligent Ubiquitous Computing and Education, International Symposium*, 38–41. <https://doi.org/10.1109/IUCE.2009.20>.
 11. Patel S. G. (2013) Vehicle License Plate Recognition Using Morphology and Neural Network. *International Journal on Cybernetics & Informatics*, 2 (1), 1–7. <https://doi.org/10.5121/ijci.2013.2101>.
 12. Reshma P. (2012) Noise Removal and Blob Detection Approach for Number Plate Identification. *International Journal of Computer Applications*, 47 (8), 13–16. <https://doi.org/10.5120/7207-9992>.
 13. Bartolome L. S., Bandala A. A., Llorente C., Dadios E. P. (2012) Vehicle Parking Inventory System Utilizing Image Recognition Through Artificial Neural Networks. *IEEE Region 10 Conference*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/tencon.2012.6412301>.
 14. Draghici S. (1997) A Neural Network Based Artificial Vision System for License Plate Recognition. *International Journal of Neural Systems*, 8 (1), 113–126. <https://doi.org/10.1142/S0129065797000148>.
 15. Anagnostopoulos C. N. E., Anagnostopoulos I. E., Psoroulas I. D., Loumos V., Kayafas E. (2008) License Plate Recognition from Still Images and Video Sequences: a Survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 9 (3), 377–391. <https://doi.org/10.1109/TITS.2008.922938>.
 16. Yamaguchi K., Nagaya Y., Ueda K., Nemoto H., Nakagawa M. (1999) A Method for Identifying Specific Vehicles Using Template Matching. *Proceedings 199 IEEE/IEEEJ/JSAI International Conference on Intelligent Transportation Systems*, 8–13. <https://doi.org/10.1109/ITSC.1999.821019>.
 17. Lotufo R. A., Morgan A. D., Johnson A. S. (2013) Automatic License Plate Recognition (ALPR) a State-of-the-Art Review. *IEEE Transaction on Circuits and System for Video Technology*, 23 (2), 311–325. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2012.2203741>.
 18. Hegt H. A., Dela Haye R. J., Khan N. A. (1998) A High Performance License Plate Recognition System. *SMC'98 Conference Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 5, 4357–4362. <https://doi.org/10.1109/ICSMC.1998.727533>.
 19. Anagnostopoulos C. N. E., Anagnostopoulos I. E., Loumos V., Kayafas E. (2006) A License Plate-Recognition Algorithm for Intelligent Transportation System Applications. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 7 (3), 377–392. <https://doi.org/10.1109/TITS.2006.880641>.
 20. Comelli P., Ferragina P., Granieri M. N., Stabile F. (1995) Optical Recognition of Motor Vehicle License Plates. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 44 (4), 790–799. <https://doi.org/10.1109/25.467963>.
 21. Jiao J. B., Ye Q. X., Huang Q. M. (2009) A Configurable Method for Multi-Style License Plate Recognition. *Pattern Recognition*, 42 (3), 358–369. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2008.08.016>.
 22. Goritov A. N. (2018) Preliminary Image Processing in Technical Vision Systems. *Doklady Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta Sistem Upravleniya i Radioelektroniki = Proceedings of TUSUR University*, 21 (4), 70–82 (in Russian).

Received: 12.05.2022

Accepted: 14.07.2022

Published online: 30.09.2022