

Алгоритм детектирования государственных регистрационных знаков транспортных средств

Е.В. Медведева¹, П.Ю. Каспер¹, И.С. Трубин¹

¹Вятский государственный университет, Московская 36, Киров, Россия, 610000

Аннотация. Предложен алгоритм детектирования номерных пластин транспортных средств на изображении. Алгоритм основан на обнаружении контуров и использовании геометрической информации о контурах. Для обнаружения контуров применена математическая модель изображения на основе двумерной дискретнозначной цепи Маркова с двумя состояниями. Для снижения вычислительных ресурсов предложено выполнять детектирование номерных пластин по битовым плоскостям старших, наиболее информативных разрядов цифрового изображения. Результаты моделирования подтверждают эффективность метода. Точность обнаружения номерной пластины достигает 91,47 %. Полученные оценки по времени обнаружения номерных пластин свидетельствуют о преимуществах предложенного алгоритма по сравнению с известными детекторами границ до 11 раз.

1. Введение

Системы автоматического распознавания государственных регистрационных знаков (ГРЗ) транспортных средств находят применение в ряде систем мониторинга, наблюдения и управления движением. Важный и базовый этап распознавания символов номеров транспортных средств - это обнаружение и локализация (детектирование) на изображении областей, потенциально содержащих ГРЗ. Ошибка детектирования номерной пластины ГРЗ приведет к отказу алгоритмов на последующих этапах и снижению точности распознавания. Процедура детектирования пластины ГРЗ является сложной задачей из-за большого разнообразия характеристик обрабатываемых изображений: размера, цвета, пространственной ориентации номерной пластины, сложности сцены. Кроме того, качество детектирования существенно зависит от контраста изображения, наличия искажений, вызванных природными артефактами, бликами, смазами и т.п. Также следует отметить, что глобальное увеличение видеоданных, связанное увеличением количества транспорта, камер видеонаблюдения, создает значительные проблемы для их анализа и обработки в режиме реального времени. Для решения этой проблемы следует либо увеличивать мощность серверов, либо использовать алгоритмы требующих меньших вычислительных ресурсов.

Для локализации пластин номеров транспортных средств существуют различные подходы [1-9]: фильтры выделения границ (Собела, Лапласиана Гауссиана, Канни, Харриса), преобразования Радона и Хафа, извлечение цветовых и текстурных признаков, морфологические операции, вейвлет-преобразования, генетические алгоритмы, сверточные нейронные сети и др. В таблице 1 представлен сравнительный анализ характеристик некоторых методов локализации автомобильных номеров.

Таблица 1. Характеристики точности локализации и времени обработки известных методов.

Метод	Точность, %	Время обработки, сек	Конфигурация компьютера
Статистическая бинаризация и преобразование Радона [3]	86.2	0.73	Intel Core 2 Duo T6600 with 2.2 GHz processor and 2 GB RAM
Фильтр Собеля, морфологические операции [4]	92.0	-	2.26 GHz CPU
Морфологические операции [5]	84.3	-	-
SIFT feature [6]	96.0	0.26	Pentium 4 with 2.4 GHz CPU and 1 GB RAM
Извлечение цветовых и текстурных признаков [7]	96.4	3	AMD 1.75 GHz CPU and DDR400 512 MB
Сверточные нейронные сети [8]	87.0	0.23	Intel Core i5 machine (2.4 GHz) with 8 GB RAM, GT-740M GPU
Сверточные нейронные сети, фильтр Габор [9]	99.0	0.16	Intel Xeon (2.4 GHz) with Nvidia GeForce GTX 1080Ti GPU

Большинство из предложенных методов локализации пластин номеров на изображении транспортного средства имеют длительное время обработки и/или низкий уровень точности.

Поэтому, несмотря на большое количество существующих методов детектирования ГРЗ транспортных средств, задача обеспечения высокой точности локализации автомобильных номеров при сокращении вычислительных ресурсов является актуальной.

Целью данной работы является разработка алгоритма детектирования номерных пластин транспортных средств на изображении, обеспечивающего высокую точность локализации автомобильных номеров при сокращении вычислительных ресурсов.

2. Алгоритм детектирования регистрационных знаков транспортных средств

Методы детектирования на основе преобразований [1,3,9], использующих информацию о цветовых и текстурных признаках [7,9], сверточных нейронных сетей [8,9] обладают высокими требованиями к вычислительной мощности аппаратного обеспечения и потенциально затрудняют их реализацию и применение в системах реального времени.

В противоположность данным методам для задачи локализации изображения номерной пластины ГРЗ более подходящими являются методы на основе контурного анализа. Методы, использующие информацию о контурах для обнаружения номерных знаков не требуют проведения обучения или заготовки специальных шаблонов и позволяют находить номер различного размера и под различным наклоном. Также контурные точки составляют незначительную часть всех точек на изображениях, работа с ними позволяет сократить объем обрабатываемой информации и повысить быстродействие систем распознавания ГРЗ.

Недостатком контурных методов является их низкая устойчивость к шуму, изменению освещенности, наличию различных искажений изображения, связанных с погодными условиями и т.д. Для повышения качества выделения контуров и точности детектирования номерной пластины необходимо выполнять предобработку изображения: фильтрацию шума, изменение яркости и контраста и т.п. Для предварительной обработки изображений можно применить известные методы, представленные, например, в работах [1,10,11], и в данной статье этот этап не рассматривается.

Исходными данными для этой работы являлись RGB изображения транспортных средств. Каждая из цветовых компонент RGB изображения является цифровым полутоновым изображением (ЦПИ), представленным g - разрядными двоичными числами. Это позволяет представить ЦПИ набором g разрядных двоичных изображений (РДИ). Для сокращения

вычислительных ресурсов выделение контуров производилось по РДИ одного из старших, наиболее информативных разрядов ЦПИ. Следует отметить, что для выделения контуров номерных знаков необходимо учитывать ЦПИ всех трех компонент, так как существует вероятность не получить границу номерной пластины ГРЗ на ЦПИ одной из компонент.

Для перевода RGB изображения в ЦПИ использовалась формула (1), рекомендуемая ITU-T с идентификатором BT.601-7:

$$I = 0.299R + 0.587G + 0.114B. \quad (1)$$

Учитывая характер статистической связи между элементами в ЦПИ, их можно аппроксимировать многоуровневыми дискретнозначными марковскими процессами [11-13], а РДИ – марковскими процессами с двумя равновероятными дискретными состояниями $M_1^{(l)}$, $M_2^{(l)}$ и матрицами вероятностей переходов ${}^1\Pi^{(l)} = \left\| \pi_{ij}^{(l)} \right\|_{2 \times 2}$ (по горизонтали) и ${}^2\Pi^{(l)} = \left\| \pi_{ij}^{(l)} \right\|_{2 \times 2}$ (по вертикали).

В соответствии с математической моделью, предложенной в [12,13], количество информации в двоичном элементе $v_3^{(l)}$ относительно элементов расположенных по горизонтали - $v_1^{(l)}$ и вертикали - $v_2^{(l)}$ определится как разность собственной информации элемента $I(v_3^{(l)})$ и взаимной информации элементов $I(v_1^{(l)}, v_2^{(l)}, v_3^{(l)})$:

$$I(v_3^{(l)} | v_1^{(l)}, v_2^{(l)}) = I(v_3^{(l)}) - I(v_1^{(l)}, v_2^{(l)}, v_3^{(l)}) = -\log_2 \frac{{}^1\pi_{ij}^{(l)} {}^2\pi_{ij}^{(l)}}{{}^3\pi_{ij}^{(l)}}, \quad (2)$$

где ${}^r\pi_{ij}^{(l)}$ ($i, j = \overline{1, 2}$; $r = \overline{1, 3}$; $l = \overline{1, g}$) - элементы матриц вероятностей переходов ${}^1\Pi^{(l)}$ (по горизонтали), ${}^2\Pi^{(l)}$ (по вертикали) и матрицы ${}^3\Pi^{(l)} = {}^1\Pi^{(l)} \times {}^2\Pi^{(l)}$.

Для обнаружения контуров вычисленная величина количества информации сравнивается с порогом:

$$H = \frac{I(v_3^{(l)} = M_1^{(l)} | v_1^{(l)} = M_1^{(l)}, v_2^{(l)} = M_1^{(l)}) + I(v_3^{(l)} = M_1^{(l)} | v_1^{(l)} = M_1^{(l)}, v_2^{(l)} = M_2^{(l)})}{2}. \quad (3)$$

При получении контурного изображения предполагалось, что вероятности переходов между элементами изображений априорно известны. Это характерно для изображений, полученных при одинаковых условиях.

Результатом такой процедуры является совокупность замкнутых контуров различных контрастных областей. Контур имеет толщину в один пиксел, что облегчает задачу на этапе распознавания символов ГРЗ. Предложенный метод выделения контуров объектов интереса требует меньших вычислительных ресурсов, чем известные методы (Собела, Лапласиана Гауссиана, Канни и др.), определяемых операциями сравнения с двумя окрестными элементами. Так же следует отметить, что предложенный алгоритм дает значительно меньший процент ложных контуров, чем, например, метод Канни, что позволяет получить значительный выигрыш в скорости обработки на этапе поиска контуров.

Для решения задачи локализации номерной пластины выполнялся поиск контуров, соответствующих определенным условиям, а именно: соответствия размерам ширины и высоты, а также их соотношению и наличию контуров символов внутри предполагаемого контура номерной пластины.

Результатом работы алгоритма детектирования являлось выделение предполагаемых областей, соответствующих номерной пластине ГРЗ, прямоугольной рамкой.

Алгоритм локализации номерной пластины представлен на рисунке 1.

На рисунке 2 приведен пример локализации пластины ГРЗ:

- а) исходное изображение;
- б) двоичное изображение 8-го (старшего) разряда ЦПИ, используемого для выделения контуров;
- в) результат локализации пластины по контурному изображению;

г) результат локализации пластины RGB изображения.

Из примера видно успешное выделение номеров на двух автомобилях.

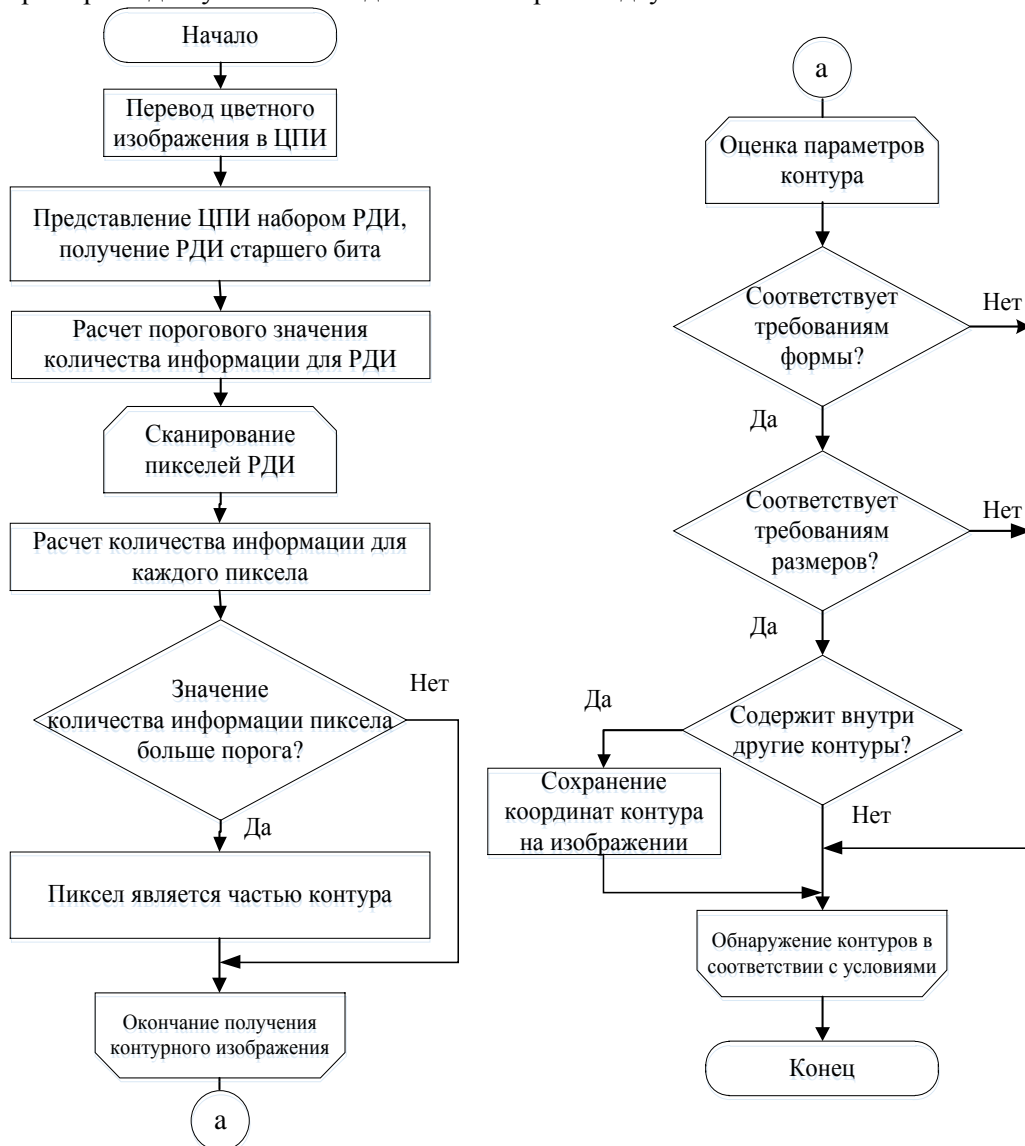


Рисунок 1. Алгоритм локализации пластины ГРЗ на изображении.

Для дальнейшего решения задачи распознавания номерных знаков формировалось изображение, содержащее только номер, и выполнялась его нормализация. Данная процедура заключалась в приведении размеров и ориентации полученного на предыдущем шаге изображения с номером к требуемому виду. Здесь могут выполняться геометрические преобразования, шумоподавление, изменение яркости и контраста.

Следующим шагом может быть проведен анализ цвета фона ГРЗ для определения типа номера. Согласно ГОСТ Р 50577–2018 существует несколько типов номеров ГРЗ, отличающихся цветом фона. Цвет фона необходимо знать для выполнения дальнейшей процедуры распознавания символов, т.к. при разном типе номерных знаков (разном фоне) используется разная последовательность символов на ГРЗ.

Затем выполняется процедура сегментации, которая обеспечивает разделение изображения на области отдельных символов.

И последняя процедура синтаксического анализа выполняется для определения элементов строки, содержащей символы номера.

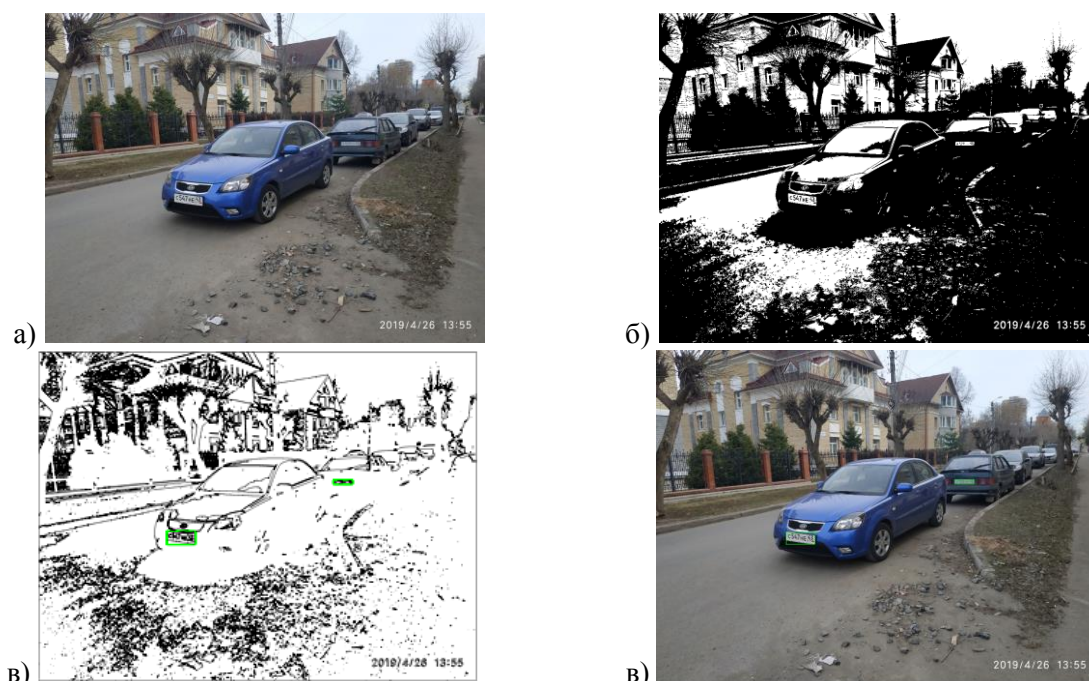


Рисунок 2. Пример детектирования пластины ГРЗ на изображении.

3. Экспериментальные результаты

Моделирование разработанного алгоритма было выполнено на наборе из 436 тестовых RGB изображений разного разрешения в среде MATLAB. Было проведено сравнение алгоритма детектирования на основе двумерной цепи Маркова и известных контурных методов (Превитта, Собела и Канни). Для реализации известных методов использовались стандартные функции среды MATLAB. Обнаружение контуров разработанным алгоритмом для всех изображений выполнялось по старшему разряду ЦПИ.

В таблице 2 представлены результаты сравнения алгоритмов по точности и времени обнаружения контуров номерной пластины. Оценки по времени представлены для изображений размером 3 Мпкс. Оценки по времени включали время, затрачиваемое на выделение и поиск контуров, соответствующих определенным условиям.

Исследование проводилось в операционной системе Windows 7 на процессоре Intel Core i5-3570K, 3.4 ГГц, 8 ГБ ОЗУ.

Таблица 2. Результаты сравнения алгоритмов по точности и времени обнаружения контуров номерной пластины.

Метод	Номерная пластина обнаружена полностью, %	Номерная пластина обнаружена частично, %	Номерная пластина не обнаружена, %	Время обнаружения номерной пластины, сек.
Превитта	84.64	10.32	5.04	0.186
Собела	89.91	6.23	3.86	0.186
Канни	94.03	4.83	1.14	0.51
На основе двумерных цепей Маркова	91.47	4.12	4.41	0.046

Из приведённых в таблице 2 результатов видно, что предлагаемый метод выигрывает по точности обнаружения границ методам Собела и Превитта и на 3% уступает методу Канни.

Методы Превитта и Собела в большинстве случаев не позволяют точно определить номерную пластину на изображении из-за наличия разрывов в контуре или из-за ложных контуров. Большое количество не обнаруженных номерных пластин ГРЗ предлагаемым методом связано с низкой контрастностью ряда изображений и невозможностью обнаружить номерную пластину по РДИ старшего разряда. Для решения этой проблемы следует либо увеличивать контрастность изображения, либо выделять контуры по РДИ другого разряда. Алгоритм детектирования позволяет обнаружить номерную пластину для скошенного угла до 15 градусов.

Полученные оценки по времени обнаружения контуров свидетельствуют о преимуществах разработанного метода по сравнению с известными методами выделения границ до 11 раз.

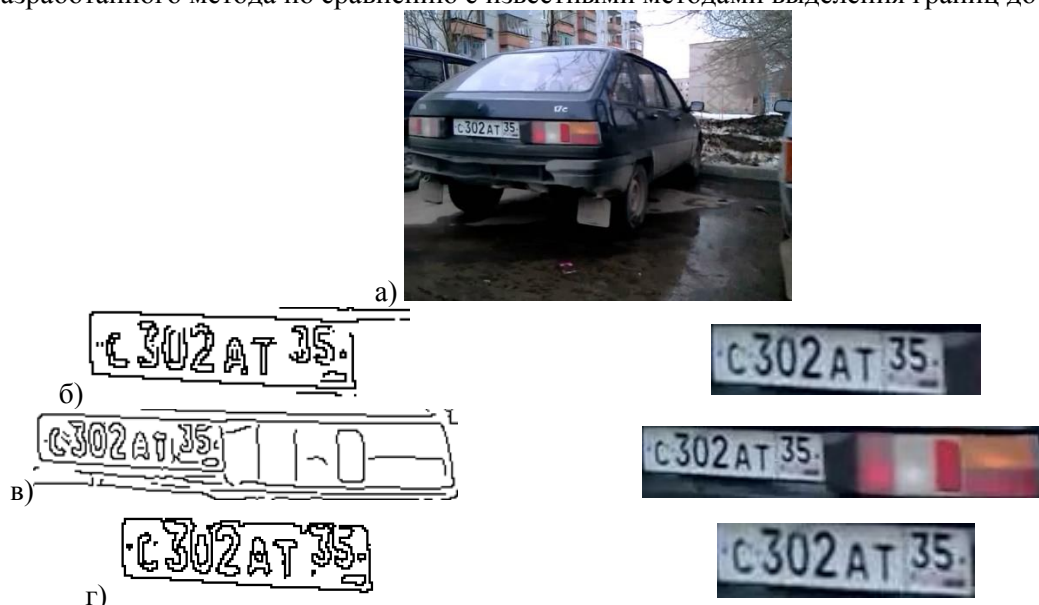


Рисунок 3. Пример детектирования изображения (слева - результат выделения контуров, справа – результат обнаружения ГРЗ).

На рисунке 3 приведен пример результатов детектирования номерной пластины ГРЗ разными методами: (а) - исходное изображение, (б) - метод Собела, (в) - метод Канни, (г) - на основе двумерной цепи Маркова. Из приведенного примера видно, что разработанный метод показал большую точность обнаружения номерной пластины, чем алгоритмы детектирования на основе методов Собела и Канни.

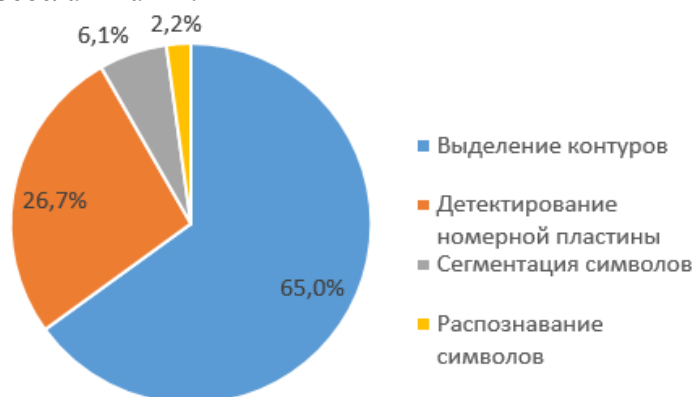


Рисунок 4. Доли временных затрат, вносимые каждой процедурой в общее время обработки тестового изображения.

Общее время детектирования номерной пластины и распознавания символов значительно зависят от исходного изображения, а именно: его разрешения, фона, количества автомобилей и

т.д. Большинство современных систем автоматического распознавания ГРЗ транспортных средств широко применяют камеры с разрешением более 3 Мпкс.

На рисунке 4 представлена графическая диаграмма долей временных затрат вносимые каждой процедурой обработки в общее время распознавание символов для изображения размером 3 Мпкс. В данной работе для сегментации номерной пластины на изображения отдельных символов использовался метод гистограммного анализа [1], а для решения задачи распознавания символов - метод корреляционного анализа при сравнении с шаблоном [1].

Из диаграммы наглядно видно, что наибольшие временные затраты приходятся на первые две процедуры: процедуру выделения контуров и процедуру локализации номерной пластины. Приведенные результаты еще раз подтверждают, что сокращение времени детектирования позволит существенно уменьшить и общее время распознавания символов ГРЗ.

4. Заключение

В статье представлен алгоритм детектирования регистрационных знаков транспортных средств на основе обнаружения контуров и использовании геометрической информации о контурах. Для обнаружения контуров применена математическая модель изображения на основе двумерной дискретнозначной цепи Маркова с двумя состояниями.

Алгоритм позволяет значительно снизить вычислительные ресурсы на детектирование и, соответственно, на распознавание символов регистрационных знаков транспортных средств. Для изображения размером 3 Мпкс время детектирования контуров номерной пластины - 0,046 с. Точность обнаружения номерной пластины достигает 91,47 %. Алгоритм детектирования обнаруживает номерную пластину для скошенного угла до 15 градусов.

5. Литература

- [1] Lukjanica, A.A. Digital video image processing / A.A. Lukjanica, A.G. Shishkin – Moscow: ISS Press, 2009. – 518 p.
- [2] Salau, A.O. Vehicle plate number localization using a modified GrabCut algorithm / A.O. Salau, T.K. Yesufu, B.S. Ogundare // Journal of King Saud University Computer and Information Sciences. – 2019. – Vol. 26(11). – P. 22-28.
- [3] Azam, S. Automatic license plate detection in hazardous condition / S. Azam, M.M. Islam // J. Vis. Commun. Image Represent. – 2016. – Vol. 36. – P. 172-186.
- [4] Lalimi, M.A. A vehicle license plate detection method using region and edge based method / M.A. Lalimi, S. Glofrani, D. McLernon // Comput. Electr. Eng. – 2013. – Vol. 39. – P. 834-845.
- [5] Faradji, F. A morphological-based license plate location / F. Faradji, A.H. Rezaie, M. Ziaratban // Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. – 2007. – Vol. 1. – P. 57-60.
- [6] Wang, Y. License plate recognition based on SIFT feature / Y. Wang, J. Chen, B. Hu, X. Yang, X. Ban // Optik Int. J. Light Electron Opt. – 2015. – P. 1-24.
- [7] Li, J. A color and texture feature based approach to license plate location / J. Li, M. Xie // Proceedings of the International Conference on Computational Intelligence and Security, Harbin, 2007. – P. 376-380.
- [8] Kurpiel, F.D. Convolutional neural networks for license plate detection in images / F.D. Kurpiel, R. Minetto, B.T. Nassu // Conference: International Conference on Image Processing, At Pequin, China, 2017.
- [9] Asif, M.R. License plate detection for multi-national vehicles: An illumination invariant approach in multi-lane environment / M.R. Asif, Ch. Qi, T. Wang, M.S. Fareed, S.A. Raza // Computers and Electrical Engineering. – 2019. – Vol. 78. – P. 132-147.
- [10] Gonzalez, R. Digital Image Processing / R. Gonzalez, R. Woods // M.: Technosphere. – 2012. – 1104 p.
- [11] Medvedeva, E.V. Improving the Noise Immunity of Receiving Video Distorted White Gaussian Noise / E.V. Medvedeva, I.S. Trubin // Proceedings International Siberian Conference on Control and Communications – Moscow, 2016.

- [12] Petrov, E.P. Mathematical Models of Video-Sequences of Digital Half-Tone Images / E.P. Petrov, I.S. Trubin, E.V. Medvedeva, S.M. Smolskiy // Integrated models for information communication systems and net-works : design and development. IGI Global, 2013. – P. 207-241.
- [13] Medvedeva, E.V. Image Segmentation Based on Two-Dimensional Markov Chains / E.V. Medvedeva, E.E. Kurbatova // Computer Vision in Control Systems-2. Innovations in Practice. Springer International Publishing Switzerland. – 2015. – P. 277-295.

The algorithm for vehicle number plate detection

E.V. Medvedeva¹, P.Yu. Kasper¹, I.S. Trubin¹

¹Vyatka State University, Moskovskaya str. 36, Kirov, Russia, 610000

Abstract. In this paper, we suggest an algorithm for vehicle number plate detection in images. The algorithm is based on the contour detection and the use of geometric information about the contours. To detect the contours, we use a mathematical image model based on a two-dimensional discrete-valued Markov chain with two states. To reduce computational resources, it is proposed to carry out the number plate detection on the bit planes of the older, most informative bits of the digital image. The simulation results confirm the effectiveness of the method. The detection accuracy of the number plate reaches 91.47%. The obtained estimates of number plate detection indicate the advantages of the proposed algorithm compared to the known detectors up to 11 times.