

АЛГОРИТМ СЕГМЕНТАЦИИ СИМВОЛОВ НОМЕРНОГО ЗНАКА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Аннотация. Рассматривается эффективный вычислительный метод сегментации отдельных символов номерного знака. Разбиение области на блоки проводится в предположении, что символы локализованы в конкретных областях. Изображение номерного знака делится на n частей, где n — число символов. Описан алгоритм сегментации символов номерной пластины, на базе которого разработан модифицированный вариант данного алгоритма. В качестве математического аппарата для решения рассматриваемой задачи использован контурный анализ. Предложенный алгоритм сегментации символов позволяет использовать его в системах распознавания автомобильных номеров.

Ключевые слова: краевые точки, анализ изображения, сегментация символов, контурный анализ, путь с наименьшей стоимостью.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящее время большое внимание уделяется развитию интеллектуальных транспортных систем, в которых имеется подсистема автоматического распознавания регистрационных номеров автомобилей. Эта подсистема позволяет не только распознавать и определять число транспортных средств (ТС), но и различать их между собой посредством считывания уникального для каждого автомобиля регистрационного номера. Благодаря этому нет необходимости устанавливать дополнительные датчики на ТС для его корректного опознания.

Ввиду многообразия внешних условий, в которых необходимо работать системам автоматического распознавания номеров автомобилей, методики, используемые при создании систем, могут в значительной степени различаться. Однако все существующие в настоящее время системы включают два основных устройства, предназначенных для получения изображения и блока обработки и последующего анализа изображений, результаты которого во многом зависят от качества снимков. Полученное изображение передается блоку обработки и анализа изображений, который обычно включает три этапа: 1) локализацию номерного знака, 2) сегментацию на нем отдельных букв и цифр, 3) распознавание символов номерного знака.

При идентификации номерного знака автомобиля следует учитывать множество негативных факторов окружающей среды: низкое качество изображения, часто меняющееся внешнее освещение, наличие на автомобиле помимо номерного знака других надписей, отражение света от поверхности автомобиля, окраска в белый цвет автомобиля, сходство цветов автомобиля и номерных знаков.

После того, как на изображении выделена область номерного знака, необходимо выполнить бинаризацию отделения объекта от фона. Теоретически интересующая область имеет символы одного цвета (черного) на фоне другого цвета (белого, желтого, синего и др.). Номерной знак имеет такие показатели: краевые точки, текстуры, цвет и симметрию.

На сегодняшний день существует много методов и алгоритмов сегментации номерных знаков, которые могут быть сгруппированы в зависимости от используемых характерных признаков изображения [1–6]. Лучшие результаты дает метод, основанный на построении горизонтальной проекции изображения. При

этом переход от впадины символа к пику (и наоборот) свидетельствует о начале нового символа номерного знака. При хорошем качестве выделения области номерного знака и устранения рамки этот метод может давать хорошие результаты вследствие его независимости от местонахождения символов. Однако он является достаточно чувствительным к качеству изображения.

В работах [1, 2] для сегментации номерного знака на отдельные символы на первом этапе оценивается достоверность принадлежности пикселей линиям символов. На втором этапе определяется вектор \mathbf{A} средней оценки достоверности по столбцам: $\mathbf{A}_j = \frac{1}{h} \sum_{i=1}^h EZ_{i,j}$, с помощью которого можно обнаружить промежутки

фона между символами. На третьем этапе обнаруживаются вертикальные разделители — границы между символами. На четвертом этапе уточняется местоположение вертикальных и горизонтальных границ символов, где по порогу осуществляется бинаризация фрагментов номера для определения координат выделенного на фрагменте объекта.

Предложенные методы просты и требуют малого времени вычисления. Однако изменение положения камеры относительно ТС приводит к возможным искажениям изображения, вертикальная и горизонтальная оси которого уже не будут параллельны осям номерного знака. Поэтому в случае наклона номерного знака ТС проекционные методы приводят к существенным ошибкам. Альтернативой таким методам являются методы, которые основаны на анализе областей [5–7].

РЕКУРСИВНЫЙ АЛГОРИТМ СЕГМЕНТАЦИИ СИМВОЛОВ НОМЕРНОГО ЗНАКА

Одним из возможных способов преодоления указанных выше трудностей является выделение символов номерного знака, которое проводится на основе совмещения полутонового и бинаризованного изображений. Как известно, контраст между пикселями символов знака и фоном достаточно высок, в то время как между соседними пикселями фона он намного меньше. С учетом этого необходимо установить начальные точки в верхней строке полутонового изображения области номерного знака и найти пути с «наименьшей стоимостью». Стоимость пути S определяется как сумма разностей интенсивностей соседних пикселей вдоль всего пути [3, 4]:

$$S = \sum_k |I_k - I_{k-1}|,$$

где индекс k пробегает все значения относительно рассматриваемого пути, а I_k — соответствующие значения интенсивности пикселей, лежащих на данном пути. Такая операция позволяет отделять символы один от другого, поскольку путь с наименьшей стоимостью только в редких случаях будут пересекать сами символы (например, при значительном загрязнении номерного знака, но тогда и остальные методы также окажутся неэффективными).

На рис. 1 представлены возможные переходы между соседними пикселями изображения, формирующие путь. Здесь пиксель 1 соединен с пикселями 2–4. В изображении каждый пиксель может рассматриваться как вершина графа, соединенная с тремя соседними пикселями (слева, справа и снизу).

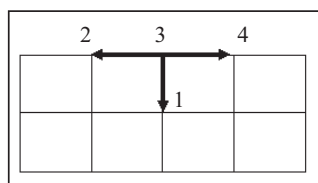


Рис. 1. Возможные переходы между соседними пикселями

Модуль разности значений интенсивности в этих пикселях представляет стоимость перехода от одного пикселя к другому. На верхней строке изоб-

ражения фиксируются начальные вершины в разных точках и вычисляется стоимость путей до нижней строки. Преимущество такого метода — отсутствие какого-либо порогового значения. Однако число операций, необходимых для расчета всех путей, велико.

В работе [3] предложена оптимизация рассмотренного алгоритма.

1. Зная количество символов номерного знака, ширину и высоту выделенной области, можно оценить минимальную ширину отдельного символа W .

2. В качестве начальных вершин в верхней строке изображения выбирается каждый $(W/2)$ -й пиксель.

3. Вычисляются пути, имеющие наименьшую стоимость для первого (крайнего слева) и последнего (крайнего справа) начальных пикселей. Помечают их как пиксели, «принадлежащие пути».

4. Выбирается из числа начальных такой пиксель, который находится посередине между двумя принадлежащими пути пикселями. Вычисляется для него путь с наименьшей стоимостью, и также он помечается как принадлежащий пути пиксель.

5. Если два пути с наименьшей стоимостью заканчиваются в одной и той же точке, то все начальные пиксели, лежащие между двумя этими путями, помечаются как пиксели, принадлежащие пути.

6. Если остались начальные пиксели, не помеченные как имеющие путь, то переход к п. 4.

Недостатком данного алгоритма является рекурсивный порядок обхода строки изображения, что увеличивает временные затраты на обработку изображения номерной пластины.

ПОДХОД, УСТРАНЯЮЩИЙ РЕКУРСИВНЫЙ ХАРАКТЕР АЛГОРИТМА

1. Введем для рассмотрения вектор V , как вектор координат верхней строки изображения номерного знака для выполнения разбиения на отдельные символы [8]. Первоначально вектор $V^{(0)} = \{(0, 0) (0, 1) \dots (0, N - 1)\}$ имеет длину $L^{(0)}$, равную N — ширине изображения номерного знака, т.е. $L^{(0)} = N$.

Начальными вершинами выбираются крайний левый и крайний правый элементы вектора $V^{(0)}$, которые соответствуют пикселям в верхней строке изображения номерного знака с координатами $(0, 0)$ и $(0, N - 1)$ соответственно, где N — ширина изображения номерного знака.

2. Для крайнего левого элемента вектора $V^{(0)}$ с координатами $(0, 0)$ строится путь с минимальным весом, который заканчивается последней строкой изображения; он может состоять из переходов вниз и вправо (рис. 2, а). Для крайнего правого элемента вектора $V^{(0)}$ с координатами $(0, N - 1)$ строится путь с минимальным весом к последней строке изображения, который состоит из переходов вниз и влево (рис. 2, б).

Вес пути при переходе вниз и вправо $S_{(m,n)}^{DR}$ к пикселю с координатами (m, n) определяется как минимальный вес путей, направленных к данному пикселю из соседнего пикселя с координатами $(m-1, n)$ и весом $S_{(m,n)}^D$ при

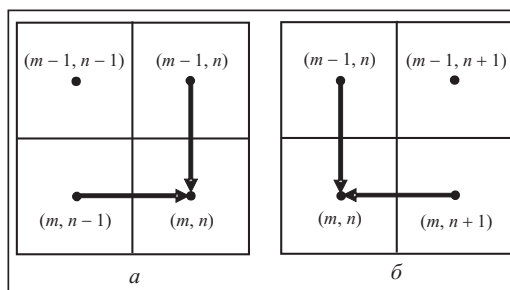


Рис. 2. Возможные переходы при построении путей: вниз и вправо (а); вниз и влево (б)

переходе вниз и из соседнего пикселя с координатами $(m, n-1)$ и весом $S_{(m,n)}^R$ при переходе вправо, по следующему правилу [9]:

$$S_{(m,n)}^{DR} = \min \{ S_{(m,n)}^D, S_{(m,n)}^R \},$$

$$S_{(m,n)}^D = S_{(m-1,n)}^{DR} + |I_{m,n} - I_{m-1,n}|,$$

$$S_{(m,n)}^R = S_{(m,n-1)}^{DR} + k |n - n^*| \cdot |I_{m,n} - I_{m,n-1}|,$$

где $I_{x,y}$ — интенсивность пикселя с координатами (x, y) , $k > 1$ — коэффициент, пропорциональный ширине изображения и введенный для приоритета пути вниз перед путем вправо.

Вес пути при переходе вниз и влево $S_{(m,n)}^{DL}$ к пикселю с координатами (m, n) определяется как минимальный вес путей, направленных к данному пикселю из соседнего пикселя с координатами $(m-1, n)$ и весом $S_{(m,n)}^D$ при переходе вниз и из соседнего пикселя с координатами $(m, n+1)$ и весом $S_{(m,n)}^L$ при переходе влево, по следующему правилу [7]:

$$S_{(m,n)}^{DL} = \min \{ S_{(m,n)}^D, S_{(m,n)}^L \},$$

$$S_{(m,n)}^D = S_{(m-1,n)}^{DL} + |I_{m,n} - I_{m-1,n}|,$$

$$S_{(m,n)}^L = S_{(m,n+1)}^{DL} + k |n - n^*| \cdot |I_{m,n} - I_{m,n+1}|,$$

где $I_{x,y}$ — интенсивность пикселя с координатами (x, y) , $k > 1$ — коэффициент, пропорциональный ширине изображения и введенный для приоритета пути вниз перед путем влево.

3. Если пути от крайнего левого элемента и крайнего правого элемента вектора $V^{(0)}$ не пересеклись в какой-то точке изображения, не соответствующей последней строке, то это значит, что между данными элементами могут находиться символы номерного знака. Таким образом, начальный вектор $V^{(0)}$ можно разбить на два вектора: $V^{(1)}$ и $V^{(2)}$, каждый из которых, в свою очередь, также может быть разбит:

$$V^{(1)} = \{(0, 0) (0, 1) \dots (0, \lfloor N/2 \rfloor)\},$$

$$V^{(2)} = \{(0, \lfloor N/2 \rfloor) \dots (0, N-2) (0, N-1)\},$$

где $\lfloor x \rfloor$ — целая часть числа x .

4. Если пути от крайнего левого элемента и крайнего правого элемента вектора $V^{(0)}$ пересеклись в какой-то точке изображения, не соответствующей последней строке, то это значит, что между данными элементами не существует новых символов номерного знака и вектор $V^{(0)}$ не подлежит дальнейшему разбиению на отдельные символы.

5. Для каждого нового вектора $V^{(k)}$, подлежащего дальнейшему разбиению, повторяются шаги 2–4 до тех пор, пока каждый вектор $V^{(k)}$ ни будет иметь пересекающихся путей от крайнего левого элемента и крайнего правого элемента (шаг 4), либо вектор будет состоять всего из двух элементов.

ПРИМЕР РАБОТЫ МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГОРИТМА СЕГМЕНТАЦИИ СИМВОЛОВ НОМЕРНОГО ЗНАКА

Модифицированный алгоритм сегментации символов номерного знака транспортного средства был реализован в пакете MathCAD и протестирован на основе 1000 изображений транспортных средств, полученных камерой мобильного телефона. На рис. 3 представлено тестовое изображение транспортного средства, подлежащее сегментации на отдельные символы, а на рис. 4 дано изображение его номерного знака. Полученные изображения реализованы в программной среде MathCAD.

Рассмотрим алгоритм пошаговой сегментации номерного знака.

1. Вычисляется вес пути между всеми соседними пикселями и результат записывается в матрицу V .

2. Находится граница отдельных символов с использованием матрицы V и записывается результат в матрицу R , в которой хранятся пути от верхней границы номерного знака до нижней границы.

3. Создается шаблон, разделяющий отдельные символы номерного знака (рис. 5).



Рис. 3. Исходное изображение транспортного средства



Рис. 4. Изображение номерного знака транспортного средства



Рис. 5. Шаблон, разбивающий изображение номерного знака на отдельные символы

4. Для отделения символов один от другого необходимо построить восьмисвязанную (по числу символов) границу раstra; в результате происходит разделение пикселей номерного знака на отдельные символы (рис. 6).

5. Строятся контуры по алгоритму Розенфельда [10, 11].

6. Проводится фильтрация контуров и выделяются те из них, которые содержат объект.

7. Выполняется фиксация контуров, содержащих объекты, на автомобильном номерном знаке (рис. 7).

8. Формируются прямоугольные области, ограничивающие символы (рис. 8).



Рис. 6. Границы объектов на изображении



Рис. 7. Фиксация контуров с объектами



Рис. 8. Прямоугольные области, ограничивающие отдельные символы

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЛОЖЕННОГО МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГОРИТМА СЕГМЕНТАЦИИ

Модифицированный алгоритм сегментации символов номерного знака транспортного средства был реализован в пакете MathCAD и протестирован на осно-

Таблица 1

Алгоритм вычисления	Время обработки одного кадра (10^{-3} с) с размерами изображения				
	320 × 240	400 × 300	640 × 480	800 × 600	1024 × 768
Алгоритм 1	0,5	0,9	2,21	3,31	5,65
Алгоритм 2	0,35	0,52	0,9	1,33	2
Ускорение	1,4	1,7	2,4	2,5	2,8

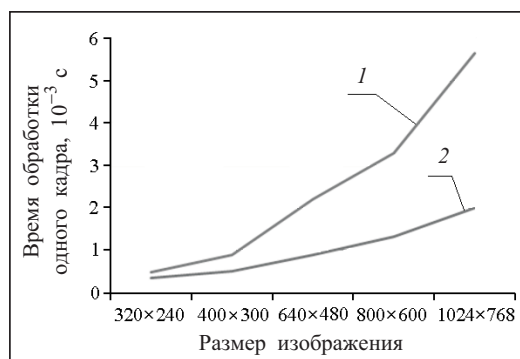


Рис. 9. Время обработки одного кадра алгоритмом 1 (1) и алгоритмом 2 (2)

методом нахождения пути с наименьшей стоимостью, имеющий рекурсивный характер. Алгоритм 2 — усовершенствованный алгоритм сегментации номерного знака методом нахождения пути с наименьшей стоимостью без рекурсии.

Преимуществом усовершенствованного алгоритма сегментации номерного знака методом нахождения пути с наименьшей стоимостью без рекурсии является точное нахождение границ символов. Недостаток этого алгоритма — чувствительность к качеству изображения и к результатам бинаризации области номерного знака, поскольку плохая бинаризация обычно ведет к слиянию двух и более символов в одну связную компоненту. Малое расстояние между символами также является проблемой для данного алгоритма.

ве 1000 изображений транспортных средств с размерами 320×240, 400×300, 640×480, 800×600, 1024×768, полученных камерой мобильного телефона.

Цель тестирования — выявить эффективность быстродействия усовершенствованного алгоритма сегментации методом нахождения пути с наименьшей стоимостью. В табл. 1 и на рис. 9 представлено время обработки одного кадра двумя методами. Алгоритм 1 — алгоритм сегментации номерного знака

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галуев Г.А., Тараненко А.С. Нейросетевая система автоматической идентификации номерных знаков автомобилей. *Искусственный интеллект*. 2002. № 4. С. 666–674.
2. Мурыгин К.В. Нормализация изображения автомобильного номера и сегментация символов для последующего распознавания. *Искусственный интеллект*. 2010. № 3. С. 364–369.
3. Лукьяница А.А., Шишкин А.Г. Цифровая обработка видеоизображения. Москва: Ай-Эс-Эс Пресс, 2009. 518 с.
4. Леухин А.Н., Парсаев Н.В., Рахманов Х.Э. Алгоритм сегментации символов локализованного номерного знака транспортного средства. *Доклады 16-й Международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение — DSPA-2014»*. Москва, 2014. Т. 2. С. 526–528.
5. Jain A.K., Farrokhnia F. Unsupervised texture segmentation using gabor filters. *Proc. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. Los Angeles, 1990. P. 14–19.
6. Kahraman F., Kurt B., Gökmen M. License plate character segmentation based on the Gabor transform and vector quantization. In: *Computer and Information Sciences — ISCIS 2003. Lecture Notes in Computer Science*. Yazici A., Sener C. (Eds.). 2003. Vol. 2869. P. 381–388.
7. Opanasenko V.N., Kryvyi S.L. Synthesis of neural-like networks on the basis of conversion of cyclic Hamming codes. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2017. Vol. 53, N 4. P. 627–635. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10559-017-9965-z>.

8. Рахманов Х.Э., Мамарауфов О.А., Хужаяров И.Ш. Модифицированный алгоритм сегментации символов номерного знака транспортного средства. *Наука и мир*. 2015. Т. 1, № 11 (27). С. 82–87.
9. Рахманов Х.Э. Решение задачи распознавания номерных знаков транспортных средств методом контурного анализа. *Вестник ПГТУ. Радиотехнические и инфокоммуникационные системы*. 2014. № 3. С. 66–73.
10. Фурман Я.А., Кревецкий А.В., Передреев А.К., Роженцов А.А., Хафизов Р.Г., Егошина И.Л., Леухин А.Н. Введение в контурный анализ. Приложения к обработке изображений и сигналов. Под ред. Я.А. Фурмана. Москва: Физматлит, 2003. 592 с.
11. Розенфельд А. Распознавание и обработка изображений. Пер. с англ. Москва: Мир, 1972. 232 с.

Надійшла до редакції 01.11.2018

Р.Х. Хамдамов, Х.Е. Рахманов

АЛГОРИТМ СЕГМЕНТАЦІЇ СИМВОЛІВ НОМЕРНОГО ЗНАКА ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Анотация. Розглянуто ефективний обчислювальний метод сегментації окремих символів номерного знака. Розбиття ділянки на блоки відбувається залежно від того, як символи локалізовано в певних конкретних ділянках. Зображення номерного знака поділяють на n частин, де n — кількість символів. Описано алгоритм сегментації символів номерної пластини, на базі якого розроблено модифікований варіант пропонованого алгоритму. Як математичний апарат для розв'язання цієї задачі використано контурний аналіз. Запропонований алгоритм сегментації символів дозволяє використовувати його в системах розпізнавання автомобільних номерів.

Ключові слова: крайові точки, аналіз зображення, сегментація символів, контурний аналіз, шлях з найменшою вартістю.

R.Kh. Khamdamov, H.E. Rakhmanov

AN ALGORITHM FOR SEGMENTATION OF SYMBOLS OF A VEHICLE LICENSE PLATE

Abstract. An efficient computational method of segmentation of individual symbols at a license plate is considered. Division into blocks is carried out on the assumption that the symbols are localized in certain specific areas. The license plate image is divided into n parts, where n is the number of characters. The paper also describes a segmentation algorithm that underlies a modified version of this algorithm. Contour analysis was used as a mathematical apparatus for the solution of this problem. The proposed symbol segmentation algorithm allows its use it in systems of recognition of vehicle license plates.

Keywords: edge points, image analysis, symbol segmentation, contour analysis, path with the lowest cost.

Хамдамов Рустам Хамдамович,

доктор техн. наук, профессор, директор Научно-инновационного центра информационно-коммуникационных технологий при Ташкентском университете информационных технологий имени Мухаммада аль-Хоразмий, Узбекистан, e-mail: ceo@insoft.uz.

Рахманов Хошим Эрданович,

докторант PhD Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада аль-Хоразмий, Узбекистан, e-mail: hoshimrahmonov@gmail.com.