

*Для перехода от монохромного представления изображения к бинарному иногда недостаточно порогового преобразования, которое используется в большинстве систем распознавания автомобильных номеров. При плохом или неравномерном освещении, значительном загрязнении это преобразование не позволяет корректно отделить символы знака от фона. Предлагается модифицированный метод регионального сегментирования, позволяющий преодолеть проблему неравномерного освещения в процессе бинаризации изображения.*

## Бинаризация монохромных изображений в системах распознавания автомобильных номеров

**Белоус Н. В.,**

Доцент кафедры Программное обеспечение ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники, пр. Ленина, 14, г. Харьков, 61166.

Контактный телефон: 701-28-91

**E-mail: belous@kture.kharkov.ua**

**Пархоменко С. А.,**

Аспирант кафедры Программное обеспечение ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники, пр. Ленина, 14, г. Харьков, 61166.

Контактный телефон: 370-22-64

**E-mail: killer@sst-ukraine.com**

**Кобзарь Г. А.**

Аспирант кафедры Программное обеспечение ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники, пр. Ленина, 14, г. Харьков, 61166.

Контактный телефон: 705-46-02

**E-mail: GlebKobzar@yahoo.com**

### Введение

С каждым годом возрастает число запросов на создание систем автоматической обработки данных по дорожному трафику и автоматической идентификации автомобилей. По всему миру разрабатываются и внедряются новейшие технологии машинного зрения для мониторинга и управления дорожным движением [1–4]. В ближайшее время такие системы распознавания автомобильных номеров будут внедряться и на Украине. Однако существующие системы, к сожалению, далеко не всегда эффективно работают в нестандартных дорожных условиях: постоянно загрязненные номера, нефункционирующая подсветка, плохая освещенность дорог в темное время суток. Все эти факторы значительно усложняют задачи распознавания и регистрации автомобильных номеров.

Данная статья посвящена проблемам бинаризации в системах автоматического распознавания автомобильных номеров при неоднородном освещении номерного знака. Предлагается модифицированный метод регионального сегментирования, позволяющий преодолеть проблему неравномерного освещения в процессе бинаризации изображения. Кроме того, рассмотрены проблемы определения положения (локализации) номерного знака, сегментации отдельных символов и их распознавания.

### 1. Системы распознавания автомобильных номеров

В типичной ситуации LPR (License Plate Recognition) система – система распознавания автомобильных номеров – анализирует изображения, получаемые от камеры (или нескольких камер), установленной у дороги или при въезде на какую-либо территорию: платную стоянку, парк и т. д. Захват изображения управляется индуктивным циклом. Система должна находить и распознавать символы на видеоизображении для того, чтобы получить декодированный автомобильный номер. Практика показывает, что для полноценной обработки видеоизображения дороги с напряженным трафиком в реальное время, среднее время распознавания одного номерного знака должно быть не более 1 секунды [5].

На Рисунке 1 представлена схема функциональной декомпозиции LPR системы. Контроллер распределяет задачи между различными модулями. Основные модули соответствуют основным задачам каждой системы распознавания автомобильных номеров:

- 1) Локализация номерного знака;
- 2) Сегментация символов;
- 3) Идентификация (распознавание) символов;

Для эффективной работы системы распознавания номерных знаков необходимо, чтобы при любых условиях корректно работали все модули. От правильно-



**Рисунок 1.** Функциональная декомпозиция LPR системы.

сти локализации номерной пластины, а также качества сегментации, напрямую зависит точность распознавания отдельных символов (OCR – Optical Character Recognition).

Все перечисленные задачи тесно связаны между собой. Если полученная последовательность символов соответствует заданному синтаксису, предполагается, что номерной знак был локализован корректно и нет необходимости продолжать поиск.

Очевидно, для корректной локализации номерного знака недостаточно одной характеристики формы объекта. Необходимо учитывать и тот факт, что номерной знак содержит текстовые символы. Первоначальные попытки использовать для локализации методы выделения текста, разработанные для факсимильной передачи документов, а также локализации текстовых полей на почтовых конвертах не привели к успеху, так как номерные знаки содержат слишком мало символов – от 6 до 8.

Первые системы автоматического распознавания номерных знаков были разработаны Элсиделом в 1988 и Като в 1991. Однако очень мало известно о методах локализации и сегментации, которые они использовали. Система распознавания, разработанная Ниджхисом и его командой в 1995, использует цветовую информацию для локализации номерных знаков. Эта система была испробована на 10000 различных изображений без проверки удобочитаемости и некорректности номерных знаков и в 75,4 % случаев определила положение номерного знака на изображении [1].

В настоящее время для локализации чаще всего используется новый полосный метод, впервые предложенный Стоурером в 1994 году и затем усовершенствованный Баласом-Крузом [1,2]. Этот метод вместо поиска символов на изображении анализирует «сечение» номерного знака по полосе сканирования изображения (Рис. 2).



**Рисунок 2.** Полосный метод локализации номерных знаков.

## 2. Бинаризация

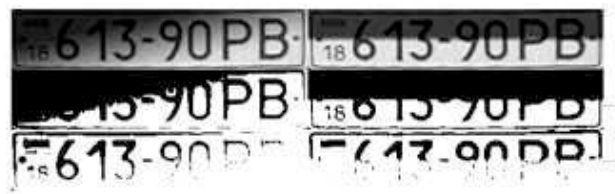
Для сегментации отдельных символов необходимо получить бинарное представление изображения, поскольку практически все методы распознавания

печатных символов работают именно с бинарной информацией. Преобразование монотонного или цветного изображения к бинарному называют операцией бинаризации. В результате этой операции точки фона номера и точки символов получают соответственно уровни 0 и 1. От точности преобразования монохромного или цветного изображения к бинарному представлению напрямую зависит точность распознавания номера и возможность такого распознавания. В данной работе рассматривается бинаризация только монохромных изображений, т. к. распознавание

цветных номеров, которые также включены в стандарты нашей страны, является более простой, производной задачей.

В большинстве существующих систем распознавания автомобильных номеров для бинаризации изображения используется пороговое преобразование [1-4]. Однако для перехода от монохромного представления изображения к бинарному иногда недостаточно просто порогового преобразования. Этот метод позволяет эффективно работать только с равномерно освещенными номерами, в изображении которых однозначно можно выделить два уровня яркости, соответствующих символам текста (чаще всего черный) и фону номерного знака (чаще всего белый). Для неконтрастных изображений и изображений со сдвигом порога яркости применяется также гистограммный метод, позволяющий автоматически выделить два наиболее значимых на изображении уровня яркости, в какой бы части гистограммы они ни находились. Но и гистограммный метод не позволяет преодолеть все проблемы сегментации знаков автомобильного номера, связанных с искажениями и изменениями, которым может быть подвергнут исходный (новый) номерной знак в результате плохого или неравномерного освещения, значительного загрязнения, деформаций и др. факторов.

На рисунке 3 показаны примеры освещенности номеров, приводящих к некорректной пороговой бинаризации. Для этих примеров невозможно найти порог, при котором символы однозначно отличались бы от заднего фона.



**Рисунок 3.** Неравномерное освещение номерных знаков.

Можно выделить следующие возможные искажения изображения номерного знака автомобиля:

- 1) Искажения, связанные с расположением камеры: поворот, сдвиг, перспективные искажения (аффинные искажения).
- 2) Искажения в результате деформации номерного знака.
- 3) Неконтрастное изображение в результате плохого освещения, тумана или загрязнения номера.

- 4) Искажения рамок номерного знака, при которых фон номерного знака сливается с корпусом автомобиля на изображении.
- 5) Неравномерное освещение знака с плавным переходом (например, тень от постороннего объекта).
- 6) Неравномерное освещение знака с резким переходом, когда источник света находится сверху (тень от самого автомобиля).

Для корректного распознавания номерного знака все эти возможные искажения не должны влиять на процессы бинаризации, сегментации отдельных символов и их распознавания.

Аффинные искажения устраняются до или после этапа бинаризации. Задача устранения аффинных искажений упрощается «прямоугольностью» формы номерного знака, хотя точно проследить контур номерного знака не всегда удается. Контрастность изображения также можно повысить с помощью гистограммы. Остальные же искажения должны быть подавлены во время бинаризации. Таким образом, преобразование бинаризации должно сегментировать символы номерного знака от заднего фона независимо от яркости освещения и его равномерности.

### 3. Применение модифицированного метода региональной сегментации для бинаризации

В настоящее время существует множество различных способов сегментации изображений. Можно выделить три основных подхода к сегментации [6]:

- 1) Гистограммный подход.
- 2) Граничный подход.
- 3) Региональный подход.

Гистограммный подход подразумевает применение порогового преобразования с автоматическим определением порога и границ яркостей по гистограмме изображения. Использование этого подхода при сегментации номерных знаков было описано выше и не позволяет преодолеть проблемы неравномерного освещения.

Граничный подход основан на нахождении карты границ изображения с помощью одного из матричных операторов (Собела, Превита или Лапласа). Далее по карте границ восстанавливаются контуры символов. Однако этот подход действует только для незагрязненных и контрастных номеров. Проблемы неравномерного освещения вносят дополнительные трудности при выделении значимых граней.

Третий, региональный подход использует свойство однородности различных областей (участков) изображения, относящихся к сегментируемым объектам или фону, на котором они располагаются. В качестве свойств однородности могут использоваться как средний уровень яркости области, так и значения градиента изображения на этом участке. В настоящее время этот подход считается наиболее эффективным. Существуют несколько разновидностей региональной сегментации: возрастание областей (Region Growing), объединение областей (Region Merging), разделение областей (Region Splitting) [7]. Недостатком регионального подхода является низкая производительность. Но как уже было сказано выше, время распознавания номера одной машины сильно ограничено.

Авторами предлагается модифицированный метод регионального сегментирования, который позволяет сегментировать символы номерного знака от заднего фона при неравномерном освещении номерных знаков, а также при других возможных искажениях пластины автомобильного номера. Этот метод основан на одном из региональных подходов сегментации изображений, называемом «Region Growing» (Возрастание областей), и применении градиента изображения.

Пусть  $I$  – множество всех точек изображения, а  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , где  $A_i \subset I$  – некоторые подмножества  $I$ , представляющие собой области 8-связных точек изображения  $I$ . Под возрастанием областей понимается процесс постепенного расширения начальных подмножеств  $A_1, A_2, \dots, A_n$  за счет множества неопределенных точек  $E \subset I$ , обладающих теми же свойствами, что и точки расширяющейся области  $A_i$ , и граничащих с  $A_i$ .

Исходя из этого, результат сегментации и скорость его получения зависит от того, каким способом и в каком объеме было задано множество  $A$  начальных областей, и от того, какое отношение близости было задано.

На изображении номерного знака автомобиля присутствует два типа областей: области светлых точек, относящиеся к фону и области темных точек, соответствующие символам знака. Мы предлагаем гистограммный способ задания начального множества, наиболее соответствующий характеру сегментируемых объектов, а также учитывать характер формы знака при задании начального множества областей. Для этого с помощью гистограммы изображения множество всех точек изображения  $I$  разбивается на три начальных подмножества:

- 1) Множество  $W \subset I$  точек однозначно относящихся к светлому фону номера.
- 2) Множество  $B \subset I$  точек однозначно относящихся к темным символам номера.
- 3) Множество  $E \subset I$  неопределенных точек, которые однозначно нельзя отнести к множеству  $W$  или  $B$ .

Исходя из формы номерного знака, множество  $W$  расширяется за счет граничных точек. Далее, на каждом шаге алгоритма в соответствии с принципами однородности множества точек  $W$  и  $B$  расширяются за счет соседних точек, принадлежащих множеству  $E$ :

$$E_W = \{q \in E \mid N(q) \cap W \neq \emptyset\},$$

$$E_B = \{q \in E \mid N(q) \cap B \neq \emptyset\},$$

где  $N(q)$  – непосредственно соседние точки для точки  $q$ ,  $E_W$  – множество расширения областей белых точек,  $E_B$  – множество расширения областей черных точек.

Процесс расширения заканчивается, когда в множестве  $E$  не остается ни одной точки. Кроме того, в разработанном методе введено дополнительное ограничение по расширению регионов в зависимости от значения морфологического градиента изображения на участке возможного расширения.

Морфологический градиент функции  $f$  изображения  $I$  (в нашем случае – уровень серого) определяется как:

$$g(f) = (f \oplus B) - (f \ominus B),$$

где  $(f \oplus B)$  и  $(f \ominus B)$  – расширение (дилатация) и эрозия  $f$ .

Когда  $f$  является непрерывно дифференцируемой, морфологический градиент эквивалентен модулю градиента  $f$ :

$$g(f) = \left[ \left( \frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}.$$

Простейший способ аппроксимировать значение модуля – рассчитать для каждой точки  $x$  разницу между самой высокой (яркой) и самой низкой (темной) точкой некоторого окружения  $x$  в топологической интерпретации [8]. Другими словами, для функции  $f$  это разница расширенной функции  $(f \oplus B)$  и эродированной функции  $(f \ominus B)$ .

В предлагаемой модификации регионального метода расширение областей на каждом шаге ограничено порогом градиента. Точки изображения, значения градиента в которых выше текущего порога, не участвуют в расширении. С каждым шагом порог поднимается, и фактически, процесс расширения оканчивается, когда порог градиента достиг максимального значения. Благодаря этому в первую очередь объединятся области, которые разделены границами неопределенных точек с наименьшим значением градиента.

Таким образом, разработанный модифицированный метод регионального сегментирования объединяет в себе положительные качества всех трех подходов сегментации:

- быстроту гистограммного подхода при задании начальных множеств;
- принцип контрастность объекта и фона граничного подхода для ограничения скорости расширения регионов.
- точность и однозначность результатов подхода расширения регионов.

Результатом обработки изображения номерного знака с помощью разработанного метода является бинарное изображение, которое используется для дальнейшего распознавания отдельных символов и формирования строки номера. Результаты сегментации изображений номерных знаков по разработанному методу приведены в разделе экспериментальных исследований.

#### 4. Отделение и распознавание символов

После того, как получено бинарное представление номерного знака, необходимо отделить символы друг от друга для распознавания. Существует несколько способов разделения символов, которые применяются в современных системах распознавания текста. Они основываются на толщине связи, размере символов, вертикальному положению связей и т. д. Все эти способы универсальны и работают с графическим представлением бинарного изображения, что требует значительных временных затрат. Но поскольку символы номерного знака имеют строго вертикальное положение, их можно отделить с помощью так называемых вертикальных и горизонтальных гистограмм. Этот метод был впервые предложен Лу и называется «peak-to-valley» [9].

Метод «peak-to-valley» ищет минимумы («valleys») и максимумы («peaks») гистограммы (Рис. 4). Минимумы,

меньше определенного порога, соответствуют полосам разделения символов.



Рисунок 4. Метод «peak-to-valley» для отделения символов номерного знака.

Когда получены отдельные бинарные изображения символов, LPR система запускает модуль распознавания. Так как номерной знак имеет строго заданный шрифт, то для оптимизации скорости распознавания номера можно воспользоваться одним из самых быстрых, шаблонных, методов, однако для повышения точности распознавания при обработке нестандартного написания буквы или цифры более целесообразно применение структурного метода. Метод «фонтанного преобразования» совмещает в себе преимущества шаблонных и структурных методов к распознаванию и позволяет избежать недостатков, присущих каждому из них в отдельности [10]. В основе этого метода лежит использование структурно-пятенного эталона. Он позволяет представить изображения в виде набора пятен, связанных между собой парными отношениями, задающими структуру символа. Эти отношения (то есть расположение пятен друг относительно друга) образуют структурные элементы, составляющие символ.

#### 6. Экспериментальные исследования

При исследовании систем автоматического распознавания автомобильных номеров и предлагаемого метода региональной сегментации были программно реализованы следующие методы и операторы:

- 1) Оператор Собела для выделения карты границ на изображении.
- 2) Оператор морфологического градиента для выявления перепадов яркости на изображении.
- 3) Гистограммный метод сегментации изображений.
- 4) Модифицированный метод расширения областей для сегментации символов номерного знака.

Программная реализация перечисленных методов и операторов и обработка с помощью полученного ПО (Рис. 5) изображений различных автомобилей и отдельных номеров позволили выявить искажения, значительно влияющие на процесс распознавания, и сформулировать основные требования к построению систем распознавания и регистрации автомобильных номеров, а частности к способам локализации, бинаризации изображений номера и распознаванию символов.



**Рисунок 5.** Главное меню программы, реализующей методы и операторы обработки и сегментации изображений.

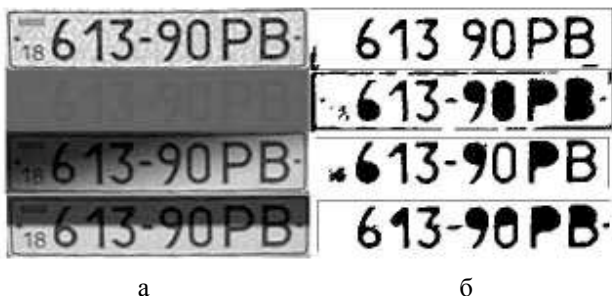
Экспериментальные исследования, проведенные на различных изображениях автомобилей, подтвердили непригодность гистограммного (порогового) метода бинаризации для распознавания неравномерно освещенных номеров (Рис. 3, Рис. 6). Однако по скорости этот метод значительно превосходит граничные и региональные методы и может применяться в системе распознавания наряду с ними для бинаризации равномерно освещенных номеров, а также номеров, не подвергнутых иным значительным искажениям.

Было исследовано поведение операторов градиента и Собела на неконтрастных и неравномерно освещенных номерах. Значение градиента и Собела в точках перехода между фоном и символами в затемненных местах и светлых местах значительно отличается (Рис. 6). Так что применение этих операторов для сегментации символов номера не эффективно.



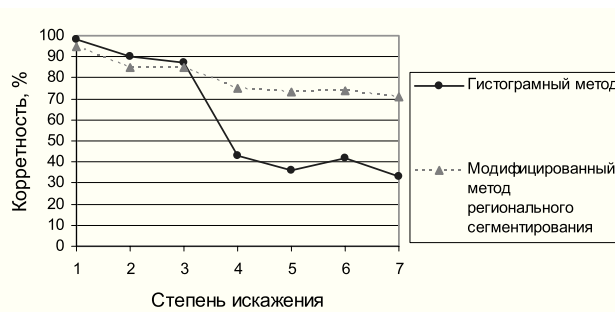
**Рисунок 6.** Поведение градиента на неравномерно освещенных изображениях.

Кроме того, была протестирована разработанная модификация метода региональной сегментации на изображениях номеров со значительными искажениями (Рис. 7).



**Рисунок 7.** Модифицированный региональный метод сегментации изображений: а — исходные изображения, б — результат работы разработанного метода.

Для сравнения, бинаризация этих изображений была также осуществлена на основе гистограммного метода. Экспертная оценка корректности бинаризации гистограммным методом и модифицированным методом региональной сегментации изображений с различной степенью искажений представлена в виде диаграммы на Рисунке 8:



**Рисунок 8.** Экспертная оценка корректности бинаризации с помощью порогового преобразования и модифицированного метода региональной сегментации при различной степени искажениях. Степени 4-7 соответствуют неравномерному освещению.

Очевидно, разработанный метод корректно выделяет символы на фоне номерной пластины, однако заметные искажения наблюдаются во внутренних контурах символов. Это обусловлено принципами расширения и захвата областей, соответствующих множеству неопределенных точек. Но этот эффект можно устранить с помощью этого же метода после выделения изображений отдельных символов.

## Выводы

В результате анализа существующих систем распознавания автомобильных номеров и их эффективной работы в специфических условиях были выявлены наиболее эффективные решения основных задач LPR систем: задач локализации, бинаризации, сегментации и распознавания.

Полосный метод, анализирующий «сечение» номерного знака по полосе сканирования изображения, позволяет локализовать номерной знак автомобиля независимо от освещенности и контрастности входного изображения, и применим при любых погодных условиях и расположении камер.

Метод «peak-to-valley» выделения отдельных символов на бинарном изображении хорошо работает даже на сильно искаженных изображениях: при слиянии граничных полос номера и символов, при слиянии символов и т.д. Для распознавания символов знака предлагается использование метода «фонтанного преобразования». Он совмещает в себе преимущества шаблонных и структурных методов распознавания и позволяет избежать недостатков, присущих каждому из них в отдельности. Этот метод не требует больших временных затрат и позволяет распознавать искаженные и декоративные символы.

Для бинаризации предлагается модифицированный региональный метод сегментации, эффективно работа-

ющий в условиях неравномерного освещения номерных знаков, пониженной контрастности изображения. Для тестирования этого и других методов бинаризации было разработано специальное ПО. Тестирование

подтвердило эффективность разработанного метода в отличие от гистограммного метода и граничных методов при обработке изображений, полученных в нестандартных условиях.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J. Barroso, A. Rafael, E. L. Dagless, J. Bulas-Cruz, «Number plate reading using computer vision», Computer Vision Group, University of Bristol, United Kingdom, 1997.
2. W. Kasprzak, M. Jankowski, «The implementation of a vision sensor for traffic surveillance», OMNI Project, EC-IST 1999-11250.
3. F. Martin Rodriguez, M. Garcia Saburido, J. L. Alba Castro, «New Methods for the Automatic Reading of Vehicle License Plates», SPPRA-2002, Heraklion (Greece), 2002.
4. J. C. M. Lee, «Automatic Character Recognition for Moving and Stationary Vehicles and Containers in Real-life Images», University of Science & Technology, Hong Kong, 1999.
5. S. – H. Lee, Y. – S. Seok, E. – J. Lee, «Multi-National Integrated Car-License Plate Recognition System Using Geometrical Feature and Hybrid Pattern Vector», Dept. of Information/Communication Eng., TongMyong Univ. of Information Technology, 2002.
6. H. Choi, «Image Segmentation. Final Report», Center for Imaging Science, Rochester Institute of Technology, 1998.
7. S. Ilic, B. Ulicny, «Seeded Region Growing Method for Image Segmentation», The Swiss Federal Institute of Technology, 2000.
8. Y. Lu, «Machine printed character segmenation», Pattern Recognition, vol. 28, n. 1, pp 67-80, Elsevier Science Ltd, UK, 1995.
9. N. J. Leite, M. T. Teixeira, «Morphological Scale-Space Theory For Segmentation Problems», Institute Of Computing, State University of Campinas, Brasil, 1998.
10. S. N. Srihari, «High-Performance Reading Machines», Proceedings of the IEEE, 80(7), July 1992, 1120-1132.