

## Улучшение изображений асфальтобетонных покрытий на основе методов сегментации

*А.А. Журавлев*

*Уральский федеральный университет*

**Аннотация:** Для оценки качества дорожного покрытия существует множество систем, работающих на основе конкретных алгоритмов, среди которых методы сегментации изображения. Временная сложность и точность классификации – два ключевых показателя при оценке эффективности конкретного алгоритма. В данной статье в качестве анализируемых методов сегментации изображений используются: Кластеризация  $k$ -средних, Линейная кластеризация, Адаптивные пороговые значения, Глобальные пороговые значения. На основе способов, описанных в разделе «Методология экспериментов», наилучшие показатели точности классификации и временной сложности имеет метод «Глобальные пороговые значения» (38,2% – точность классификации; временная сложность – линейная (такой же тип сложности имеют и другие методы, однако, у данного алгоритма гораздо меньшие абсолютные временные показатели).

**Ключевые слова:** сравнение, метод, сегментация, изображение, фотография, дорога, покрытие, состояние, точность, классификация, время, сложность.

### Введение

Роль дорог в жизни почти каждого человека достаточно велика. В связи с этим, оценка качества дорожного покрытия является одной из самых популярных задач во всем мире. Для этого существует множество систем, которые работают на основе определенных алгоритмов, в том числе, и с помощью методов сегментации изображения. Сегментация представляет собой процесс разделения изображения на несколько сегментов (частей). Одними из ключевых показателей при оценке эффективности конкретного метода являются точность классификации [1, 2] (отнесение изображения к конкретной группе) и временная сложность [3, 4].

В данной статье в качестве анализируемых методов сегментации изображений используются: Кластеризация  $k$ -средних, Линейная (простая линейная итеративная) кластеризация, Адаптивные (локальные) пороговые значения, Глобальные пороговые значения.

**Научная новизна** заключается в способе определения временной сложности алгоритмов.

**Цель работы** – определить точность классификации и временную сложность выбранных методов сегментации.

Задачи исследования:

1. Кратко описать выбранные методы сегментации изображений.
2. С помощью способов, представленных в разделе «Методология экспериментов», получить точность классификации и временную сложность выбранных методов сегментации изображений.
3. Сравнить полученные результаты с другими методами, которые проходили через схожую процедуру оценки параметров.

### **Описание анализируемых методов**

#### *Кластеризация k-средних*

Алгоритм «кластеризации k-средних» (КС) является неконтролируемым алгоритмом и используется для отделения интересующей области от фона. Он объединяет или разбивает данные на k-кластеры или части на основе k-центроидов. Алгоритм используется в том случае, когда имеются немаркированные данные (данные без определенных категорий или групп). Цель состоит в том, чтобы найти определенные группы на основе некоторого сходства данных с количеством групп [5].

#### *Линейная кластеризация*

Простая линейная итеративная кластеризация, или линейная кластеризация (ЛК) – метод сегментации пикселей для сокращения нерелевантных данных изображения. Кроме того, идея, которая лежит в его основе, заключается в замене стандартной пиксельной сетки сеткой регионов. Таким образом, создается изображение с менее примитивными элементами, сохраняющее при этом меньшее количество деталей [6].

### *Адаптивные пороговые значения*

Метод «Адаптивные пороговые значения» (АПЗ) обычно принимает изображение в оттенках серого или же цветное в качестве входных данных и, в простейшей реализации, выводит двоичное изображение, представляющее сегментацию. Для каждого пикселя на изображении необходимо вычислить пороговое значение. Если значение пикселя ниже порогового показателя, оно устанавливается в фоновое значение, иначе принимает показатель переднего плана [7].

### *Глобальные пороговые значения*

Алгоритм «Глобальные пороговые значения» (ГПЗ) самый простой из всех методов порогового значения, заключающийся в разделении гистограммы изображения с использованием единого глобального порога  $T$ . Затем выполняется сегментация путем сканирования изображения пиксель за пикселем и маркировки каждого пикселя, как объекта или фона, в зависимости от того, больше или меньше уровень серого для этого пикселя, чем значение  $T$ . Успешное выполнение данного метода полностью зависит от того, насколько хорошо гистограмма может быть разделена [8].

## **Методология экспериментов**

### *Вычисление точности классификации*

Эксперимент для определения точности выбранных методов сегментации проводится по тому же принципу, что и в работе [1]. Его основные этапы:

- 1) Отбор 140 изображений дорожного покрытия 4 видов (без повреждений, с трещинами, с ямами, с колеями) с выделением на каждый по 35 фотографий, из которых 10 изображений являются шаблонными и подлежат только сегментации) и тестовые (используются для сегментации и сопоставления с шаблонными изображениями).
-

- 2) Выбирается шаблонное изображение, наиболее схожее с текущей тестовой фотографией.
- 3) Если категории шаблонного и тестового изображений совпадают, то такой ответ считается верным.

Пример фотографий каждого вида (без повреждений, с трещинами, с ямами, с колеями) показан на рис. 1.



Рис. 1 – Фотографии каждого вида дорожного состояния: 1 – без повреждений, 2 – с трещинами, 3 – с ямами, 4 – с колеями

#### *Определение сложности алгоритмов*

Также, как и точность классификации, ключевым показателем качества алгоритма является его временная сложность. В данной статье для оценки временной сложности каждого из вышеперечисленных методов проведена серия экспериментов для изображений разного размера. Изображения имеют следующие размеры (в пикселях): 60000, 80000, 120000, 240000, 480000, 960000.

Для обработки изображений выбранными методами сегментации используется 5 фотографий с трещинами. В качестве формата выбран PNG, поскольку изображения данного типа сжимаются без потерь. Фотографии представлены на рис. 2.

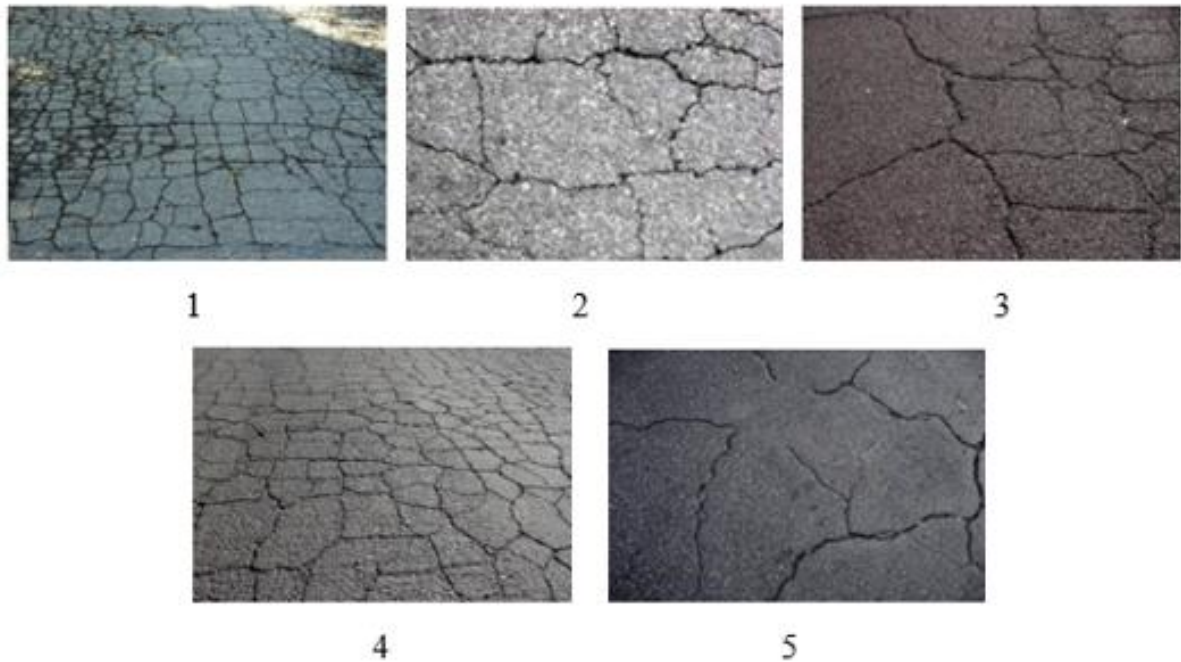


Рис. 2 – Исходные изображения для сегментации

Исходный размер каждой фотографии - 240000 пикселей. Для определения временной сложности этих методов каждое из 5 изображений увеличивается и уменьшается в 2, 3 и 4 раза. Для определения более точного значения времени обработки для конкретного алгоритма каждое фото обрабатывается 10 раз. Таким образом, для каждого алгоритма проведено 50 серий экспериментов, поскольку имеется 5 различных изображений. Формула имеет следующий вид:

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M T_{ij}}{M \cdot N} \quad (1),$$

где  $T_{\text{ср}}$  – среднее время сегментации изображения определенным алгоритмом,  $M$  – количество обработок (сегментаций) одного изображения,  $N$  – количество изображений,  $T_{ij}$  – время одного преобразования.

В данной статье  $M = 10$ ,  $N = 5$ .

Пример фотографии после сегментации выбранными методами показан на рис. 3.

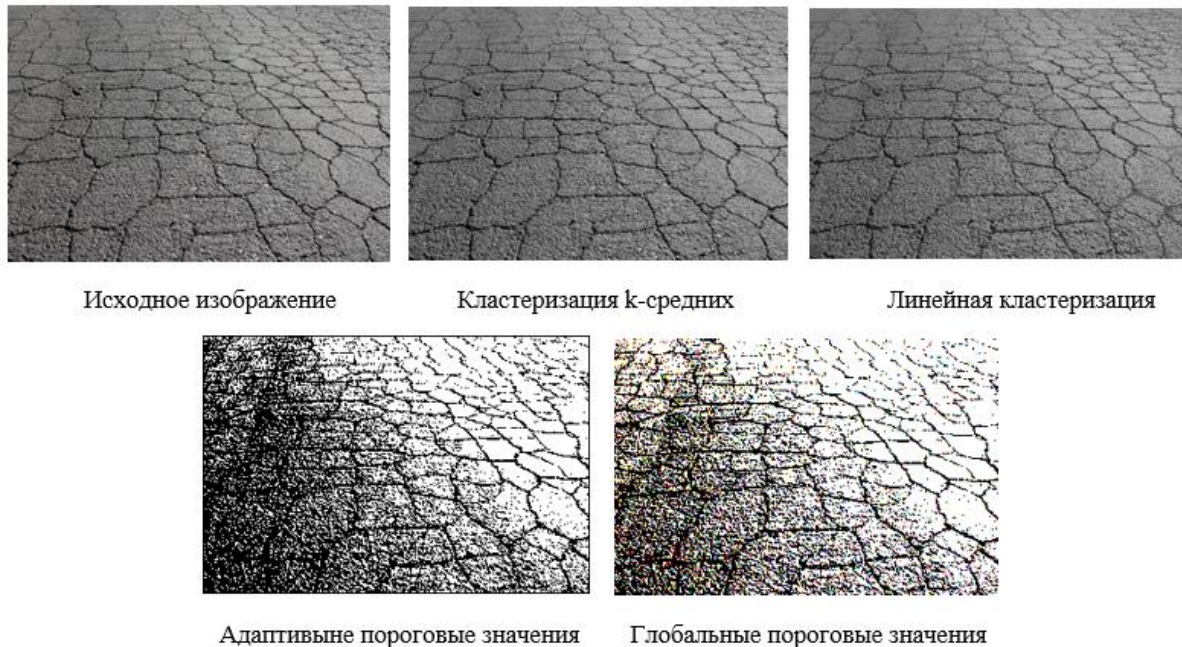


Рис. 3 – Пример сегментации изображения каждым из выбранных методов

### Результаты экспериментов

Для реализации обоих экспериментов выбраны среда Visual Studio 2022 и язык программирования C#. Для вычисления точности классификации дополнительно используется библиотека Emgu.CV [9]. Компьютер, на котором проводятся эксперименты, обладает следующими характеристиками:

- процессор – Intel Core i5;
- оперативная память – 8 гигабайт;
- тип системы – x64;
- операционная система - Windows 10 Pro.

#### *Вычисление точности классификации*

Результаты эксперимента для определения точности классификации выбранных методов сегментации изображения представлены в таблице 1.

Таблица № 1

Точность классификации (в процентах) выбранных методов сегментации

| Название метода    | Кластеризация k-средних | Линейная кластеризация | Адаптивные пороговые значения | Глобальные пороговые значения |
|--------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Номер эксперимента |                         |                        |                               |                               |
| 1                  | 32                      | 35                     | 30                            | 34                            |
| 2                  | 36                      | 34                     | 33                            | 37                            |
| 3                  | 42                      | 42                     | 38                            | 44                            |
| 4                  | 35                      | 33                     | 39                            | 36                            |
| 5                  | 42                      | 41                     | 38                            | 40                            |
| Среднее значение   | 37,4                    | 37,0                   | 35,6                          | 38,2                          |

*Определение сложности алгоритмов*

Результаты эксперимента для определения времени работы алгоритмов сегментации в зависимости от размера изображения показаны в таблице 2.

Таблица № 2

Таблица 2 – Время работы (в миллисекундах) методов сегментации в зависимости от размера изображения

| Название метода     | Кластеризация k-средних | Линейная кластеризация | Адаптивные пороговые значения | Глобальные пороговые значения |
|---------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Количество пикселей |                         |                        |                               |                               |
| 60000               | 597                     | 334                    | 690                           | 6                             |
| 80000               | 650                     | 462                    | 910                           | 7                             |
| 120000              | 1094                    | 790                    | 1375                          | 11                            |
| 240000              | 1917                    | 2119                   | 2761                          | 22                            |
| 480000              | 3954                    | 5892                   | 5491                          | 38                            |
| 720000              | 5920                    | 10947                  | 8178                          | 58                            |
| 960000              | 7748                    | 16645                  | 11020                         | 75                            |

График зависимости времени работы методов сегментации от размера изображения представлен на рисунке 4.

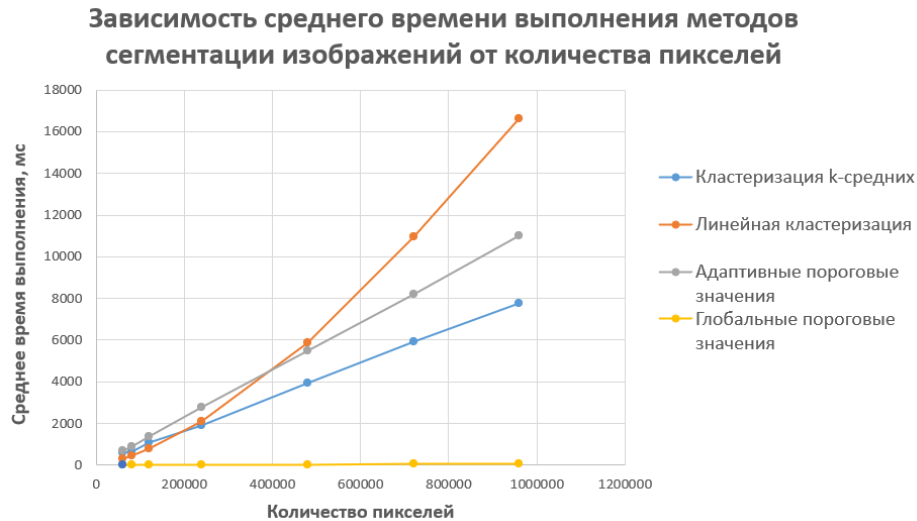


Рисунок 4 – График зависимости времени работы методов сегментации от размера изображения

Если сравнить полученный график с тем, который представлен в [10], то можно сделать вывод, что КС, АПЗ и ГПЗ имеют линейную временную сложность  $O(n)$ , ЛК –  $O(n^2)$ . Однако ГПЗ обладает гораздо меньшими абсолютными временными показателями по сравнению с другими алгоритмами.

### Обсуждение результатов

Исходя из результатов, представленных в таблице 1 можно утверждать, что наилучший показатель точности классификации имеет алгоритм ГПЗ, этот показатель составляет 38,2%, что немногим больше, чем у остальных методов. Однако, данное значение не превосходит показатель метода «Оператор Кирша» из [1], который равен 46,2%. Но тем не менее, в связи с тем, что абсолютные временные показатели (представлены в таблице 2) ГПЗ достаточно невысокие, можно предположить, что данный метод является хорошей опорой для дальнейшей разработки собственного метода оценки качества дорожного покрытия. Чтобы с уверенностью это утверждать,



необходимо провести анализ временной сложности для методов, перечисленных в работе [1].

### **Выводы**

В данной статье на основе способа, описанного в разделе «Методология эксперимента», вычислены точность классификации и временная сложность для следующих методов сегментации изображения: Кластеризация k-средних, Линейная кластеризация, Адаптивные пороговые значения, Глобальные пороговые значения. Метод «Глобальные пороговые значения» имеет наилучшие показатели точности классификации (38,2%) (меньше, чем соответствующая характеристика для метода «Оператор Кирша» (46,2%), рассмотренного в [1]) и временной сложности (линейная; такой же временной сложностью обладают и другие методы, однако у ГПЗ гораздо меньшие абсолютные временные показатели), поэтому, с большой долей вероятности, он может служить хорошей опорой для разработки собственного алгоритма оценки качества дорожного покрытия.

### **Литература**

1. Журавлев А.А. Сравнение эффективности классификации методов выделения контуров на примере изображений дорожного покрытия // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2023. Т. 12, № 1, С. 23-28.
  2. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений. - М.: Техносфера, 2012. – 1101 с.
  3. Кравченко, В.Ф. Цифровая обработка сигналов и изображений в радиофизических приложениях. - М.: Физматлит, 2007. – 544 с.
  4. Ерош, И.Л., Сергеев М.Б., Соловьев Н.В. Обработка и распознавание изображений в системах превентивной безопасности: Учебное пособие. - СПб.: ГОУ ВПО СПбГУАП, 2012. – 154 с.
-

5. Introduction to Image Segmentation with K-Means clustering, URL: [kdnuggets.com/2019/08/introduction-image-segmentation-k-means-clustering.html](https://kdnuggets.com/2019/08/introduction-image-segmentation-k-means-clustering.html).

6. SLIC Superpixels. URL: [epfl.ch/labs/ivrl/research/slic-superpixels/](http://epfl.ch/labs/ivrl/research/slic-superpixels/)

7. Adaptive Thresholding. URL: [homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/adpthrsh.htm](http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/adpthrsh.htm)

8. What is thresholding? Explain about global thresholding. URL: [benchpartner.com/q/what-is-thresholding-explain-about-global-thresholding](https://benchpartner.com/q/what-is-thresholding-explain-about-global-thresholding)

9. EMGU CV Tutorial. URL: [bias.csr.unibo.it/vr/Esercitazioni/Tracce/Emgu%20CV%20Tutorial%20Skander.pdf](http://bias.csr.unibo.it/vr/Esercitazioni/Tracce/Emgu%20CV%20Tutorial%20Skander.pdf)

10. О большое (Big O). Случаи логарифмической и факториальной сложности. URL: [proproprogs.ru/structure\\_data/std-o-bolshoe-big-o-sluchai-logarifmicheskoy-i-faktorialnoy-slozhnosti](http://proproprogs.ru/structure_data/std-o-bolshoe-big-o-sluchai-logarifmicheskoy-i-faktorialnoy-slozhnosti)

### References

1. Zhuravlev A.A. XXI vek: itogi proshlogo i problemy` nastoyashhego plyus. 2023. Vol. 12, № 1, pp. 23-28.

2. Gonsales, R. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij [Digital Image Processing]. M.: Texnosfera, 2012. 1101 p.

3. Kravchenko, V.F. Cifrovaya obrabotka signalov i izobrazhenij v radiofizicheskix prilozheniyax [Digital Signal and Image Processing in Radiophysical Applications]. M.: Fizmatlit, 2007. 544 p.

4. Erosh, I.L., Sergeev M.B., Solov`ev N.V. Obrabotka i raspoznavanie izobrazhenij v sistemax preventivnoj bezopasnosti [Image Processing and Recognition in Preventive Security Systems]. Uchebnoe posobie SPb. GOU VPO SPbGUAP, 2012. 154 p.

5. Introduction to Image Segmentation with K-Means clustering, URL: [kdnuggets.com/2019/08/introduction-image-segmentation-k-means-clustering.html](https://kdnuggets.com/2019/08/introduction-image-segmentation-k-means-clustering.html).

---

6. SLIC Superpixels. URL: [epfl.ch/labs/ivrl/research/slic-superpixels/](http://epfl.ch/labs/ivrl/research/slic-superpixels/)
7. Adaptive Thresholding. URL: [homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/adpthrsh.htm](http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/adpthrsh.htm)
8. What is thresholding? Explain about global thresholding. URL: [benchpartner.com/q/what-is-thresholding-explain-about-global-thresholding](http://benchpartner.com/q/what-is-thresholding-explain-about-global-thresholding)
9. EMGU CV Tutorial. URL: [bias.csr.unibo.it/vr/Esercitazioni/Tracce/Emgu%20CV%20Tutorial%20Skander.pdf](http://bias.csr.unibo.it/vr/Esercitazioni/Tracce/Emgu%20CV%20Tutorial%20Skander.pdf)
10. O bol`shoe (Big O). Sluchai logarifmicheskoy i faktorial`noj slozhnosti. [Big O. Cases of logarithmic and factorial complexity]. URL: [proproprogs.ru/structure\\_data/std-o-bolshoe-big-o-sluchai-logarifmicheskoy-i-faktorialnoy-slozhnosti](http://proproprogs.ru/structure_data/std-o-bolshoe-big-o-sluchai-logarifmicheskoy-i-faktorialnoy-slozhnosti)