

Повышение качества изображений дорожного покрытия на основе подходов морфологической обработки

А.А. Журавлев, К.А. Аксенов

Уральский федеральный университет

Аннотация: Оценка качества дорожного покрытия – одна из самых популярных задач во всем мире. Для ее решения существует большое количество систем, работающих с помощью определенных алгоритмов, среди которых методы морфологической обработки изображения. Одним из ключевых критериев эффективности алгоритма является его временная сложность. В статье рассмотрены следующие подходы морфологической обработки: Расширение, Эрозия, Морфологический градиент, Морфологическое сглаживание. В качестве материала исследования использованы фотографии дорожного покрытия разного состояния. На основе предложенной методологии проведения эксперимента выяснилось, что каждый из выбранных алгоритмов имеет линейную временную сложность, однако алгоритмы «Расширение» и «Эрозия» обладают меньшими абсолютными временными показателями.

Ключевые слова: сравнение, эффективность, морфологический подход, обработка, изображение, фотография, дорога, состояние, время, сложность.

Введение

Оценка качества дорожного покрытия является одной из самых популярных задач во всем мире. Это связано с тем, что роль дорог в современном обществе становится все более значимой. Для решения этой задачи существует большое количество систем, работающих с помощью определенных алгоритмов, среди которых методы морфологической обработки изображения [1, 2]. Морфологическая обработка включает в себя несколько простых операций, основанных на форме изображения. Одним из ключевых показателей эффективности конкретного алгоритма является его временная сложность, которая непосредственно зависит от времени выполнения [3, 4].

В данной статье в качестве подходов морфологической обработки изображения для анализа используются: Расширение, Эрозия, Морфологический градиент, Морфологическое сглаживание.

Научная новизна заключается в способе проведения эксперимента для определения временной сложности алгоритмов.

Цель работы – определить временную сложность выбранных способов морфологической обработки изображения.

Задачи исследования:

1. Описать выбранные для анализа способы морфологической обработки изображения.
2. Предложить методологию эксперимента, с помощью которого определяется временная сложность выбранных алгоритмов.
3. Сделать выводы относительно того, насколько полученные результаты помогут в дальнейшем при разработке собственного метода оценки качества дорожного покрытия.

Описание анализируемых методов

Расширение

Расширение является одним из двух основных операторов в области математической морфологии (второй – эрозия). Обычно применяется к двоичным изображениям, которые работают с изображениями в оттенках серого. Основное воздействие оператора на двоичное изображение заключается в постепенном увеличении границ областей пикселей переднего плана (как правило, белых пикселей). Таким образом, пиксели переднего плана увеличиваются в размерах, в то время как внутренняя часть этих областей становится меньше [5].

Эрозия

Эрозия также, как и расширение, является основным оператором в области математической морфологии. Обычно применяется к двоичным изображениям, но в некоторых случаях используется для работы с изображениями в оттенках серого. Основное воздействие оператора на двоичное изображение заключается в стирании границ областей пикселей

переднего плана (как правило, белых пикселей). В итоге пиксели переднего плана уменьшаются в размерах, внутренняя часть этих областей становится больше [6].

Морфологический градиент

Морфологический градиент (МГ) – операция, которая равна разнице между расширением и эрозией изображения. Значение каждого пикселя в результирующем изображении указывает на интенсивность контраста в соседних пикселях. Используется при обнаружении краев, сегментации и при определении контура объекта [7, 8].

Морфологическое сглаживание

Морфологическое сглаживание (МС) – метод обработки изображений, который используется для изображений в оттенках серого. Его основной целью является фильтрация для удаления шума и сглаживания изображения. Данный метод сочетает в себе две фундаментальные морфологические операции: расширение и эрозию [9].

Методология эксперимента

В данной статье для оценки временной сложности каждого из вышеперечисленных алгоритмов проведена серия экспериментов для изображений разного размера. Фотографии имеют следующие размеры (в пикселях): 60000, 80000, 120000, 240000, 480000, 960000. Для морфологической обработки использованы 4 фотографии дорожного покрытия разного состояния. Исходный размер каждой из них - 240000 пикселей. Для определения временной сложности методов каждое из 4 изображений увеличивается и уменьшается в 2, 3 и 4 раза. Для установления более точного значения времени обработки для конкретного алгоритма каждое фото обрабатывается 10 раз. Таким образом, для каждого алгоритма проведено 40 серий экспериментов, поскольку имеется 4 различных

фотографии. Формула для вычисления среднего времени работы алгоритма 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 обработки изображения алгоритмом, N – количество изображений, M – количество обработок одного изображения, T_{ij} – время одного преобразования. Исходя из вышеописанного, $M = 10$, $N = 4$.

Блок-схема описанного выше алгоритма проведения эксперимента для изображения размером 240000 пикселей представлена на рис. 1.

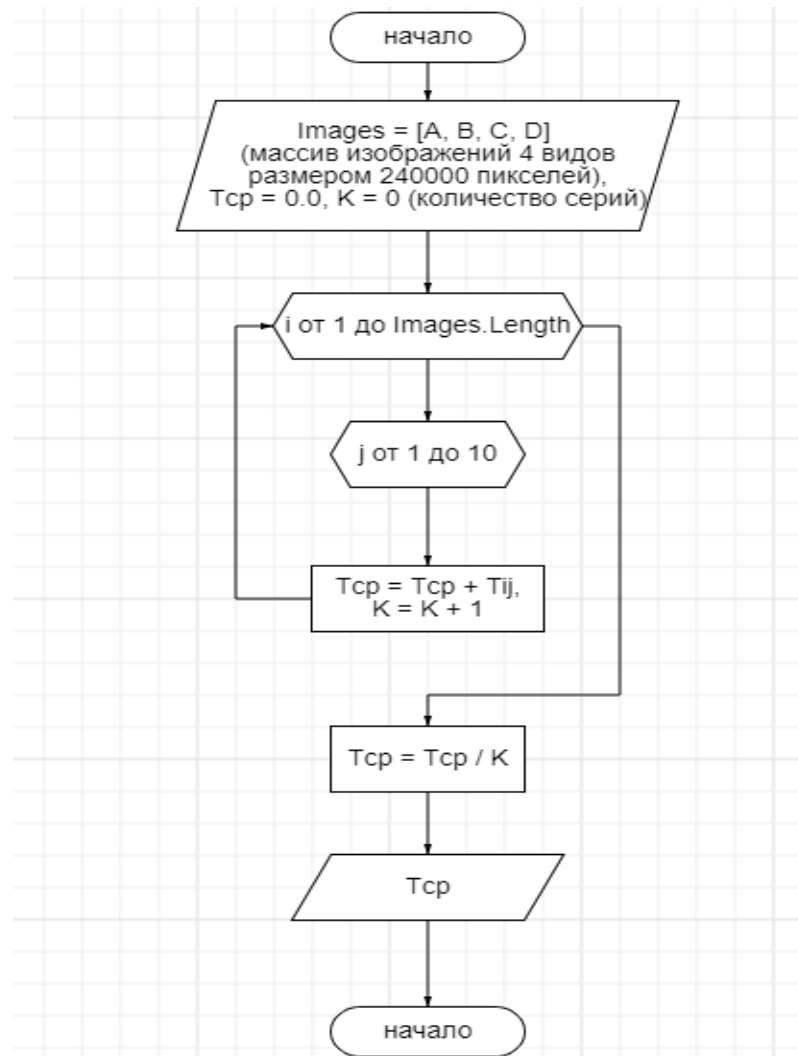


Рис. 1 – Алгоритм проведения эксперимента для определения временной сложности методов морфологической обработки

В качестве формата используется PNG, поскольку изображения данного формата сжимаются без потерь. Фотографии представлены на рис. 2.



1 - без повреждений



2 - с трещинами



3 - с ямами



4 - с колеями

Рис. 2. – Исходные изображения для морфологической обработки

Пример фотографии (дорожное покрытие с трещинами) после обработки выбранными методами показан на рис. 3.



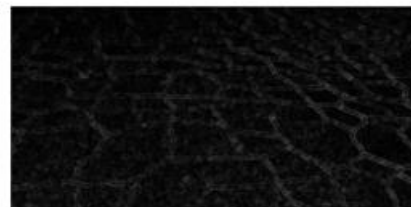
Исходное изображение



Расширение



Эрозия



Морфологический градиент



Морфологическое сглаживание

Рис. 3. – Пример морфологической обработки изображения каждым из выбранных методов

Результаты экспериментов

Для реализации эксперимента выбраны среда Visual Studio 2022 и язык программирования - С#. Компьютер, на котором проводятся эксперименты, обладает следующими характеристиками:

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

Результаты эксперимента для определения времени работы подходов морфологической обработки изображения в зависимости от размера изображения показаны в таблице 1. Временные показатели округлены до ближайшего целого числа.

Таблица № 1

Таблица 1. – Время работы (в миллисекундах) подходов морфологической обработки в зависимости от размера изображения

Название метода	Расширение	Эрозия	Морфологический градиент	Морфологическое сглаживание
Количество пикселей				
60000	14	13	21	32
80000	17	19	25	46
120000	29	29	37	72
240000	54	51	72	147
480000	103	99	140	302
720000	157	150	209	440
960000	209	223	304	559

График зависимости времени работы способов морфологической обработки от размера изображения показан на рис. 4.

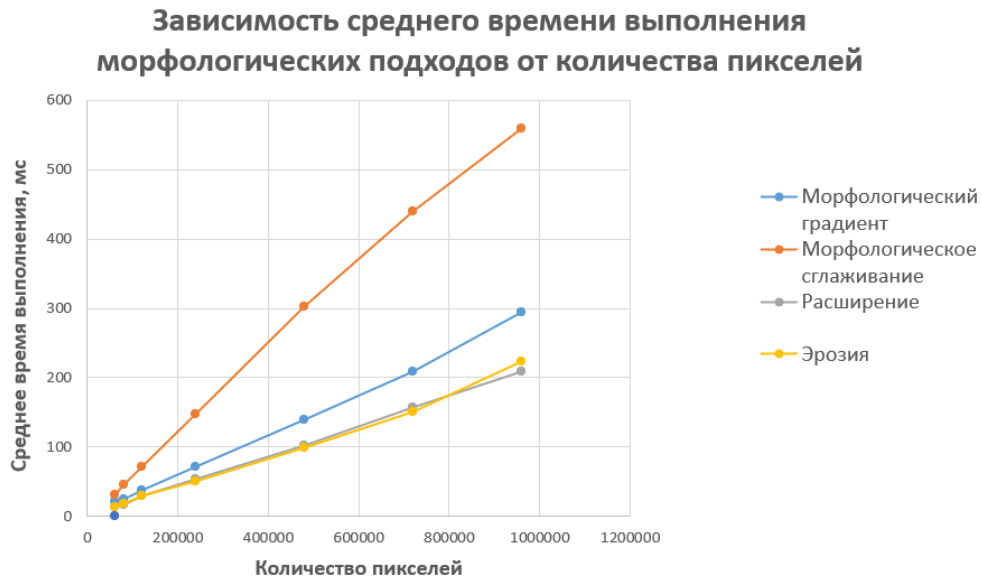


Рис.4. – График зависимости времени работы морфологических способов обработки от размера изображения

Если сравнить полученные результаты с графиком, представленным на рис. 5 (на нем представлена зависимость функции (вертикальная ось) от количества операций (горизонтальная ось); в качестве функции можно использовать время выполнения, количества операций – размер изображения), то можно сделать вывод, что все рассматриваемые подходы имеют линейную временную сложность – $O(n)$.

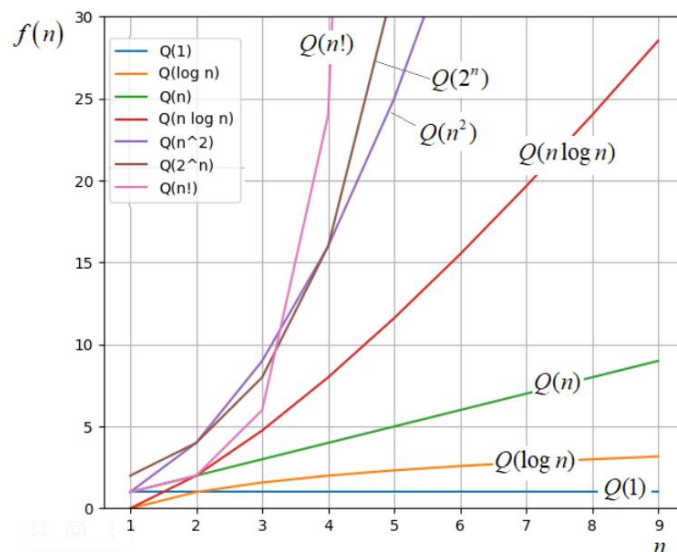


Рис. 5. – График сложности алгоритмов [10]

Обсуждение результатов

С помощью предложенной методологии проведения эксперимента было установлено, что все выбранные подходы морфологической обработки изображения имеют линейную временную сложность. Однако, алгоритмы «Расширение» и «Эрозия» обладают меньшими абсолютными временными показателями. Также нужно отметить, что каждый из методов позволяет получить отчетливые границы на изображении (рис. 2 и 3), особенно метод «Морфологическое сглаживание». Исходя из этого можно сделать вывод, что методы данной категории могут быть использованы для предварительной обработки с целью повышения точности классификации (отнесения фотографии к конкретной категории).

Выводы

В данной статье с помощью способа проведения эксперимента, описанного в разделе «Методология эксперимента», были установлены временные сложности некоторых способов морфологической обработки изображения, среди которых: Расширение, Эрозия, Морфологический градиент, Морфологическое сглаживание. Каждый из перечисленных методов имеет линейную временную сложность – $O(n)$. Однако, алгоритмы «Расширение» и «Эрозия» обладают меньшими абсолютными временными показателями. Также нужно отметить, что методы данной категории могут быть использованы для предварительной обработки с целью повышения точности классификации (отнесения фотографии к конкретной группе), поскольку позволяют получить более четкие границы на изображении.

Литература

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений. - М.: Техносфера, 2012. - 1101 с.

2. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Бондаренко А.В., Ососков М.В., Моржин А.В. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения. - М.: ФИЗМАТКН, 2010. - 672 с.
3. Красильников Н.Н. Цифровая обработка изображений. - М.: Вузовская книга, 2001. - 320 с.
4. Яне Б. Цифровая обработка изображений. - М.: Техносфера, 2007. - 584 с.
5. Dilation. URL: homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/dilate.htm
6. Erosion. URL: homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/erode.htm
7. What is morphological gradient in image processing? URL: tutorialspoint.com/what-is-morphological-gradient-in-image-processing
8. Morphological gradients. URL: people.cmm.minesparis.psl.eu/users/beucher/publi/morph_grad.pdf
9. Morphology-based Operations. URL: officinaturini.com/files/ImageProcessingFundamentals/noframes/fip-Morpholo.html
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

References

1. Gonsales R. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij [Digital image processing]. Texnosfera. 2012. 1101 p.
 2. Vizil`ter Yu.V., Zheltov S.Yu., Bondarenko A.V., Ososkov M.B., Morzhin A.V. Obrabotka i analiz izobrazhenij v zadachax mashinnogo zreniya [Image processing and analysis in machine vision problems]. М.: ФИЗМАТКН, 2010. 672 p.
 3. Krasil`nikov N.N. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij [Digital image processing]. М.: Vuzovskaya kniga, 2001. 320 p.
-

4. Yane B. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij [Digital image processing]. M.: Texnosfera, 2007. 584 p.
5. Dilation. URL: homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/dilate.htm
6. Erosion. URL: homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/erode.htm
7. What is morphological gradient in image processing? URL: tutorialspoint.com/what-is-morphological-gradient-in-image-processing
8. Morphological gradients. URL: people.cmm.minesparis.psl.eu/users/beucher/publi/morph_grad.pdf
9. Morphology-based Operations. URL: officinaturini.com/files/ImageProcessingFundamentals/noframes/fip-Morpholo.html
10. O bol'shoe (Big O). Sluchai logarifmicheskoy i faktorial'noj slozhnosti [Big O. Cases of logarithmic and factorial complexity]. URL: proprogrs.ru/structure_data/std-o-bolshoe-big-o-sluchai-logarifmicheskoy-i-faktorialnoy-slozhnosti