

КОМПЬЮТЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

DOI: 10.24143/2072-9502-2020-2-26-33
УДК 004.932

ОБ АЛГОРИТМЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНТРАСТА ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ЛОКАЛЬНЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЯРКОСТИ ПИКСЕЛЕЙ

А. Б. Раухваргер, Р. И. Абунагимов

*Ярославский государственный технический университет,
Ярославль, Российская Федерация*

Предложен алгоритм обработки цифрового изображения с целью усиления различимости его деталей, основанный на сканирующем движении малой прямоугольной области по полю пикселей, в рамках которой производится изменение контраста одним из известных алгоритмов с наложением на уже обработанную часть (локально-фрагментарная схема). Рассмотрены различные варианты включения в данную схему телевизионного алгоритма изменения контраста. Исследованы результаты обработки по локально-фрагментарной схеме в сравнении с глобальным применением телевизионного алгоритма. Показано, что предложенный подход позволяет добиться значительно большего усиления различимости деталей, чем при глобальном применении телевизионного алгоритма.

Ключевые слова: контраст, различимость деталей, фрагмент, обработка, исходное изображение, среднеквадратичные отклонения яркости, телевизионный алгоритм, яркость пикселя.

Для цитирования: *Раухваргер А. Б., Абунагимов Р. И.* Об алгоритме изменения контраста цифрового изображения с учетом локальных статистических характеристик распределения яркости пикселей // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2020. № 2. С. 26–33. DOI: 10.24143/2072-9502-2020-2-26-33.

Введение

Алгоритмы усиления яркостного контраста цифровых изображений имеют целью достижение лучшей различимости деталей изображений, полученных в неблагоприятных условиях съемки, например, фотография при очень низком или, наоборот, слишком высоком освещении или в условиях тумана. Известные алгоритмы такого типа [1–3] осуществляют изменение яркости каждого пикселя в зависимости от статистических характеристик исходного изображения, исходной яркости пикселя и ожидаемых статистических характеристик нового изображения.

Поскольку учитываются только глобальные статистические характеристики и игнорируются статистические характеристики ближайшего окружения, изменение контраста происходит по-разному в разных частях изображения. В одних фрагментах различимость деталей изображения может усиливаться, в других – ухудшаться. Однако если применять алгоритмы усиления контраста к отдельным малым фрагментам, так, чтобы эти фрагменты преобразовывались в соответствии с их статистическими параметрами и накладываемыми требованиями, независимо друг от друга, будет неизбежно получаться мозаичное изображение с явно визуально проявляющимися границами фрагментов.

Мы предлагаем решение данной проблемы на основе сканирующего движения преобразующей области с совмещением результатов преобразования при наложении на область предыдущих результатов.

Общая схема локально-фрагментарного алгоритма

Предлагается следующий принципиальный подход, позволяющий использовать локальные исходные и ожидаемые характеристики фрагментов изображения. Малая прямоугольная область заданного размера движется шагами по исходному изображению слева направо со смещением на пиксель по каждому шагу; по окончании прохода всей ширины изображения проход повторяется со смещением на пиксель вниз, пока не будет пройдено все поле пикселей изображения. На каждом шаге определяются статистические характеристики фрагмента и вычисляются новые значения яркостей пикселей z_2 . На основе новых значений яркостей устанавливаются пиксели в соответствующие позиции в подготовленное поле пикселей для преобразованного изображения с яркостью z , определяемой по следующему правилу: $z = z_2$, если пиксель в данное положение еще не устанавливался, и $z = \frac{z_1 + z_2}{2}$, если в данном положении уже установлен пиксель со значением яркости z_1 .

Алгоритм можно представить в виде следующей блок-схемы (рис. 1).

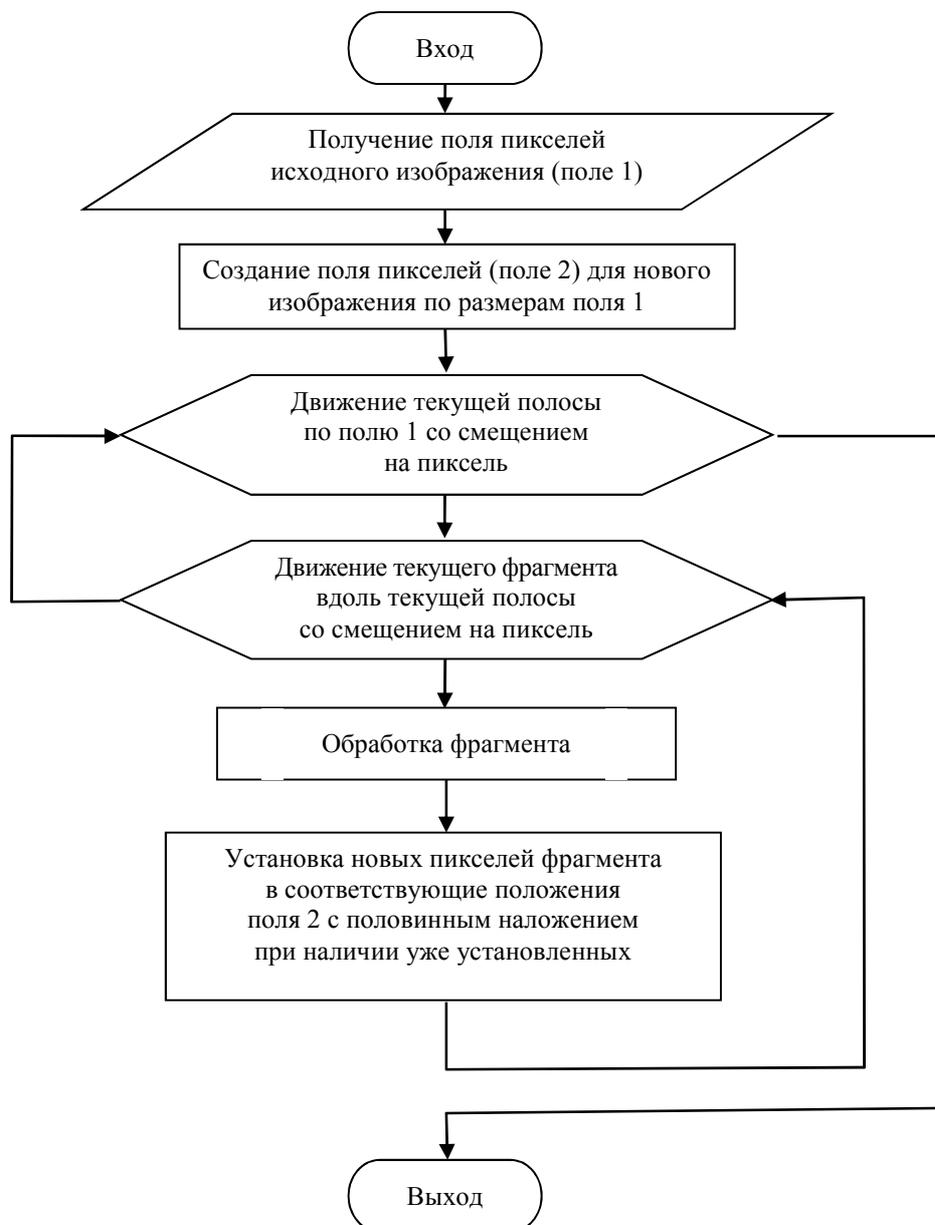


Рис. 1. Блок-схема локально-фрагментарного алгоритма

В качестве процедуры «Обработка фрагмента» могут использоваться разные алгоритмы обработки изображений применительно к текущему фрагменту. При этом могут применяться разные варианты сочетания глобальных и локальных статистических характеристик, исходных и ожидаемых.

Использование телевизионного алгоритма в локально-фрагментарной схеме

Нами реализованы и исследованы различные варианты включения в предложенную схему одного из простейших алгоритмов изменения контраста – телевизионного алгоритма, основанного на формуле изменения яркостей каждого пикселя

$$z = y + k(y - \bar{y}), \quad (1)$$

где y – яркость пикселя в исходном изображении; z – новая яркость пикселя; \bar{y} – средняя яркость по пикселям исходного изображения; k – задаваемый коэффициент изменения контраста. При положительном k яркости пикселей будут тем более изменяться, чем больше значение яркости пикселя отличается от среднего значения, причем светлые пиксели (с яркостью больше средней) станут еще светлее, а темные (с яркостью меньше средней) – еще темнее. Значения, получаемые по формуле (1), должны корректироваться: округляться до целого, а также должен контролироваться возможный переход через границу допустимого диапазона 0–255 (отрицательные значения z должны заменяться значением 0, а превосходящие 255 – значением 255).

Фактическую степень контрастности можно характеризовать среднеквадратичным отклонением яркости пикселей в изображении. В связи с этим значение коэффициента k удобно связать с отношением ожидаемого среднеквадратичного отклонения яркости в преобразованном изображении σ_z к среднеквадратичному отклонению яркости в исходном изображении σ_y :

$$k = \frac{\sigma_z}{\sigma_y} - 1. \quad (2)$$

Реальная контрастность нового изображения не достигнет ожидаемого значения в связи с необходимостью корректировки получаемых по формуле (1) значений. Усиление контрастности будет происходить в областях изображения, пиксели которых по яркости лежат в некотором диапазоне вокруг среднего значения. В слишком светлых и слишком темных областях контрастность снизится.

Рассмотрим два варианта включения телевизионного алгоритма в локально-фрагментарную схему.

1. Значение k постоянно для каждого фрагмента и определяется по формуле (2), а значение \bar{y} заменяется средним значением по конкретному фрагменту $\bar{y}_{\text{фр}}$.

2. Кроме того, что средняя яркость определяется для каждого фрагмента, коэффициент изменения контраста тоже вычисляется по характеристикам каждого фрагмента, но задается постоянное ожидаемое среднеквадратичное отклонение фрагмента, равное глобальному в первом способе:

$$k_{\text{фр}} = \frac{\sigma_{\text{фр}_z}}{\sigma_{\text{фр}_y}} - 1, \quad (3)$$

где $\sigma_{\text{фр}_z}$, $\sigma_{\text{фр}_y}$ – ожидаемое и исходное среднеквадратичные отклонения яркости на фрагменте. Поскольку малый фрагмент может содержать пиксели только одной яркости, в этом случае, во избежание деления на 0 в формуле (3), следует при $\sigma_{\text{фр}_y} = 0$ переносить пиксели фрагмента в новое изображение без изменения.

Нами было проведено экспериментальное исследование применения обоих способов в сравнении с глобальным применением телевизионного алгоритма на темных слабоконтрастных изображениях. Ниже приведен пример такого сравнения.

На рис. 2 приведено исходное темное слабоконтрастное изображение с едва различимыми деталями.



Рис. 2. Исходное изображение

Результат обработки этого изображения глобальным применением телевизионного алгоритма представлен на рис. 3.



Рис. 3. Изображение, полученное из исходного глобальным применением телевизионного алгоритма с $\sigma_{г\text{л.з}} = 100$

Различимость во многих областях изображения усилилась, но в ряде областей (темные места слева и справа на противоположном берегу озера) ухудшилась.

На рис. 4 представлен результат обработки исходного изображения локально-фрагментарным алгоритмом по способу 1.



Рис. 4. Изображение, полученное из исходного локально-фрагментарным преобразованием по способу 1 с $\sigma_{гл_z} = 100$ и размером фрагмента 16×16

Применение способа 1 сохраняет естественность изображения, при этом становятся значительно более различимы детали изображения по сравнению с глобальным применением телевизионного алгоритма.

На рис. 5 показан результат обработки исходного изображения локально-фрагментарным алгоритмом по способу 2.



Рис. 5. Изображение, полученное из исходного локально-фрагментарным преобразованием по способу 2 с $\sigma_{фр_z} = 100$ и размером фрагмента 16×16

В этом случае различимость деталей становится еще лучше, но изображение теряет естественность и привлекательность восприятия, что не препятствует возможности применения этого способа в специальных случаях, когда целью является именно различимость деталей. Особенно неестественно выглядят при применении способа 2 области изображения, близкие к монотонным.

Можно, однако, предложить средний вариант, так, чтобы различимость была выше, чем по способу 1, но изображение имело бы естественный вид.

Использование способа 1 соответствует следующему соотношению глобальных и фрагментарных среднеквадратичных отклонений:

$$\sigma_{\text{фр}_z} = \sigma_{\text{гл}_z} \frac{\sigma_{\text{фр}_y}}{\sigma_{\text{гл}_y}}, \quad (4)$$

где $\sigma_{\text{гл}_z}$, $\sigma_{\text{гл}_y}$ – глобальные ожидаемое и исходное среднеквадратичные отклонения яркости. Следовательно, ожидаемое среднеквадратичное отклонение при использовании первого способа пропорционально отношению исходного среднеквадратичного отклонения на фрагменте к глобальному исходному среднеквадратичному отклонению. Для достижения большего контраста с возможным сохранением естественности вида ослабим эту зависимость, возводя это отношение в степень с показателем $1 - q$, где q – дополнительный параметр в диапазоне 0–1.

Таким образом, можно сформулировать третий способ.

3. Коэффициент изменения контраста фрагмента вычисляется по формуле, полученной из (4) в соответствии с (2):

$$k_{\text{фр}} = \frac{\sigma_{\text{гл}_z}}{\sigma_{\text{фр}_y}} \left(\frac{\sigma_{\text{фр}_y}}{\sigma_{\text{гл}_y}} \right)^{1-q} - 1. \quad (5)$$

На рис. 6 приведен результат обработки при $q = 0,5$.



Рис. 6. Изображение, преобразованное по третьему способу (формула (5)) при $q = 0,5$

Получается хорошая различимость как деталей противоположного берега, так и отражения в озере деревьев и травы на переднем плане. При этом изображение сохраняет естественность.

В частных случаях формула (5) дает первый (при $q = 0$) и второй (при $q = 1$) способы.

Проведенные исследования показывают, что для конкретных изображений можно оптимизировать параметр q так, чтобы достигалась наилучшая различимость деталей при сохранении естественного вида изображения.

Заключение

Предложена общая схема локально-фрагментарного алгоритма усиления различимости деталей цифрового изображения, позволяющая учитывать не только глобальные, но и локальные статистические характеристики распределения яркостей пикселей.

Исследованы два крайних способа использования телевизионного алгоритма изменения контраста для обработки фрагмента в предложенной схеме. Предложен обобщенный способ с дополнительным параметром, включающий эти два крайних способа в качестве частных случаев; установлено, что дополнительный параметр можно выбрать так, чтобы добиться наилучшей различимости деталей при сохранении естественного вида изображения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2012. 1104 с.
2. Фисенко В. Т., Фисенко Т. Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений. СПб.: Изд-во СПбГУ ИТМО, 2008. 192 с.
3. Раухваргер А. Б., Дудин Д. А. О регулировании контраста черно-белого изображения с использованием нормального закона распределения // Математика и естественные науки. Теория и практика. Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2018. Вып. 13. С. 230–236.

Статья поступила в редакцию 18.12.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Раухваргер Алексей Борисович – Россия, 150023, Ярославль; Ярославский государственный технический университет; канд. физ.-мат. наук, доцент; доцент кафедры информационных систем и технологий; abrgs@yandex.ru.

Абунагимов Руслан Ильдарович – Россия, 150023, Ярославль; Ярославский государственный технический университет; магистрант кафедры информационных систем и технологий; slpe1990@yandex.ru.



ALGORITHM OF CHANGING DIGITAL IMAGE CONTRAST TAKING INTO ACCOUNT LOCAL STATISTICAL CHARACTERISTICS OF PIXEL LUMA DISTRIBUTION

A. B. Raukhvarger, R. I. Abunagimov

*Yaroslavl State Technical University,
Yaroslavl, Russian Federation*

Abstract. The article presents the algorithm for processing digital images in order to enhance the distinguishability of its details, based on scanning motion of a small rectangular area on the pixel field, in which the contrast is changed by one of the known algorithms with the overlay on the already processed part (locally fragmented scheme). Different variants of inclusion of television algorithm of contrast changing in this scheme are considered. The results of processing according to the local-fragmented scheme in comparison with the global application of the television algorithm are investigated. It is shown that the proposed approach makes it possible to achieve a much greater increase in the distinguishability of details than in the global application of the television algorithm.

Key words: contrast, detail visibility, fragment, processing, source image, brightness mean-square deviation, television algorithm, pixel luma.

For citation: Raukhvarger A. B., Abunagimov R. I. Algorithm of changing digital image contrast taking into account local statistical characteristics of pixel luma distribution. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics.* 2020;2:26-33. (In Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2020-2-26-33.

REFERENCES

1. Gonsales R., Vuds R. *Tsifrovaia obrabotka izobrazhenii* [Digital image processing]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2012. 1104 p.
2. Fisenko V. T., Fisenko T. Iu. *Komp'iuternaia obrabotka i raspoznavanie izobrazhenii* [Computer processing and recognition of images]. Saint-Petersburg, Izd-vo SPbGU ITMO, 2008. 192 p.
3. Raukhvarger A. B., Dudin D. A. O regulirovanii kontrasta cherno-belogo izobrazheniia s ispol'zovaniem normal'nogo zakona raspredeleniia [On adjusting contrast of black and white image using normal distribution law]. *Matematika i estestvennye nauki. Teoriia i praktika*. Iaroslavl', Izdat. dom IaGTU, 2018. Iss. 13. Pp. 230-236.

The article submitted to the editors 18.12.2019

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Raukhvarger Alexey Borisovich – Russia, 150023, Yaroslavl; Yaroslavl State Technical University; Candidate of Physics and Mathematics, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Information Systems and Technologies; abrrs@yandex.ru.

Abunagimov Ruslan Ildarovich – Russia, 150023, Yaroslavl; Yaroslavl State Technical University; Master's Course Student of the Department of Information Systems and Technologies; s1pe1990@ymail.com.

