

DOI: 10.24143/2072-9502-2020-1-57-63
УДК 004.932

ПРИВЕДЕНИЕ ГИСТОГРАММЫ ЯРКОСТИ СЛАБОКОНТРАСТНЫХ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ К ДВУХУРОВНЕВОМУ КУСОЧНО-РАВНОМЕРНОМУ РАСПРЕДЕЛЕНИЮ

А. Б. Раухваргер, Н. А. Пошехонов

*Ярославский государственный технический университет,
Ярославль, Российская Федерация*

Проведение обработки цифровых изображений с целью усиления контраста для повышения различимости деталей, выполняемое гистограммными методами, осуществляющими приближенное приведение гистограммы яркости изображения к заданному распределению, имеет свои недостатки. Использование алгоритма равномерного распределения не требует больших временных затрат, но не позволяет управлять степенью яркости и контрастом преобразованного изображения. Лучшей различимости деталей, по сравнению с равномерным распределением, удастся достигнуть использованием нормального распределения, но в этом случае решение требует численных методов, на которые затрачивается большое количество времени. Предложен алгоритм управления контрастом цифрового изображения приведением гистограммы яркости к распределению, определяемому кусочно-постоянной дифференциальной функцией распределения с двумя уровнями значений. Это позволяет управлять средней яркостью и контрастом, не прибегая к численным методам, при этом в случае очень темных и очень светлых слабоконтрастных изображений можно добиться большей различимости деталей. Представлены математические основы предлагаемого алгоритма. Исследованы возможности увеличения степени различимости деталей в обработанном слабоконтрастном изображении по сравнению с известным методом, основанном на приведении гистограммы яркости к равномерному распределению.

Ключевые слова: цифровые изображения, гистограмма, слабоконтрастное изображение, яркость, контрастность, различимость деталей, равномерное распределение, кусочно-равномерное распределение.

Для цитирования: Раухваргер А. Б., Пошехонов Н. А. Приведение гистограммы яркости слабоконтрастных цифровых изображений к двухуровневому кусочно-равномерному распределению // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2020. № 1. С. 57–63. DOI: 10.24143/2072-9502-2020-1-57-63.

Введение

Среди алгоритмов, производящих обработку цифровых изображений [1, 2] с целью усиления контраста для повышения различимости деталей, важное место занимают гистограммные методы, осуществляющие приближенное приведение гистограммы яркости изображения к заданному распределению. Эти алгоритмы основаны на уравнении теории вероятностей, гарантирующем монотонно-возрастающую зависимость новой случайной величины от исходной:

$$G(z) = F(y), \quad (1)$$

где $F(y)$ – интегральная функция распределения исходной случайной величины y ; $G(z)$ – интегральная функция распределения случайной величины z . Решение уравнения (1) дает монотонно-возрастающую функцию $z = \varphi(y)$. В правую часть уравнения подставляется сумма частот значений яркости пикселей от 0 до y , что соответствует приближенному представлению дискретной случайной величины как непрерывной:

$$F(y) = \sum_{i=0}^y \omega_i. \quad (2)$$

В левой части должна стоять интегральная функция распределения непрерывной случайной величины, к приближенному дискретному представлению которой должна быть приведена гистограмма.

В общем случае алгоритм обработки цифрового изображения приведением гистограммы к заданному распределению состоит в следующем.

1. Обход всех пикселей изображения с определением частот значений яркости ω_i ($i = 0, 1, \dots, 255$).

2. Вычисление значений исходной интегральной функции распределения (2) с подстановкой результатов в полученную из (1) зависимость для определения предварительных значений новой яркости для всех значений исходной яркости.

3. Полученные в п. 2 значения еще нельзя использовать в качестве новых значений яркости по следующим причинам: они, вообще говоря, не целые, некоторые из них могут оказаться отрицательными, некоторые из них могут превышать максимальное значение 255. Поэтому производится дополнительная обработка предварительных значений для получения окончательных целых значений новой яркости в диапазоне от 0 до 255: значения округляются до целых, при этом, во избежание инверсии отношения больше-меньше, должен выполняться одинаковый способ округления для всех значений (по большему ближайшему целому либо по меньшему); отрицательные значения должны заменяться на 0; значения, превышающие 255, должны заменяться на 255.

4. Повторный обход всех пикселей изображения с заменой яркости каждого пикселя на новое значение.

Наиболее часто в левой части (2) используется равномерное распределение на диапазоне 0–255. Такой алгоритм прост в реализации и требует не слишком большого времени выполнения, т. к. производит вычисления по аналитически выведенной из (1) простой формуле

$$z = 255 \sum_{i=0}^y \omega_i,$$

однако в этом случае невозможно управлять степенью яркости и контрастом преобразованного изображения в связи с непараметричностью равномерного распределения, причем среднеквадратичное отклонение яркости, характеризующее контрастность, не может стать больше ожидаемого по непрерывному равномерному распределению значения $255/\sqrt{12} \approx 73,6$. При этом средняя яркость будет приближаться к середине диапазона.

Использование нормального распределения [3] позволяет независимо управлять средней яркостью и контрастностью путем задания ожидаемого среднего значения и среднеквадратичного отклонения как параметров нормального распределения. В этом случае для слабоконтрастных изображений, в областях изображения средней яркости, удастся достигать лучшей различимости деталей по сравнению с равномерным распределением. Но решение уравнения (1) в этом случае требует численных методов, что приводит к большей длительности процесса обработки изображения.

Предлагаемый нами подход, основанный на использовании в правой части уравнения (1) интегральной функции двухуровневого кусочно-равномерного распределения, позволяет управлять средней яркостью и контрастом, не прибегая к численным методам решения уравнения (1), при этом для очень темных и очень светлых слабоконтрастных изображений позволяет добиться большей различимости деталей, чем при использовании равномерного распределения.

Еще большего улучшения различимости деталей, по сравнению с использованием равномерного распределения, можно ожидать для случаев, когда на изображениях имеются темные и светлые слабоконтрастные области. Алгоритм приведения к равномерному распределению в этом случае может привести к еще большему различию светлых и темных областей при снижении различимости внутри таких областей. Приведение же к двухуровневному кусочно-равномерному распределению, при надлежащем подборе параметров, будет сопоставлять светлым и темным областям соответствующие интервалы яркостей с приближенным постоянством гистограммы на этих интервалах.

Математические основы алгоритма

Дифференциальная функция распределения, к которому будет осуществляться приведение исходной гистограммы, задается двухуровневой кусочно-постоянной функцией

$$g(z) = \begin{cases} g_1, z \leq z_0 \\ g_2, z > z_0 \end{cases}, \quad (3)$$

где z_0 – задаваемое положение точки перехода уровней в диапазоне 0–255; g_1, g_2 – константы уровней дифференциальной функции распределения в соответствующих интервалах.

Выражению (3) соответствует интегральная функция распределения

$$G(z) = \begin{cases} g_1 z, z \leq z_0 \\ g_1 z_0 + g_2 (z - z_0), z > z_0 \end{cases}. \quad (4)$$

Требование $G(255) = 1$ накладывает на параметры выражений (3), (4) соотношение

$$g_1 z_0 + g_2 (255 - z_0) = 1. \quad (5)$$

Таким образом, за исключением вырожденного случая $z_0 = 0$, превращающего кусочно-равномерное распределение (3) в равномерное с плотностью вероятности $1/255$, имеются два независимых параметра, позволяющие управлять преобразованием изображения. Для осмысленного предсказания результата удобно в качестве задаваемых параметров использовать z_0 и математическое ожидание m , характеризующее ожидаемую среднюю яркость изображения. В соответствии с (3) и (5) значения g_1 и g_2 выражаются через эти параметры следующим образом:

$$g_1 = \frac{255 + z_0 - 2m}{255z_0}; \quad (6)$$

$$g_2 = \frac{2m - z_0}{255(255 - z_0)}. \quad (7)$$

Положительность g_1 и g_2 , в соответствии с (6) и (7), накладывает ограничения на возможные значения z_0 и m :

$$2m - z_0 \in (0, 255).$$

Значения z , соответствующие заданным значениям y по уравнению (1), будут определяться на основе вычисленных по формулам (6) и (7) значений g_1 и g_2 по простой формуле

$$z = \begin{cases} \frac{F(y)}{g_1}, \frac{F(y)}{g_2} \leq z_0 \\ \frac{F(y) - z_0(g_1 - g_2)}{g_2}, \frac{F(y)}{g_1} > z_0 \end{cases}. \quad (8)$$

Результаты проведенных исследований

Для проведения исследований разработана специальная программа на языке C# с использованием графической библиотеки Windows Forms.

На нынешнем этапе мы ограничились обработкой посредством предлагаемого метода изображений в оттенках серого, в связи с тем, что применение подобных методов к цветным изображениям может приводить к дополнительным искажениям, обусловленным неточностью хранения цвета темных областей в графических файлах сжатых форматов, а также проблемами, возникающими для слишком ярких пикселей. Эти проблемы не связаны со спецификой рассматриваемого метода и требуют дополнительных разработок.

В связи с этим цветное цифровое изображение, загружаемое в объект класса Bitmap, предварительно приводится к изображению в оттенках серого. Затем осуществляется описанный во введении общий алгоритм приведения гистограммы с реализацией п. 2 в соответствии с формулой (8).

С помощью разработанной программы, реализующей описанный алгоритм, осуществлялась обработка слабоконтрастных изображений.

Проведенные исследования показывают, что предлагаемый метод хорошо работает как в случае темных слабоконтрастных изображений, так и в случае изображений, имеющих темные слабоконтрастные области и области с достаточной различимостью деталей, обладая в этих случаях преимуществом по сравнению с приведением к равномерному распределению.

Проиллюстрируем это примером.

На рис. 1 приведено исходное изображение, на котором задний план практически монотонен, слабо различимы три ствола дерева и виден некий светлый предмет на средней удаленности, но хорошо различима трава на переднем плане.



Рис. 1. Исходное изображение

Обработка этого изображения по алгоритму приведения к равномерному распределению яркостей пикселей приводит к результату, показанному на рис. 2.



Рис. 2. Результат обработки исходного изображения алгоритмом приведения гистограммы к равномерному распределению

Становится различимым задний план, но исчезает различимость травы на переднем плане. При этом сами обнаруженные предметы выглядят неестественно слабоконтрастно.

На рис. 3 приведен результат обработки посредством приведения гистограммы изображения к кусочно-равномерному распределению с конкретными значениями параметров.



Рис. 3. Результат обработки алгоритмом приведения к кусочно-равномерному распределению с $z_0 = 45$, $m = 100$

Преобразованное изображение сохраняет естественность вида, становятся различимыми как детали заднего плана, так и трава на переднем плане, однозначно распознаются край крыши деревянного дома в левом верхнем углу и умывальник на средней удаленности.

На рис. 4 приведены гистограммы исходного изображения (см. рис. 1) и изображения, полученного применением рассматриваемого метода (рис. 3).

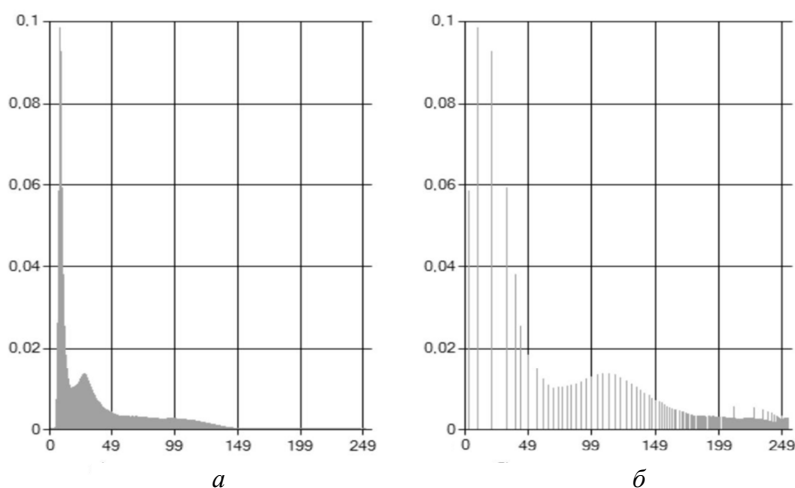


Рис. 4. Гистограммы изображений: исходного (а); обработанного алгоритмом приведения к кусочно-равномерному распределению с $z_0 = 45$, $m = 100$ (б)

Эти гистограммы хорошо иллюстрируют механизм происходящего усиления различимости.

Светлая же область исходной гистограммы заняла оставшуюся часть диапазона яркости, став еще более светлой. Но здесь произошло некоторое уплотнение, в частности несколько выбросов (локальные столбики на правом конце диапазона, превышающие общий плавно изменяющийся уровень) означают, что некоторым различающимся прежде значениям яркости в светлой области соответствуют теперь одинаковые значения, что объясняет некоторое снижение контрастности в наиболее светлой части изображения (см. рис. 3).

Можно подобрать параметры алгоритма и для эффективного преобразования светлых слабоконтрастных изображений.

Заключение

Предложен новый алгоритм обработки слабоконтрастных изображений, основанный на приведении распределения яркостей пикселей к двухуровневому кусочно-равномерному распределению.

Проведенные исследования по применению алгоритма показывают, что с его помощью можно добиться лучшей различимости деталей изображения, чем при приведении к равномерному распределению.

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; abrts@yandex.ru.

Пошехонов Никита Алексеевич – Россия, 150023, Ярославль; Ярославский государственный технический университет; магистрант кафедры информационных систем и технологий; nika19985@yahoo.com.



BRINGING LUMINANCE HISTOGRAMS OF LOW-CONTRAST DIGITAL IMAGES TO TWO-LEVEL PIECEWISE UNIFORM DISTRIBUTION

A. B. Raukhvarger, N. A. Poshekhonov

*Yaroslavl State Technical University,
Yaroslavl, Russian Federation*

Abstract. The paper describes the problems of processing digital images for enhancing contrast to increase the distinguishability of details, performed by histogram methods that approximate the reduction of the histogram of image brightness to a given distribution. Using the uniform distribution algorithm does not take much time, but it does not regulate the brightness and contrast of the image processed. It is possible to achieve better distinguishability of details using a normal distribution, as compared to the uniform distribution, but in this case the solution requires numerical methods which take much more time. There has been proposed the algorithm of controlling the contrast of a digital image by bringing the luma histogram to a distribution determined by a piecewise constant differential distribution function with two levels of values. This algorithm helps to control the average brightness and contrast, without resorting to numerical methods, very dark and very light low-contrast images having greater distinguishability of details. The mathematical foundations of the proposed algorithm are presented. There have been studied the possibilities of increasing the detail distinguishability in the processed low-contrast image, as compared to the popular method based on bringing the brightness histogram to a uniform distribution.

Key words: digital images, histogram, low-contrast image, brightness, picture contrast, distinguishability of details, uniform distribution, piecewise uniform distribution.

For citation: Raukhvarger A. B., Poshekhonov N. A. Bringing luminance histograms of low-contrast digital images to two-level piecewise uniform distribution. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics.* 2020;1:57-63. (In Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2020-1-57-63.

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 image recognition]. 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 [Adjusting contrast of black and white images applying normal law of distribution]. *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.

Poshekhonov Nikita Alekseevich – Russia, 150023, Yaroslavl; Yaroslavl State Technical University; Master's Course Student of the Department of Information Systems and Technologies; nika19985@yahoo.com.

