

Д. А. Хрящев

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ АНАЛИЗА ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИСТОГРАММ

Введение

В настоящее время все большую актуальность приобретают полностью автоматизированные системы видеонаблюдения и биометрической идентификации по лицу. В таких системах важную роль играют системы распознавания образов, анализирующие изображения, получаемые с видеокамер.

Очень часто изображения, получаемые с видеокамер, имеют низкое качество, поэтому первым этапом распознавания образов является предварительная аппаратная или программная обработка изображения (подавление шумов, корректировка яркости, контрастности, цвета и т. п.).

Во время предварительной обработки цифровых изображений необходимо оценивать исходные и обработанные изображения. Для анализа яркостных и контрастных характеристик цифровых изображений обычно используют гистограммы. Гистограммы очень просты в реализации и позволяют оценивать результаты применения методов предварительной обработки, а также подсчитывать такие числовые характеристики, как математическое ожидание и дисперсия яркости (контрастности) цифрового изображения.

Гистограммы яркости и контраста

Первым и наиболее известным типом гистограмм (от греч. *ιστος*, *истос* – столб и *γραμμα*, *грамма* – нечто записанное) цифрового изображения является гистограмма яркости. Гистограмма яркости представляет собой дискретную функцию [1]:

$$h(r_k) = n_k, \quad r_k \in [0, L-1],$$

где r_k – k -й уровень яркости; L – максимальный уровень яркости; n_k – число пикселей, имеющих яркость r_k . Графически гистограмма яркости изображает распределение яркости цифрового изображения. Гистограммы яркости обычно нормируют, т. е. количество пикселей каждого уровня яркости делят на общее количество пикселей изображения:

$$h_{norm}(r_k) = \frac{n_k}{n}, \quad r_k \in [0, L-1],$$

где n – общее число пикселей на изображении. Пример гистограммы яркости цифрового изображения показан на рис. 1.

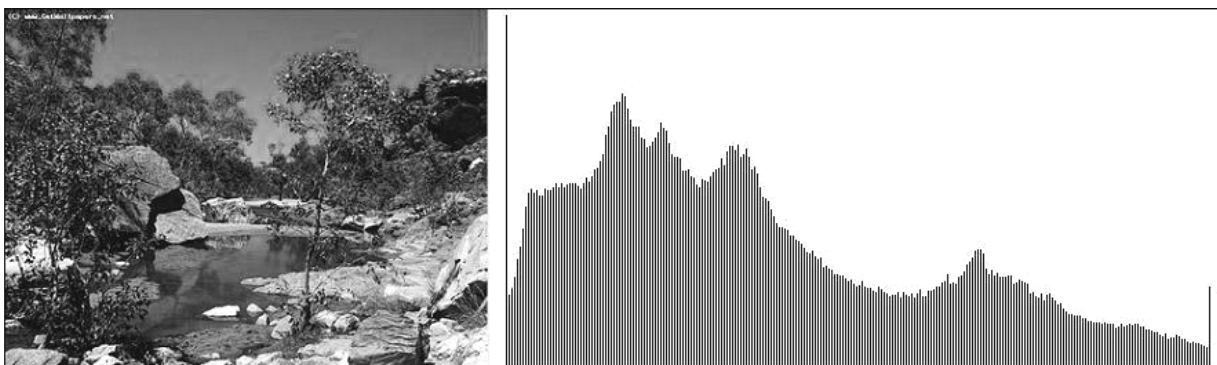


Рис. 1. Гистограмма яркости цифрового изображения

Считается, что идеальная гистограмма яркости имеет форму кривой Гаусса, т. е. это гистограмма стандартного нормального распределения, которое описывается функцией

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}.$$

Такая идеальная гистограмма означает, что на изображении присутствует весь диапазон яркостей, осуществляются плавные тональные переходы, изображение имеет сбалансированную контрастность, а большинство пикселей имеет средние яркости.

По яркостным характеристикам изображения можно разбить на четыре основных типа:

- темное;
- светлое;
- низкоконтрастное;
- высококонтрастное.

На гистограмме яркости темного изображения ненулевые значения в основном сконцентрированы в области, соответствующей низким яркостям. Аналогичным образом на гистограмме светлого изображения ненулевые значения по большей части располагаются в области высоких яркостей.

Гистограмма яркости низкоконтрастного изображения является достаточно узкой и характеризуется присутствием большинства ненулевых значений возле области средних яркостей. В противоположность низкоконтрастным изображениям, у высококонтрастных ненулевые значения занимают широкую область диапазона яркостей [1].

Вторым типом гистограмм является гистограмма контраста. Гистограмма контраста – дискретная функция [1]:

$$g(D(p_{ij}, \Omega(p_{ij}))) = n_k,$$

где p_{ij} – яркость пиксела (i, j) ; $\Omega(p_{ij})$ – окрестность пиксела (i, j) ; $D(p_{ij}, \Omega(p_{ij}))$ – правило сравнения яркости пиксела (i, j) с яркостями пикселей окрестности $\Omega(p_{ij})$.

Пример гистограммы контраста показан на рис. 2. По изменению такой гистограммы можно отследить повышение или понижение резкости изображения.

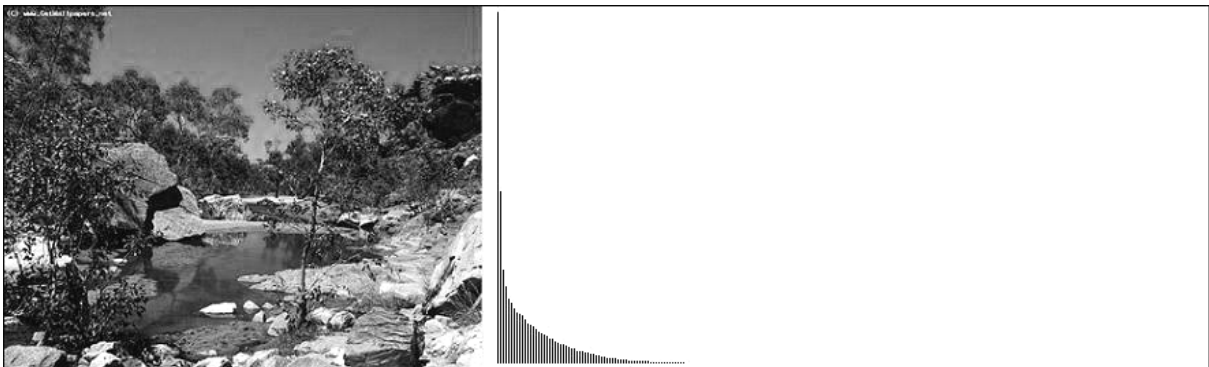


Рис. 2. Гистограмма контраста цифрового изображения

Гистограммы контраста нормируются так же, как и гистограммы яркости.

$$g_{norm}(D(p_{ij}, \Omega(p_{ij}))) = \frac{n_k}{n}.$$

В дополнение к гистограммам во время предварительной обработки изображения используют математическое ожидание и дисперсию яркости. Математическое ожидание яркости представляет собой число, вокруг которого сосредоточены значения яркости пикселей.

Математическое ожидание яркости пиксела

$$M[R] = \sum_k r_k P(R = r_k),$$

где R – яркость пикселей (случайная величина); $P(R = r_k)$ – вероятность того, что пиксел изображения имеет яркость r_k . Математическое ожидание яркости вычисляется по нормированной гистограмме яркости

$$P(R = r_k) = \frac{n_k}{n} = h_{norm}(r_k), \quad M[R] = \sum_k r_k h_{norm}(r_k).$$

Дисперсия яркости характеризует меру разброса яркости около ее математического ожидания [3], является центральным моментом второго порядка. Дисперсия яркости вычисляется следующим образом:

$$D[R] = M[R^2] - (M[R])^2 = \sum_k r_k^2 h_{norm}(r_k) - \left(\sum_k r_k h_{norm}(r_k)\right)^2 = \sum_k (r_k - M[R])^2 h_{norm}(r_k).$$

Аналогично вычисляются математическое ожидание и дисперсия контраста по нормированной гистограмме контраста.

Предлагаемый метод определения степени контрастности изображения

Предлагаемый метод определяет степень контрастности изображения исходя из гистограммы контраста. В качестве гистограммы контраста возьмем дискретную функцию от правила сравнения

$$D(p_{ij}, \Omega(p_{ij})) = |p_{ij} - \overline{\Omega(p_{ij})}|, \quad g_{norm}\left(|p_{ij} - \overline{\Omega(p_{ij})}|\right) = \frac{n_k}{n}$$

с окрестностью

$$\Omega(p_{ij}) = \{p_{mn} \mid i-1 \leq m \leq i+1, j-1 \leq n \leq j+1, i=0 \Rightarrow j \neq 0, j=0 \Rightarrow i \neq 0\},$$

т. е. 8 ближайших пикселей. Таким образом, выбирается абсолютное значение разницы яркости пикселя (i, j) и среднего арифметического яркости 8-ми ближайших пикселей. Именно таким способом была получена гистограмма контраста, изображенная на рис. 2.

При использовании данного правила для построения гистограммы контрастов было обнаружено, что с увеличением контраста гистограмма контраста приближается к кривым

$$\phi(x) = \frac{1}{x^t}, \quad t > 1, \quad t \in \mathfrak{R},$$

с уменьшением контраста гистограмма контраста приближается к кривым

$$\phi(x) = \frac{1}{x^t}, \quad 0 < t < 1, \quad t \in \mathfrak{R}.$$

Для $t = 1$ получается идеальная гистограмма контраста, т. е. изображение с такой гистограммой имеет идеально сбалансированный контраст:

$$\phi(x) = \frac{1}{x}.$$

Таким образом, гистограмма контрастности приближается к кривым, описываемым функцией

$$\phi(x) = \frac{1}{x^{e^c}}, \quad c \in \mathfrak{R},$$

где c показывает, насколько контрастно изображение; c – степень контрастности. Это означает, что при $c = 0$ получается «нулевая контрастность», т. е. это гистограмма изображения с идеально сбалансированным контрастом; при $c > 0$ – «положительная контрастность» – гистограмма изображения с повышенной контрастностью; при $c < 0$ – «отрицательная контрастность» – гистограмма изображения с пониженной контрастностью.

Следовательно, при анализе гистограмм контрастов для определения степени контрастности изображения требуется решить уравнение

$$g_{norm}(D(p_{ij}, \Omega(p_{ij}))) = \frac{1}{x^{e^c}}.$$

Из этого уравнения следует серия из k уравнений, в каждом из которых подсчитываются c_k :

$$\frac{n_k}{n} = \frac{1}{k^{e^{c_k}}},$$

из которой после элементарных преобразований получается серия уравнений:

$$c_k = \ln \left(\frac{\ln \left(\frac{n}{n_k} \right)}{\ln(k)} \right), \quad c = \overline{c_k}, \quad c = \ln \left(\frac{\ln \left(\frac{n}{n_k} \right)}{\ln(k)} \right).$$

Усредняя значение c_k , получаем c – степень контрастности цифрового изображения.

Для того чтобы оценить точность подсчитанной степени контрастности, предлагается использовать среднеквадратичную погрешность

$$S = \sqrt{\sum_k \frac{(c - c_k)^2}{n_c - 1}},$$

где n_c – количество уровней контрастности. Альтернативным для предлагаемого метода является метод Р. А. Воробеля [4]. Он предложил линейное описание локальных контрастов:

$$C_{loc} = \frac{r_1 - r_2}{r_{max}}, \quad r_1, r_2 \in [0, L - 1],$$

где r_1, r_2 – яркость элементов изображения; r_{max} – максимальное значение яркости изображения. Таким образом, максимальное значение локального контраста достигается при минимальном значении яркости одного из элементов и максимальном значении яркости другого элемента. Для подсчета общего контраста Р. А. Воробель предложил метод, базирующийся на линейном описании локальных контрастов:

$$C_{gen} = \frac{1}{2r_{max}} \int_0^\infty \left| 2(r - \bar{r}) + r_{max} - |2(r - \bar{r}) - r_{max}| \right| \cdot h(r) dr,$$

который высчитывает обобщенное значение контраста изображения по гистограмме яркости. Это означает, что для оценки степени контрастности с помощью метода Воробеля потребовалось бы рассчитать отношение обобщенных контрастов анализируемого изображения и изображения с идеально сбалансированными контрастами.

Из преимуществ предлагаемого метода можно отметить то, что он высчитывает абсолютную степень контрастности изображения, т. е. при помощи данного метода можно однозначно определить, насколько контрастно изображение.

В качестве недостатка можно отметить, что предлагаемый метод более требователен к ресурсам системы, т. к. опирается на гистограмму контраста, в то время как метод Воробеля опирается на гистограмму яркости, вычисление которой значительно проще вычисления гистограммы контраста.

Подводя итог, можно отметить, что оба метода дополняют друг друга, поскольку обобщенное значение контраста C_{gen} можно выразить через степень контрастности c . Если принять C_0 как значение обобщенного контраста Воробеля для изображения с идеально сбалансированным контрастом, то

$$C_{gen} = C_0c,$$

т. е. значение обобщенного контраста Воробеля связано со степенью контрастности. Таким образом, в случае, когда необходимо оценить среднее значение контраста конкретного изображения, удобнее использовать метод Воробеля. В случае, когда требуется определить, насколько контрастно данное изображение относительно изображения со сбалансированным контрастом, удобнее использовать предлагаемый метод.

Заключение

В работе были рассмотрены вопросы анализа цифрового изображения с применением гистограмм яркости и контрастности. Были описаны четыре основных типа цифровых изображений, а также некоторые числовые характеристики распределения яркостей и контрастов цифрового изображения.

Предложен новый метод анализа контрастности цифрового изображения, который использует нормированную гистограмму контраста в качестве входных данных. Предлагаемый метод вычисляет степень контрастности изображения, т. е. позволяет аналитически оценить, насколько контрастно цифровое изображение, а также показывает, какой должна быть идеальная гистограмма контрастов изображения, что очень удобно в случаях, когда необходимо оценить, как повлияла предварительная обработка на контрастность изображения.

Предлагаемый метод был сравнен с методом подсчета общего контраста изображения Воробеля. Были указаны недостатки и достоинства. Показано, что методы взаимодополняют друг друга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гонсалес Р. С., Вудс Р. Э. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.
2. Фисенко В. Т., Фисенко Т. Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. – 195 с.
3. Зарубин В. С., Крищенко А. П. Теория вероятностей. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 456 с.
4. Журавель И. М. Краткий курс теории обработки изображений [Электронный ресурс] – <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/index.php>, 2004.

Статья поступила в редакцию 13.01.2010

ON A METHOD OF THE ANALYSIS OF DIGITAL IMAGE USING HISTOGRAMS

D. A. Khryashchev

Histograms are usually used to analyze brightness and contrast characteristics of digital images. Brightness histogram is a discrete function which puts each level of brightness into correspondence with the amount of pixels that have the brightness level. It is possible to divide images into four categories using brightness characteristics. They are dark, bright, low contrast, high contrast. Histograms corresponding to such images are characterized by the way the majority of nonzero values of the histogram is arranged. Contrast histogram is a discrete function which puts each level of contrast (an absolute value of the difference of two pixels' brightnesses) into correspondence with the amount of pixels that have the contrast level. Mathematical expectation and brightness and contrast dispersion are used in addition to the brightness and contrast histograms which are calculated using correspondent histograms. The proposed method used contrast histograms that were built by comparing each pixel's brightness with the average brightness of the 8 surrounding pixels. Histogram forms for images with increased and reduced contrast were found during the analysis of such contrast histograms. As a result a mathematic equation which allows calculating contrast level of an image using the contrast histogram was obtained.

Key words: brightness histogram, contrast histogram, contrast level, preliminary processing, digital image analysis, general contrast of an image.