

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СРЕДЕ MATLAB

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве методических указаний для студентов, обучающихся по программам высшего образования

Составители:
А.А. Федотов,
С.А. Акулов,
А.С. Акулова

САМАРА
Издательство Самарского университета
2016

УДК 615.84(075)+004.9(075)
ББК 34.7я7+32.97я7
О 753

Составители: *А.А. Федотов, С.А. Акулов, А.С. Акулова*

Рецензент канд. техн. наук, доц. И.А. К у д р я в ц е в

Основы цифровой обработки медицинских изображений в среде MATLAB:
метод. указания к лаб. работе / сост: *А.А. Федотов, С.А. Акулов, А.С. Акулова.* –
Самара: Изд-во Самарского университета, 2016. – 20 с.

Изложены основные сведения о цифровой обработке биомедицинских изображений в среде MATLAB, приведено краткое описание пакета MATLAB и его основных функций, применяемых при решении задач компьютерной обработки изображений. Рассматривается решение задачи преобразования яркости исходных медицинских изображения для улучшения их визуального восприятия. Приведены порядок выполнения работы и требования к отчету.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению 12.03.04 Биотехнические системы и технологии и выполняющих лабораторные работы по дисциплине «Методы обработки медицинских изображений». Подготовлены на кафедре лазерных и биотехнических систем.

УДК 615.84(075)+004.9(075)
ББК 34.7я7+32.97я7

Цель работы: изучение основ цифрового представления изображений и их обработки в среде компьютерных вычислений MATLAB, знакомство с методами обработки медицинских изображений с целью улучшения их визуального восприятия.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

1.1 Общие сведения о цифровых изображениях

Изображение представляет собой двумерную функцию вида $f(x,y)$, значение функции f в точке с пространственными координатами (x,y) – положительная скалярная величина, физический смысл которой определяется источником изображения. Большинство медицинских изображений являются монохромными (черно-белыми) и их значения находятся в некотором диапазоне яркостей.

Цифровое изображение формируется на основе данных, воспринимаемых чувствительным элементом (ЧЭ). Выходной сигнал ЧЭ чаще всего характеризуется непрерывно меняющимся напряжением. Чтобы получить цифровое изображение необходимо преобразовать непрерывно меняющийся сигнал в цифровую форму, эта операция включает в себя два процесса – дискретизацию и квантование. Представление координат в виде конечного множества отсчетов называется *дискретизацией*, а представление амплитуды (то есть яркости) дискретными значениями из конечного множества – *квантованием*.

В результате операций дискретизации и квантования координаты (x,y) становятся дискретными, само изображение представлено в виде матрицы размером $M \times N$, за начало координат принимают верхний левый угол. Каждый элемент такой матрицы называется пикселем. На рис. 1 представлена система координат для представления цифровых изображений.

Для выполнения процесса оцифровки изображения необходимо принять решения относительно значений M и N , а также числа уровней (градаций) яркости L , разрешенных для каждого пикселя. Значение L , по соображениям удобства построения оборудования для обработки, хранения и дискретизации, принято выбирать равным целочисленной сте-

пени двойки $L=2^k$. Величина k определяет так называемую «битность» изображения. Принято говорить о 8-битном, 16-битном или 32-битном изображениях.

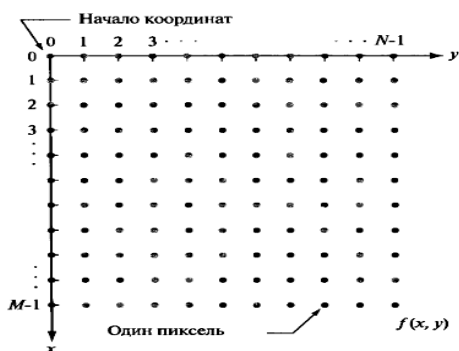


Рисунок 1 – Система представления цифровых изображений

Дискретные уровни яркости расположены с постоянным шагом, то есть используется равномерное квантование, и принимают целые значения в интервале от 0 до $L - 1$, при этом значение $L = 0$ принимается за уровень черного, а $L = L - 1$ – за уровень белого. Интервал значений яркости иногда называют динамическим диапазоном изображения. Если в изображении заметная доля пикселей занимает значительную часть всего диапазона уровней серого, то данное изображение обладает высоким контрастом, изображения с малым динамическим диапазоном выглядят тусклыми, размытыми и серыми.

Принято разделять пространственное и яркостное разрешения изображений. Пространственное разрешение определяется дискретизацией и определяет размер мельчайших различимых деталей на изображении. Яркостным или полутоновым разрешением называется мельчайшее различимое изменение яркости, что по определению является субъективным. При выборе числа градаций яркости учитывают особенности аппаратуры, наиболее часто выбирают 8-битное или 16-битное представление. Оптимальный выбор уровня градаций яркости и пространственного разрешения изображения обусловлен уровнем детализации самого изображения, областью применения и дальнейшей обработки изображения.

1.2. Методы улучшения изображения

Под методами улучшения изображения подразумевается осуществление таких преобразований над исходным сигналом, которые приводят к получению более подходящего результата с точки зрения конкретного применения. Визуальное оценивание качества изображения представляет собой крайне субъективный процесс. В том случае, когда целью обработки изображений является их дальнейшее использование в системах машинного восприятия, критерием эффективности обработки исходного изображения является получение более точных результатов машинного распознавания.

Множество подходов к улучшению изображения распадается на две категории: *методы обработки в пространственной области* и *методы обработки в частотной области*. Термин пространственная область относится к плоскости изображения как таковой, и данная категория объединяет подходы, основанные на прямом манипулировании пикселями изображения.

Пространственные методы представляют собой процедуры, оперирующие непосредственно значениями пикселей и описываются уравнением:

$$g(x, y) = T[f(x, y)],$$

где $g(x, y)$ – обработанное изображение, $f(x, y)$ – входное изображение, T – оператор над f , определенный в некоторой окрестности точки (x, y) .

Под окрестностью точки понимается квадратная или прямоугольная область, являющаяся подмножеством изображения и центрированная относительно данной точки.

Простейшая форма оператора T достигается в случае, когда окрестность имеет размер в один пиксель, в этом случае значение g зависит только от значения f в точке (x, y) и T становится *функцией градационно-го преобразования*. Оператор T часто называют также функцией преобразования интенсивностей или функцией отображения и записывают в виде: $s = T(r)$. Переменные r и s представляют собой значения яркостей изображений $f(x, y)$ и $g(x, y)$ в точке (x, y) . Если $T(r)$ имеет вид, представленный на рис. 2А, то эффект от такого преобразования заключается в

получении изображения более высокого контраста по сравнению с оригиналом. Данное преобразование известно как *усиление контраста* и относится к группе методов поэлементной обработки изображений.

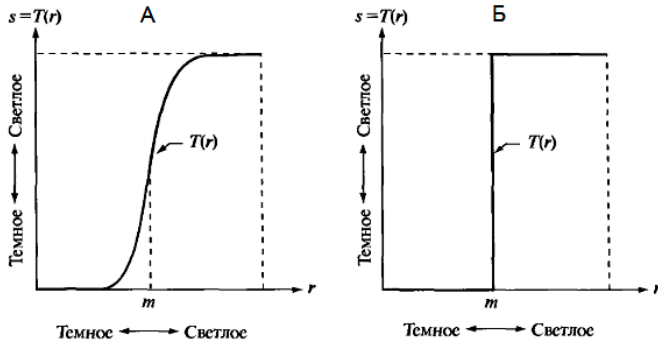


Рисунок 2 – Градационное преобразование для улучшения контраста

В предельном случае, показанном на рис. 2Б, оператор $T(r)$ обеспечивает двухградационное или бинарное изображение. Отображение такой формы называют пороговой функцией.

Градационные преобразования классифицируются на следующие группы методов: линейные (негатив и тождественное преобразование), логарифмические и степенные (рис. 3).

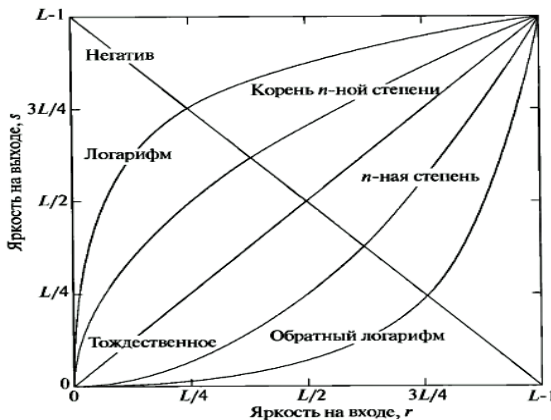


Рисунок 3 – Основные функции градационных преобразований

Преобразование изображения в негатив

Преобразования изображения в негатив с значениями яркости в диапазоне $[0, L-1]$ осуществляется с использованием негативного преобразования, определяемого выражением:

$$S = L - 1 - r.$$

Данный тип обработки подходит для усиления белых или серых деталей на фоне темных областей изображения, особенно когда темные области имеют преобладающие размеры.

Логарифмическое преобразование

Общий вид логарифмического преобразования выражается формулой:

$$S = c \cdot \log(1 + r).$$

Данный вид преобразований отображает узкий диапазон малых значений яркости на исходном изображении в более широкий диапазон выходных значений. Для больших значений входного сигнала верно обратное утверждение.

Степенные преобразования

Степенные преобразования имеют вид:

$$S = c \cdot r^\gamma.$$

где c и γ – положительные константы.

Заметим, что амплитудная характеристика многих устройств, используемых для ввода, печати или визуализации изображений, соответствует степенному закону. Процедура, используемая для коррекции такой степенной характеристики называется гамма-коррекцией. Правильное воспроизведение цветов также требует применения методов гамма-коррекции. Также степенные преобразования могут применяться для улучшения контрастов: уменьшения или увеличения яркости изображений. При $\gamma > 1$ яркость изображения уменьшается, степенные преобразования в этом случае применяются для устранения слишком светлых участков изображения, при $\gamma < 1$ яркость изображения увеличивается.

Гистограмма цифрового изображения

Гистограммой цифрового изображения с уровнями яркости в диапазоне $[0, L-1]$ называется дискретная функция $h(r_k) = n_k$, где r_k есть k -й уровень яркости, а n_k – число пикселей на изображении, имеющих яркость r_k . Обычно гистограмма нормализуется путем деления каждого из ее значений на общее число пикселей в изображении, обозначаемых n . Таким образом, значения нормализованной гистограммы будут определяться как: $p(r_k) = n_k/n$, для $k = 0, 1 \dots L-1$, при этом $p(r_k)$ представляет собой вероятность появления пикселя со значением яркости r_k , сумма всех значений нормализованной гистограммы равна единице.

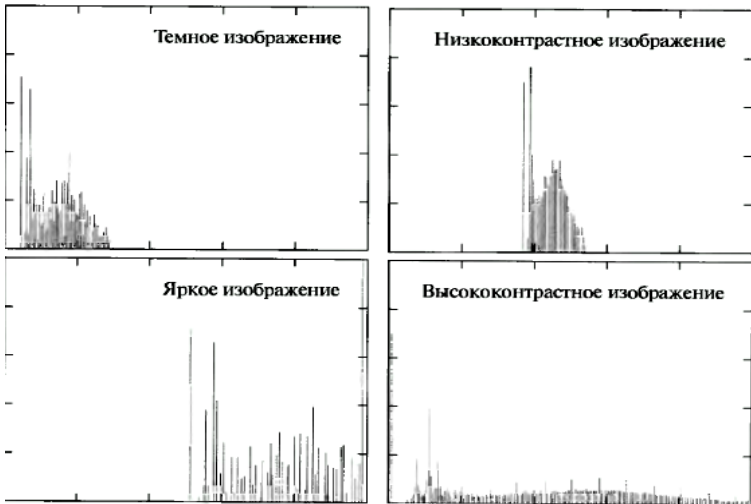


Рисунок 4 – Типичные гистограммы для 4-х основных типов изображения

Эквализация гистограммы

Эквализацией или линейризацией гистограммы цифрового изображения называется такое преобразование исходного изображения, при котором гистограмма эквализованного изображения перекрывает более широкий диапазон уровней яркости, чем гистограмма исходного изображения. Функция преобразования задается уравнением вида:

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1.$$

Таким образом, суть метода эквализации гистограммы заключается в нахождении функции преобразования, которая стремится сформировать выходное изображение с равномерной гистограммой. Эквализация гистограммы изображения приводит к существенному усилению контраста. К достоинствам метода относится простота его реализации и предсказуемость получаемых результатов.

Тем не менее, улучшение изображения, основанное на модели равномерной гистограммы, не всегда является наилучшим подходом. В некоторых случаях необходимо задавать желаемую форму гистограммы для обрабатываемого изображения. Метод, позволяющий получить обработанное изображение с заданной формой гистограммы, называется методом приведения или задания гистограммы. Данный метод представляет собой итеративную процедуру, заключающуюся в подборе оптимальной формы гистограммы.

1.3. Система компьютерных вычислений MATLAB

MATLAB как язык программирования, был разработан в конце 1970-х годов. Целью разработки служила задача дать студентам возможность использования программных библиотек Linpack и EISPACK без необходимости изучения Фортрана. Вскоре новый язык распространился среди университетов, и был с большим интересом встречен учёными, работающими в области прикладной математики. В дальнейшем создатели языка переписали MATLAB на C и основали в 1984 компанию The MathWorks для дальнейшего развития. Первоначально MATLAB предназначался для проектирования систем управления, но быстро завоевал популярность во многих других научных и инженерных областях. Он также широко использовался в образовании, в частности для преподавания линейной алгебры и численных методов.

Язык MATLAB является высокоуровневым языком программирования, включающим основанные на матрицах структуры данных, широкий спектр функций, интегрированную среду разработки, объектно-ориентированные возможности и интерфейсы к программам, написанным на других языках программирования.

MATLAB предоставляет удобные средства для разработки алгоритмов, включая высокоуровневые с использованием концепций объектно-

ориентированного программирования. В нём имеются все необходимые средства интегрированной среды разработки, включая отладчик и профилировщик. Функции для работы с целыми типами данных облегчают создание алгоритмов для микроконтроллеров и других приложений, где это необходимо.

Программы, написанные на MATLAB, бывают двух типов – функции и скрипты. Функции имеют входные и выходные аргументы, а также собственное рабочее пространство для хранения промежуточных результатов вычислений и переменных. Скрипты же используют общее рабочее пространство. Как скрипты, так и функции не интерпретируются в машинный код и сохраняются в виде текстовых файлов.

Основной особенностью языка MATLAB являются его широкие возможности по работе с матрицами. MATLAB предоставляет пользователю большое количество (несколько сотен) функций для анализа данных, охватывающих практически все области математики. В частности, система MATLAB предоставляет пользователю многофункциональную и эффективную среду цифровой обработки двумерных изображений: Image Processing Toolbox – специальный набор инструментов, расширяющий базовую функциональность среды MATLAB. Image Processing Toolbox представляют собой коллекцию функций, написанных на языке MATLAB для решения широкого круга задач цифровой обработки изображений.

Рабочий стол MATLAB

На рис. 5 приведен рабочий стол в среде MATLAB, содержащий четыре подокна: окно команд (Command Window), окно рабочего пространства (Workspace Browser), окно текущей папки (Current Directory Window), окно совершенных команд (Command History Window). Окно команд (Command Window) – это область, где пользователь вводит команды и выражения на языке программирования среды MATLAB, и в которой система размещает свои ответы на пользовательские команды. При каждом сеансе работы среда MATLAB формирует рабочее пространство, т.е. множество переменных, создаваемых пользователем. Окно рабочего пространства (Workspace Browser) отображает эти перемен-

ные и информацию о них – размер и тип переменной. Окно совершенных команд (Command History Window) содержит записи всех команд, которые пользователь вводил в окне команд, включая все предыдущие сеансы работы в среде MATLAB.

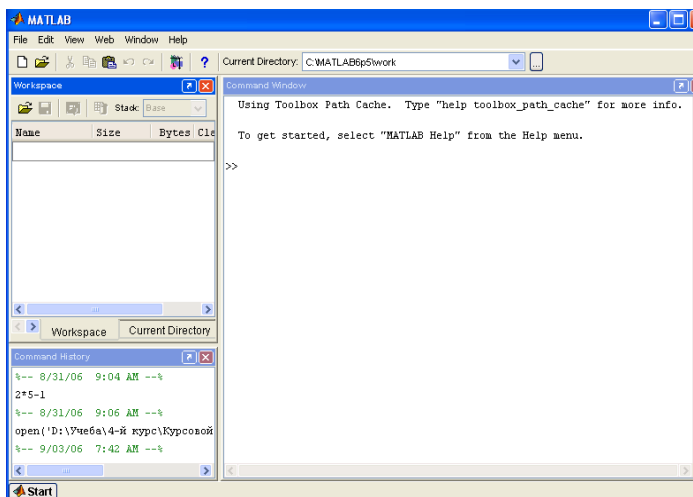


Рисунок 5 – Рабочий стол MATLAB и его основные компоненты

Вызов справки в среде MATLAB

Вызов окна справки в среде MATLAB осуществляется нажатием мышью на знак вопроса в строке инструментов рабочего стола или набором команды **helpbrowser** в командном окне. Справочная система организована в виде веб-обозревателя, интегрированного в рабочий стол MATLAB, который способен отображать документы, написанные на языке HTML.

Существует другой путь получения справки по конкретной функции среды MATLAB. Для этого достаточно задать в командной строке команду `doc`, за которой следует поместить имя нужной функции. Справочная система среды MATLAB предоставляет пользователю исчерпывающую информацию по каждой имплементированной функции и содержит наглядные примеры использования данной функции для решения разного рода вычислительных задач.

Создание М-файлов (скриптов) в редакторе MATLAB

Редактор MATLAB является одновременно специализированным текстовым редактором для создания М-файлов и графическим отладчиком программ MATLAB. М-файл представляет собой созданный пользователем последовательный список исполняемых команд MATLAB, сохраненный на диске. М-файлы бывают двух типов: скрипты и функции. Скрипты не имеют входных и выходных аргументов, все переменные, объявленные в скрипте, становятся доступными в рабочей среде сразу после выполнения. Функции могут быть полезны при программировании собственных приложений, функции производят необходимые действия с входными аргументами, согласно составленной пользователем последовательности операций, и возвращают результат в выходных аргументах.

Загрузка изображений в среде MATLAB

Для загрузки (чтения) изображений в рабочее пространство MATLAB используется функция **imread** со следующим синтаксисом:

imread('filename').

filename – строка символов, образующая полное имя загружаемого файла изображения, включающее расширение файла, и путь к файлу на компьютере.

Следующая команда присваивает файл изображения с названием **chestxray** формата JPEG, расположенного в папке **images** на локальном диске **C** матричной переменной **f**:

f=imread('C:\images\chestxray.jpg').

Среда программирования MATLAB, начиная с версии 6.5, поддерживает следующие графические форматы: TIFF, JPEG, GIF, BMP, PNG, XWD.

Функция **size** возвращает размер изображения, т.е. число строк и столбцов матрицы. Автоматическое определение размера изображения **f** можно осуществить с помощью следующей операции:

[M, N]=size(f).

Переменной **M** будет присвоено значение, равное числу строк изображения, переменной **N** – числу столбцов изображения.

Для получения информации о графическом файле используется следующая команда:

imfinfo filename.

filename – полное имя файла, хранящегося на диске.

Вывод изображения на дисплей

Изображение можно вывести на дисплей компьютера с помощью функции **imshow**, которая имеет следующий синтаксис:

imshow(f, G),

где **f** – матрица изображения, **G** – число уровней яркости, используемое при отображении данного изображения. Если пользователь не определил переменную **G**, то по умолчанию используется 256 уровней яркости.

Следующая команда обозначает, что все пиксели со значениями яркости не более величины **low** надо показывать черными, все пиксели со значениями яркости не меньше числа **high** надо показывать белыми, все промежуточные значения остаются без изменения.

imshow(f, [low high]).

Запись последней команды в следующем виде задает значения: переменной **low** – равное минимальному значению в массиве **f**, переменной **high** – максимальному значению в массиве **f**.

imshow(f, []).

Последняя форма записи команды **imshow** бывает полезной при показе изображений, имеющих узкий динамический диапазон значений пикселей, или когда некоторые пиксели имеют положительные и отрицательные значения.

Для того, чтобы вывести два изображения одновременно на экран в разных окнах необходимо использовать команду **figure**, например, следующим образом:

imshow(f)

figure

imshow(g)

Сохранение изображений

Сохранение изображений на локальный диск или внешний носитель осуществляется функцией **imwrite**, которая имеет следующий синтаксис:

imwrite(f, 'filename').

Строка **filename** должна содержать расширение, поддерживаемое системой MATLAB. Если строка **filename** не содержит информацию о полном пути хранения файла, то изображение записывается в файл в текущую рабочую папку, по умолчанию находящуюся в директории:

C:/Program Files/Mathworks/work.

В зависимости от формата графического файла, функция **imwrite** может содержать дополнительный набор входных аргументов и обеспечивать большую функциональность. Более подробно с особенностями работы функции можно ознакомиться в справочной системе MATLAB с помощью команды вызова справки: **doc imwrite**.

Преобразование яркости изображений

Функция **imadjust** является базовым инструментом в пакете MATLAB для преобразования яркости полутоновых изображений. Данная функция имеет следующий синтаксис:

g=imadjust(f, [low_in, high_in], [low_out, high_out], gamma).

На рис. 6 проиллюстрировано отображение с помощью этой функции исходного изображения **f** в новое изображение **g**, при котором значения яркости в интервале **[low_in, high_in]** переходят в значение интервала **[low_out, high_out]**, а значения меньше порога **low_in** или большие порога **high_in** обрезаются.

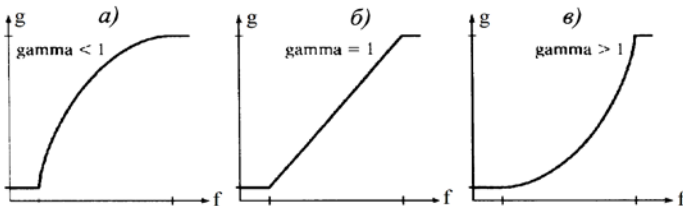


Рисунок 6 – Различные отображения, допустимые в функции **imadjust**

Все входные параметры функции **imadjust** за исключением **f** являются вещественными числами в диапазоне от 0 до 1. Параметр **gamma** служит для задания формы кривой, отображающей яркость **f** в яркость **g**. По умолчанию параметр **gamma=1**, что соответствует линейному отображению.

Степенное преобразование яркости изображений или гамма-коррекция определяется с помощью следующего выражения:

$$S = c \cdot r^\gamma.$$

где r – входная (исходная) яркость, S – выходная яркость, c и γ – положительные константы.

В системе MATLAB операции возведения в степень, умножения и деления матриц при обработке соответствующих изображений необходимо выполнять поэлементно, для этого используется следующая запись команд (соответственно):

$$\begin{aligned} \mathbf{g} &= \mathbf{f}.^{0.5} \\ \mathbf{g} &= \mathbf{f}.*\mathbf{h} \\ \mathbf{g} &= \mathbf{f}./\mathbf{h} \end{aligned}$$

При умножении или делении матрицы на константу (скаляр) можно использовать обычную запись арифметических операций: $\mathbf{g}=\mathbf{f}*2$, $\mathbf{g}=\mathbf{f}/2$.

Обработка гистограмм изображения

Для построения гистограмм в системе MATLAB используется функция **imhist** со следующим синтаксисом:

$$\mathbf{h}=\mathbf{imhist}(\mathbf{f}, \mathbf{b}).$$

f – входное изображение, **h** – гистограмма изображения, **b** – число уровней разбиения шкалы яркости, использованных при формировании гистограмм.

По умолчанию параметр **b** принимается равным 256. Например, если при работе с 8-битными изображениями пользователь задает **b** равное 2, то шкала яркости делится на 2 области: от 0 до 127 и от 128 до 255. Итоговая гистограмма будет иметь два значения: $h(1)$ равно числу пикселей изображения, величины яркости которых находятся в диапазоне $[0, 127]$ и $h(2)$, которое равно числу пикселей, значения яркости которых находятся в диапазоне $[127, 255]$.

Для получения нормированной гистограмма (оггибающая гистограмма) будет являться оценкой функции распределения вероятностей) необходимо выполнить следующее действие:

$$p = \text{imhist}(f, b) / \text{numel}(f),$$

где **numel(f)** – общее число пикселей изображения.

Эквализация гистограммы в пакете MATLAB реализуется с помощью функции **histeq**, имеющей синтаксис:

$$g = \text{histeq}(f, \text{nlev}),$$

где **f** – входное изображение, **nlev** – число уровней интенсивности, установленное для выходного изображения.

2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Загрузите тестовое изображение рентгенограммы молочной железы **mammary.jpg**, получите полную информацию о данном графическом файле, сохраните исходное изображение в формат *.tif без сжатия, присвойте файлу свое имя, сократите размер изображения до 1,5×1,5 дюйма, сохранив при этом его пиксельный размер 482×571. Используйте справочную информацию пакета MATLAB о функции **imwrite** с помощью следующей команды: **doc imwrite**.

2. Загрузите снова исходное изображение рентгенограммы молочной железы **mammary.jpg**. Сформируйте с помощью команды **imadjust** негативное изображение, а также получите изображения с преобразованной яркостью при различных значениях входных порогов и параметра **gamma** функции **imadjust**. Выберите такие параметры функции **imadjust**, которые на ваш взгляд обеспечивают наибольшую информативность и наглядность о содержащейся опухоли.

3. Загрузите изображение позвоночника человека **vertebra.jpg**, полученное с помощью ЯМР-томографа. На основе применения методов степенного преобразования яркости (гамма-коррекция) сформируйте изображение с большей контрастностью, выбор оптимальных параметров гамма-коррекции осуществляется на основе визуального контроля.

4. Постройте гистограммы для изображений **vertebra.jpg** и **mammary.jpg**.

5. Выполните процедуру эквализации гистограммы для изображений **vertebra.jpg** и **mammary.jpg**. Постройте гистограммы эквализованных изображений и сравните их с исходными гистограммами. Сравните метод эквализации гистограммы с рассмотренными ранее методами градиентного преобразования яркости. Сделайте выводы о полученных результатах.

3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Листинги написанных программ (М-файлов) в среде MATLAB для каждого задания.
3. Сводная таблица результатов, содержащая полученные в результате проведенных исследований изображения в сравнении с исходными изображениями.
4. Выводы о полученных результатах, сопоставление с теорией.

4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Представление о цифровом изображении.
2. Квантование и дискретизация изображений.
3. Пространственное и яркостное разрешение изображения.
4. Пространственные методы улучшения изображений.
5. Гистограмма цифрового изображения.
6. Эквализация гистограмм изображения как метод улучшения изображения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гонсалес, Р.* Цифровая обработка изображений [Текст] / *Р. Гонсалес, Р. Вудс.* – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.
2. *Гонсалес, Р.* Цифровая обработка изображений в среде MATLAB [Текст] / *Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс.* – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.
3. *Алексеев, Е.Р.* MATLAB 7 [Текст] / *Е.Р. Алексеев, О.В. Чеснокова* – М.: NT Press, 2006. – 464 с.

Учебное издание

**ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ
МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
В СРЕДЕ MATLAB**

Методические указания к лабораторной работе

Составители:

***Федотов Александр Александрович,
Акулов Сергей Анатольевич,
Акулова Анна Сергеевна***

Редактор И.И. Спиридонова.
Доверстка И.И. Спиридонова

Подписано в печать 29.04.2016. Формат 60 x 84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 1,25.
Тираж 100 экз. Заказ . Арт. – 50/2016

федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Самарский национальный
исследовательский университет имени академика С.П. Королева»
(Самарский университет)

Изд-во Самарского университета
443086 Самара, Московское шоссе, 34.