

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П.КОРОЛЕВА

ПОЭЛЕМЕНТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Методические указания к лабораторной работе №1
по дисциплине
"Математические методы обработки изображений"

САМАРА 2006

Составители: д.т.н., проф. В. В. Сергеев,
 к.т.н., асс. М. В. Гашиков,
 к.т.н., доцент. В. В. Мясников

УДК 681.3

Поэлементные преобразования изображений / Методические указания
Лабораторная работа / Самарский государственный
аэрокосмический университет;

Составители: В. В. Сергеев, М.В. Гашиков, В. В. Мясников
Самара, 2006. 27с.

Данные методические указания разработаны при поддержке Министерства образования и науки РФ, Администрации Самарской области и Американского фонда гражданских исследований и развития (CRDF Project SA-014-02) в рамках российско-американской программы "Фундаментальные исследования и высшее образование" (BRHE).

В лабораторной работе изучаются некоторые простые поэлементные методы цифровой обработки видеоинформации; даются примеры их практического применения при работе с помощью автоматизированной системы обработки изображений.

Лабораторная работа предназначена для студентов, обучающихся по направлению 510200 - "Прикладная математика и информатика" по курсу "Математические методы обработки изображений" и для специалистов, проходящих курсы повышения квалификации.

Печатается по решению редакционно-издательского комитета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П.Королева

Рецензенты: Глумов Н.И.
 Попов С.Б.

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Теоретические основы лабораторной работы	4
1.1.	Общее описание метода	4
1.2.	Линейное контрастирование	7
1.3.	Преобразование гистограмм	9
1.4.	Пороговая обработка	12
1.5.	Препарирование	14
2.	Описание используемых прикладных задач	16
2.1.	Определение экстремумов изображения и их координат	16
2.2.	Построение гистограммы отсчетов изображения	18
2.3.	Формирование таблицы кусочно-линейного преобразования	18
2.4.	Формирование таблицы для эквализации изображения	19
2.5.	Позлементное преобразование изображений	20
2.6.	Вычисление значения переменной	21
2.7.	Визуализация изображений, гистограмм и таблиц преобразования	22
3.	Выполнение лабораторной работы	23
3.1.	Общий план выполнения работы	23
3.2.	Вариант 1. Линейное контрастирование	23
3.3.	Вариант 2. Эквализация гистограммы	23
3.4.	Вариант 3. Пороговая обработка	24
3.5.	Содержание отчета	24
4.	Контрольные вопросы	25
	Библиографический список	26

Цель работы - изучение и экспериментальное исследование простых поэлементных методов цифровой обработки видеoinформации; получение навыков работы с автоматизированной системой обработки изображений.

1. Теоретические основы лабораторной работы

1.1 Общее описание метода

Как известно, при цифровой обработке изображения обычно используется его представление в памяти ЭВМ в виде прямоугольной $M \times N$ -матрицы (двумерного массива) чисел - элементов функции яркости - $f(m, n)$, $0 \leq m \leq M-1$, $0 \leq n \leq N-1$. Обработка изображения в общем случае заключается в выполнении какого-либо преобразования указанной матрицы, в результате которого формируется набор ее числовых характеристик или новое, обработанное изображение - $g(k, l)$, $0 \leq k \leq K-1$, $0 \leq l \leq L-1$.

Преобразование может касаться значений элементов или их координат (индексов), выполняться над матрицей в целом, группой элементов или над каждым элементом в отдельности.

В данной лабораторной работе рассматривается простейший вид цифровой обработки изображений, заключающийся в выполнении одного и того же функционального для каждого элемента матрицы вне зависимости от его положения и значений других (соседних) элементов. Такая обработка получила название пространственно-инвариантного поэлементного преобразования изображений. Она переводит значение каждого элемента f в новое значение g

$$g = g(f). \quad (1)$$

Размеры входного и выходного изображения здесь, очевидно, совпадают ($K=M, N=L$).

При практической реализации поэлементных преобразований можно непосредственно вычислять каждое значение преобразованного элемента в соответствии с конкретным видом функции (1). Однако для достаточно сложных функций такое построение процедуры обработки

оказывается неудобным из-за больших затрат машинного времени на вычисления. Скорость обработки возрастает при переходе к табличному заданию функции преобразования. Алгоритм работы с таблицей очень прост: по значению f вычисляется адрес (номер строки) таблицы с выходным значением g . Очевидные преимущества такого подхода - высокое быстродействие, а также гибкость процедуры обработки (таблица преобразования по сути является параметром процедуры и может легко меняться). Недостаток - приближенность результатов из-за ограниченного числа строк таблицы.

Указанный недостаток снимается, если сама функция принимает конечное число квантованных значений. На практике обычно встречается именно такая ситуация, т.к. почти все устройства ввода изображений в ЭВМ формируют целочисленные элементы яркости, лежащие в ограниченном диапазоне. Например, часто изображения в памяти ЭВМ представляются в формате «байт на элемент», при котором каждый элемент функции яркости кодируется восьмиразрядным двоичным числом без знака и, следовательно, может принимать целочисленные значения $0,1,2,\dots,255$. Очевидно, в данном случае таблица преобразования должна содержать всего 256 строк (по числу значений элементов исходного изображения f), а сами эти элементы могут интерпретироваться как адреса таблицы с выходными значениями g .

Однако такая дискретность (в частном случае, целочисленность) элементов имеет и отрицательные последствия. Истинная функция яркости лишь приближенно описывается своими квантованными значениями, т.е. в цифровые данные вносится некоторая погрешность (шум) квантования. В результате поэлементных преобразований шум квантования может резко возрасти. Это явление иллюстрирует рис.1, где для значений f и g выбраны равномерно расположенные 16 квантованных уровней.

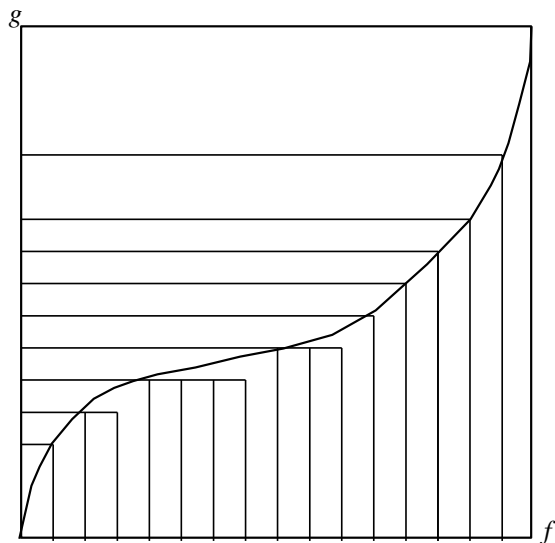


Рис.1

Пунктирная кривая на этом рисунке отображает функцию преобразования (1). На участках, где производная функции преобразования мала, происходит слияние квантованных уровней изображения f , т.е. разным его значениям соответствует одинаковый результат. Там, где производная велика, происходит увеличение расстояния между используемыми квантованными уровнями в преобразованном изображении g . В результате фактическое число квантованных уровней после преобразования уменьшается и, следовательно, погрешность квантования возрастает. Это обстоятельство нужно учитывать при выборе числа квантованных уровней исходного изображения и при необходимости выбирать его с запасом.

Несмотря на свою простоту, метод поэлементных преобразований позволяет решить довольно много прикладных задач улучшения качества и анализа изображений. Рассмотрим некоторые из них.

1.2 Линейное контрастирование

Изображения, вводимые в ЭВМ, часто являются малоконтрастными, т.е. у них вариации функции яркости малы по сравнению с ее средним значением. Реальный динамический диапазон яркостей $[f_{\min}, f_{\max}]$ для таких изображений оказывается намного меньше допустимого диапазона (шкалы яркости). Задача контрастирования заключается в «растягивании» реального динамического диапазона на всю шкалу.

Контрастирование можно осуществить при помощи линейного поэлементного преобразования

$$g = af + b. \quad (2)$$

Параметры этого преобразования - a , b - нетрудно определить, исходя из требуемого изменения динамического диапазона. Если в результате обработки нужно получить шкалу $[g_{\min}, g_{\max}]$, то, как следует из (2)

$$\begin{cases} g_{\min} = af_{\min} + b \\ g_{\max} = af_{\max} + b \end{cases}$$

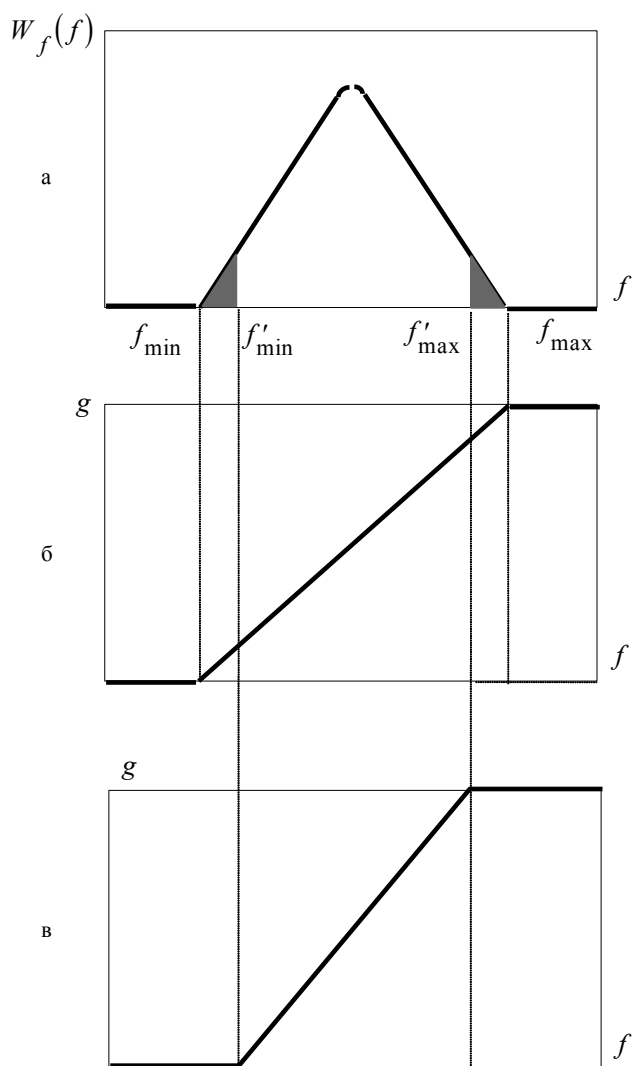
Отсюда

$$a = \frac{g_{\max} - g_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}}; \quad b = \frac{g_{\min}f_{\max} - g_{\max}f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}}.$$

В частном случае, если $g_{\min} = 0$, $g_{\max} = 255$, имеем:

$$a = \frac{255}{f_{\max} - f_{\min}}; \quad b = -\frac{255f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}}.$$

При диалоговой обработке изображений иногда проще не определять параметры преобразования (2), а непосредственно строить его в табличной форме, ориентируясь на границы распределения вероятностей элементов функции яркости (короче - распределения яркости). Так, если плотность распределения имеет вид, показанный на рис.2а, то линейное контрастирование можно осуществить с помощью поэлементного преобразования, соответствующего графику на рис.2б.



Puc.2

Этот способ удобен еще тем, что позволяет не рассматривать истинные экстремальные значения яркости - f_{\min}, f_{\max} , а назначать их с некоторыми доверительными вероятностями (см. Функцию преобразования на рис.2в, построенную по величинам f'_{\min}, f'_{\max}). Эффект контрастирования в этом случае получается сильнее, хотя, естественно, маловероятные элементы, вышедшие после преобразования за пределы шкалы $[g_{\min}, g_{\max}]$, будут потеряны (их значения будут приняты равными g_{\min} или g_{\max}).

Оценку плотности распределения яркостей в виде гистограммы получают в результате предварительного анализа изображения.

1.3 Преобразование гистограмм

Еще одна процедура повышения контраста изображений заключается в приведении плотности распределения яркостей к некоторому «стандартному» виду. Она реализуется при помощи нелинейного преобразования элементов изображения и, поскольку на практике мы имеем дело с экспериментально полученными гистограммами распределения яркости, называется **преобразованием гистограммы**.

Чтобы выполнить преобразование гистограммы, нужно сначала найти вид функции поэлементного преобразования (1).

Пусть случайная величина f имеет плотность распределения вероятности $W_f(f)$. И пусть $g(f)$ - некоторая монотонно возрастающая функция. Преобразованная величина $g = g(f)$ также случайна и имеет плотность распределения $W_g(g)$. Рассмотрим интегральные функции распределения вероятностей:

$$F_f(f) = \int_{-\infty}^f W_f(\xi) d\xi; \quad F_g(g) = \int_{-\infty}^g W_g(\eta) d\eta.$$

Если случайная величина f принимает значение, меньшее некоторого произвольного f_0 , то по известному свойству

интегральной функции распределения вероятность этого события

$$P[f < f_0] = F_f(f_0). \quad (3)$$

Аналогично можно записать:

$$P[g < g_0] = F_g(g_0). \quad (4)$$

Если $g_0 = g(f_0)$, то в силу возрастания функции преобразования, события, указанные в (3) и (4), жестко связаны (одно является следствием другого) и их вероятности равны. Приравнявая (3) и (4) и отбрасывая ставший ненужным индекс, получаем:

$$F_f(f) = F_g[g(f)]. \quad (5)$$

Зная требуемый вид плотности распределения вероятностей $W_g(g)$, а значит и $F_g(g)$, из соотношения (5) можно выразить функцию поэлементного преобразования $g(f)$.

Покажем, как это делается на примере решения задачи **эквализации** (выравнивания) гистограммы. В данном случае требуется получить такое изображение, у которого все значения яркости в пределах заданного динамического диапазона $[g_{\min} \cdot g_{\max}]$ равновероятны (рис.3а):

$$W_g(g) = \frac{1}{g_{\max} - g_{\min}}.$$

Интегральная функция распределения на том же интервале получается линейной (рис.3б):

$$F_g(g) = \frac{g - g_{\min}}{g_{\max} - g_{\min}}.$$

Подставив это выражение в (5), после элементарных преобразований получаем:

$$g(f) = (g_{\max} - g_{\min})F(f) + g_{\min}.$$

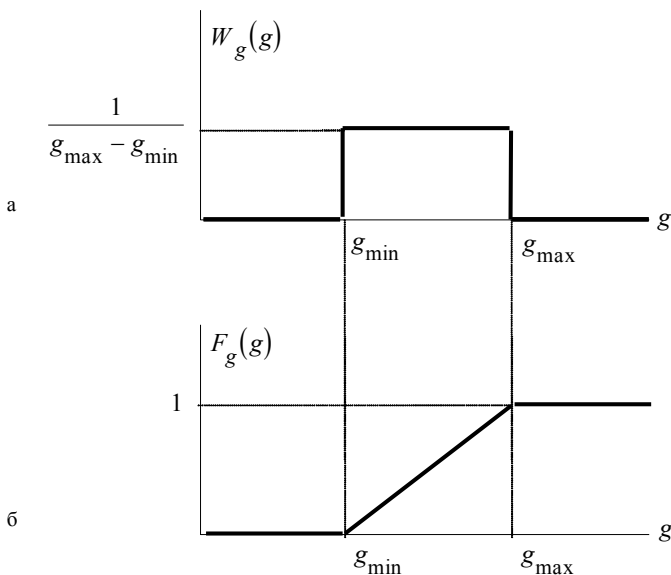


Рис.3

В частном случае, если $g_{\min} = 0, g_{\max} = 255$, имеем:

$$g(f) = 255F(f).$$

При реализации преобразования гистограмм удобно использовать табличное задание функции поэлементного преобразования $g(f)$. Таблица $g(f)$ строится следующим образом. Сначала определяется гистограмма распределения яркостей исходного изображения - $W_f(f)$. Затем по массиву значений гистограммы рассчитываются значения интегральной функции распределения $F_f(f)$. И, наконец, массив интегральной функции по соответствующей формуле преобразуется в таблицу значений функции $g(f)$.

1.4 Пороговая обработка

Некоторые задачи обработки видеоинформации связаны с преобразованием полутонового изображения (т.е. такого, которое имеет много градаций яркости) в бинарное (двухградационное). Такое преобразование осуществляется в первую очередь для того, чтобы сократить информационную избыточность изображения, оставив в нем только ту информацию, которая нужна для решения конкретной задачи. В бинарном изображении (или, как говорят, графическом препарате полутонового) должны быть сохранены интересующие нас детали (например, очертания изображенных объектов и исключены несущественные особенности (фон)).

В ряде случаев требуемый графический препарат удастся получить в результате пороговой обработки полутонового изображения. Она заключается в разделении всех элементов изображения на два класса по признаку яркости, т.е., например, в выполнении поэлементного преобразования вида:

$$g = \begin{cases} g_{\max} & \text{при } f \geq f_0, \\ g_{\min} & \text{при } f < f_0, \end{cases}$$

где f_0 - некоторое «пороговое» значение яркости.

При выполнении пороговой обработки основной вопрос состоит в выборе порога f_0 . Пусть полутоновое изображение содержит интересующие нас объекты одной яркости на фоне другой яркости (типичные примеры: машинописный текст, чертежи, медицинские пробы под микроскопом и т.д.). Тогда в идеале плотность распределения яркостей должна выглядеть как две дельта-функции (рис. 4а). В данном случае задача установления порога тривиальна: в качестве f_0 можно взять любое значение между «пиками». На практике, однако, встречаются определенные трудности, связанные с тем, что, во-первых, изображение искажено шумом, и, во-вторых, как для объектов, так и для фона характерен некоторый разброс яркостей. В результате пики функции плотности распределения «расплываются», хотя обычно ее бимодальность сохраняется (рис. 4б). В такой ситуации

можно выбрать порог f_0 , соответствующий положению минимума между модами, т.е. использовать функцию поэлементного преобразования, показанную на рис. 4в.

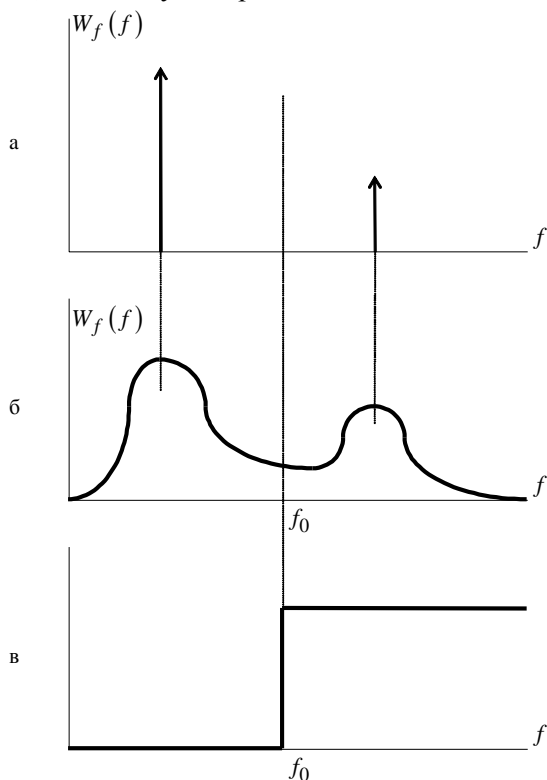


Рис. 4

В общем случае гистограмма распределения яркостей, измеренные по реальным изображениям, могут оказаться унимодальные или, наоборот, иметь «изрезанный», многомодальный характер. Существуют методики определения порога и в этих ситуациях, однако в рамках данной работы они не рассматриваются.

1.5 Препарирование

Широкий класс процедур обработки изображений заключается в их **препарировании**, то есть в приведении к такому виду, который, возможно, весьма далек от естественного, но удобен для визуальной интерпретации или дальнейшего машинного анализа.

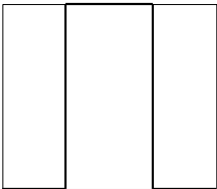
Многие операции препарирования могут осуществляться при помощи поэлементных преобразований специальных видов. Так, частным случаем препарирования является пороговая обработка, рассмотренная выше. Перечислим некоторые другие используемые преобразования.

Очевидным обобщением пороговой обработки является преобразование **яркостного среза** (рис. 5а). Оно позволяет выделить определенный интервал диапазона яркостей входного изображения. Перемещая «рабочий» интервал по шкале и меняя его ширину, можно произвести визуальный анализ отдельных изображений объектов, различающихся по яркости. Детали, не попадающие в указанный интервал, т.е. относящиеся к «фону», будут подавлены. На рис. 5б приведен вариант **яркостного среза с сохранением фона**. В данном случае изображение в целом сохраняется, но на нем «высвечиваются» участки, попавшие в заданный интервал яркости. Если этот интервал примыкает к границе шкалы яркости, то получаем преобразование так называемой **неполной пороговой обработки** (рис. 5в).

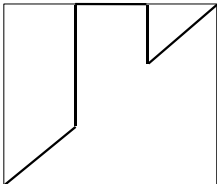
Контрастное масштабирование в своем простейшем варианте совпадает по смыслу с линейным контрастированием, рассмотренным в п. 1.2., здесь «рабочий» интервал яркостей растягивается на весь диапазон допустимых значений (рис. 5г). В других случаях контрастное масштабирование может быть связано с **обращением функции** яркости, т.е. получением негатива» (рис. 5д), представлением «рабочего» интервала яркостей на однородном фоне: черном (рис. 5е), белом (рис. 5ж) или сером (рис. 5з) и т.д.

Пилообразное контрастное масштабирование иллюстрируется на рис. 5и. Как показывает практика, если изображение состоит из нескольких крупных областей с медленно меняющимися (по плоскости) значениями яркости, то такое преобразование почти не разрушает целостности его восприятия и в то же время резко увеличивает контрастность плохо

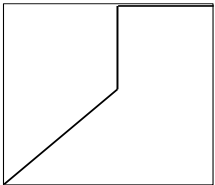
различимых мелких деталей.



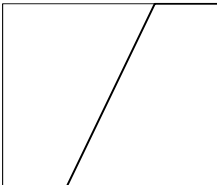
a



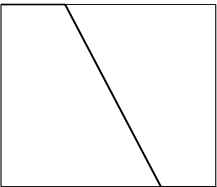
б



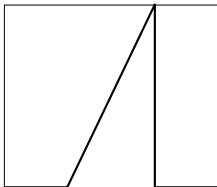
в



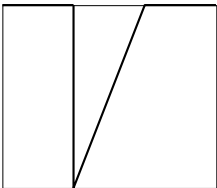
г



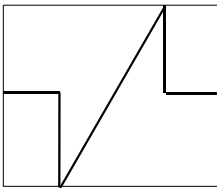
д



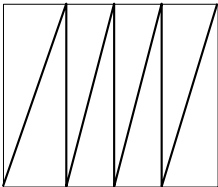
е



ж



з



и

Рис.5

2. Описание используемых прикладных модулей

В данной лабораторной работе используется среда программирования Matlab и одноименный язык программирования. Необходимые сведения о языке Matlab содержатся в официальной документации, которую можно найти по ссылке <https://www.mathworks.com/help/index.html>, а также набрав команду `dos <имя функции>` в командном окне среды Matlab. Далее кратко приводится информация о некоторых прикладных модулях Matlab, необходимых для выполнения данной лабораторной работы. Вызов всех функций осуществляется в созданном пользователем скрипте или из командной строки среды программирования Matlab. Для упрощения многократного взаимодействия команды, использующиеся более одного раза, должны быть вынесены в отдельные функции.

2.1. Загрузка и выгрузка изображений

Загрузка изображения в программную среду:

```
I = imread (filename);
```

Функция записи изображения в файл:

```
imwrite (I, filename);
```

Вывод изображения на экран:

```
imshow(I);
```

2.2. Функции преобразования типов

```
I = double(I);
```

```
I = uint8(I);
```

2.3. Определение экстремумов изображения

```
max(I), min(I)
```


2.4. Построение гистограммы отсчетов изображения

hist(I,x)

2.5. Определение размерности массива

size(I)

2.6. Генерация массива

I=zeros(m,n)

I=ones(m,n)

2.7. Округление величины

floor(x) – «пол» x

ceil(x) – «потолок» x

round(x) – ближайшее целое

fix(x) – число с отброшенной дробной частью

2.8. Конструкции языка

if условие

 команды

else

 команды

end

for i=1:N

 команды

end

for i=1:k:N

 команды

end

3. Выполнение лабораторной работы

3.1 Общий план выполнения работы

1. Изучить метод и описанные задачи поэлементных преобразований изображений.
2. Ознакомиться с описанием программного обеспечения системы обработки изображений и командами входного языка системы.
3. Составить последовательность команд (план проведения обработки) с указанием значений параметров и с комментариями для решения поставленной задачи.
4. Согласовать план проведения обработки с преподавателем, получить разрешение на практическую работу на системе.
5. Выполнить обработку изображений.
6. Составить отчет о выполненной работе.
7. Сдать отчет преподавателю, ответить на контрольные вопросы, получить зачет по работе.

3.2 Вариант 1. Линейное контрастирование

По указанию преподавателя ввести изображение размером 512x512 элементов.

Построить гистограмму распределения яркостей введенного изображения и определить диапазон ее значений.

Получить диапазон значений теоретическим путем, сравнить с полученными на предыдущем шаге значениями.

Построить функцию поэлементного преобразования для контрастирования.

Произвести поэлементное преобразование изображения, вывести преобразованное изображение, сравнить с исходным.

Построить гистограмму распределения яркостей преобразованного изображения, вывести ее на экран.

3.3 Вариант 2. Эквализация гистограммы

По указанию преподавателя ввести изображение размером

512x512 элементов.

Построить гистограмму распределения яркостей введенного изображения, вывести ее на экран и определить диапазон ее значений.

Построить функцию поэлементного преобразования для эквализации гистограммы, для этого:

- Построить гистограмму в виде массива
- Осуществить нормализацию гистограммы
- Построить интегральную гистограмму

Произвести поэлементное преобразование изображения, вывести преобразованное изображение, сравнить с исходным.

Построить гистограмму распределения яркостей преобразованного изображения, вывести ее на экран.

3.4 Вариант 3. Пороговая обработка

По указанию преподавателя ввести изображение размером 512x512 элементов.

Построить гистограмму распределения яркостей введенного изображения, вывести ее на экран и определить диапазон ее значений.

В соответствии с методическими указаниями выбрать значение порога и построить функцию поэлементного преобразования для пороговой обработки.

Произвести поэлементное преобразование изображения, вывести преобразованное изображение.

Построить гистограмму распределения яркостей преобразованного изображения, вывести ее на экран.

3.5 Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

1. Последовательность команд обработки с комментариями и числовыми значениями параметров.
2. Перечень созданных полей на рабочем файле с указанием их смыслового содержания и имен.

3. Зарисованные графики с экрана монитора с необходимыми пояснениями.
4. Выводы по результатам исследования.

4. Контрольные вопросы

1. Метод поэлементных преобразований, варианты реализации. Влияние квантования изображений на качество обработки.
2. Линейное контрастирование.
3. Преобразование гистограмм. Общий подход к получению произвольного закона распределения яркостей.
4. Эквиализация гистограмм. Функция поэлементного преобразования для эквиализации.
5. Пороговая обработка.
6. Препарирование изображений с помощью поэлементных преобразований.
7. Общая характеристика программного обеспечения системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анисимов Б.В., Курганов В.Д., Злобин В.К. *Распознавание и цифровая обработка изображений* (Москва: Высшая школа, 1983)
2. Гонсалес Р., Вудс Р. *Цифровая обработка изображений* (Москва: Техносфера, 2005)
3. *Методы компьютерной обработки изображений* // Под редакцией В.А. Сойфера. (Москва: Физматлит, 2003)
4. Павлидис Т. *Алгоритмы машинной графики и обработка изображений* (Москва: Радио и связь, 1988)
5. Прэйт У.К. *Цифровая обработка изображений* (Москва: Мир, 1982, 2 т.)
6. Рабинер Р., Гоулд Б. *Теория и применение цифровой обработки сигналов* (Москва: Мир, 1978)
7. Ярославский Л.П. *Введение в цифровую обработку изображений* (Москва: Советское радио, 1979)
8. Ярославский Л.П. *Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии: Введение в цифровую оптику* (Москва: Радио и связь, 1987)

Учебное издание

ПОЭЛЕМЕНТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Методические указания

Составители: Сергеев Владислав Викторович
 Гашников Михаил Валерьевич
 Мясников Владислав Валерьевич

Самарский государственный
аэрокосмический университет
443086 Самара, Московское шоссе, 34.
