

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование методов «низкоуровневой» обработки изображений. Улучшение качества изображения и преобразование его в форму, наиболее удобную для визуального или машинного анализа.

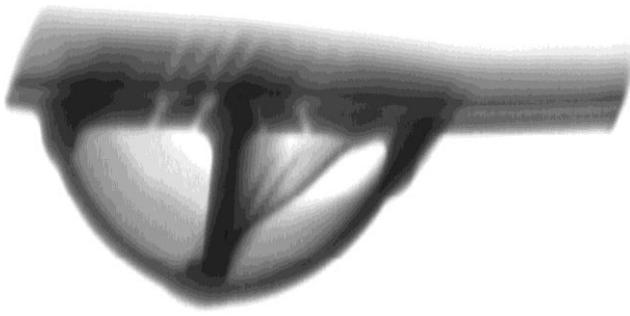
Ознакомиться с методиками измерений пространственных характеристик радиографического изображения, получаемого с помощью ПЗС-детектора и детектора на основе энергонакапливающего люминофора.

2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

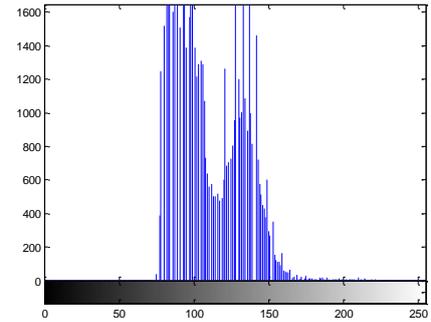
2.1 Гистограмма и гистограммная обработка

Каждый пиксель цифрового изображения характеризуется тремя независимыми величинами – $\{x, y, Q\}$, где пара целочисленных значений (x, y) описывает *геометрическое положение* данного пикселя в плоскости изображения, а величина Q характеризует его *яркость*, или *интенсивность*, в данной точке изображения (геометрическая и яркостная составляющие). Эти составляющие могут изменяться независимо друг от друга. Отсюда вытекает идея возможного *раздельного анализа яркости и геометрии изображения*.

Яркостная составляющая изображения характеризуется одномерным массивом гистограммы. *Гистограмма* характеризует частоту встречаемости на изображении пикселей одинаковой яркости. Так для 8-битного полутонового изображения гистограмма яркости представляет собой одномерный целочисленный массив из 256 элементов. Элементы гистограммы i содержат целые значения, равные количеству пикселей изображения, яркость которых равна значению i . Визуально гистограмма обычно отображается как обычный график одномерной функции (рис. 1).



а



б

Рис. 1.- а – изображение; б – гистограмма изображения

2.2 Поэлементная обработка изображений

Одной из основных задач цифровой обработки изображений является придание изображению таких качеств, благодаря которым его восприятие человеком будет по возможности комфортным. Часто бывает полезным подчеркнуть, усилить какие-то черты, особенности, нюансы наблюдаемой картины с целью улучшения ее субъективного восприятия. Подавляющее большинство процедур обработки для получения результата в каждой точке кадра привлекает входные данные из некоторого множества точек исходного изображения, окружающих обрабатываемую точку. Однако имеется группа процедур, где осуществляется так называемая *поэлементная обработка*. Здесь результат обработки в любой точке кадра зависит только от значения входного изображения в этой же точке.

Сущность поэлементной обработки изображений сводится к следующему. Пусть $f(x, y) = f_{x,y}$ и $g(x, y) = g_{x,y}$ – значения яркости исходного и полученного после обработки изображения в точке кадра, имеющей декартовы координаты x (номер строки) и y (номер столбца) соответственно. Поэлементная обработка означает, что существует функциональная, однозначная зависимость между этими яркостями:

$$g_{x,y} = h_{x,y}(f_{x,y}), \quad (1.1)$$

позволяющая по значению исходного сигнала определить значение выходного сигнала.

Линейное контрастирование изображения (линейная коррекция). Задача контрастирования связана с улучшением согласования динамического диапазона

изображения и экрана, на котором выполняется визуализация. Если для цифрового представления каждого отсчета изображения отводится 1 байт (8 бит) запоминающего устройства, то входной или выходной сигналы могут принимать одно из 256 значений. Обычно в качестве рабочего используется диапазон 0-255; при этом значение 0 при визуализации соответствует уровню черного, а значение 255 – уровню белого. Предположим, что минимальная и максимальная яркости исходного изображения равны f_{\min} и f_{\max} соответственно. Если эти параметры, или один из них, существенно отличаются от граничных значений яркостного диапазона, то визуализированная картина выглядит как ненасыщенная, неудобная, утомляющая при наблюдении. При линейном контрастировании используется линейное поэлементное преобразование вида:

$$g = a \cdot f + b, \quad (1.2)$$

параметры которого (a и b) определяются желаемыми значениями минимальной g_{\min} и максимальной g_{\max} выходной яркости.

Решив систему уравнений

$$\begin{cases} g_{\min} = a \cdot f_{\min} + b \\ g_{\max} = a \cdot f_{\max} + b \end{cases} \quad (1.3)$$

относительно параметров преобразования a и b , нетрудно привести (1.2) к виду

$$g = \frac{f - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}} (g_{\max} - g_{\min}) + g_{\min}. \quad (1.4)$$

Нелинейное контрастирование изображения (нелинейная коррекция).

Линейная коррекция изображения не всегда дает необходимый результат (например там, где наблюдается неравномерная освещенность изображения), поэтому в ряде случаев применяется нелинейная коррекция изображения. Часто применяются следующие функции.

Гамма-коррекция, изначальная цель которой – коррекция для правильного отображения на мониторе:

$$g = c \cdot f^\gamma, \quad (1.5)$$

где c и γ – константы.

Некоторые компьютерные системы имеют встроенную частичную гаммакоррекцию. Кроме этого, гамма-коррекция используется для универсального управления контрастом, в частности при обработке медицинских изображений. В зависимости от значения γ возможно целое семейство преобразований.

Логарифмическая коррекция, цель которой – сжатие динамического диапазона при визуализации данных:

$$g = c \cdot \log(1 + f), \quad (1.6)$$

где c – константа.

Использование логарифма позволяет узкий диапазон малых значений яркости преобразовать в более широкий диапазон выходных значений. Для больших значений входного сигнала верно противоположное утверждение. Такой тип преобразования используется для растяжения диапазона значений темных пикселей на изображении с одновременным сжатием диапазона значений ярких пикселей. При использовании обратного логарифмического преобразования происходит растяжение диапазона значений ярких пикселей на изображении с одновременным сжатием диапазона значений темных пикселей. Логарифмическая функция имеет важную особенность – позволяет сжимать динамический диапазон изображений, имеющих большие вариации в значениях пикселей.

Зависимость яркости исходного и результирующего изображений при линейном и нелинейном контрастировании представлена на рис. 2.

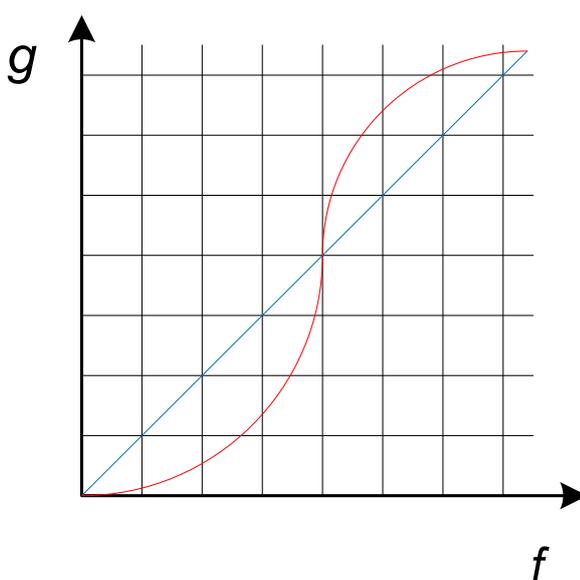


Рис. 2. - Зависимость яркости исходного и результирующего изображений при линейном и нелинейном контрастировании

Препарирование изображения. Препарирование представляет собой целый класс поэлементных преобразований изображений (рис. 3 а-е).

Преобразование с пороговой характеристикой (см. рис. 3 а) превращает полутоновое изображение, содержащее все уровни яркости, в бинарное, точки которого имеют яркости $g = 0$ или $g = g_{\max}$. Такая операция, называемая бинаризацией, может быть полезной, когда для наблюдателя важны очертания объектов, присутствующих на изображении, а детали, содержащиеся внутри объектов или внутри фона, не представляют интереса.

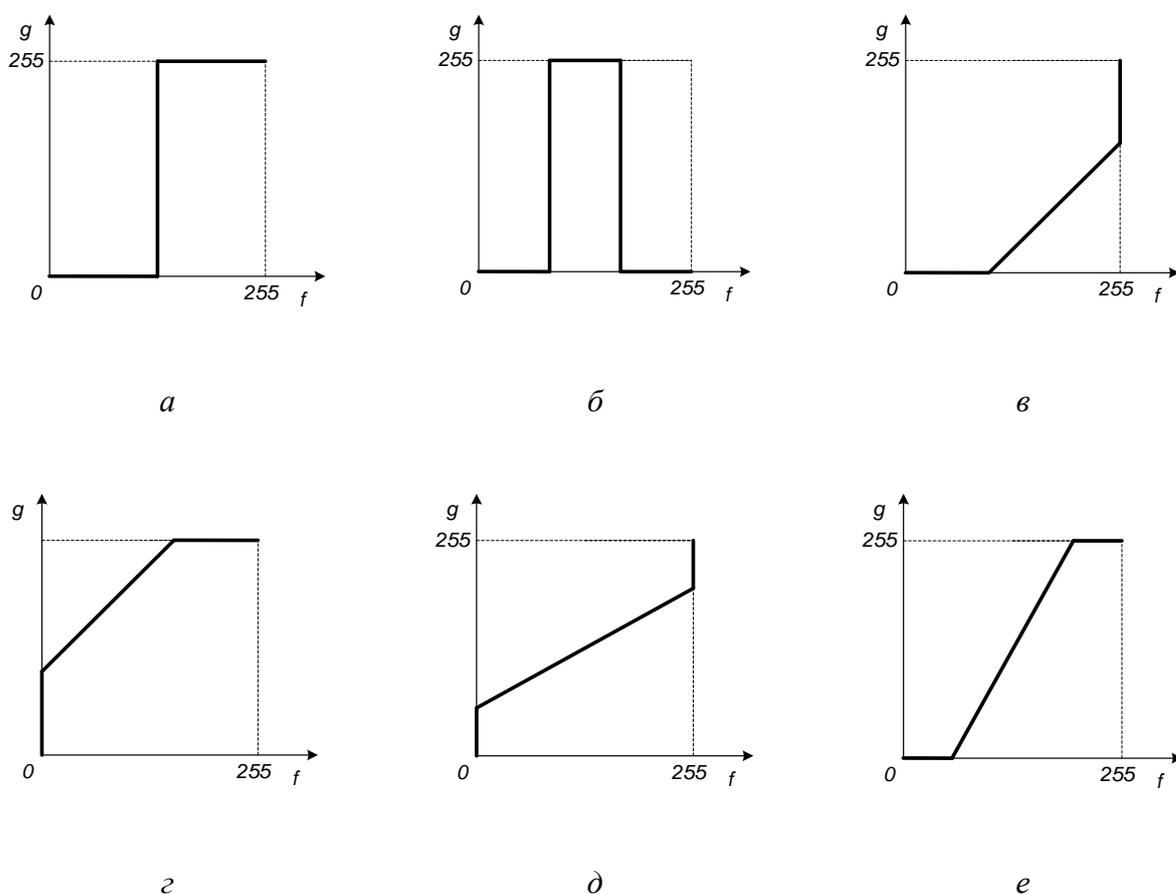


Рис. 3. Примеры преобразований, используемых при препарировании

На рис. 3 б преобразование выполняет яркостный срез изображения, выделяя те его участки, где яркость соответствует выделенному интервалу. При этом остальные участки оказываются полностью «погашенными» (имеют яркость, соответствующую уровню черного). Перемещая выделенный интервал по яркостной шкале и изменяя его ширину, можно детально исследовать содержание картины.

На рис. 3 в-е преобразования выполняют процедуры изменения яркости и контраста изображения. Преобразования, показанные на рис. 3 в, г, позволяют, соответственно, понизить или повысить яркость редактируемого изображения, используя следующие соотношения входного и выходного диапазона яркости изображения:

$$\begin{aligned} f_{\min} &= 255 - g_{\max}, \quad g_{\min} = 0, \quad f_{\max} = 255 \text{ (понижение яркости);} \\ g_{\min} &= 255 - f_{\max}, \quad f_{\min} = 0, \quad g_{\max} = 255 \text{ (повышение яркости).} \end{aligned} \quad (1.7)$$

Преобразования, показанные на рис. 3 в-е, позволяют повысить контраст наблюдаемого изображения в выбранном диапазоне яркости, когда выходное изображение использует полный динамический диапазон 0-255. По существу, это преобразование представляет собой линейное контрастирование, применяемое к избранному входному диапазону яркости исходного изображения. Точки, попавшие в интервал $[0, f_{\min}]$, после препарирования образуют черный фон, а точки, попавшие в интервал $[f_{\max}, 255]$, – белый фон.

Существует еще ряд характеристик, в соответствии с которыми также можно провести препарирование изображения.

Преобразование изображения в негатив. Такой переворот уровней яркостей цифровых изображений создает эффект фотографического негатива. Преобразование используется для усиления белых или серых деталей на фоне темных областей изображения, особенно когда темные области имеют преобладающие размеры, и широко применяется при обработке цифровых медицинских снимков. Цифровой негатив изображения получается путем вычитания значения пикселя из 255 (при условии, что 256 градаций цвета). Для цветного изображения

$$R' = 255 - R; \quad G' = 255 - G; \quad B' = 255 - B. \quad (1.8)$$

Преобразование к оттенкам серого, яркость точки изображения. Данное преобразование заключается в получении яркости каждой точки и последующем копировании полученного значения во все три канала ($R = G = B = Y$):

$$Y = 0.3 \cdot R + 0.59 \cdot G + 0.11 \cdot B. \quad (1.9)$$

Соляризация изображения. Смысл соляризации заключается в том, что участки исходного изображения, имеющие уровень белого или близкий к нему уровень яркости,

после обработки приобретают уровень черного. При этом уровень черного сохраняют и те участки, которые имели его на исходном изображении. А уровень белого на выходе приобретают участки, имеющие на входе средний уровень яркости (уровень серого). При данном виде обработки преобразование имеет вид

$$g = k \cdot f \cdot (f_{\max} - f), \quad (1.10)$$

где k – константа, позволяющая управлять динамическим диапазоном преобразованного изображения, а f_{\max} – максимальное значение исходного сигнала.

Функция, описывающая данное преобразование, является квадратичной параболой, ее график при $k = 1$ приведен на рис. 4. При $g_{\max} = f_{\max}$ динамические диапазоны изображений совпадают, что может быть достигнуто при $k = 4/f_{\max}$.

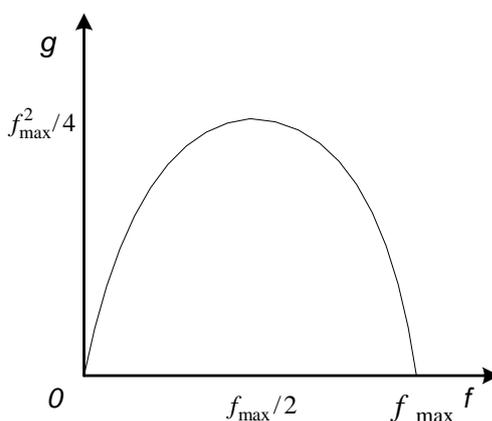


Рис. 4. - Функция, описывающая соляризацию

2.3 Фильтрация изображений

Множество подходов к улучшению изображений распадается на две категории: методы обработки в пространственной области (пространственные методы) и методы обработки в частотной области (частотные методы). К пространственной области относится совокупность пикселей, составляющих изображение. Функция предварительной обработки в пространственной области записывается в виде:

$$g(x, y) = h[f(x, y)], \quad (1.11)$$

где $f(x, y)$ – входное изображение,

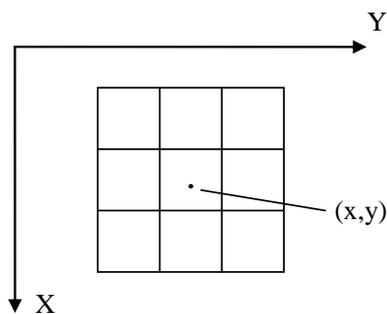
$g(x, y)$ – выходное (обработанное) изображение,

h – оператор функции f , определенный в некоторой области (x, y) .

Операции такого вида относятся к общему классу *операций над соседними элементами*. Эти операции являются основным инструментарием при *низкоуровневой обработке изображений* или *обработке изображений в пространственной области*.

Основным подходом при определении окрестности точки (x, y) является использование квадратной или прямоугольной области части изображения с центром в точке (x, y) . Центр этой части изображения перемещается от пикселя к пикселю начиная, например, с левого верхнего угла. При этом для получения $g(x, y)$ оператор применяется для каждого положения (x, y) . Хотя используются иногда и другие формы окрестности (например, круг), квадратные формы более предпочтительны из-за простоты их реализации.

Один из наиболее применяемых методов пространственной области основан на использовании фильтров (масок свертки, шаблонов, окон). Обычно маска фильтра представляет собой небольшую (например, размерность 3×3) двумерную систему, коэффициенты которой выбираются таким образом, чтобы обнаружить заданное свойство изображения (рис. 5 а).



а

w_1 $(x - 1, y - 1)$	w_2 $(x - 1, y)$	w_3 $(x - 1, y + 1)$
w_4 $(x, y - 1)$	w_5 (x, y)	w_6 $(x, y + 1)$
w_7 $(x + 1, y - 1)$	w_8 $(x + 1, y)$	w_9 $(x + 1, y + 1)$

б

Рис. 5. - а – маска фильтра; б – коэффициенты маски фильтра

Если величины w_1, w_2, \dots, w_9 представляют собой коэффициенты, маски пикселя (x, y) и его восьми соседей (рис. 5 б), то алгоритм можно представить как выполнение следующей операции на окрестности 3×3 точки (x, y) :

$$h[f(x, y)] = w_1 f(x-1, y-1) + w_2 f(x-1, y) + w_3 f(x-1, y+1) + w_4 f(x, y-1) + w_5 f(x, y) + w_6 f(x, y+1) + w_7 f(x+1, y-1) + w_8 f(x+1, y) + w_9 f(x+1, y+1). \quad (1.12)$$

Под задачей фильтрации изображений в широком смысле понимают любые процедуры обработки изображений, при которых на вход процедуры подается растровое изображение и на выходе формируется растровое изображение. Однако чаще под «фильтрацией» понимают так называемую *помеховую фильтрацию*. Главная цель помеховой фильтрации заключается в такой обработке изображений, при которой результат оказывается более подходящим с точки зрения конкретного применения. В общем случае можно выделить *линейные фильтры* (сглаживающие фильтры, контрастоповышающие фильтры, разностные фильтры) и *нелинейные фильтры* (медианный фильтр).

Приведем краткое описание наиболее распространенных методов фильтрации.

Низкочастотный фильтр – ослабляет высокочастотные компоненты и усиливает роль низкочастотных. Частота в применении к изображениям отражает количество имеющихся в изображении деталей. Резкие перепады яркости, помехи и шумы являются примером высокочастотных элементов в изображении. Сглаживание изображения реализуется с помощью следующих ядер:

$$H_1 = \frac{1}{9} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}, \quad H_2 = \frac{1}{10} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}, \quad H_3 = \frac{1}{16} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}. \quad (1.13)$$

Высокочастотный фильтр – ослабляет низкочастотные компоненты в изображении и усиливает роль высокочастотных. Фильтры высокой частоты применяются для выделения таких деталей, как контуры, границы или для повышения резкости изображения. Каждый скачок яркости и каждый контур представляют собой интенсивные детали, связанные с повышенными частотами. Выделение высокочастотных компонент осуществляется с помощью следующих ядер:

$$H_1 = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}, \quad H_2 = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}, \quad H_3 = \begin{pmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 5 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{pmatrix}. \quad (1.14)$$

Оператор Робертса. Оператор Робертса является примером нелинейного фильтра. Преобразование каждого пикселя перекрёстным оператором Робертса может показать производную изображения вдоль ненулевой диагонали, и комбинация этих преобразованных изображений может также рассматриваться как градиент от двух верхних пикселей к двум нижним. Оператор Робертса используется ради быстроты вычислений, но проигрывает в сравнении с альтернативами из-за значительной проблемы чувствительности к шуму. Он даёт линии тоньше, чем другие методы выделения границ.

В обработке участвуют четыре пикселя, расположенные следующим образом (рис. 6).

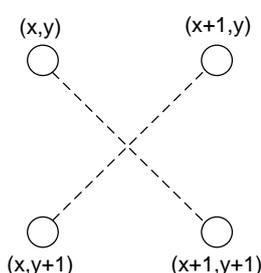


Рис. 6. - Пиксели, участвующие в обработке оператором Робертса

Отклик оператора Робертса:

$$S(x, y) = \sqrt{[f(x+1, y) - f(x, y+1)]^2 + [f(x, y) - f(x+1, y+1)]^2}. \quad (1.15)$$

Ядра свертки в данном случае будут выглядеть таким образом:

$$H_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}, \quad H_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}. \quad (1.16)$$

Свертка для каждого ядра вычисляется отдельно. В качестве отклика данного фильтра выступает величина

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (1.17)$$

где P и Q – отклик ядер H_1 и H_2 .

Иногда в качестве оператора Робертса берется величина $S = |P| + |Q|$.

Оператор Собеля. Оператор Собеля применяют в алгоритмах [выделения границ](#). Это дискретный [дифференциальный оператор](#), вычисляющий приближенное значение градиента яркости изображения. Результатом применения оператора Собеля в каждой точке изображения является либо вектор градиента яркости в этой точке, либо его норма. Метод усиления края с помощью оператора Собеля рассматривает два различных ядра свертки:

$$H_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix}, \quad H_2 = \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}. \quad (1.18)$$

Исходя из этих свертков вычисляется величина и направление краев. Свертка для каждого ядра вычисляется отдельно. В качестве отклика данного фильтра выступает величина

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (1.19)$$

где P и Q – отклик ядер H_1 и H_2 .

Иногда в качестве оператора Собеля берется величина $S = |P| + |Q|$.

Оператор Превитта. Аналогично оператору Собеля действует оператор Превитта. Детектор границ Превитта является подходящим способом для оценки величины и ориентации границы. В то время как детектор с дифференциальным [градиентом](#) нуждается в трудоёмком вычислении оценки ориентации по величинам в вертикальном и горизонтальном направлениях, детектор границ Превитта даёт направление прямо из ядра с максимальным результатом. Метод усиления края с помощью оператора Превитта рассматривает два различных ядра свертки:

$$H_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix}, \quad H_2 = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}. \quad (1.20)$$

Результат работы оператора Превитта есть:

$$\max\{P, Q\}, \quad (1.21)$$

где P и Q – отклик ядер H_1 и H_2 .

Оператор Лапласа. Дискретный оператор Лапласа часто используется в обработке изображений, например в [задаче выделения границ](#) или в приложениях оценки движения. Дискретный лапласиан определяется как сумма вторых производных и вычисляется как сумма перепадов на соседях центрального пикселя. Метод усиления края по Лапласу рассматривает целый ряд различных ядер свертки. Приведем некоторые из них:

$$H_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad H_2 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}, \quad H_3 = \begin{pmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{pmatrix}. \quad (1.22)$$

Как видно, сумма элементов матриц равна нулю, поэтому отклик фильтра может быть отрицательным. В этом случае значение отклика берется по модулю. В результате обработки области с постоянной или линейно возрастающей интенсивностью становятся черными, а области быстро изменяющихся значений интенсивности ярко высвечиваются.

Ниже приведем некоторые пространственные процессы, которые не подпадают под категорию свертки и могут применяться для устранения различного вида шума.

Фильтр «гармоническое среднее». Гармоническое среднее ряда $f(n)$ вычисляется по формуле:

$$G(f) = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{f_i}}. \quad (1.23)$$

В процессе фильтрации значение текущего пикселя изображения заменяется на $f(n)$ множества значений девяти пикселей, включая текущий и соседние.

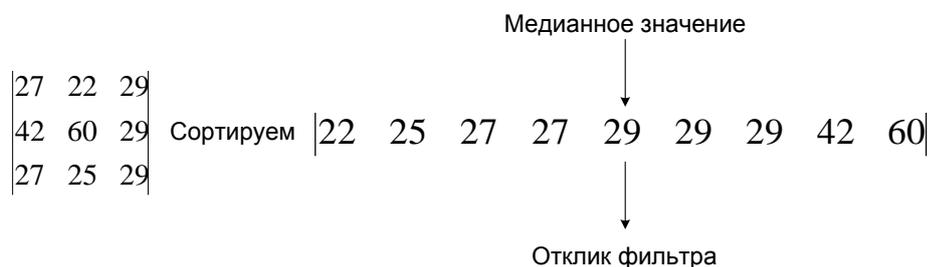
Min – фильтр. В процессе фильтрации значение текущего пикселя заменяется на минимальное значение соседних пикселей. Так, например, для ядра размерности 3 будем иметь:



Max – фильтр. В процессе фильтрации значение текущего пикселя заменяется на максимальное значение соседних пикселей (по аналогии с предыдущим фильтром).

Min-Max–фильтр. В процессе фильтрации значение текущего пикселя изображения сначала заменяется на минимальное значение соседних пикселей, а при повторном проходе на максимальное.

Медианный фильтр. Усредненное фильтрование использует значения элементов, содержащихся в области примыкания, для определения нового значения. Фильтр располагает элементы области примыкания в отсортированном порядке и отбирает среднее значение. Так, например, для ядра размерности 3 медианное значение будет пятым:



С помощью методов пространственной обработки изображений можно получить ряд интересных эффектов. Приведем некоторые из них.

Эффект тиснения. С помощью операции свертки можно реализовать преобразование, дающее эффект тиснения на изображении.

$$H = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}. \quad (1.24)$$

Бинарное «псевдополутонное» изображение. Исходное изображение обрабатывается при помощи маски D2 или D4: если значение пикселя меньше пропорционального значения соответствующего ему элемента маски, то он обнуляется,

иначе ему присваивается 255. Маска накладывается на изображение без перекрытия.

Маски D2 и D4:

$$D_2 = \begin{pmatrix} 0 & 2 \\ 3 & 1 \end{pmatrix}, \quad D_4 = \begin{pmatrix} 0 & 4 & 2 & 10 \\ 12 & 4 & 14 & 6 \\ 3 & 11 & 1 & 9 \\ 15 & 7 & 13 & 5 \end{pmatrix}. \quad (1.25)$$

При использовании пространственных процессов могут возникнуть следующие вопросы, связанные с особенностями обработки пикселей:

1. Устранение краевых эффектов;
2. Значение отклика выходит за пределы $[0, \dots, 255]$.

Возможны следующие пути решения первого вопроса:

- исключить из преобразования граничные пиксели изображения
в этом случае выходное изображение будет иметь меньшие размеры, либо закрасить граничные пиксели, например черным цветом;
- не включать соответствующий пиксель в суммирование, равномерно распределив его вес среди других пикселей окрестности;
- дополнить (достроить) исходное изображение, добавив необходимое количество пикселей по границе. Количество достраиваемых строки столбцов, как правило, зависит от размера ядра. Здесь возможны два варианта:
 - доопределить значения пикселей за границами изображения при помощи экстраполяции. Например, считать постоянным значение интенсивности вблизи границы или считать постоянным градиент интенсивности вблизи границы;
 - доопределить значения пикселей за границами изображения при помощи зеркального отражения.

Для решения проблем, связанных с выходом значения за пределы $[0, \dots, 255]$, возможны следующие действия:

- масштабировать полученные значения при положительных откликах фильтра;

- при отрицательном отклике фильтра брать либо абсолютное значение (по модулю), либо приводить к нулю.

Возможная «классификация» шума на изображении:

1. Шум «соль и перец» – случайные белые и черные пиксели;
2. Импульсный шум – случайные белые пиксели;
3. Гауссов шум – колебания интенсивности, распределенные по нормальному закону.

2.4. Характеристики качества радиографического изображения

Цифровое радиографическое изображение характеризуется следующими параметрами:

- *Размер рабочего поля изображения (поля зрения).*
- *Пространственное разрешение.*
- *Контрастная чувствительность приемника.*
- *Динамический диапазон.*
- *Размер пикселя изображения.*
- *Отношение величины полезного сигнала к уровню шума.*

В практической радиографии наиболее важными характеристиками цифровых приемников излучения, которые характеризуют параметры радиографического контроля (далее по тексту РК) в целом, являются:

- *размер поля зрения;*
- *пространственное разрешение;*
- *контрастная чувствительность изображения;*
- *динамический диапазон.*

Проверка качества РК

Проверка качества РК осуществляется с помощью специальных тест-объектов (фантомов). Проверка качества включает в себя контроль следующих характеристик:

- *Размер поля зрения.*
- *Пространственное разрешение.*

- *Контрастная чувствительность.*
- *Динамический диапазон.*

2.5. Измерение характеристик изображения

2.5.1. Размер поля зрения

Размер рабочего поля определяется по изображению фантома (тест-объекта), расположенного на приемнике. Фантом представляет собой рентгенопрозрачную пластину с контрастными линиями, описывающими квадраты размерами 400*400 мм и 360*360 мм. Изображение на экране монитора ПК должно точно вписываться в заданный квадрат.

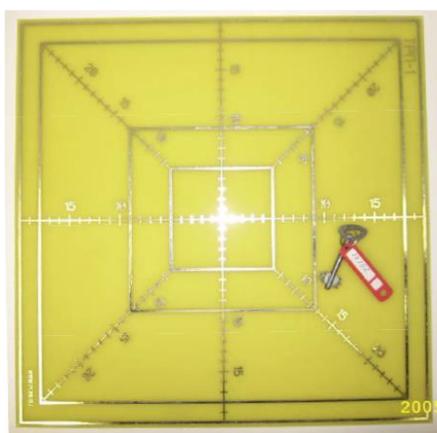


Рисунок 7. - Внешний вид тестового объекта ТРП-1

Для определения размера рабочего поля используется тест объект ТРП-1, представляющий собой квадратную пластину с нанесенными на нее рентгеноконтрастными метками (рисунок 7). Рентгеноконтрастные линии тест-объекта позволяют воспроизводить изображения двух центрированных квадратов размером 400x400 и 360x360 ммхмм, вертикальную и горизонтальную линии, пересекающиеся в центре квадратов и диагонали в квадрате 360x360 ммхмм. При этом вертикальная, горизонтальная и диагональные линии содержат контрастные масштабные метки, нанесенные с шагом $10 \pm 0,5$ мм.

2.5..2. Пространственное разрешение

Пространственное разрешение определяется по изображению фантома, расположенного на приемнике. Фантом представляет собой миру рентгеновскую. Мира имеет размеры 50*50 мм с группами из трех рентгеноконтрастных полос с разрешением 0.5 до 5.0 пар линий / мм. Пространственное разрешение РК определяется по группе, на

которой независимые наблюдатели (желательно не менее 3-х человек) еще отчетливо различают штрихи.

Пространственное (координатное) разрешение характеризует способность системы рентгеновского изображения передавать детали малых размеров просвечиваемого объекта. Пределом пространственного разрешения называют наибольшее число пар линий на 1 мм изображения штриховой рентгеновской миры, которые отдельно обнаруживаются при анализе выходного изображения системы при заданных условиях работы излучателя, экрана и ПЗС матрицы. В эксперименте по определению разрешения используются несколько рентгеновских мир. Они устанавливаются в центре и на периферийных областях входной плоскости экрана.

Миры представляют собой совокупность секций тонких свинцовых полос, расположенных на рентгенопрозрачной подложке. В каждой секции свинцовые полосы расположены с заданным шагом. Размеры полос и их шаг в одной секции равны друг другу. Толщину свинцовых полос выбирают из условий создания 100% контраста рентгеновского изображения миры при заданном спектре излучения источника. Предел разрешения R измеряется в парах линий на один миллиметр:

$$R=1/2d,$$

где d - ширина полосы (штриха) миры, мм.

Предел разрешения оценивается путем регистрации номера секции миры, элементы которой еще различимы.

Высококонтрастное пространственное разрешение и низкоконтрастное пространственное разрешение определяют по изображению свинцовых штриховых мир, расположенных на входной плоскости приемника рентгеновского излучения в центре рабочего поля и на периферии.

Мира рентгеновская МР-1, предназначенная для проверки разрешающей способности тракта преобразования медицинских рентгеновских аппаратов изображена на рисунке 8.



Рисунок 8. - Мира рентгеновская МР-1

Мира представляет собой пластину из рентгенопрозрачного материала со штрихами. Свинцовый эквивалент штрихов не менее 0.05 мм Рв. Штрихи миры защищены от механических повреждений покрытием из рентгенопрозрачного материала. Габаритные размеры и масса МР-1: длина -50 мм, ширина – 50 мм, высота не более 2,5 мм, масса не более 3 г. Число групп штрихов – 21, число штрихов на 1 мм в группе – 5.0; 4.6; 4.3; 4.0; 3.7; 3.4; 3.1; 2.8; 2.5; 2.2; 2.0; 1.8; 1.6; 1.4; 1.3; 1.2; 1.1; 1.0; 0.9; 0.8; 0.7.

Пример рентгеновского изображения миры приведен на рисунке 9.

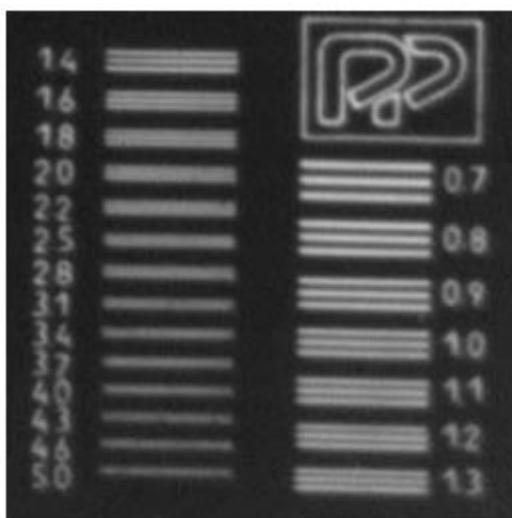


Рисунок 9.- Рентгеновское изображение миры МР-1

При выполнении измерений миры устанавливают по центру поля вертикально, горизонтально и под углом $45 \pm 5^\circ$, и на периферии по диагоналям в четырех точках на расстоянии, составляющем 0,8 от размера рабочего поля, под углом $45 \pm 5^\circ$. Согласно

стандарту, миры должны иметь диапазон частот не менее 0,6-5 пар лин./мм, толщина используемого в мире свинца должна быть 50 ± 5 мкм.

Режим генерации излучения рентгеновского аппарата задается исходя из следующих положений:

- анодное напряжение устанавливается минимально возможным;
- дополнительные фильтры не применяются;
- входная доза выбирается, исходя из условия получения оптимального восприятия изображения тест - объекта.

Величина пространственного разрешения определяется по изображению миры не менее чем тремя наблюдателями. Низкоконтрастное разрешение определяют по свинцовой штриховой миры, установленной по центру и по одной из диагоналей на расстоянии 0,8 от рабочего поля под углом $45 \pm 5^\circ$. Режим генерации излучения рентгеновского аппарата задают следующим образом:

- анодное напряжение устанавливают $100 \text{ кВ} \pm 10 \%$;
- дополнительный фильтр 20 мм А1 или 1 мм Си (СПО 7 мм А1);
- входная доза выбирается из условия, что ее удвоение не приведет к изменению параметра.

Изменение дозы во входной плоскости производится регулировкой тока или количества электричества.

Значение низкоконтрастного пространственного разрешения определяют по изображению миры с помощью не менее чем трех наблюдателей. При этом фиксируется величина входной дозы, при которой это значение получено.

Доза измеряется в плоскости расположения тест-объекта и ее значение усредняется по всему входному рабочему полю приемника. Контроль величины входной дозы должен производиться с помощью дозиметра, имеющего пределы допускаемой погрешности не хуже $\pm 10 \%$. Камера дозиметра должна располагаться таким образом, чтобы не мешать испытаниям.

2.5.3. Контрастная чувствительность

Контрастная чувствительность определяется по изображению фантома, расположенного на приемнике при определенной дозе рентгеновского излучения. Фантом имеет 5 дисков, толщина которых при заданных условиях излучения обеспечивает

контраст изображения дискретно от 0.5 до 3 %. Контрастная чувствительность РК определяется по диску, который независимые наблюдатели (желательно не менее 3-х человек) еще отчетливо различают на экране монитора ПК.

Для оценки этих трех параметров существуют устоявшиеся общепринятые методики измерения. Для оценки динамического диапазона существуют несколько разных методик измерения.

2.5.4. Определение геометрических искажений

Величину дисторсии определяют по выходному изображению с помощью программы измерения расстояний и выражают в процентах.

Для устройств с квадратным полем зрения дисторсия определяется на квадрате размером 0,9 от размера рабочего поля и рассчитывается по формуле:

$$\Delta = \frac{D_{\max}}{H_{\min}} - 1,$$

где D_{\max} – значение наибольшей диагонали в изображении квадрата; H_{\min} – значение наименьшего расстояния между сторонами квадрата.

Величина локальных геометрических искажений нормируется в процентах по выходному изображению отрезков тест - объекта, расположенных по горизонтали и вертикали в пределах 0,9 от размера рабочего поля.

Для положительного значения:

$$\delta = \frac{L_{\max} - \bar{L}}{\bar{L}};$$

для отрицательного значения:

$$\delta = \frac{L_{\min} - \bar{L}}{\bar{L}},$$

где L_{\max} - ширина или высота наиболее широкого изображения, соответствующего на тест – объекте размеру 10 мм; L_{\min} - ширина или высота наиболее узкого изображения, соответствующего на тест – объекте размеру 10 мм.

Значения \bar{L} определяются по формуле:

$$\bar{L} = \frac{1}{2} \left(\frac{L_B}{N_B} + \frac{L_\Gamma}{N_\Gamma} \right),$$

где L_B , L_Γ - полный размер выходного изображения, соответственно по вертикали и горизонтали, включающий в себя полные отрезки осей по 10 мм в пределах 0,9 размера рабочего поля;

N_B , N_Γ - число полных отрезков осей по 10 мм выходного изображения тест-объекта в пределах 0,9 размера рабочего поля по вертикали и горизонтали соответственно. Неполные отрезки на каждом краю в пределах 0,9 размера рабочего поля не учитываются.

2.5.5. Определение неравномерности распределения яркости в поле изображения

Неравномерность распределения яркости в поле изображения оценивается экспериментально-расчетным путем.

Яркость определяется в центре рабочего поля и на расстоянии от центра до края, соответствующего значению 0,8 размера рабочего поля.

Режим рентгеновского аппарата:

- анодное напряжение 100 кВ + 10 %;
- дополнительный фильтр 20 мм Al или 1 мм Си (СПО 7 мм Al);
- экспозиция выбирается из условий получения удобной для измерения яркости.

Неравномерность распределения яркости определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{B_0 - B_{0,8}}{B_0},$$

где B_0 , $B_{0,8}$ - средняя яркость в центре и на периферии рабочего поля соответственно.

Определение средней величины яркости производится при использовании специального математического обеспечения. В центре поля задается область размером 32x32 пикселя, для которой оценивается среднее значение яркости B_0 . Затем выбирают область того же размера на расстоянии 0,8 от центра до углов изображения, в которой определяется средняя величина яркости на периферии $B_{0,8}$.

Средняя величина яркости определяется из соотношения:

$$B_0, B_{0,8} = \frac{1}{N_i N_j} \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{j=1}^{N_j} B_{i,j},$$

где N_i, N_j - количество пикселей в выбранной области вдоль каждой из координат;
 $B_{i,j}$ - яркость пиксела с координатами i, j .

3. ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ

3.1. Использовать изображения тестовых объектов, полученные в работе № 1.

3.2. Обработать изображения тестовых объектов с помощью сервисной программы.

3.3. Определить:

- *Размер рабочего поля изображения (поля зрения).*
- *Пространственное разрешение.*
- *Контрастную чувствительность приемника.*
- *Динамический диапазон.*
- *Размер пикселя изображения.*
- *Отношение величины полезного сигнала к уровню шума.*

Выполнить оценку высококонтрастного и низкоконтрастного пространственного разрешения двух систем регистрации.

3.4. Определите среднюю величину яркости по полю изображения и неравномерности распределения яркости.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

4.1. Титульный лист с названием лабораторной работы, фамилией и группой.

4.2. Цель работы.

4.3. Описание тестовых образцов.

4.4. Описать процедуры цифровой обработки

4.5. Привести таблицу с основными техническими характеристиками обоих детекторов.

4.6. Выводы о проделанной работе согласно цели.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Какие геометрические искажения возможны при получении цифровых рентгеновских снимков? Чем они определяются?
- 5.2. Дайте определение понятия дисторсия изображения.
- 5.3. Что определяет и в каких единицах измеряется пространственное разрешение рентгеновской системы ?
- 5.4. Как устроена рентгеновская мира, предназначенная для измерения пространственного разрешения? Как толщина и материал штрихов миры влияют на результаты измерений ?
- 5.5. Чем принципиально различаются методики оценки высококонтрастного и низкоконтрастного разрешения цифровых рентгеновских систем.
- 5.6. Почему в системах с переносом изображения возникает неравномерность яркости по полю изображения ?
- 5.7. Как рассчитывается средняя величина яркости изображения ?
- 5.8. Методы поэлементной обработки изображений.

6. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- [1] Н.Н. Блинов, А.Н. Гуржиев, М.И. Зеликман. Методики контроля характеристик цифровых рентгеновских приемников / Медицинская техника – № 6 – 2004.
- [2] Б.И. Леонов, Э.Б. Козловский, Н.Н. Блинов, А.Н. Гуржиев. Сравнительные характеристики цифровых флюорографов / Медицинская техника – № 6 – 2004.
- [3] А.А. Майоров. Рентгеновское телевидение в промышленном НК / *В мире НК* - № 1 - 2007.
- [4] А.А. Майоров. Цифровые технологии в неразрушающем контроле. www.s-ng.ru
- [5] Л.П. Ярославский. Введение в цифровую обработку изображений. Издательство "Советское радио", Москва, 1979г.
- [6] Н.Н. Блинов, А.Ю. Васильев. Современное состояние цифровой рентгенологии в России / Медицинский бизнес – № 4 – 2005.
- [7] В.Н. Линева. Сканирующие технологии в цифровой рентгенодиагностике / Рентгенология-практика. – №3 – 2003.

[8] R.M. Harrison, "Digital radiography – a review of detector design", *Nucl. Instr. and Meth.* **A310** (1991) 24-34.

7.9. Г.И. Василенко, А.М. Тараторин. Восстановление изображений. М.:Радио и связь, 1986.