

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»**

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ  
УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

*Методические указания к лабораторной работе*

САМАРА 2016

УДК 57.087

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

**Пространственная фильтрация ультразвуковых медицинских изображений:** Метод. указания / – Самар. нац. исследов. ун-т.; сост. А.А. Федотов, С.А. Акулов, А.С. Акулова; Самара, 2016. 20 с.

В методических указаниях изложены основные методы пространственной обработки биомедицинских изображений с использованием возможностей математического программного пакета MATLAB. Рассмотрено применение типовых линейных пространственных фильтров при обработке исходного биомедицинского изображения. Приведены порядок выполнения работы и требования к отчету.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии» и выполняющих лабораторные работы по дисциплине «Методы и средства ультразвуковых исследований». Подготовлены на кафедре лазерных и биотехнических систем.

Ил. 7. Библиогр. 2 назв.

Рецензент: И.А. Кудрявцев

**Цель работы:** изучение методов пространственной фильтрации биомедицинских изображений с использованием возможностей пакета компьютерных вычислений MATLAB. Исследование возможностей комбинированного применения различных методов линейной пространственной и методов повышения качества изображения для решения задачи обработки первичных биомедицинских изображений.

## 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

### 1.1 Линейная пространственная фильтрация

Локальные преобразования оперируют одновременно как со значениями пикселей в окрестности, так и с соответствующими им значениями некоторой матрицы, имеющей те же размеры, что и окрестность, такую матрицу принято называть фильтром, маской, ядром, шаблоном или окном. Схема пространственной фильтрации проиллюстрирована на рисунке 1, процесс основан на простом перемещении маски фильтра от точки к точке изображения, в каждой точке  $(x, y)$  отклик фильтра вычисляется с использованием предварительно заданных связей.

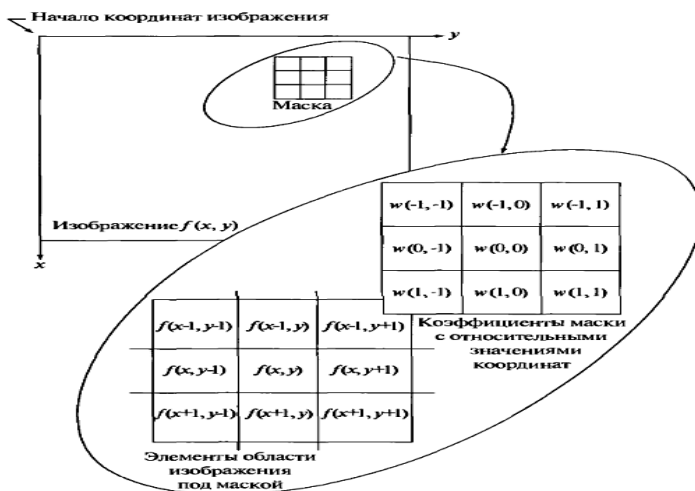


Рисунок 1 – Схема пространственной фильтрации

Фильтрация изображения  $f$ , имеющего размеры  $M \times N$  с помощью фильтра размерами  $m \times n$  задается выражением общего вида:

$$g(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) f(x + s, y + t)$$

где:  $a=(m-1)/2$ ,  $b=(n-1)/2$ ,  $x=0, 1, 2 \dots M-1$ ;  $y=0, 1, 2 \dots N-1$ .

Для маски размером  $3 \times 3$  элемента результат линейной фильтрации изображения в точке  $(x, y)$  представлено выражением:

$$R = w(-1, -1) f(x - 1, y - 1) + w(-1, 0) f(x - 1, y) + \dots \\ + w(0, 0) f(x, y) + \dots + w(1, 0) f(x + 1, y) + w(1, 1) f(x + 1, y + 1)$$

Таким образом, процедура линейной фильтрации представляет собой процедуру свертки коэффициентов фильтра (маски) с отсчетами исходного изображения. В случае, когда интерес представляет только значение отклика  $R$  по маске  $m \times n$  в точке  $(x, y)$  используется следующее выражение:

$$R = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \dots + w_{mn} z_{mn} = \sum_{i=1}^{mn} w_i z_i$$

где:  $w_i$  – коэффициент маски,  $z_i$  – значение пикселя, соответствующего данному коэффициенту,  $m \cdot n$  – общее число коэффициентов в маске.

## ***1.2 Сглаживающие пространственные фильтры***

Сглаживающие фильтры применяются для расфокусировки изображения и подавления шума. Расфокусировка применяется как предварительный шаг обработки изображения, например, для удаления мелких деталей перед обнаружением больших объектов, для устранения разрывов в линиях или деталях.

Отклик или выходной сигнал линейного сглаживающего фильтра представляет собой среднее значение элементов по окрестности, покрытой маской фильтра, что обеспечивает сглаживающий эффект. Такие фильтры иногда также называют низкочастотными фильтрами.

Заменой исходных значений элементов изображения на средние значения по маске фильтра достигается уменьшение резких переходов уровней яркости. Поскольку случайный шум как раз характеризуется резкими скачками яркости, наиболее очевидным применением сглаживания является подавление шума. Однако, негативной стороной применения сглаживающих

фильтров является расфокусировка контуров изображения, которые также характеризуются резкими перепадами яркостей. Главное использование сглаживающих фильтров состоит в подавлении несущественных деталей на изображении, под которыми понимается совокупность пикселей, которые малы по сравнению с размерами маски фильтра.

$$R = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 z_i,$$

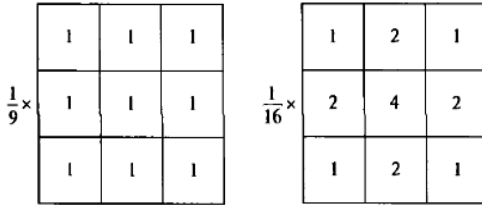


Рисунок 2 – Маски сглаживающих фильтров

Постоянный множитель перед маской равен единице, деленной на сумму значений коэффициентов, множитель необходим для нормировки. Первый фильтр имеет одинаковые коэффициенты и называется однородным усредняющим фильтром, выходное значение данного фильтра представляет собой обычное среднее значение по маске. Вторая маска обеспечивает на выходе фильтра взвешенное среднее, коэффициент в центре маски имеет самое большое значение, значения остальных коэффициентов уменьшаются по мере удаления от центра маски. Основная стратегия применения подобного рода фильтров – уменьшение расфокусировки при сглаживании.

Общая формула фильтрации изображения размерами  $M \times N$  с помощью фильтра взвешенного среднего по окрестности  $m \times n$  определяется выражением:

$$g(x, y) = \frac{\sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) \cdot f(x + s, y + t)}{\sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t)}$$

Подбор оптимального размера маски требует проведения нескольких экспериментов и определяется как размерами исходного изображения, так и основным назначением выполнения процедуры сглаживания изображения.

### 1.3 Пространственные фильтры повышения резкости изображений

Главная цель повышения резкости заключается в том, чтобы подчеркнуть мелкие детали изображения или улучшить те детали, которые оказались расфокусированы вследствие ошибок или несовершенства самого метода регистрации изображений.

Ранее было показано, что расфокусировка изображения осуществлялась путем усреднения значений пикселей по окрестности. Повышение резкости изображения может быть достигнуто с помощью обратной процедуры – пространственного дифференцирования.

Дифференцирование изображения позволяет усилить перепады и другие разрывы на изображении, но также неизбежно приводит и к усилению шумов на изображении. Величина отклика оператора производной в точке изображения пропорциональна степени разрывности изображения в данной точке.

Производные дискретной функции определяются в терминах разности. Первая производная должна быть:

- 1) равной нулю на участках с постоянным уровнем яркости;
- 2) ненулевой в начале и в конце ступеньки или склона яркости;
- 3) ненулевой на склонах яркости.

Вторая производная должна быть:

- 1) равной нулю на участках с постоянным уровнем яркости;
- 2) ненулевой в начале и в конце ступеньки или склона яркости;
- 3) равной нулю на склонах постоянной крутизны.

Первая производная одномерной функции определяется как разность значений соседних элементов:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = f(x+1) - f(x)$$

Аналогично вторая производная определяется как разность соседних значений первой производной:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1) + f(x-1) - 2f(x)$$

Отметим, что вторая производная является намного более эффективной при решении задач усиления резких переходов на изображении чем пер-

вая производная, однако, вторая производная обеспечивает намного большее усиление мелких деталей, включая шум.

#### ***1.4 Улучшение изображений с использованием вторых производных***

В данном случае рассматривается использование оператора двумерной второй производной в задачах улучшения изображения. Подход сводится к выбору дискретной формулировки второй производной и к последующему построению маски фильтра, основанной на предложенной формулировке. В данных задачах рассматриваются исключительно изотропные фильтры, отклик которых не зависит от направления неоднородностей на обрабатываемом изображении. Изотропные фильтры обладают свойством инвариантности к повороту изображения, то есть поворот изображения и последующее применение фильтра дает тот же результат, что и первоначальное применение фильтра с последующим поворотом результата.

Простейшим оператором, основанным на производных, является оператор Лапласа – лапласиан, который для функции двух переменных определяется как:

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

Для применения оператора Лапласа в цифровой обработке изображений его необходимо выразить в дискретном виде. Наиболее часто используется следующее представление:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y)$$
$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y)$$

Дискретная формулировка двумерного лапласиана получается объединением этих двух составляющих:

$$\nabla^2 f = [f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1)] - 4f(x, y)$$

Данное уравнение может быть реализовано с помощью маски, представленной на рисунке 3.

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

Рисунок 3 – Маска фильтра, используемая для реализации дискретного лапласиана

Данная маска дает изотропный результат для поворотов на углы, кратные  $90^{\circ}$ . В формулу дискретного лапласиана могут быть включены диагональные направления добавлением еще двух членов – по одному для каждого из диагональных направлений. Маска, соответствующая такому определению, представлена на рисунке 4.

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

Рисунок 4 – Маска фильтра, используемая для реализации дискретного лапласиана, полученная с учетом диагональных направлений.

Данная маска является изотропной для поворотов на углы, кратные  $45^{\circ}$ .

В силу того, что оператор Лапласа по сути является второй производной, его применение подчеркивает разрывы уровней яркостей на изображении и подавляет области со слабыми изменениями яркостей. Это приводит к получению изображения, содержащего сероватые линии на месте контуров и других разрывов, наложенные на темный фон без особенностей. Для восстановления прежнего фона при сохранении эффекта повышения резкости, достигаемого использованием лапласиана, достаточно сложить исходное изображение и изображение, получаемое на выходе оператора Лапласа.

Необходимо отметить, что результаты, получаемые с применением маски, содержащей диагональные элементы (рисунок 4), являются более резкими, чем с применением первичной маски, приведенной на рисунке 3.



### 1.5 Нерезкое маскирование и фильтрация с подъемом высоких частот

Процедура, используемая для повышения резкости изображения, заключающаяся в вычитании из исходного изображения его расфокусированной копии называется *нерезким маскированием* и выражается следующей формулой:

$$f_s(x, y) = f(x, y) - \bar{f}(x, y)$$

где:  $\bar{f}(x, y)$  – изображение с повышенной резкостью, полученное методом нерезкого маскирования,  $f(x, y)$  – расфокусированная копия исходного изображения  $f(x, y)$ .

Обобщенной операцией нерезкого маскирования является фильтрация с подъемом высоких частот, которая задается в следующем виде:

$$f_{hb}(x, y) = Af(x, y) - \bar{f}(x, y)$$

где  $A \geq 1$ . При увеличении  $A$  больше 1, эффект увеличения резкости становится меньше. Типичным применением фильтрации изображений с подъемом высоких частот является случай, когда исходное изображение темнее, чем это требуется. Варьированием постоянного коэффициента  $A$  удастся добиться общего увеличения яркости изображения и получить желаемый результат.

### 1.6 Улучшение изображений с использованием первых производных

В обработке изображений первые производные реализуются через модуль градиента. Для функции  $f(x, y)$  градиент  $\nabla f$  в точке  $(x, y)$  определяется как двумерный вектор-столбец:

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}$$

Модуль этого вектора часто называют градиентом, который определяется следующим образом:

$$\nabla f = |\nabla f| = [G_x^2 + G_y^2]^{0,5} = \left[ \left( \frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{0,5}$$

В силу большого объема вычислений, необходимых для обработки всего изображения оператором градиента, на практике часто используют приближенное значение в виде:

$$\nabla f \approx |G_x| + |G_y|$$

Определим дискретные приближения приведенных уравнений. Для указания пикселей в окрестности  $3 \times 3$  будем использовать обозначения, представленные на рисунке 5.

$z_1$	$z_2$	$z_3$
$z_4$	$z_5$	$z_6$
$z_7$	$z_8$	$z_9$

Рисунок 5 – Область изображения размером  $3 \times 3$  элемента

Простейшими приближениями первой производной являются следующие выражения:  $G_x = z_8 - z_5$  и  $G_y = z_6 - z_5$ . Робертс предложил использовать перекрестные направления:  $G_x = z_9 - z_5$  и  $G_y = z_8 - z_6$ . В этом случае градиент будет определяться следующим выражением:

$$\nabla f = [(z_9 - z_5)^2 + (z_8 - z_6)^2]^{0,5}$$

В случае использования приближенной формулы для определения градиента:

$$\nabla f \approx |z_9 - z_5| + |z_8 - z_6|$$

Приведенное уравнение может быть реализовано с помощью масок, приведенных на рисунке 6.

-1	0	0	-1
0	1	1	0

Рисунок 6 – Маски  $2 \times 2$ , используемые для вычисления градиента

Данные маски называют перекрестным градиентным оператором Робертса. Однако, маски четного размера неудобны в своей реализации, поэтому более предпочтительным является применение масок с минимальным размером окрестности  $3 \times 3$ , в этом случае градиентный оператор может быть реализован с помощью следующего выражения:

$$\nabla f \approx |z_7 + 2z_8 + z_9| - |z_1 + 2z_2 + z_3| + |z_3 + 2z_6 + z_9| - |z_1 + 2z_4 + z_7|$$

Соответствующие маски приведены на рисунке 7. Представленные маски называют оператором Собела.

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Рисунок 7 – Маски 3×3, используемые для вычисления градиента

Использование весовых коэффициентов со значением 2 основано на стремлении присвоить центральным точкам большую значимость и тем самым достичь большей гладкости. Заметим, что сумма коэффициентов каждой из масок равна 0, что обеспечивает нулевой отклик операторов первой производной на участках изображения с постоянным уровнем яркости, что соответствует требованиям к оператору первой производной. Градиентные операторы применяются для улучшения контуров, в задачах улучшения видимости дефектов и для удаления слабо меняющихся характеристик фона.

### ***1.7 Комбинированные методы пространственного улучшения изображений***

При решении конкретных задач обработки биомедицинских изображений для достижения приемлемого результата может потребоваться применение нескольких дополняющих друг друга пространственных методов улучшения изображения.

В клинической диагностике используются полные снимки скелета, полученные с помощью гамма-лучей для обнаружения таких заболеваний, как костные инфекции и опухоли. Одной из актуальных задач обработки такого рода изображений является повышение резкости изображения для более подробного выявления деталей скелета. Зачастую такие изображения характеризуются малым динамическим диапазоном уровней яркости и высоким содержанием шума, что затрудняет реализацию поставленных задач.

Стратегия обработки данного вида изображений состоит в использовании лапласиана для выделения мелких деталей скелета и градиента для

улучшения выступающих краев, а также градационного преобразования для увеличения динамического диапазона яркостей.

Альтернативным подходом является использование маски, формируемой путем сглаживания градиента исходного изображения. Оператор второй производной (лапласиан) обеспечивает значительное улучшение отображения мелких деталей изображения, по сравнению с градиентом, однако, при этом лапласиан усиливает шум в большей степени, чем градиент. Градиент по сравнению с лапласианом дает более сильный отклик в областях со значительными изменениями яркости (яркостные переходы и ступеньки), при этом отклик градиента на шум и мелкие детали слабее, чем у лапласиана, и может быть в дальнейшем дополнительно снижен путем сглаживания градиента усредняющим фильтром.

### 1.8 Реализация методов пространственной фильтрации в системе компьютерных вычислений MATLAB

В пакете MATLAB линейная пространственная фильтрация реализуется с помощью функции **imfilter**, которая имеет следующий синтаксис:

**g=imfilter(f, w, filtering\_mode, boundary\_options, size\_options)**

где: **f** – входное изображение, **w** – фильтрующая маска, **g** – результат фильтрации. Остальные параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Опции функции **imfilter**

Опции	Описание
<i>Мода фильтрации</i>	
'corr'	Фильтрация делается методом корреляции. Мода по умолчанию.
'conv'	Фильтрация делается методом свертки
<i>Граничные опции</i>	
P	Границы изображения расширяются значением P (без апострофов). По умолчанию P=0.
'replicate'	Размер изображения увеличивается повторением величин на его боковых границах.
'symmetric'	Размер изображения увеличивается путем зеркального отражения через границы.
'circular'	Размер изображения увеличивается периодическим повторением двумерной функции.
<i>Опции размера</i>	
'full'	Выход имеет те же размеры, что и расширенное входное изображение.
'same'	Выход имеет те же размеры, что и вход. Это достигается с помощью ограничения перемещения центра фильтрующей маски точками, принадлежащими исходному изображению. Опция по умолчанию.

Механизм линейной пространственной фильтрации был проиллюстрирован на рисунке 1. Суть процесса заключается в перемещении центра фильтрующей маски **w** от точки к точке изображения **f**. В каждой точке (x, y) отклик фильтра определяется суммой произведений коэффициентов фильтра и соответствующий пикселей окрестности, покрываемой маской. Как правило, выбирают маски нечетных размеров, в силу наличия выраженной центральной точки.

Механизм вычисления результатов фильтрации осуществляется двумя способами: корреляцией и сверткой. Корреляция состоит в прохождении маски **w** по изображению **f**, как показано на рисунке 1. Свертка выполняется аналогично, с тем отличием, что маску **w** необходимо повернуть на 180° перед прохождением по изображению **f**.

Наиболее часто функция **imfilter** применяется в виде следующей команды:

$$g = \text{imfilter}(f, w, \text{'replicate'})$$

В пакете MATLAB имеются некоторые стандартные двумерные линейные пространственные фильтры, которые можно получить с помощью функции **fspecial**, генерирующей маску фильтра **w** при выполнении следующей команды:

$$w = \text{fspecial}(\text{'type'}, \text{parameters})$$

где **type** обозначат тип фильтра, а **parameters** задают параметры выбранного фильтра.

Пространственные фильтры, получаемые данной командой, приведены в таблице 2 с соответствующими параметрами каждого фильтра. Необходимо заметить, что результаты фильтрации изображений с помощью применения некоторых видов масок могут содержать отрицательные значения пикселей. При выводе таких изображений на дисплее пиксели с отрицательными значениями яркостей будут приравниваться к нулю, что приведет к сокращению динамического диапазона яркости и искажению получаемых результатов. Для преодоления указанных трудностей необходимо преобразовать исходное изображение в класс **double** перед фильтрацией с помощью следующей команды:

$$f2 = \text{im2double}(f)$$

где **f** – исходное изображение класса **uint8**, **uint16** или **logical**.

Различные классы данных приведены в таблице 3.

Таблица 2 – Пространственные фильтры функции **fspecial**

Тип	Синтаксис и параметры
'average'	<code>fspecial('average', [r c])</code> . Прямоугольный усредняющий фильтр размера $r \times c$ . По умолчанию $3 \times 3$ . Одно число на месте $[r c]$ означает квадратный фильтр.
'disk'	<code>fspecial('disk', r)</code> . Круговой усредняющий фильтр (внутри квадрата со стороной $2r+1$ ) радиуса $r$ . По умолчанию $r = 5$ .
'gaussian'	<code>fspecial('gaussian', [r c], sig)</code> . Низкочастотный гауссов фильтр размера $r \times c$ со стандартным (положительным) отклонением $sig$ . Значения по умолчанию $3 \times 3$ и $0.5$ . Одно число на месте $[r c]$ означает квадратный фильтр.
'laplacian'	<code>fspecial('laplacian', alpha)</code> . Фильтр Лапласа $3 \times 3$ , форма которого задается параметром $alpha$ из интервала $[0, 1]$ . По умолчанию $alpha = 0.5$ .
'log'	<code>fspecial('log', [r c], sig)</code> . Лаплас от гауссова фильтра (LoG) размера $r \times c$ со стандартным (положительным) отклонением $sig$ . Значения по умолчанию $5 \times 5$ и $0.5$ . Одно число на месте $[r c]$ означает квадратный фильтр.
'motion'	<code>fspecial('motion', len, theta)</code> . Выдает фильтр, который, будучи свернутым с изображением, приближает линейное перемещение (видеокамеры по отношению к изображению) на $len$ пикселей. Направление перемещения задается углом $theta$ , который измеряется в градусах от горизонтали против часовой стрелки. Значения по умолчанию $9$ и $0$ , что соответствует перемещению на $9$ пикселей в горизонтальном направлении.
'prewitt'	<code>fspecial('prewitt')</code> . Выдает $3 \times 3$ маску Превитта $wv$ , которая аппроксимирует вертикальный градиент. Маску горизонтального градиента можно получить, транспонировав результат: $wh = wv'$ .
'sobel'	<code>fspecial('sobel')</code> . Выдает $3 \times 3$ маску Собела $sv$ , которая аппроксимирует вертикальный градиент. Маску горизонтального градиента можно получить, транспонировав результат: $sh = sv'$ .
'unsharp'	<code>fspecial('unsharp', alpha)</code> . Выдает $3 \times 3$ маску нечеткого фильтра. Параметр $alpha$ контролирует форму, он должен быть не меньше $0$ и не больше $1.0$ . По умолчанию $alpha = 0.2$ .

Таблица 3 – Классы данных

Имя	Описание
<code>double</code>	Вещественные числа с плавающей запятой двойной точности в диапазоне, примерно, от $-10^{308}$ до $10^{308}$ (8 байт на число).
<code>uint8</code>	Целые без знака в интервале $[0, 255]$ (1 байт на число).
<code>uint16</code>	Целые без знака в интервале $[0, 65535]$ (2 байта на число).
<code>uint32</code>	Целые без знака в интервале $[0, 4294967295]$ (4 байта на число).
<code>int8</code>	Целые со знаком в интервале $[-128, 127]$ (1 байт на число).
<code>int16</code>	Целые со знаком в интервале $[-32768, 32767]$ (2 байта на число).
<code>int32</code>	Целые со знаком в интервале $[-2147483648, 2147483647]$ (4 байта).
<code>single</code>	Вещественные числа с плавающей запятой обычной точности в диапазоне, примерно, от $-10^{38}$ до $10^{38}$ (4 байта на число).
<code>char</code>	Символы (буквы и знаки) (2 байта на символ).
<code>logical</code>	Значения $0$ или $1$ (1 байт на элемент).

Большинство медицинских изображений представляют собой полутоновые изображения, элементы которого относятся наиболее часто к следующим классам данных: **uint8**, **uint16** и **double**. Если элементы полутонового изображения относятся к классу **uint8** или **uint16**, то они представлены целыми числами, соответственно, в интервалах  $[0 - 255]$  и  $[0 - 65535]$ . Если изображение принадлежит классу **double**, то его пиксели представляют собой вещественные числа с плавающей точкой. По общему соглашению, пиксели изображений класса **double** должны лежать в интервале  $[0 - 1]$ .

## 2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Загрузите тестовое изображение скелета человека **skeleton.jpg**. Методом фильтрации с подъемом высоких частот добейтесь максимального повышения резкости исходного изображения. Для получения расфокусированного изображения используйте линейный усредняющий фильтр.
2. Примените линейную пространственную фильтрацию с помощью оператора Лапласа к исходному изображению скелета человека **skeleton.jpg**.
3. Сложите исходное изображение скелета человека **skeleton.jpg** с изображением, полученным в результате выполнения второго пункта задания.
4. Примените оператор Собела к исходному изображению скелета человека **skeleton.jpg**.
5. Изображение, полученное в результате выполнения четвертого пункта задания, подвергните фильтрации с помощью сглаживающего усредняющего фильтра. С помощью масок различного размера добейтесь оптимальных результатов.
6. Получите изображение путем умножения изображения, полученного после выполнения пятого пункта задания, и изображения, полученного в результате выполнения третьего пункта задания. Необходимо помнить, что речь идет о поэлементном умножении матриц изображений.
7. Получите изображения с повышенной резкостью путем сложения изображения, полученного в результате выполнения шестого пункта задания и исходного изображения изображению скелета человека **skeleton.jpg**.

8. Преобразуйте изображение, полученное в результате выполнения седьмого пункта задания, с помощью метода градационной коррекции по степенному закону.
9. Сравните различные методы пространственной фильтрации, использованные при выполнении всех пунктов задания. Сравните изображения, полученные в результате выполнения первого, третьего, пятого и восьмого пунктов задания. 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. Основной принцип метода линейной пространственной фильтрации изображений.
2. Сглаживающие линейные пространственные фильтры.
3. Пространственные фильтры повышения резкости.
4. Пространственные фильтры повышения резкости на основе второй производной.
5. Пространственные фильтры повышения резкости на основе первой производной.
6. Нерезкое маскирование и фильтрация с подъемом высоких частот.
7. Особенности применения комбинированных методов пространственной обработки биомедицинских изображений.

### **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.



*Учебное издание*

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ  
МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

*Методические указания*

Составители: Федотов Александр Александрович  
Акулов Сергей Анатольевич  
Акулова Анна Сергеевна

Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева  
443086 Самара, Московское шоссе, 34