

Д.т.н., проф Е.Г. Жилияков, А.Н. Заливин,
д.ф.-м.н. В.В. Красильников (НИУ «БелГУ»)

E.G. Zhilyakov, A.N. Zalivin, V.V. Krasilnikov

**СВЯЗЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛЕЙ ЭНЕРГИИ
В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ С ГЕОМЕТРИЕЙ
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТРУКТУР НА ИЗОБРАЖЕНИИ**

**CONTACT ENERGY DISTRIBUTION INTEREST
IN THE FREQUENCY DOMAIN GEOMETRY
OF SPATIAL STRUCTURES ON IMAGE**

Представлено исследование связи между геометрией контуров на изображении и геометрией распределения долей энергий в частотной области. Приведены результаты экспериментальных исследований по выделению компонент изображения с заданной ориентацией и повышению четкости изображений.

In a study the relationship between the geometry of the contours in the image and the geometry of the energy distribution of shares in the frequency domain. We also present experimental results on the allocation of components image with a specified orientation and improve image clarity.

Ключевые слова: доли энергии, частотный интервал, четкость, обработка изображений.

Key words: share power, frequency range, edge, clarity, image processing

Введение

В системах наблюдения, технического зрения, видеотелефонии, телевидения, автономных интеллектуальных системах, телемедицине и др. изображения используются в качестве средства получения визуальной информации. Поэтому методы обработки визуальной информации, обеспечивающие повышение визуального качества восприятия изображений, а также анализ, распознавание и интерпретацию зрительных образов для принятия решения и управления поведением автономных технических систем играют все более важную роль.

Большое разнообразие методов и алгоритмов обработки изображений обусловлено множеством как решаемых задач, так и областей применения, а также технических средств получения визу-

альной информации. Однако, часто, многие из них не имеют строгого математического обоснования, а их применение объясняется целесообразностью, исходя из условий конкретной практической задачи.

Любая из процедур обработки и анализа изображений содержит в своей структуре этап предварительной обработки, включающий сглаживание, фильтрацию шумов, повышение четкости и контрастности. Кроме того, предварительная обработка изображений включает в себя коррекцию нелинейности датчика, яркости, контраста, устранение геометрических искажений, подчеркивание интересующих объектов относительно фона. Часто на этом этапе осуществляется коррекция возмущений в изображении, обусловленных расфокусировкой оптики, размытостью изображения в результате движения объекта, погрешностями в датчике либо при передаче сигналов изображения.

Эффективность этапа предварительной (первичной) обработки изображений оказывает решающее влияние на результат последующих этапов обработки изображения, в т.ч. сегментация, морфологический анализ и распознавание образов. Более того, в ходе обработки изображения, возможно неоднократное обращение к данному этапу для достижения необходимого результата.

Использование частотных представлений в задачах цифровой обработки изображений позволяет естественным образом сформулировать задачу анализа свойств изображений на основе соотношения их с выделенными, исходя из тех или иных соображений, частотными интервалами специального вида. Одной из наиболее важных и часто определяемых характеристик является доля энергии изображения, попадающей в заданный частотный интервал.

Поэтому, для решения задач предварительной обработки изображений, представляет интерес исследование связи между распределением долей энергий по частотным интервалам и пространственными структурами на изображении, а также выявлении частотных компонент, ответственных за четкость.

Связь между пространственными характеристиками изображения и его частотным представлением

Из литературы [1,2] известно, что между пространственными характеристиками изображения и его частотным представлением

существуют некоторые взаимосвязи. Например, поскольку частота напрямую связана со скоростью изменения сигнала, то, следовательно, частотные компоненты Фурье-преобразования связаны с вариацией яркости на изображении. Низкочастотные компоненты, отвечающие точкам вблизи начала координат частотной области, соответствуют медленно меняющимся компонентам изображения. Высокочастотные компоненты соответствуют более быстрым изменениям яркости, к которым относятся границы объектов (контуры) и другие детали изображения, характеризуемые резкими изменениями яркости. Поскольку контуром изображения является пространственно протяженный разрыв (перепад, скачкообразное изменение) значений яркости [3], то, принято считать, что величина энергии высокочастотных компонент отвечает за четкость на изображении. Под четкостью будем понимать различимость деталей малого масштаба.

Для определения связи между распределением долей энергий по частотным интервалам и контурами на изображениях, использован метод вычисления точных значений долей энергии изображений в заданных частотных субинтервалах [4].

Под субинтервалом будем понимать некоторую симметричную двумерную частотную область Ω (рис. 1),

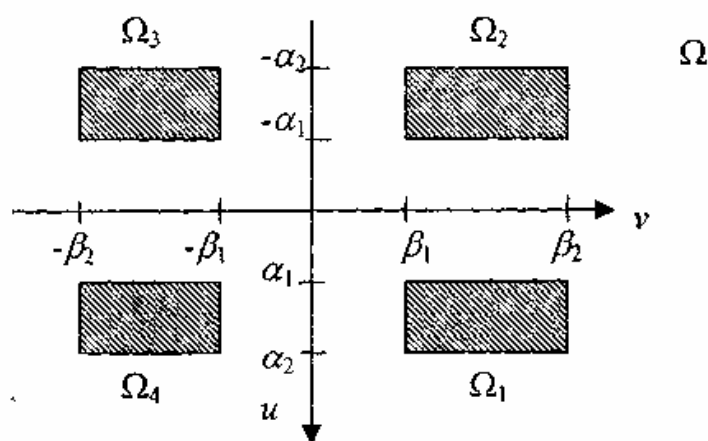


Рис. 1

Двумерная частотная область Ω (субинтервал)

Для определения долей энергии изображения $\Phi=(f_{ik})$, $i=1,2,\dots,M$, $k=1,2,\dots,N$, попадающие в выбранные частотные интервалы используется следующее соотношение

$$P_{r_1 r_2} = \frac{E_{r_1 r_2}}{E_{\Phi}}; \quad (1)$$

где: $E_{r_1 r_2}$ – часть энергии изображения Φ , соответствующая частотному интервалу $\Omega_{r_1 r_2}$,

E_{Φ} – энергия изображения Φ .

Энергия изображения рассчитывается на основании следующего выражения

$$E_{\Phi} = \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N f_{ik}^2; \quad (2)$$

Энергия изображения, соответствующая частотному интервалу, определяется следующим соотношением

$$E_{r_1 r_2} = \text{trac}(A_{r_1}^T \cdot \Phi \cdot A_{r_2} \cdot \Phi^T); \quad (3)$$

где – элементы субполосных матриц $A_{r_1} = (a_{i_1 i_2}^{r_1})$, $i_1, i_2 = 1, \dots, M$, и $A_{r_2} = (a_{k_1 k_2}^{r_2})$, $k_1, k_2 = 1, \dots, N$, определяются на основании следующих соотношений

$$a_{i_1 i_2}^{r_1} = \begin{cases} \frac{2 \cos \frac{\sigma_1 (2r_1 - 1)(i_1 - i_2)}{2} \sin \frac{\sigma_1 (i_1 - i_2)}{2}}{\pi (i_1 - i_2)}, & i_1 \neq i_2, \\ \frac{\sigma_1}{\pi}, & i_1 = i_2, \end{cases} \quad (4)$$

$$a_{k_1 k_2}^{r_2} = \begin{cases} \frac{2 \cos \frac{\sigma_2 (2r_2 - 1)(k_1 - k_2)}{2} \sin \frac{\sigma_2 (k_1 - k_2)}{2}}{\pi (k_1 - k_2)}, & k_1 \neq k_2, \\ \frac{\sigma_2}{\pi}, & k_1 = k_2. \end{cases} \quad (5)$$

где: $\sigma_1 = \frac{\pi}{R_1}$

$$\sigma_2 = \frac{\pi}{R_2}$$

R_1 и R_2 – количество частотных субинтервалов вдоль осей абсцисс и ординат частотного пространства.

В ходе проведения экспериментальных исследований были установлены следующие связи между пространственными структурами на изображении и распределением долей энергии в частотной области: при наличии линий на изображении, доли энергии в частотной области также распределены вдоль частотных осей, перпендикулярных линиям на изображении; распределение долей энергии в частотной области зависит от ориентации линий и границ объектов на изображении (рис. 2); если на изображении присутствуют одинаковые объекты, не зависимо от их количества, то частотные интервалы, в которых распределены доли энергии, остаются без изменений, а меняется только концентрация долей энергии.

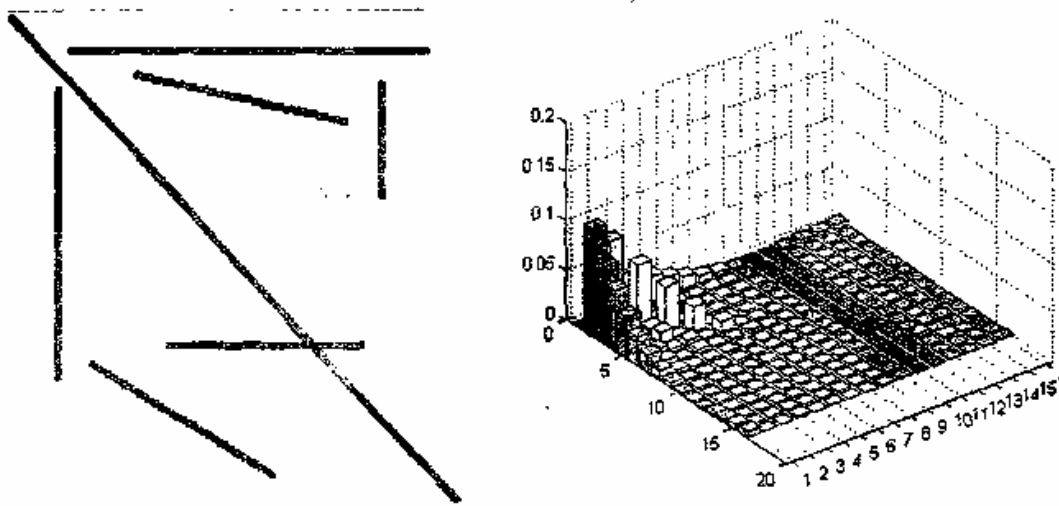


Рис. 2

Слева - модельное изображение, справа - его доли энергии

Из рис. 2 видно, что каждому направлению линий на изображении соответствует собственное направление распределения долей энергии в частотной области, но, при этом, зеркально отображенное.

При решении некоторых задач обработки изображений необходимо усилить, ослабить или устранить некоторые компоненты изображения. Например, при анализе космического снимка земной поверхности может стоять задача определения границ между ее отдельными участками - лесом и полем, водой и сушей и т.п. С точки зрения этой задачи необходимо устранить отдельные детали изображения внутри разделяемых областей. Этот эффект достигается применением процедуры фильтрации.

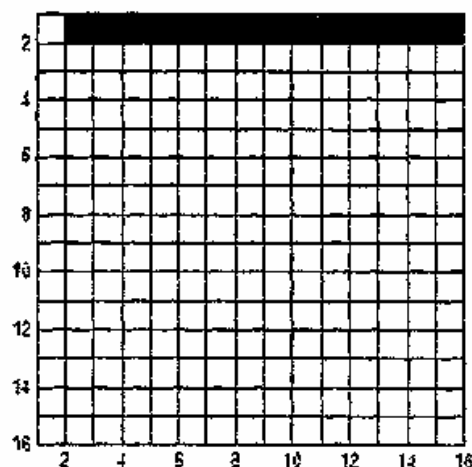


Рис. 3

Слева результат фильтрации, справа – черным цветом выделены
выбранные частотные интервалы для фильтрации

Поэтому следующие экспериментальные исследования, проводились с целью выделения пространственных с заданной ориентацией. Для выделения частотных компонент изображения использовался метод оптимальной фильтрации [5]. Результат выделения из рис. 2 структур с заданной ориентацией представлен на рис. 3.

Как видно из рис. 3, с помощью выделения частотных компонент удалось из набора различно ориентированных линий выделить только вертикальные.

Одной из немаловажных задач предварительной обработки изображений является и процедура повышения четкости. Повышение четкости изображений земной поверхности (ИЗП) предлагается производить на основе соотношения

$$\hat{\Phi} = \Phi + Y_{\Omega} \tag{6}$$

где: Φ – исходное изображение

Y_{Ω} – результат фильтрации исходного изображения

В результате будет получено более четкое изображение с усиленными высокими частотами.

В ходе проведения экспериментальных исследований по повышению четкости ИЗП были получены следующие результаты: использование низкочастотных компонент изображения для повышения четкости является не целесообразным, т.к. их добавление ухудшает четкость и портит исходное изображение; добавление к исходному изображению высокочастотных компонент

исходному изображению высокочастотных компонент ведет к повышению четкости, но при этом повышается и уровень шума на изображении. Поэтому предлагается производить повышение четкости объектов заданного размера, используя для этого зависимость между размерами объекта на изображении и номером частотного интервала.

А также, чтобы уменьшить влияние шумовых составляющих на результат повышения четкости необходимо использовать метод определения точных значений долей энергии, для выбора частотных в интервалов в которых сосредоточена подавляющая доля энергии [5].

Чтобы определить степень четкости изображения, воспользуемся следующим соотношением

$$R_Q = R/f_{\max} \tag{7}$$

$$R = \frac{\sum_a^b \left(\frac{df}{dx}\right)^2}{f(a) - f(b)}$$

где:

a и b - точки, которые расположены на противоположных краях перепада.

f_{\max} - максимально возможное значение диапазона яркостей

$$\frac{df}{dx} = f(i, k) - f(i, k - 1), \quad i \in 1, 2, \dots, M, \quad k = 2, 2, \dots, N.$$

Здесь R_Q - показатель четкости изображения.

На основании результатов экспериментальных исследований были получены эмпирические соотношения, которые позволяют установить связи между размерами объекта и номером частотного интервала

$$Nr_1 = \frac{R_1}{m}; \tag{8}$$

$$Nr_2 = \frac{R_2}{n}. \tag{3}$$

где: R_1, R_2 - количество частотных интервалов по оси абсцисс и ординат частотного пространства;

m, n - размеры объекта в пикселях;

N_{r1}, N_{r2} - номера частотных интервалов, которые выбраны для повышения четкости.

Пример повышения четкости объектов заданного размера на изображении приведен на рис. 5.

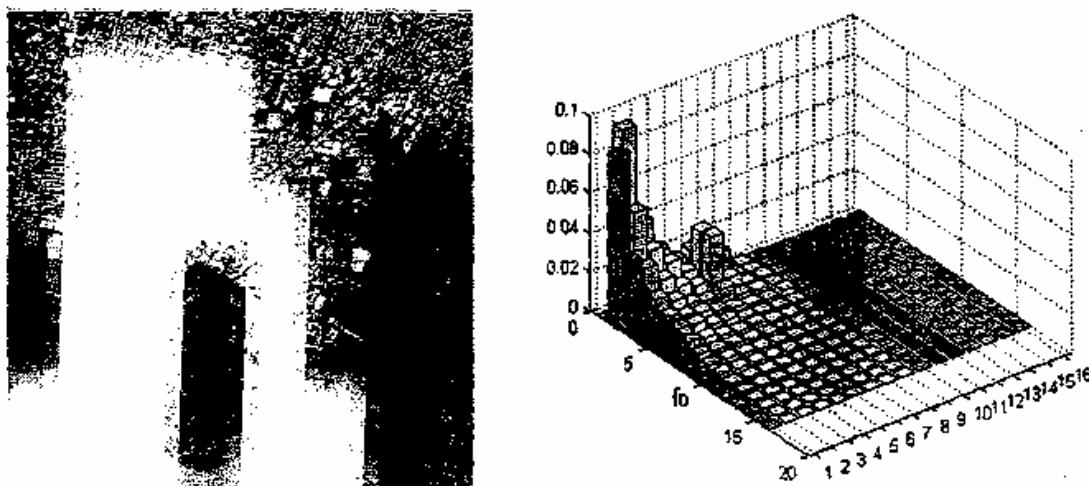


Рис. 4

Слева изображение земной поверхности, справа – распределение его долей энергии

На рис. 4 представлено изображение земной поверхности, содержащее объекты малых размеров, при этом значение показателя четкости равно 9.721.

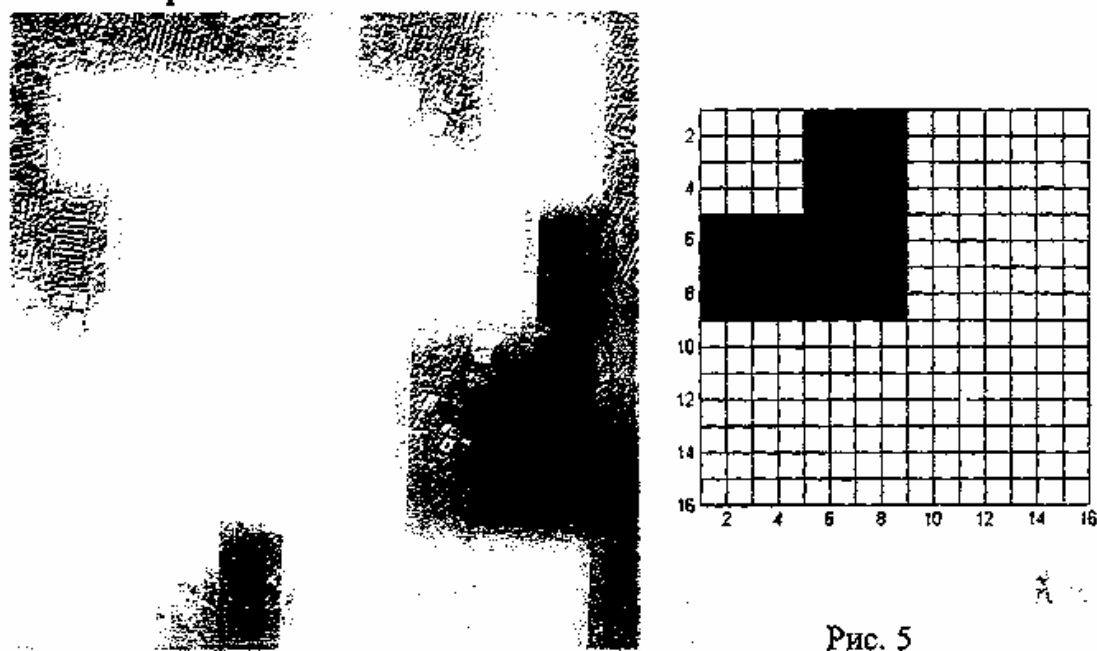


Рис. 5

Слева результат повышения четкости объектов размером от 2 до 3 пикселей, справа – черным цветом выделены выбранные частотные интервалы для фильтрации

На рис. 5 представлен результат повышения четкости изображения рис. 4 при выборе частотных интервалов, которые соответствуют размерам объектов от 2 до 3 пикселей, при этом значение показателя четкости равно 12.713.

Вывод

В результате можно сделать выводы: установлены связи между ориентацией линейных структур на изображении с распределением частотных интервалов, в которых сосредоточена подавляющая доля их энергии; показано, что используя метод оптимальной частотной фильтрации можно выделять компоненты изображения с определенной ориентацией; разработан метод повышения четкости изображений на основе усиления частотных компонент связанных с заданными размерами объектов.

Литература

1. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М., Техносфера, 2010. 582 с.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений. М., Техносфера, 2006. 1072 с.
3. Методы компьютерной обработки изображений. Под ред. В.А. Сойфера. М., ФИЗМАТЛИТ, 2003. 784 с.
4. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Заливин А.Н. Об эффективности метода оценивания значений долей энергии изображений на основе частотных представлений. – "Известия ОрелГТУ. Информационные системы и технологии", 2009, № 2\52(563), с. 12-22.
5. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А. Вариационные алгоритмы анализа и обработки изображений на основе частотных представлений. Белгород, Изд-во ГиК, 2009. 146 с.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-07-0257а.

Статья поступила 09.12.2011