

Д.т.н., проф Е.Г. Жилияков, А.Н. Заливин,
д. ф.-м.н. В.В. Красильников (Белгородский ГУ)

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

О ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ
ПОВЕРХНОСТИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ РЕЗКОСТИ

ABOUT DIGITAL IMAGING EARTH SURFACE TO SHARPENING

Рассмотрены методы повышения резкости изображений земной поверхности на основе градиентной обработки. Представлена процедура повышения резкости изображений. Произведено сравнение рассмотренных методов для изображений земной поверхности с наличием и без шума.

Keywords: contour, gradient processing, derivative, visual quality.

Введение

Дистанционное зондирование Земли является важным инструментом для решения большого количества задач. таких как: обновление топографических карт, отражающих реальное состояние территорий; прогноз урожайности сельскохозяйственных культур; отслеживание динамики и состояния рубок леса; природоохранный мониторинг; прогноз погоды и мониторинг опасных природных явлений. Данные дистанционного зондирования (изображения земной поверхности) получают с помощью различных датчиков или съемочных систем. Для дешифрирования полученных данных широко применяют автоматизированные методы обработки изображений, но, несмотря на их развитие, визуальное дешифрирование не теряет значения, т.к. визуальные методы просты и доступны каждому.

Возможность визуального разделения объектов на снимке основывается на способности воспринимать яркостные различия, которую принято характеризовать пороговыми значениями световой чувствительности зрения. Доказано, что пороговый контраст остается постоянным для достаточно широкого диапазона яркостей. В условиях хорошего освещения при работе с фотографическими снимками на прозрачной основе его принимают равным 0,02 единицы оптической плотности. Из физиологических опытов известно, что человек способен различить не более 100 оттенков серого цвета [7].

Однако для надежного различения соседних объектов с четкой границей необходима разность не менее 0,1, что соответствует возможности различить 10—20 ступеней ахроматической шкалы. На восприятие яркости или различий в ней влияет несколько факторов, из которых наиболее существенным является наличие контура. Постепенный переход от низкой яркости к высокой или наоборот глазом воспринимается плохо. Любая существующая граница в результате процессов, происходящих в сетчатке, усиливается при восприятии и способствует различению яркостей. Для дешифрирования это имеет существенное значение и находит постоянное подтверждение. Ареалы, имеющие четкие границы, т.е. контрастирующие с окружающим фоном, различаются лучше, чем имеющие нечеткие, размытые границы. Поэтому необходимо производить предварительную обработку изображений с целью повышения их визуального качества.

Методы повышения резкости изображений земной поверхности

Одним из наиболее распространенных методов повышения визуального качества космоснимков земной поверхности является градиентная обработка, которая служит для повышения резкости контуров объектов на изображении, а также повышения контрастности, и основывается на дифференцировании яркости, рассматриваемой как функция пространственных координат. Для двумерной функции яркости $F(x, y)$ перепады в направлениях x и y регистрируются частными производными $\partial F(x,y)/\partial x$ и $\partial F(x,y)/\partial y$, которые пропорциональны скоростям изменения яркости в соответствующих направлениях [6]. В практических задачах требуется выделять контуры, направление которых является произвольным. Для этих целей можно использовать модуль градиента функции яркости

$$|\nabla F(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial F(x, y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F(x, y)}{\partial y}\right)^2} \quad (1)$$

В случае цифровых изображений, которые представляют собой 2-мерный сигнал $\Phi = \{U_{ik}\}$, где $i=1, \dots, N$, $k=1, \dots, M$, вместо производных берутся дискретные разности.

$$\Delta\Phi = |U(i, k) - U(i-1, k)| + |U(i, k) - U(i, k-1)| \quad (2)$$

Но метод дифференцирования на основе конечных разностей является не устойчивым по отношению к случайным погрешностям

измерений, которыми, в случае с изображениями, являются помехи. Поэтому для повышения резкости контуров изображения предлагается использовать процедуру повышения резкости [2], основывающуюся на методе дифференцирования сигналов на основе принципа минимизации евклидовых норм аппроксимаций производных с финитными спектрами Фурье[1], который является более устойчивым.

Также к градиентным методам относятся оператор Собеля и Робертса. Оператор Собеля использует ядра 3×3 , с которыми свертывают исходное изображение для вычисления приближенных значений производных по горизонтали и по вертикали. Пусть Φ исходное изображение, а G_x и G_y — два изображения, где каждая точка содержит приближенные производные по x и по y . Они вычисляются следующим образом:

$$G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * \Phi \quad (3)$$

$$G_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} * \Phi \quad (4)$$

где $*$ обозначает двумерную операцию свертки.

Координата x здесь возрастает «направо», а y — «вниз». В каждой точке изображения приближенное значение величины градиента можно вычислить, используя полученные приближенные значения производных:

$$\Delta G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (5)$$

Оператор Робертса служит для выделения границ и вычисляет сумму квадратов разниц между диагонально смежными пикселями. Это может быть выполнено сверткой изображения с двумя ядрами:

$$R_y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} * \Phi \quad (6)$$

$$R_x = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} * \Phi \quad (7)$$

где $*$ обозначает двумерную операцию свертки.

$$\Delta R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (8)$$

Оператор Робертса часто используется ради быстроты вычислений, но он проигрывает в сравнении с альтернативами в связи с его значительной проблемой чувствительности к шуму.

Вычислительные эксперименты

Для сравнения рассмотренных методов повышения резкости были проведены вычислительные эксперименты, которые основывались на оценке количественных показателей качества изображений и включают в себя:

Оценку уровня адаптации зрительной системы:

$$L_Q = 1 - \frac{\bar{L} - L_{\max} / 2}{L_{\max} / 2} \quad (9)$$

Показатель полноты использования элементами изображения градаций яркости определяется как:

$$K_Q = S / L_{\max} \quad (10)$$

где S - количество уровней яркостей изображения.

Резкость изображения оценивается скоростью нарастания яркости:

$$R = \frac{\int_a^b \left(\frac{df}{dx} \right)^2 dx}{f(a) - f(b)} \quad (11)$$

Оценка резкости определяется выражением.

$$R_Q = R / L_{\max} \quad (12)$$

Для оценки контраста изображения используется суммарный контраст изображения КС.

$$K_c = \frac{1}{2} \left(\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n-1} \left| \frac{L_{i,j} - L_{i,j+1}}{L_{i,j} + L_{i,j+1}} \right|}{m(n-1)} + \frac{\sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=1}^n \left| \frac{L_{i,j} - L_{i+1,j}}{L_{i,j} + L_{i+1,j}} \right|}{n(m-1)} \right) \quad (13)$$

Количественная оценка визуального качества изображений (интегральный критерий) рассчитывается как:

$$Q = k \cdot L_Q \cdot K_Q \cdot R_Q \cdot K_c \quad (14)$$

где k - нормирующий коэффициент.

В качестве исходных данных было использовано изображение участка земной поверхности, представленное на рис. 1(а).

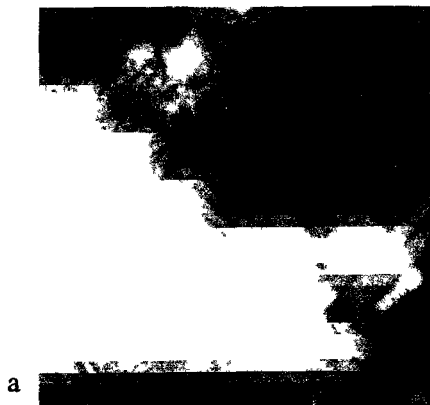
Результаты количественной оценки визуального качества изображения при повышении резкости были сведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты количественной оценки
визуального качества изображения

Показатель качества Метод	Оценка уровня адаптации зрительной системы	Оценка степени использования возможных градаций яркостей	Резкость изображения	Контрастность изображения	Интегральный критерий
Предлагаемый метод	0.42171	0.18824	3.7501	0.10489	1.7400
Метод на основе конечных разностей	0.41981	0.18039	4.9796	0.10366	2.2461
Оператор Собеля	0 4204	0.0078431	2.8872	0 10499	1.3379
Оператор Робертса	0 42107	0 11373	3.0461	0.10836	1.5062

А результаты применения рассмотренных методов приведены на рис. 1.



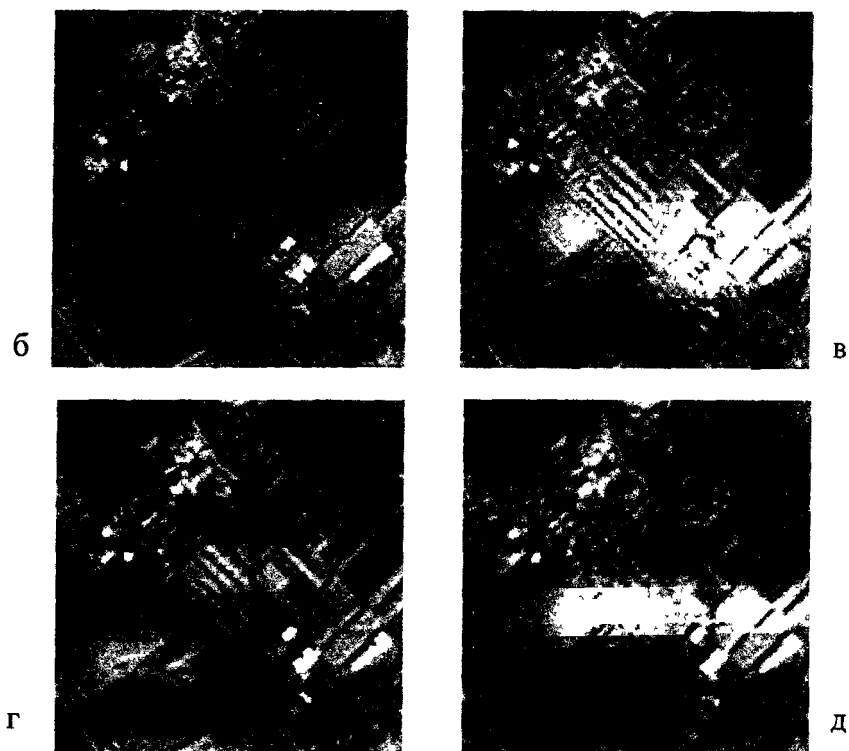


Рис. 1

Изображения участка земной поверхности:

а – исходное изображение, б – исходное изображение после обработки методом на основе конечных разностей, в – исходное изображение после обработки предложенным методом, г – исходное изображение после обработки оператором Робертса, д – исходное изображение после обработки оператором Собеля.

Также было произведено сравнение рассмотренных методов при повышении резкости зашумленного изображения на основе отношения шум/сигнал:

$$SNR = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [F(x, y) - \hat{F}(x, y)]^2}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [F(x, y)]^2}} \quad (15)$$

Результаты вычисления отношения шум/сигнал

Метод	Предлагаемый метод	Метод на основе конечных разностей	Оператор Собеля	Оператор Робертса
При повышении резкости зашумленного изображения				
отношение шум/сигнал	0,4292	0,5779	0,3619	0,3662
При вычислении контуров зашумленного изображения				
отношение шум/сигнал	1,0277	3,7921	0,5449	0,8109

В ходе проведения вычислительных экспериментов было выявлено, что предлагаемый метод повышения резкости изображений земной поверхности показал лучший результат, т.к. более устойчив к наличию шума на изображении по сравнению с методом на основе конечных разностей, а показатели оценки визуального качества выше, чем у оператора Собеля и Робертса, что заметно и визуально (рис. 1в). Также очевидным недостатком оператора Собеля и Робертса является то, что у близко стоящих объектов объединяются границы, сливаясь в один объект (рис. 1г и 1д).

Достоинством предлагаемого алгоритма увеличения четкости изображений является его предельная простота. Следует отметить и быстрое действие предлагаемого алгоритма, которое достигается за счет предварительного вычисления используемых матриц и хранения их в памяти компьютера. Вместе с тем, предлагаемый алгоритм обработки изображений приводит к очевидному субъективному улучшению визуального качества.

Вывод

В результате можно сделать вывод, что метод дифференцирования сигналов на основе принципа минимизации евклидовых норм аппроксимаций производных с финитными спектрами Фурье позволяет более эффективно повысить визуальное качество изображений и узнаваемость объектов, что важно для их дешифрования, а, следовательно, обладает большим потенциалом для использования в задачах дистанционного зондирования Земли.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры для инновационной России» на 2009-2013 годы, гос. контракт № 14.740.11.0390

Литература

1. Жилияков Е.Г. Вариационные методы анализа и построения функций по эмпирическим данным на основе частотных представлений. Белгород, БелГУ, 2007. 160 с.
2. Жилияков Е.Г. и Заливин А.Н. Повышение четкости контуров и фильтрация космоснимков земной поверхности. - «Вопросы радиоэлектроники», сер. ЭВТ, 2010, вып. 1, с. 66-72.
3. Рис У. Основы дистанционного зондирования. М., Техносфера, 2006. 346 с.
4. Чандра А.М. и Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. М., Техносфера, 2008. 312 с.
5. Гонсалес Р. и Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М., Техносфера, 2006. 1072 с.
6. Методы компьютерной обработки изображений. Под ред. В.А. Сойфера. М., Физматлит, 2003. 784 с.
7. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. Учеб. пособ М., Аспект Пресс, 2004. 184 с.

Статья поступила 12 10 2010

**Д.т.н., проф. Е.Г. Жилияков, к.т.н., доц. А.А. Черноморец,
В.А. Голощапова (Белгородский ГУ)**

E.G. Zhilyakov, A.A.Chernomorets , V.A Goloscyarova

**РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ВНЕДРЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ
НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕИНФОРМАЦИОННЫХ
ЧАСТОТНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ-КОНТЕЙНЕРА**

**COMPUTER IMPLEMENTATION OF THE IMAGE EMBEDDING
ALGORITHM BASED ON NON-INFORMATIVE FREQUENCY
INTERVALS OF CONTAINER IMAGE**

Описан алгоритм, позволяющий внедрять в одно изображение-контейнер несколько различных изображений и восстанавливать их с низкой погрешностью. Алгоритм основан