

*Е.Г. ЖИЛЯКОВ*, д-р. техн. наук, проф., зав. каф. БелГУ (г. Белгород, Россия),

*А.А. ЧЕРНОМОРЕЦ*, канд. техн. наук, доц. БелГУ (г. Белгород, Россия),

*А.Н. ЗАЛИВИН*, аспирант БелГУ (г. Белгород, Россия)

## **О ПОВЫШЕНИИ ЧЕТКОСТИ КОНТУРОВ НА КОСМОСНИМКАХ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Рассмотрен метод повышения четкости контуров изображений на основе градиентной обработки с использованием нового метода вычисления производных. Представлена процедура повышения четкости контуров на космоснимках земной поверхности. Ил.: 1. Библиогр.: 10 назв.

**Ключевые слова:** контур, изображение, градиентная обработка, производная, космоснимки.

**Постановка проблемы.** Дистанционное зондирование Земли является важным инструментом для решения следующих задач: 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 [1 – 5]. Для решения таких задач необходимо проводить мониторинг больших участков земной поверхности, для этого используют космические аппараты, оснащенные различными регистрирующими приборами, в том числе реагирующими на тепловое излучение. Применение различных видов регистрирующих приборов или многоспектральных систем необходимо для повышения информативности одного и того же участка земной поверхности, так как одни и те же объекты, в зависимости от спектрально диапазона, проявляют себя по-разному.

Зачастую космоснимки участков земной поверхности, искажены помехами, обусловленными собственными шумами аппаратуры, ошибками при передаче по каналам связи, либо влиянием атмосферы. Все это портит общую картину и ухудшает узнаваемость объектов. Поэтому необходимо производить предварительную обработку исходных данных с целью восстановления их визуального качества. Это привело к появлению ряда программных средств (RSI ENVI, ERDAS Imaging, eCognition и др.), предназначенных для обработки и представления космоснимков. Но им присущ ряд недостатков, в частности, они недостаточно эффективно борются с перечисленными помехами, а также присутствуют неточности при повышении четкости контуров, что необходимо для более точного определения объектов. В связи с этим предлагается использовать новый математический аппарат субполосной обработки, в основе которого лежат вариационные алгоритмы анализа и обработки изображений на основе частотных представлений, что позволит повысить визуальное качество изображений, в частности, при повышении четкости контуров и удалении шумов.

**Анализ литературы.** Проблема повышения качества космоснимков земной поверхности рассматривается в работах многих авторов [4, 5], особенно специалистов, работающих в области дистанционного зондирования земли. Примерами могут служить повышение контраста, резкости, коррекция цветов, сглаживание [1, 6 – 8]. Задачей обработки изображения может быть как улучшение (восстановление, реставрация) изображения по какому-то определенному критерию, так и специальное преобразование, кардинально меняющее изображение. В последнем случае обработка изображений может быть промежуточным этапом для дальнейшего распознавания изображения, например, для выделения контура объекта.

Градиентная обработка является одним из приемов повышения резкости контуров изображений, которая основывается на дифференцировании яркости, рассматриваемой как функции пространственных координат. В случае цифровых изображений, представляемых матрицей отсчетов, вместо производных берутся дискретные разности. 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 метод дифференцирования сигналов на основе принципа минимизации евклидовых норм аппроксимаций производных с финитными спектрами Фурье [9], который является более устойчивым.

Распространённые методы фильтрации изображений на основе пространственных представлений не способны устранить помехи, присутствующие на космоснимках, без существенной потери качества изображения (происходит "размывание" изображения, что может вызвать, например, проблему выделения контуров объектов), а с удалением шума в виде полос они вообще не справляются.

Для решения задач фильтрации наиболее адекватно применение методов фильтрации изображений на основе частотных представлений. Возможность проведения анализа изображений на основе частотных представлений определяется тем, что в графических данных, зачастую, наблюдается квазипериодичность отображаемых процессов. На изображении могут присутствовать повторяющиеся объекты, которые задают некоторую периодичность изменения яркости изображения. Средней яркости изображения соответствует наиболее медленно меняющаяся частотная составляющая (ее частота равна нулю). Медленно изменяющимся компонентам изображения (таким как изображение неба) соответствуют низкие частоты. Границам объектов на изображении, другим деталям, имеющим резкие изменения яркости, отвечают более высокие частоты.

Традиционно фильтрация изображений на основе частотных представлений предполагает использование преобразования Фурье (ДФФ) или быстрого преобразования Фурье (БПФ). Однако нужно заметить, что фильтры, использующие ДПФ или БПФ, имеют существенную погрешность. Поэтому

для фильтрации изображений предлагается использование метода субинтервальной фильтрации изображений на основе частотных представлений [10], который лишен этого недостатка.

**Цель.** Разработка технологии повышения качества и информативности космоснимков земной поверхности.

**Повышение четкости контуров.** Предлагается для повышения четкости контуров при анализе космоснимков, использовать метод дифференцирования сигналов на основе принципа минимизации евклидовых норм аппроксимаций производных с финитными спектрами Фурье.

В основе данного метода лежит представление вида

$$\dot{u}(t) = u_0 + \int_0^t f(\tau) d\tau, \quad (1)$$

которое позволяет по оценке производной вычислить интерполирующую функцию. Очевидно, что при этом должны выполняться интерполяционные равенства  $\hat{u}_i = \hat{u}(i\Delta t) = u_i$ ,  $i = 0, 1, \dots, N$ .

Для повышения устойчивости вычислений оценок производных по регистрируемому дискретным данным предлагается использовать аппроксимирующие функции с финитными спектрами Фурье, которые представимы в виде

$$f(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega \in \Omega} F(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega. \quad (2)$$

Для отбора конкретной аппроксимации из класса (2) предлагается использовать вариационный принцип минимизации евклидовой нормы оценки производной, что также повышает устойчивость вычислений. На основе представления (2) и равенства Планшереля (Парсеваля), этому принципу нетрудно придать вид

$$\int_{-\infty}^{\infty} f^2(\tau) d\tau = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega \in \Omega} |F(\omega)|^2 d\omega = \min, \quad (3)$$

На основе рассмотренных соотношений получают вычислительную формулу для оценивания производной сигнала по эмпирическим данным, которая имеет вид

$$f(\tau) = \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^N \beta_i \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin\left(\frac{\omega\Delta t}{2} - i\right)}{\omega\Delta t / 2} \cos[\omega(\tau - i\Delta t / 2)] d\omega. \quad (4)$$

**Процедура повышения резкости контуров.** В качестве экспериментальных данных использовались изображения космоснимков

участков земной поверхности, полученные при помощи многоспектрального оптико-механического сканирующего радиометра, размером  $N \times M$  пикселей.

Изображение представляет собой 2-х мерный сигнал  $\Phi = \{U_{ik}\}$ , где  $i = 1, \dots, N$ ,  $k = 1, \dots, M$ .

В качестве оценки второй смешанной производной будем использовать выражение вида

$$\Delta\Phi = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} = B_x A^{-1} \cdot \Phi \cdot B_y A^{-1}, \quad \Delta\Phi = \left. \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} \right|_{\substack{x_i = i\Delta t \\ y_k = k\Delta t}}. \quad (5)$$

Для этого необходимо предварительно произвести вычисление матрицы  $A_y = \{a_{ik}\}$  с элементами вида

$$a_{ik} = \frac{1}{\pi} \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin\left(\frac{xk}{2}\right) \sin\left(\frac{xi}{2}\right)}{\left(\frac{x}{2}\right)^2} \cos\left[\frac{x}{2}(k-i)\right] dx. \quad (6)$$

И предполагая, что производная оценивается в узлах интерполяции, то есть при  $\tau_k = k\Delta t$ ,  $k = 1, 2, \dots, N$  из соотношения (4) нетрудно получить представление для вычисления матриц  $B_x = \{b_{ki}\}$ ,  $k = 1, \dots, N$ ;  $i = 1, \dots, N$  и  $B_y = \{b_{ki}\}$ ,  $k = 1, \dots, M$ ;  $i = 1, \dots, M$  с элементами вида

$$b_{ki} = \frac{1}{\pi} \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin\left(\frac{\omega\Delta t}{2} i\right)}{\omega\Delta t/2} \cos\left[\omega\left(k\Delta t - i\Delta t/2\right)\right] d\omega. \quad (7)$$

После чего, используя принцип градиентной обработки, к исходному изображению добавляется значение второй смешанной производной, то есть

$$\hat{\Phi} = \Phi + \Delta\Phi, \quad (8)$$

что позволило получить более четкие, в смысле субъективного восприятия, изображения.

На рис. 1, б представлен результат обработки изображения участка земной поверхности с применением метода дифференцирования сигналов на основе принципа минимизации евклидовых норм аппроксимаций производных с финитными спектрами Фурье.

Следует заметить что предлагаемый алгоритм увеличения четкости изображений позволяет повысить детальность наблюдаемой картины и обеспечивает возможность наблюдения мелких деталей на всех участках изображения.



а



б

Рис. 1. Изображения участка земной поверхности: а – исходное изображение, б – изображение после обработки предложенным методом

**Фильтрация изображений.** Для решения задачи фильтрации изображений предлагается использовать метод оптимальной фильтрации изображений на основе частотных представлений.

Путем фильтрации квази-периодических компонент изображения можно решать задачи повышения качества изображения, заданного с низким разрешением, понижения резкости тонких линий для придания изображению более приятного для человеческого глаза вида, удаления на изображении лишних деталей, различных линий, дефектов, выявления шума, выявления границ объектов.

Для оптимальной фильтрации изображений [10] решается вариационная задача:

$$S(F, Z) = \iint_{(u,v) \in \Omega} |F(u, v) - Z(u, v)|^2 dudv + \iint_{(u,v) \notin \Omega} |Z(u, v)|^2 dudv \Rightarrow \min. \quad (9)$$

Решением является следующее изображение

$$Y_{\Omega} = A^T \cdot \Phi \cdot B. \quad (10)$$

Предлагаемый метод фильтрации позволяет выделить значимые характеристики отдельных элементов изображения, спектральная энергия которых сосредоточена в отдельных частотных интервалах.

**Выводы.** Предложенные методы повышения качества изображений обладают большим потенциалом для их использования в задачах обработки космоснимков земной поверхности при проведении дистанционного зондирования Земли.

В результате проделанной работы была предложена технология, в которой применяется новый математический аппарат субполосной обработки. Технология, позволяет повысить качество изображений и узнаваемость объектов, что важно в задачах принятия решений на основе мониторинга земной поверхности.

**Список литературы:** 1. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с. 2. Рис У. Основы дистанционного зондирования / У. Рис. – М.: Техносфера, 2006. – 346 с. 3. Чандра А.М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / А.М. Чандра, С.К. Гош. – М.: Техносфера, 2008. – 312 с. 4. Трифонова Т.А. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях / Т.А. Трифонова, Н.В. Мищенко, А.Н. Краснощеков. – М.: Академический проект, 2005. – 352 с. 5. Обиралов А.И. Фотограмметрия и дистанционное зондирование / А.И. Обиралов, А.Н. Лимонов, Л.А. Гаврилова. – М.: КолосС, 2006. – 336 с. 6. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с. 7. Методы компьютерной обработки изображений / Под редакцией В.А. Соифера. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с. 8. Красильников Н.Н. Цифровая обработка изображений / Н.Н. Красильников. – М.: Вузовская книга, 2001. – 320 с. 9. Жилияков Е.Г. Вариационные методы анализа и построения функций по эмпирическим данным на основе частотных представлений / Е.Г. Жилияков. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2007. – 160 с. 10. Жилияков Е.Г. Метод субинтервальных преобразований изображений / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец, Н.В. Щербинина // Вопросы радиоэлектроники. Сер. РЛТ. – 2008. – Вып. 4. – С. 122–134.

УДК 621.397

**О підвищенні чіткості контурів на космознімках земної поверхні / Жиляков Є.Г., Черноморець А.А., Залівін А.Н.** // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 43. – С. 68 – 74.

Розглянуто метод підвищення чіткості контурів зображень на основі градієнтної обробки з використанням нового методу обчислення похідних. Представлена процедура підвищення чіткості контурів на космознімках земної поверхні. Лл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

**Ключові слова:** контур, зображення, градієнтна обробка, похідна, космознімкі.

UDC 621.397

**About improve clarity of contours on satellite imagery the earth's surface/ Zhylyakov E.G., Chernomorec A.A., Zalivin A.N.** // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 43. – P. 68 – 75.

The method for sharper image contours based on the gradient processing using a new method of calculating derivatives. The procedure for sharper contours on the surface of the earth's satellite imagery. Figs: 1. Refs: 10 titles.

**Keywords:** contour, image, gradient processing, derivative, satellite imagery.

*Поступила в редакцію 10.10. 2009*