



## МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ ЦИФРОВОЙ КОРРЕКЦИИ ВОЗМУЩЕНИЙ В ИЗОБРАЖЕНИЯХ, ФОРМИРУЕМЫХ ПАНХРОМАТИЧЕСКОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СЪЕМОЧНОЙ АППАРАТУРОЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «МОНИТОР»

**И. С. КОНСТАНТИНОВ<sup>1</sup>**

**Н. В. ЩЕРБИНИНА<sup>1</sup>**

**М. Ю. ЖИЛЕНЕВ<sup>2</sup>**

**В. Н. ВИНТАЕВ<sup>3</sup>**

**Н. Н. УШАКОВА<sup>3</sup>**

*<sup>1</sup>Национальный  
исследовательский  
университет  
«БелГУ»,*

*<sup>2</sup>ФГУП Государственный  
Космический  
Научно Производственный  
Центр имени  
М.В. Хруничева*

*<sup>3</sup>Белгородский университет  
кооперации, экономики и права*

*e-mail:  
viktor.vn2010@yandex.ru*

Разработка алгоритма коррекции цифрового космического изображения с удалением регулярных полос с подавленным отношением сигнал/шум требует не только существенного расширения рядной сетки представления данных, но и наряду с уточнением учета влияния применяемых процедур на полезную составляющую сигналов изображений снижения степени субъективизма при оценке получаемого качества и принятия решения на останов процедуры с целью изоляции возмущения метрологической ценности космического изображения при обработке

Ключевые слова: изображение, частотное представление, тонкая структура изображения, сверхтонкая структура изображения, функция рассеяния точки, скорость движения изображения, антимодуляция.

При анализе тонких и сверхтонких структур контраста на цифровом изображении, сформированном панхроматической оптико-электронной съемочной аппаратурой (ПСА) космического аппарата (КА) «Монитор» видны полосы затемнения шириной в 4...5 пикселей с глубиной модуляции контраста в 7...12 %. Причиной тому является несоответствие реальной частоты считывания данных со строк фотоприемных элементов частоте, определяемой программируемой скоростью движения изображения (СДИ) на фокальной плоскости.

В паллиативе задача удаления регулярных полос на изображении, равно как и шумовой составляющей (распределенной по изображению или представленной в виде одиночных импульсов) решается с использованием методов частотных представлений, т.е. с использованием преобразований Фурье (в общем случае по выбираемой или заданной системе ортогональных функций). При этом применяется технология удаления или подавления мешающих частот пространственного спектра возмущенного артефактами изображения, после чего космические изображения практически теряют свою валидность в плане предназначаемых для решения с их помощью задач, т.к. упоминаемая технология приводит не только к желаемому эффекту, но и разрушает тонкую структуру полезной составляющей изображения из-за некорректности построения или пренебрежения процессами (и даже невозможности выявления) аддитивных вкладов в амплитуды и фазы обрабатываемых гармоник спектральных составляющих от полезной и мешающей составляющих изображения. Для космических изображений среднего, высокого и сверхвысокого (существенно менее метра на местности) пространственного разрешения, когда учитываются в их метрологических характеристиках с целью сохранения их спектрально-радиометрической верности даже границы теней объектов и градации и градиенты градаций на малых изменениях контрастов, в особенности в области тонкой структуры изображения, такая технология существенно примитивна, и даже вредна и в полной мере дает ощутимый результат только когда спектральные образы фильтруемых артефактов и «полезных



объектов» не пересекаются в пространстве частот, т.е. когда задача является копией давно известной простой классической задачи фильтрации объектов с разделяющимися спектрами [1,2,3], что в современной индустрии обработки космических изображений высокого разрешения встречается крайне редко.

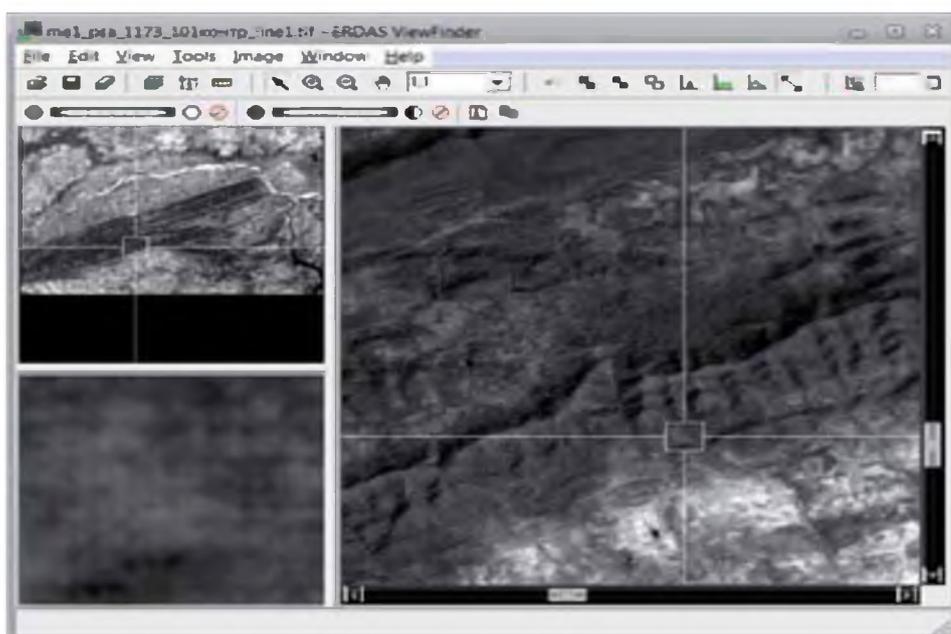
В работе [4] представлена итерационная технология так называемой антимодуляции, т.е. многократного попиксельного перемножения обрабатываемого паттерна – результата каждой итерации и корректирующего (инвертированного в соответствующих полосах из строк) изображения выявляемых на итерациях остаточных полос, в которой благодаря отказу от общепринятых методов прямой пространственной фильтрации (и сопряженных с ними методов частотных представлений), порождающих результаты обработки в виде текущих значений взвешенного по окрестности контраста, не подавляется тонкая и сверхтонкая структура изображения (в частности, не страдают геометрические и контрастные характеристики и малых объектов и теней), что и является гарантом сохранения метрологических характеристик результата дистанционного зондирования (ДЗ). Однако, выполняемая при этом и необходимая коррекция гистограммы результата, параметры которой, как казалось бы, легко даже прогнозируются и вычисляются, требует дополнительных, «неучтенных» первоначально в алгоритме обработки манипуляций с изображением (реализуемых интерактивно) для приведения гистограммы к исходному виду, если таковой задан или к виду гипотетической исходной гистограммы, которая получится при завершении процесса антимодуляции и будет считаться «истинной», если при «возврате» выявленных исходных полос модуляции на конечный результат «антимодуляции» гистограмма полученного «испорченного» таким образом паттерна совпадет с гистограммой исходного изображения. Выполнение этапов процедуры «антимодуляции» с остановом по результатам суждений оператора о достаточности достигнутого качества изображения приводит к ошибкам в номере этапа для останова и, соответственно, к вероятностному характеру результатов нормализации гистограмм и вероятностным суждениям о восстановлении метрологических характеристик изображения.

#### **Цель работы.**

Снизить радикально уровень субъективизма при принятии решения на останов итеративного процесса обработки в процедуре «антимодуляции» и, соответственно, снизить уровень интерактивного сопровождения процесса при коррекции возникающей на последовательности этапов обработки нелинейности яркостной характеристики изображения.

На рисунке 1 представлен фрагмент сформированного на спутнике «Монитор-Э» изображения, визуализированного в многомасштабном варианте в окне пакета ViewFinder ERDAS, на котором хорошо видны (см. масштабированный фрагмент внизу слева) возмущающие метрологические характеристики изображения полосы модуляции контраста. Из-за этих не очень заметных «на первый взгляд» полос, реализация сопоставлений параметров пикселей изображения с формами, формулами и таблицами соответствия участка наблюдаемой поверхности ее литологическому составу (да и само внесение радиометрических коррекций для этого, к примеру) становится в высшей степени некорректным. На рисунке 2 представлен фрагмент изображения в масштабе (при анализе), когда полосы видны и «портят» всю обработку с целью дешифрирования.

На рисунке 3 продемонстрирован результат работы процедуры «антимодуляции» до выполнения коррекции гистограммы. Видно, что тонкая и сверхтонкая структуры на изображении удержаны, полосы подавлены (при прямых частотных методах фильтрации тонкая и сверхтонкая структуры изображения были бы подавлены безвозвратно за счет создаваемой частотными фильтрами дополнительной функции рассеяния точки), но требуется привести гистограмму изображения к нормальному, соответствующему «истинным» значениям контраста. При этом главной частью процедуры нормализации гистограммы является извлечение корня степени, равной номеру последнего этапа обработки из каждого значения пикселя результирующего изображения и приведение кодов пикселей к задаваемой палитре в данной модели цвета.



*Рис.1.* Фрагмент изображения,  
сформированного на спутнике «Монитор-Э»  
и визуализированного в многомасштабном варианте в окне пакета ViewFinder ERDAS



*Рис.2.* Фрагмент изображения, сформированного на спутнике «Монитор-Э»  
(в увеличенном масштабе)

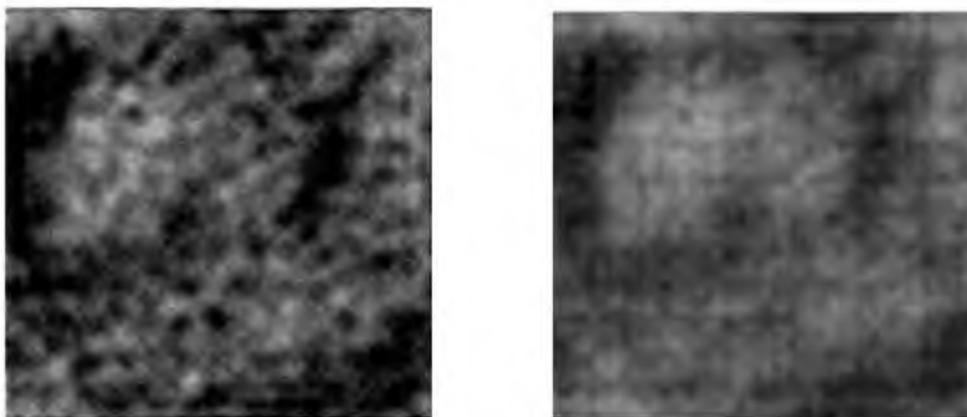


Рис. 3. Фрагмент обработанного «антимодуляцией» изображения (слева) и исходный фрагмент (справа)

Первая модернизация, резко сокращающая число итераций, заключается во введении в веерный фильтр [5,6], применяемый для выделения корректирующего паттерна, оператора, восстанавливающего (альтернативно сглаживающим свойствам веерного фильтра) тонкую структуру самих выделяемых полос.

Значения накапливающих функционалов при веерной фильтрации на корректирующем изображении могут значительно превысить разрядные сетки вычислительных элементов за счет накопления постоянного пьедестала и дать искаженные оценки выявленных текущих значений средних яркостей с одной стороны и сглаженных вариативных составляющих – с другой. Выполнением над изображением операции вида

$$S(x, y) = S_R(x, y) - \bar{S}_R \tag{1}$$

или

$$S_1(x, y) = D_x^\alpha D_y^\alpha S_R(x, y), \tag{2}$$

где  $S_R(x, y)$  – изображение на предъявленном паттерне,  $\bar{S}_R$  – средний уровень яркости  $S_R(x, y)$ ,  $D_x^\alpha, D_y^\alpha$  – дифференциальный оператор с порядком  $\alpha < 1$  [7,8], удаляется постоянная составляющая, паразитное накопление которой в интерференционных фильтрах преодолевает практически все шкалы при вычислении откликов фильтров.

Восстановление  $S_R(x, y)$  из  $S_1(x, y)$  осуществляется сверткой  $S_1(x, y)$  (обработанного веерным фильтром с порогом) с матрицей  $T$ :

$$T = F^{-1}((J\omega_x)^{-\alpha} \cdot (J\omega_y)^{-\alpha}), \tag{3}$$

где  $F^{-1}$  – обратное дискретное преобразование Фурье ( $\alpha > 0$ ),  $\omega = (\omega_x^2 + \omega_y^2)^{1/2}$  – пространственная частота спектра  $F_S(\omega)$  изображения  $S$ ,  $J = \sqrt{-1}$ ,  $\omega_x, \omega_y$  – соответствующие декартовы координаты пространственной частоты в спектральном представлении изображения.

Соотношение (3) получено на основании использования в качестве  $D^\alpha$  версии вида [7, 8]

$$D_x^\alpha S(x) = \int (J\omega)^\alpha F_S(\omega) e^{J\omega x} d\omega. \tag{4}$$

Таким образом, матрица  $T$  представляет собой оператор  $D_x^{-\alpha} D_y^{-\alpha}$ , построенный на дискретных преобразованиях Фурье.

Вторая модернизация заключается в том, что на результате отработки этапа «антимодуляции» строятся одномерные профили – срезы изображения, выделяющие меандры, соответствующие полосам модуляции, с которыми ведется борьба. Этим задача сводится к классической задаче обнаружения на реализациях одномерных срезов длительного импульсного сигнала на фоне шумов, которыми в данном случае являются полезные составляющие обрабатываемого изображения. В этом случае целесообразно строить процедуру обнаружения сигнала в соответствии с критерием Неймана-

Пирсона, заключающимся в минимизации ошибки второго рода (вероятности пропуска сигнала) [9,10].

В выбранном окне обработки на профилях оцениваются характеристики  $\sigma^2$  – дисперсия яркости исходного изображения;

$D_c$  – мажорирующий динамический диапазон контрастов выделяемых сигналов;

$\Omega$  – полоса пространственных частот, занимаемая спектральными портретами выделяемых сигналов;

$\Delta_p$  – полоса пересечения пространственных частот спектральных портретов сигналов и шумов;

$\tau$  – радиус корреляции шума;

$A$  – средняя апертура выделяемого импульсного сигнала.

Наибольшей значимостью среди перечисленных параметров обладают  $\sigma$ ,  $D_c$ ,  $\Omega$ , причем  $\tau$  и  $A$  по абсолютной значимости могут быть заменены на следующий параметр:

$$\varepsilon = \frac{\tau}{A}.$$

Для выделяемого элемента вычисляется соотношение [5]:

$$PG = \frac{\Delta_p \cdot \sigma \cdot \varepsilon}{D_c \cdot \Omega}, (D_c, \Omega \neq 0),$$

квазипропорциональное отношению «энергия шума/энергия сигнала», умноженному на величину  $\varepsilon = \tau/A$ , пропорциональную вероятности ложной тревоги в процедуре корреляционного обнаружения (минимальное значение этой вероятности наступает при  $\tau=0$ ).

В частности, при больших значениях параметров  $\sigma$  и  $\Delta_p$  уверенность, с которой элемент изображения можно считать стохастической составляющей, высока. Для представленного изображения критерий останова задавался при получении значений  $PG < 0,01$  и при дальнейшем его снижении улучшения результатов замечено не было. На рисунке 4 представлен конечный результат работы процедуры «антимодуляции».

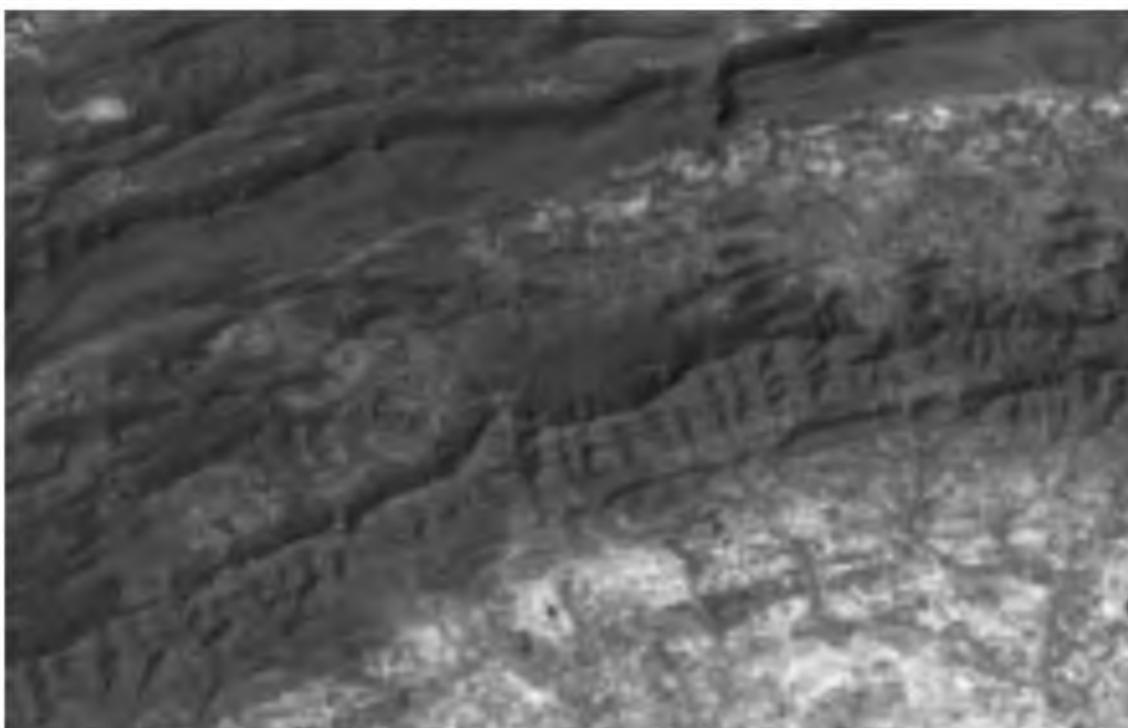


Рис. 4. Конечный результат работы процедуры «антимодуляции»



### Вывод.

На основе введенных двух модернизаций в процедуру «антимодуляции» — восстановлении тонкой структуры полос на корректирующем изображении и построении принятия решения на останов по принципу обнаружения полос как сигналов на фоне шумов реализуется автоматическое принятие решения на останов процедуры коррекции, при этом снижается количество этапов обработки изображения и корректно выполняется останов с отсутствием интерактивного сопровождения процесса обработки.

### Литература

1. Бейтс Р. Восстановление и реконструкция изображений / Р. Бейтс, М. Мак-Доннел. — М.: Мир, 1989, — 336 с.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт. — М.: Мир, Кн.4, 1982, — 112 с.
3. Казмирчук А.А. Методы восстановления изображений по блокам двумерного спектра / А.А.Казмирчук // Распараллеливание обработки информации: Сб. докладов VI Всесоюз. шк.-семинара, Львов, 1987. — Ч.2. — С. 71-72.
4. Жиленев М.Ю., Блажевич С.В., Винтаев В.Н., Ушакова Н.Н. Цифровая коррекция возмущений в изображениях, формируемых панхроматической оптико-электронной съемочной аппаратурой космического аппарата «Монитор». Сборник трудов научно-технической конференции «Техническое зрение в системах управления -2011» Издание ИКИ РАН, Москва 2012г, С. 83-92.
5. Ушакова Н.Н. Коррекция цифровых космических изображений на основе верифицирующего моделирования.- Дисс. На соискание ученой степени канд. техн.наук.- Белгород, БГТУ им. В. Г.Шухова, 2004. — 255 с.
6. Karini H.A. Techniques For Automated Extraction of Roadway Inventory Features From High-Resolution Satellite Imagery / H.A. Karini, X. Dai, S. Khorran, A.J. Khattack, J.E.Hummen // Geocanto Int., 1999. —14. —№2. —Р. 5-16.
7. Переход Н.Г., Ушакова Н.Н., Винтаев В.Н., Лихачев В.А. Разработка специальных операций для задач обработки цифровых изображений. Научные ведомости Научно-исследовательского университета «БелГУ», Серия История. Политология. Экономика. Информатика. 2010. № 19 (90). Выпуск 16/1 — С. 104-111.
8. Брычков Ю.А. Интегральные преобразования обобщенных функций / Ю.А. Брычков // М.: Наука, 1977. — 286 с.
9. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника/В.И.Тихонов.- М.:Советское радио, 1966, 677 с.
10. Константинов И.С., Ушакова Н.Н., Винтаев В.Н. Процессор целеуказания с матричным сенсорным полем. Сб. докладов технологического конгресса «Современные технологии при создании продукции военного и гражданского назначения» , Омск,2001, — С.330-333.

## MODERNISATION OF PROCEDURE OF DIGITAL CORRECTION OF INDIGNATIONS IS IN THE IMAGES FORMED PANCHROMATIC ELECTRON OPTICAL BY SURVEY APPARATUS SPACE VEHICLE «MONITOR»

**I. S. KONSTANTINOV<sup>1</sup>**  
**N. V. SHCHERBININA<sup>1</sup>**  
**M. U. ZHILENEV<sup>2</sup>**  
**V. N. VINTAYEV<sup>3</sup>**  
**N. N. USHAKOVA<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*National Research University "BSU"*

<sup>2</sup>*Federal State Unitary Enterprise  
State Space Scientific Production Center  
named after MV Khrunichev*

<sup>3</sup>*Belgorod University of Cooperation,  
Economics and Law*

*e-mail:*  
*viktor.vn2010@yandex.ru*

The development of digital correction algorithm space image with the removal of regular strips with a suppressed signal / noise ratio requires not only a substantial increase in the discharge grid for data representation, and, along with the specification before the effect of the useful component of the image signal to reduce the degree of subjectivity in the assessment of quality and the resulting decision to stop the procedure to isolate disturbances metrological value space image in processing procedures on the.

Keywords: image, frequency representation, the fine structure of the image, the hyperfine structure of the image of the point spread function, the speed of movement of the image, antimodulyatsiya.