

УДК 621.377.2

DOI 10.18413/2518-1092-2016-1-1-72-80

**Винтаев В.Н.
Жиленев М. Ю.
Маторин С.И.
Ушакова Н.Н.**

**ТЕХНИКА ФОРМИРОВАНИЯ И КОРРЕКЦИИ РЕЗКОСТИ
КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ**

- 1) доцент кафедры информационных систем и технологий, кандидат технических наук, доцент Белгородский университет кооперации, экономики и права, ул. Садовая 116а, г. Белгород, 308023, Россия
e-mail: viktor.vn2010 @ yandex.ru
- 2) ведущий конструктор. КБ «Салют» ФГУП «Государственный космический научно-производственный центр им. М.В. Хруничева», ул. Новозаводская, 18, Москва, 121087, Россия. *e-mail: zhilenev_mihail@mail.ru*
- 3) профессор кафедры информационных систем и технологий, доктор технических наук, профессор Белгородский университет кооперации, экономики и права, ул. Садовая 116а, г. Белгород, 308023, Россия
e-mail: matorin@bsu.edu.ru
- 4) доцент кафедры информационных систем и технологий, кандидат технических наук, доцент Белгородский университет кооперации, экономики и права, ул. Садовая 116а, г. Белгород, 308023, Россия
e-mail: natush2006 @ yandex.ru

Аннотация

В работе представлена обобщенная формализованная двудольная диаграмма крейсерской технологии формирования космического изображения высокого разрешения и рассмотрены для сформированного паттерна подходы к улучшению резкости изображения на основе уточнения значений скорости движения изображения на фокальной плоскости бортовой фиксирующей аппаратуры, а также подходы к оптимальному расширению полосы пропускания пространственных частот трактом с улучшением объективности формируемых изображений при пространственно-частотном представлении.

Ключевые слова: космическое изображение; пространственно-частотный спектр; функция рассеяния точки; деконволюция; скорость движения изображения; интеграл Лебега; обобщенная функция с носителем меры нуль.

**Vintaev V.N.
Zhilenev M.Ju.
Matorin S.I.
Ushakova N.N.**

**THE TECHNIQUE OF FORMATION AND CORRECTION
OF HIGH RESOLUTION SPACE IMAGES**

- 1) Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Department of Information Systems and Technologies, Belgorod University of Cooperation, Economy and Law, 116a Sadovaya St., Belgorod, 308023, Russia
e-mail: viktor.vn2010@yandex.ru
- 2) Principal Design Engineer. Khrunichev State Research and Production Space Center, 18 Novozavodskaya St., Moscow, 121087, Russia. *e-mail: zhilenev_mihail@mail.ru*
- 3) Doctor of Technical Sciences, Professor. Department of Information Systems and Technologies, Belgorod University of Cooperation, Economy and Law, 116a Sadovaya St., Belgorod, 308023, Russia
e-mail: matorin@bsu.edu.ru
- 4) Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Department of Information Systems and Technologies, Belgorod University of Cooperation, Economy and Law, 116a Sadovaya St., Belgorod, 308023, Russia
e-mail: natush2006@yandex.ru

Abstract

The paper presents a generalized formalized bipartite graph of a cruising technology of high resolution space image formation and examines some approaches for improving the sharpness of the image based on the specification of the speed values of movement of the image on the focal plane side of the fixing apparatus. Besides, the authors discuss some approaches to the optimal extension of the bandwidth of spatial frequencies of the tract with the improvement in the objectivity of the formed images in the spatial-frequency representation.

Keywords: space image; spatial-frequency spectrum; a function of the scattering point; deconvolution; velocity of movement of the image; the Lebesgue integral; generalized function with a carrier of measure zero.

Введение

Крейсерские методы формирования космического изображения высокого разрешения при дистанционном зондировании Земли (ДЗЗ) могут быть с целью обобщения и формализации представлены в виде двудольной системной диаграммы – бортовой и наземной части (рис. 1 и рис.2). Для сформированного изображения с внесенными коррекциями от незапрограммированных возмущений орбитальных параметров движения космического аппарата (КА) в качестве модели тракта ДЗЗ при этом обоснованно используется модель Бейтса и Мак Доннела [1], с аналитической записью в виде уравнений Фредгольма, преобразующих искомое по качеству изображение в наблюдаемое, т.е. сформированное изображение. По пространственно-частотным спектрам (ПЧС) этих изображений восстанавливается частотно-

контрастная характеристика (ЧКХ) тракта простым отношением описанных ПЧС [2, 3]. Кроме этого, можно построить поля скоростей движения изображения (СДИ) на фокальной плоскости фиксирующей аппаратуры для последующей коррекции возникающих смазов на изображении и повысить разрешение на изображении до возможного уровня [4, 5]. Согласование коррекций изображения с ЧКХ, оптимизируемой под квазипрямоугольное окно пропускания ПЧС трактом дает улучшенные результаты по резкости. Повышение результативности этих методов требует повышения точности оценок СДИ и снижения степени или отказа от регуляризации возникающих (особенно при вычислениях отношений ПЧС) сингулярностей, т.к. регуляризация в деконволюции изображений приводит к работе с изображениями «не совсем теми», с которыми необходимо работать [6].

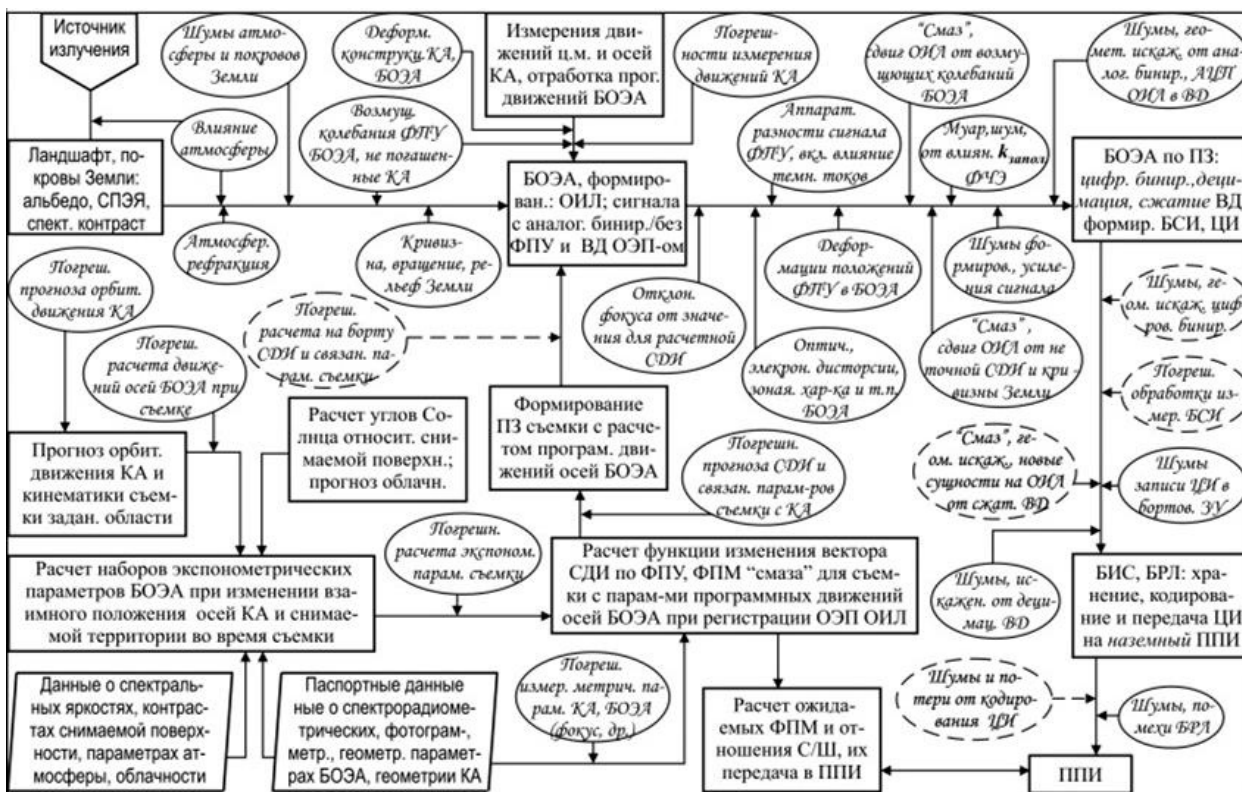


Рис. 1. Системная диаграмма процессов расчета и задания параметров орбитальной съемки, формирования БОЭА КА видеоданных о поверхности Земли, их преобразования в ЦИ и передачи в ППИ

Fig. 1. A system chart of the processes of calculating and setting the parameters of the orbital imagery, and formation of the Spacecraft Electro Optical Payload video data on the surface of the Earth, their transformation into QI and PPI

Крейсерская технология формирования космического изображения высокого разрешения

По данным в открытых публикациях можно представить как современное состояние проблемы ДЗЗ из космоса и как структуру тракта зондирования – общую диаграмму (рис. 1, рис. 2) формирования конечного продукта ДЗЗ, существенно актуализированную сотрудником Конструкторского бюро "Салют" Государственного Космического Научно Производственного Центра имени М.В. Хруничева Жиленевым М.Ю. На рисунке 1 приведена системная диаграмма процессов

расчета и задания параметров орбитальной съемки, формирования бортовой оптико-электронной аппаратурой (БОЭА) совместно с другими системами космического аппарата (КА) видеоданных о поверхности Земли, их преобразования в целевую информацию (ЦИ) и передачи в пункт приема информации (ППИ).

На рисунке 2 приведена системная диаграмма формирования и цифровой обработки многоспектрального изображения поверхности Земли до стандартного продукта ДЗЗ до уровня «базовый» при обработке результатов съемки БОЭА КА.

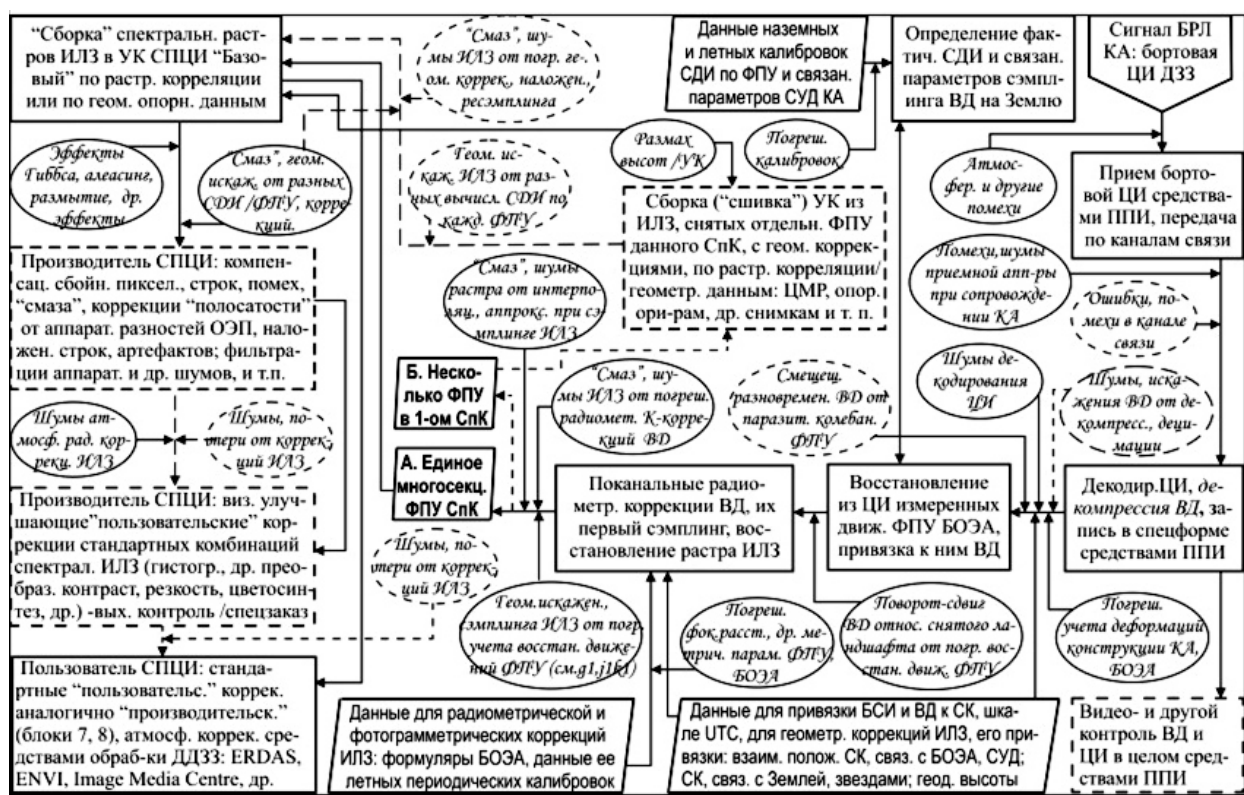


Рис. 2. Системная диаграмма формирования и цифровой обработки многоспектрального изображения поверхности Земли до стандартного продукта ДЗЗ до уровня «базовый» при обработке результатов съемки БОЭА КА

Fig. 2. A system chart of formation and digital processing of multispectral images of the Earth's surface up to standard remote sensing product to the level of "basic" in the processing of images shot by the Spacecraft Electro Optical Payload

Ниже, как необходимое разъяснение, представлена таблица 1 принятых на

рисунках 1 и 2 сокращений.

Таблица 1

Список принятых сокращений к рисункам 1 и 2

Table 1

A list of accepted abbreviations to figures 1 and 2

Сокращение	Сущность (понятие, термин, система, устройство, функция и т.д.)
АЦП	Аналогово-цифровой преобразователь входит, в частности, в состав ОЭП БОЭА
БИС	Бортовая информационная система, т.е. аппаратура сбора, хранения. селекции и передачи целевой информации
БОЭА	Бортовая оптико-электронная аппаратура
БРЛ	Бортовая радиолиния (передачи целевой информации)
БСКВУ	Бортовое синхронизирующее координатно-временное устройство
БСИ	Бортовая служебная (сопроводительная) информация для обработки видеоданных; содержит, в том числе, кинематические элементы внешнего ориентирования
БЦИ	Бортовая целевая информация; содержит видеоданные с БСИ
ВД	Видеоданные
ГЛОНАСС	Глобальная навигационная спутниковая система
ДЗЗ	Дистанционное зондирование Земли
ДДЗЗ	Данные дистанционного зондирования Земли
Заполн.	Заполнения, например, коэффициент
ЗУ	Запоминающее устройство
ИЛ	Изображение ландшафта
ИЛЗ	Изображение ландшафта Земли
КА	Космический аппарат
Коэф-т	Коэффициент
КС	Космическая система
КСЯ	Коэффициент спектральной яркости
ЛПИ	Линия передачи информации
ЛФПЗС	Линейка фотоприемников с зарядовой связью
МЗР	Младший значащий разряд
МК	Мультиспектральные каналы съемочной БОЭА
МКО	Мультиплексный канал обмена
МС, МС-	Мультиспектральная (аппаратура, изображение и т.п.)
МСА	Многоспектральная (широкозахватная) аппаратура
МСД	Многоспектральные данные
МЭ	Мира электронная (ЦА)
НИ	Навигационная информация (информация АСН в информации ЦА)
НКУ	Наземный комплекс управления
ОГ	Орбитальная группировка; также оптическая головка
ОЕ	Обрабатываемая единица
ОИ	Опорная информация
ОИЛ	Оптическое изображение ландшафта
ОЛЗ	Объект ландшафта Земли
ОО	Опорный ориентир
ОПО	Общее программное обеспечение
ОС	Операционная система
ОЭА	Оптико-электронная аппаратура
ОЭП	Оптико-электронный преобразователь
ПАН (PAN), ПАН-	Панхроматический канал, растровое изображение, и т. п.
ПЗС	Прибор с зарядовой связью
ПЗ	Полетное задание
ПК	Программный комплекс; также панхроматический канал (изображение), приборный контейнер
ПМО	Программно-математическое обеспечение
ПО	Программное обеспечение; также, первичная /предварительная обработка
ППИ	Пункт приема информации
ПР	Признак
ПРД	Передатчик
СА	Съемочная аппаратура
СДИ	Скорость движения изображения по ФПУ
СК	Система координат

СКП	Среднеквадратическая погрешность
СлИ	Служебная информация
СпК	Спектральный канал БОЭА ДЗЗ
СПО	Специальное программное обеспечение
СПП	Стандартные программные продукты
СПЦИ	Стандартные продукты цифровой обработки изображения, например, растровые данные ДЗЗ, созданные в интересах групп потребителей и ОПО ДЗЗ
СПЭО	Спектрально-энергетическая облученность (апертуры, ОЭП) экспонетрический параметр БОЭА
СПЭЯ	Спектральная плотность энергетической яркости (ландшафт, объекта)
СУ	Съемочное устройство
СУД	Система управления движением КА
СУБД	Система управления базой или банком данных
СЧ	Составная часть
С/Ш	Соотношение сигнала к шуму
ТС	Темновой сигнал, параметр ФПЗС
ТСК	Топоцентрическая система координат
УК	Условный кадр
ФПЗС	Фотоприемник с зарядовой связью
ФП	Фокальная плоскость объектива БОЭА
ФПМ	Функция передачи модуляции
ФПУ	Фотоприемное устройство
ФР	Фокусное расстояние
ФРТ	Функция рассеяния точки
ФРЛ	Функция рассеяния линии
ФЧЭ	Фоточувствительный элемент
ЦА	Целевая аппаратура
ЦАП	Цифро-аналоговый преобразователь
ЦИ	Целевая информация
ЦКМ	Цифровые карты местности
ЦМР	Цифровая модель рельефа
MSS	Multispectral, мультиспектральный
PAN	Panchromatic.панхроматический, ПАН
PSNR	Пиковое отношение сигнал/шум применяется при оценках, например, сжатого изображения
RPC	Rational Polynomial Coefficient коэффициенты рациональных полиномов, т.н. «быстрой» геопривязки
UTC	Universal Time Coordinated (Всемирное координированное время)
ERDAS IMAGINE	Программный продукт, позволяющий проводить полный цикл обработки данных дистанционного зондирования Земли. URL: http://www.hexagongeospatial.com/products/producer-suite/erdas-imagine
ENVI	Программный продукт, позволяющий проводить полный цикл обработки данных дистанционного зондирования Земли. URL: http://www.exelisvis.com/Support/HelpArticles/TabId/185/ArtMID/800/ArticleID/14146/ENVI-52-Release-Notes.aspx#NewFeatures
Image Media Centre	Программный продукт, позволяющий проводить полный цикл обработки данных дистанционного зондирования Земли. URL: http://www.novacenter.ru/cmsms/index.php?page=about_IMC_rus

Очевидно, что увеличение разрешения на формируемом изображении в общем случае требует согласованных друг с другом модификаций в каждом из приведенных на рисунках 1 и 2 модулей. Кроме того, очевидно, что эти модернизации определяют пределы соответствующих дальнейших достижений для каждого отдельного постфактум сформированного изображения в постфактум сформированном тракте ДЗЗ и методами,

игнорирующими приведенную на рисунках 1 и 2 детальность технологии.

Уточнение текущих значений СДИ для коррекции смазов

Увеличение резкости с сохранением измерительных свойств изображения, т.е. только подавление присутствующей на изображении функции рассеяния точки (ФРТ), требует компенсаций влияния на изображение

возмущений орбитальных параметров вычислением полей СДИ, как генеральных входных данных для коррекции резкости [4,5]. В работе [5] представлены выводы простых в вычислительном аспекте формул вычисления трассовой СДИ для борьбы с ФРТ сравнением с запрограммированной СДИ в виде выражения для V (СДИ):

для эллиптической орбиты

$$V = \frac{f \cdot \sqrt{\mu \cdot \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right)}}{H}, \quad (1)$$

для круговой орбиты в виде

$$V = \frac{f \cdot \sqrt{\frac{\mu}{r}}}{H}, \quad (2)$$

где a – большая полуось орбиты; r – радиус-вектор, соответствующий положению КА на орбите; μ – гравитационный параметр планеты, H – высота орбиты над поверхностью планеты, f – фокусное расстояние БОЭА.

Точностные характеристики цифровой модели для оценок H , т.е. цифровой модели рельефа (ЦМР) в данном случае существенно влияют на уровень подавления ФРТ. На рисунке 3 приведен фрагмент изображения с КА Ресурс-ДК, полученного с матрицы фокальной системы спутника (территория Испании).



Рис. 3. Фрагмент изображения с КА Ресурс-ДК

Fig. 3. A fragment of images from Resurs-DK spacecraft

Заметная в центре верхней части фрагмента и аномальная ФРТ – это результат координатного «несведения» спектральных каналов за счет аномальных тангажа, рыскания и крена КА или некорректной ЦМР на участке трассы КА.

Для улучшения точности позиционирования элементов изображения совмещением каналов

определялись опорные точки на формируемых изображениях в виде сетки позиционированных точек изображения, корректирующих от кадра к кадру вычисленные значения СДИ измеренными значениями СДИ координатным методом. Координатные разностные методы определения фактического СДИ базируются на определении центров (центроидов) изображений опорных ориентиров (ОО) и сводятся либо к определению геометрического центра изображения ОО, либо к определению энергетического центра (центра интенсивности) данного изображения, либо к аналогичным определениям точек «резкого края» линейно-протяженного ОО с оценкой функции рассеяния линии [7]. Как правило, геометрические и энергетические центры изображений ОО не совпадают. К тому же, простой подсчет площади, занимаемой ОО на изображении, порождает проблему выбора – учитывать ли абсолютно все «засвеченные» ориентиром пиксели.

Позиционирование опорных точек в работе с целью предельно возможного снижения погрешности реализуется в виде регуляризованной дельта-функции, формируемой (как в радиолокации) в виде отклика фильтра, собирающего и суммирующего в одной точке все амплитуды спектра сигнала на принципе реализации соответствующей монотонной дисперсии задержки гармоник в зависимости от их номера.

Все гармоники ПЧС изображения, приведенные к значению единой фазы для выбранной точки позиционирования на «восходящем» фронте формируемого импульса, при этом складываются синфазно, определяя минимальный для данного ПЧС наклон фронта от нулевого значения амплитуды импульса до максимального значения.

Например, «толщина» отклика на уровне 0,7 для элементов оптической ПЗС-матрицы БОЭА, апертурой пикселей в 7-8 мкм может составлять 10^{-10} м или 10^{-9} м на выделенную координатную ось и при работе с разностями позиций откликов на изображениях определяет соответствующую точностную характеристику определения вектора СДИ, улучшающую точность оценки СДИ не хуже, чем на 1-2 порядка. Количество N суммируемых гармоник определяет дополнительную к базовой разрядность K вычисления амплитуды отклика в виде

$$K = E[\log_2 N] + 1, \quad (3)$$

где $E[\]$ – функция Антье.

Деконволюция на основе оптимизированной ЧКХ тракта ДЗЗ и

ослабление степени регуляризации сингулярностей ЧКХ обобщенными функциями

Достижимая степень «прямоугольности» огибающей ЧКХ, получаемой по «входу-выходу» тракта при коррекциях резкости определяется технологическим совершенством операций в тракте (рисунки 1 и 2). При этом и для трактов с превентивными мерами по «улучшению» их работы (например, для аппаратов, поддерживающих технологии сверхвысокого разрешения) можно на сформированном изображении иметь на итеративной деконволюции пропущенные лучшие результаты, как это показано в работе [8] при дальнейшем улучшении резкости. Такое возможно, когда удельное на шаг итерации и метризованное изменение корректируемого изображения станет экстремальным, а глобальный экстремум (существующий объективно и для континуального множества состояний корректируемого изображения) попадет на область возможных более детальных подшагов в итерациях.

В работах [2,3] по специальной коррекции резкости (СКР) строится деконволюция (решение интегральных уравнений Фредгольма) с использованием модифицированных фильтров Винера, т.е. спектральных представлений оператора деконволюции (СПОД). Минимизируя невязку обратной оптимизированной частотно-контрастной характеристики тракта зондирования (ЧКХ)⁻¹ и СПОД на этапах итеративного процесса коррекции, можно определить сходящуюся к минимальной норме последовательность частотно-зависимых параметров возмущения СПОД, сводя «остаточную» ФРТ к апертуре пиксела по технологии возмущения операторов в гильбертовых пространствах. Оптимизация ЧКХ проводится минимизацией функционалов, сформулированных на требованиях:

- отсутствия тенденции спада и роста аппликата ЧКХТ вплоть до приближения к высшим спектральным модам в заданных пределах; максимальной гладкости ЧКХ;
- наиболее крутого спада ЧКХТ в области высшей спектральной моды тракта;
- мажорирования огибающей ЧКХТ огибающую СПОД⁻¹ даже с возмущающей добавкой;
- вписывания огибающей спектрального представления наблюдаемого на изображении линеамента или границы в огибающую ЧКХ;
- не превышения значением порядка градиентного оператора порога, при котором

резидентно присутствуют глобальное контрастирование или выделение контуров.

Однако необходимо учитывать и строить обработку с сингулярными значениями в оптимизируемой ЧКХ. Возникают они достаточно часто, так как в знаменателе выражения для синтеза ЧКХ ПЧС первично откорректированного изображения имеет достаточное количество нулей. Применяемые в практике аналогичных операций со спектрами методы регуляризации приводят всегда к близкому к «истине» решению, которое не всегда попадает в интервал отклонений от «истины», лежащий в области пространственных частот за пределами соответствующих возможностей окна пропускания трактом зондирования [9].

В работе упоминаемые сингулярности представляются обобщенными сингулярными функциями медленного роста Шварца (с носителем меры нуль) [10]. При этом интегралы Римана во всех выражениях преобразуются в интегралы Лебега при аналитическом интегрировании (с предварительной функционализацией интегрируемого массива), а при численном интегрировании сингулярности представляются моделями обобщенных функций, сингулярных на мере нуль, т.е. предельно возможным узким параллелепипедом в верхней и нижней сумме Дарбу для интеграла.

В итоговом итеративном соотношении Ван-Циттера, интеграл в обратном преобразовании Фурье выражения является интегралом Лебега.

При увеличении высоты параллелепипеда в модели сингулярности или надо предельно уменьшать его ширину, что невозможно, т.к. не найдется пикселей с предельно малыми апертурами или соглашаться с возникающими артефактами в виде различных искажений контраста на изображении. В работе рост высоты моделируемой сингулярности ограничен десятикратным значением динамического диапазона изображений и спектров, представленных трактом зондирования. Ниже, на изображении со спутника сверхвысокого разрешения OrbView-3 показаны проведенные вычислительные эксперименты по применению разработанной методики (рисунок 4): верхний ряд – изображения, нижний ряд – их ПЧС.

Полученный конечный и перешагиваемый при итеративной деконволюции ранее результат по резкости показывает увеличение резкости в 2 раза (по критерию Фуко). Очевидно, может быть результат и лучше, но конечность и фиксированность апертур пикселей на паттерне не позволяет дальнейшего развития в этом плане.

Восстановление пропущенного результата осуществлялось уточнением ухода СДИ на изображении от запрограммированного значения и, соответственно, вычислением и компенсацией остаточного смаза: при обработке изображения (центрального на рисунке 4) обобщенным градиентным оператором малого порядка до появления характерного спектра зарождающегося контрастирования [2] определяется величина обратная разности радиусов спектров до обработки и после. Это и есть остаточный смаз и ошибка позиционирования для СДИ. Все остальные параметры спутника для контроля запрограммированной СДИ и полученной разницы берутся из орбитальных таблиц КА.

Существенное замечание: процедура коррекции СДИ и процедура СКР некоммутативны, т.к. именно от коррекции СДИ зависят устанавливаемые параметры процедуры СКР, поэтому результат СКР в центре рисунка 4 не только не экстремален, но и менее достоверен.

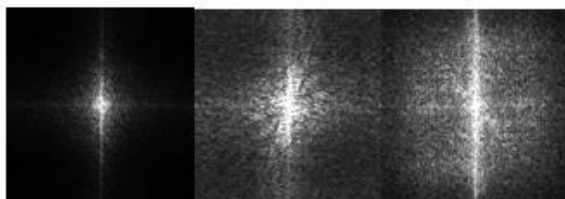


Рис. 4. Слева направо исходный паттерн, обработанный в технологии СКР с учетом достоверности ФРТ и далее обработанный в

технологии СКР с ослаблением степени регуляризации сингулярностей ЧКХ и с восстановлением лучшего результата по резкости за счет уточнения СДИ

Fig. 4. From left to right of the original pattern, processed in the technology of RCDS, taking into account the reliability of the TRF, and further processed in the technology of the TRF with the weakening of the degree of regularization of the singularities of the MTF and with the restoration the best result in sharpness at the expense of clarification of the DNS

Заключение

В работе представлены два альтернативных метода коррекции резкости на изображении высокого разрешения до экстремальных значений резкости для заданного тракта ДЗЗ, имеющие строго ограниченную область использования – на постфактум сформированном изображении. В литературе нет данных о выводах из их применения для реализации согласованной

соответствующей модернизации модулей приведенных крейсерских диаграмм полной обработки текущих формируемых «орбитально» изображений (хотя бы потому, что в представленном виде диаграммы публикуются впервые).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-07-00171 "Разработка теоретических основ методов моделирования и алгоритмов представления в обобщенных операциях трактов преобразования дистанционных данных с максимизацией эффективности обработки информации (цифровых космических изображений)" и научного проекта № 16-07-00177 "Разработка теоретических основ методов моделирования реализации предельно достижимых характеристик сверхвысокого пространственного и спектрального разрешения в стволах дистанционного зондирования с космических платформ"

Список литературы

1. Бейтс Р., Мак-Доннел М. Восстановление и реконструкция изображений. М.: Мир, 1989. 336 с.
2. Адаптивное восстановление резкости на цифровых космических изображениях / Винтаев В.Н., Жиленев М.Ю., Маторин С.И., Ушакова Н.Н., Щербинина Н.В. // Журнал РАН «Информационные технологии и вычислительные системы». 2014. №4. С. 33-43.
3. Специальная коррекция в процедурах регуляризации и итеративных процессах уменьшения размеров пятна функции рассеяния точки на космических изображениях / Константинов И.С., Щербинина Н.В., Жиленев М.Ю., Винтаев В.Н., Ушакова Н.Н. // Научные ведомости БелГУ. 2014. № 15(186). С. 166–175.
4. Кузнецов П.К., Семавин В.И., Солодуха А.А. Алгоритм компенсации скорости смаза изображения подстилающей поверхности, получаемого при наблюдении Земли из космоса // Вестник Самарского гос. технического университета. 2005. № 22. С. 150-157.
5. Жиленев М.Ю., Винтаев В.Н. Формула расчета движения изображения при орбитальной съемке планет оптико-электронной аппаратурой // Телекоммуникации (TELECOMMUNICATIONS AND RADIO ENGINEERING). 2011. № 7. С.2-7.
6. Цибанов В.Н. Регуляризирующие методы фильтрации и восстановления изображений: Дисс. на соискание ученой степени канд. физ.мат. наук. Москва, 2008. 113 с.
7. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Методы и модели обработки изображений. М.: Техносфера, 2010. 560 с.
8. Винтаев В.Н., Ушакова Н.Н., Жиленев М.Ю. Обобщенные операции для специальной коррекции космических изображений высокого разрешения и поддержка функциональной полноты специальной коррекции // В кн.: Новейшие концепции

фундаментальных и прикладных научных исследований: опыт, традиции, инновации, эффективная стратегия развития. Материалы международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 2015. С. 72-80.

9. Ушакова Н.Н. Коррекция цифровых космических изображений на основе верифицирующего моделирования: Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. Белгород, 2004. 255 с.

10. Владимиров В.С. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1967. – 436 с.

References

1. Beits R., Mak-Donnel M. Restoration and Reconstruction of Images. Moscow: Mir, 1989. 336 p.

2. Adaptive Acuity Restoration in Digital Space Images. The Russian Academy Journal of Information Technologies and Computer Systems. 2014. №4. Pp. 33-43.

3. Applying Special Correction in Regularization Procedure and Iterative Processes of Space Images Point Spread Function Spot Diminution. Nauchnye vedomosti BelGU. 2014. No 15(186). Pp. 166-175.

4. Kuznecov P.K., Semavin V.I., Soloduha A.A. Compensation Image Blurring Speed Algorithm of the Underlying Surface, Received under the Supervision the

Earth from Space. Vestnik Samarskogo gos. tehničeskogo universiteta. 2005. No 22. Pp. 150-157.

5. Zhilenev M.U., Vintaev V.N. The Formula for Calculating the Image Motion of the Planets with Orbital Shooting Optoelectronic Equipment. Telecommunications (TELECOMMUNICATIONS AND RADIO ENGINEERING). 2011. No 7. Pp.2-7.

6. Cibanov V.N. Regularization Methods of Filtering and Image Restoration: Diss. na soiskanie uchenoj stepeni kand. fiz.mat. nauk. Moscow, 2008. 113 p.

7. Shovengerdt R.A. Remote Sensing. Imaging Methods and Models. Moscow: Tehnosfera, 2010. 560 p.

8. Vintaev V.N., Ushakova N.N., Zhilenev M.U. Generic Operations for Special Correction of Space Images of High Resolution and Support of Functional Completeness Special Correction. V kn.: Novejšie koncepcii fundamental'nyh i prikladnyh nauchnyh issledovanij: opyt, tradicii, innovacii, jeffektivnaja strategija razvitija. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii. St. Petersburg, 2015. Pp. 72-80.

9. Ushakova N.N. Correction of Digital Space Images on the Basis of Verified Simulation: Diss. na soiskanie uchenoj stepeni kand. teh. nauk. Belgorod, 2004. 255 p.

10. Владимиров В.С. Equations of mathematical physics. Moscow: Nauka, 1967. 436 p.