



УДК 621.377.2

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ОШИБОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИИ РАССЕЙНИЯ ТОЧКИ НА РЕЗУЛЬТАТ КОРРЕКЦИИ РЕЗКОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF ERRORS OF DETERMINATION OF THE POINT SPREAD FUNCTION OF THE RESULT OF THE CORRECTION OF SHARPNESS SPACE IMAGES HIGH RESOLUTION

**В.Н. Винтаев¹, М.Ю. Жиленев², И.С. Константинов³, Н.Н. Ушакова¹
V.N. Vintayev¹, M.U. Zhilenev², I.S. Konstantinov³, N.N. Ushakova¹**

¹Белгородский университет кооперации, экономики и права, Россия, 308023, Белгород, ул. Садовая, 116а,

²Конструкторское бюро "Салют" Государственного Космического Научно Производственного Центра имени М.В. Хруничева, Россия, 121087, Москва, ул. Новозаводская, 18,

³Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85

¹Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, 116a Sadovaya St, Belgorod, 308023, Russia,

²Design Bureau "Salute" State Space research and Production Center named after M. V. Khrunichev, 18, Novozavodskaya St, Moscow, 121087, Russia,

³Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

e-mail: viktor.vn2010@yandex.ru, zhilenev_mihail@mail.ru, ViceRectorScience@bsu.edu.ru, natush2006@yandex.ru

Аннотация. Результат процесса синтеза и оптимизации частотно-контрастной характеристики тракта дистанционного зондирования по сформированному изображению высокого разрешения для корректного восстановления его резкости существенно зависит от уровня и достоверности согласования синтезируемой частотно-контрастной характеристики и спектрального представления функции рассеяния точки на изображении; в работе представлен метод корректировки получения восстанавливаемой резкости на изображении для итеративного интегрального оператора деконволюции исходного изображения по оценке достоверности функции рассеяния точки, композируемой из функций рассеяния, определяемых по опознанным опорным ориентирам.

Resume. The result of the process of synthesis and optimization of frequency-contrast characteristics of the tract of remote sensing to the generated high resolution image for correct reconstruction of its sharpness depends on the level and validity of the approval of the synthesized frequency-contrast characteristics and spectral representation of the point spread function of the image; the paper presents a method of adjusting the receive recovered the sharpness of the image for the iterative integral operator deconvolution of the source image to assess the reliability function of the scattering point, composite image function of scattering determined by the identified reference benchmarks.

Ключевые слова: пространственно-частотный спектр, тонкая структура изображения, функция рассеяния точки, деконволюция

Keywords: spatial-frequency spectrum, fine structure image, a function of the scattering point, deconvolution

Введение

Формирование космического изображения высокого разрешения требует восстановления подавленной в тракте дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) тонкой структуры образов наблюдаемых объектов, т.е. восстановления разрешения или резкости (где США пока сохраняют технологическое лидерство, о чем свидетельствует вывод на орбиту таких аппаратов, как Geo-Eye-1, WorldView-1 и WorldView-2 с разрешением 0.4–0.5 м.) [1,2]. При отклонении значений скорости движения изображения (СДИ) на фотоприемниках космического аппарата (КА) от «запрограммированной» для участка орбиты КА формируется дополнительная к атмосферной функция рассеяния точки (ФРТ) [3], подавление которой осуществляется соответствующими коррекциями изображения по текущим навигационным параметрам аппарата, включая значения измеренных рысканий, тонгажей и кренов. Остаточная при этом ФРТ может подавляться обратными, инверсными и, как модификации инверсных – винеровскими с применением регуляризации Тихонова фильтрами.

В работах [4,5,6,7] показана необходимость согласования оптимизируемой для коррекции резкости частотно-контрастной характеристики (ЧКХ) тракта ДЗЗ с ФРТ, оцененной при формировании изображения высокого разрешения. Такое же согласование, как правило, в виде модификаций и возмущений пространственно-частотного спектра (ПЧС), т.е. спектрального представления (СП) инверсного фильтра, обратные значения аппликата которого образуют СП ФРТ, осуществляется с пространственно-частотной пропускной способностью аппаратуры, формирующей изображение [8,9]. Следует отметить, что методы слепого определения ФРТ [8] и, соответственно,



восстановления резкости, выполняющиеся при невозможности опознавания опорных ориентиров (ОО), например, при пролете над ландшафтами без объектов антропогенного происхождения, так или иначе исходя из принимаемой гипотезы о соответствии структур изображения некоторому «идеальному состоянию» без наличия ФРТ, и представляют собой отдельное научно-техническое направление, которое в данной работе не рассматривается.

Согласование при оптимизации синтезируемой ЧКХ такта с СП ФРТ не означает их совпадения (хотя такое и не исключается), но для снимков высокого, а особенно сверхвысокого разрешения норма попиксельной разницы оптимальной синтезируемой ЧКХ такта и СП ФРТ мала – как правило, не более 0.001% доли энергии СП ФРТ: реальная ФРТ не изопланатична из-за наличия до уровня 0.0001% от энергии изопланатичной составляющей неучитываемой стохастической компоненты энергии ФРТ. В большинстве случаев стохастическую компоненту ФРТ приписывают к шуму на изображении. Отсюда следует необходимость соблюдения высокого уровня точности оценки ФРТ или внесения соответствующих коррекций в деконволюцию изображения.

Построенные в [5,10] на модификациях и возмущениях СП инверсного фильтра итеративные интегральные операторы деконволюции, поддерживающие корректность измерительных свойств изображений представляют собой известные (хотя и модифицированные) формулы Ван Циттера [10], т.е. формулы получения ядра интегрального оператора обратным преобразованием Фурье используемого в итеративном процессе СП. Упомянутые выше пространственно-частотные характеристики фильтров коррекции резкости являются результатом проектирования ядер интегральных операторов на ортонормированную систему тригонометрических функций (заметим, что это не решение задачи на собственные значения для оператора деконволюции, и их СП не являются спектром оператора в популярном смысле [11,12]), также как не являются в означенном смысле спектром оператора деконволюции ни ЧКХ, ни все известные линейные фильтры в частотной области [13]. Итеративная деконволюция с недостатком по числу шагов, возникающим при возможной недооценке реально имеющейся на изображении апертуры ФРТ (хотя и практически не измеренной, если она в пределах апертур одного или двух пикселей) приводит к неполной фокусировке изображения при восстановлении резкости, а при избытке числа шагов, возникающем при переоценке апертуры реальной ФРТ возникают на последних шагах итераций описанные в [4,5] эффекты паразитного контрастирования, не имеющие практически ничего общего с тонкой коррекцией именно резкости, хотя визуально такое воспринимается как дополнительный эффект по резкости. Для сохранения измерительных свойств изображений высокого разрешения это губительно. Отметим, что замеряемое посредством тест-объекта, поддерживаемое изображением пространственное разрешение и резкость, определяемая углом или скоростью изменения контраста на его фронтах, определяются высшей модой в ПЧС его изображения и линейно связаны [14]. При этом, в работе [15] введено определение разрешения (и, следовательно, резкости) как внутренней меры Лебега диаметра открытого множества значений верхних пространственных частот изображений объектов.

Цель работы: разработать метод корректировки результатов функционирования итеративного интегрального оператора деконволюции исходного изображения по оценке достоверности функции рассеяния точки, композируемой из функций рассеяния, определяемых по опознанным опорным ориентирам.

Интервальная оценка ошибки определения ФРТ и процесс корректировки восстанавливаемой резкости изображения

Для цифрового космического изображения (ЦКИ) процесс формирования изображения без учета (или при подавлении) артефактов, вызываемых возмущением СДИ в модели Бейтса и Мак Доннела, может быть представлен в аналитической записи в виде Фурье-представления интегрального уравнения Фредгольма [16]:

$$F(S_r) = F(S_n) \cdot F(\Phi PT) + F(n), \quad (1)$$

где S_r – формируемое изображение; S_n – восстанавливаемое изображение; ΦPT – ядро интегрального преобразования (свертки), изопланатичное на апертуре носителя S_n , n – аддитивный шум, $F(S)$, $F(\Phi PT)$, $F(n)$ – Фурье-спектры объектов. Определяемая из (1) для каждого из ОО или полигонных объектов S_{oo} и их эталонов (Э) – S_{no} уникальная ЧКХ в виде

$$F(\Phi PT)_i = F(S_{oo})_i / F(S_{no})_i, \quad (2)$$

с оценкой $F(\Phi PT)$ в виде $\bigcup^N F(\Phi PT)_i$ дает оценку искомой ΦPT_0 в виде

$$\Phi PT_0 = F^{-1}(\bigcup^N F(\Phi PT)_i) \quad (3)$$

и выводит на инверсную фильтрацию



$$F(S_H) = F(S_R) / F(\Phi PT_0) = F(S_R)(\Phi PT_0)^{-1},$$

(4)

здесь F^{-1} – обратная Фурье-процедура, а $(F)^{-1}$ – деление единицы на отсчеты комплексного спектра F .

Множества гармоник $F(\Phi PT)_i$ определяются как нечеткие множества с функциями принадлежности на них μ_i , равными коэффициентам корреляции соответствующих S_{oo} и S_{no} . Операция объединения \bigcup^N для построения множества $F(\Phi PT_0)$ сопровождается минимаксной формулой исчисления μ_o для каждой гармоники в $F(\Phi PT_0)$ с медианной фильтрацией значений ряда гармоник из образующих множеств $F(\Phi PT)_i$ с равными значениями μ_i .

Коэффициент корреляции не может быть равен 1, иначе ОО и Э идентичны и тогда нет постановки задачи, ниже 0.7 – запрещенные значения, т.к. отсутствует при этом возможность доказать что это сопряженная пара ОО и Э. Следует сделать оговорку: значение коэффициента корреляции, допустим, 0.7, а распознавание ОО и идентификация его соответствия эталону должна сопровождаться уровнем ложной тревоги не выше 0.1, т.е. распознавание и идентификация выполняются при дополнительных признаках. Например, наблюдаемый ОО – самолет, тогда его можно сравнивать только с эталоном самолета F105R, и выяснить, к примеру, что на отслеживаемом аэродроме других не бывает. В СП $F(\Phi PT_0)$, который и принимается за порождающий инверсные и Винеровские фильтры с модификациями, включая модификации на частотно-зависимую добавку [4,5], каждая i, j -ая мода характеризуется значением функции принадлежности μ_{oj} , определенной по выше описанному правилу, которая тем не менее строилась на значениях коэффициентов корреляции эталонов и ОО.

Значение взвешенной суммы вида

$$\mu_{oo} = \left(\sum_{i,j} \mu_{oj} (F(\Phi PT_{0j}))^2 \right) / \left(\sum_{i,j} (F(\Phi PT_{0j}))^2 \right)$$

(5)

где $0.7 \leq \mu_{oo} < 1$ целесообразно принять за достоверность $F(\Phi PT_0)$ и ΦPT_0 .

Соотношение согласования ЧКХ и ФРТ на фоне модифицированной фильтрации Винера при оптимизации ЧКХ для дальнейшего вычисления частотно-зависимой добавки к спектру ФРТ имеет вид [5]:

$$\max_{\omega_i, \omega_j} \text{ЧКХ}(\omega_i, \omega_j) - \max(H * (\omega_i, \omega_j) / (|H(\omega_i, \omega_j)|^2 + \rho(\omega_i^2 + \omega_j^2)^{1/2}))^{-1} = R_4 = \min > 0,$$

(6)

где $H(\omega_i, \omega_j) = F(\Phi PT_0)$ – по условиям синтеза характеристики фильтра, $\rho(\omega_i^2 + \omega_j^2)^{1/2}$ – регуляризационный спектральный компенсатор СП шума на изображении [8].

По вычисленной μ_{oo} определим разброс ΔA апертур ФРТ, используя множитель вида $1 - \mu_{oo}$ на расширение и сужение выявленной апертуры $A(\Phi PT)$:

$$\Delta A(\Phi PT) = A(\Phi PT)(1 - \mu_{oo}). \tag{7}$$

ФРТ при этом интерполируется на новые апертуры с сохранением ее энергии (суммы квадратов аппликат).

Далее выполняется специальная коррекция резкости (СКР) в соответствии с техникой, представленной в работах [4,5], с пошаговым малым наращиванием «заниженной» апертуры ФРТ до остановки процесса роста резкости на каждом шаге и СКР с пошаговым малым уменьшением «завышенной» апертуры ФРТ до появления на каждом шаге отмеченных в [4,5] артефактов в виде паразитного контрастирования. Для итеративного оператора деконволюции на «нисходящем» по значениям апертур ФРТ процессе в СКР строится из значений минимальных погрешностей останова итераций $\{\rho(S_H^{(m)}, S_H)\}_z$ пошаговая последовательность внешних мер μ и, с учетом «восходящего процесса», внутренних мер Лебега при оценках $\Delta \rho(S_H^{(m)}, S_H)_k$ вплоть до успокоения процесса при достижении по норме заданной погрешности Q , причем

$$\Delta \rho(S_H^{(m)}, S_H)_k = \left\| \{\rho(S_H^{(n)}, S_H)\}_g - \{\rho(S_H^{(n)}, S_H)\}_z \right\| \leq Q, \tag{8}$$

где $k = k(z, g)$ – индекс успокоения, определившийся числом шагов z и $k = g$ получения «нисходящей» и «восходящей» последовательности итеративных деконволюций, соответственно. Необходимо заметить, что монотонность в пошаговом наращивании или уменьшении апертур ФРТ на запуск итераций порождает монотонность тенденции изменений резкости, получаемой при



заданной погрешности итеративных процессов, но дисперсия отклонений получаемых резкостей от оси выявленной тенденции может превышать указанную погрешность. Проведенный анализ соотношений (3), (4) и (5), как базовой модели коррекции резкости наводит на вывод, что «всплески» резкости на фоне тенденции изменения при принятом алгоритме построения последовательности ФРТ с сохранением ее энергии определяются (в первом приближении) уровнем энергии ПЧ изображения, совпадающей со средневзвешенной модой в ПЧС используемой в данный момент ФРТ. Погрешность успокоения Q (при $\Delta\rho(S_H^{(n)}, S_H)_k \leq Q$) устанавливается, по крайней мере, на порядок меньше погрешности вычисления операторов деконволюции [4,5], т.к. в соответствии с теорией меры Лебега она моделирует интервал меры нуль [17], определяющий меру совпадения двух типов мер Лебега для итоговых результатов. Невозможность установки столь малой погрешности Q констатирует факт сильно неизопланатичной ФРТ на сформированном изображении. Эта задача в данной статье не рассматривается. Значение реализованной при этом меры Лебега для резкости можно определить по тест-объекту на полученном изображении S_H , в соответствии с соотношением (8) и определениями резкости в работе [15]: вычислить классически внутреннюю меру Лебега $m_i[SS]$ множества точек на оси резкости SS как разность диаметра $\inf\{RS_\varepsilon\}$ с точками – значениями резкости, соответствующими минимуму значений в последовательности внешних покрытий множества диаметров, ассоциированных с $\{\rho(S_H^{(n)}, S_H)\}_n$ оси погрешностей для множества SS и внешней меры $\inf\{RS_\varepsilon\}$, ассоциированной с точками $\{\rho(S_H^{(n)}, S_H)\}_k$, являющимися дополнением к множеству внешних покрытий, ассоциированных с $\{\rho(S_H^{(n)}, S_H)\}_k$ оси погрешностей (что соответствует классическому определению и соотношению между внешней и внутренней мерами Лебега). Представление результатов СКР в мере Лебега необходимо для оптимальной фильтрации с регуляризацией по технологии работы [15] с целью дополнительного улучшения результата, при соблюдении не учтенных в работе [15] ограничений, выдвигаемых технологией СКР.

Для всех упомянутых представлений Ван Циттера формула погрешности итерационного процесса имеет вид [12]:

$$\rho(S_H^{(n)}, S_H) \leq (\|T\| \rho(S_H^{(n)}, S_H^{(n-1)})) / (1 - \|T\|), \quad (9)$$

где $\rho(S_H^{(n)}, S_H) = (\sum_{i,j} (S_H^{(n)} - S_{Hij})^2)^{1/2}$ – евклидова метрика, а $\rho(S_H^{(n)}, S_H^{(n-1)})$ исчисляется аналогично; норма

оператора T в соответствии с технологией СКР равна

$$\|T\| = \|F^{-1}(1-H) * S_H^{(n-1)}\| / \|S_H^{(n-1)}\|, \quad (10)$$

где числитель и знаменатель – евклидова норма (формула Пифагора) на компонентах векторов.

Если S_H сдвинуть на одну десятую часть долю апертуры пиксела, то в фазовом спектре появится множитель с гармоникой в 10 раз выше предельной частоты тракта, перераспределение яркостей на изображении будет практически незаметны, это также эффект моделирования сдвига на отрезок меры нуль [17]. Но в пределах штатной спектральной ширины тракта зондирования в силу фундаментальной теоремы Котельникова об отсчетах эти все виртуально сдвинутые изображения тождественны, если только не строить технологию сверхразрешения на упомянутых сдвигах: получаемое изображение при пикселизации не совпадает ни с одним из исходных, но удовлетворяет погрешности $\Delta\rho(S_H^{(n)}, S_H)_k$, что не противоречит теореме Агеева [18]. Соответствующие изображения, свидетельствующие о неоднозначности результатов коррекции по резкости не приводятся в силу ограничения формата статьи.

Существенной проблемой является «нанесение черноты», т.е. нулей на фрейм для выявления самого ОО из фона – это задача корректного определения контуров, обрамляющих ОО, иначе в процессе определения ФРТ будут участвовать и пиксели фона. Целесообразно это реализовать веерными фильтрами [19] с учетом технологии, представленной в работах [20,21].

Анизотропия радиуса корреляции линеаamenta образа объекта антропогенного происхождения в отличие от радиуса корреляции шума делает веерный фильтр особенно чувствительными к отклонению азимута фильтрации, т.е. к отклонению направления простираения границы образа объекта, что повышает профит фильтра, а для криволинейных границ или контуров эффект фильтрации сохраняется при многократном запуске фильтра, но с малой базой, соответствующей разложению участка кривой в соответствии с алгоритмом Брезенхейма или переходом к Фурье-представлению веерной фильтрации [22]. На рисунке 1 приведены исходное тестовое изображение, зашумленное изображение и сравнительные результаты исследования веерного фильтра.

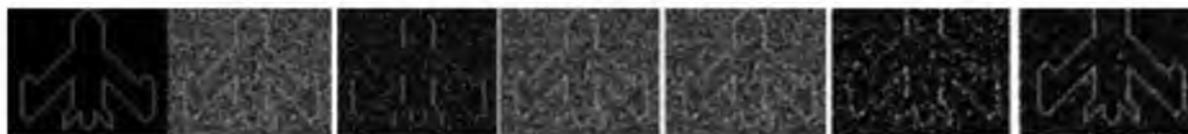


Рис.1. Слева направо: исходное тестовое изображение, зашумленное равномерным нормальным шумом исходное тестовое изображение (соотношение сигнал/шум=0.8); далее результаты обработки зашумленного тестового изображения: фильтром Винера, линейным матричным фильтром с нормализацией, линейным фильтром в частотной области с обнулением кольца пространственных частот с номерами выше 50, адаптивным фильтром графического пакета PHOTOPAINT, веерным фильтром с параметрами: количество проходов – 2, длина базы – 17 и 5, количество направлений – 36.

Fig.1. Left to right: original test image, noise evenly suspended normal noise source test image (the ratio signal/noise=0.8); further, the results of processing of a noisy test image: Wiener filter, linear filter matrix with the normalization, a linear filter in the frequency domain with zeroing ring spatial frequencies with numbers above 50, the adaptive filter PHOTOPAINT graphic package, radial filter with the following parameters: number of passes – 2, the length of the base 17 and 5, the number of directions – 36.

Для выделения ОО на приведенных ниже материалах с аппарата OrbView-3 – самолете на стоянке и его эталоне – более резком изображении, выделялись для корректного оконтуривания опорного ориентира субполосные компоненты изображений – локальные спектральные максимумы в субполосах спектра фрейма с ОО, находился как результат энергетический максимум результатов веерной фильтрации в разных базах фильтрации, не выходящих по величине за пределы соотношения неопределенности для радиуса данной субполосы. Полный портрет ОО реализовался операцией объединения обработанных субполос и обратным Фурье преобразованием [20,21,22].

На рисунке 2 представлены рабочие фрагменты исходного и расфокусированного изображений и их Фурье-спектры.

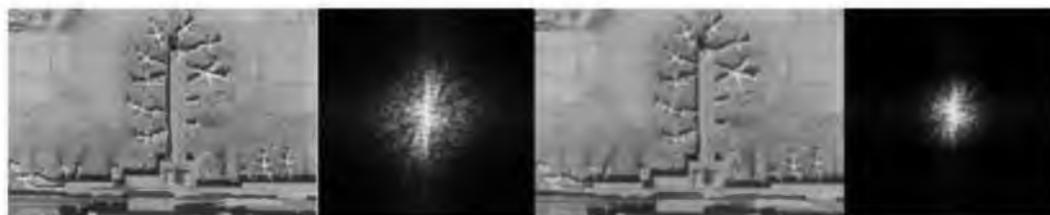


Рис.2. Слева направо: рабочие фрагменты исходного и расфокусированного изображений и их Фурье-спектры

Fig.2. Left to right: fragments of the original work and refocusing images and their Fourier spectra

На рисунке 3 показаны выявленные эталон и опорный ориентир.



Рис.3. Слева направо: эталон и соответствующий опорный ориентир с устраненными взаимными невязками геометрии, масштаба, угла поворота, гистограммы, выбранные на соответствующих паттернах изображения и отфильтрованные от фона, эталон и соответствующий опорный ориентир, помещенные в рабочий фрейм и приведенные к виду инвариантному к углу места солнца.

Fig.3. Left to right: the standard and the corresponding reference point with fixed mutual residuals geometry, scale, angle, histogram, selected on the corresponding pattern image and filtered from the background, the standard and the corresponding reference point, placed in the working frame and reduced to the form invariant with respect to the elevation angle of the sun



На рисунке 4 приведены ФРТ для пары эталон-ОО и спектры Фурье эталона и ОО.

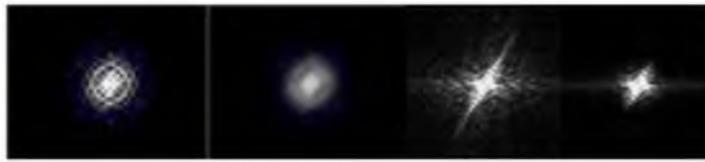


Рис.4. Слева направо: определенные по спектрам Фурье ФРТ ОО и сглаженная ФРТ, спектры инвариантных к углу места солнца эталона и ОО

(спектры «отслеживают» угол места солнца, т.к. соответствующая программа для синтеза инвариантов штатная и, возможно, еще нуждается в модернизации)

Fig.4. Left to right: certain Fourier spectra PRF "OO" and smoothed the PRF spectra is invariant to the elevation angle of the sun as the standard and GS (spectra "track" the angle of elevation of the sun, because the corresponding program for the synthesis of invariants staff, and perhaps even in need of modernization)

Ниже, на рисунке 5 приведен результат с более высоким значением резкости, полученный в описываемой технологии учета ошибок определения ФРТ и фильтрацией шума с введением меры Лебега для резкости в соответствии с технологией, представленной в [15], с расширением числа ОО, выбранных на исходном снимке. В последовательности итеративных деконволюций полученный результат стоит после последней итерации в предыдущей версии коррекции резкости [3,4,5] и перед наступающим срывом корректности в коррекции резкости в предыдущей версии.

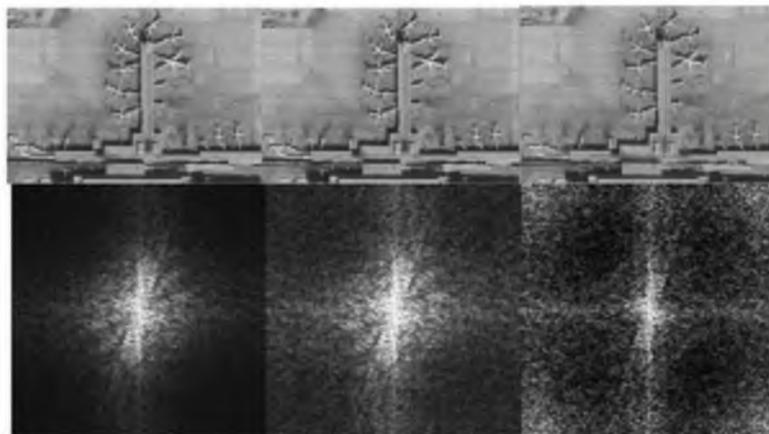


Рис.5. Слева направо: результат СКР, результат с учетом ошибок по ФРТ, результат срыва корректности работы СКР на последующей итерации в СКР

Fig.5. Left to right: the result of the SCR, the result of the accounting errors on the PRF, the result of failure of proper operation of SCR on a subsequent iteration in the SCR

Заключение

Разработан метод корректировки результатов функционирования итеративного интегрального оператора деконволюции исходного изображения по оценке достоверности функции рассеяния точки, композируемой из функций рассеяния, определяемых по опознанным опорным ориентирам; метод разработан как модернизация представленной ранее специальной коррекции резкости на изображениях высокого разрешения с сохранением измерительных свойств изображений. Отмечены аспекты не решенной до настоящего времени фундаментальной проблемы однозначности результатов коррекций резкости, которая в паллиативе научно-техническим сообществом трактуется нередко как только лишь проблема решения уравнений Фредгольма.

Благодарности

Авторы приносят благодарность коллективу Департамента МКА и спутниковых систем ФГУП «Государственный Космический Научно Производственный Центр им. М.В. Хруничева» за



активное участие в обсуждении и исследовании вопросов улучшения качества космических изображений, в том числе на современных эксплуатируемых космических аппаратах.

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)".

Список литературы References

1. Park S. C., Park M. K., Kang M. G. 2003. Super-resolution image reconstruction: A technical overview. IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 20(3): 21–36.

2. Vintaev V.N., Urazbakhtin A. I., Ushakova, N. N. 2005. The Criterion of Admissibility of the Required Resolution Degradation of Images Synthesized by Some Radio Systems. Telecommunications And Radio Engineering, Vol. 64 ' BegellHouse, Inc., New York:315–319.

3. Жиленев М.Ю., Маторин С.И., Винтаев В.Н., Ушакова Н.Н., Щербинина Н.В. 2014. Специальная коррекция космических изображений высокого и сверхвысокого разрешения. Презентация доклада на Двенадцатой Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» 10–14 ноября 2014 г. Москва, Институт космических исследований РАН.URL: http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/files/presentation/2014/method/zhilenev.pdf3 (14 ноября 2014).

Zhilenev M.J., Matorin S.I., Vintaev V.N., Ushakova N.N., Scherbinina N.V. 2014. Special correction of space images of high and ultrahigh permit. Presentation of the report at the Twelfth All-Russia open conference «Modern problems of remote sounding of the Earth from space» 10-on November, 14th, 2014 Moscow, College of space researches РАН.URL: http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/files/presentation/2014/method/zhilenev.pdf (accessed 18 February 2013). (in Russian)

4. Константинов И.С., Щербинина Н.В., Жиленев М.Ю., Винтаев В.Н., Ушакова Н.Н. 2014. Адаптивная коррекция процесса восстановления резкости космических изображений высокого разрешения. Научные ведомости Белгородского государственного университета. – История, Политология, Экономика, Информатика. Научный рецензируемый журнал, 8 (179):189–199.

Konstantinov I.S., Scherbinina N.V., Zhilenev M.J., Vintaev V.N., Ushakova N.N. 2014. Adaptive correction of process of restoration of sharpness of space images of high permit. Scientific sheets Belgorod state университета. – history, Political science, Economy, Computer science. Scientific reviewed magazine, 8 (179): 189–199. (in Russian)

5. Константинов И.С., Щербинина Н.В., Жиленев М.Ю., Винтаев В.Н., Ушакова Н.Н. 2014. Специальная коррекция в процедурах регуляризации и итеративных процессах уменьшения размеров пятна функции рассеяния точки на космических изображениях. Научные ведомости Белгородского государственного университета. -История, Политология, Экономика, Информатика. Научный рецензируемый журнал, 15 (186): 166–175.

Konstantinov I.S., Scherbinina N.V., Zhilenev M.J., Vintaev V.N., Ushakova N.N. 2014. Special correction in procedures регуляризации and iterative processes of reduction of the sizes of a spot of function of dispersion of a point on space images. Scientific sheets of the Belgorod state university. – history, Political science, Economy, Computer science. Scientific reviewed magazine, 15 (186): 166–175. (in Russian)

6. Винтаев В.Н., Жиленев М.Ю., Маторин С.И., Ушакова Н.Н., Щербинина Н.В. 2014. Адаптивное восстановление резкости на цифровых космических изображениях. Журнал РАН «Информационные технологии и вычислительные системы», №4:33–43.

Vintaev V.N., Zhilenev M.J., Matorin S.I., Ushakova N.N., Scherbinina N.V. 2014. Adaptive restoration of sharpness on digital space images. Magazine of the Russian Academy of Science «Information technologies and computing systems», №4: 33–43. (in Russian)

7. Винтаев В.Н., Ушакова Н.Н., Жиленев М.Ю. 2014. Обобщенные операции для специальной коррекции космических изображений высокого разрешения с использованием модели распределенной реконфигурируемой вычислительной среды. В кн.:// Новое слово в науке и практике: Гипотезы и апробация результатов исследований в экономике, управлении проектами, педагогике, праве, истории, культурологии, языкознании, природопользовании, растениеводстве, биологии, зоологии, химии, политологии, психологии, медицине, филологии, философии, социологии, математике, технике, физике, информатике, градостроительстве. Материалы международной научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 28–29 ноября 2014 г.). Санкт-Петербург, Изд-во «КульИнформПресс»: 58–64.

Vintaev V.N., Ushakova N.N., Zhilenev M.J. 2014. Generaliz of operation for special correction of space images of high permit with use of model distributed реконфигурируемой computing среды. In: The New word in a science and an expert: Hypotheses and approbation of results of researches in economy, management of projects, pedagogics, the right, histories, cultural science, linguistics, wildlife management, plant growing, biology, zoology, chemistry, political science, psychology, medicine, philology, philosophy, sociology, the mathematician, technics, the physicist, computer science, town-planning. Materialy mezhdnarodnoy scientifically-practical conference (St-Petersburg, 28–29 November, 2014). St-Petersburg, Publishing house "CulchInformPress": 58–64. (in Russian)

8. Остриков В. Н. 2012. Оценка функции рассеяния точки на произвольном снимке посредством слепого восстановления. В кн.: Техническое зрение в системах управления 2011. Материалы научно-технической



конференции (Москва, 15-17 марта 2011 г.). Москва, Изд-во Института космических исследований РАН: т. 38: 16-21.

Ostrikov V.N. 2012. The costing of function of dispersion of a point in an any picture by means of blind restoration. In: Technical vision in control systems 2011. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-technical konferentsii (Moscow, 15-17 March, 2011). Publishing House IKI of the Russian academy of sciences. Vol.38: 16–21. (in Russian)

9. Кочанов А.А., Обухов А.Г., Просовецкий Д.В. 2010. Методы восстановления изображений и распознавание образов в радиоастрономии. Солнечно-земная физика, №16:154–161.

Kochanov A.A., Obuhov A.G., Prosovetskiy D.V. 2010. Method of restoration of images and recognition of images in radio astronomy. The It's sunny-terrestrial physics, №16:154–161. (in Russian)

10. Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П., Перетягин Г.И., Спектор А.А. 2002. Цифровая обработка изображений в информационных системах. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 352.

Gruzman I.S., Kirichuk V.S., Kosyh V.P., Peretjagin G.I., Spektor A.A. 2002. Digital processing of images in information systems. – Novosibirsk: Publishing house NGTU, 352.

11. Морен К. 1965. Методы Гильбертова пространства. Пер с польск. М., Мир, 570.

Moren K. 1965. Methods of Hilbert space. М., Mir, 570.

12. Коллатц Л. 1969. Функциональный анализ и вычислительная математика. Пер с нем. М., Мир, 447.

Collatz L. 1969. The functional analysis and calculable mathematics. М., Mir, 447.

13. Ращупкин А.В. 2008. Технологии обработки видеoinформации, обеспечивающие качество аэрокосмических изображений. Полет, № 11: 42–48.

Raschupkin A. V. 2008. Technologies of treatment are video informations, providing quality of aerospace images Flight, № 11: 42–48. (in Russian)

14. Ревзон А.Л. 1993. Космическая фотосъемка в транспортном строительстве. М., Транспорт, 272.

Revzon A.L. 1993. Space photography in transport building. М., Transport, 272. (in Russian)

15. Удод В.А. 2002. Оптимальная по разрешающей способности линейная фильтрация изображений.

Дисс. на соискание ученой степени доктора техн. наук. Томск, 338 с.

Udod V.A. 2002. Optimal on a discriminability linear filtration of images. Dis. on the competition of graduate degree of doctor of engineering sciences. Tomsk, 338. (in Russian)

16. Бейтс Р., Мак-Доннел М. 1989. Восстановление и реконструкция изображений. М., Мир, 336.

Baits R., Mac-Donnel M. 1989. Renewal and reconstruction of images. М.: Mir, 336.

17. Владимиров В.С. 1967. Уравнения математической физики. М., Наука, 436.

Vladimirov V.S. 1967. Equalizations of mathematical physics. М., Nauka, 436. (in Russian)

18. Финк Л.М. 1984. Сигналы, помехи, ошибки. М., Радио и связь, 258.

Fink L.M. 1984. Signals, hindrances, errors. М., Radio and connection, 258. (in Russian)

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

Ushakova N.N. 2004. Correction of digital space representations on the basis of verifying design. Dis. on the competition of graduate degree of m.t.s. Belgorod, 255 p. (in Russian)

20. Черноморец А.А. 2014. Об оптимальном выделении субполосных компонент изображений. В кн.: Труды 24-й международной конференции по компьютерной графике и зрению ГрафиКон'2014 (Ростов-на-Дону, 30 сентября–3 октября, 2014 г.). Ростов-на-Дону: Академия архитектуры и искусств. ЮФУ: 75–78.

Chernomoretz A.A. 2014. About the optimal selection of substripe components of images. In: Collection of labours to the 24th international conference on computer graphics and sight of “ГрафиКон” 2014 (Rostov-on-Don, 30 September-of Octobers, 3, 2014). It is Rostov-on-Don: Academy of architecture and art “ЮФУ”:75–78. (in Russian)

21. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А. 2013. О субполосном анализе изображений. В кн.: 23-я Международная конференция по компьютерной графике и зрению ГрафиКон'2013 (Владивосток 16–20 сентября, 2013 г.). Владивосток, Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН: 230–233.

Zhiliakov E.G., Chernomoretz A.A. 2013. About the substripe analysis of images. In: The 23th International conference is on computer graphics and sight of “ГрафиКон” 2013 (16–20, September, 2013), Vladivostok, Institute of automation and processes of management of “ДВО РАН”: 230–233. (in Russian)

22. Ушакова Н.Н. 2011. Вычислительные алгоритмы в компьютерной графике и обработке изображений. Белгород, Изд-во БУКЭП, 193.

Ushakova N.N. 2011. Computational algorithms are in computer graphics and processing of images. Belgorod, publishing House “BUCEL”, 193. (in Russian)