

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ COMPUTER SIMULATION HISTORY

УДК 621.377.2

DOI 10.18413/2518-1092-2016-1-2-4-8

Ушакова Н.Н.
Винтаев В.Н.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБНАРУЖЕНИЯ ПЕРЕРОЖДЕНИЯ
ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЫШЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА КОСМИЧЕСКОМ
ИЗОБРАЖЕНИИ В ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КОНТРАСТА
ПРИ ДЕКОНВОЛЮЦИИ**

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: natush2006@yandex.ru

2) 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

Аннотация

В работе на основе принятого на практических наблюдениях подхода к трактованию различий в улучшении разрешения и в усилении контраста на космическом изображении представлена технология определения уровня перерождения процесса коррекции резкости при деконволюции в процесс усиления контраста для поддержки решения оператора-интерпретатора об останове процедур преобразования изображения.

Ключевые слова: пространственно-частотный спектр; разрешающая способность; опорный ориентир; градиентный оператор нецелого порядка; функция рассеяния точки; функционал.

UDC 621.377.2

Ushakova N.N.
Vintaev V.N.

**MODELING THE DISCOVERY PROCESS OF THE REBIRTH
OF THE FORMATION OF HIGH RESOLUTION SPACE IMAGE INTO
THE TRANSFORMATION OF CONTRAST WITH DECONVOLUTION**

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: natush2006@yandex.ru

2) 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

Abstract

In the work, on the basis of the practical observations of the approach to the interpretation of differences in improved resolution and contrast enhancement in the space image, the authors present a level-sensing technology of the degeneration of the process of correction of sharpness with deconvolution in the process of enhancing the contrast to support the decision of the operator-interpreter about the shutdown procedures for the transformation of the image.

Keywords: spatial-frequency spectrum; resolution; reference point; gradient operator of non-integer order; function of the point spread; functionality.

Введение
Радиусы пространственно-частотных спектров (ПЧС) изображения с повышенным

разрешением или контрастированного изображения с худшим разрешением могут совпасть, т.к. процесс восстановления разрешения

на изображении нередко перерождается в процесс контрастирования без улучшения разрешения [3].

Обнаружение в процессе этапной обработки изображения момента начала превалирования состояния повышенного контраста над резкостью и есть критерий останова используемой версии деконволюции изображения и полученное разрешение в этом случае является экстремальным, что справедливо и для снимков высокого и сверхвысокого разрешения.

Функционал соотношения «контрастирование/разрешающая способность»

Концептуально можно представить модель процессов контрастирования и повышения разрешающей способности на изображении (в одномерном случае):

Рассмотрим изображение объекта – опорного ориентира (ОО) с яркостью в виде гауссовой кривой вида

$$S_{oo} = \exp(-\alpha x^2), \quad (1)$$

ее спектр Фурье $F(S_{oo})$ будет иметь вид

$$F(S_{oo}) = (\pi/\alpha)^{0.5} \exp(-\omega^2/4\alpha), \quad (2)$$

где S_{oo} – яркостный портрет ОО, x – значение абсциссы, α – коэффициент скорости спада фронтов, ω – круговая пространственная частота.

При контрастировании кривой (1) ее фронты (как импульса) приобретают более быстрый спад и подъем, соответственно этому высшая частота спектра контрастированного гауссового импульса отодвигается в высшую сторону. Но это не увеличение разрешения и измерительные свойства изображения при этом ухудшаются.

Повышение разрешающей способности демонстрируется появлением на гауссовой кривой множества малых гауссовых кривых с высшей гармоникой у каждой из них, соответствующей высшей гармонике контрастированной гауссовой кривой, т.е. демонстрируется суммированием исходной гауссовой кривой с серией следующих друг за другом гауссовых кривых малой амплитуды и с высшей гармоникой в их спектре равной высшей гармонике контрастированной кривой (2). В этом случае каждый наблюдаемый на изображении объект – опорный ориентир OO_i представляется в виде набора структурных элементов и каждый структурный j -тый элемент (или фрагмент) полного образа OO_i по существу является отдельным OO_{ji} . По теореме о запаздывании структурного элемента OO_{ji} в OO_i , измеряемого смещением $r_{ji} = (x_{ji}^r, y_{ji}^r)$ его центра тяжести

относительно центра тяжести образа OO_i в спектральном представлении можно записать:

$$F(OO_i) = \sum_j F(OO_{ji}) e^{j(\omega_x x_{ji}^r + \omega_y y_{ji}^r)}, \quad (3)$$

где $F(OO_i)$ – спектральный портрет OO_i , $F(OO_{ji})$ – спектральный портрет OO_{ji} .

Результирующий ПЧС любого объекта на изображении в этом случае приобретает структуру, которая декомпозируется на сумму фазозадержанных ПЧС элементов восстанавливаемой тонкой структуры изображения [1].

Функционал соотношения «контрастирование/разрешающая способность» (ФСКР) целесообразно строить в виде соотношения двух функционалов, нормированных с использованием неравенства Шварца [2] для исключения влияния яркости изображения на результат вычисления). Один из функционалов, определяющий для анализа и сравнения степень контрастирования изображения при обработке $\Phi_{кнк}$ – значение функции взаимной корреляции (ФВК) при нулевом сдвиге (ненормированный коэффициент корреляции) k -го этапа S_{uk} обработки исходного S_u испытуемого изображения и результата контрастирования исходного изображения $S_{иконт}$ (нелинейными преобразованиями яркости или средствами стандартных графических пакетов) с контролем верхней моды ПЧС при контрастировании на совпадение этой моды с заданной или предполагаемой как достижимой при обработке исходного изображения с целью снижения пятна функции рассеяния точки (ФРТ), нормированное (деленное) на перемножение норм $S_{иконт}$ и S_{uk} .

В соответствии с неравенством Шварца получим выражение

$$\Phi_{кнк} = \max(\text{ФВК}(S_{иконт}, S_{uk})) / (\|S_{иконт}\| \|S_{uk}\|), \quad (4)$$

где $\| * \|$ – норма изображения $\|S\|$ определяется как Евклидова норма, т. е. $\|S\| = (\sum S_{ij})^{0.5}$, а S_{ij} – пиксели изображения.

Другой из функционалов, определяющий для анализа и сравнения степень коррекции разрешения на изображении при обработке $\Phi_{кр}$ – это значение ФВК при нулевом сдвиге (ненормированный коэффициент корреляции) k -го этапа обработки исходного S_u испытуемого изображения S_{uk} и результата моделирования на исходном изображении улучшения разрешения путем регулярного и монотонного усиления

высших мод ПЧС исходного изображения градиентным оператором нецелого порядка [4]:

$$\text{Grad}_{\alpha} f(x, y) \approx \sqrt{(D_x^{\alpha} f)^2 + (D_y^{\alpha} f)^2}, \quad (5)$$

где f – обрабатываемое изображение; D^{α} – оператор дифференцирования порядка $\alpha < 1$, причем нулевая гармоника ПЧС восстанавливается либо вычислением средней яркости и присоединением ее аддитивно к дифференцированному изображению или присоединением к дифференцированному изображению исходного аддитивно с коэффициентом, меньшим единицы. S_{up} реализуется в соответствии с описанной выше методикой с контролем верхней моды ПЧС при обработке на совпадение этой моды с заданной или предполагаемой как достижимой при обработке исходного изображения с целью снижения пятна ФРТ, и как нормированное (деленное) на перемножение норм S_{up} и S_{uk} . Аналогично, в соответствии с неравенством Шварца получим выражение

$$\Phi_{кр} = \max(\Phi BK(S_{up}, S_{uk})) / (\|S_{up}\| \|S_{uk}\|). \quad (6)$$

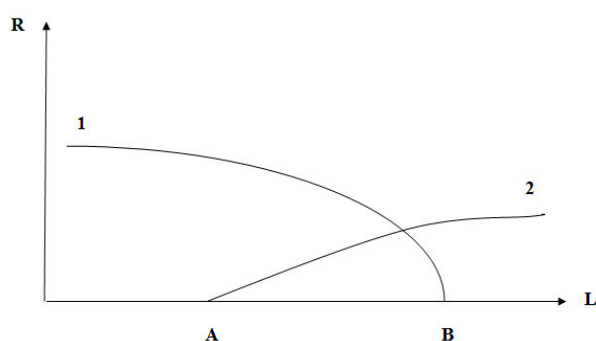


Рис. 1. График поведения наращивания разрешения и уровня контрастирования при обработке процессором фокусировки (R, L – уровни изменения разрешения 1 и контрастирования 2 и ось счетного множества этапов обработки, соответственно; {A B} – отрезок на оси этапов: область пересечения ненулевых приращений двух характеристик).

Fig. 1. Graph of the behaviour of increasing the resolution and level of contrast when processed by a processor of focus (R, L – levels, change the resolution and contrast 1 and the axis of a countable set of processing stages, respectively; {And} – cut on the axis steps: the area of intersection of two non-zero increments of characteristics).

Примененный для создания опорного изображения S_{up} градиентный оператор порядка, существенно меньшего единицы, позволяет реализовать в отличие от оператора контрастирования модель (или начальный этап в

итерационных процессах) заметного, хотя и невысокого улучшения разрешения на изображении, т.к. [4] в спектре оператора градиентного присутствуют моды – среднечастотные, подчеркивающие объекты малые по апертуре по сравнению со средними апертурами на изображении и моды, подчеркивающие верхнюю частоту на малых по апертуре объектов. График наиболее частого поведения наращивания разрешения и уровня контрастирования при обработке процессором фокусировки изображения приведен на рисунке 1.

На рисунках 2-4 представлены, соответственно, изображение, исходное в эксперименте по определению ФСКР (изображение со спутника QuickBird); изображение (одно из опорных для ФСКР) с улучшенным разрешением с помощью модели градиентного оператора нецелого порядка (порядок оператора 0,15) на исходном; изображение (второе из опорных для ФСКР) с выполненным контрастированием ресурсами графического пакета PHOTOSHOP CS на исходном; изображение с улучшенным разрешением – один из этапов итеративного процесса на процессоре фокусировки (на рисунке приведен этап, на котором намечилось превалирование контрастирования над улучшением разрешения); изображение ФВК приведенного этапа обработки на процессоре с опорным изображением с улучшенным разрешением; изображение ФВК приведенного этапа обработки на процессоре с опорным изображением с контрастированием; изображение попиксельной разности двух ФВК (мажорирующая ФВК – уменьшаемое в операции вычитания – для корректности работы с кодами палитры пикселей); объемное изображение ФВК приведенного этапа обработки на процессоре с опорным изображением с улучшенным разрешением; объемное изображение ФВК приведенного этапа обработки на процессоре с опорным изображением с контрастированием. За опорное изображение S_{up} можно принять один из этапов обработки изображения со снижением пятна ФРТ. Начальные значения функционалов ФСКР в зависимости от методов получения опорных изображений будут варьироваться, но целевой функцией ФСКР является продуцирование вывода о необходимости коррекции критериев прерывания процедур обработки, перехода при этом к процессам перепикселизации, если необходимо, в процессе исследования эволюции ФСКР.



Рис. 2. а – изображение, исходное в эксперименте по определению ФСКР (изображение со спутника QuickBird); б – изображение (одно из опорных для ФСКР) с улучшенным разрешением с помощью модели градиентного оператора нецелого порядка (порядок оператора 0,15) на исходном; в – изображение (второе из опорных для ФСКР) с выполненным контрастированием ресурсами графического пакета PHOTOSHOP CS на исходном; г – изображение с улучшенным разрешением – один из этапов итеративного процесса на процессоре фокусировки

Fig. 2. a – the image source in the experiment to determine FSKR (image from the satellite QuickBird); b – image (one of the reference for FSKR) with enhanced resolution with the help of the model of a gradient operator of non-integer order (the order of the operator 0,15) on the source; c – the picture (the second reference to FSKR) with contrasting performed with the resources of the graphics pack PHOTOSHOP CS on the source; d – the image with improved resolution is one of the stages of the iterative process on the CPU focus

На рисунках 3-4 заметно превышение амплитуды ФВК для оценки эффекта контрастирования изображения над амплитудой ФВК для оценки эффекта улучшения резкости.

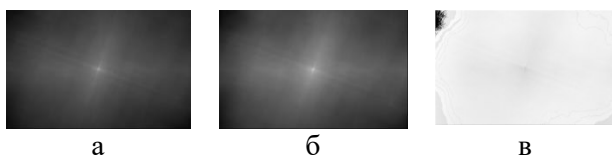


Рис. 3. а – изображение ФВК приведенного этапа обработки (этапа, на котором наметилось превалирование контрастирования над улучшением разрешения) на процессоре с опорным изображением с улучшенным разрешением; б – изображение ФВК приведенного этапа обработки на процессоре с опорным изображением с контрастированием; в – изображение попиксельной разности двух ФВК

Fig. 3. a – the image of a CCF given stage of processing (the stage at which there has been a prevalence of contrast enhancement to improve resolution) on the processor with a reference image with improved resolution; b – the image of the CCF given stage of processing on the processor with a reference image with contrast enhancement; c – the image pixel-by-pixel difference of the two FMC

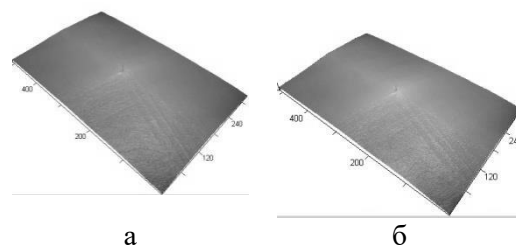


Рис. 4. а – объемное изображение ФВК приведенного этапа обработки на процессоре с опорным изображением с улучшенным разрешением; б – объемное изображение ФВК приведенного этапа обработки на процессоре с опорным изображением с контрастированием

Fig. 4. a – a three-dimensional image of a CCF given stage of processing on the CPU with the reference with improved image resolution; b – a three-dimensional image of a CCF given stage of processing on the processor with a reference image with contrast enhancement

Заключение

Представленный метод верификации момента начала перерождения результата деконволюции из развития разрешения на изображении в изменение контраста (принимаемое визуально за улучшение разрешения из-за нередкого совпадения радиусов пространственно-частотных спектров результатов деконволюции и контрастирования) функционалами, чувствительными к данному перерождению максимального достигнутого разрешения при деконволюции изображения в контрастирование позволяет получать результаты деконволюции с сохранением измерительных свойств изображений. Начало перерождения детектирует отмеченное выше максимально-возможное при данном методе деконволюции разрешение (или резкость, или подавление пятна ФРТ без ущерба измерительным свойствам изображения).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках 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. Владимиров В.С. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1967. – 436 с.
3. Специальная коррекция в процедурах регуляризации и итеративных процессах уменьшения размеров пятна функции рассеяния точки на космических изображениях / И.С. Константинов, Н.В. Щербинина, М.Ю. Жиленев, В.Н. Вintaев, Н.Н. Ушакова // Научные ведомости БелГУ. 2014. № 15(186). С. 166-175.
4. Ушакова Н.Н. Коррекция цифровых космических изображений на основе верифицирующего моделирования: Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. Белгород, 2004. 255 с.

References

1. Beits R., Mak-Donnel M. Restoration and Reconstruction of Images. M.: Mir, 1989. 336 p.
2. Vladimirov V. S. Equations of Mathematical Physics. M.: Nauka, 1967. 436 p.
3. Special Correction Procedures of Regularization and Iterative Processes Reduce the Spot Size of the Point Spread Function of Images in Space / I.S. Konstantinov, N.V. Scherbinina M.Y. Zelenev, V.N. Vintaev, N.N. Ushakova // Nauchnye vedomosti BelGU. 2014. No. 15(186). Pp. 166-175.
4. Ushakova N.N. Correction of Digital Space Images on the Basis of Verified Simulation: Diss. na soiskanie uchenoj stepeni kand. tehn. nauk. Belgorod, 2004. 255 p.