

УДК 621.384.3

## Масштабирование изображений приборов AVHRR спутников NOAA

К.Т. Протасов, К.К. Протасов\*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН  
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 8.06.2013 г.

С учетом слабой разрешающей способности прибора AVHRR спутника NOAA разработан подход повышения разрешения снимков и дана оценка качества восстановленных изображений с помощью энтропийного критерия. Производятся увеличение изображений с использованием кубических сплайнов и последующая коррекция размытого изображения. Приводятся примеры.

*Ключевые слова:* ФРТ (функция размытия точки), масштабирование космических снимков, оценивание качества; PSF (Point Spread Function), satellite images scaling, quality evaluation.

Одним из существенных недостатков космической видеoinформации является низкое пространственное разрешение. При слабом разрешении сканирующих систем подавляющее большинство пикселей (отсчетов) изображения фиксируют смешанную информацию, получаемую суммированием радиояркостей различных классов объектов подстилающей поверхности Земли, что приводит к ошибкам интерпретации космических данных, несмотря на их многоспектральный характер. В связи с этим предпринимаются попытки повысить разрешающую способность видеоданных, такие, как например: слияние мультиспектральных изображений методами HIS, PCA, DWT; метод взвешенного усреднения; Intensity Hue Saturation (IHS); Principal Component Analysis (PCA) [1]; метод синтеза многосенсорных данных различного пространственного разрешения [2]. Одни из этих подходов требуют высокий уровень априорной информации, например в виде согласованной совокупности спектрозональных снимков высокого разрешения [3]. Мы воспользуемся более слабыми априорными ограничениями и модифицированным методом, предложенным В.П. Якубовым [4].

В этом случае используется информация о том, что разрешающая способность наблюдаемых видеоданных обусловлена аппаратной функцией сканирующего устройства (функцией зрачка системы видения), которая «сжимает» по-фрагментным интегрированием объективно существующее изображение более высокого пространственного разрешения. В этом случае, зная аппаратную функцию окна сканирующего устройства и геометрию сканирования, можно попытаться восстановить «скрытое» изображение с более высоким пространственным (субпиксельным)

разрешением. Сложность решения этой задачи заключается в том, что нам неизвестна аппаратная функция окна. В связи с этим (в отличие от [4]) нами предложен подход адаптивного восстановления «размывающего» оператора, который учитывает и аппаратную функцию сканирующего окна, и вклад результата аппроксимации, ответственного за этап «увеличения» изображения, а также размывающее влияние атмосферы.

Будем считать, что каждый пиксель изображения AVHRR есть результат интегрирования фрагмента (для определенности) в  $4 \times 4$  пикселя более высокого (субпиксельного) разрешения. В связи с этим следующий шаг состоит в увеличении изображения в  $4 \times 4$  раза. Необходимо от пиксельного изображения перейти к изображению на субпиксельном уровне. Проанализировав прямую задачу, будем последовательными шагами инвертировать указанные преобразования. Первым шагом является установка пикселей исходного изображения в узлах вновь формируемого изображения субпиксельного разрешения. Это этап перехода от растра пиксельного разрешения к растру субпиксельного разрешения. Теперь следует этап восстановления всех незаполненных пикселей этого растра. При этом следует обратиться к тому или иному способу интерполяции промежуточных значений по набору заданных точек, например, воспользоваться B-сплайнами или линейной интерполяцией. В результате мы получим некоторое размытое изображение. Размытие обусловлено и аппаратной функцией прибора (функцией зрачка), и способом интерполяции интенсивностей пикселей на растр высокого разрешения. Таким образом, мы имеем увеличенное, но размытое изображение.

Следующий этап состоит в решении обратной задачи, с учетом того что прямая задача описывается выражением

---

Константин Тихонович Протасов (prot@iao.ru); Константин Константинович Протасов (prot@iao.ru).

$$g(x, y) = \iint h(x - u, y - v)f(u, v)dudv + n(x, y), \quad (1)$$

где  $g(x, y)$  – полученное описанными преобразованиями увеличенное размытое изображение;  $f(x, y)$  – исходное изображение с повышенным разрешением;  $n(x, y)$  – шум;  $h(x, y)$  – обобщенная функция размытия, состоящая из компоненты – функции зрачка и компоненты, порождаемой выбранным методом интерполяции. Функция размытия точки (ФРТ)  $h(x, y)$  – неизвестна и подлежит восстановлению в первую очередь. Эту функцию будем оценивать с учетом некоторых априорных предположений, а именно будем полагать, что на субпиксельном изображении  $f(x, y)$  имеются соседствующие объекты с резкими перепадами яркости, например такие, как вода–берег, лес–просека, дорога–обочина и т.п. Следует заметить, что данный подход применим только при условии осесимметричности ФРТ, получаемой при съемке со спутника в надире. Мы наблюдаем на восстанавливаемом субпиксельном изображении эти перепады размытыми. Степень этого размытия можно оценить, изучая графики поведения радиояркости в направлении градиентных перепадов. Усредняя градиентные перепады, можно подавить влияние шума. Используя методику, описанную в [3], можно оценить ФРТ, затем обратив уравнение (1), например, методом инверсной фильтрации, используя быстрое преобразование Фурье [5, 6].

Для апробирования этой методики с оценкой возникающей при этом погрешности был взят фрагмент изображения  $512 \times 512$  пикселей спутника «Ресурс» с разрешением  $45 \times 45 \text{ м}^2$  (рис. 1).

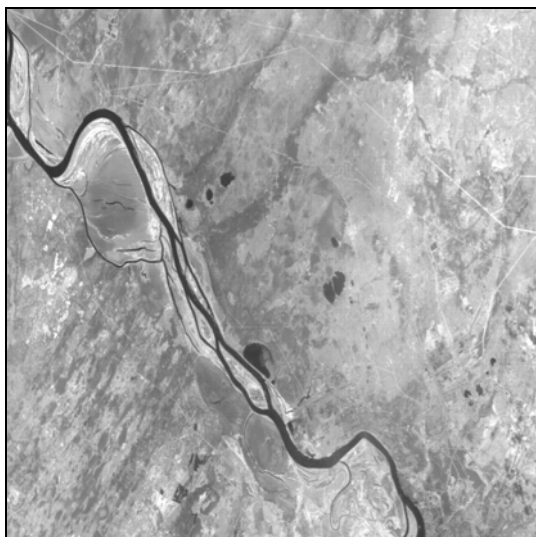


Рис. 1. Исходное спутниковое изображение р. Томь

Затем сканирующим окном в  $4 \times 4$  элемента с перекрытием в 1 пиксель было осуществлено усреднение интенсивностей (радиояркостей) в пределах окна суммированием с весовой функцией зрачка, имеющей вид модифицированной гауссоиды (рис. 2, а) и осуществлено «сжатие» изображения в  $4 \times 4$  раза.

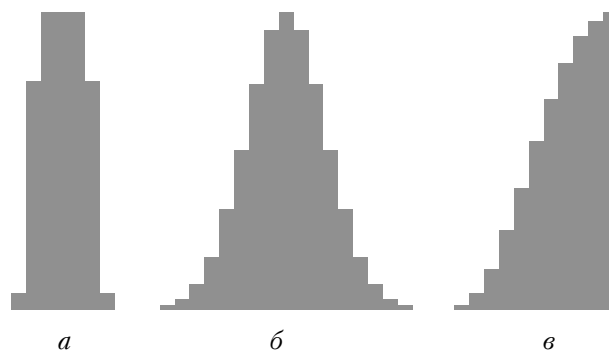


Рис. 2. Аппаратная функция (а); функция размытия точки (б); срез градиента (в)

Это и было изображение с грубым пиксельным пространственным разрешением (рис. 3, справа вверху). Затем осуществлялся переход от этого сжатого изображения к субпиксельному следующим образом. Радиояркости пиксельного изображения расставлялись по растру субпиксельного изображения, увеличенного в  $4 \times 4$  раза.

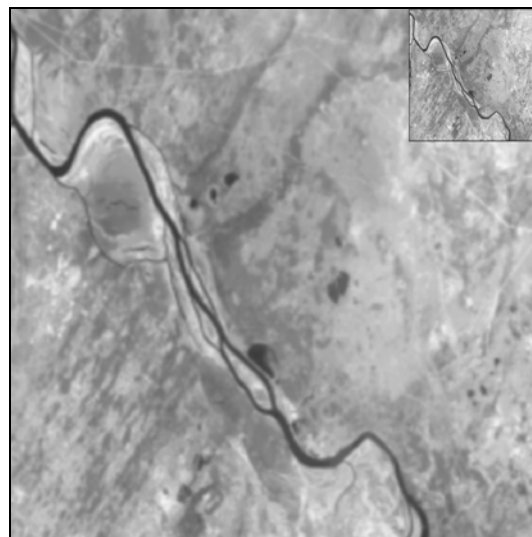


Рис. 3. Увеличенное интерполированное изображение в субпиксельном растре

Значения недостающих радиояркостей в промежуточных пикселях восстанавливались интерполированием, в результате получалось сглаженное и увеличенное субпиксельное изображение (рис. 4). Вид размывающего оператора восстанавливался по размытым краям сканированием градиентных перепадов, причем оценивание степени сглаженности изображения проводилось по нескольким срезам размытых участков и их последующим усреднением.

Дифференцирование профилей срезов (см. рис. 2, в) выявило «образующую» функцию размытия «края», по которой была восстановлена и сама ФРТ (см. рис. 2). Далее решалась задача восстановления субпиксельного изображения, а качество оценивалось квадратичным критерием согласия с исходным ресурс-снимком. В то время как по этому критерию ошибка рассогласования исходного

и сглаженного изображений составила 11,43%, ошибка с восстановленным изображением равнялась 10,05%. Таким образом, заметно улучшение восстановленного изображения (см. рис. 4).

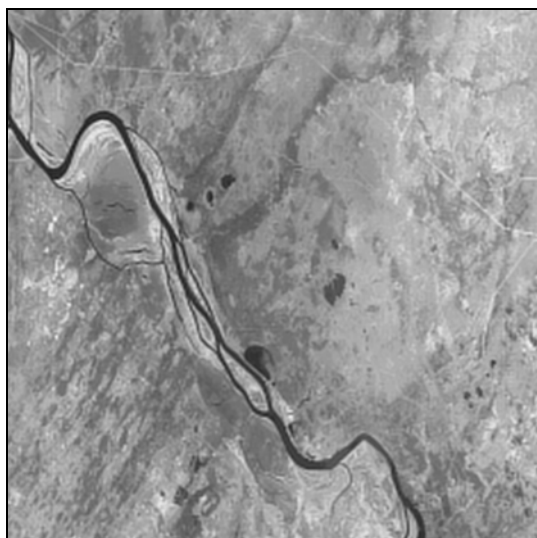


Рис. 4. Восстановленное увеличенное изображение

Затем был подвергнут увеличению в  $4 \times 4$  раза фрагмент изображения NOAA (рис. 5, верху слева).

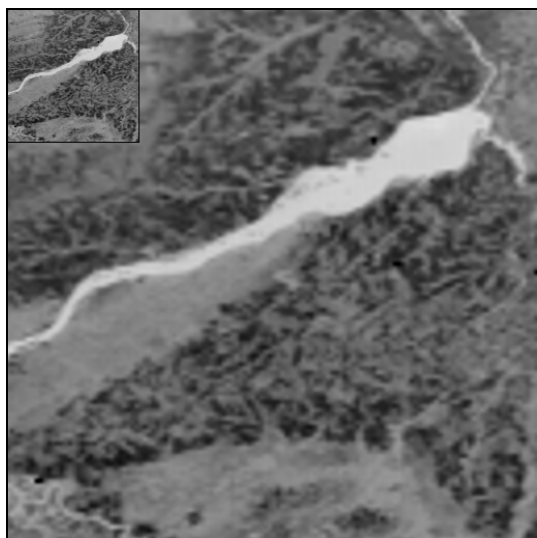


Рис. 5. Исходное (вверху слева) и субпиксельное изображение прибора AVHRR

Увеличенное, сглаженное интерполированием субпиксельное изображение представлено на рис. 5,

*К.Т. Protasov, К.К. Protasov. Scaling of image received from AVHRR device of NOAA satellite.*

Considering that AVHRR device from NOAA satellite has a low spatial resolution, we propose a new approach to increase spatial resolution of satellite, and evaluate recovered images by the entropic criteria. In our method, we conduct image scaling by using cubic spline and correction of image diffusion after that. Examples are given below.

а результат восстановления иллюстрирует рис. 6, на котором заметно увеличен контраст.



Рис. 6. Увеличенное в  $4 \times 4$  раза и восстановленное изображение AVHRR (участок Новосибирского водохранилища)

Таким образом, используя дополнительную информацию о функции зрачка сканирующего устройства и технологии интерполирования, можно масштабировать спутниковые видеоданные.

1. *Титаренко К.К.* Слияние мультиспектральных изображений в дистанционном зондировании // Мат-лы конф. «Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг – 2011». Донецк: ДонНТУ, 11–13 апреля 2011 г. С. 160–164.
2. *Жуков Б.С., Эртель Д.А.* Метод синтеза многоспектральных данных различного пространственного разрешения // Исслед. Земли из космоса. 1996. № 4. С. 42–50.
3. *Протасов К.Т., Белов В.В., Молчунов Н.В.* Восстановление изображений с предварительным оценением функции рассеяния точки // Оптика атмосф. и океана. 2000. Т. 13, № 2. С. 139–145.
4. *Yakubov V.P.* Increasing the resolution of space images through the reconstruction of point-spread function // Proc. SPIE. 1998. V. 3583. P. 264–269.
5. *Афонин С.В., Белов В.В., Гриднев Ю.В., Протасов К.Т.* Пассивное спутниковое зондирование земной поверхности в оптическом диапазоне длин волн // Оптика атмосф. и океана. 2009. Т. 22, № 10. С. 945–949.
6. *Протасов К.Т., Бусыгин Л.А., Белов В.В.* Метод преобразования гистограмм яркостей и вейвлет-коррекция атмосферных искажений спутниковых изображений // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 2. С. 136–142.