

УДК 629.7

А.О. Макаров, В.В. Старовойтов

УВЕЛИЧЕНИЕ РАЗРЕШЕНИЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЦЕЛЯХ ДЕШИФРИРОВАНИЯ

Предлагается новая методика увеличения разрешения мультиспектральных изображений, которая позволяет восстанавливать мультиспектральные изображения с разрешением выше, чем у панхроматического. Методика состоит из двух основных этапов: восстановления панхроматического изображения алгоритмом сверхразрешения и увеличения разрешения мультиспектрального изображения. Сверхразрешающее восстановление основано на использовании нескольких спектральных изображений для восстановления панхроматического изображения с более высоким разрешением. Алгоритм восстановления является квазиоптимальным по минимуму среднеквадратичной ошибки восстановления изображения.

Введение

Один из широко распространенных подходов к увеличению разрешения мультиспектрального изображения реализуется с использованием информации, содержащейся в панхроматическом изображении (метод fusion). Разрешение результирующих изображений ограничено разрешением панхроматического изображения. Например, спутник Landsat 7 ETM+ обеспечивает разрешение панхроматического изображения 15 м, а мультиспектрального – 30 м. Поэтому разрешение мультиспектрального изображения можно увеличить только в два раза по сравнению с разрешением исходного.

Данная работа предлагает новую методику увеличения разрешения мультиспектральных изображений с разрешением выше, чем у панхроматического изображения. При увеличении разрешения необходимо, чтобы результирующие мультиспектральные изображения видимого диапазона имели минимальное искажение цветовой палитры. Для увеличения разрешения выше разрешения панхроматического изображения необходимо решить две задачи: восстановить панхроматическое изображение методом сверхразрешения и увеличить разрешение мультиспектрального изображения до уровня восстановленного панхроматического изображения. Это можно выполнить разными способами.

Для решения первой задачи можно выполнять восстановление панхроматического изображения с использованием спектральных изображений алгоритмом демозаики [1] или восстановления изображения [2, 3]. Такое решение базируется на квазиоптимальном методе восстановления изображения по минимуму среднеквадратичной ошибки (СКО) и может быть использовано для сверхразрешающего восстановления изображения из нескольких изображений.

Решение второй задачи базируется на увеличении разрешения мультиспектрального изображения методом fusion. В данной работе используются алгоритм увеличения разрешения мультиспектральных изображений на основе цветового пространства HSV [4] и алгоритм увеличения разрешения на основе глобальной линейной регрессии [5]. Они являются алгоритмами точечного типа, их вычислительная сложность минимальна и пропорциональна количеству пикселей в изображении. Алгоритм увеличения разрешения на основе линейной регрессии обеспечивает минимальное искажение цветовой палитры мультиспектрального изображения.

Результат восстановления панхроматического изображения сравнивался мерой структурного подобия (SSIM) с исходным изображением [6]. Качество увеличения разрешения мультиспектральных изображений оценивалось евклидовой нормой разницы гистограмм исходного и результирующего изображений, вычислением СКО разности изображений (СКОРИ), вычислением смещения (разности средних значений пикселей исходного и результирующего изображений), вычислением разности дисперсий исходного и результирующего изображений, корреляцией и стандартным отклонением разницы исходного и результирующего изображений (СОРИ).

1. Метод восстановления изображения

Метод восстановления изображений для увеличения разрешения основан на оптимальном решении интегрального уравнения Фредгольма первого рода, описывающего процесс формирования изображения [7]. Данное решение позволяет восстанавливать изображение в виде непрерывной функции по дискретно зарегистрированным изображениям. Выделенные серым цветом алгоритмы на рис. 1 используются в данной работе.

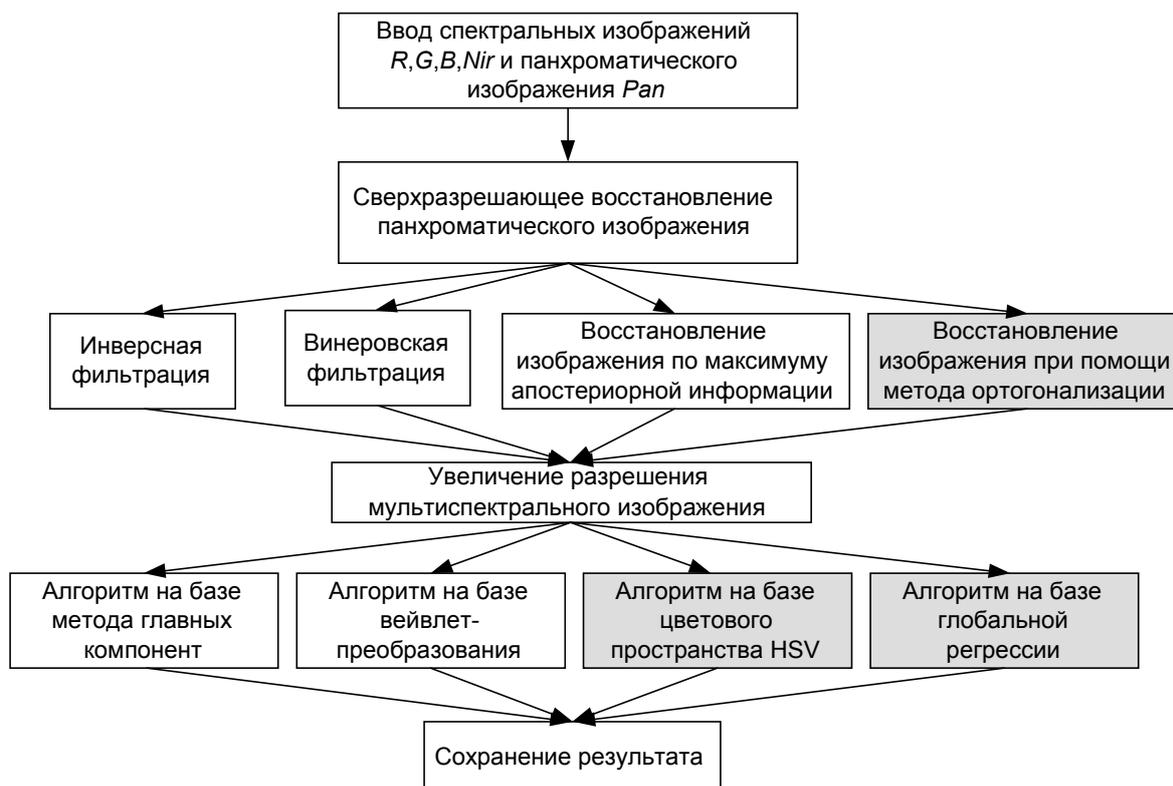


Рис. 1. Схема увеличения разрешения мультиспектрального изображения выше разрешения панхроматического изображения

1.1. Модель формирования изображения

Информация об оптических характеристиках исходного изображения $Z(\xi, \eta, \lambda)$ переносится излучением в оптическую систему, характеризуемую функцией размытия точки (ФРТ) $K(x, y, \xi, \eta, \lambda)$. Оптическая система формирует монохроматическое изображение $f(x, y, \lambda)$ на матричный фотоприемник (МФ) по линейному закону, записанному с учетом длины волны излучения λ как

$$f(x, y, \lambda) = \int_{-S_1}^{S_1} \int_{-S_2}^{S_2} Z(\xi, \eta, \lambda) K(x, y, \xi, \eta, \lambda) d\xi d\eta, \quad (1)$$

где S_1, S_2 – пределы интегрирования; (ξ, η) – координаты точки в плоскости восстанавливаемого изображения $Z(\xi, \eta, \lambda)$; (x, y) – координаты точки в плоскости регистрируемого изображения $f(x, y, \lambda)$. При регистрации нескольких изображений $f(x, y, \lambda_p, p)$, которые отличаются спектральными диапазонами, в выражении, описывающем процесс формирования изображений (1), необходимо положить номера мультиспектральных изображений p из последовательности P

$p = 0, 1, \dots, P$, при этом соответствующая переменная $\lambda_p = \lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_p$ означает длины волн электромагнитного излучения, формирующего обрабатываемые изображения.

Для реальных МФ спектральная функция чувствительности по одному элементу $Sen(x, y, \lambda)$ МФ может иметь неравномерную светочувствительность [8]. В настоящей работе функция полагается известной от производителя либо ее можно измерить.

В реальности исходное изображение является непрерывным и процесс его линейного формирования можно записать при помощи интегрального уравнения Фредгольма первого рода, которое в случае регистрации монохроматического изображения $f(i, j, \lambda_p, p)$ МФ примет вид

$$\int_{-S_1}^{S_1} \int_{-S_2}^{S_2} Z(\xi, \eta, \lambda) K_1(i, j, \xi, \eta, \lambda_p, p) d\xi d\eta = f(i, j, p) + \gamma(i, j, p) = F(i, j, p), \quad (2)$$

$$K_1(i, j, \xi, \eta, \lambda_p, p) = \iint_{A_{i,j}} Sen(x, y, \lambda) K(x, y, \xi, \eta, \lambda, p) dx dy, \quad (3)$$

где $A_{i,j}$ – площадь светочувствительного элемента; $F(i, j, p)$ – электрические сигналы, преобразуемые элементом МФ с номером (i, j) из p -го изображения на длине волны λ_p с погрешностью электрического сигнала (аддитивным шумом) $\gamma(i, j, p)$:

$$F(i, j, p) = \iint_{A_{i,j}} Sen(x, y, \lambda_p) f(x, y, \lambda_p, p) dx dy + \gamma(i, j, p). \quad (4)$$

При этом выражение для ФРТ в уравнении (3) имеет вид

$$K(x, y, \xi, \eta, \lambda, p) = K(x, y, \xi, \eta, \lambda_p). \quad (5)$$

1.2. Решение интегрального уравнения

Решение уравнения (1) является некорректно поставленной задачей. Из теории регуляризации известно, что сколь угодно малые ошибки $\gamma(i, j, p)$ могут приводить к большим отклонениям в решении уравнения. Однако при этом можно построить решение, обладающее регуляризующими свойствами, такое, что приближенное решение стремится к одному из решений (2) при стремлении мощности шума к нулю. Нарушение второго требования корректности (однозначности) требует введения дополнительных условий. Рассмотрим приближенное стабилизированное решение (т. е. решение, устойчивое к малым изменениям в изображении, уклонение решения – монотонно неубывающая функция мощности шума). В случае нарушения второго требования корректности можно вычислять среднее значение по множеству наблюдений квадратических ошибок восстановлений отдельных реализаций случайного исходного изображения, обладающего заранее заданными статистическими свойствами. Тогда решение может быть представлено в виде разложения по произвольной ортонормированной системе базисных функций $\psi_k(\xi, \eta)$:

$$Z(\xi, \eta) = \sum_{k=1}^{\infty} c_k \psi_k(\xi, \eta), |\xi| < S_1, |\eta| < S_2. \quad (6)$$

При этом исходное изображение и шум обладают свойствами взаимной корреляции, как в методе Винера:

$$\langle c_k c_l \rangle = \langle c_k^2 \rangle \delta_{lk} \text{ – объект некоррелирован (выполняется при разложении Карунена – Лоэва);}$$

$$\langle c_k \gamma_l \rangle = 0 \text{ – исходное изображение и шум некоррелированы;}$$

$$\langle \gamma_l \gamma_k \rangle = \gamma_*^2 \delta_{lk} \text{ – шум некоррелирован.}$$

Здесь и далее угловые скобки означают среднее по множеству наблюдений. Однако, по сравнению с методом Винера, основным преимуществом используемого метода восстановления изображений является возможность восстановления и вычисления СКО при малом количестве точек в исходном изображении, что актуально при регистрации изображений МФ [9].

Электрические сигналы $F(i, j, p)$ поступают в блок обработки сигналов, который использует их значения для восстановления непрерывного варианта искомого изображения или сцены $Z^*(\xi, \eta, \lambda)$. Для реализации этой процедуры применяется алгоритм фильтрации [10, 11]. Фильтр восстановления изображений $Q(\xi, \eta, i, j, p, \vec{\beta})$ рассчитывается на основе выражений, приведенных в работе [9], с учетом стабилизирующего векторного параметра $\vec{\beta} = (\beta_1, \beta_2, \dots)$.

Суммирование проводится по всем дискретным значениям изображения $F(i, j, p)$:

$$Z^*(\xi, \eta) = \sum_{i, j, p} F(i, j, p) Q(\xi, \eta, i, j, p, \vec{\beta}). \quad (7)$$

Алгоритм восстановления по нескольким изображениям, отличающимся спектральными диапазонами, требует знания ФРТ (5). Для ее определения может быть применен подход, основанный на анализе изображений и описанный в работе [12]. Вычисление значений ФРТ для систем, формировавших изображения в различных спектральных диапазонах, показало, что различие полуширины ФРТ для видимого и инфракрасного диапазонов составляет менее 20 % от значения ФРТ. Для того чтобы восстанавливаемое изображение имело увеличенный размер по сравнению с исходными изображениями, необходимо применить один из известных способов увеличения (например, интерполяцию).

Алгоритм восстановления изображения строится следующим образом.

Шаг 1. Ввести изображения $F(i, j, p)$ с номерами p ($p = 0, 1, \dots, P$). Увеличить изображения с требуемой кратностью увеличения при помощи бикубической интерполяции. Ввести значения ФРТ $K(x, y, \xi, \eta, \lambda_p, p)$ для каждого из изображений.

Шаг 2. Задать параметры МФ, регистрировавшего изображения: функцию распределения светочувствительности по элементу МФ, фактор заполнения или отношение сигнал/шум.

Шаг 3. Вычислить фильтр $Q(\xi, \eta, i, j, p, \vec{\beta})$, используя выражения (5), (6) из работы [13].

Шаг 4. Восстановить изображение Z^* , используя выражение (7).

2. Увеличение разрешения мультиспектрального изображения

Для решения поставленной задачи можно использовать алгоритм увеличения разрешения мультиспектрального изображения. Одно из основных требований к алгоритму увеличения разрешения – это минимальное искажение цветовой палитры мультиспектрального изображения и низкая вычислительная сложность. Преобразование Броуи [14] и алгоритм увеличения разрешения с использованием цветового пространства HSV [2] – это алгоритмы точечного типа, быстрые и легко применимые для увеличения разрешения изображений с большими размерами. Алгоритмы увеличения разрешения на базе метода главных компонент и вейвлет-преобразования [15] являются алгоритмами глобального и локального типов и имеют высокую вычислительную сложность.

Диапазон чувствительности сенсора панхроматического изображения у спутников, запущенных после 1999 г., расширен на область ближнего инфракрасного цвета. Такое расширение диапазона было сделано, чтобы повысить детализацию и разрешение панхроматического изображения. Однако при этом ранее разработанные алгоритмы увеличения разрешения мультиспектральных изображений методами слияния изображений существенно искажают цветовую палитру [16].

В большинстве комплексов обработки мультиспектральных космоснимков увеличение разрешения выполняется алгоритмами на базе преобразования Броуи, цветового пространства HSV, вейвлет-преобразования и метода главных компонент. Для проведения экспериментов

увеличения разрешения мультиспектральных изображений были выбраны алгоритм на основе цветового пространства HSV и алгоритм увеличения разрешения мультиспектральных изображений на базе глобальной регрессии (ГР). Эти алгоритмы, в отличие от алгоритмов на базе вейвлет-преобразования и метода главных компонент, являются алгоритмами точечного типа и имеют низкую вычислительную сложность.

Алгоритм увеличения разрешения мультиспектрального изображения на базе пространства HSV дает четкую детализацию изображения при значительном искажении цветовой палитры. Этот алгоритм может использоваться для увеличения разрешения мультиспектрального изображения для последующего визуального дешифрирования. Алгоритм увеличения разрешения на базе ГР дает детализацию изображения, сопоставимую с результатом алгоритма на базе HSV, но обеспечивает минимальное искажение цветовой палитры. Алгоритм на базе ГР необходимо использовать для последующего автоматического анализа мультиспектрального изображения с увеличенным разрешением.

3. Экспериментальные результаты

3.1. Восстановление изображения

В экспериментах использовались мультиспектральные изображения видимого диапазона, полученные со спутника Landsat 7 ETM+ в разное время и в разных географических координатах. Так как результаты экспериментов имели схожие результаты, то эксперименты иллюстрируются на одном примере мультиспектрального изображения видимого диапазона, полученного 13 мая 2000 г. над территорией Нидерландов.

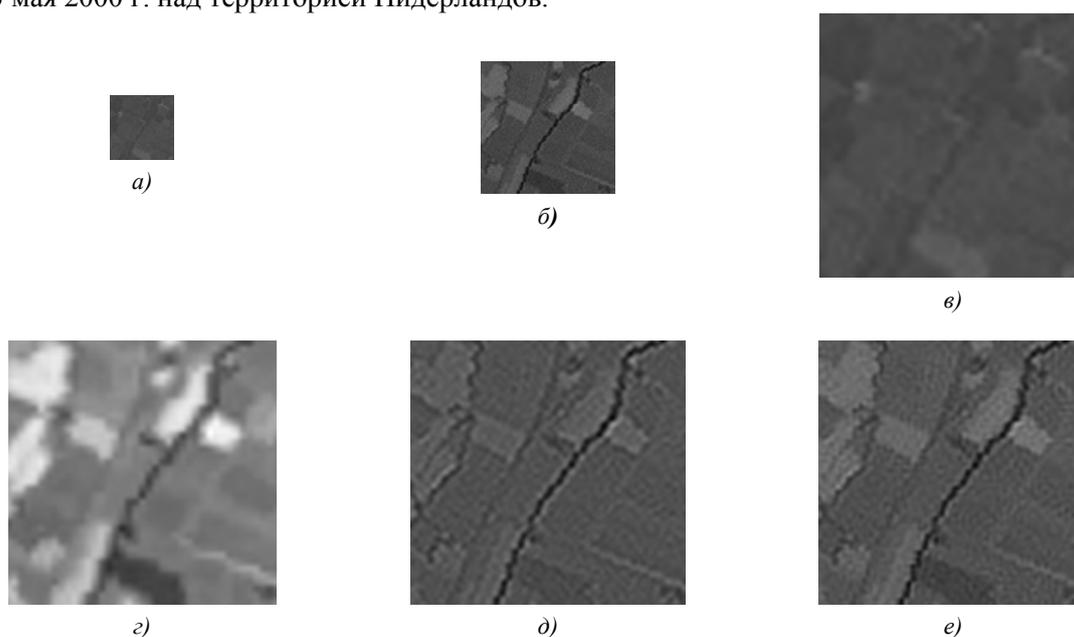


Рис. 2. Пример восстановления изображения из нескольких спектральных изображений: *a)* фрагмент спектрального изображения красного цветового диапазона; *б)* фрагмент пространственно соответствующего панхроматического изображения; *в)* интерполированное спектральное изображение красного цветового диапазона; *г)* восстановленное изображение из трех спектральных изображений видимого спектра и ближнего инфракрасного изображения; *д), е)* восстановленные изображения из спектральных изображений видимого спектра, ближнего инфракрасного

Восстановленное изображение сравнивалось с интерполированным спектральным и интерполированным панхроматическим изображениями с помощью корреляции, СКО, вычисления СКОПИ и SSIM (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение восстановленного панхроматического изображения (рис. 2, *e*) с интерполированным панхроматическим и интерполированными спектральными изображениями

Интерполированное изображение	Корреляция	СКО	СКОРИ	Структурное подобие
Панхроматическое изображение (рис. 2, <i>б</i>)	0,988	18 694	4,15	0,88
<i>R</i> (рис. 2, <i>а</i>)	0,143	42 481	13,33	0,59
<i>G</i>	0,231	52 519	24,19	0,56
<i>B</i>	0,390	40 564	16,76	0,62
<i>Nir</i>	0,949	45 185	11,01	0,60

Восстановленное изображение имеет наибольшую корреляцию с интерполированным изображением ближнего инфракрасного диапазона *Nir*. Это связано с тем, что одно из окон прозрачности земной атмосферы покрывает инфракрасный диапазон. При восстановлении панхроматического изображения необходимо использовать изображение ближнего инфракрасного диапазона.

3.2. Увеличение разрешения

Для оценки результатов увеличения разрешения выполнены визуальный и численный анализ. В экспериментах использовались мультиспектральные изображения видимого диапазона, полученные со спутника Landsat 7 ETM+ (рис. 3). Увеличение разрешения выполнялось с использованием фрагментов мультиспектральных изображений размером 400×400 пикселей и панхроматического изображения размером 800×800 пикселей. Также использовались два варианта восстановленных панхроматических изображений с размерами 1200×1200 (разрешение выше исходного в 1,5 раза) и 1600×1600 пикселей (разрешение выше исходного в 2 раза).

3.2.1. Визуальный анализ. Экспериментальная реализация предложенной методики подтвердила возможность увеличения разрешения мультиспектральных изображений выше разрешения панхроматического. Алгоритм на базе цветового пространства HSV искажил цветовую палитру. Алгоритм на базе глобальной регрессии сохранил цветовую палитру результирующего изображения, но результирующее изображение имеет меньшую четкость по сравнению с алгоритмом на базе цветового пространства HSV. Повышенная детализация, обеспеченная алгоритмом на базе цветового пространства HSV, обусловлена более резкими перепадами яркостей на краях объектов результирующего изображения, чем перепады яркостей на изображении, полученном алгоритмом на базе глобальной регрессии. Оба варианта пригодны для визуального и интерактивного дешифрирования.

3.2.2. Численный анализ. Для оценки качества увеличения разрешения мультиспектральных изображений использовались следующие численные меры:

- евклидова норма гистограмм исходного и результирующего спектральных изображений [5] (идеальное значение равно нулю);
- мера структурного подобия [6] (идеальное значение равно единице);
- СКОРИ (идеальное значение равно нулю);
- смещение [17] (разность средних значений исходного и результирующего изображений, идеальное значение равно нулю);
- разность дисперсий исходного и результирующего изображений [17] (идеальное значение равно нулю);
- корреляция (идеальное значение равно единице);
- СОРИ (идеальное значение равно нулю).

Изображение с увеличенным разрешением уменьшалось до размеров исходного посредством билинейной интерполяции. В табл. 2 и 3 приведены значения перечисленных мер сходства для спектральных изображений *R*, *G*, *B*. Лучшие числовые результаты выделены жирным шрифтом.

Все эксперименты выполнены в среде Матлаб на компьютере с процессором Пентиум-4 3 ГГц.

Численные оценки подтверждают, что алгоритм увеличения разрешения на базе глобальной регрессии минимально искажает спектральные характеристики мультиспектральных изображений, а время его выполнения соизмеримо со временем выполнения алгоритма на базе цветового пространства HSV.

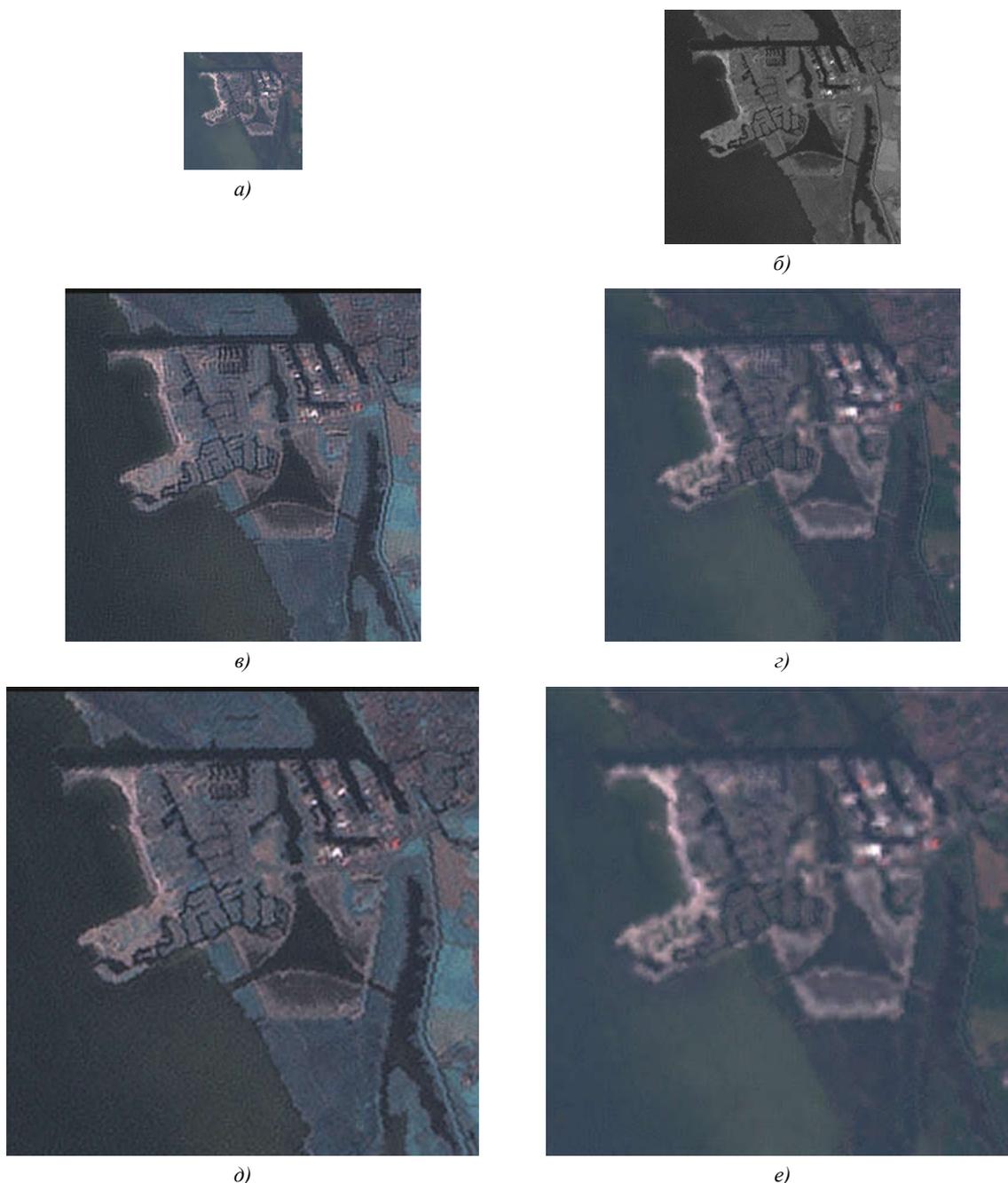


Рис. 3. Увеличение разрешения мультиспектрального изображения разными алгоритмами: *a)* фрагмент исходного мультиспектрального изображения видимого диапазона; *б)* фрагмент панхроматического изображения; *в, д)* фрагменты изображений с увеличенным разрешением, вычисленных алгоритмом на базе цветового пространства HSV; *з, е)* фрагменты изображений с увеличенным разрешением, вычисленных алгоритмом на базе глобальной регрессии. Разрешение изображений *в)* и *з)* в 1,5 раза выше, а изображений *д)* и *е)* в 2 раза выше, чем разрешение панхроматического изображения

Таблица 2

Численная оценка качества увеличения разрешения мультиспектрального изображения. Размер исходного мультиспектрального изображения – 400×400, размер изображения с увеличенным разрешением – 1200×1200

Алгоритм	Евклидова норма гистограмм, R, G, B	Структурное подобие, R, G, B	СКОРИ, R, G, B	Смещение, R, G, B	Разность дисперсий, R, G, B	Корреляция, R, G, B	СОРИ, R, G, B	Время выполнения, с
HSV	162145	0,0019	21578	51,4177	16,3108	0,1198	16,3228	7,078
	162609	0,0014	25116	62,005	9,9031	0,0882	9,91	
	164262	0,0010	29444	73,1967	7,7917	0,0639	7,813	
ГР	3274	0,9649	1192	-0,0002	1,1236	0,9846	2,9817	8,484
	2671	0,9753	744	0,0008	0,5885	0,9831	1,8617	
	4230	0,9685	793	0,0008	0,7407	0,9694	1,9826	

Таблица 3

Численная оценка качества увеличения разрешения мультиспектрального изображения. Размер исходного мультиспектрального изображения – 400×400, размер изображения с увеличенным разрешением – 1600×1600

Алгоритм	Евклидова норма гистограмм, R, G, B	Структурное подобие, R, G, B	СКОРИ, R, G, B	Смещение, R, G, B	Разность дисперсий, R, G, B	Корреляция, R, G, B	СОРИ, R, G, B	Время выполнения, с
HSV	162152	0,0019	21578	51,4178	16,3125	0,11012	16,3232	12,687
	162610	0,0014	25116	62,005	9,9036	0,088917	9,91	
	164330	0,0010	29445	73,1971	7,8051	0,14093	7,8131	
ГР	3372	0,9675	1157	-0,0026	1,1481	0,9857	2,894	14,641
	2785	0,9783	705	-0,0026	0,6179	0,9852	1,7627	
	4604	0,9733	739	-0,0030	0,7766	0,9744	1,8479	

Заключение

Представлена новая методика увеличения разрешения мультиспектральных изображений с минимальным искажением цветовой палитры изображения. Разрешение результирующего мультиспектрального изображения выше разрешения исходного панхроматического. Такое увеличение разрешения выполнено в два этапа: первый – восстановление панхроматического изображения из спектральных изображений методом сверхразрешения, второй – увеличение разрешения мультиспектральных изображений с помощью восстановленного панхроматического изображения.

Восстановление выполняется с помощью спектральных и панхроматического изображений. Разрешение восстановленного панхроматического изображения выше разрешения исходного.

Предложенная методика позволяет увеличивать разрешение мультиспектральных изображений в 1,5–2 раза, по сравнению с разрешением исходного панхроматического изображения, без потери четкости и искажения цветовой палитры.

Список литературы

1. Kimmel, R. Demosaicing: Image reconstruction from color CCD samples / R. Kimmel // IEEE Trans. Image Processing. – 1999. – Vol. 8. – P. 1221–1228.
2. Molina, R. Super resolution reconstruction of multispectral images / R. Molina, J. Mateos, A. Katsaggelos. – Sofia: Heron Press, 2005.
3. Zomet, A. Efficient super-resolution and applications to mosaics / A. Zomet, S. Peleg // Proc. of International Conference on Pattern Recognition. – 2000. – Vol. 1. – P. 579–583.
4. A new look at IHS-like image fusion methods / T. Tu [et al.] // Information Fusion. – 2001. – Vol. 2, № 3. – P. 177–186.
5. Старовойтов, В.В. Алгоритмы регрессионного типа для увеличения разрешения мультиспектральных изображений / В.В. Старовойтов, А.О. Макаров // Информатика. – 2006. – № 3. – С. 15–26.

6. A comparative analysis of image fusion methods / Wang Z. [et al.] // IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing. – 2005. – Vol. 43, № 6. – P. 1391–1402.
7. Довнар, Д.В. Использование ортогонализации изображений базисных функций для регуляризованного восстановления сигнала / Д.В. Довнар, К.Г. Предко // Журн. выч. матем. и математич. физики. – 1986. – Т. 26. – № 7. – С. 981–993.
8. Kavaldiev, D. Influence of nonuniform charge-coupled device pixel response on aperture photometry / D. Kavaldiev, Z. Ninkov // Optical Engineering. – 2001. – Vol. 40, № 2. – P. 162–169.
9. Dovnar, D. The orthogonalization method for error compensation of Wiener filter for spatial discredited images / D. Dovnar, I. Zakharov // Proc. of the Eighth International Conference on Pattern Recognition and Information Processing. – Minsk, 2005. – P. 173–176.
10. Dovnar, D. New concept of image restoring / D. Dovnar, Y. Lebedinsky, I. Zakharov // Proc. IEEE Benelux Signal Processing. – Belgium, 2002. – P. 89–92.
11. Zakharov, I. Super-resolution image restoration from several blurred images formed in various conditions / I. Zakharov, D. Dovnar, Y. Lebedinsky // Proc. of IEEE International Conference on Image Processing. – Barcelona, Spain, 2003. – Vol. 2. – P. 315–318.
12. Reeves, S.J. Blur identification by the method of generalized cross-validation / S.J. Reeves, R.M. Mersereau // IEEE Transactions on Image Processing. – 1992. – Vol. 1, № 6. – P. 119–123.
13. Захаров, И.Л. Алгоритмы восстановления изображений, зарегистрированных матричными фотоприемниками / И.Л. Захаров // Информатика. – 2006. – № 2 (10). – С. 64–72.
14. Zhang, Y. Problems in the fusion of commercial high resolution satellite images as well as Landsat 7 images and initial solutions / Y. Zhang // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2002. – Vol. 34. – Part 4.
15. A comparative analysis of image fusion methods / Wang Z. [et al.] // IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing. – 2005. – Vol. 43, № 6. – P. 1391–1402.
16. Adjustable intensity-hue-saturation and Brovey transform fusion technique for IKONOS/Quickbird imagery / T. Tu [et al.] // Optical Engineering. – 2005. – Vol. 44, № 11. – P. 116201-1–116201-10.
17. Wald, L. Fusion of satellite images of different spatial resolutions: Assessing the quality of resulting images / L. Wald, T. Ranchin, M. Mangolini // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 1997. – Vol. 63, № 6. – P. 691–699.

Поступила 14.03.07

*Объединенный институт проблем
информатики НАН Беларуси,
Минск, Сурганова, 6
e-mail: valerys@newman.bas-net.by*

A.O. Makarau, V.V. Starovoirov

MULTISPECTRAL IMAGE FUSION FOR INTERPRETATION DECIPHERING

This paper presents a new technique for fast fusion of multiresolution satellite images with minimal colour distortion. The technique allows to reconstruct multispectral images with resolution higher than resolution of the panchromatic image. It is based on combination of a super-resolution method for image restoration and an algorithm for image fusion based on global regression.