

**МЕТОДЫ СИНТЕЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ РАЗЛИЧНОГО РАЗРЕШЕНИЯ**

В.Г. Коберниченко, В.А. Тренихин

**METHODS FOR FUSING IMAGES BASED ON DIFFERENT RESOLUTION REMOTE
SENSED DATA.**

V.G. Kobernichenko, V.A. Trenikhin

Аннотация

Приведены аналитический обзор и классификация методов совместной обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), позволяющих синтезировать мультиспектральные изображения низкого разрешения и панхроматические изображения высокого разрешения в цветное изображение высокого разрешения, а также объединять их с радиолокационными изображениями. Обсуждаются особенности количественной оценки характеристик обработанных изображений на основе разработанного теста. Приведены результаты обработки космических изображений различными методами.

Abstract

The article is devoted to describe and classification methods for fusing multispectral low-resolution remote sensed images with a more highly resolved panchromatic image to high-resolution images. The characteristics of image processing quantitative estimation based on extraction method are described. Statistical analyses are demonstrated. The results of image processing carried out by different methods are given.

Введение

Одной из проблем комплексного использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), получаемых различными космическими системами является совместная обработка изображений, сформированных в разных спектральных диапазонах, с различным пространственным разрешением. Такая проблема возникает при обработке данных многоспектральных оптических систем, их объединении с СВЧ радиометрическими и радиолокационными изображениями [1, 2]. Аналогичная проблема существует при совместной обработке данных ДЗЗ, наземных измерений и априорных сведений, представленных в виде тематических слоев цифровых карт [3].

Большинство современных спутниковых систем, ведущих наблюдение за Землей, таких как Landsat, SPOT, IRS, IKONOS, QuickBird и другие, обладают возможностью получения мультиспектральных и панхроматических изображений разного пространственного разрешения (таблица 1).

Разрешающая способность космических систем ДЗЗ оптического диапазона

Космическая система / датчик	Landsat ETM ⁺	SPOT HRGI	IRS PAN/LISS-III	IKONOS	QuickBird BHRC-60	Монитор-Э ПСА/РДСА
Пространственное разрешение (м): панхроматический режим	15	5 (2,5)	5,8	1	0,61	8
мультиспектральный режим	30, 60	10	23	4	2,5	20
Спектральный диапазон панхроматического изображения (мкм)	0.52 - 0.90	0.48 – 0.71	0.50-0.75	0.45 - 0.90	0.45 - 0.90	0,51 – 0,85

Для того чтобы эффективно использовать эти данные, в настоящее время разработано большое количество методов получения синтезированных мультиспектральных изображений с увеличением пространственного разрешения за счет их объединения с панхроматическим изображением высокого разрешения в одном цветном снимке. Эти методы позволяют также объединять в одном цветном изображении данные, полученные в СВЧ диапазоне с помощью космических радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА), и мультиспектральные снимки оптического диапазона. Для обозначения этой процедуры чаще всего применяется термин «слияние изображений» (в англоязычной литературе - *image fusion*, а также *image sharpening*, *resolution merge*) [4, 5, 6].

Использование синтезированных изображений значительно увеличивает возможности тематического дешифрирования. Вместе с тем эта процедура часто приводит к нарушению цветопередачи. Качественные характеристики синтезированного изображения часто зависят от опыта оператора, а их оценка носит субъективный характер. Для уменьшения цветовых искажений и улучшения качества результатов слияния было разработано множество разнообразных стратегий, каждая из которых предназначена для определенного метода слияния или набора исходных данных.

Проблема существенных цветовых искажений в результирующем изображении обострилась с появлением данных ДЗЗ сверхвысокого разрешения. В отличие от панхроматических изображений датчиков КА SPOT и IRS, диапазон длин волн съемочных систем спутников IKONOS, QuickBird и OrbView расширен от видимого в ближнюю инфракрасную область спектра (Таблица 1). Это различие значительно изменяет значения уровней серого таких панхроматических изображений. Поэтому методы обработки, которые хорошо зарекомендовали себя для слияния панхроматических SPOT изображений с другими мультиспектральными данными, не могут дать качественные результаты при слиянии

спутниковых изображений сверхвысокого разрешения [7]. Этот фактор стимулирует необходимость всестороннего анализа многочисленных существующих и разработку новых методов слияния [8, 9, 21].

В настоящей статье рассматриваются основные этапы процедуры «слияния изображений», приведен обзор методов и алгоритмов, лежащих в их основе, предложен способ количественной оценки характеристик обработанных изображений на основе разработанного теста и приведены результаты обработки космических изображений различными методами.

1. Методы слияния изображений

Первый подробный обзор методов синтеза изображений приведен в работе Поля и Ван Жендерена (Pohl C. and Van Genderen J. L., 1998) [10]. В настоящее время разработано большое количество алгоритмов получения синтезированных мультиспектральных изображений с увеличением пространственного разрешения [6, 9-10]. В работах последних лет акцент делается на улучшении качества результирующего изображения и на уменьшении цветовых искажений. Многообразие реализаций метода обеспечивает адаптивность процедуры к решению специфических задач тематического дешифрирования.

При использовании процедуры «слияния изображений» цветное изображение высокого разрешения получается в результате последовательного выполнения следующих этапов:

1. Преобразование мультиспектрального изображения низкого разрешения из базиса красный – зеленый - синий (RGB) в какой-либо трехкоординатный базис, в котором одна из координат эквивалентна распределению яркости и может быть заменена панхроматическим изображением высокого разрешения.

2. Повышение частоты дискретизации преобразованного изображения до частоты дискретизации панхроматического изображения и последующая интерполяция (линейная, бикубическая, по правилу ближайшего соседа и т.д.).

3. Замена яркостной компоненты преобразованного изображения панхроматическим изображением высокого разрешения.

4. Обратное преобразование в базис RGB.

Многочисленные методы слияния различаются видом преобразования спектральных изображений, применяемым на первом этапе процедуры, и, соответственно, способом замены одной из компонент изображением высокого разрешения на третьем этапе, а также алгоритмом интерполяции, используемым на втором этапе. Все многообразие ме-

тодов «слияния изображений» принято классифицировать по видам преобразований следующим образом (Рис. 1). Ниже приводится краткая характеристика этих методов.

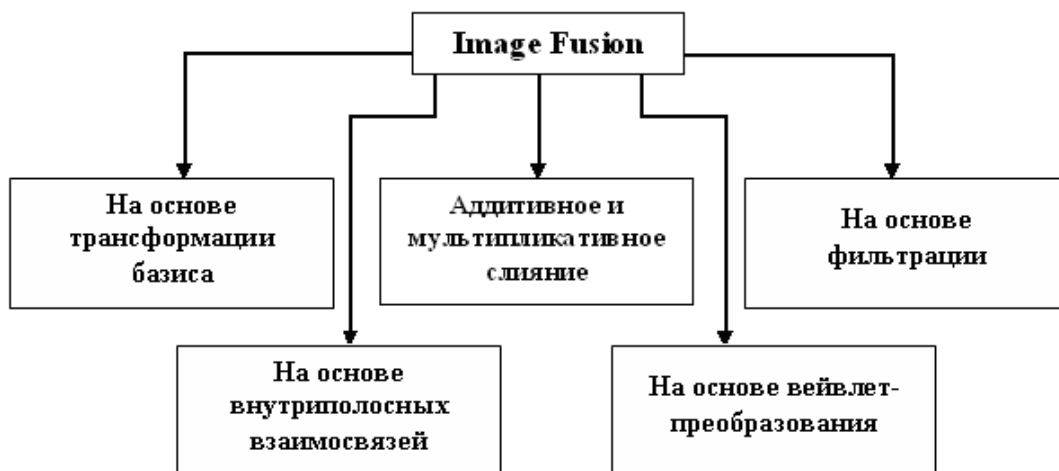


Рис. 1. Классификация методов слияния изображений

1.1. Методы слияния, основанные на трансформации базиса

Метод прямого синтезирования цветного изображения. При использовании этого метода, вместо данных, соответствующих интенсивности одного из цветных каналов изображения низкого разрешения подставляются данные панхроматического канала высокого разрешения (*Pan*). Этот метод наиболее легко реализуем, но при этом дает наибольшее нарушение цветопередачи. Схема формирования изображения по методу прямого синтезирования представлена на Рис.2. Через R, G, B - обозначены интенсивности исходных цветных каналов, а через R^*, G^*, B^* - интенсивности каналов мультиспектрального снимка высокого разрешения [4].

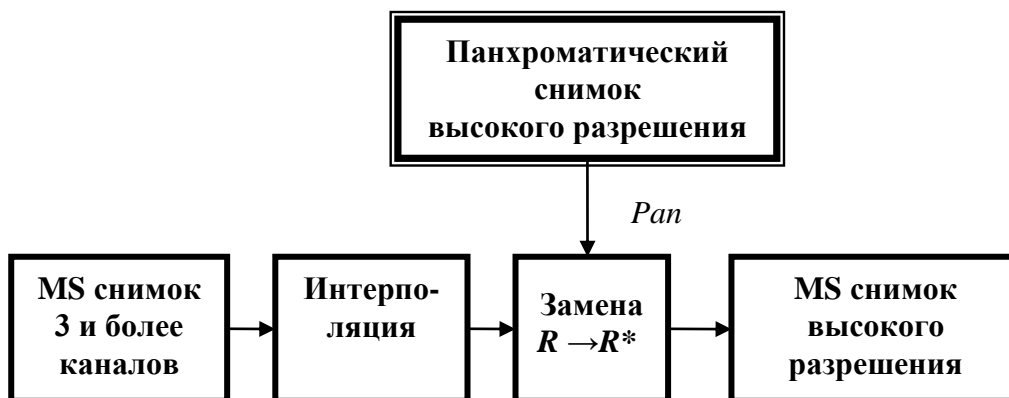


Рис .2. Слияние изображений по методу прямого синтезирования.

Синтезирование на основе метода главных компонент (*PCA - Principal Component Analysis*). Метод главных компонент (ГК) используется для определения статистически независимых производных признаков объектов, выделения и отображения их спектрального контраста [13].

При выполнении преобразования методом главных компонент в n -мерном спектральном пространстве оси координат спектрального пространства поворачиваются так, чтобы новые оси стали параллельны осям эллипсоида рассеяния. Поэтому первая главная компонента соответствует наибольшей оси эллипсоида – направлению наибольшего разброса значений яркости. Вторая главная компонента соответствует наибольшему поперечному сечению эллипса, ортогональному к первой главной компоненте. Она отражает наибольшее значение вариаций в данных, которые еще не охвачены первой главной компонентой. Каждая последующая главная компонента является одним из поперечных сечений эллипсоида рассеяния, ортогональным к предыдущим сечениям (компонентам), и характеризует снижающее значение вариаций в данных, еще не учтенных предыдущими главными компонентами. Поэтому первые из них отражают наибольшую информацию, содержащуюся в преобразованном мультиспектральном изображении.

PCA преобразование конвертирует взаимосвязанные мультиспектральные диапазоны в новый набор некоррелированных компонент [12]:

$$\begin{bmatrix} PC1 \\ PC2 \\ PC3 \end{bmatrix} = W_{pc} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где PCi - матрица i -ой главной компоненты,

W_{pc} - матрица трансформирования,

R, G, B - матрицы значений яркостей пикселей изображения в исходных спектральных каналах.

Первая главная компонента «напоминает» панхроматическое изображение (*Pan*) изображение. Поэтому при слиянии она также замещается данными *Pan* с высокой разрешающей способностью. Это изображение объединяется с данными мультиспектральных каналов с низкой разрешающей способностью путем выполнения обратного *PCA* преобразования [7,9]. Схема синтеза по методу ГК представлена на рис. 3. Основными являются следующие операции: трансформация основного компонента для перевода мультиспектральных данных (с трех и более каналов) в разряд основных компонентов, замена одного основного компонента, обычно первого, панхроматическим изображением высокого разрешения, обратная трансформация главных компонент (вместе с замененными) в режим

исходного снимка. После обратной трансформации получают несколько синтезированных мультиспектральных изображений (поскольку число исходных каналов может быть больше трех).

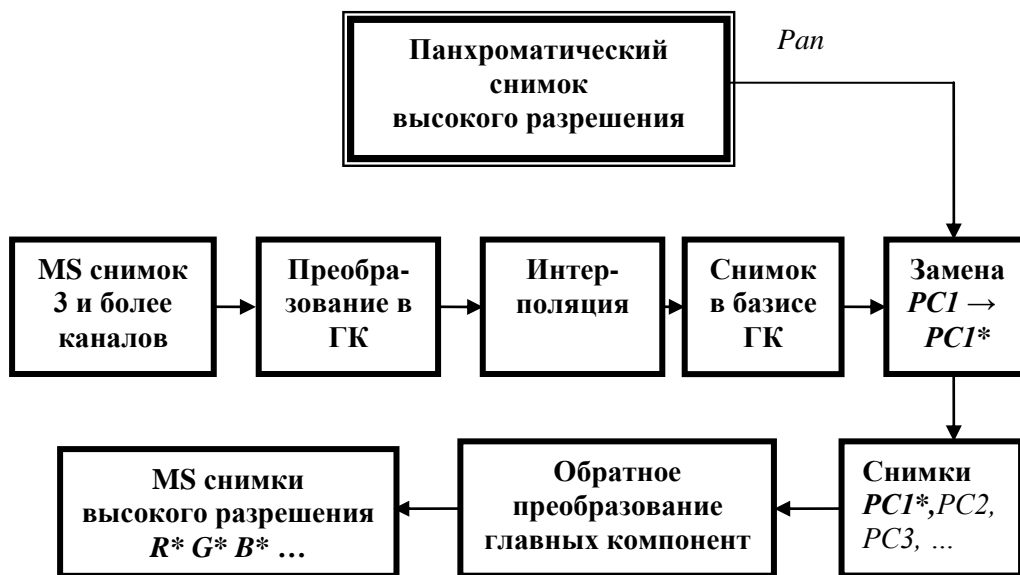


Рис.3. Синтез по методу главных компонент.

Преобразование интенсивность-оттенки-насыщенность – (*Intensity – Hue – Saturation IHS*). При использовании этого метода цветное изображение из *RGB* (Красный, Зеленый, Синий) представления трансформируется в 3 отдельных изображения, каждое из которых имеет максимальные характеристики соответственно интенсивности (*I*), насыщенности (*S*) и оттенков (*H*) цветов. *IHS* - преобразование описывается следующими соотношениями [8, 11, 14]:

$$\begin{aligned}
 I &= R + G + B \\
 S &= 1 - \frac{3 \cdot \min(R, G, B)}{I} \\
 H &= \begin{cases} 2 - \arccos \left\{ \frac{(R-G) + (R-B)}{2\sqrt{(R-G)^2 + (R-G)(G-B)}} \right\} \\ \arccos \left\{ \frac{(R-G) + (R-B)}{2\sqrt{(R-G)^2 + (R-G)(G-B)}} \right\} \end{cases}, B > G \\
 & \hspace{15em}, B \leq G
 \end{aligned} \tag{2}$$

где *I, H, S* - значение яркости пикселя в каналах *интенсивность-оттенки-насыщенность*, *R, G, B* - значение яркости пикселя изображения в исходных спектральных каналах.

Поскольку изображение с максимальной интенсивностью I «похоже» на панхроматическое (Pan) изображение, оно заменяется при слиянии Pan - изображением с высокой разрешающей способностью. Затем выполняется обратное IHS преобразование Pan изображения совместно с изображениями H и S , получая в результате RGB изображение.

Схема синтеза по методу IHS представлена на рис. 4. Основными являются следующие операции: трансформация цветного изображения из режима RGB в режим IHS , замена компоненты I (интенсивность) панхроматическим изображением высокого разрешения, обратная трансформация замененных компонентов из режима IHS в исходный режим RGB для получения синтезированного изображения высокого разрешения.

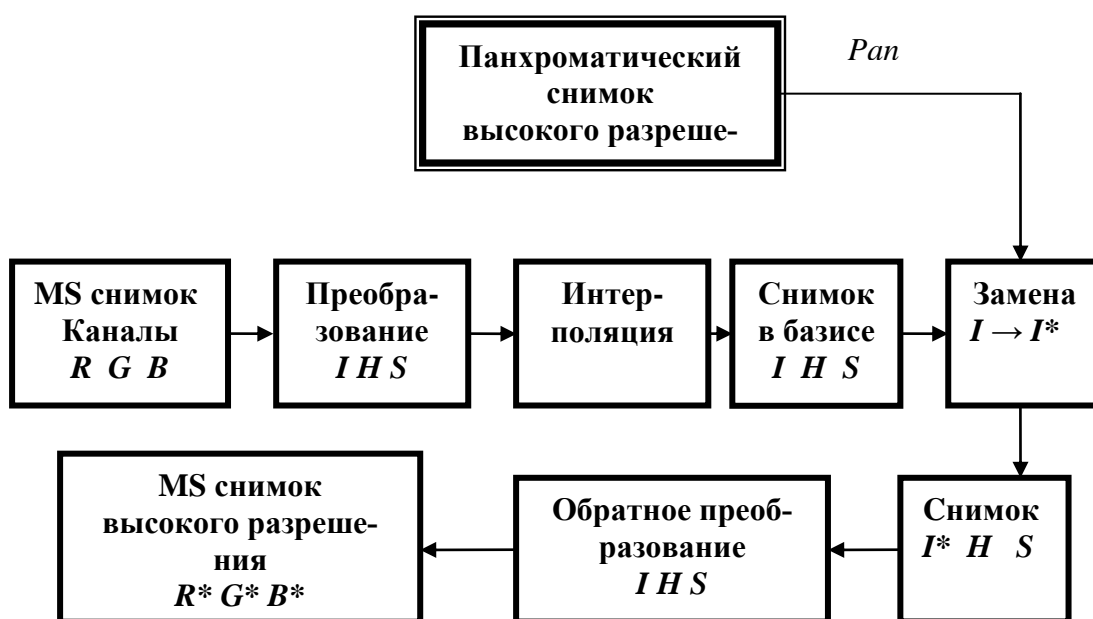


Рис 4. Синтез по методу IHS

1.2. Аддитивное и мультипликативное слияние

Для слияния изображений были разработаны различные методы, основанные на аддитивных и мультипликативных преобразованиях исходных изображений: модуляция интенсивности, преобразование Брови (Brovey Transform), расчет комплексного переменного коэффициента (SVR), расчет усовершенствованного коэффициента (RE) и др. При этом, как и в вышеописанных методах, основанных на трансформации базиса, должна осуществляться процедура повышения количества отсчетов векторов данных мультиспектральных каналов R , G , B до уровня количества отсчетов вектора данных панхроматического изображения P . После повышения частоты дискретизации, проводится интерполя-

ция значений получившихся отсчетов одним из уже упомянутых способов [8]. Остановимся на двух первых методах.

Модуляция интенсивности. Этот метод является одним из наиболее простых. Он основывается только на визуальном восприятии и не касается физических свойств полученных изображений. Основная идея метода заключается в умножении панхроматического изображения на мультиспектральное изображение низкого разрешения, нахождении среднего геометрического и подборе опытным путем масштабирующих коэффициентов a_i и параметров сдвига b_i для улучшения визуальных характеристик. Для трансформации применяются следующие преобразования значений интенсивностей пикселей мультиспектральных и панхроматического каналов [15]:

$$\begin{aligned}R^* &= a_R + b_R \sqrt{P \cdot R} \\G^* &= a_G + b_G \sqrt{P \cdot G} \\B^* &= a_B + b_B \sqrt{P \cdot B}\end{aligned}\tag{3}$$

Brovey - слияние. Основная процедура метода *Brovey Transform* заключается в том, что сначала каждый диапазон мультиспектрального изображения низкого разрешения умножают на диапазон панхроматического изображения с высоким разрешением, а затем каждое полученное произведение делится на сумму диапазонов мультиспектрального снимка.

Для трансформации применяются следующие соотношения [18]:

$$\begin{aligned}R^* &= \frac{R}{(R + G + B)} \cdot P \\G^* &= \frac{G}{(R + G + B)} \cdot P \\B^* &= \frac{B}{(R + G + B)} \cdot P\end{aligned}\tag{4}$$

Метод *Brovey Transform* был разработан для повышения визуального контраста в нижних и верхних частях гистограммы (т.е. позволяет обеспечить контраст в тени, водных поверхностях и в областях с высокой отражательной способностью). Поэтому этот метод не пригоден для сохранения высоких радиометрических характеристик исходного изображения.

Методы вычисления коэффициентов SVR и RE включают более сложные вычисления сумм мультиспектральных диапазонов для получения лучшего качества результирующего изображения.

1.3. Слияние на основе фильтрации

При использовании этого метода повышение разрешения осуществляется за счет переноса высокочастотных составляющих панхроматического изображения на мультиспектральное изображение. Преобразование осуществляется в соответствии со следующим алгоритмом [16]:

$$\begin{aligned} R^* &= FT^{-1} \{ LPF \{ FT(R) \} \} \cup \{ HPF \{ FT(P) \} \} \\ G^* &= FT^{-1} \{ LPF \{ FT(G) \} \} \cup \{ HPF \{ FT(P) \} \} \\ B^* &= FT^{-1} \{ LPF \{ FT(B) \} \} \cup \{ HPF \{ FT(P) \} \} \end{aligned} \quad (5)$$

где LPF - *low-pass filter* – низкочастотная фильтрация, HPF - *high-pass filter* – высокочастотная фильтрация, FT - прямое двумерное преобразование Фурье, FT^{-1} - обратное двумерное преобразование Фурье.

1.4. Слияние на основе внутриволосных взаимодействий

Преобразование Грамма – Шмидта (Gram-Schmidt Transformation). Процедура разработана для получения ортогональных каналов из каналов с известной корреляцией [4,5,6]. В частности, для данных трех каналов R , G и B , с известной корреляцией

$$\rho_{RG} = E[R,G], \quad \rho_{GB} = E[G,B], \quad \rho_{RB} = E[R,B]$$

на первом шаге процедуры получают два вектора v_G^R, v_B^R ортогональных R , однако коррелированные между собой:

$$\begin{bmatrix} v_G^R \\ v_B^R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -q_G^R & 1 & 0 \\ -q_B^R & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где $q_j^R = \rho_{Rj} / \rho_{RR}$, $j = G, B$.

Вторым шагом следует преобразование

$$v_B^G = v_B^R - \frac{E[v_B^R v_G^R]}{E[v_G^R]^2} \cdot v_G^R. \quad (7)$$

В результате получают три ортогональных вектора R, v_G^R, v_B^G , один из которых замещается данными канала с высокой разрешающей способностью P и производится обратное преобразование.

Регрессивное слияние. Вследствие высокой корреляции мультиспектрального и панхроматического изображений метод регрессивного слияния [17] позволяет рассчитать параметр сдвига и масштабирующий коэффициент, а затем вычислить

$$\begin{aligned} R^* &= a_R + b_R P, \\ G^* &= a_G + b_G P, \\ B^* &= a_B + b_B P. \end{aligned} \quad (8)$$

Отличие этого метода от метода модуляции интенсивности заключается в том, что параметры a_i и b_i определяются из условий корреляции изображений, а не требуемой наглядности. Этот метод не пригоден для снимков инфракрасного диапазона, так как в этом случае слаба корреляция мультиспектрального и панхроматического изображений.

1.5. Слияние на основе на вейвлет - преобразований

Слияние изображений на основе вейвлет – преобразований (*Wavelet Transformation*) осуществляется следующим образом (Рис 5).

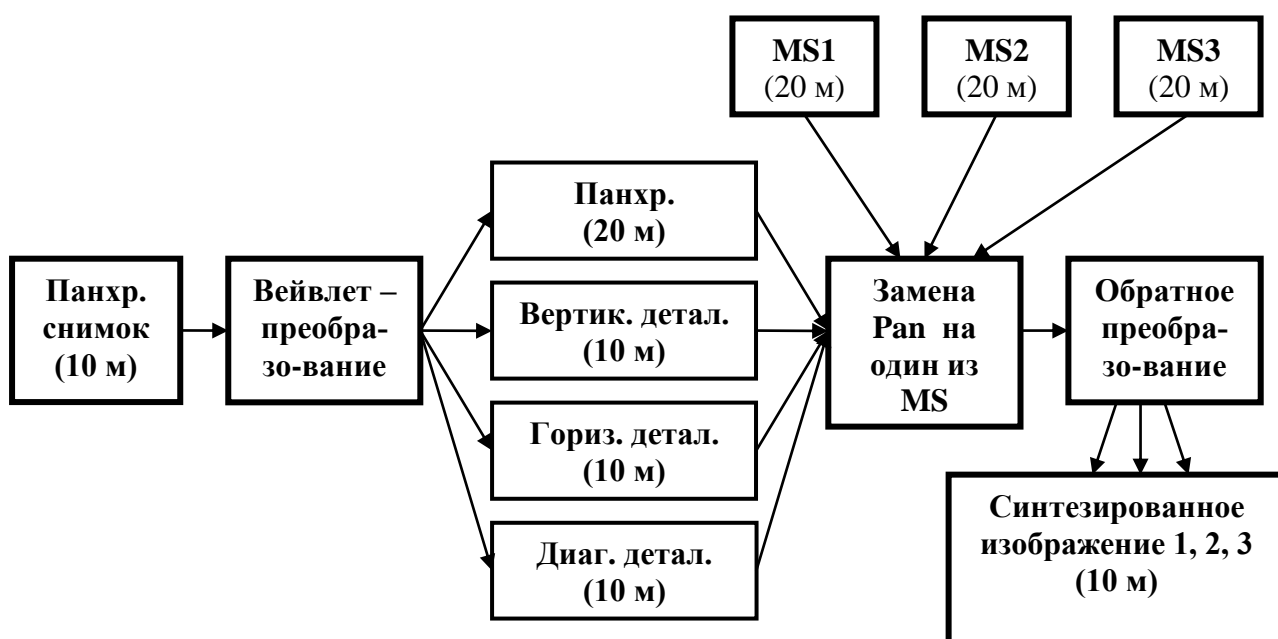


Рис. 5. Схема синтеза на базе метода вейвлет - преобразования.

Панхроматическое изображение высокого разрешения раскладывается на панхроматические изображения низкого разрешения и детализирующие коэффициенты. Затем панхроматическое изображение низкого разрешения заменяется мультиспектральным изображением с таким же разрешением. Выполняется обратное преобразование для перевода составных и замененных частей панхроматического изображения к исходному уровню разрешения панхроматического изображения. Замена и обратная трансформация про-

водятся три раза, по одному разу на одно мультиспектральное изображение. Таким образом, пространственные детали с высоким разрешением вводятся в каждый мультиспектральный (MS) диапазон посредством выполнения обратного wavelet-преобразования для каждого MS диапазона совместно с соответствующими вейвлет-коэффициентами [14,18,19,20].

Среди всего многообразия методов преобразования изображений наибольшее распространение получили:

- преобразование интенсивность-оттенки-насыщенность;
- метод главных компонент;
- метод арифметических комбинаций на основе преобразования Бруви;
- преобразование Грамма-Шмидта;
- вейвлет-преобразование.

2. Программные комплексы, реализующие процедуру слияния изображений

В наиболее распространенных программных комплексах (ПК) обработки данных ДЗЗ, таких как ENVI, PCI Geomatica, ERDAS, ScanEx Image Processor и др. реализованы различные методы слияния изображений.

В ПК ENVI 4.2 используются 5 алгоритмов (обозначенных как **Transforms-Image Sharpening**): IHS, Color Normalized (Brovey), Gram-Schmidt Transform, PCA и CN Spectral.

В базовой поставке ПК ERDAS реализовано 3 разновидности таких алгоритмов (PC, Multiplicative и Brovey Transform).

В программном комплексе ScanEx Image Processor реализован алгоритм, основанный на сочетании метода главных компонент и метода вейвлет-преобразования.

В отличие от ПК ENVI, позволяющем выбрать технологию для обработки, в PCI Geomatica 10.0 в специальном модуле PANSHARP используется новая технология слияния изображений на основе статистических методов, имеющая два принципиальных отличия [22]:

- для уменьшения цветовых искажений используется метод наименьших квадратов при нахождении наилучшего соответствия между значениями уровней серого диапазонов синтезируемых изображений и при регулировании вклада каждого отдельного диапазона в результирующее изображение;
- для устранения зависимости от набора исходных данных (то есть для уменьшения влияния изменений исходных данных) и для автоматизации процесса слияния используется статистический подход к оценке отношения значений уровней серого между всеми входящими каналами.

3. Исследование методов

В настоящей работе сравнение существующих вариантов реализации метода слияния, реализованных в различных программных комплексах обработки данных ДЗЗ, осуществлялось путем анализа характеристик разрешения и искажения цветопередачи (визуальным методом и методом диаграмм сечений). Исследования проводились как на основе обработки специальных тестовых изображений, так и путем обработки реальных космических снимков.

3.1. Анализ тестовых изображений

Для получения тестовых изображений использовался разработанный авторами программный модуль, позволяющий сформировать изображение для панхроматического и заданного числа спектрзональных каналов. Структура тестового изображения для всех каналов одинакова и включает следующие элементы (рис. 6):

- a. Одинарные и двойные блестящие точки с увеличивающимся расстоянием между ними на 1, 2, 3, 4, ... пикселей для одинарных точек и на; 2, 4, 6, 8, ... пикселей для двойных точек (аналог миры).
- b. Четыре блестящие точки с изменением яркости при удалении по закону $\left| \frac{\sin(x)}{x} \right|$ и расположенные друг от друга на расстоянии 3, 4 и 9 длин элемента разрешения.
- c. Область с равномерно изменяющейся яркостью.
- d. Область с яркостью, изменяющейся по ступенчатому закону и равными расстояниями между границами.
- e. Область с яркостью, изменяющейся по ступенчатому закону и равномерно увеличивающимися расстояниями между границами
- f. Области с сужающимися границами

Взаимосвязь интенсивностей тестовых изображений в «панхроматическом» и «спектрзональных» каналах устанавливается либо пользователем, либо автоматически в соответствии со спектральными характеристиками отражений типовых поверхностей (вода, снег, растительность, почвы и т.п.) и с учетом значений коэффициента передачи съёмочной аппаратуры. Первоначально сформированные тестовые изображения «панхроматического» и «спектрзональных» каналов имеют одинаковое разрешение. Для проведения исследований по слиянию изображений разрешение «спектрзональных» каналов понижается, путем проведения прямого вейвлет-преобразования, а затем обратного с удалением детализирующих коэффициентов. Для проведения прямого и обратного вейвлет-преобразований в программном модуле использованы два типа вейвлетов: Хаара и Добе-

ши - 4. Такая структура теста позволяет определять параметры пространственного разрешения и проводить количественный анализ нарушения цветопередачи.

Обработка изображений осуществлялась в ПК ENVI 4.2 с использованием алгоритмов *IHS*, *Color Normalized (Brovey)*, *Gram-Schmidt Transform*, *PCA*, а также в ПК в *PCI Geomatica 10.0*.

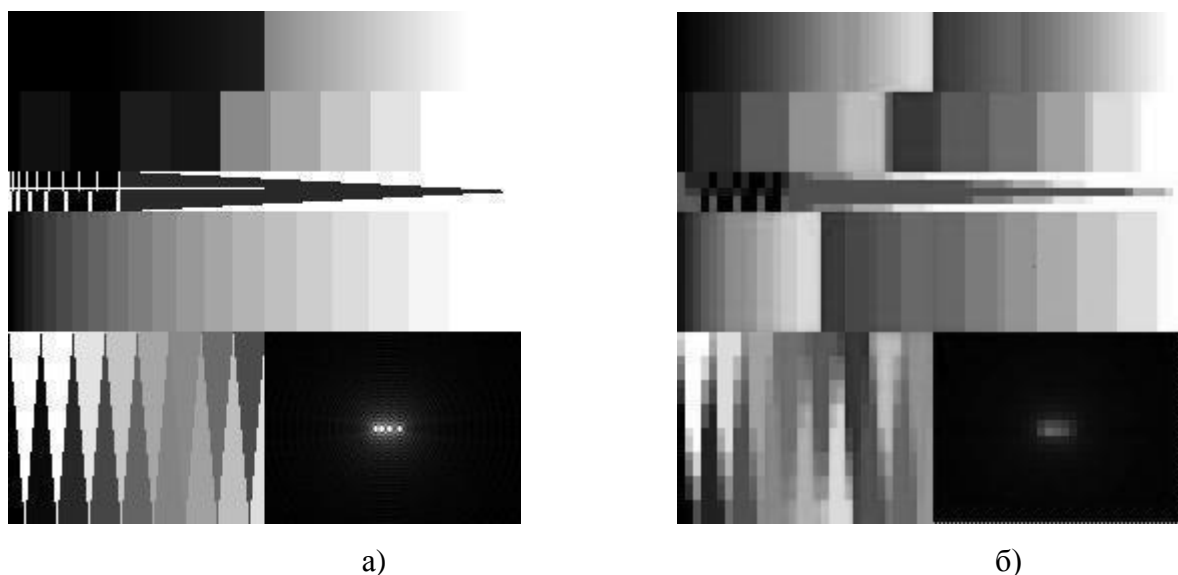


Рисунок 6. Тестовое изображение: а) «панхроматический» канал, б) «спектрозональный» канал с разрешением в 4 раза ниже исходного.

Для оценки разрешения снимков до и после процедуры слияния проводился анализ среза тестового изображения. Срез представляет собой график зависимости яркости пикселя от расстояния вдоль линии сечения. На рисунке 7 приведены срезы изображения вдоль прямой, изображенной на рисунке 6, а светлой линией для «панхроматического», трех спектрозональных R, G, B каналов с разрешением в 4 раза меньше «панхроматического» изображения и синтезированного методом Грамма – Шмидта цветного изображения высокого разрешения.

Исследования показали, что для всех методов удастся полностью восстановить изображение блестящих точек с увеличивающимся расстоянием по двум законам и четырех блестящих точек с изменением яркости при удалении по закону $\left| \frac{\sin(x)}{x} \right|$. При анализе возможностей восстановления границы производился подсчет среднего числа пикселей, относящихся к границе раздела областей. Результаты сведены в Таблице 2.

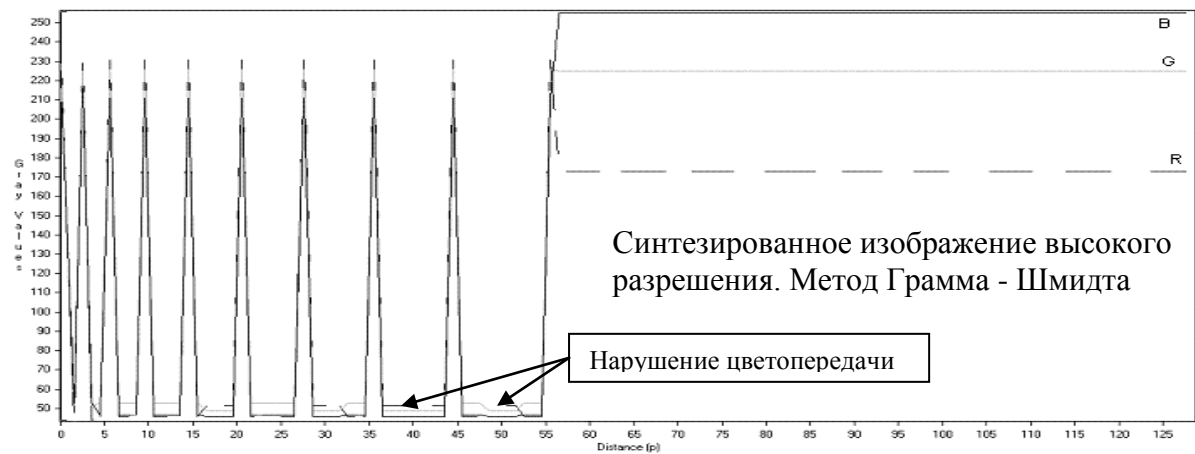
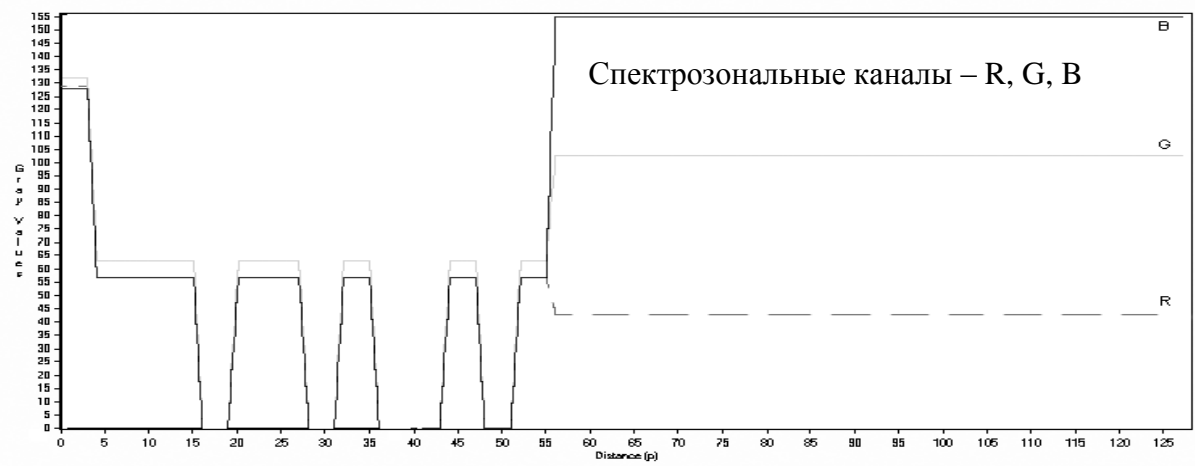
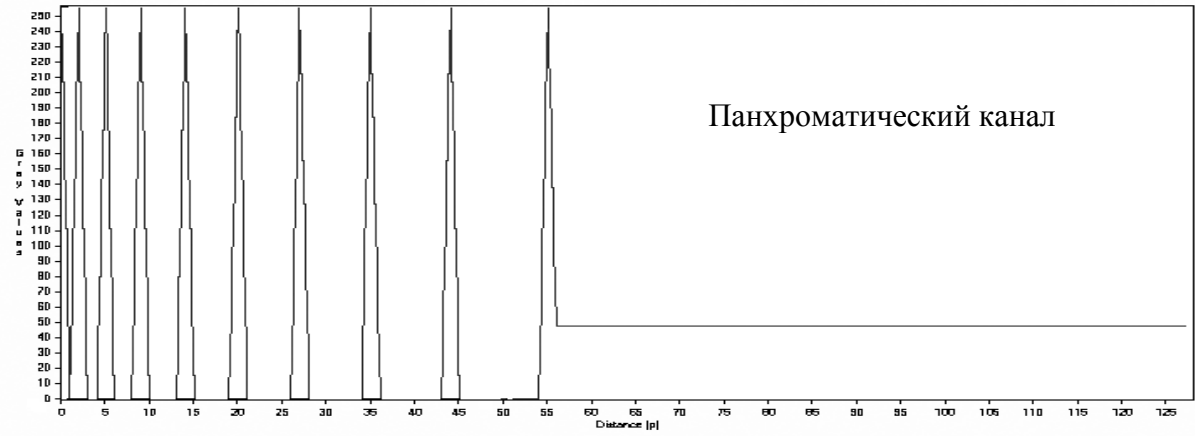


Рисунок 7. Срезы тестового изображения

Таблица 2. Размытие границ однородных областей теста (в пикселах).

Разрешение MS-изображения по отношению к панхром.	MS – изображ.	Синтезированное изображение			
		HSV	Brovey	GS	PC
0,5	2	1	1	1	1
0,25	4	2	2	3	3

О нарушении цветопередачи можно судить по уровню графика сечения между пиками, соответствующими изображению ярких полос на рисунке 7в. Анализ характеристик нарушения цветопередачи выявил, что все описанные методы вносят искажения. Однако области, относящиеся к одному типу природных образований, однозначно различаются по цвету, что позволяет успешно проводить процедуру тематического дешифрирования по синтезированному цветному изображению высокого разрешения.

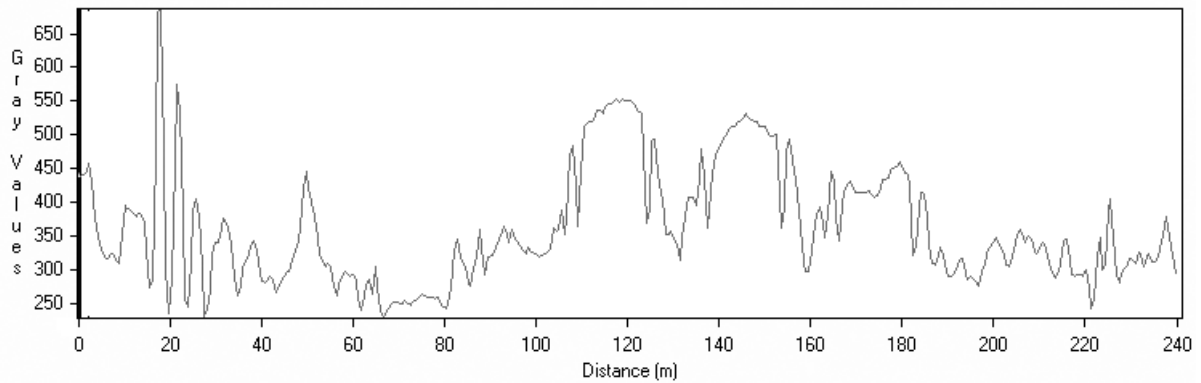
3.2. Результаты обработки космических снимков

При анализе алгоритмов слияния использовался фрагмент изображения промышленной зоны, полученного спутником QuickBird в панхроматическом и трех спектральных каналах (рис. 8). Для оценки разрешения снимков до и после процедуры обработки, как и в случае тестовых изображений, проводился анализ диаграмм среза приведенных на рис. 9. Срез изображения производился вдоль прямой, пересекающей изображения зданий, дорог и технических сооружений разных размеров.

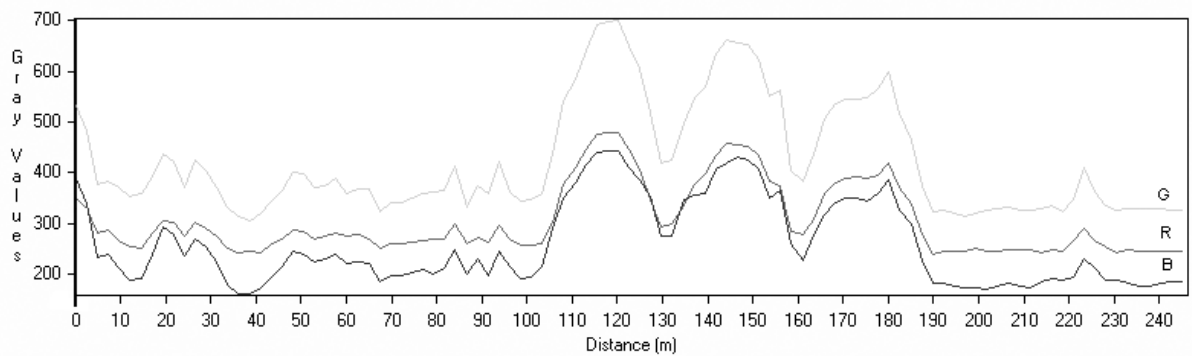


Рис.8. Фрагмент космического снимка QuickBird.
Панхроматический канал.

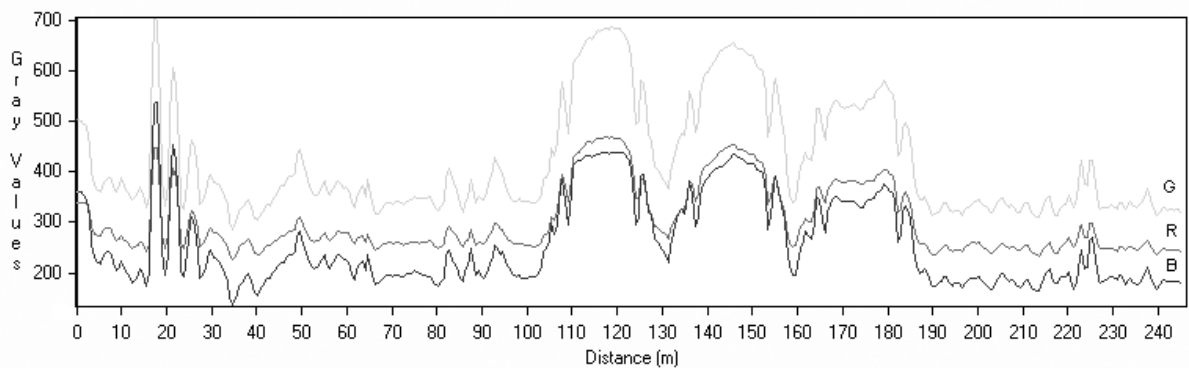
Отчетливо видно, что в синтезированном цветном изображении, в отличие от исходного спектрального, разрешаются три элемента промышленного сооружения в районе отметки 20 м и элементы трех блоков в районе отметок 120 м, 140 м и 180 м.



а). Панхроматический канал (разрешение 0,61 м) б).



б). Красный R, синий B и зеленый G каналы (разрешение 2,4 м)



в). Синтезированное изображение высокого разрешения. Красный, синий и зеленый каналы.

Рис. 9. Сечение фрагмента космического снимка до (а, б) и после (в) обработки методом слияния изображений.

В результате обработки реальных изображений было выявлено, что все исследованные методы позволяют решать задачу повышения пространственного разрешения, однако, все они в большей или меньшей степени вносят искажения цветопередачи. Наименьшее искажение наблюдалось при использовании методов Color Normalized (Brovey) и HNS-слияния. В этих случаях нарушение цветопередачи не вызывало переход пикселей из одного класса объектов в другой. Таким образом, при решении задачи классификации эти методы не вносят дополнительной ошибки. Синтезирование изображения при помощи метода Color Normalized (Brovey) позволило получить изображения наиболее близкие к исходным мультиспектральным изображениям, что выделяет этот метод на фоне остальных при необходимости решения задач кластеризации.

При синтезе изображений с использованием методов Грамма-Шмидта и главных компонент было установлено, что в ряде случаев после обработки наблюдается некоторое отличие в цвете для пикселей, которые до обработки в цвете не различались.

Не смотря на то, что метод Color Normalized (Brovey) продемонстрировал наилучшую цветопередачу, необходимо отметить, что результаты обработки сильно зависят от сочетания синтезируемых каналов, а значит, опыт оператора будет играть наибольшую роль при его использовании. В случае применения алгоритма HNS-слияния следует обращать внимание, что этот метод хоть и не приводит к нарушению цветопередачи внутри класса, но вызывает искажение в передаче цвета объектов различных классов и может применяться для решения задач классификации лишь с существенными ограничениями. Для синтезирования с использованием метода главных компонент следует отметить, что изображения, полученные при помощи этого метода, зачастую обладают слабыми цветами и несут значительно меньше цветовой информации по сравнению с исходными мультиспектральными снимками. Это связано с тем, что панхроматическим изображением заменяется главная компонента, которая обладает наибольшей информацией и, следовательно, в синтезированном изображении преобладают характеристики панхроматического снимка.

Заключение

В настоящей статье приведены классификация и краткий обзор методов и алгоритмов обработки данных ДЗЗ, лежащих в основе процедуры «слияния изображений», позволяющей синтезировать цветные изображения высокого разрешения на основе объединения данных мультиспектральных и панхроматического каналов различного разрешения, а также объединять их с радиолокационными изображениями. Предложен способ сравнения методов «слияния изображений» на основе анализа диаграмм сечений специального тестового изображения.

Результаты обработки тестовых изображений и фрагментов реальных космических снимков позволили определить методы, обеспечивающие повышение разрешения синтезированного изображения и вносящие наименьшее искажение цветопередачи. Наилучшим по этим показателям оказался метод Color Normalized (Brovey), за ним следуют метод IHS, метод Грамма-Шмидта и метод главных компонент.

В результате исследований было выявлено, что независимо от метода наблюдается нарушение цветопередачи итогового изображения. Эти искажения при решении многих задач могут быть оставлены без внимания, а там где цветопередача играет существенную роль необходимо использование дополнительных алгоритмов обработки. Несмотря на это, метод «слияния изображений» является гибким и удобным инструментом предварительной обработки данных ДЗЗ при тематическом дешифрировании изображений.

Благодарности

Авторы выражают благодарность Уральскому региональному производственному центру геоинформации «Уралгеоинформ» за предоставленную возможность работать с фрагментами космических снимков и программным обеспечением.

Список литературы

1. Ермаков Д.М., Смирнов М.Т. Проблемы совмещения данных спутниковых оптических и СВЧ сканеров для их комплексного анализа //Иssl. Земли из космоса, 2001. №2, с.45-54.
2. Weydahl, D.J., Becquey, X., Tollefsen, T. Combining ERS-1 SAR with optical satellite data over urban areas// Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1995, v. 3, pp. 2161-2163.
3. Ермаков Д.М., Смирнов М.Т. Комплексное использование разнотипных данных в задачах дистанционного зондирования океана //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Сборник научных статей, М.: Полиграф сервис, 2005, с. 93-97.
4. Chavez, P.S. Jr., Sides, S.C. and Anderson, J.A. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic //Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1991, vol. 57 (3), pp.295-303.
5. Vald Lucien. Data Fusion: Definitions and Architectures. Les Presses de l'Ecole des Mines, Paris, 2002.
6. Ranchin, T., Aiazzi, B., Alparone, L., Baronti, S., and Wald, L. Image fusion – the ARSIS concept and some successful implementation schemes // ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2003, v. 58, Issues 1-2, June, pp. 4 - 18.
7. Zhang, Y. Problems in the fusion of commercial high-resolution satellite as well as Landsat 7 images and initial solutions. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS), Vol. 34, Part 4, "GeoSpatial Theory, Processing and Applications", Ottawa, 2002.
8. Zhang, Y. A new merging method and its spectral and spatial effects // International Journal of Remote Sensing, 1999, vol. 20, pp. 2003-2014.
9. Chena, C.M., Hepnerb, G.F., and Forsterb R.R. Fusion of hyperspectral and radar data using the HIS transformation to enhance urban surface features // ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2003, v. 58, pp. 19-30.

10. Pohl, C. and Van Genderen, J. L. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications // *International Journal of Remote Sensing*, 1998, Vol. 19, pp. 823-854.
11. Pellemans, A.H., Jordans, R.W., Allewijn, R. Merging multispectral and Panchromatic SPOT images with respect to the radiometric properties of the sensor // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1993, vol. 59, No. 1, pp. 81-87.
12. Shettigara, V.K. A generalized component substitution technique for spatial enhancement of multispectral images using a higher resolution data set // *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, 1992, vol. 58, No. 5, pp. 561-567.
13. Лурье И.К., Косиков А.Г. Теория и практика цифровой обработки изображений / Дистанционное зондирование и географические информационные системы. Под ред. А.М. Берлянта. – М.: Научный мир, 2003. – 168 с.
14. Chibani, Y., Houacine, A. The joint use of HIS transform and redundant wavelet decomposition for using multispectral and panchromatic images // *International Journal of Remote Sensing*, 2002, vol. 23, No.18, pp. 3821-3833.
15. Cliché, G., Bonn, F. Integration of the SPOT panchromatic channel into multispectral mode for image sharpness enhancement // *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, 1985, vol. 51, No. 3, pp. 811-816.
16. Schowengerdt, R. A. Remote sensing models and methods for image processing. Academic Press, 1997, 522 p.
17. Price, J.C. Combining multispectral data of different spatial resolution // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1999, vol. 37, No. 3, pp. 1199-1203.
18. Zhou, J., Civco, D.L. and Silander, J.A. A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data // *International Journal of Remote Sensing*, vol. 19, 1998, N 4, pp. 743-757.
19. Ishita De, Bhabatosh Chanda. A simple and efficient algorithm for multifocus image fusion using morphological wavelets// *Signal Processing*, 2006, No 86, pp. 924-936.
20. Din-Chang Tseng, Yi-Ling Chen, and Michael S. C. Liu. Wavelet-based Multispectral Image Fusion// *IGARSS 2001*
21. Kundur, D. and Hatzinakos, D. Toward Robust Logo Watermarking Using Multiresolution Image Fusion Principles// *IEEE Transactions on multimedia* //2004, vol. 6, No. 1, pp. 17-34.
22. Geomatica Focus, User Guide, Version 10.0

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Коберниченко Виктор Григорьевич, кандидат технических наук (1975), доцент (1980), заведующий кафедрой теоретических основ радиотехники Уральского государственного технического университета - УПИ. Автор более 100 научных работ. Область научных интересов – радиолокационные системы с синтезированной апертурой, цифровая обработка сигналов, обработка информации в системах дистанционного зондирования Земли.

Тренихин Владимир Александрович, аспирант Уральского государственного технического университета – УПИ по кафедре теоретических основ радиотехники, автор 5 научных работ. Область научных интересов – обработка информации в системах дистанционного зондирования Земли.