

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ СЛИЯНИЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Аннотация. Работа посвящена исследованию эффективности методов слияния фотограмметрических изображений. Выполнена реализация известных методов слияния (HSV, Color Normalized Brovey, Gram-Schmidt, PC Spectral Sharpening) и получены количественные и качественные сравнительные характеристики методов. Даны рекомендации по выбору наиболее эффективного метода слияния с учетом физических свойств спутникового сенсора.

Ключевые слова: фотограмметрия, методы слияния, панхроматические изображения, мультиспектральные изображения, индекс качества изображения.

Постановка проблемы. Интерес к методам обработки изображений возникает из двух основных областей ее применения, которыми является повышение качества изображений для улучшения ее визуального восприятия человеком и дальнейшего тематического анализа и обработки изображений для их хранения и передачи. Актуальной областью научных исследований в настоящее время является обработка панхроматических (Pan) и мультиспектральных (Mul) изображений, которые получают при дистанционном зондировании Земли (ДЗЗ). Данные ДЗЗ являются эффективным инструментом, позволяющим оперативно и детально исследовать состояние окружающей среды, использование природных ресурсов и получать объективную картину мира. Панхроматические снимки - это снимки в градациях серого, обладающие более высоким пространственным разрешением. Они подходят для решения топографических задач и уточнения границ объектов. Мультиспектральные снимки содержат, как правило, четыре спектральных канала: красный, зеленый, синий (видимые) и ближний инфракрасный. Эти каналы могут смешиваться, позволяя получить естественный цвет и различные псевдоцвета. Мультиспектральная съемка имеет несколько худшее пространственное разрешение. Учитывая, что данные, полученные с сенсоров, установленных

на спутниках, имеют разное пространственное, спектральное, временное и другое разрешения, актуальным становится вопрос слияния продуктов дистанционного зондирования с целью интеграции характеристик и последующего их анализа. Информация, содержащаяся в изображении, полученном в результате слияния, является более полной и точной, что ведет к повышению качества распознавания объектов и более ясному пониманию их свойств.

Анализ последних исследований. Большинство алгоритмов, связанных с повышением информативности цифровых изображений, основаны на их линейной локальной обработке и сводятся к свертке изображения со скользящей маской [1, 2]. Значительные перспективы применения имеют методы повышения пространственного различения многоспектральных изображений, основанные на их разложении на компоненты разных пространственных масштабов в пределах одного пиксела, известные по названию методов пространственного смешанного анализа (Spectrum Mixture Analysis). Эти методы основаны на том, что яркость элемента поверхности, которая покрывается мгновенным полем зрения сенсора для каждого спектрального канала, представляет собой сумму яркостей компонент разных пространственных масштабов, которые представляют собой изображение объектов с разными отражающими свойствами. Прикладная значимость этих методов интерпретации видеоданных дистанционного зондирования ограничивается необходимостью большого количества априорных данных. Однако, известные алгоритмы не эффективны для слияния спутниковых изображений, полученных с современных космических аппаратов. Общей и основной проблемой, связанной со слиянием таких изображений, является цветовые искажения. Для новых спутниковых данных главной причиной существенных цветовых искажений в результирующем изображении является расширение длин волн новых спутниковых панхроматических изображений от видимого в ближнюю инфракрасную область спектра. Это различие значительно изменяет значения уровней серого новых Pan-изображений. Поэтому традиционные методы слияния, которые так хорошо подходят для слияния панхроматических SPOT изображений с другими мультиспектральными данными, не могут получить качественные результаты при слиянии новых спутниковых изображений.

Формулирование целей статьи (постановка задачи). Таким образом, возникает необходимость разработки эффективной компьютерной технологии повышения информативности космических изображений, которая позволит получать многоспектральные изображения более высокого пространственного различия без потери спектральной информации. Для определения путей решения данной задачи необходимо сначала проанализировать возможности существующих методов слияния (HSV, Color Normalized Brovey, Gram-Schmidt, PC Spectral Sharpening) и получить их количественные и качественные сравнительные характеристики, чему и посвящена данная работа.

Основная часть. Развитие технологий обработки изображений полученных путем дистанционного зондирования Земли привело к появлению методов слияния (англ. fusion или pan-sharpening) панхроматических и мультиспектральных изображений [3].

Существуют следующие методы слияния панхроматических изображений с высоким пространственным разрешением с мультиспектральным изображением низкого пространственного разрешения:

1. HSV.
2. Color Normalized Brovey.
3. Gram – Schmidt (*).
4. PC Spectral Sharpening (*).

Знаком * помечены методы без потери спектральной информации.

На рисунке 1 представлены исходные панхроматическое и мультиспектральное изображения.

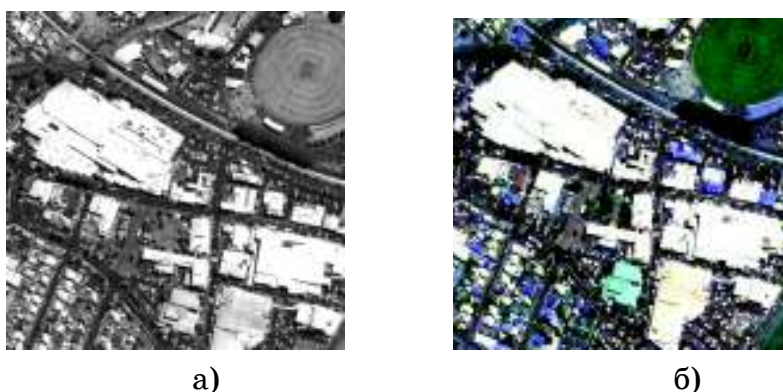


Рисунок 1 – Фотограмметрические снимки
а – панхроматическое; б – мультиспектральное

При использовании повышения четкости путем преобразования HSV производится преобразование входного мультиспектрального изображения в формате RGB (каналы красного, зеленого и синего цветов) в цветовое пространство HSV (оттенок, насыщенность, величина). При этом значение величины берется из панхроматического изображения, а значения оттенка и насыщенности автоматически пересчитываются в пиксельный размер изображения высокого разрешения с использованием методов ближайшего соседа, билинейной или кубической конволюции. Затем изображение преобразуется обратно к цветовому пространству RGB. Выходные изображения RGB будут иметь пиксельное разрешение такое же, как и входные данные с высоким разрешением. На рисунке 2 представлены изображения после преобразования HSV.

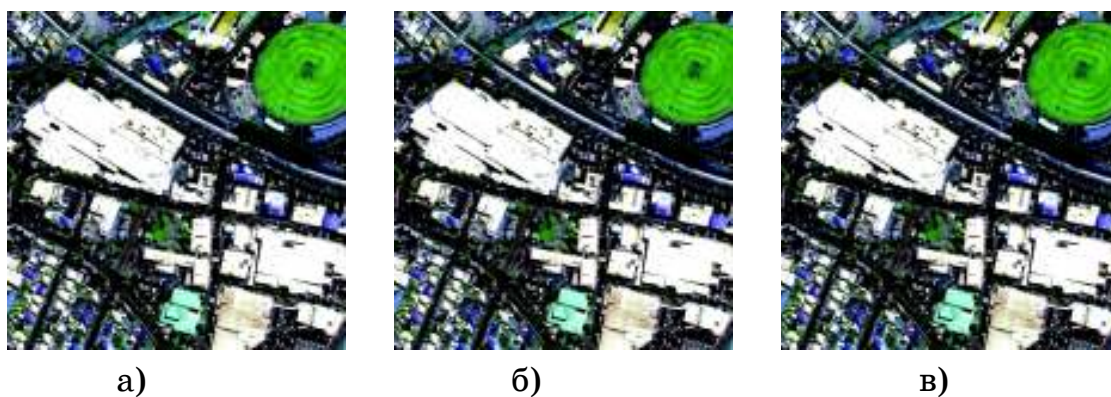


Рисунок 2 – Изображения, полученные путем преобразования HSV: а) - метод ближайшего соседа; б), в) – билинейная или кубическая конволюция

Изображения после преобразования путем цветовой нормализации Бровея (Color Normalized Brovey) представлены на рисунке 3. В данном преобразовании применяется технология повышения четкости, использующая математическую комбинацию Mul-изображения и Pan-данных с высоким разрешением. Математическое представление нормализации Бровея представлено следующим выражением:

$$\begin{bmatrix} R_{new} \\ G_{new} \\ B_{new} \end{bmatrix} = \frac{Pan}{I_0} \begin{bmatrix} R_0 \\ G_0 \\ B_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

где I_0 , R_0 , G_0 , B_0 - значения пикселей исходного мультиспектрального изображения, Pan , R_{new} , G_{new} , B_{new} - значения пикселей объединенного мультиспектрального и панхроматического изображения.



а)

б)

в)

Рисунок 3 – Изображение, полученное после преобразования Color Normalized Brovey: а) - метод ближайшего соседа; б), в) – кубическая конволюция

Изображения после преобразования Gram – Schmidt и PC Spectral Sharpening представлены на рисунке 4 и 5 соответственно.



а)

б)

в)

Рисунок 4 – Изображение, полученное после преобразования Gram – Schmidt: а) - метод ближайшего соседа; б), в) – кубическая конволюция



а)

б)

в)

Рисунок 5 – Изображение, полученное после преобразования PC Spectral Sharpening: а) - метод ближайшего соседа; б), в) – билинейная или кубическая конволюция

Проведен анализ преобразованных изображений по методу Brovey, HSV, Gram – Schmidt и PC Spectral Sharpening. Все преобразованные изображения оценены с помощью индекса структурного сходства (SSIM), для красного, зеленого и синего канала соответственно.

Индекс структурного сходства (от англ. SSIM -- structure similarity) является одним из методов измерения схожести между двумя изображениями. SSIM индекс это метод полного сопоставления, другими словами, он проводит измерение качества на основе исходного изображения (не сжатого или без искажений). SSIM индекс является развитием традиционных методов, таких как PSNR (peak signal-to-noise ratio) и метод среднеквадратичной ошибки MSE, которые оказались несовместимы с физиологией человеческого восприятия [4].

Отличительной особенностью метода, помимо упомянутых ранее (MSE и PSNR), является то, что метод учитывает "восприятие ошибки", благодаря учёту структурного изменения информации. Идея заключается в том, что пиксели имеют сильную взаимосвязь, особенно когда они близки пространственно. Данные зависимости несут важную информацию о структуре объектов и о сцене в целом.

В таблице 1 указаны значения SSIM индекса посчитанные для изображений преобразованных по методу HSV.

Таблица 1

Метод / Каналы	R	G	B
HSV (метод ближайшего соседа)	0.0638	0.0545	0.0437
HSV (билинейная конволюция)	0.0649	0.0554	0.0448
HSV (кубическая конволюция)	0.0675	0.0579	0.0465

Таблица 2 позволяет проанализировать значения SSIM индекса посчитанные для изображений преобразованных по методу Brovey.

Таблица 2

Метод / Каналы	R	G	B
Color Normalized Brovey (метод ближайшего соседа)	0.0650	0.0534	0.0456
Color Normalized Brovey (билинейная конволюция)	0.0654	0.0542	0.0467
Color Normalized Brovey (кубическая конволюция)	0.0649	0.0538	0.0463

В таблице 3 и 4 приведены SSIM индексы для преобразованных изображений по методу Gram – Schmidt и PC Spectral Sharpening, соответственно.

Таблица 3

Метод / Каналы	R	G	B
Gram – Schmidt (метод ближайшего соседа)	0.0746	0.0664	0.0528
Gram – Schmidt (билинейная конволюция)	0.0748	0.0676	0.0532
Gram – Schmidt (кубическая конволюция)	0.0748	0.0674	0.0530

Таблица 4

Метод / Каналы	R	G	B
PC Spectral Sharpening (метод ближайшего соседа)	0.0588	0.0557	0.0418
PC Spectral Sharpening (билинейная конволюция)	0.0615	0.0584	0.0433
PC Spectral Sharpening (кубическая конволюция)	0.0600	0.0570	0.0422

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Наиболее низкие результаты имеет преобразование Brovey, а сравнительно одинаковые HSV и Gram-Schmidt. Выбор метода дискретизации особого значения не имеет, хотя наблюдаются немного низшие результаты для простейшего - ближайшего соседа.

Проведение дальнейших исследований будет связано с разработкой компьютерной технологии повышения информативности космических изображений, которая позволит получать многоспектральные изображения более высокого пространственного различия без потери спектральной информации и с учетом геометрии формирования фотограмметрических данных конкретной сенсорной системой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pohl C. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications / C. Pohl, J.L. Van Genderen // International journal of remote sensing. – 1998. – Vol. 19. – No. 5. – P. 823-854.
2. Yuhendra Sumantyo, Hiroaki Kuze. Performance Analyzing of High Resolution Pan-sharpening Techniques: Increasing Image Quality for Classification using Supervised Kernel Support Vector Machine. [Электронный ресурс] <http://scialert.net/abstract/?doi=rjit.2011.12.23>.
3. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. Часть 1 - М.: Техносфера, 2010. - 560 с.
- Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П., Перетягин Г.И., Спектор А.А. Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учебное пособие.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с.