Сравнение с эталоном как метод оценки эффективности алгоритма Forced Invariance

Н. Г. Демин

*Новосибирский государственный университет
Новосибирск, Россия*

Аннотация

Forced Invariance Method (FIM) как алгоритм подавления растительности на мультиспектральных снимках представляет большой интерес, поскольку в основе его работы лежит использование статистики, собранной только из пикселей самого изображения. Благодаря этому не требуется никаких априорных данных о спектральных характеристиках объектов, расположенных на снимке.

При использовании FIM или его модификации на практике необходимо иметь некоторый способ оценки эффективности работы алгоритма, чтобы анализировать результаты экспериментов. В статье изложен метод, призванный решить эту задачу.

Предположительно, он подходит для оценки других алгоритмов подавления растительности. Предложенный метод основан на идее сравнения обработанного снимка с его эталоном при помощи меры сходства.

Ключевые слова

мультиспектральный снимок, дистанционное зондирование, подавление растительности, алгоритм forced invariance, оценка эффективности, сравнение снимков, сходство снимков

Для цитирования

Демин Н. Г. Сравнение с эталоном как метод оценки эффективности алгоритма Forced Invariance // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2020. Т. 18, № 4. С. 5–10. DOI 10.25205/1818-7900-2020-18-4-5-10

Comparison with Standard as an Efficiency Evaluation Approach for the Forced Invariance Method

N. G. Demin

*Novosibirsk State University
Novosibirsk, Russian Federation*

Abstract

The Forced Invariance Method (FIM) is a vegetation suppression algorithm for multispectral images which is of great interest since it uses statistics collected only from the pixels of the image itself. Due to this a priori spectral characteristics of the captured objects are not required.

For using the FIM or its modification in practice it is necessary to have some way to evaluate algorithm efficiency in order to analyze the results of experiments. This paper presents the method designed to solve this problem.

Presumably, it is suitable for evaluating various algorithms, such as those designed to suppress vegetation. The proposed method is based on the idea of comparing a processed image with its standard using the similarity measure.

Keywords

multispectral image, remote sensing, vegetation suppression, forced invariance, efficiency evaluation, image comparison, image similarity

For citation

Demin N. G. Comparison with Standard as an Efficiency Evaluation Approach for the Forced Invariance Method. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2020, vol. 18, no. 4, p. 5–10. (in Russ.) DOI 10.25205/1818-7900-2020-18-4-5-10

Введение

С появлением и дальнейшим развитием технологии дистанционного зондирования Земли геологи всё чаще стали использовать ее в своих исследовательских задачах. Исследования затрудняются тем, что зачастую поверхность Земли на снимках покрыта растительностью, которая вносит спектральный отклик в значение пикселя, тем самым скрывая под собой геологическое образование.

Существуют различные методы подавления растительности на мультиспектральных снимках, которые позволяют устранить влияние на спектральную яркость изучаемого объекта. Одним из таких методов является алгоритм FIM (The Forced Invariance Method) [1]. Он примечателен тем, что работает только со статистикой, собранной по всему снимку, и не требует никаких данных, связанных со значениями спектральной отражательной способности объектов на снимке.

Чтобы эффективно и качественно исследовать FIM, необходим метод оценки точности и эффективности работы алгоритма или его модификации, который позволит давать оценки и сравнивать результаты экспериментов. В основном для анализа данного алгоритма использовалась экспертная оценка [2; 3] – сравнение снимков или карт, построенных на основе NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – популярный и простой показатель количества фотосинтетически активной растительности), до и после применения FIM.

Однако при таком подходе довольно сложно провести анализ большого объема данных, который позволил бы протестировать алгоритм более точно и объективно, например, как в задаче слияния изображений [4; 5]. В этой статье предложен подобный метод оценки эффективности, лишенный недостатков простого визуального анализа.

Идея метода

Пусть у нас есть мультиспектральный снимок, часть которого содержит растительность с тем или иным проективным покрытием. Допустим, мы имеем возможность получить тот же снимок, но уже без растительности. Можно либо подобрать такой снимок, либо вручную удалить из исходного растительность, будучи полностью уверенными в том, что процесс удаления произведен корректно.

Тогда мы получим так называемый «эталон», демонстрирующий, как исходный снимок должен выглядеть после обработки. Теперь всё, что нам нужно сделать, это обработать исходный снимок с помощью алгоритма FIM и сравнить результат с эталоном (см. рисунок).

Метод сравнения с эталоном
Comparison with a standard method

Чем меньше результат работы алгоритма подавления растительности будет отличаться от эталона, тем выше эффективность этого алгоритма.

Генерация снимков

Для решения различных задач геоинформатики в свое время была предложена модель смешанного пикселя:

$$x = a_1 s_1 + a_2 s_2 + \dots + a_M s_M + w = \sum_{i=1}^M a_i s_i + w = Sa + w, \quad (1)$$

где s_i – это значение отражательной способности i -го чистого материала в определенном диапазоне длин волн, a_i – это коэффициент содержания i -го материала, M – количество чистых материалов, w – значение ошибки, учитывающее аддитивный шум (шум датчика, изменчивость материалов и другие недостатки модели) [6]. Чтобы быть реалистичными в физическом смысле, коэффициенты должны быть неотрицательными, и их сумма должна равняться единице [6]. Такую модель называют *линейная модель смешивания* (LMM, linear mixing model). В соответствии с этой моделью мы можем получить искусственный снимок, коэффициенты $a_1 \dots a_M$ для которого подбираются с помощью генератора случайных чисел.

Эталон для снимка должен быть сгенерирован параллельно, с использованием тех же данных. За одним исключением – набор материалов для эталонного снимка не должен содержать те, что относятся к типу «растительность». Это подобно простому вычитанию из получившегося искусственного изображения всех членов формулы s_i , которые являются растительностью.

Таким образом, мы получаем два снимка, можно сказать, одной и той же области, один из которых содержит растительность, а другой нет.

Сравнение снимков

В этой работе под сравнением снимков мы будем понимать сравнение числовых значений всех пикселей этих снимков. Результатом процесса сравнения будет являться бинарная «матрица сходства» C с элементами c_{ij} , которые равны 1, если пиксели сравниваемых снимков по координате ij схожи, а иначе равны 0.

Идеальным случаем сходства между объектами является тождество. Однако на практике, со снимками, эта ситуация невозможна по ряду таких причин, как погрешность алгоритмов, шумы и пр., поэтому мы не можем просто попиксельно сравнивать два снимка. Нам нужно определять некую близость значений пикселей этих снимков.

Алгоритм сравнения двух снимков, определяющий эту близость, основан на методе установления сходства между документами при поиске «по аналогии» [7]. Он будет подробно описан далее в этом разделе.

Шаг первый: вычисление меры сходства по каналам. Оригинальная задача поиска документов подразумевала вычисление меры сходства для каждого отдельного свойства этих документов [7]. В нашем случае сравниваемыми объектами являются пиксели изображений, а в качестве свойств выступают каналы мультиспектральных снимков. Формула вычисления меры сходства тогда будет следующей:

$$\mu_{k,ij} = \frac{|x_{k,ij}^{\text{standard}} - x_{k,ij}^{\text{processed}}|}{x_k^{\text{max}} - x_k^{\text{min}}},$$

где k – номер канала; $x_{k,ij}^{\text{standard}}$, $x_{k,ij}^{\text{processed}}$ – значения пикселя эталонного и обработанного снимков в соответствующем канале; x_k^{max} , x_k^{min} – максимальное и минимальное значения пикселя в канале. Таким образом, для двух сравниваемых снимков мы получаем трехмерный массив, элементами которого являются меры сходства, посчитанные для каждой пары пикселей в определенном канале.

Шаг второй: вычисление расстояния между пикселями. Теперь, когда меры сходства по каждому каналу известны, нужно вычислить сходство между пикселями в целом, т. е. ту самую близость. Для этого можно использовать стандартные формулы вычисления расстояний, но с добавлением к ним весовых коэффициентов, чтобы значения оставались в интервале от 0 до 1 [7]. Например, расстояние Хемминга μ^H , так как при его использовании отсутствует заметное влияние больших значений меры сходства [7]:

$$\mu_{ij}^H = \sum_{k=1}^K b_k \mu_{k,ij}, \quad \sum_{k=1}^K b_k = 1, \quad (2)$$

где b_k – весовой коэффициент; в нашем случае будем считать все каналы снимка равнозначными, и тогда он будет равен $1/K$, где K – количество каналов у снимка. Получаем матрицу, элементами которой являются расстояния Хемминга для каждой пары пикселей.

Шаг третий: определение матрицы сходства. Для окончательного определения сходства нужно понять, удовлетворяет ли посчитанное расстояние нас так, чтобы мы могли сказать, что пиксели действительно схожи. Для этого необходимо установить некоторое пороговое значение, с которым сравнивается посчитанное для пикселя расстояние Хемминга. Иначе говоря, определение сходства выполняется с помощью неравенства:

$$\mu_{ij}^H \leq r, \quad (3)$$

где $r \in (0, 1)$ – пороговое значение [7]. Этот шаг является процессом фильтрации, в результате которого, из матрицы расстояний, посчитанной на предыдущем шаге, мы получаем бинарную матрицу сходства. Значение ноль в этой матрице будет соответствовать случаю, когда определенный элемент матрицы расстояний (см. предыдущий шаг) не будет удовлетворять условию (3), значение единица, наоборот, – когда условию удовлетворяет.

Показатель сходства

Рассмотрим матрицу, полученную на предыдущем шаге. Элементы со значением ноль в этой матрице будем называть «битыми пикселями». Такой элемент говорит нам о том, что в соответствующей координате числовые значения пикселей сравниваемых снимков слишком разные.

Логично предположить, что чем меньше битых пикселей, тем лучше результат, и, наоборот, результат тем хуже, чем их больше. Из этого вытекает простая формула определения численного показателя сходства между снимками и соответственно показателя эффективности алгоритма – подсчет удельного количества «целых пикселей» (пиксели со значением единица) в матрице сходства:

$$e = \frac{\text{count}(c=1)}{n \times m}, \quad e \in [0, 1].$$

Здесь n и m – количество строк и столбцов матрицы сходства соответственно, а $\text{count}(c=1)$ – количество элементов матрицы сходства, равных единице.

Обсуждение метода

Снимок и эталон. Представленный в этой статье метод описан на примере задачи подавления растительности. Соответственно и модель (1), по которой генерировался снимок, была подобрана именно под эту задачу. Предположительно, для некоторых алгоритмов, решающих другие задачи, нужно будет искать иную модель искусственного пикселя. В то же время вместо генерации изображений можно использовать и реальные снимки, скажем, полученные из наблюдений за одной и той же местностью в разное время. Например, если вернуться к задаче подавления растительности, мы можем найти местность, на которой в одно время года растительный покров присутствует, а в другое – отсутствует. Первый снимок будет обработан алгоритмом, а результат сопоставлен со вторым как с эталоном.

Весовые коэффициенты. В данной статье при расчете расстояния Хемминга (2) предполагалось, что все каналы снимка равнозначны. На самом деле формула позволяет управлять важностью определенного свойства (в нашем случае канала) за счет весовых коэффициентов [7]. Например, можно повысить значение коэффициентов для каналов из ближнего инфракрасного диапазона, а остальные пропорционально уменьшить так, чтобы их сумма всё еще равнялась единице.

Пороговое значение. Также следует отметить, что порог (3), используемый для определения сходства, должен быть установлен заранее и, скорее всего, экспериментальным путем. Поэтому необходимо провести ряд исследований для выбора наиболее подходящего значения. Оно должно быть не слишком большим, чтобы в действительности непохожие снимки не оценивались как схожие, но и не слишком маленьким, чтобы не приближать метод к простому попиксельному сравнению.

Заключение

Предложенный в статье метод оценки эффективности алгоритма FIM состоит из нескольких последовательных шагов: генерация искусственного снимка с эталоном по выбранной модели; применение алгоритма FIM к искусственному снимку; определение сходства между обработанным искусственным снимком и эталоном. Параметр, указывающий на сходство между снимками, и будет выступать показателем эффективности работы исследуемого алгоритма.

Описанные выше шаги легко поддаются автоматизации, а результатом работы метода является числовое значение, лежащее в интуитивно понятном диапазоне.

Кроме того, он легко поддается модификации и расширению. Например, можно использовать другие подходы к вычислению показателя эффективности по матрице сходства или накладывать на нее маску. Также можно использовать иные алгоритмы генерации снимков или же реальные снимки с соответствующими эталонами.

Метод, предположительно, можно применять для оценки других алгоритмов цифровой обработки снимков, например для алгоритмов удаления облаков, если есть возможность подобрать снимок с эталоном или модель для их генерации.

Список литературы

1. **Crippen R., Blom R.** Unveiling the Lithology of Vegetated Terrains in Remotely Sensed Imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2001, no. 8 (67), p. 935–943.
2. **Bachri I.** [et al.]. Machine Learning Algorithms for Automatic Lithological Mapping Using Remote Sensing Data: A Case Study from Souk Arbaa Sahel, Sidi Ifni Inlier, Western Anti-Atlas, Morocco. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2019, no. 6 (8), p. 248.

3. **Liu L., Ji M., Buchroithner M.** A Case Study of the Forced Invariance Approach for Soil Salinity Estimation in Vegetation-Covered Terrain Using Airborne Hyperspectral Imagery. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2018, no. 2 (7), p. 48.
4. **Riyahi R., Kleinn C., Fuchs H.** Comparison of Different Image Fusion Techniques for Individual Tree Crown Identification Using Quick bird Images. In: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information, 2009, p. 1–4.
5. **Kullolli B. S., Rajpurohit V. S., Anil B. G.** An Algorithmic Approach for Multispectral Image Quality Assessment. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 2013, p. 209–214.
6. **Keshava N.** A Survey of Spectral Unmixing Algorithms. *Lincoln Laboratory Journal*, 2003, no. 1 (14), p. 55–78.
7. **Федотов А., Барахнин В.** К вопросу о поиске документов «по аналогии» // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии, 2009. Т. 7, № 4. С. 3–14.

References

1. **Crippen R., Blom R.** Unveiling the Lithology of Vegetated Terrains in Remotely Sensed Imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2001, no. 8 (67), p. 935–943.
2. **Bachri I.** [et al.]. Machine Learning Algorithms for Automatic Lithological Mapping Using Remote Sensing Data: A Case Study from Souk Arbaa Sahel, Sidi Ifni Inlier, Western Anti-Atlas, Morocco. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2019, no. 6 (8), p. 248.
3. **Liu L., Ji M., Buchroithner M.** A Case Study of the Forced Invariance Approach for Soil Salinity Estimation in Vegetation-Covered Terrain Using Airborne Hyperspectral Imagery. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2018, no. 2 (7), p. 48.
4. **Riyahi R., Kleinn C., Fuchs H.** Comparison of Different Image Fusion Techniques for Individual Tree Crown Identification Using Quick bird Images. In: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information, 2009, p. 1–4.
5. **Kullolli B. S., Rajpurohit V. S., Anil B. G.** An Algorithmic Approach for Multispectral Image Quality Assessment. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 2013, p. 209–214.
6. **Keshava N.** A Survey of Spectral Unmixing Algorithms. *Lincoln Laboratory Journal*, 2003, no. 1 (14), p. 55–78.
7. **Fedotov A., Barakhnin V.** To the question of searching for documents “by analogy”. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2009, vol. 7, no. 4, p. 3–14. (in Russ.)

Материал поступил в редколлегию

Received
14.10.2020

Сведения об авторе

Демин Никита Геннадьевич, магистр кафедры систем информатики факультета информационных технологий Новосибирского государственного университета (Новосибирск, Россия)

n.demin1@alumni.nsu.ru

Information about the Author

Nikita G. Demin, master of Computer Science systems Department, faculty of Information Technologies, Novosibirsk state University (Novosibirsk, Russian Federation)

n.demin1@alumni.nsu.ru