

Обнаружение термических аномалий на инфракрасных изображениях вулканов

И.П. Урманов¹, А.Н. Камаев¹, А.А. Сорокин¹

¹Вычислительный центр ДВО РАН, Хабаровск, Россия
urmanov@ccfebras.ru|kamaev_an@mail.ru|alsor@febras.net

В публикации представлен разработанный алгоритм поиска термических аномалий на фотоснимках вулканов, полученных в ближнем инфракрасном диапазоне света. Дано описание выделяемых признаков аномалий и используемого классификатора. Проведена апробация предложенного алгоритма на примере изображений вулканов Камчатки и рассмотрены перспективы его совершенствования.

Ключевые слова: вулкан, алгоритм, термическая аномалия, инфракрасные изображения, программное обеспечение

Thermal anomalies detection in infrared images of volcanoes

I.P.Urmanov¹, A.N.Kamaev¹, A.A.Sorokin¹

¹Computing Center FEB RAS, Khabarovsk, Russia
urmanov@ccfebras.ru|kamaev_an@mail.ru|alsor@febras.net

The publication presents a developed algorithm for the search for thermal anomalies on photographs of volcanoes obtained in the near infrared range of light. The characteristics of the anomalies and the classifier used are described. Approbation of the proposed algorithm on the example of images of volcanoes of Kamchatka is carried out and prospects of its improvement are considered.

Keywords: volcano, algorithm, thermal anomaly, infrared images, software.

1. Введение

В рамках работ по развитию программных средств для обработки изображений вулканов Камчатки [6], авторами ранее был разработан ряд специализированных алгоритмов [2, 7], обеспечивающих фильтрацию и автоматизированный поиск фотоснимков с признаками активности указанных природных объектов. В ночное время суток камеры системы видеонаблюдения ведут съемку в ближнем инфракрасном диапазоне, что при наличии соответствующих решений, позволяет выявлять возникновение и развитие термических аномалий. Как правило задача поиска термальных аномалий решается для термальных снимков [5]. А при анализе снимков ближнего инфракрасного диапазона такие аномалии возможно найти с помощью алгоритма, представленного в работе [4], но он имеет ряд ограничений, связанных с периодической посторонней засветкой и переменной видимостью вулкана. Кроме того, анализ данных снимков осложняется наличием на изображениях спекл-шума.

Статья посвящена исследованиям данного вопроса и описанию разработанного алгоритма для выявления термических аномалий на ночных снимках вулканов, полученных в ближнем инфракрасном диапазоне.

2. Обнаружение термических аномалий

Термические аномалии на снимках представляют собой пятна, яркость которых превышает яркость окрестности и спадает от центра к краям аномалии (рис. 1).

Размер аномалий может быть различным: от нескольких единиц до нескольких сотен пикселей. Термическим аномалиям соответствует широкоизвестная в компьютерном зрении визуальная особенность «blob», используемая, например, в алгоритме SIFT [3] для определения положения особых точек.



Рис. 1. Пример снимка вулкана с термической аномалией.

Центры потенциальных термических аномалий соответствуют точечным особенностям [3], обнаруженным в максимумах на DoG слоях. Для описания процедуры выделения областей, занимаемых аномалиями на i -м DoG слое $D_i(x, y)$, где i – номер слоя введём множество соседей точки $\mathbf{p} = (p_x, p_y)$ на слое $D_i(x, y)$

$$M(\mathbf{p}) = \{ \mathbf{p}' = (p'_x, p'_y) \mid |p_x - p'_x| \leq 1 \wedge |p_y - p'_y| \leq 1 \wedge \mathbf{p} \neq \mathbf{p}' \}.$$

Пусть обнаружено K центров аномалий на слое i : $\mathbf{c}_k = (c_{kx}, c_{ky})$, где $k = 1, 2, \dots, K$, тогда алгоритм разметки областей, принадлежащих данным аномалиям можно записать следующим образом:

Шаг 1: Присвоить $\mathbf{A}_{x,y} = 0$, где $x = 0, 1, \dots, w - 1$, $y = 0, 1, \dots, h - 1$ – ширина и высота исследуемого изображения.

Шаг 2: Для $k = 1, 2, \dots, K$: присвоить $\mathbf{A}_{c_{kx}, c_{ky}} = k$, поместить точку (c_{kx}, c_{ky}) в очередь Q .

Шаг 3: Пока $Q \neq \emptyset$ выполнять шаги 3а – 3б.

Шаг 3а: Извлечь точку из очереди: $\mathbf{p} \leftarrow Q$

Шаг 3б: Если $D_i(p_x, p_y) \geq 0.1 D_i(c_{\mathbf{p}'x}, c_{\mathbf{p}'y})$ то $\forall \mathbf{p}' \in M(\mathbf{p}) \wedge \mathbf{A}_{\mathbf{p}'} = 0$: присвоить $\mathbf{A}_{\mathbf{p}'} = \mathbf{A}_{\mathbf{p}}$, поместить \mathbf{p}' в очередь $Q \leftarrow \mathbf{p}'$.

После выполнения алгоритма разметки областей, для каждой точки i -го изображения маска \mathbf{A} будет содержать

либо индекс аномалии, которой точка принадлежит, либо ноль, если точка не принадлежит какой-либо аномалии.

3. Признаки термических аномалий

Лишь небольшое число найденных потенциальных термических аномалий в действительности являются реальными аномалиями. Можно выделить ряд признаков, позволяющих произвести классификацию выделенных областей на реальные аномалии и не аномалии.

К признакам, которые могут быть рассчитаны для потенциальной термической аномалии можно отнести величину максимума, вытянутость и яркость.

$D_i(c_{kx}, c_{ky})$ – величина максимума k -й аномалии. Как правило, для термических аномалий характерны значения выше определённого порога, тогда как максимумы, вызванные шумом на изображении, имеют меньшие величины.

Признак вытянутости характеризует, насколько различается скорость убывания функции вокруг максимума в разных направлениях. Для термических аномалий, сгенерированных вулканами, различия в скорости невелики, тогда как для ярких пятен, образующихся у контура вулкана в лучах восходящего солнца, скорость убывания функции в одном направлении существенно превышает скорость убывания в другом – рис. 2.

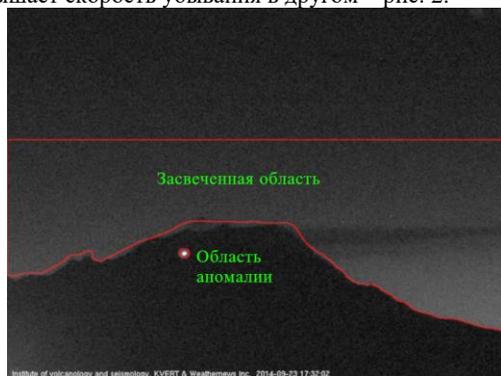


Рис. 2. Примеры областей.

Последний признак центра аномалии – его яркость на соответствующем масштабном слое изображения. Для реальных термических аномалий это значение, как правило, превышает некоторый порог.

В качестве признаков области аномалии предлагается использовать коэффициенты периметра, асимметричности границ и пика. Рассмотрим эти коэффициенты.

1. Коэффициент периметра показывает, во сколько раз периметр k -й аномалии на i -ом слое больше, чем минимально возможный периметр аномалии такой же площади.
2. Коэффициент асимметричности границ показывает, насколько равномерно спадает яркость аномалии к её границе.
3. Коэффициент пика показывает, во сколько раз перепад яркости аномалии превосходит среднюю яркость её границы.

4. Классификация

Возьмем размеченный вручную набор изображений с наличием на них реальных аномалий и построим гистограммы (рис. 3) статистических рядов каждого признака двух рассматриваемых классов аномалий: реальные аномалии и ложные.

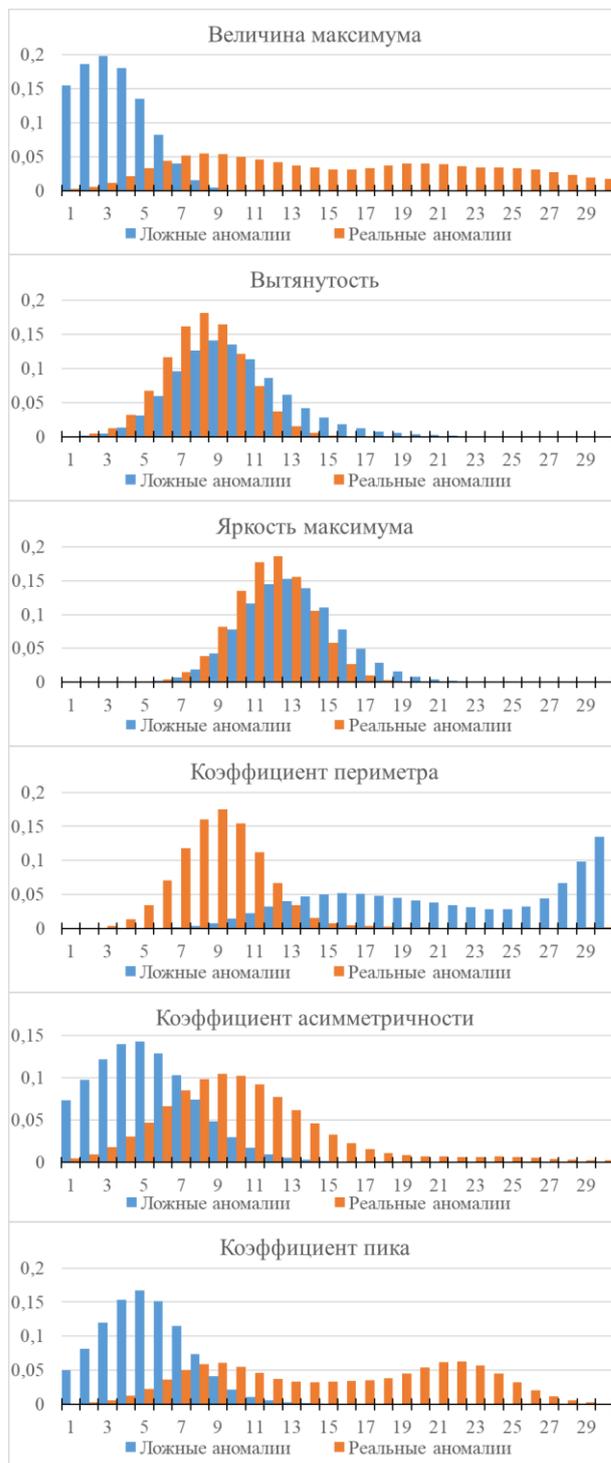


Рис. 3. Гистограммы статистических рядов каждого признака аномалий для 30 интервалов.

Заметим, что ни один признак не позволяет однозначно определить принадлежность аномалии к какому-либо классу. В связи с этим для поиска термальных аномалий на снимке, характеризующих состояние вулкана, используем наивный байесовский классификатор:

$$a = \operatorname{argmax}_{y \in Y} p(x)P_y,$$

где Y – множество классов,

x – исследуемый объект-аномалия,

$p(x)$ – функция правдоподобия,

P_y – априорная вероятность класса y .

При этом функцию плотности распределения значений j -го признака будем определять по формуле:

$$p_{y_j}(\xi_j) = \frac{A(x)}{\int A(x) dx},$$

где $A(x)$ – кусочно-линейная функция, построенная по статистическому ряду, при этом значения частот сглаживаются одномерной функцией Гаусса.

5. Результаты

Для апробации созданного алгоритма была разработана компьютерная программа с применением которой было проведено обучение классификатора на 83 изображениях с размеченными зонами реальных аномалий. Тестирование алгоритма было проведено на 5000 снимков вулкана Шивелуч, сделанных в период с 12.10.2015 по 19.10.2015. Примеры найденных реальных термических аномалий на снимках представлены на рис. 4.



Рис. 4. Примеры инфракрасных снимков с выделенными реальными термическими аномалиями.

Результаты тестирования были оценены вручную. Количество снимков с ошибочно классифицируемыми аномалиями относительно общего числа обработанных изображений не превышает 1%. Анализ таких снимков показал, что ложно обнаруженные реальные аномалии (рис. 5) находятся на значительном расстоянии от вершины вулкана. Данную проблему можно решить, ограничив область поиска аномалий активной частью наблюдаемого вулкана.



Рис. 5. Пример ложно обнаруженных аномалий вне активной области вулкана.

Не все реальные аномалии были обнаружены (рис. 6) в ходе тестирования, решения проблемы представляются расширение обучающей выборки и использование другого классификатора.



Рис. 6. Пример не обнаруженных реальных аномалий (выделено красным).

6. Заключение

В результате исследований был разработан алгоритм обнаружения и классификации термических аномалий на ночных снимках вулканов, снятых в инфракрасном диапазоне света. Алгоритм протестирован на тестовой выборке изображений системы видеонаблюдения за вулканами Камчатки, а полученные результаты позволяют говорить о возможности использования алгоритма в задачах оперативного мониторинга вулканической активности на Камчатке [1].

7. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-07-00156.

При выполнении расчетов были использованы информационно-вычислительные ресурсы ЦКП “Центр данных ДВО РАН”.

8. Литература

- [1] Гордеев Е.И., Гирина О.А. Вулканы и их опасность для авиации // Вестник Российской академии наук. – 2014. – Т. 84, № 2. – С. 134-142. – DOI: 10.7868/S0869587314020121.
- [2] Камаев А.Н., Урманов И.П., Сорокин А.А., Карманов Д.А., Королёв С.П. Анализ изображений для определения видимости вулканов // Компьютерная оптика. – 2018. – Т. 42, № 1. – С. 128-140. – DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-1-128-140.
- [3] Lowe D. G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints // International Journal of Computer Vision. – 2004. – Vol. 60(2). – P. 91-110.

- [4] Мельников Д.В., Маневич А.Г., Гирина О.А. Количественные характеристики активности вулканов Камчатки по данным веб-камер // Тезисы докладов XVIII региональной конференции, посвященной Дню вулканолога, 30 марта - 1 апреля 2015 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. – С. 92-94.
- [5] Spampinato L., Calvari S., Oppenheimer C., Boschi E. Volcano surveillance using infrared cameras // *Earth-Science Reviews*. – 2011. – Vol. 106(1-2). – P. 63–91
- [6] Sorokin A., Korolev S., Romanova I. et al. The Kamchatka Volcano Video Monitoring System // *Proceedings of 2016 6th International Workshop on Computer Science and Engineering (WCSE 2016)*. – Tokyo, Japan, 17–19 June 2016. – P. 734–737. ISBN 978-981-11-0008-6.
- [7] Урманов И.П., Камаев А.Н., Сорокин А.А., Королев С.П. Оценка видимости и состояния вулканов по последовательностям изображений стационарных камер наблюдения // *Вычислительные технологии*. – Т. 21 № 3. – 2016. – С. 80-90

Об авторах

Урманов Игорь Павлович, младший научный сотрудник Вычислительного центра ДВО РАН, лаборатория информационно-телекоммуникационных систем, Хабаровск, Россия. Контактный адрес электронной почты urmanov@ccfebras.ru.

Камаев Александр Николаевич, кандидат технических наук, научный сотрудник Вычислительного центра ДВО РАН, лаборатория численных методов в математической физике, Хабаровск, Россия. Контактный адрес электронной почты kamaev_an@mail.ru.

Сорокин Алексей Анатольевич, кандидат технических наук, заведующий лабораторией информационно-телекоммуникационных систем Вычислительного центра ДВО РАН, Хабаровск, Россия. Контактный адрес электронной почты alsor@febras.net