

Комплексный анализ изображений для определения видимости вулканов

Урманов Игорь Павлович, Камаев Александр Николаевич, Сорокин Алексей Анатольевич

Лаборатория информационно-телекоммуникационных систем,

Вычислительный центр ДВО РАН, Хабаровск, Россия

uir1@mail.ru

Аннотация

Видеонаблюдение является одним из видов инструментальных исследований, данные которых могут использоваться для мониторинга и визуальной оценки состояния различных объектов, в том числе и природных объектов, таких как вулканы. Применение видеокамер позволяет удаленно, непрерывно наблюдать за объектом и проводить по набору его изображений анализ изменения состояния и/или проявляющегося события (извержения).

Однако возможность использования полученных изображений вызывает ряд проблем. Это связано с их качеством и информативностью, на которые влияют различные факторы. Учитывая, что количество снимков, непригодных для использования в исследованиях, зачастую преобладает среди всех снимков в архиве, возникает необходимость в автоматизированной фильтрации данных. Это позволит сократить объемы хранящихся данных и время работы специалистов при проведении анализа поступающих изображений.

Авторами ведется разработка системы для оценки состояния вулканов Камчатки по данным видеонаблюдений, основывающейся на использовании алгоритмов анализа границ изображений, их частотных характеристик и динамики изменения оценок на последовательности фотоснимков. Анализ видимости границ позволяет определить, обеспечивают ли погодные условия достаточную видимость, необходимую вулканологам для наблюдения. Полученная оценка корректируется с использованием информации о вкладах различных частот в формирование изображения. Резкие изменения оценок видимости на изображениях, получаемых через малый интервал времени могут свидетельствовать об эруптивном событии и также учитываются при формировании комплексной оценки природного объекта.

Ключевые слова: изображения вулканов, оценка видимости, анализ изображения, анализ границ, частотные характеристики изображения, архивы данных.

1. ВВЕДЕНИЕ

Видеонаблюдение за вулканами Камчатки осуществляется посредством видеокамер. Они устанавливаются в стационарных пунктах наблюдений, но несмотря на это, на их работу влияют внешние факторы (например, ветер и атмосферные осадки), что затрудняет анализ получаемых данных. С использованием специального программного обеспечения [1,2], в зависимости от авиационного кода опасности вулкана, устанавливаемого группой KVERT (Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team) [3], камеры с определенной частотой (1-20 минут) производят снимки с 6 вулканов Камчатки. Более половины содержащихся в настоящее время в архиве снимков, по описанным выше причинам, оказываются непригодными для применения в вулканологических исследованиях, а работа с ними и поиск

качественных фотоматериалов занимает дополнительное время. В связи с этим возникает необходимость фильтрации поступающих с видеокамер изображений, что позволит исключить непригодные снимки и тем самым сократить время на оценку состояния объекта, и следовательно на принятие соответствующих управленческих решений.

Существует множество подходов к анализу и сравнению изображений для определения видимости. Среди них определение видимости на основе обнаружения тумана [4]. Но кроме тумана видимости вулкана могут препятствовать облака, имеющие четкие очертания, которые не могут быть учтены при вычислении тумана. Также одна и та же область изображения вулкана может иметь различные характеристики в зависимости от освещения или от времени года, что затрудняет использование методов обнаружения тумана. Для определения видимости используются алгоритмы вычитания фона [5], но они позволяют определять движение объекта относительно статического фона на видео, снятом статической камерой, но на изображениях вулканов четкого разделения фон/объект нет, кроме случаев с ясной погодой. Фон меняется в зависимости от типа облаков или их отсутствия, на изображение объекта влияют освещение, снег, облака перед объектом. Ни изменения фона, ни изменения объекта в общем случае не говорят об изменении видимости. Кроме того снимки необязательно являются временными последовательностями, может возникнуть необходимость анализа последовательности с большим перерывом или отдельных снимков. Разработано несколько методов по определению разницы изображений, одним из эффективных подходов является сравнение границ объектов [6]. В предыдущей работе авторами было исследовано применение алгоритма сопоставления дискретно заданных границ к задаче определения видимости вулканов [7]. Были получены хорошие результаты, однако использование дискретно заданных границ приводило к ложным откликам в зонах пересечения контуров облаков и вулканов. Чтобы минимизировать количество ложных откликов и повысить устойчивость к небольшим сдвигам и поворотам камеры в настоящей работе предлагается использовать параметрическое представление границ.

Авторами ведется разработка метода для решения задачи фильтрации с использованием нескольких рассматриваемых методов, которые позволят обеспечить комплексный анализ изображений для определения видимости вулканов.

В докладе представлены текущие результаты работы и предложены шаги по дальнейшей разработке.

2. АНАЛИЗ ВИДИМОСТИ ВУЛКАНОВ

Результатом работы метода является оценка изображения, в зависимости от которой все снимки делятся на «пригодные» и «непригодные» для дальнейших исследований вулканологов. Снимок считается «пригодным», если его оценка выше $\tau \in [0..1]$, было выбрано значение $\tau = 0.5$. Оценки видимости вулканов определяются на основе

эталонных изображений в количестве от 3 до 10, предварительно отобранных экспертами. Эталонными изображениями являются снимки, сделанные при идеальных погодных условиях.

Введём оценку $\alpha \in [0..1]$, которая показывает, какая часть границ, извлечённых из эталонных изображений, видима на тестируемом снимке (см. раздел 3). Также введём оценку соответствия вкладов частот $\beta \in [0..1]$ (см. раздел 4). Конечная оценка $\sigma \in [0..1]$, вычисляется по формуле $\sigma = f(\alpha)\alpha + (1 - f(\alpha))\beta$, где $f(\alpha) = \min\left(1, \frac{1}{\Delta^2}\alpha^2 - 2\frac{\tau}{\Delta^2}\alpha + \frac{\tau^2}{\Delta^2}\right)$, $\Delta \in [0..1]$, было выбрано значение $\Delta = 0.1$. Таким образом, если $\alpha \in [\tau - \Delta, \tau + \Delta]$, то она корректируется оценкой β , в остальных β не участвует в вычислении оценки σ . Если анализируется последовательность изображений, полученных через интервал времени менее 10 минут, то скачки оценки $\sigma > 0.3$ могут свидетельствовать об эруптивном событии, в этом случае оценка $\sigma = 1$ для перехода снимка в категорию «пригодных» снимков.

3. АНАЛИЗ ГРАНИЦ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Наиболее устойчивой особенностью на изображениях вулканов являются границы. Очертания основных хребтов сохраняются независимо от времени года, количества снега, освещения. Анализируя видимость границ можно определить, обеспечивают ли погодные условия достаточную видимость, необходимую вулканологам для исследования состояния объекта. Полученная оценка корректируется с использованием информации о вкладах различных частот в формирование изображения.

3.1 Обнаружение границ на изображениях

Использование параметрически заданных границ позволяет точнее проводить их сопоставление. Удобно представлять границы в виде ломаных линий, которые могут разветвляться в точках излома. Параметрическое представление границ может быть получено на основе дискретного представления, вычисленного по изображению, с использованием одного из метода обнаружения границ [8, 9, 10]. Детекторы границ позволяют получать линии границ, имеющих толщину в один пиксель.

Алгоритм построения параметрических границ может быть представлен следующими шагами:

1. Поиск точек пересечений – точек разветвления границ с длинами ветвей более 1-го пикселя. Поиск выполняется в глубину с приоритетом выбора направлений согласно рис. 1а, ветви длиной в 1 пиксель удаляются. На границах без ветвлений одна произвольная точка также считается точкой ветвления.
2. Выделение конечных точек – рис. 1б. К конечным относятся точки, которые максимально удалены от ближайшей точки пересечения.
3. Построение сегментов линий, аппроксимирующих последовательность пикселей между точками пересечения и конечными точками с точность d_{max} пикселей – рис. 2а.
4. Объединение сегментов линий в систему параметрических границ.

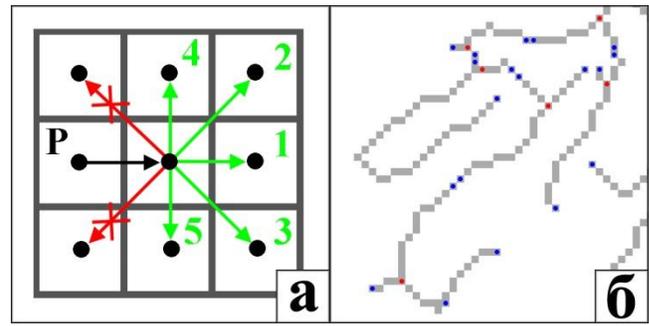


Рис. 1: а – порядок просмотра вершин при поиске точек пересечения, б – найденные точки пересечения (красные) и конечные точки (синие).

Пример построенных параметрических границ представлен на рис 2б.

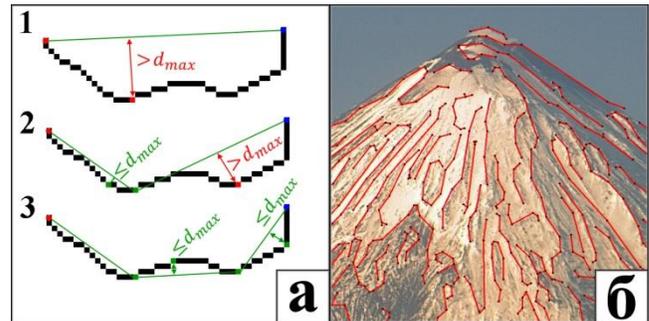


Рис. 2: а. – рекурсивное построение линии, б. – параметрические границы на изображении вулкана.

3.2 Сопоставление границ

Обозначим через S и S' множества всех сегментов на первом и втором изображении. Тогда для сегментов $s \in S$ и $s' \in S'$ определяется операция сравнения (рис. 3).

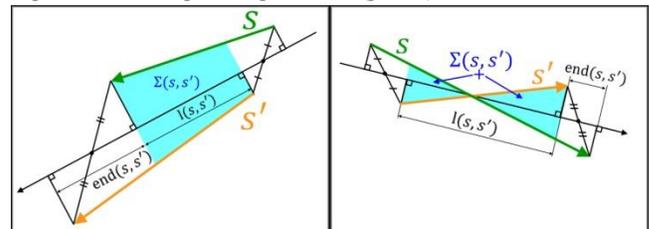


Рис. 3: Различные конфигурации сопоставляемых сегментов s и s' , $l(s, s')$ – длина общей части, $end(s, s')$ – разность окончаний сегментов, $\Sigma(s, s')$ – площадь фигуры, образованной сегментами.

Сегменты s и s' подлежат сравнению только, если угол между ними $\alpha(s, s') < \alpha_{max}$. В качестве α_{max} в этой работе выбрано значение 0.78 радиан. Близость сегментов определяется параметром средней ширины:

$$w(s, s) = \frac{\Sigma(s, s)}{l(s, s)}, w(s, s') < R.$$

В случае если $w(s, s) \geq R$ или отсутствует общая зона $l(s, s)$ сегменты не подлежат сравнению (для изображений с шириной 1000 пикселей, было выбрано значение $R = 20$).

Начиная с сегментов s и s' можно выполнить трассировку линии, сопоставляя последующие сегменты. В настоящей работе использовались следующие правила трассировки:

1. Трассировка выполняется до конца в направлении стрелки (рис. 3а, б), затем в обратном направлении.
2. Если $\text{end}(s, s') > d_{max}$, то следующая пара $s \rightarrow next$ и s' , если s кончается раньше и s и $s' \rightarrow next$, если s' кончается раньше.
3. Если в 2 несколько вариантов для продолжения линии, выбирается такое продолжение, которое имеет меньший угол с не продолжающимся сегментом.
4. Если $\text{end}(s, s') \leq d_{max}$, либо шаг 2 не привел к продолжению, а $\text{end}(s, s') \leq R$, то следующей парой для сравнения выбирается пара $s \rightarrow next$, $s' \rightarrow next$. Если вариантов несколько, то продолжение осуществляется по всем наилучшим не противоречивым направлениям.
5. Каждая пара, которая сравнивалась при трассировке, запоминается.

В процессе сопоставления выполняется много операций трассировки, результатом j -ой операции является набор сопоставленных пар сегментов $\mathbf{P}_j = (p_{ji})$, $i = 1, 2, \dots, n_j$, где n_j – количество сопоставленных пар, а $p_{ji} = \{s_{ji}, s'_{ji}\}$, $s_{ji} \in S$ и $s'_{ji} \in S'$ – сопоставленные сегменты. Каждый набор имеет оценку Q_j

$$Q_j = l_j \begin{cases} 1, & w_j \leq d_{max} \\ 3t_j^2 - 2t_j^3, & w_j > d_{max} \end{cases}$$

$$l_j = \sum_{i=1}^{n_j} l(s_{ji}, s'_{ji}), \quad t = \frac{R - w_j}{R - d_{max}}, \quad w_j = \frac{1}{l_j} \sum_{i=1}^{n_j} \Sigma(s_{ji}, s'_{ji}).$$

Алгоритм сопоставления границ состоит из двух этапов:

1. Для всех пар (s, s') , $s \in S$ и $s' \in S \cap H(s)$, где $H(s)$ – операция обращения к хешу для поиска s' , выполняем трассировку, если пара (s, s') не была запомнена ранее. Для выполненной трассировки запоминается \mathbf{P}_j и вычисляется Q_j , счётчик j увеличивается на 1 (изначально j инициализируется нулём или единицей).
2. Все \mathbf{P}_j просматриваются в порядке уменьшения Q_j и проверяются сегменты s_{ji} и s'_{ji} , $i = 1, 2, \dots, n_j$ на занятость. Если ни один сегмент не занят, то сегменты s_{ji} и s'_{ji} помечаются занятыми, а набор \mathbf{P}_j считается корректным, иначе набор помечается как некорректный.

После выполнения алгоритма, сегменты, участвовавшие в сопоставлении, оказываются помеченными, как занятые. Отношение суммы длин занятых сегментов к общей сумме длин сегментов, описывает искомый процент видимости границ. Если в качестве границ одного из изображений использовались эталонные границы, то процент их видимости определяет процент видимости основных контуров вулкана α . Рис. 4 демонстрирует пример сопоставленных границ.

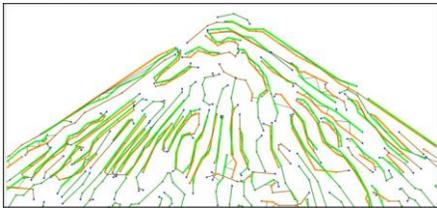


Рис. 4: Сопоставление границ, границы разных изображений обозначены разным цветом, толстыми линиями обозначены сопоставленные сегменты, а связи сегментов показаны черными линиями, соединяющими центры сегментов.

3.3 Выделение эталонных границ

Эталонные границы соответствуют наиболее устойчивым особенностям изображений конкретного вулкана, полученных с одной камеры наблюдения. Для их получения выбирается некоторое количество $m \in [3..10]$ изображений вулкана, полученных в хорошую погоду при идеальной видимости. Далее выполняется сопоставление границ всех возможных пар выбранных изображений. При этом для каждого сегмента рассчитывается количество раз, которое он был помечен, как занятый. Сегменты, которые были заняты не менее чем γm раз, считаются эталонными. Коэффициент γ выбирается в диапазоне от 0.5 до 1.0. Из эталонных сегментов составляются эталонные границы. При этом если к эталонным границам был добавлен некоторый сегмент, все сегменты, которые образовывали с ним пары, уже не добавляются. На рис. 5 приведены примеры эталонных границ, полученных для разных значений γ при $m=6$.

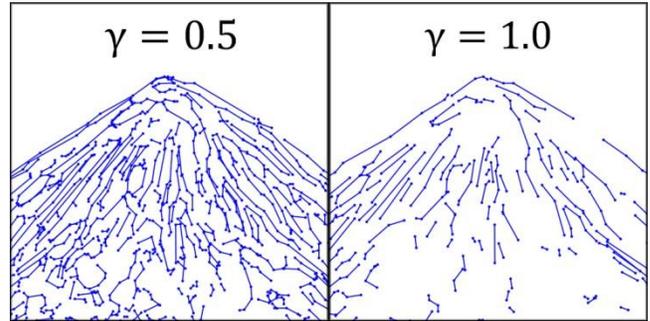


Рис. 5: Эталонные границы при разных значениях γ .

4. СОПОСТАВЛЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Для оценки частотных характеристик, увеличим изображение таким образом, чтобы его ширина и высота являлись степенью двойки: $\mathbf{I} = (I_{xy})$, $x = 1, 2, \dots, w$, $y = 1, 2, \dots, h$, где $w = 2^{n_w}$, $h = 2^{n_h}$, $n_w, n_h \in \mathbb{N}$, а I_{xy} – яркостная составляющая в цветовой модели YUV. Частотной характеристикой будем считать вектор распределения интенсивностей по частотам $\mathbf{f} = (f_i)$, $i = 0, 1, \dots, n-1$, где $n = \min(n_w, n_h)$. Для определения f_i введём следующие обозначения: $\mathbf{I}^k = (I_{xy}^k)$, $x = 1, 2, \dots, w_k$, $y = 1, 2, \dots, h_k$, $k = 0, 1, \dots, n$, где

$$w_k = \begin{cases} \frac{1}{2} w_{k-1}, & k > 0 \\ w, & k = 0 \end{cases}, \quad h_k = \begin{cases} \frac{1}{2} h_{k-1}, & k > 0 \\ h, & k = 0 \end{cases},$$

$$I_{xy}^k = \begin{cases} \frac{I_{2x-1, 2y-1}^{k-1} + I_{2x, 2y-1}^{k-1} + I_{2x-1, 2y}^{k-1} + I_{2x, 2y}^{k-1}}{4}, & k > 0 \\ I_{xy}, & k = 0 \end{cases}$$

тогда

$$f_i = \frac{1}{w_i h_i} \sum_{x=1}^{w_i} \sum_{y=1}^{h_i} |I_{xy}^i - I_{[(x+1)/2], [(y+1)/2]}^i|.$$

Для получения результата необходимо сравнить вектор \mathbf{f} тестируемого изображения с эталонным $\bar{\mathbf{f}}$:

$$\bar{\mathbf{f}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \mathbf{f}(\mathbf{I}_i),$$

где \mathbf{I}_i – i -ое эталонное изображение, $m \in [3..10]$ – количество эталонных изображений, а $\mathbf{f}(\mathbf{I}_i)$ – вектор распределения

интенсивности по частотам для i – го изображения. Оценка близости \mathbf{f} и $\bar{\mathbf{f}}$

$$\beta = \max\left(1 - \frac{2}{\sqrt{2}} \left| \frac{\mathbf{f}}{|\mathbf{f}|} - \frac{\bar{\mathbf{f}}}{|\bar{\mathbf{f}}|} \right|, 0\right).$$

Чем качественнее изображение, тем ближе β к единице.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ

На основе описанного метода создана компьютерная система с использованием языка программирования C++. Для тестирования программы и предложенных алгоритмов в качестве исходных данных из архива видеонаблюдения за вулканами Камчатки [2] были взяты 8121 изображения вулкана Шивелуч за период с 20.10.14 по 25.10.14, общим размером около 1.64 Гб.

В качестве эталонных использовано 5 снимков вулкана, полученных в разное время суток, с идеальными погодными условиями, а также с четкой видимостью вулкана и проявлениями его активности, что достаточно для предварительной проверки работы алгоритма. На рис. 6 приведены примеры тестовых снимков и полученные результаты.



Рис. 6. Примеры тестовых снимков.

В результате работы компьютерной программы по оценке тестового набора из 8121 изображений вулкана Шивелуч получены следующие результаты: 18,4% из них отнесено к «пригодным» снимкам, 81,6% - «непригодным». Как показали эксперименты, автоматически определяемые оценки видимости являются корректными с точки зрения визуального восприятия человеком.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный в статье метод и алгоритмы позволяют на основе оценки видимости границ наблюдаемого вулкана, анализа частотных характеристик его изображений и динамики изменения оценок осуществлять изучение природного объекта.

Созданный набор программных средств дает возможность автоматизировать выполнение операций по анализу изображений и поставки результатов их работы в систему Сигнал [1] для дальнейших вулканологических исследований.

7. БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования проводятся при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 16-07-00156, 16-37-00026 мол_a).

8. СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Sorokin, A. A., Korolev S. P., Urmanov I. P., Verkhoturov A. L., Makogonov S. V., Shestakov N. V. Software Platform for Observation Networks Instrumental Data Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences // Proceedings of International Conference on Computer Science and Environmental Engineering (CSEE 2015), Beijing, MAY 17-18, 2015. Pp. 589-594. WOS:000361831900077

[2] Сорокин А.А., Королев С.П., Урманов И.П., Верхотуров А.Л., Шестаков Н.В., Гирина О.А. Информационная система для работы с данными инструментальных наблюдений с целью проведения исследований и мониторинга опасных природных явлений на Дальнем Востоке России // Всероссийская научная конференция с международным участием «Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска», Южно-Сахалинск, 26-30 мая 2015, сборник материалов. В 2-х томах по ред. Б.В. Левина, О.Н. Лихачевой. – Владивосток: Дальнаука. Т. 2. С. 443-447.

[3] 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.

[4] Hautière, N., Tarel, J., Lavenant, J. et al. Machine Vision and Applications (2006) 17: 8. doi:10.1007/s00138-005-0011-1

[5] Fernandez-Sanchez, E.J., Rubio, L., Diaz, J. et al. Machine Vision and Applications (2014) 25: 1211. doi:10.1007/s00138-013-0562-5

[6] Pooja Sharma, Gurpreet Singh, Amandeep Kaur / International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN: 2248-9622 www.ijera.com Vol. 3, Issue 3, May-Jun 2013, pp.458-461

[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

[8] Canny. J. A computational approach to edge detection. *Pattern Analysis and Machine Intelligence // IEEE Transactions on, PAMI, Nov. 1986, Vol. 8(6), pp. 679–698.*

[9] Elder J. H., Zucker S. W. *Local scale control for edge detection and blur estimation // IEEE Transactions on PAMI, 1998, Vol. 20(7), pp. 699–716.*

[10] Martin D., Fowlkes C., Malik J. *Learning to detect natural image boundaries using local brightness, color, and texture cues // IEEE Transactions on PAMI, 2004, Vol. 26(5) pp. 530–549.*

Об авторах

Урманов Игорь Павлович младший научный сотрудник Вычислительного центра ДВО РАН, лаборатория информационно-телекоммуникационных систем, Хабаровск, Россия. Контактный адрес электронной почты uip1@mail.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.