

УДК 004.932.2

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-831-842

Об обнаружении пожаров на изображениях земной поверхности в цветовой модели LAB

Ба Хала Ашраф Мохаммед Али

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
E-mail: 753975@bsu.edu.ru

Аннотация. В статье рассмотрена проблема обнаружения фрагментов фотографий, на которых присутствуют изображения пожаров/огня в условиях лесистой местности. Показано, что методы обнаружения лесных пожаров на основе анализа цвета пикселей не всегда позволяют получить адекватные результаты. Большинство известных методов обнаружения пожаров на основе анализа цвета пикселей используют цветовую модель RGB или комбинируют ее с моделью HSI, в работе для решения поставленной задачи предложено применять цветовую модель CIE LAB, которая обеспечивает более перцептивно однородное цветовое пространство по сравнению с другими цветовыми моделями. При применении данного цветового пространства разработанные решающие правила и метод обнаружения пожаров на изображениях позволяют достаточно точно определять фрагменты при сегментации пикселей, относящихся к огню на изображениях. Исследованы особенности представления данных для задач детектирования пожаров на изображениях. Представлен метод обнаружения пожаров на изображениях с использованием цветовой модели Lab. На основе вычислительных экспериментов показано, что предложенный метод обеспечивает достаточно точное определение фрагментов, содержащих изображение пожаров.

Ключевые слова: изображения лесных пожаров, обнаружение пожаров, цветовая модель LAB, сегментация изображения

Для цитирования: Ба Хала Ашраф Мохаммед Али. 2021. Об обнаружении пожаров на изображениях земной поверхности в цветовой модели LAB. Экономика. Информатика, 48 (4): 831–842. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-831-842.

Fire detection on earth's surface images in the LAB color model

Ba Hala Ashraf Mohammed Ali

Belgorod National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia
E-mail: 753975@bsu.edu.ru

Abstract. The article deals with the problem of detecting areas of images in photographs related to forest fire. In work are presented some features of data presentation for tasks related to detecting the presence of fires in images. It is shown that methods for detecting forest fires based on pixel color analysis do not always provide adequate results. Most of the known pixel color analysis techniques for fire detection use the RGB color model or combine it with the HSI model, In the work to solve the required issues, it is suggested to use the CIE LAB color model, which provides a more perceptually consistent color space compared to other color models. When using this color space, the developed decision rules and the method for detecting fires in images make it possible to determine fragments when segmenting pixels related quite accurately to fire in images. An approach to solving the detection problem using the Lab color model is presented, as it provides a better quality in terms of the accuracy of determining fires The features of data presentation for fire detection tasks on images are investigated. A method for detecting fires in images using the Lab color model is presented. Based on of computational experiments, it is shown that the proposed method provides a fairly accurate determination of fragments containing images of fires.

Keywords: forest fire images, fire detection, LAB color model, image segmentation



For citation: Ba Hala Ashraf Mohammed Ali. 2021. Fire detection on earth's surface images in the LAB color model. Economics. Information technologies, 48 (4): 831–842 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-831-842.

Введение

Лесные пожары являются серьезной природной опасностью [Greenpeace, 2021], которая угрожает экологическим системам, экономическим объектам, инфраструктуре и жизни людей. Каждый год миллионы гектаров леса уничтожаются пожарами, и на их тушение привлекается значительное количество людей и средств. Опасность возникновения пожаров связана с природными, антропогенными и экологическими факторами, включая экстремальное изменение климата. Таким образом, борьба с лесными пожарами рассматривается как один из важнейших вопросов охраны и сохранения природных и материальных ресурсов [Reuters, 2021]. Естественно, что раннее обнаружение лесных пожаров считается важным способом минимизации последствий, к которым они могут привести.

Для обнаружения лесных пожаров используются различные методы [Chen, Wu, and Chiou, 2004]. Одним из перспективных методов является использование систем фотофиксации. Фотофиксация позволяет получить изображение путем регистрации оптического излучения. В современных компьютерных системах обработке подвергаются цифровые двумерные изображения. Цифровые изображения, полученные путем фотофиксации, представляют собой двумерный массив чисел, при этом каждое число соответствует одному элементу изображения или пикселю, которые могут передаваться и храниться в сжатом виде. Следует отметить, что цифровые изображения характеризуются: 1) размером (обычно указывается размер в пикселях, например, 1920 x 1080 px), 2) глубиной цвета, 3) цветовым пространством или моделью (RGB: (Red, Green, Blue), CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Key или Black) и пр.), 4) разрешением изображения (величина, определяющая количество точек на единицу площади). Все представленные характеристики являются важными в той или иной степени в задаче распознавания участков изображения, относящихся к пожару и/или области задымления [Gunay, Toreyin, Kose, and Cetin, 2012].

Следует отметить, что так как лесные пожары возникают зачастую в труднодоступной местности, для мониторинга за такими участками используются беспилотные летательные аппараты (БПЛА).

Обнаружение лесных пожаров с помощью фотофиксации остается сложной задачей ввиду неструктурированности данных полученных изображений [Веретенникова, 2021]. Распознаванию участков изображения, относящихся к пожару, мешает сложная структура среды леса, возможность блокировки дымом изображения пожара, или появления паразитных эффектов на изображениях, таких как: солнечные блики, движение растительности (из-за сильного ветра) и животных, или вибрацию и движение камер, установленных на беспилотных летательных аппаратах. Это может вызывать ошибки при распознавании.

В задачах распознавания используется некоторая мера близости характеристик искомого образа (например, пожара) с границами области определения допустимых изменений, заданных на некотором пространстве [Cetin, et al., 2013, Chen, Wu, and Chiou, 2004]. Для меры близости необходимо определить некоторую критическую область, так что, если ее значения попадают в эту область, нулевая гипотеза (H_0 – распознаваемая область является изображением пожара) отвергается.

Таким образом, распознавание участков пожара на изображениях представляет сложную комплексную задачу. Необходимо обеспечить как достаточно полное описание изображения, которое будет подвергаться обработке, так и определить важные,

применительно к задаче поиска пожаров, характеристики и меры близости. Неадекватное определение границ критической области может привести к неверному решению о справедливости нулевой гипотезы – что является ошибкой 1 или 2 рода в зависимости от того, принята ли гипотеза ошибочно, либо отвергнута неверно.

При решении задач распознавания пожаров на изображениях в первую очередь необходимо снизить вероятность возникновения ложных тревог (ошибки 2 рода), повысить вероятность верного обнаружения и повысить адаптивные возможности алгоритма распознавания в различных условиях окружающей среды. Предполагается, что решить эту задачу возможно за счет применения методов сегментации изображений с использованием некоторых характеристик, отличающих области пожара.

Основная часть

Обнаружение пожара на основе обработки изображений, полученных с камер БПЛА, предлагается осуществлять с помощью сегментации пикселей различного цвета, которые являются основным признаком наличия огня. Основная цель сегментации изображений состоит в том, чтобы отличить пиксели огня от фоновых пикселей. Методы, которые обычно применяются для сегментации изображений, могут быть выбраны в зависимости от типа изображения: видимого или инфракрасного диапазона. На рисунке 1 приведен результат сегментации огня на изображении видимого диапазона.



Рис. 1. Сегментация источника огня: а – исходное изображение; б – сегментированное изображение (пиксели пожара выделены красным)

Fig. 1. Segmentation of the fire source: a – the original image; b – segmented image (fire pixels are highlighted in red)

Обнаружение лесных пожаров на основе анализа цвета пикселей

Анализ цвета пикселей является одним из распространенных методов, используемых при обнаружении пожаров на основе зрения, и в настоящее время широко используется во многих методах обнаружения [Chen, Wu, and Chiou. 2004.]. Очевидно, что цвет пикселей не может быть использован непосредственно для обнаружения изображения пожара, так как на изображении могут присутствовать схожие с пожаром цветные объекты. Однако информация о цвете может быть использована как часть более сложной системы. В данном исследовании алгоритмы обработки цветных изображений, применяемые для автоматического обнаружения лесных пожаров, позволяют выполнять ввод изображений, их предварительную обработку (включая улучшение изображения, преобразование цветовой

модели) и пороговую сегментацию. Схема процедуры взаимодействия этих алгоритмов в обобщенном виде приведена рисунке 2.

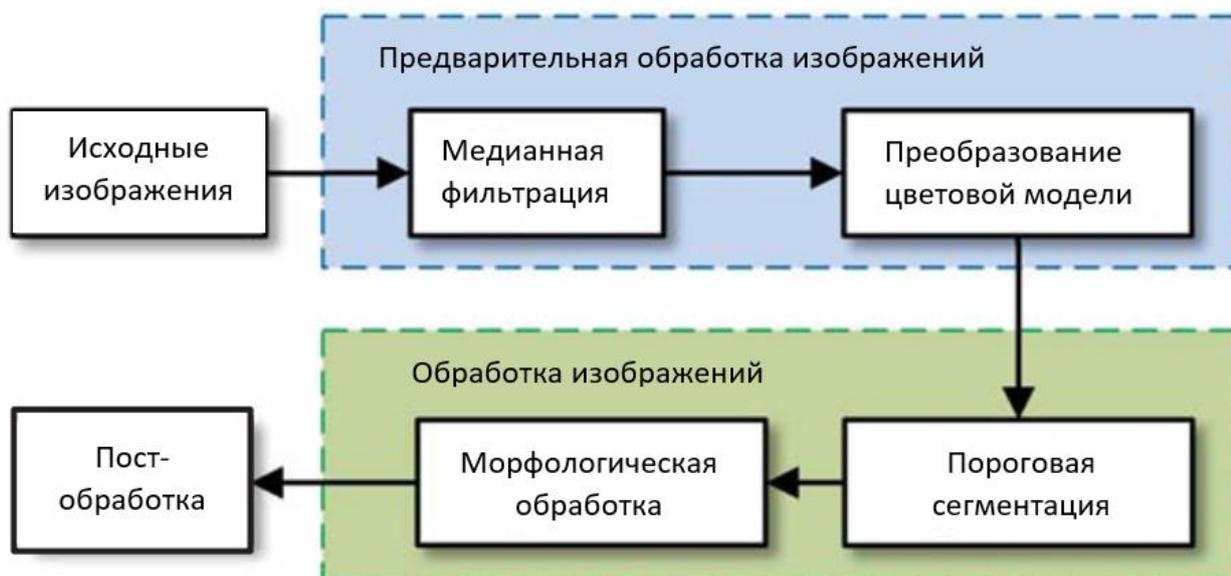


Рис. 2. Структурная схема процедуры обнаружения пожара на основе анализа цвета пикселей
Fig. 2. Block diagram of a fire detection algorithm based on pixel color analysis

Рассмотрим пример результатов обнаружения пожара на основе анализа цвета пикселей – выделяются пиксели желтых, оранжевых и красных тонов (рисунок 3).

На рисунке 3 изображения колонок 2 и 3 демонстрируют результаты сегментации пикселей желтых, оранжевых и красных тонов.

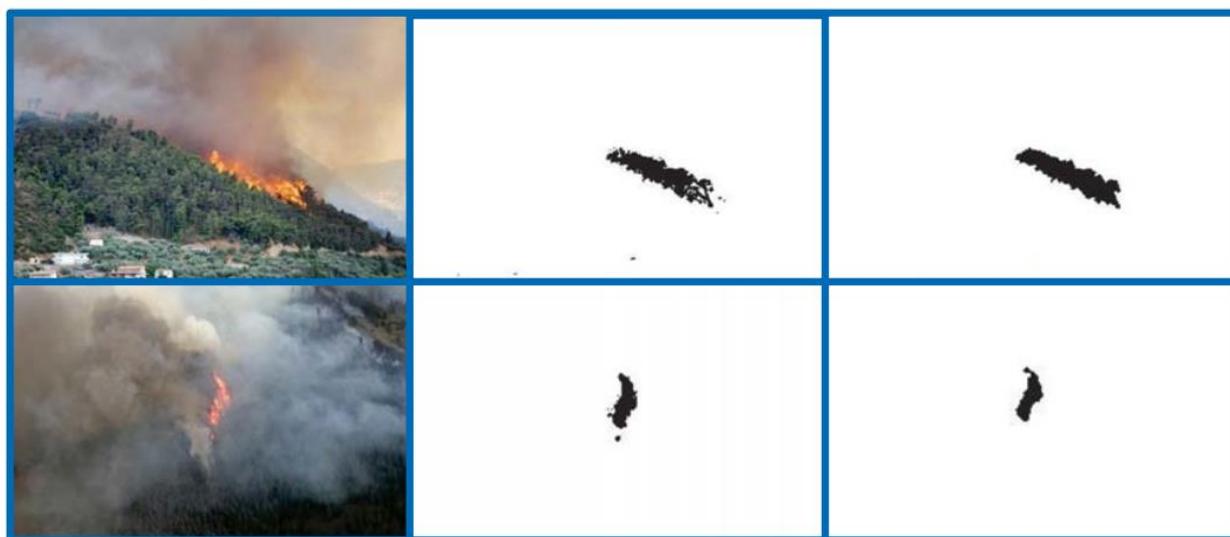


Рис. 3. Обнаружение пожара на основе цветовой сегментации
Fig. 3. Fire detection based on color segmentation

Однако метод обнаружение лесных пожаров на основе анализа цвета пикселей не всегда позволяет получить адекватные результаты. Например, чем больше отдельных разнотипных объектов зафиксировано на изображении, тем выше вероятность ошибок первого рода, которая может быть вызвана красноватым цветом крыш домов, желтым цветом палаток и пр. На территориях с преобладающими красноземами, например, австралийский буш, распознавание данным методом не позволяет сегментировать почву и пожар (рисунок 4).



Рис. 4. Изображения пожара в австралийском буше
 Fig. 4. Images of a fire in the Australian bush

В цвете пикселей на фрагменте изображения, относящегося к открытому пламени, обычно преобладают различные оттенки красного. Следует отметить, что цвет огня изменяется в зависимости от температуры горения. Если температура огня низкая, цвет колеблется от красного до желтого, а при повышении температуры он может стать белым. Это указывает на то, что низкотемпературные пожары соответствуют цветам с высокой интенсивностью, в то время как высокотемпературные очаги пламени соответствуют цветам с низкой интенсивностью. Кроме того, цвет пламени в дневное время или с дополнительными источниками света имеет более высокую интенсивность, чем цвет пламени без источника света [Gunay, et al., 2012]. В большинстве случаев изменение цвета огня может быть представлено в виде дискретных значений между красным и желтым в различных цветовых моделях. Как правило, различные результаты сегментации могут быть получены с использованием различных цветовых моделей.

Большинство известных методов обнаружения пожара на основе анализа цвета пикселей используют цветовую модель RGB или комбинируют ее с моделью HSI [Gunay, et al., 2012; Qi, Ebert, 2009]. Модель RGB широко используется, в основном, в связи с тем, что большинство камер видимого диапазона позволяют регистрировать изображения в формате RGB (регистрация изображений осуществляется по 3 каналам). В [Mutar Ahmed, 2019] отмечено, что для значений RGB пикселей огня в красно-желтом цветовом диапазоне справедливо правило $R > G > B$. В задачах обнаружения с применением цветовой модели HSI значения цвета от красного до желтого диапазона могут быть представлены следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Условие №1 } 0 \leq H \leq 60 \\ \text{Условие №2 } \begin{cases} 30 \leq S \leq 100 \\ 20 \leq S \leq 100 \end{cases} \\ \text{Условие №3 } 127 \leq I \leq 255 \end{array} \right. , \quad (1)$$

где H , S и I – значения оттенка, насыщенности и интенсивности определенного пикселя изображения, которые могут варьироваться в диапазоне от $[0;1]$ или в случае использования 8-битных чисел для отображения цвета – $[0;255]$

В данной работе разрабатываются правила обнаружения пожара на основе анализа цвета пикселей с использованием цветовой модели Lab для определения фрагментов изображения (зон пикселей) с возможным присутствием пожара. Это связано с тем, что, согласно исследованиям, приведенным в [Mutar Ahmed, 2019], цвета пикселей пламени в Lab-модели более заметны, чем в других цветных моделях (рисунок 5).

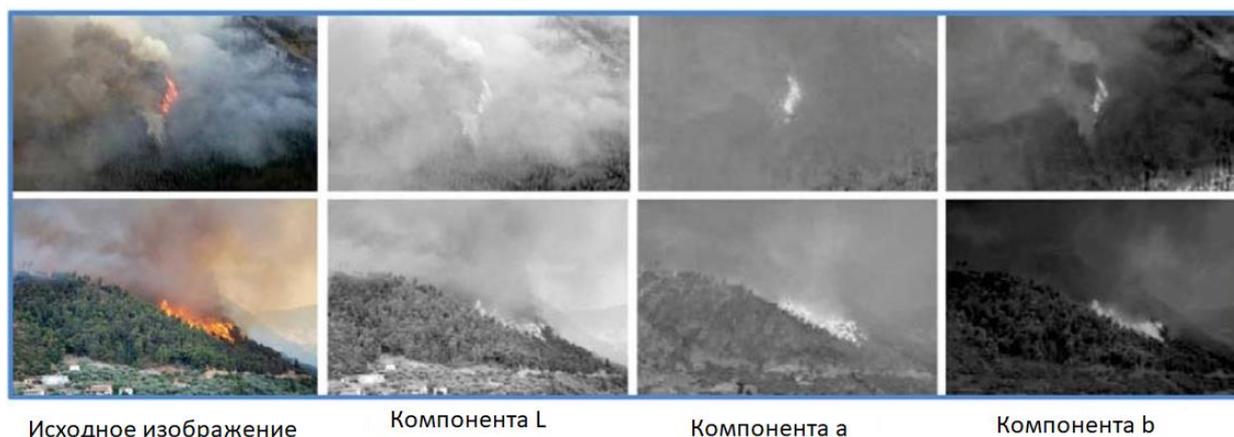


Рис. 5. Отображение пламени в каждой компоненте Lab модели
 Fig. 5. Displaying the flame in each component of the Lab model

В отличие от цветовых пространств RGB или CMYK, которые являются, по сути, набором аппаратных данных для воспроизведения цвета на экране монитора или на бумаге (цвет может зависеть от типа печатной машины, марки красок, влажности воздуха в цеху или производителя монитора и его настроек), модель Lab однозначно определяет цвет. Поэтому модель Lab нашла широкое применение в программном обеспечении для обработки изображений в качестве промежуточного цветового пространства, через которое происходит конвертирование данных между другими цветовыми пространствами [Mutar Ahmed, 2019; Gati' Hazim Dway, Ahmed Mutar, 2019].

Цветовая модель Lab предназначена для аппроксимации цветов, воспринимаемых человеческим зрением, что означает, что ее цветовой охват также превосходит цветовой охват цветковых моделей RGB и HSI. В отличие от цветковых моделей RGB и HSI, цветовая модель Lab – это абсолютное цветовое пространство, которое не зависит от таких устройств, как камера, монитор и принтер. Независимость от устройств позволяет в модели Lab (рисунок 6) определять цвета без учета природы их получения или устройства, на котором они отображаются. Как показано на рисунке 5, цветовая модель Lab состоит из трех частей: яркость L, цветность a и цветность b. Яркость L представляет собой диапазон интенсивности от самого темного черного до самого яркого белого.

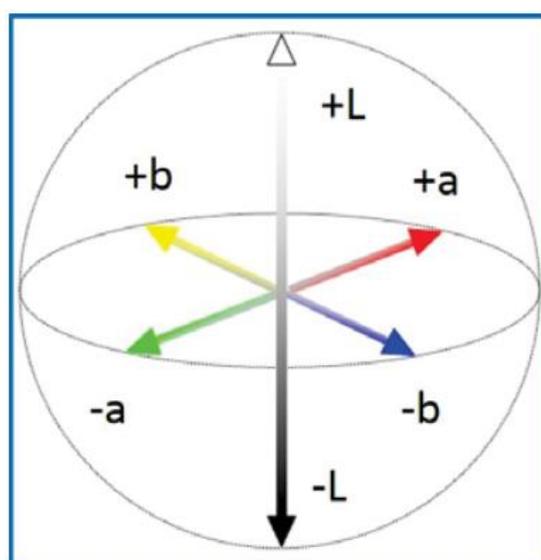


Рис. 6. Иллюстрация цветовой модели Lab
 Fig. 6. Lab color model illustration

Масштабирование значений L выполняется в диапазоне от 0 до 100. Цветность a означает, что цвет варьируется от красного до зеленого, причем красный цвет имеет положительное значение, а зеленый – отрицательное значение. Цветность b указывает на изменение цвета от желтого до синего, причем желтый цвет имеет положительное значение b , а синий – отрицательное значение b . Шкала значений a и b обычно ограничена в диапазоне (-128, 127). Чтобы преобразовать цветовую модель RGB в цветовую Lab модель, используются следующие соотношения:

$$\left[\begin{array}{l} L = 116 \times (0.299R + 0.587G + 0.114B)^{\frac{1}{3}} - 16 \\ a = 500 \times [1.006 \times (0.607R + 0.174G + 0.201B)^{\frac{1}{3}} - (0.299R + 0.587G + 0.114B)^{\frac{1}{3}}] \\ b = 200 \times [(0.299R + 0.587G + 0.114B)^{\frac{1}{3}} - 0.846 \times (0.066G + 0.117B)^{\frac{1}{3}}] \end{array} \right] \quad (2)$$

В данном исследовании для определения потенциальных областей пожара правила принятия решений на основе анализа цвета разработаны для цветовой модели Lab. В цветовой модели Lab чем больше значение каждого компонента, тем ближе они к ярчайшему белому, красному и желтому соответственно. Поскольку цвет огня, в большинстве случаев, имеет значения, близкие к красному и желтому, и обладает высокой яркостью, обычно считают, что значения пикселей огня в каждом канале цветовой модели Lab должны быть больше, чем у других пикселей цвета, не связанных с огнем. На рисунке 5 приведен пример отображения пикселей, относящихся к пламени с помощью каждого компонента модели Lab.

При решении задачи обнаружения важное значение имеет среднее значение яркости m и среднее квадратическое отклонение σ яркости.

Выражение для расчета средней яркости изображения $I[i,j]$, размером $N_i \times N_j$ пикселей, имеет вид:

$$m = \frac{1}{N_i N_j} \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{j=1}^{N_j} I[i, j]. \quad (3)$$

Оценка среднее квадратического отклонения яркости изображения $I[i,j]$ находится в соответствии с выражением

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N_i N_j} \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{j=1}^{N_j} (I[i, j] - m)^2}. \quad (4)$$

При проведении предварительных вычислительных экспериментов на основании 10 различных изображений леса и пожара получены оценки средней яркости m и среднее квадратическое отклонение σ для яркостных компонент цветовой модели Lab, их значения приведены в таблице 1. Область пожара на изображениях размечалась вручную в виде прямоугольника.

Таблица 1
Table 1

Значения оценок средней яркости и среднее квадратическое отклонение яркости леса и пожара при использовании различных цветовых компонент модели Lab
 Values of estimates of the average brightness and standard deviation of the brightness of the forest and fire using different color components of the Lab model

	Исходное изображение						Область, содержащая пиксели пожара					
	L		a		b		L		a		b	
№ Изобр.	m_l	σ_l	m_a	σ_a	m_b	σ_b	m_c	σ_c	m_c	σ_c	m_c	σ_c
1.	44,34	21,06	0,06	6,49	1,82	12,44	63,70	17,00	13,34	13,07	34,43	19,16

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2.	57,59	24,55	-0,95	6,67	8,27	12,72	61,63	14,32	21,03	10,45	45,06	23,73
3.	54,95	6,22	-3,62	3,41	12,55	5,97	61,55	7,70	1,71	5,66	-1,33	10,16
4.	57,02	10,76	1,13	4,43	-0,62	3,46	47,46	10,19	17,90	15,08	12,58	11,94
5.	32,31	21,36	0,61	5,76	0,08	7,66	34,29	15,63	11,15	12,79	13,06	14,29
6.	44,04	14,61	5,97	11,87	4,23	19,13	52,16	18,36	16,63	16,12	23,50	24,10
7.	54,95	22,48	4,98	8,81	16,54	16,85	50,96	14,51	18,41	15,90	36,09	15,49
8.	39,46	14,79	1,29	4,45	4,76	6,90	39,41	19,68	6,36	10,38	12,36	12,77
9.	20,95	18,89	2,42	6,94	4,33	14,13	24,44	24,55	8,32	10,70	16,79	20,35
10.	45,55	24,56	-2,74	6,40	0,34	5,91	48,73	13,91	9,59	13,10	8,98	10,95
Среднее значение	45,12	17,93	0,91	6,52	2,72	10,52	48,43	15,59	12,44	12,33	20,15	16,29

На рисунке 7 приведены (в соответствии с данными, представленными в таблице 1) графики значений средней яркости пикселей леса (линия 1) и пожара (линия 2) для 10 изображений.

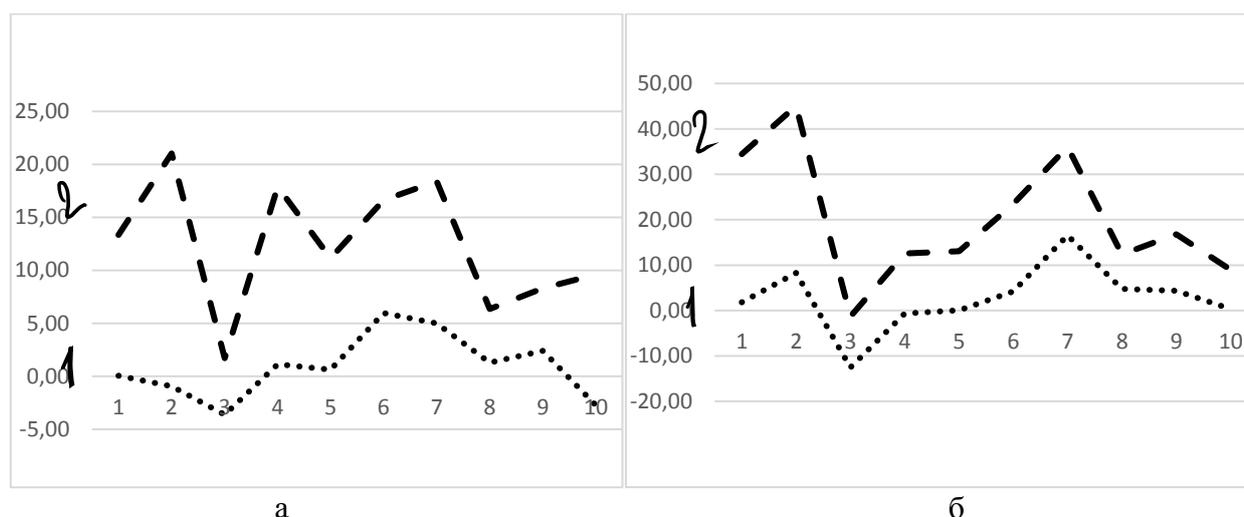


Рис. 7. Значения средней яркости пикселей леса и пожара для 10 изображений:
 а – среднее значение яркости пикселей для цветовой компоненты, б – среднее значение яркости пикселей для цветовой компоненты

Fig. 7. Values of the average brightness of the forest and fire pixels for 10 images:
 а – the average value of the brightness of pixels for the color component, б – the average value of the brightness of the pixels for the color component

На основании приведенных выше свойств значений цветowych компонент модели Lab, а также результатов предварительных вычислительных экспериментов, приведенных в таблице 1 и на рисунке 7, в данной работе предложены следующие правила принятия решения о наличии изображения огня:

$$R1(i, j) = \begin{cases} 1, L(i, j) \geq m^L \\ 0, \text{ в других случаях} \end{cases} \quad (5)$$

$$R2(i, j) = \begin{cases} 1, a(i, j) \geq m^a \\ 0, \text{ в других случаях} \end{cases} \quad (6)$$

$$R3(i, j) = \begin{cases} 1, b(i, j) \geq m^b \\ 0, \text{ в других случаях} \end{cases} \quad (7)$$

$$R4(i, j) = \begin{cases} 1, b(i, j) \geq a(i, j) \\ 0, \text{ в других случаях} \end{cases} \quad (8)$$

где $R1$, $R2$, $R3$ и $R4$ являются двоичными изображениями, которые представляют наличие огня в пространственном местоположении пикселей (i, j) при значении 1 и отсутствие огня при значении 0. Значения $R1(i, j)$, $R2(i, j)$ и $R3(i, j)$ вычисляются на основании сравнения свойств входного изображения с пороговыми значениями средней яркости соответствующих компонент модели Lab. Значение $R4(x, y)$ представляет информацию о цвете огня; например, огонь имеет красноватый цвет.

Решающее правило о наличии огня (правило сегментации пикселей, относящихся к изображению огня) определяется логическим произведением двоичных изображений $R1$, $R2$, $R3$ и $R4$:

$$R(i, j) = R1(i, j) \wedge R2(i, j) \wedge R3(i, j) \wedge R4(i, j). \quad (9)$$

Примеры применения предложенного правила (9) сегментации пикселей, относящихся к изображению огня, приведены на рисунке 8.



Рис. 8. Иллюстрация применения правила сегментации пикселей, относящихся к изображению огня (слева – исходные изображения, справа – результат сегментации)

Fig. 8. Illustration of the application of the rule of segmentation of pixels related to the image of fire (on the left – the original images, on the right – the result of segmentation)

Результаты сегментации пикселей, относящихся к изображению огня, приведенные на рисунке 8, показывают, что применение разработанного решающего правила позволяет адекватно выделить пиксели, соответствующие изображению огня.



На основании предложенного решающего правила сегментации пикселей, относящихся к изображению огня, разработан метод обнаружения изображений пожаров в рамках применения цветовой модели Lab. Данный метод предлагается использовать как самостоятельно для обнаружения пожаров на изображении, а также применять в различных системах наблюдения как предварительный этап обработки изображений для детектирования пикселей, относящихся к пожару. Результаты вычислительных экспериментов показали, что разработанные решающие правила и метод позволяют производить обнаружение пожара на изображениях.

Выводы

Процесс сегментации изображения является первым и наиболее важным шагом для обработки изображений, содержащих изображения пожаров, поскольку он определяет адекватность выполнения следующих шагов. Сегментация лесных пожаров нетривиальна, цвет огня варьируется от желтого до красного и может присутствовать дым с разной степенью прозрачности. Для обнаружения пожара на видеопоследовательности применяют различные алгоритмы. Среди них можно выделить алгоритмы сегментации огня, которые используют цветовые критерии в разных цветовых пространствах: RGB, YCbCr, HSV, HSI или сочетание различных цветовых пространств.

В данной работе было использовано цветовое пространство Lab. Выбор цветового пространства CIE Lab заключается в том, что оно является перцептивно однородным цветовым пространством. При применении данного цветового пространства разработанные решающие правила и метод обнаружения пожаров на изображениях позволяют достаточно точно определять фрагменты при сегментации пикселей, относящихся к огню на изображениях.

Список литературы

1. Астратов О.С., Смирнов В.М., Филатов В.Н. 2018. Обнаружение лесных пожаров по видеоизображениям. Научная сессия ГУАП: сб. докл. СПб.: ГУАП, 7–11.
2. Веретенникова Н.С. 2021. Проблема Своевременного обнаружения и ликвидации лесных пожаров URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-svoevremennogo-obnaruzheniya-i-likvidatsiya-lesnyh-pozharov/viewer> (дата обращения: 19.08.2021)
3. Википедия. Свободная энциклопедия – Статья “Цветовое пространство LAB”. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/LAB> (дата обращения 20.09.2021)
4. Красильников Н.Н. 2011. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений. СПб.: «БХВ-Петербург». 2011. 608 с.
5. Cetin A.E., Dimitropoulos K., Gouverneur B., Grammalidis N., Gunay O., Habiboglu Y.H., Toreyin B.U., Verstockt S. 2013 “Video fire detection–review,” Digital Signal Processing, 23(6): 1827–1843.
6. Chen J., He Y., Wang J., 2010. Multi-feature fusion based fast video flame detection. Building and Environment. 45(5): 1113–1122.
7. Chen T, Wu P., Chiou Y. 2004. An early fire-detection method based on image processing. Proceedings of the International Conference on Image Processing. 1707–1710.
8. Gati' Hazim Dway, Ahmed Mutar. 2019. Fire Detection Based On Color Spaces. URL: <https://www.iasj.net/iasj/download/83a65f24e81636bd> (дата обращения: 19.08.2021)
9. Greenpeace. 2021. 2021 год стал рекордным по площади пожаров. URL: <https://greenpeace.ru/news/2021/08/16/2021-god-stal-rekordnym-po-ploshhadi-pozharov/> (дата обращения 16.08.2021)
10. Gunay O., Toreyin B. U., Kose K., and Cetin A. E. 2012. Entropy-functional-based online adaptive decision fusion framework with application to wildfire detection in video. IEEE Transactions on Image Processing. 21(5): 2853–2865.

11. Mutar Ahmed. 2019. Study Fire Detection Based On Color. URL: https://www.researchgate.net/publication/332882077_Study_Fire_Detection_Based_On_Color_Spaces (дата обращения 20.09.2021)
12. NASA. 2021. Fires Scorch the Sakha Republic earthobservatory.nasa.gov. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/148537/fires-scorch-the-sakha-republic> (дата обращения: 19.09.2021)
13. Qi X., Ebert J. 2009. A computer vision-based method for fire detection in color videos. *International Journal of Imaging*. 2(S09): 22–34.
14. Reuters. 2021. Russian planes seed clouds as raging wildfires near Siberian power plant. URL: <https://www.reuters.com/business/environment/russian-planes-seed-clouds-raging-wildfires-near-siberian-power-plant-2021-07-19/> (дата обращения: 19.08.2021)
15. Sangwine S.J., Horne R.E.N. 1998. *The color image processing Handbook*, Chapman & Hall. 472 p.

References

1. Astratov O.S., Smirnov V.M., Filatov V.N. 2018. Obnaruzhenie lesnyh pozharov po videoizobrazheniyam [Detection of forest fires by video images]. *Nauchnaya sessiya GUAP* [Scientific session of SUAI]. SPb., GUAP, 7–11.
2. Veretennikova N.S. 2021. Problema Svoevremennogo obnaruzheniya i likvidatsii lesnyh pozharov [Problem of timely detection and elimination of forest fires]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-svoevremennogo-obnaruzheniya-i-likvidatsiya-lesnyh-pozharov/viewer> (accessed 19.08.2021)
3. Wikipedia. Svobodnaya enciklopediya – Stat'ya “Cvetovoe prostranstvo LAB” [Wikipedia. Free Encyclopedia – Article “LAB color space”]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/LAB> (accessed 20.09.2021)
4. Krasil'nikov N.N. 2011. *Cifrovaya obrabotka 2D- i 3D-izobrazhenij* [Digital processing of 2D and 3D images]. SPb. «BHV-Peterburg». 608 p.
5. Cetin A.E., Dimitropoulos K., Gouverneur B., Grammalidis N., Gunay O., Habiboglu Y.H., Toreyin B.U., Verstockt S. 2013 “Video fire detection–review,” *Digital Signal Processing*, 23(6): 1827–1843.
6. Chen J., He Y., Wang J., 2010. Multi-feature fusion based fast video flame detection. *Building and Environment*. 45(5): 1113–1122.
7. Chen T, Wu P., Chiou Y. 2004. An early fire-detection method based on image processing. *Proceedings of the International Conference on Image Processing*. 1707–1710.
8. Gati' Hazim Dway, Ahmed Mutar Study. 2019. Fire Detection Based On Color Spaces. URL: <https://www.iasj.net/iasj/download/83a65f24e81636bd> (accessed 19.08.2021)
9. Greenpeace. 2021. 2021 god stal rekordnym po ploshchadi pozharov [2021 became a record year for the area of fires]. URL: <https://greenpeace.ru/news/2021/08/16/2021-god-stal-rekordnym-po-ploshhadi-pozharov/> (accessed 16.08.2021)
10. Gunay O., Toreyin B. U., Kose K., and Cetin A. E. 2012. Entropy-functional-based online adaptive decision fusion framework with application to wildfire detection in video. *IEEE Transactions on Image Processing*. 21(5): 2853–2865.
11. Mutar Ahmed. 2019. Study Fire Detection Based On Color. URL: https://www.researchgate.net/publication/332882077_Study_Fire_Detection_Based_On_Color_Spaces (accessed 20.09.2021)
12. NASA. 2021. Fires Scorch the Sakha Republic earthobservatory.nasa.gov. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/148537/fires-scorch-the-sakha-republic> (accessed: 19.09.2021)
13. Qi X., Ebert J. 2009. A computer vision-based method for fire detection in color videos. *International Journal of Imaging*. 2(S09): 22–34.
14. Reuters. 2021. Russian planes seed clouds as raging wildfires near Siberian power plant. URL: <https://www.reuters.com/business/environment/russian-planes-seed-clouds-raging-wildfires-near-siberian-power-plant-2021-07-19/> (accessed 19.08.2021)
15. Sangwine S.J., Horne R.E.N. 1998. *The color image processing Handbook*, Chapman & Hall. 472 p.



Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Ба Хала Ашраф Мохаммед Али, аспирант
института Инженерных и цифровых технологий,
Белгородский государственный национальный
исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ba Hala Ashraf Mohammed Ali, Ph. D student
Institute of Ingeenering and Digital Technologies,
Belgorod National Research University, Belgorod,
Russia