

## АЛГОРИТМ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПОЖАРОВ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЯХ

### ALGORITHM FOR DETECTING FIRES IN AGRICULTURAL FIELDS

**D. Lyakhmanov**  
**S. Kapranov**  
**M. Stepanenko**

*Summary.* This article discusses search algorithms for smoke-like structures in a video stream in order to identify fires in open agricultural areas. The principle of the search is based on the temporal analysis of the change in the brightness index of the pixel groups of the video stream. For pixel groups belonging to the video stream of combustion products, an irregular smooth change in brightness is characteristic, which makes it possible to distinguish them from other dynamic objects, such as clouds or moving objects. The proposed algorithm makes it possible to determine smoke-like structures from a video stream, based on video streams of extremely low resolutions. This advantage makes it possible to detect fires at large distances, without the use of high-resolution video cameras. The test results showed the consistency of the proposed algorithm and the possibility of its use in video surveillance systems for the state of agricultural areas.

*Keywords:* Fire detection, agricultural areas, video stream analysis, smoke-like structures, low resolution.

**Ляхманов Дмитрий Александрович**

*К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Нижегородский  
государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева»  
dm.virger@gmail.com*

**Капранов Сергей Николаевич**

*К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Нижегородский  
государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева»  
serg.kapranov@gmail.com*

**Степаненко Мария Анатольевна**

*К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Нижегородский  
государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева»  
ma.stepanenko@gmail.com*

*Аннотация.* В данной статье рассматриваются алгоритмы поиска в видеопотоке дымоподобных структур с целью выявления очагов возгорания на открытых сельскохозяйственных площадях. Принцип поиска основан на временном анализе изменения показателя яркости пиксельных групп видеопотока. Для пиксельных групп, принадлежащих видеопотоку продуктов горения характерно нерегулярное плавное изменение яркости, что позволяет отличать их от других динамических объектов, такие как облака или перемещающиеся предметы. Предлагаемый алгоритм позволяет определять дымоподобные структуры по видеопотоку, основываясь на видеопотоках экстремально малых разрешений. Данное преимущество дает возможность определять очаги возгорания на больших расстояниях, без использования видеокамер высокого разрешения. Результаты тестирования показали состоятельность предлагаемого алгоритма и возможность его использования в системах видеонаблюдения за состоянием сельскохозяйственных площадей.

*Ключевые слова:* Детектирование возгораний, сельскохозяйственные площади, анализ видеопотока, дымоподобные структуры, малое разрешение.

### Введение

**О**дной из наиболее актуальных и остро стоящих проблем современного сельского хозяйства является проблема пожаров на посевных площадях в периоды созревания сельскохозяйственных культур. Данный тип пожаров возникает спонтанно, из-за отсутствия постоянного наблюдения определяется как правило уже на терминальной стадии и наносит существенный ущерб хозяйствам, уничтожая тысячи гектаров посевов ежегодно. На конец 2022 года в одном только Ставропольском крае было зарегистрировано

1855 термических точек на площади 33321 га [1]. А статистические данные за несколько последних лет свидетельствуют о росте количества пожаров и увеличении наносимого ими материального ущерба.

Для решения данной задачи был разработан программно-аппаратный комплекс детектирования очагов возгорания, представляющий из себя наблюдательный модуль, размещаемый на посевных площадях и осуществляющий видеоконтроль территории. Наблюдательный модуль представляет собой автономный комплекс видеонаблюдения с интеллектуальной об-

работкой собираемых данных, предназначенный для выполнения задач определения очагов возгорания в местах с отсутствующей инфраструктурой связи и питания. Каждый наблюдательный модуль размещается на высотной мачте, стоящей вблизи контролируемых посевных площадей, и осуществляет сбор и анализ видеоданных. При возникновении очага возгорания модуль локализует его, координирует свои действия с соседними терминалами, верифицируя результат анализа и уточняя координаты очага, и передает отчет о возникновении внештатной ситуации оператору или службу быстрого реагирования.

### Особенности детектирования очагов возгораний

Для решения задачи определения очага возгорания на открытой местности на начальной стадии развития предлагается алгоритм, основанный на анализе вариативности яркости пиксельных элементов видеопотока высокого разрешения.

Одной из основных проблем детектирования очага возгорания является тот факт, что сама точка горения может находиться на малом возвышении над землей и не находится в прямой видимости видеокамер. Данная ситуация наблюдается в 80% возгораний и является наиболее вероятной. При описанном развороте событий очаг возгорания не виден длительное время и переходит в терминальную стадию скачкообразно. Выявить точку горения с помощью тепловизоров или иными средствами отслеживания открытого пламени не представляется возможным, т.к. точка горения может находиться вне зоны прямой видимости тепловизора, а высокая температура окружающей среды хорошо маскирует ее в инфракрасном спектре. Исходя из этого можно сказать, что использовать методы прямого наблюдения и отслеживания открытого пламени являются малоэффективными для отслеживания, зарождающегося пожаров в латентной стадии.

Одним из основных требований, накладываемых на детектор, является радиус наблюдения не менее  $R=2$  км. Использование камер с высокой плотностью пикселей на матрице и высоким аппаратным разрешением (1920x1080) приводит к тому, что на границе видимого диапазона каждый пиксел матрицы охватывает участок шириной  $L=2,18$  метра, что позволяет ей различать только объекты линейные размеры, которых многократно превосходят величину  $L$ . В большинстве случаев в начальной стадии развития пожара зона горения не превышает нескольких метров и является практически неразличимой на расстоянии вдвое меньшем, чем требуемый радиус наблюдения. Решение данной проблемы путем использования видеокамер с более

высоким разрешением имеет два серьезных недостатка. Первый связан с тем, что применение камер с более высоким разрешением приведет к экспоненциальному росту объема вычислений и необходимости применять значительно более мощные вычислительные модули. Второе негативное последствие связано с увеличением стоимости установки.

Следующей особенностью наблюдаемого процесса горения является то, что в большинстве случаев при возникновении пожара открытое пламя видно только в терминальной стадии. На начальном этапе открытое пламя может быть выражено слабо или же совсем отсутствовать. При этом может наблюдаться активное тление с выделением большого количества сизого дыма. Использование методов детектирования точки горения, основанных на распознавании открытого пламени, в данном случае является малоэффективным.

Все перечисленные выше особенности накладывают серьезные требования к разрабатываемому детектору очага возгорания и указывают на невозможность применения традиционным методов распознавания точки горения по открытому пламени.

### Алгоритм детектирования задымления

Предлагаемый алгоритм детектирования очага возгорания основан на поведенческом анализе видеопотока, а именно поиске в нем оптических структур схожих по своему поведению с дымоподобными структурами. На основании перечисленных выше особенностей задачи к алгоритму предъявляются следующие требования:

1. возможность различения продуктов горения и дымоподобных структур на основании малых пиксельных изображений (порядка 20 пикселей);
2. отличие скоплений продуктов горения от оптически схожих структур (облаков, конвекционных атмосферных искажений и т.д.);
3. различение скоплений продуктов горения при ярком дневном освещении и в условиях конвекционных атмосферных искажений.

В основу предлагаемого алгоритма положен принцип поведенческого анализа отдельных пикселей нормализованного полутонового видеопотока во времени. В качестве основной наблюдаемой характеристики выступает цветовая интенсивность пикселей на кадрах видеопотока во времени. Для получения статистики изменения интенсивности цвета из видеопотока с некоторым интервалом  $T$  извлекается ряд [1–4,6] кадров  $N$ . Далее для каждого интересующего пиксела формируется временной ряд  $B^{xy} = \{b_i^{xy}\}_{i=1}^N$ , где  $b_i^{xy}$  — это

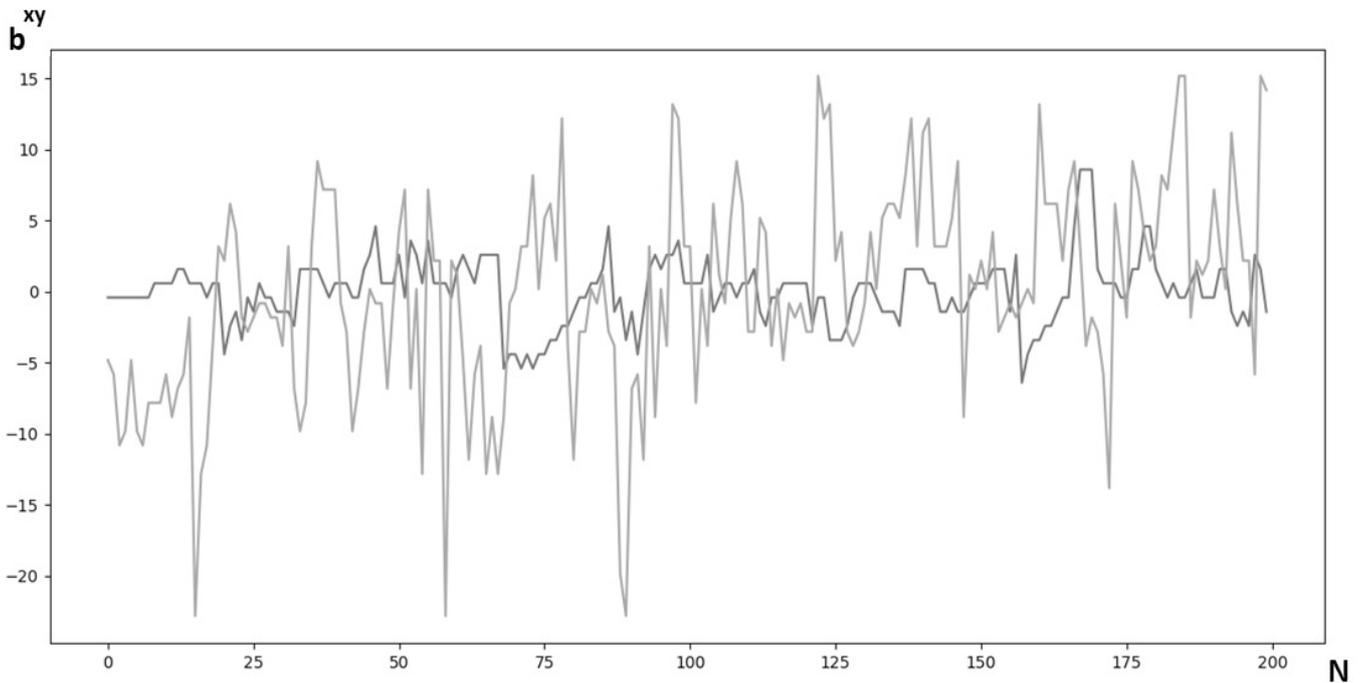


Рис. 1. Временные ряды изменения яркостей пикселей изображения: а — пиксель видеопотоков продуктов горения, б — пиксель окружающей видеопотока полевой растительности.

яркость пиксела с координатами  $(x, y)$  на  $i$ -м кадре выборки. Каждый временной ряд  $B^{xy}$  несет в себе информацию о том, каким образом меняется яркость участка кадра во времени и может использоваться для определения принадлежности пиксела некоторым специфичным объектам. Для дальнейшего рассуждения примем, что получение видеопотока происходит из стационарной точки наблюдения, а источник возгорания на начальном этапе так же не перемещается в поле зрения. При этом часть пикселей, принадлежащих изображениям продуктов горения, можно вывить по некоторым специфичным для них особенностям временных рядов [2–5]  $b_i^{xy}$ . Для наглядности рассмотрим рис. 1, на котором изображены графики центрированных временных рядов  $b^{xy}$  двух пикселей, один из которых принадлежит изображению продуктов горения.

Из графика видно, что временной ряд  $B^{xy}$ , описывающий изменение яркости пиксела продуктов горения имеет гораздо большую вариативность и ее размах по сравнению с пикселем окружающей обстановки.

Для выделения интересующих нас временных рядов, описывающих изменение яркости пикселей дымоподобных структур, введем коэффициент вариативности  $V$  являющейся оценкой нерегулярности временного ряда. Нерегулярность, в отличие от степени детерминированности временного ряда, характери-

зует степень его неупорядоченности ряда и сложность закона развития. В результате анализа подходов и критериев, используемых для оценки степени нерегулярности временного ряда, сделан вывод, что наиболее подходящим является коэффициент вариативности  $V$ :

$$V = \frac{\overline{\Delta b^{xy}}}{|\overline{b^{xy}}|}$$

Где  $|\overline{b^{xy}}|$  — модуль статистического среднего временного ряда;  $\overline{\Delta b^{xy}}$  — модуль средней разности временного ряда  $B^{xy}$ . Модуль средней разности временного ряда рассчитывается по следующей формуле [6]:

$$\overline{\Delta b^{xy}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |b_y^{xy} - b_{y-1}^{xy}|$$

где  $b_y^{xy}$  —  $i$ -й элемент исследуемого временного ряда;  $N$  — длина исследуемого ряда  $B^{xy}$ .

Коэффициент вариативности  $V$  пропорционален относительной скорости изменения значений временного ряда и может быть использован для классификации временных рядов по степени их изменчивости. Эмпирически было выявлено, что все временные ряды в видеопотоке можно разделить на три категории по степени их нерегулярности:

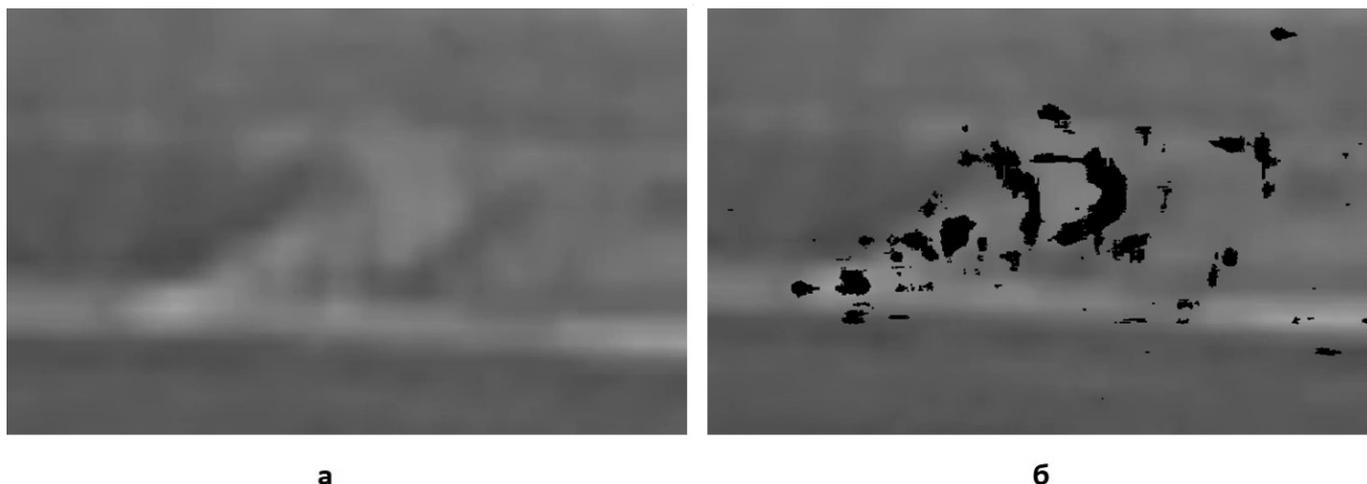


Рис. 2. Кадр видеопотока очага возгорания с разрешением 30x20 пикселей: а — исходный фрагмент изображения, б — фрагмент с выделенными пикселями, попадающими в диапазон  $0.8 < V < 1.5$

- ◆ временные ряды с низкой вариабельностью или разовыми изменениями, принадлежащие стационарным или слабо перемещающимся объектам ( $0 < V < 0.8$ );
- ◆ шумовые временные ряды, принадлежащие быстро изменяющимся объектам, таким как колышущаяся на ветру трава, листва деревьев и т.д. ( $V \geq 1.5$ );
- ◆ временные ряды с умеренной степенью нерегулярности, свойственные дымоподобным структурам ( $1 < K < 2$ ).

На рис. 1 приводятся графики временных рядов, отражающих изменение во времени яркости двух пикселей, один из которых принадлежит продуктам горения (а), а второй — полевой растительности (б). Исходя из значения коэффициента пиксели, принадлежащие дымоподобным структурам ( $V=1,12$ ) значительно отличаются от пикселей растительности ( $V=2,21$ ) и могут быть отделены от них. На основании оценки коэффициента вариабельности пиксели продуктов горения с высокой точностью могут быть отделены от пикселей движущихся объектов, атмосферных структур, листвы деревьев и прочих объектов.

Таким образом пиксели, принадлежащие видеопотоку дымоподобной структуры, имеют характерную поведенческую сигнатуру, оценкой которой может служить предлагаемый коэффициент вариабельности. Применение данного коэффициента позволяют находить в видеопотоке пиксели с интересующей поведенческой сигнатурой и искать их консолидации, являющиеся очагами возгораний. На рис. 2 приведены подсвеченные сигнатуры пикселей изображения продуктов горения.

При значениях скорости ветра более 12 м/с неупорядоченность временного ряда, описывающего дымоподобную структуру, значительно возрастает, что приводит к росту вариабельности и делает его слабо отличимым от шумовых временных рядов ( $V > 1.5$ ). В данных условиях применение предлагаемого метода на основании оценки вариабельности становится сопряжено с высокой вероятностью возникновения ошибок первого рода.

Предлагаемый способ поиска дымоподобных структур позволяет в реальном времени и с высокой степенью вероятности обнаруживать признаки возгорания (продукты горения) на наблюдаемой площади, отбрасывая такие ложные признаки, как туман или движение низко стелющихся облаков. Несмотря на то, что подавляющее большинство пожаров на полях возникает днем, система позволяет обнаруживать очаг возгорания и в условиях плохой освещенности — используемые алгоритмы являются адаптивными и инвариантными к условиям освещенности.

### Заключение

Предлагаемый алгоритм позволяет определять дымоподобные структуры в видеопотоке и обладает следующими преимуществами по сравнению с существующими аналогами:

- ◆ низкая вероятность ложных срабатываний, вследствие появления посторонних объектов;
- ◆ низкая ресурсоемкость метода, позволяющая использовать малые вычислительные устройства для анализа видеопотока;
- ◆ возможность определения очагов возгорания по малым пиксельным размерам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Ставропольского края [Электронный ресурс]. URL: <https://mpr26.ru>. (Дата обращения: 01.03.2023).
2. Андерсен, Т. Статистический анализ временных рядов / Т. Андерсен. / М.: Мир, 1976. — С. 756.
3. Букреев, В.Г. Выявление закономерностей во временных рядах в задачах распознавания состояний динамических объектов. / В.Г. Букреев, С.И. Колесникова, А.Е. Янковская. / Томск: изд. Томского политехнического университета. 2010. — С. 254.
4. Безручко, Б.П. Математическое моделирование и хаотические временные ряды / Б.П. Безручко, Д.А. Смирнов. / Саратов: ГосУНЦ «Колледж». 2005 — С. 320.
5. Ляхманов, Д.А. Выделение детерминированной компоненты временных рядов методом спектрального анализа / Э.С. Соколова, Д.А. Ляхманов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. Часть 1. № 5. С. 181–184.
6. Афанасьев, В.Н. Анализ временных рядов / В.Н. Афанасьев, М.М. Юзбашев. / М.: Финансы и статистика. 2001. — С. 228.

© Ляхманов Дмитрий Александрович ( dm.virger@gmail.com ),

Капранов Сергей Николаевич ( serg.kapranov@gmail.com ), Степаненко Мария Анатольевна ( ma.stepanenko@gmail.com ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева