

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, таких как облака или перемещающиеся предметы. Предлагаемый алгоритм позволяет определять дымоподобные структуры по видеопотоку, основываясь на изображениях экстремально малых разрешений. Данное преимущество дает возможность определять очаги возгорания на больших расстояниях без использования видеокамер высокого разрешения и иных специализированных устройств. 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

Одной 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, и в большинстве случаев из-за отсутствия постоянно-

го наблюдения определяется уже на терминальной стадии, уничтожая тысячи гектаров посевов ежегодно. В 2022 года в одном только Ставропольском крае было зарегистрировано 1855 термических точек на площади в 33321 гектара. Статистические данные за несколько последних лет свидетельствуют о росте количества пожаров и увеличении наносимого ими материального ущерба.

Для решения данной проблемы предлагается метод выявления очагов возгораний на сельскохозяйственных площадях, основанный на анализе видеопотока. Данный метод может быть использован в устройствах и программно-аппаратных комплексах для автоматического контроля территорий с целью оповещения ответственных служб.

Особенности выявления очагов возгораний

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

Одной из основных проблем детектирования очага возгорания является тот факт, что сама точка горения может располагаться на малом возвышении над землей и не находится в прямой видимости видеокамер. Данная ситуация наблюдается в 80% случаев и является наиболее вероятной. При этом очаг возгорания не виден длительное время и переходит в развитую 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 методы прямого наблюдения и отслеживания открытого пламени являются малоэффективными для детектирования возгораний на открытой местности.

Следующей особенностью процесса горения сельскохозяйственных угодий 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 традиционных методов детектирования точки горения, основанных на распознавании открытого пламени, в данном случае показывают крайне низкие результаты.

Одним из основных требований, накладываемых на детектор, является радиус наблюдения не менее $R=2$ км. Данное требование продиктовано невозможностью более плотного размещения точек наблюдения в сельскохозяйственных угодьях. Использование камер с высоким аппаратным разрешением (более 1920×1080 пикселей) приводит к тому, что на границе видимого диапазона каждый пиксел матрицы охватывает участок шириной $L > 2,18$ метра, что позволяет различать только

объекты, геометрические размеры которых многократно превосходят величину L . В большинстве случаев в начальной стадии развития пожара размер зоны горения не превышает нескольких метров, что делает ее практически неразличимой на расстоянии $R=2$ км с использованием видеокамер с разрешением 1920×1080 пикселей. Решение данной проблемы путем использования видеокамер с более высоким разрешением имеет два серьезных недостатка. Первый связан с тем, что увеличение размера аппаратного разрешения ведет к экспоненциальному росту объема вычислений, производимых при обработке видеопотока. Вторым недостатком является увеличение стоимости оборудования, используемого для выявления очагов возгорания.

Все перечисленные выше особенности накладывают серьезные требования к разрабатываемому алгоритму обнаружения очагов возгорания и указывают на невозможность применения традиционных методов, основанных на поиске открытого пламени.

Метод выявления дымоподобных структур

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

- ◆ возможность различения продуктов горения и дымоподобных структур на основании малых пиксельных изображений;
- ◆ отличие скоплений продуктов горения от оптически схожих структур (облаков, конвекционных атмосферных искажений и т.д.);
- ◆ различение скоплений продуктов горения при ярком дневном освещении.

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. Для получения статистики изменения интенсивности цвета из видеопотока с некоторым интервалом T извлекается выборка, состоящая из N кадров. Далее для каждого пиксела видеопотока с координатами (x, y) формируется временной ряд

$$B^{xy} = \{b_i^{xy}\}_{i=1}^N,$$

где b_i^{xy} — это яркость пиксела на i -м кадре выборки. Каждый временной ряд B^{xy} несет в себе информацию о том, каким образом меняется яркость участка кадра

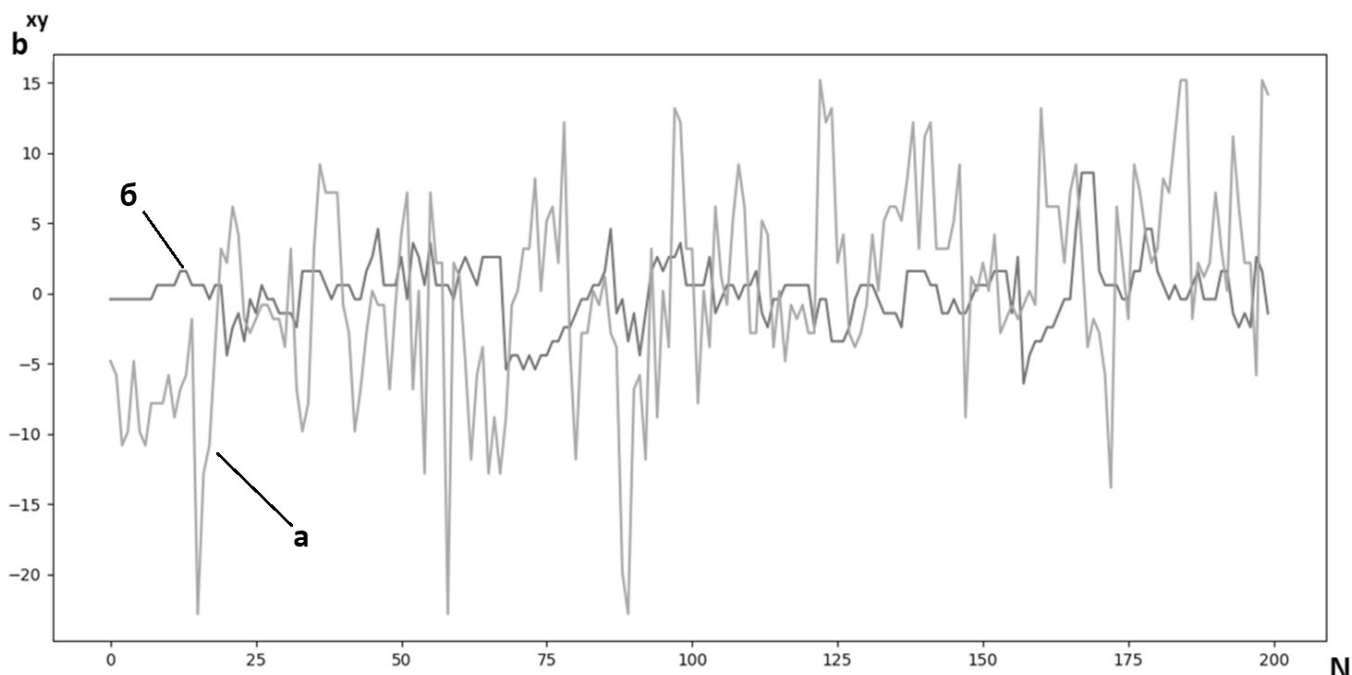


Рис. 1. Временные ряды изменения яркости пикселей: а — продуктов горения, б — окружающей полевой растительности

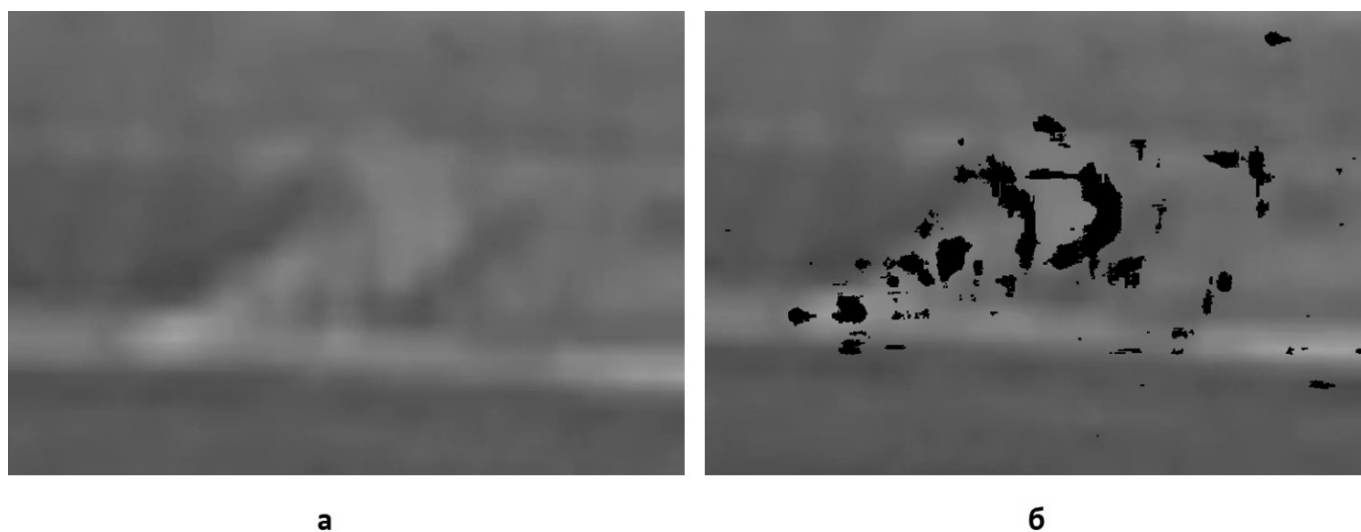


Рис. 2. Кадр видеопотока очага возгорания с разрешением 30x20 пикселей: а — исходный фрагмент изображения, б — фрагмент с выделенными пикселями, попадающими в диапазон $0.8 < V < 1.5$

во времени и может использоваться для определения принадлежности пикселя 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 выявить по некоторым

специфичным для них особенностям временных рядов b^{xy} .

Рассмотрим два временных ряда b^{xy} , один из которых принадлежит изображению продуктов горения, а другой изображению окружающей обстановки (рис. 1). Из графика видно, что временной ряд пикселя продуктов горения (а) имеет гораздо большую вари-

тивность и более высокую амплитуду по сравнению с временным рядом пиксела окружающей обстановки (б).

Для выделения интересующих нас временных рядов, описывающих изменение яркости пикселей дымоподобных структур, введем коэффициент вариабельности V , являющийся оценкой нерегулярности временного ряда:

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

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

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

где b_y^{xy} — i -й элемент исследуемого временного ряда; N — длина исследуемого ряда B^{xy} . Предлагаемый коэффициент вариабельности V пропорционален относительной скорости изменения значений временного ряда и может быть использован для классификации временных рядов по степени их изменчивости. Экспериментально было выявлено, что все временные ряды в видеопотоке можно разделить на три категории по степени их нерегулярности:

- ◆ временные ряды с низкой вариабельностью, принадлежащие неподвижным 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 ($0.8 < V < 1.5$).

Исходя из значения коэффициента вариабельности V , пиксели, принадлежащие дымоподобным структурам, значительно отличаются от пикселей окружающей обстановки, и могут быть отделены от них.

Следовательно, пиксели, принадлежащие видеопотоку дымоподобной структуры, имеют характерную поведенческую сигнатуру, оценкой которой может служить предлагаемый коэффициент вариабельности V . Применение данного коэффициента позволяет находить в видеопотоке пиксели с интересующей поведенческой сигнатурой и искать их консолидации, являющиеся очагами возгораний. На рис. 2 приведены подсвеченные пиксели изображения продуктов горения, коэффициенты вариабельности V которых попали в диапазон $0.8 < V < 1.5$.

Предлагаемый метод поиска очагов возгорания имеет ограничения применимости, связанные с особыми внешними условиями. 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 поиска очагов возгорания на основании оценки вариабельности временных рядов становится сопряжено с высокой вероятностью возникновения ложных срабатываний.

Предлагаемый способ поиска дымоподобных структур позволяет в реальном времени и с высокой степенью вероятности обнаруживать признаки возгорания на наблюдаемой площади, отбрасывая такие ложные признаки, как туман или движение низко стелящихся облаков.

Заключение

Предлагаемый алгоритм выявления очагов возгорания 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 и на больших расстояниях от точки наблюдения.

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.karpanov@gmail.com), Степаненко Мария Анатольевна (ma.stepanenko@gmail.com).
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



г. Нижний Новгород