

УДК 004.931

## АЛГОРИТМ КОМПЛЕКСНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ДЫМА И ПЛАМЕНИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ СИСТЕМ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Р.П. БОГУШ, Д.А. ТЫЧКО

*Полоцкий государственный университет  
ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, 211440, Республика Беларусь*

*Поступила в редакцию 18 мая 2015*

Предлагается алгоритм обнаружения основных признаков пожара для систем видеонаблюдения, который позволяет детектировать дым, открытое пламя и их совокупность на динамических изображениях. Отличительной особенностью алгоритма является использование оценки движения, как общего признака, а также применение алгоритмом единых подходов при обнаружении других признаков дыма и пламени. Представлены результаты экспериментальных исследований.

*Ключевые слова:* анализ движения, цветовая сегментация, вейвлет-преобразование, контурный анализ.

### Введение

Одной из актуальных прикладных задач, решаемых в последнее время с помощью систем видеонаблюдения, является обнаружение пожаров, в том числе и на открытых пространствах. К основным признакам пожара, которые можно зафиксировать с помощью видеокамеры и затем обнаружить на последовательностях видеоизображений, относят дым и открытое пламя. Применение методов и алгоритмов обработки и анализа изображений позволяет автоматизировать работу видеодетектора пожара и минимизировать тем самым участие оператора. Однако в связи с высокой сложностью данная задача не решена в полной мере и в настоящее время существует ряд алгоритмов обработки динамических изображений для видеодетекторов пожаров, которые направлены, как правило, на выявление одного из признаков пожара: либо дыма, либо открытого пламени. Это объясняется, в первую очередь, различными характеристиками указанных объектов. Развитие видеосистем и видеодетекторов пожаров показывает, что перспективной является разработка алгоритмов обработки динамических изображений с расширенными возможностями, которые бы позволяли обнаруживать оба признака пожаров в совокупности либо раздельно. Поэтому работа, направленная на решения данной проблемы, является актуальной.

### Теоретический анализ

В табл. 1 представлены результаты анализа современных алгоритмов детектирования дыма и пламени на динамических изображениях. Существующие алгоритмы предполагают выделение таких основных признаков дыма и пламени, как цветовая и яркостная характеристики, движение, изменчивость границ объектов и др. Причем, как правило, на первом этапе выполняется выделение областей-кандидатов, которые с достаточно высокой вероятностью могут относиться к областям дыма или открытого пламени, а на втором этапе выполняется непосредственно классификация данных областей. Для уменьшения ложного срабатывания видеодетектора пожара может использоваться предобработка или постобработка. Основные отличия в существующих методах и алгоритмах решения указанной задачи заключаются в выборе признаков дыма и пламени для обнаружения в последовательности

применения основных этапов обработки, подходах к их реализации, что позволяет получать алгоритмы с улучшенными качественными характеристиками.

Таблица 1. Анализ современных алгоритмов обнаружения дыма и пламени на видеопоследовательностях

| ФИО первого автора     | Основные этапы       |                      |                                   |   |                 |                   |          |                | Обнаружение дыма | Обнаружение пламени |
|------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|---|-----------------|-------------------|----------|----------------|------------------|---------------------|
|                        | Цветовая сегментация | Обнаружение движения | Анализ временных изменений границ | Анализ пространственных изменений яркости | Анализ движения | Блочная обработка | Обучение | Пост-обработка |                  |                     |
| W. Phillips III [1]    | RGB                  | -                    | +                                 | +   | -               | -                 | +        | +              | -                | +                   |
| F. Gomes-Rodriguez [2] | -                    | +                    | +                                 | -   | +               | -                 | -        | -              | +                | -                   |
| T.H. Chen [3]          | RGB/HSI              | +                    | -                                 | -   | +               | -                 | -        | -              | +                | +                   |
| C. Liu [4]             | HSV                  | -                    | +                                 | -   | +               | -                 | -        | -              | -                | +                   |
| B. Toreyin [5]         | YUV                  | +                    | +                                 | +   | -               | -                 | -        | -              | +                | -                   |
| B. Toreyin [6]         | RGB                  | +                    | +                                 | +   | -               | -                 | -        | -              | -                | +                   |
| G. Marbach [7]         | YUV                  | -                    | +                                 | -   | +               | -                 | -        | -              | -                | +                   |
| Z. Xu [8]              | -                    | +                    | +                                 | -   | +               | -                 | -        | -              | +                | +                   |
| T.Celik [9]            | RGB                  | +                    | -                                 | -   | +               | -                 | +        | +              | -                | +                   |
| T.Celik [10]           | Lab                  | +                    | -                                 | -   | -               | -                 | -        | +              | -                | +                   |
| B. Lee [11]            | RGB                  | +                    | -                                 | -   | -               | -                 | +        | +              | +                | +                   |
| Z. Xiong [12]          | -                    | +                    | +                                 | -   | +               | -                 | -        | -              | +                | -                   |
| P. Piccinini [13]      | RGB                  | +                    | +                                 | -   | -               | -                 | +        | -              | +                | -                   |
| S. Calderara [14]      | RGB                  | +                    | +                                 | -   | -               | +                 | +        | -              | +                | -                   |
| F. Yuan [15]           | RGB                  | +                    | +                                 | -   | -               | +                 | -        | -              | +                | -                   |
| X. Qi [16]             | RGB/HSV              | -                    | +                                 | +   | -               | -                 | -        | +              | -                | +                   |
| R. Yasmin [17]         | RGB/HSI              | +                    | -                                 | -   | +               | +                 | -        | -              | +                | -                   |
| J. Gubbi [18]          | -                    | +                    | +                                 | -   | -               | +                 | +        | -              | +                | -                   |
| D. Han [19]            | RGB                  | +                    | -                                 | -   | -               | -                 | -        | +              | +                | +                   |
| C. Yu [20]             | -                    | +                    | +                                 | -   | -               | -                 | +        | -              | +                | -                   |
| S. Calderara [21]      | RGB                  | +                    | +                                 | -   | -               | +                 | -        | -              | +                | -                   |
| N. Brovko [22]         | -                    | +                    | -                                 | +   | -               | -                 | +        | +              | +                | -                   |
| P. Morerio [23]        | YCrCb                | +                    | +                                 | -   | +               | -                 | +        | -              | +                | +                   |
| S. Gharge [24]         | YCrCb                | -                    | -                                 | +   | -               | -                 | -        | -              | +                | +                   |
| C. Yu [25]             | RGB/HSI              | +                    | +                                 | -   | -               | -                 | -        | -              | +                | +                   |
| A.A. Лукьяница [26]    | -                    | +                    | +                                 | +   | -               | +                 | -        | -              | +                | -                   |
| A.G. Шоберг [27]       | -                    | +                    | +                                 | -   | -               | -                 | -        | -              | +                | -                   |

### Методика эксперимента

С учетом характеристик основных признаков, характеризующих области дыма и пламени на изображении, разработан алгоритм, представляющий возможность их совместного обнаружения, который включает следующие операции: цветовая сегментация, предобработка, межкадровое вычисление разности, обновление фона, построение переднего плана, морфологическое открытие и закрытие, контурный анализ, вычисление оптического потока, оценка хаотичности движения, анализ контраста, пространственный и временной вейвлет-анализ. Движение характерно как для дыма, так и для пламени, поэтому алгоритм рассматривает движение как общий признак, который может использоваться для обнаружения обоих факторов пожара. Также с учетом яркостно-цветовых свойств основных признаков пожара, применяется цветовая сегментация для пламени и анализ контраста для дыма. Отличительной особенностью алгоритма является использование на этапе классификации

пространственного и временного вейвлет-анализа как для пламени, так и для дыма. На рис.1. показана общая схема разработанного алгоритма.

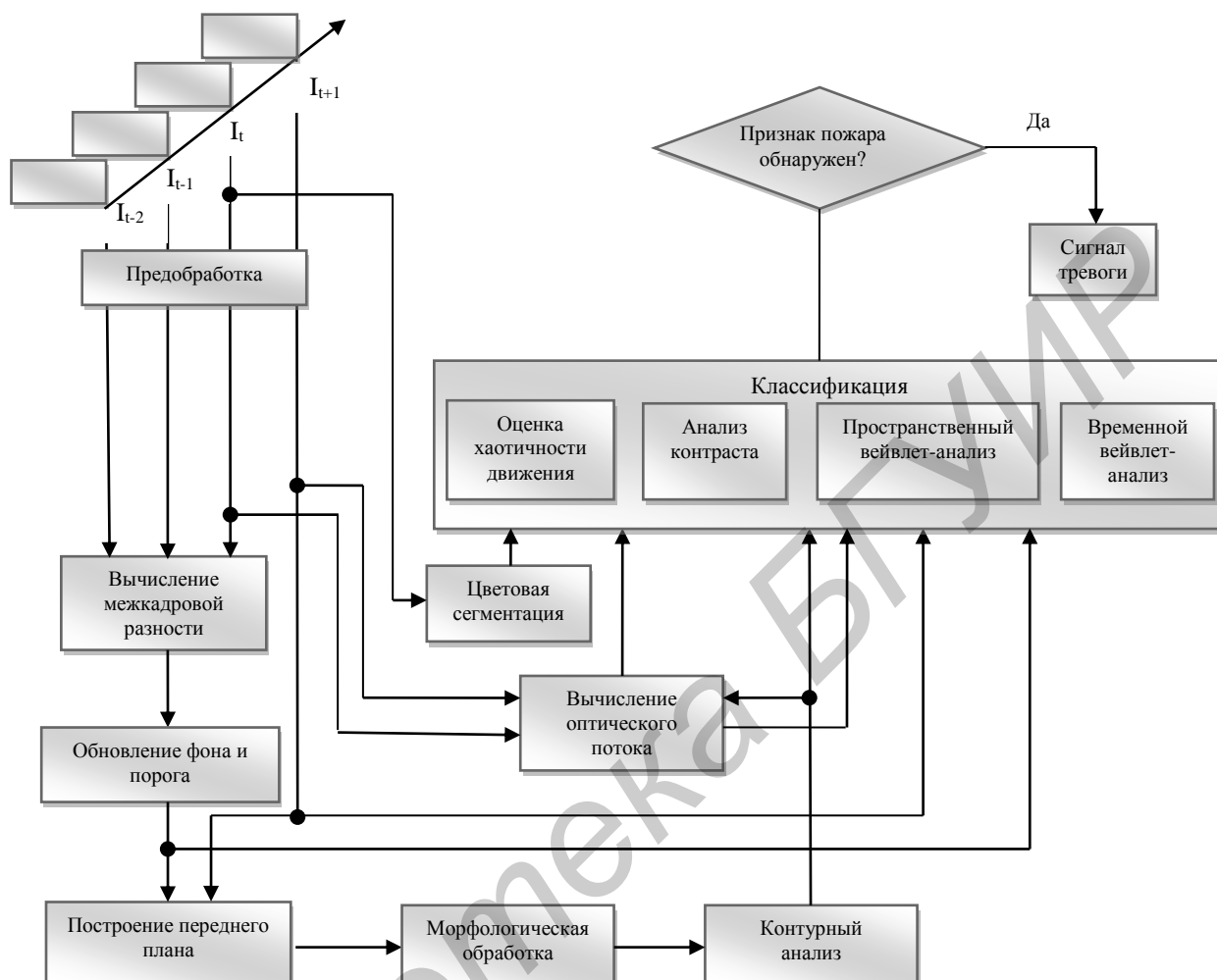


Рис. 1. Общая схема разработанного алгоритма для совместного обнаружения дыма и пламени

Для сегментации движения используется адаптивный алгоритм вычитания фона [28], позволяющий учитывать такую особенность дыма, как постепенное смешивание с фоном. Для исключения объектов, которые перешли из динамических в статические (например, остановившийся человек), из переднего плана кадра анализируется межкадровая разница. В случае, если ни для одного блока некоторого движущегося объекта разность яркостей на двух последних кадрах не превышает определенного порога, объект считается неподвижным и исключается из списка движущихся объектов. Результатом данного шага является бинарная маска движения.

Дальнейшее объединение движущихся пикселей в связные области осуществляется с использованием операций математической морфологии и контурного анализа. Для уменьшения количества шумов используются операции морфологического открытия и закрытия. Затем анализируется длина контура области: если контур имеет длину менее заданной пороговой величины – область удаляется из списка для дальнейшего рассмотрения.

Отличительной особенностью алгоритма, направленной на снижение вероятности ложного обнаружения, является оценка хаотичности движения на основе анализа направления векторов движения частиц в рассматриваемой области. Оптический поток вычисляется по методу Фарнебака [29]. Данный алгоритм менее чувствителен к шумам, чем поточные методы, и, в отличие от алгоритма Лукаса-Канаде, не является локальным, что позволяет определить

направление векторов движения, в том числе, и внутри однородных областей. Коэффициент сонаправленности движения частиц определяется по формуле

$$C = V_{cd} / V_{ncd}, \quad (1)$$

где  $V_{cd}$  – количество сонаправленных векторов движения,  $V_{ncd}$  – общее количество векторов движения в области.

Сегментация для пламени выполняется в цветовом пространстве  $YC_bC_r$  с учетом глобального анализа кадра и локального анализа области-кандидата, которая может быть отнесена к области пламени. При этом область считается принадлежащей пламени, если выполняются следующие условия:

$$Y_i > Y_{cp}, Cb_i < Cb_{cp}, Cr_i < Cr_{cp}, \quad (2)$$

где  $Y_i$ ,  $Cb_i$ ,  $Cr_i$  – среднее значение яркости, цветоразностного синего и цветоразностного красного составляющих в области-кандидате,  $Y_{cp}$ ,  $Cb_{cp}$ ,  $Cr_{cp}$  – среднее значение яркости, цветоразностного синего и цветоразностного красного составляющих в кадре соответственно;

Дым может изменять свои яркостно-цветовые характеристики в очень широком диапазоне значений, от прозрачно-серого до черного, поэтому применяется анализ контраста областей. Для анализа контраста областей, предположительно содержащих дым, используется контраст Вебера:

$$C_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{F_t(x, y) - B_t(x, y)}{B_t(x, y)}, \quad (3)$$

где  $F_t(x, y)$  – значение интенсивности пикселя  $(x, y)$ , принадлежащего области в момент времени  $t$ ;  $B_t(x, y)$  – значение интенсивности пикселя  $(x, y)$  фона под областью в момент времени  $t$ ;  $n$  – число пикселей, принадлежащих области-кандидату.

Для определения полупрозрачных объектов на изображении, на которых присутствует дым, используется двумерный пространственный вейвлет-анализ. В случае перекрытия краев объекта дымом наблюдается падение высокочастотной составляющей изображения, а соответственно и энергии, рассчитываемой по формуле

$$E(B_k, I_t) = \sum_{m, n \in B_k} [LH(m, n)^2 + HL(m, n)^2 + HH(m, n)^2], \quad (4)$$

где  $B_k$  –  $k$ -й блок изображения;  $I_t$  – входное изображение в момент времени  $t$ ;  $LH$ ,  $HL$ ,  $HH$  – это НЧ-ВЧ, ВЧ-НЧ, ВЧ-ВЧ коэффициенты вейвлет преобразования соответственно.

Для более точного сравнения блоков используется нормализованное значение, равное отношению энергии кадра к энергии фона:

$$\alpha(B_k, I_t, BG_t) = \frac{E(B_k, I_t)}{E(B_k, BG_t)}, \quad (5)$$

где  $BG_t$  – фоновое изображение в момент времени  $t$ .

Для определения мерцания границ, характерного для дыма и пламени, используется одномерный пространственно-временной вейвлет-анализ. С помощью пространственно-временного анализа рассчитывается количество вейвлет-экстремумов для каждой области изображения, как показано в следующей формуле:

$$\beta(B_k) = \frac{\sum |D[n]|}{N}, \quad (6)$$

где  $D[n]$  – высокочастотная информация коэффициента  $\alpha$ ,  $N$  – количество ненулевых значений высокочастотных коэффициентов.

## Результаты и их обсуждение

Для проведения экспериментов разработанный алгоритм реализован на языке C++ с использованием среды разработки Microsoft Visual Studio 2010 и библиотеки компьютерного зрения Open CV 2.2.

Представленные на рис. 2 кадры свидетельствуют, что для исследований использовались динамические изображения со сложным фоном (б, в, з), содержащие объекты, цвет и яркостные характеристики которых близки к характеристикам дыма и пламени (а, б, в, ж).

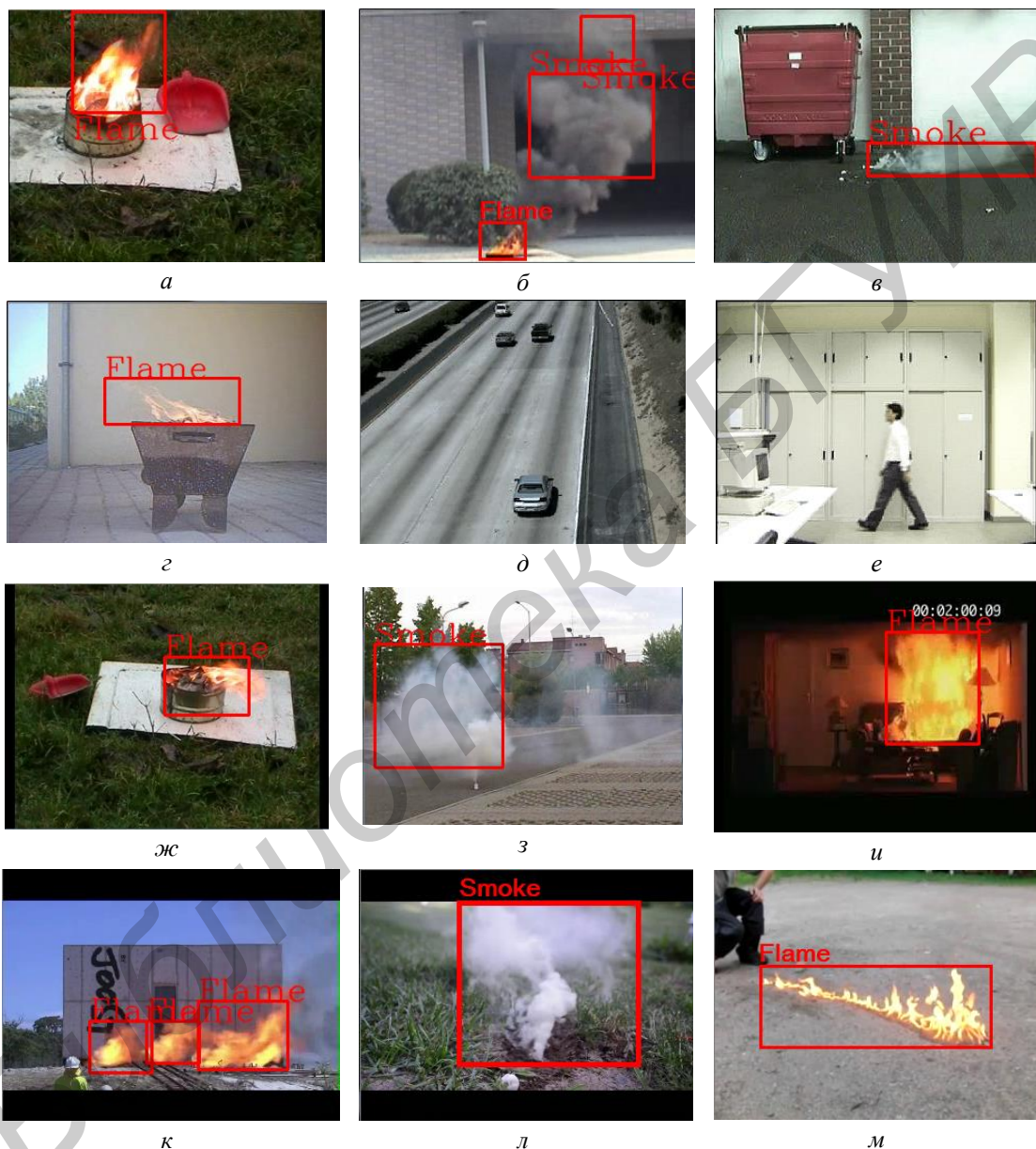


Рис. 2. Кадры исследуемых видеопоследовательностей

Кроме этого, исследовались видеопоследовательности (а, ж), на которых присутствовали дым и пламя с достаточно резким изменением направления и структуры, которое происходило из-за сильных порывов ветра. Следует отметить, что эксперименты проведены на видеопоследовательностях, не только размещенных на сайтах <http://www.openvisor.org>, <http://cvpr.kmu.ac.kr>, <http://signal.ee.bilkent.edu.tr/VisiFire/Demo/SampleClips.html>, но и полученных авторами в реальных условиях с использованием видеокамеры Panasonic SDR-S50. Результаты экспериментов показаны в табл. 2.

Таблица 2. Результаты исследований характеристик алгоритма

| Видеоряд<br>(см. рис. 2) | Пламя найдено/<br>присутствовало (число<br>кадров) | Пламя присутствовало/<br>обнаружено с (номер<br>кадра) | Дым найден/<br>присутствовал (число<br>кадров) | Дым присутствовал/<br>обнаружен с (номер<br>кадра) | Дым и пламя найдены/<br>присутствовали (число<br>кадров) | Число кадров с ложным<br>обнаружением/ общее<br>число кадров |
|--------------------------|--|--|--|--|--|--|
| <i>a</i>                 | 528/589  | 88/109   | 201/238  | -/-  | 388/423  | 3/1375   |
| <i>б</i>                 | -/-  | 1/32   | -/-  | 1/33   | 489/517  | 2/517  |
| <i>в</i>                 | -/-  | -/-  | 858/866  | 9/10   | -/-  | 0/900  |
| <i>г</i>                 | 348/413  | 1/24   | -/-  | -/-  | -/-  | 4/439  |
| <i>д</i>                 | -/-  | -/-  | -/-  | -/-  | -/-  | 6/500  |
| <i>е</i>                 | -/-  | -/-  | -/-  | -/-  | -/-  | 0/887  |
| <i>ж</i>                 | 1089/1216  | 460/483  | -/-  | -/-  | -/-  | 8/1443   |
| <i>з</i>                 | -/-  | -/-  | 1412/1497                                      | 421/452  | -/-  | 4/1879   |
| <i>и</i>                 | 867/908  | 1/33   | 15/26  | 428/431  | -/-  | 3/934  |
| <i>к</i>                 | 2019/2325  | 1/24   | 168/189  | 1026/1027  | -/-  | 0/2325   |
| <i>л</i>                 | -/-  | -/-  | 664/689  | 39/51  | -/-  | 1/790  |
| <i>м</i>                 | 947/967  | 168/191  | -/-  | -/-  | -/-  | 9/1289   |

Анализ исследований показывает, что разработанный алгоритм обладает достаточно низким уровнем ложных тревог. Однако при наличии схожих объектов возможно ложное срабатывание.

Для оценки временных затрат работы алгоритма проведены экспериментальные исследования с использованием ноутбука Acer Aspire 5750G с основными параметрами Intel Core i5, 2,4ГГц, ОЗУ 4,0ГБ. Временные затраты при обработке одного кадра видеоряда размером 320×240 составляют 56 мс, 480×320 – 147мс, 640×480 – 316 мс. Время обработки может быть уменьшено за счет использования современных технологий параллельных вычислений, например, технологии CUDA и фрейворка OpenCL.

### Заключение

Предложен алгоритм совместного обнаружения дыма и пламени на динамических изображениях, который использует признак движения, как общий для пламени и дыма. Для снижения вероятности ложного обнаружения выполняется анализ хаотичности движения в областях-кандидатах. Отличительной особенностью алгоритма является также использование на этапе классификации пространственного и временного вейвлет-анализа как для пламени, так и для дыма. Таким образом, применение единых приемов обработки упрощает структуру алгоритма для совместного обнаружения основных признаков пожара и позволяет снизить вычислительные затраты по сравнению с автономной реализацией алгоритмов.

## ALGORITHM FOR COMPLEX SMOKE AND FLAME DETECTION BASED ON VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS DATA ANALYSIS

R.P. BOHUSH, D.A. TYCHKO

### Abstract

An algorithm to detect the main signs of fire for video surveillance systems, which allows the detection of smoke, open flames, and their combination on dynamic images is proposed. A distinctive feature of the algorithm is the use of motion estimation, as a common feature, as well as the application of the algorithm of common approaches in the processing of video sequences. A set of experimental results are presented in the paper.

## Список литературы

1. *Phillips III W., Shan M., Lobo N.* // Pattern Recognition Letter. 2002. Vol. 23. № 1–3. P. 319–327.
2. *Gomez-Rodriguez F., Pascual-Pena S., Arrue B. C. et. al.* // Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Forest Fire Research & Wildland Fire Safety. Coimbra, 18–23 November 2002. P. 59.
3. *Chen T., Wu P., Chiou Y.* // Proceedings of International Conference on Image Processing. Singapore, 10–12 October 2004. P. 1707–1710.
4. *Liu C. Ahuja N.* // Proceedings of the 17<sup>th</sup> International Conference on Pattern Recognition. Cambridge, 23–26 August 2004. P. 134–137.
5. *Toreyin B., Dedeoglu Y., Cetin A.* // Signal Processing: Image Communication, EURASIP. Elsevier. 2005. Vol. 20. P. 255–256.
6. *Toreyin B., Dedeoglu Y., Güdükbay U. et. al.* // Pattern Recognition Letters. 2006. Vol. 27. P. 49–58.
7. *Marbach G, Loepfe M., Brupbacher T.* // Fire Safety Journal. 2006. № 4. Vol. 41. P. 285–289.
8. *Xu Z, Xu J.* // Proceedings of International Conference on Computational Intelligence and Security Workshops. 2007. P. 316–319.
9. *Celik T, Demirel H, Ozkaramanli H. et. al* // Journal of Visual Communication and Image Representation. 2007. № 2. Vol. 18. P. 176–185.
10. *Celik T.* // ETRI Journal. 2010. № 6. Vol. 32. P. 881–890.
11. *Lee B., Han D.* // International Journal of Information Acquisition. 2007. № 4 Vol. 4. P. 327–338.
12. *Xiong Z., Caballero R, Wang H. et. al.* // Proceedings of the Suppression, Detection and Signaling Research and Applications – A Technical Working Conference. Orlando, 5–7 March 2007. P. 112.
13. *Piccinini P., Calderara S., Cucchiara R.* // Proceeding of the 15<sup>th</sup> International Conference on Image Processing. San Diego, 12–15 October 2008. P. 1376–1379.
14. *Calderara S., Piccinini P., Cucchiara R.* // Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Computer Vision Systems. Santorini, 12–15 May 2008. P. 119–128.
15. *Yuan F.* // Pattern Recognition Letters, 2008. Vol. 29. P. 925–932.
16. *Qi X., Ebert J.* // International Journal of Imagine. 2009. № 9. Vol. 2. P. 22–34.
17. *Yasmin R.* // International Journal of Soft Computing. 2009. № 1. Vol. 4. P. 45–48.
18. *Gubbi J., Marusic S., Palaniswami M.* // Fire Safety Journal. 2009. № 8. Vol. 44. P. 1110–1115.
19. *Han D., Lee B.* // Fire Safety Journal. 2009. № 3. P. 951–961.
20. *Yu C., Zhang Y., Fang J. et. al.* // Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Advanced Computer Control. Shenyang, 27–29 March 2010. Vol. 2. P. 16–21.
21. *Calderara S, Piccinini P, Cucchiara R.* // Machine Vision and Applications. 2011. № 4. Vol. 22. P. 705–719.
22. *Brovko N., Bogush R., Ablameyko S.* // Journal of Computer Science and Cybernetics. 2012. № 3. P. 195–205.
23. *Morerio P., Marcenaro L., Regazzoni C. et. al.* // Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, Orlando, 30 September 2012. P. 1041–1044.
24. *Gharge S., Birla S., Pandey S. et. al.* // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. 2013. Vol. 2. P. 2420–2424.
25. *Yu C., Mei Z., Zhang X.* // The 9<sup>th</sup> Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology. Procedia Engineering. 2013. Vol. 62. P. 891–898.
26. *Лукьяница А.А., Шишкин А.Г.* Цифровая обработка видеоизображений. М., 2009.
27. *Шоберг А.Г., Сай С.В.* // Вестник ТОГУ. 2013. № 1 (28). С. 45–50.
28. A system for video surveillance and monitoring. [Electronic resource]. – Mode of access: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.63.1129&rep=rep1&type=pdf>. – Date of access: 02.04.2014.
29. *Farneback G.* // Proceedings of the 13<sup>th</sup> Scandinavian Conference on Image Analysis, SCIA'03. Berlin, 29 June –2 July 2003. P. 363–370.