
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Научная статья

УДК 621.391; DOI: 10.61260/2218-13X-2023-4-47-58

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУР ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОБРАБОТКИ ВИДЕО

✉ Васильева Дина Владимировна;

Дворников Сергей Викторович;

Дворников Сергей Сергеевич.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия;

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург, Россия.

Якушенко Сергей Алексеевич.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия

✉ practicdsv@yandex.ru

Аннотация. Представлены результаты разработки предложения по автоматизации процедур обнаружения лесных пожаров на основе методов распознавания образов. Сформулирована и поставлена математическая задача построения признакового пространства и задача распознавания образов по результатам сравнения векторов признаков. Предложено в рамках решения рассматриваемой проблематики формировать признаковое пространство из двух векторов, характеризующих изображение текущего и предыдущего кадров. Обоснован выбор в качестве векторов признаков гистограмм, характеризующих распределение интенсивности яркости изображений. Приведены результаты эксперимента, подтверждающие правомерность теоритических выводов, и сформулированы рекомендации по автоматизации процедур обнаружения.

Ключевые слова: обнаружение лесных пожаров, формирование векторов признаков, обработка кадров видеоизображений, распознавание образов

Для цитирования: Васильева Д.В., Дворников С.В., Якушенко С.А., Дворников С.С. Автоматизация процедур обнаружения лесных пожаров по результатам обработки видео // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 4. С. 47–58. DOI: 10.61260/2218-13X-2023-4-47-58.

Scientific article

AUTOMATION OF FOREST FIRES DETECTION PROCEDURES BASED ON VIDEO PROCESSING RESULTS

✉ Vasilyeva Dina V.;

Dvornikov Sergey V.;

Dvornikov Sergey S.

Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation, Saint-Petersburg, Russia;

Military academy of communications of Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, Saint-Petersburg, Russia.

Yakushenko Sergey A.

Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation, Saint-Petersburg, Russia

✉ practicdsv@yandex.ru

Abstract. The results of developing a proposal for automating forest fire detection procedures based on pattern recognition methods are presented. The mathematical problem of constructing

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

a feature space and the problem of pattern recognition based on the results of comparing feature vectors have been formulated and posed. As part of the solution to the problem under consideration, it is proposed to form a feature space from two vectors characterizing the image of the current and previous frames. The choice of histograms characterizing the distribution of image brightness intensity as feature vectors is justified. Experimental results are presented that confirm the validity of the theoretical conclusions and recommendations for automating detection procedures are formulated.

Keywords: detection of forest fires, formation of feature vectors, processing of video image frames, pattern recognition

For citation: Vasilyeva D.V., Dvornikov S.V., Yakushenko S.A., Dvornikov S.S. Automation of forest fires detection procedures based on video processing results // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 4. P. 47–58. DOI: 10.61260/2218-13X-2023-4-47-58.

Введение

В современном мире лесные пожары являются одной из самых серьезных проблем, с которыми приходится сталкиваться обществу [1–3]. Причинами этого стихийного бедствия, как правило, являются природные засухи, молнии, неосторожное обращение с огнем или преднамеренные поджоги, а также другие техногенные факторы [3–7].

Последствия лесных пожаров катастрофичны. Это безвозвратное уничтожение флоры и фауны, обширное загрязнение воздушного и водного пространства, угроза жизни и гибель людей. Кроме того, пожары способны привести к серьезным экономическим потерям, связанным с уничтожением личного имущества граждан и экономической инфраструктуры государства [8].

Поэтому для решения этой проблемы во всем мире принимаются серьезные меры на различных уровнях, начиная от разъяснительной работы с населением и заканчивая внедрением целевых программ по восстановлению лесов после пожаров [9].

Очевидно, что превентивные меры способны существенно снизить последствия этого природного явления. Однако предотвратить его фактически не возможно. Лесные пожары, по разным причинам, ежегодно возникают практически на всех континентах, на борьбу с ними и последствиями тратятся колоссальные финансовые и людские ресурсы [10]. Поэтому развитию подразделений МЧС России, связанных с борьбой с этим стихийным бедствием, уделяется особое внимание.

Повсеместно в пожароопасный период усиливается профилактическая работа, а пожарные подразделения оснащаются новой техникой [11], в том числе и беспилотными летательными аппаратами различного класса в интересах ведения наблюдений за лесными массивами, с целью обнаружения возгораний на ранних стадиях [12, 13].

С учетом указанных обстоятельств, в настоящей статье представлены результаты разработки предложений по автоматизации процедур обнаружения лесных пожаров по результатам обработки видео.

Актуальность применения беспилотных летательных аппаратов для обнаружения лесных пожаров

Одной из наиболее эффективных мер борьбы с возникшими лесными пожарами является своевременность обнаружения их возгораний [14]. С этой целью проводится профилактический осмотр лесных массивов и зеленых насаждений оперативными группами подразделений МЧС России. Однако громадные размеры территории Российской Федерации и низкая заселенность на севере и востоке страны приводят к сложности реализации указанного мероприятия. Поэтому для этих целей активно используют средства малой авиации и беспилотные летательные аппараты [15, 16]. Но, несмотря на привлекаемую

технику, основным методом обнаружения возгораний в большинстве случаев остается визуальное наблюдение со стороны оператора.

Низкая автоматизация процесса визуального поиска мест возгораний не исключает субъективной ошибки оператора в процессе наблюдения местности через монитор или иллюминатор. Поэтому создание автоматов, способных по результатам обработки фрагментов видеоизображений, поступающих с видеокамер наблюдения, обнаруживать очаги возгораний лесных массивов, является актуальной задачей для подразделений МЧС России.

Выбор научного направления для построения автоматических обнаружителей лесных пожаров по результатам обработки видеоизображений

Очевидно, что наиболее эффективное решение может быть обеспечено на основе применения технологий искусственного интеллекта, получивших широкое развитие в связи с реализацией программы «безопасный город» [17, 18]. В частности, анализ работ [19, 20] показал высокий потенциал нейронных сетей в решении задач распознавания изображений. Однако эффективное функционирование обнаружителей, использующих методы искусственного интеллекта, возможно только при наличии соответствующих баз данных, применяемых для обучения нейронных сетей и обращения к ним в процессе функционирования. Данная проблематика подробно раскрыта в работе [21]. Вместе с тем специфика работы пожарных подразделений МЧС России в отрыве от мест их постоянной дислокации не позволяет обеспечить высокоскоростной доступ к распределенным сетям баз данных. В таких условиях необходим поиск технических подходов, основанных на принятии решений по результатам непосредственной обработки текущей информации.

Так, в работах [22–24] предложены способы автоматического распознавания сигналов по видам модуляции, которые базируются на классических методах распознавания образов.

В общем случае, задача распознавания образов сводится к разработке алгоритмов и систем, которые на основе обработки данных, характеризующих образы, формируют векторы признаков, которые сравниваются с векторами признаков эталонных описаний. Окончательное решение по отнесению распознаваемого образа принимается в отношении того эталонного описания, разность векторов признаков с которым – минимальна [25].

В такой постановке задачи, эффективность распознавания будет определяться величиной формируемых векторов признаков (чем детальней, тем точнее) и объемом, то есть размерностью признакового пространства (чем больше число эталонных описаний, тем достовернее принятое решение).

При этом следует понимать, что определяющим моментом качества распознавания является контрастность векторов признаков. С одной стороны, вектор признаков должен быть чувствительным к изменению структуры (свойств) образа, а с другой – контрастным по отношению к векторам признаков альтернативных классов описаний. Поэтому основные работы в данной области науки, как правило, сводятся к поиску таких признаков образов, чтобы формируемое признаковое пространство при минимальной размерности обеспечивало максимальную контрастность [26].

Постановка задачи на распознавание образа

С учетом рассмотренных обстоятельств, задачу формирования признакового пространства можно записать в следующей виде:

$$\{\mathbf{R}_N\}_M \xrightarrow{N \rightarrow \min, |R_{m1}-R_{m2}| \rightarrow \max} D_{m1,m2} > D_{\text{доп}},$$

где $\mathbf{R}_{N,M}$ – признаковое пространство, образованное посредством формирования M векторов, $m=1 \dots M$; R_N – вектор признаков размерностью N , $n=1 \dots N$; R_{m1} и R_{m2} – любые два вектора

из признакового пространства $\{\mathbf{R}_{N,M}\}$; $D_{m1,m2}$ – величина контрастности между двумя любыми векторами из признакового пространства $\{\mathbf{R}_{N,M}\}$, получаемая как модуль разности между всеми компонентами сравниваемых векторов признаков; $D_{\text{доп}}$ – допустимая величина контрастности между двумя любыми векторами из признакового пространства $\{\mathbf{R}_{N,M}\}$.

Тогда, задачу непосредственного распознавания наблюдаемого образа можно свести к процедуре отнесения его к тому альтернативному классу из сформированного признакового пространства, разница с вектором признаков которого будет минимальна.

$$|R_0 - R_m|_{\{\mathbf{R}_N\}_M} \xrightarrow{p_0 > p_{\text{доп}}} \min(D), \quad (1)$$

где R_0 – вектор признаков распознаваемого образа; R_m – текущий вектора из признакового пространства $\{\mathbf{R}_{N,M}\}$; $p_{\text{доп}}$ – допустимое значение вероятности распознавания образа; p_0 – текущее значение вероятности распознавания образа.

В соответствии с выражением (1), вербальную формулировку задачи распознавания можно представить в следующей редакции: обрабатываемый образ считается распознанным, если он отнесен к одному из альтернативных классов из сформированного признакового пространства с вероятностью не хуже заданной, по критерию минимума различий векторов признаков. Введение вероятностного показателя обусловлено наличием дисперсии векторов признаков, вызванной случайным характером их формирования [27], определяемого условиями, при которых обрабатываемый образ получен.

С таких позиций наилучшими условиями для распознавания является поиск изображения в базе данных по заданным признакам.

Предложения по автоматизации процедур обнаружения лесных пожаров

Применительно к рассматриваемой задаче обрабатываемый образ (очаг возгорания) не является строго детерминированным. А учитывая продолжительный видеоряд контролируемой местности (лесных массивов), сложно рассчитывать на формирование признакового пространства с высокой степенью детализации. При этом следует учитывать погодные условия и время суток, при которых ведется наблюдение.

С учетом указанных обстоятельств предлагается следующее техническое решение по автоматизации процедур обнаружения лесных пожаров.

Признаковое пространство формировать из двух образов видеоряда: текущего и предшествующего ему. При этом предшествующим считать тот образ видеоряда, на котором изменения охватываемой им площади ландшафта, составляют порядка 10 %.

В качестве примера на рис. 1 представлен текущий кадр (образ) лесного массива.



Рис. 1. Текущий кадр лесного массива

На рис. 2 показан предшествующий кадр лесного массива. При этом изменения изображения местности на текущем кадре по отношению к предшествующему кадру составляют 12,5 %.

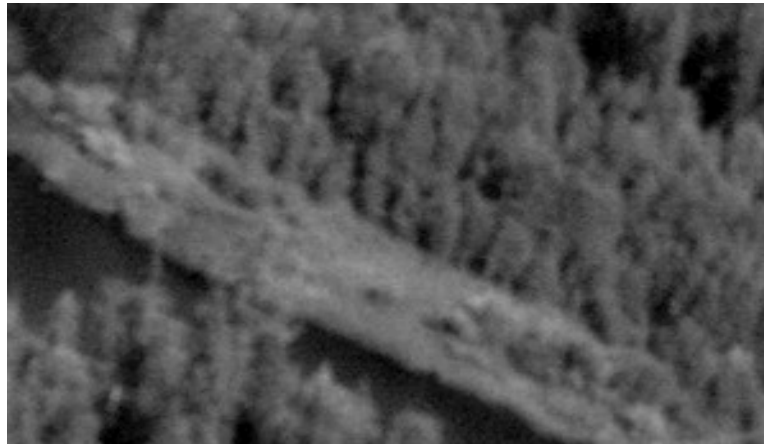


Рис. 2. Вектор признаков последующего кадра

Векторы признаков для образов видеоряда могут формироваться различным образом. В проведенном эксперименте в качестве исходных данных рассматривались изображения видеоряда в формате BMP-файла с 24 битами на пиксель. Поэтому в качестве векторов признаков были выбраны гистограммы распределений интенсивностей яркости изображения на 256 градациях [28, 29].

Так, на рис. 3 показаны векторы признаков для образа кадра рис. 1, а на рис. 4 – для образа кадра рис. 2.

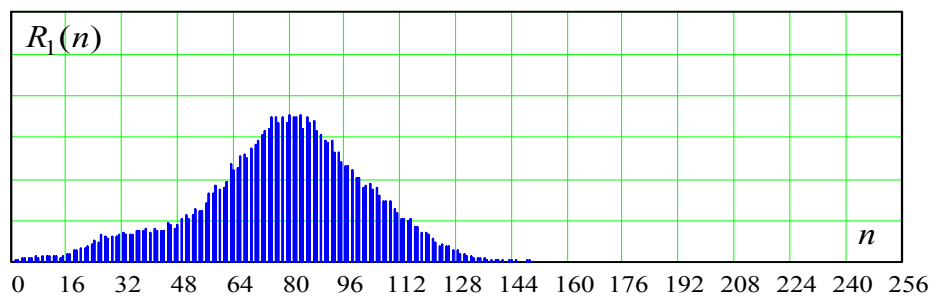


Рис. 3. Вектор признаков текущего кадра

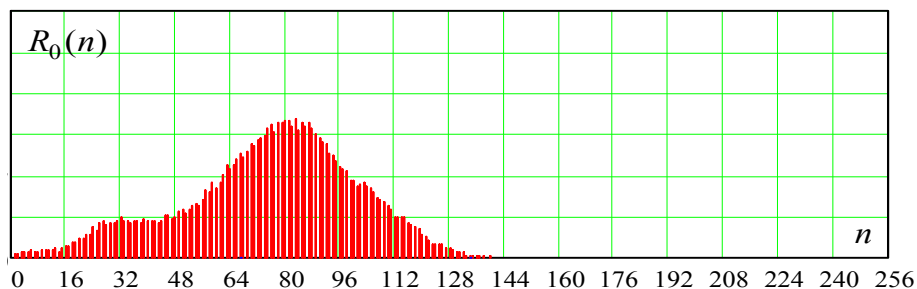


Рис. 4. Вектор признаков предыдущего кадра

Даже визуальный анализ указывает на незначительные различия векторов признаков при изменении изображения кадра на 12,5 % в обычных условиях.

Однако возгорание лесного массива в первую очередь характеризуется повышенной задымленностью, которая достаточно сильно изменяет интенсивность изображения образа.

В качестве примера на рис. 5 показан последующий кадр, на котором изменение изображения местности составило 12,5 % по отношению к текущему кадру. Но при этом задымление, вызванное пожаром, занимает всего 8 % площади кадра.



Рис. 5. Вектор признаков последующего кадра

Следует отметить, что даже такой процент задымленности привел к существенному изменению вектора признаков. На рис. 6 показаны векторы признаков текущего кадра R_1 и последующего R_2 , изображенные в единой системе координат.

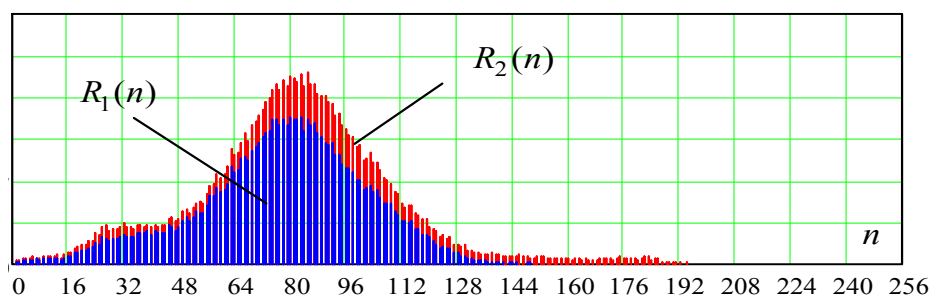


Рис. 6. Векторы признаков текущего и последующего кадров

Для более детального раскрытия сущности полученного результата на рис. 7 показаны распределения разности векторов признаков:

$V_1(n) = |R_1(n) - R_0(n)|$ – вектор распределения модуля разности между векторами текущего и предыдущего кадров;

$V_2(n) = |R_1(n) - R_2(n)|$ – вектор распределения модуля разности между векторами текущего и последующего кадров.

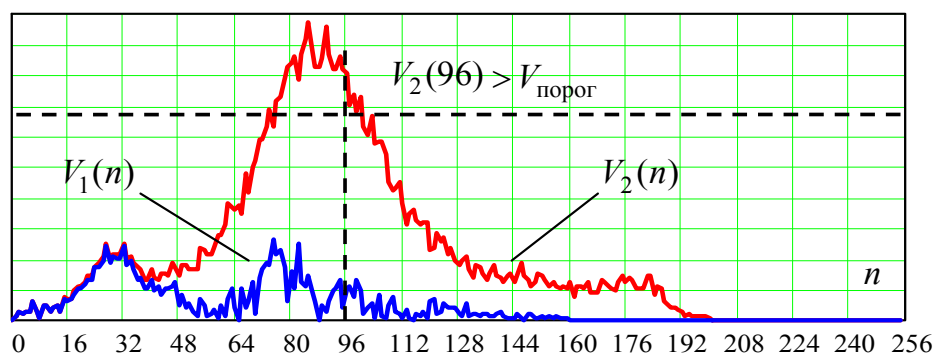


Рис. 7. Распределение векторов разности

Существенные различия векторов разности открывают возможность автоматизации процедур обнаружения лесных пожаров по результатам обработки кадров видеоизображений. Содержание этапов указанных процедур можно определить в следующей редакции.

Предварительно, в соответствии с техническими характеристиками аппаратуры видеонаблюдения определяют формат вектора признаков.

В соответствии с техническими возможностями летательного аппарата определяют периодичность фиксирования образа по видеокадру, то есть с учетом скорости и высоты полета новый образ должен содержать порядка 10 % изменений в изображении.

Определяют пороговое значение, согласно которого принимается решение об обнаружении возгораний лесного массива.

Вычисляют вектор разности между вектором признаков текущего изображения и предшествующего.

Принимают решение по результатам сравнения вектора разности с пороговым значением.

Критерием такого принятия решения может выступать или суммарная величина всех компонент вектора разности, или абсолютное значение вектора разности для его конкретного элемента. В качестве примера на рис. 7 показан пороговый уровень $V_{\text{порог}}$ и значение вектора признаков для 96 элемента $V_2(96)$. Поскольку $V_2(96) > V_{\text{порог}}$, то для данного случая принимается решение об обнаружении пожара.

Заключение

По результатам проведенного исследования можно заключить, что эффективность процедур обнаружения образов во многом зависит не только от контрастности признакового пространства, но и от чувствительности векторов признаков. Но при этом следует понимать, что, с одной стороны, повышение чувствительности признаков ведет к нежелательному повышению вероятности ложной тревоги. А с другой стороны, снижение чувствительности приведет к снижению вероятности правильного обнаружения. Следовательно, необходим поиск компромиссных решений, чему и будут посвящены последующие исследования.

В проведенном исследовании при изменении изображения местности от кадра к кадру на 12,5 %, задымление всего лишь на 8 % площади кадра приводит к увеличению суммарных различий в векторах признаков более чем 4,8 раза. Авторы полагают, что применение методов совместной частотно-временной обработки в соответствии с работами [30–33] позволит еще больше усилить получаемые различия.

Список источников

1. Константинов А.В., Морковина В.В. Лесные пожары как наиболее значимая угроза экономической безопасности лесного сектора // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2016. Т. 4. № 2 (22). С. 319–325.

2. Блохина А.А. Лесные пожары как угроза экономической безопасности в лесном комплексе // Актуальные проблемы развития хозяйствующих субъектов, территорий и систем регионального и муниципального управления: материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф. Курск: Юго-Западный гос. ун-т, 2019. Вып. 3. С. 64–68.

3. Изранцева А.А., Капустина Ю.А. Лесные пожары как вызов и угроза экономической безопасности лесного сектора // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XVIII Всерос. (нац.) науч.-техн. конф. Екатеринбург: Уральский гос. лесотехнический ун-т, 2022. С. 772–777.

4. Зуев В.М., Павлов Н.И. Молнии как природный фактор возникновения лесных пожаров в Приморском крае // Труды Дальневосточного государственного технического университета. 2006. № 142. С. 158–162.

5. Причины лесных пожаров в лесном фонде Уральского Федерального округа / В.Н. Сащенко [и др.] // Вестник биотехнологии. 2019. № 3 (20). С. 11.
6. Жидкова А.Ю., Ковярова В.А. Причины лесных пожаров в лесном фонде Сибири // Вестник Таганрогского института им. А.П. Чехова. 2020. № 2. С. 129–133. EDN VENHNS.
7. Филиппов А.Г. Методы и модели информационно-навигационного обеспечения аварийно-спасательных формирований МЧС России // Школа молодых ученых и специалистов МЧС России – 2013. Актуальные проблемы обеспечения комплексной безопасности и пути их решения: сб. статей по материалам конф. 2013. С. 142–149.
8. Кустов О.М., Шадаева Л.И., Носякова Е.А. Особенности проведения отдельных следственных действий при расследовании лесных пожаров и установление причин лесных пожаров // Научный взгляд в будущее. 2016. Т. 7. № 4. С. 75–79. DOI: 10.21893/2415-7538-2016-04-7-160.
9. Чеботарев С.С., Овсяник А.И. Развитие экономических отношений в лесном хозяйстве: страхование хозяйственной деятельности по лесовосстановлению по результатам лесных пожаров // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2020. Т. 10. № 9-1. С. 219–227. DOI: 10.34670/AR.2020.24.64.023.
10. Конькова Ю.М. Лесные пожары как фактор утраты функций лесных экосистем // Новости науки в АПК. 2021. № 2. С. 111–113. DOI: 10.25930/2218-855x/029.2.2021.
11. Власов В.А., Савинова И.В. Экономико-правовые аспекты предупреждения и ликвидации лесных пожаров в лесном секторе экономики (опыт Красноярского края) // Аграрное и земельное право. 2022. № 3 (207). С. 14–18. DOI: 10.47643/1815-1329-2022-3-14.
12. Пепеляева В.Д., Зыкин С.А. Применение космического мониторинга с помощью спутников в целях обнаружения крупных лесных пожаров // Современная школа России. Вопросы модернизации. 2021. № 2-1 (35). С. 114–115.
13. Грибунов О.П., Морозов Р.О. Использование результатов информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров при расследовании уничтожения или повреждения лесных насаждений // Криминалистика: вчера, сегодня, завтра. 2022. № 1 (21). С. 26–34. DOI: 10.55001/2587-9820.2022.33.85.003.
14. Козаченко М.С., Славский В.В. Модель краткосрочного мониторинга и прогноза динамики лесных пожаров // Ломоносовские чтения на Алтае: сб. науч. статей междунар. молодеж. школы-семинара: в 4-х ч. / под ред. Е.Д. Родионова. Барнаул: Алтайский гос. пед. ун-т, 2012. Ч. II. С. 167–172.
15. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства Российской Федерации (состояние и перспективы развития) / С.А. Барталев [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 5. № 2. С. 419–429.
16. Данилова С.С., Николаева В.М. Обнаружение лесных пожаров. Методы тушения лесных пожаров // Аллея науки. 2018. Т. 3. № 10 (26). С. 380–383.
17. Качанов С.А., Попов А.П. О месте аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» в концепции «Умный город» // Технологии гражданской безопасности. 2019. Т. 16. № 3 (61). С. 4–9. DOI: 10.54234/CST.19968493.2019.16.3.61.1.4.
18. Попов С., Набоких Л. Комплексная безопасность – 2021: от города безопасного к городу умному // Первая миля. 2021. № 4 (96). С. 60–65. DOI: 10.22184/2070-8963.2021.96.4.60.65.
19. Костенок В.Д., Язубец А.В. Распознавание образов с помощью искусственного интеллекта // Новые информационные технологии в телекоммуникациях и почтовой связи. 2023. Т. 1. № 1. С. 33.
20. Власов С.Ю. Математическая модель распознавания образов на основе искусственного интеллекта в сфере сельского хозяйства // Интернаука. 2022. № 43-1 (266). С. 13–15.

21. Гайдаренко А.С., Копалин А.С. Анализ методов распознавания образов с помощью искусственного интеллекта // Современные научные знания: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. С. 56–58.

22. Патент № 2261476 С1 Рос. Федерация, МПК G06K 9/00. Способ распознавания радиосигналов. № 2004102168/09; заявл. 26.01.2004; опубл. 27.09.2005 / В.А. Аладинский, С.В. Дворников, А.М. Сауков, А.Н. Симонов; заявитель Военный университет связи. EDN RUFMDR.

23. Способ распознавания радиосигналов: пат. 2356064 С2. Рос. Федерация, МПК G01S 7/00 / С.В. Дворников, А.С. Дворников, С.Р. Желнин [и др.]; заявитель Военная академия связи им. С.М. Буденного. – № 2007115510/09; заявл. 24.04.2007; опубл. 20.05.2009. EDN UOQXMQ.

24. Дворников С.В., Дворников С.С., Коноплев М.А. Алгоритм распознавания сигналов радиосвязи на основе симметрических матриц // Информационные технологии. 2010. № 9. С. 75–77. EDN MUSLAD.

25. Дворников С.В., Сауков А.М. Метод распознавания радиосигналов на основе вейвлет-пакетов // Научное приборостроение. 2004. Т. 14. № 1. С. 85–93. EDN HSQOSB.

26. Предложения по применению формулы Введенского для расчета затуханий радиолиний передачи видео / С.В. Дворников [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. Сер.: Техника телевидения. 2018. № 2. С. 105–111. EDN USZLAY.

27. Дворников С.В., Дворников А.М., Спириин А.М. Синтез манипулированных сигналов на основе вейвлет-функций // Информационные технологии. 2013. № 12. С. 52–55. EDN ROTMAR.

28. Сагдатуллин А.М., Шамсутдинов Р.А. Разработка алгоритма улучшения качества изображений входного видеопотока для управления атомными транспортными средствами // Интеллектуальные системы в производстве. 2021. Т. 19. № 2. С. 90–95. DOI: 10.22213/2410-9304-2021-2-90-95.

29. Кучуков В.А. Эквализация гистограмм изображений, представленных в системе остаточных классов // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2018: сб. трудов междунар. науч.-техн. конф.: в 2-х т. Октябрьский: Уфимский гос. нефтяной техн. ун-т, 2018. Т. 2. С. 290–293.

30. Метод обнаружения радиосигналов на основе обработки их частотно-временных распределений плотности энергии / С.В. Дворников [и др.] // Информация и космос. 2005. № 4. С. 13–16. EDN KXAITT.

31. Дворников С.В., Сауков А.М. Модификация частотно-временных описаний нестационарных процессов на основе показательных и степенных функций // Научное приборостроение. 2004. Т. 14. № 3. С. 76–85. EDN HSQPCL.

32. Манукьян А.А. Принципы формирования частотно-временных последовательностей импульсов на основе свойств простых числовых полей Галуа GF(p) и их некогерентной обработки для построения радиоизображений объектов // Вестник воздушно-космической обороны. 2016. № 4 (12). С. 70–87.

33. Дворников С.В. Теоретические основы синтеза билинейных распределений энергии нестационарных процессов в частотно-временном пространстве (обзор) // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 1. С. 47–60. EDN YUZUOE.

References

1. Konstantinov A.V., Morkovina V.V. Lesnye pozhary kak naibolee znachimaya ugroza ekonomicheskoy bezopasnosti lesnogo sektora // Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2016. Т. 4. № 2 (22). S. 319–325.

2. Blohina A.A. Lesnye pozhary kak ugroza ekonomicheskoy bezopasnosti v lesnom komplekse // Aktual'nye problemy razvitiya hozyajstvuyushchih sub"ektov, territorij i sistem regional'nogo i municipal'nogo upravleniya: materialy XIV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Kursk: Yugo-Zapadnyj gos. un-t, 2019. Vyp. 3. S. 64–68.

3. Izranceva A.A., Kapustina Yu.A. Lesnye pozhary kak vyzov i ugroza ekonomicheskoy bezopasnosti lesnogo sektora // Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii: materialy XVIII Vseros. (nac.) nauch.-tekhn. konf. Ekaterinburg: Ural'skij gos. lesotekhnicheskij un-t, 2022. S. 772–777.

4. Zuev V.M., Pavlov N.I. Molnii kak prirodnyj faktor vozniknoveniya lesnyh pozharov v Primorskom krae // Trudy Dal'nevostochnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2006. № 142. S. 158–162.

5. Prichiny lesnyh pozharov v lesnom fonde Ural'skogo Federal'nogo okruga / V.N. Sashchenko [i dr.] // Vestnik biotekhnologii. 2019. № 3 (20). S. 11.

6. Zhidkova A.Yu., Kovyarova V.A. Prichiny lesnyh pozharov v lesnom fonde Sibiri // Vestnik Taganrogskogo instituta im. A.P. Chekhova. 2020. № 2. S. 129–133. EDN VEHHHS.

7. Filippov A.G. Metody i modeli informacionno-navigacionnogo obespecheniya avarijno-spasatel'nyh formirovanij MCHS Rossii // Shkola molodyh uchenykh i specialistov MCHS Rossii – 2013. Aktual'nye problemy obespecheniya kompleksnoj bezopasnosti i puti ih resheniya: sb. statej po materialam konf. 2013. S. 142–149.

8. Kustov O.M., Shadaeva L.I., Nosyakova E.A. Osobennosti provedeniya otdel'nyh sledstvennykh dejstvij pri rassledovanii lesnyh pozharov i ustanovlenie prichin lesnyh pozharov // Nauchnyj vzglyad v budushchee. 2016. T. 7. № 4. S. 75–79. DOI: 10.21893/2415-7538-2016-04-7-160.

9. Chebotarev S.S., Ovsyanik A.I. Razvitie ekonomicheskikh otnoshenij v lesnom hozyajstve: strahovanie hozyajstvennoj deyatelnosti po lesovosstanovleniyu po rezul'tatam lesnyh pozharov // Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra. 2020. T. 10. № 9-1. S. 219–227. DOI: 10.34670/AR.2020.24.64.023.

10. Kon'kova Yu.M. Lesnye pozhary kak faktor utraty funkcij lesnyh ekosistem // Novosti nauki v APK. 2021. № 2. S. 111–113. DOI: 10.25930/2218-855x/029.2.2021.

11. Vlasov V.A., Savinova I.V. Ekonomiko-pravovye aspekty preduprezhdeniya i likvidacii lesnyh pozharov v lesnom sektore ekonomiki (opyt Krasnoyarskogo kraja) // Agrarnoe i zemel'noe pravo. 2022. № 3 (207). S. 14–18. DOI: 10.47643/1815-1329-2022-3-14.

12. Pepelyaeva V.D., Zykin S.A. Primenenie kosmicheskogo monitoringa s pomoshch'yu sputnikov v celyah obnaruzheniya krupnyh lesnyh pozharov // Sovremennaya shkola Rossii. Voprosy modernizacii. 2021. № 2-1 (35). S. 114–115.

13. Gribunov O.P., Morozov R.O. Ispol'zovanie rezul'tatov informacionnoj sistemy distancionnogo monitoringa lesnyh pozharov pri rassledovanii unichtozheniya ili povrezhdeniya lesnyh nasazhdenij // Kriminalistika: vchera, segodnya, zavtra. 2022. № 1 (21). S. 26–34. DOI: 10.55001/2587-9820.2022.33.85.003.

14. Kozachenko M.S., Slavskij V.V. Model' kratkosrochnogo monitoringa i prognoza dinamiki lesnyh pozharov // Lomonosovskie chteniya na Altae: sb. nauch. statej mezhdunar. molodezh. shkoly-seminara: v 4-h ch. / pod red. E.D. Rodionova. Barnaul: Altajskij gos. ped. un-t, 2012. Ch. II. S. 167–172.

15. Informacionnaya sistema distancionnogo monitoringa lesnyh pozharov Federal'nogo agentstva lesnogo hozyajstva Rossijskoj Federacii (sostoyanie i perspektivy razvitiya) / S.A. Bartalev [i dr.] // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2008. T. 5. № 2. S. 419–429.

16. Danilova S.S., Nikolaeva V.M. Obnaruzhenie lesnyh pozharov. Metody tusheniya lesnyh pozharov // Alleya nauki. 2018. T. 3. № 10 (26). S. 380–383.

17. Kachanov S.A., Popov A.P. O meste apparatno-programmnogo kompleksa «Bezopasnyj gorod» v koncepcii «Umnij gorod» // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2019. T. 16. № 3 (61). S. 4–9. DOI: 10.54234/CST.19968493.2019.16.3.61.1.4.

18. Popov S., Nabokih L. Kompleksnaya bezopasnost' – 2021: ot goroda bezopasnogo k gorodu umnomu // Pervaya milya. 2021. № 4 (96). S. 60–65. DOI: 10.22184/2070-8963.2021.96.4.60.65.

19. Kostenok V.D., Yazubec A.V. Raspoznavanie obrazov s pomoshch'yu iskusstvennogo intellekta // *Novye informacionnye tekhnologii v telekommunikacijah i pochtovoj svyazi*. 2023. T. 1. № 1. S. 33.
20. Vlasov S.Yu. Matematicheskaya model' raspoznavaniya obrazov na osnove iskusstvennogo intellekta v sfere sel'skogo hozyajstva // *Internauka*. 2022. № 43-1 (266). S. 13–15.
21. Gajdarenko A.S., Kopalin A.S. Analiz metodov raspoznavaniya obrazov s pomoshch'yu iskusstvennogo intellekta // *Sovremennye nauchnye znaniya: sb. statej Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Penza: Nauka i Prosveshchenie (IP Gulyaev G.Yu.)*, 2023. S. 56–58.
22. Patent № 2261476 C1 Ros. Federaciya, MPK G06K 9/00. Sposob raspoznavaniya radiosignalov. № 2004102168/09; zayavl. 26.01.2004; opubl. 27.09.2005 / V.A. Aladinskij, S.V. Dvornikov, A.M. Saukov, A.N. Simonov; zayavitel' Voennyj universitet svyazi. EDN RUFMDR.
23. Patent № 2356064 C2. Ros. Federaciya, MPK G01S 7/00. Sposob raspoznavaniya radiosignalov. № 2007115510/09; zayavl. 24.04.2007; opubl. 20.05.2009 / S.V. Dvornikov, A.S. Dvornikov, S.R. Zhelnin [i dr.]; zayavitel' Voennaya akademiya svyazi im. S.M. Budennogo. EDN UOQXMQ.
23. Sposob raspoznavaniya radiosignalov: pat. 2356064 C2. Ros. Federaciya, MPK G01S 7/00 / S.V. Dvornikov, A.S. Dvornikov, S.R. Zhelnin [i dr.]; zayavitel' Voennaya akademiya svyazi im. S.M. Budennogo. – № 2007115510/09; zayavl. 24.04.2007; opubl. 20.05.2009. EDN UOQXMQ.
25. Dvornikov S.V., Saukov A.M. Metod raspoznavaniya radiosignalov na osnove vejvlet-paketov // *Nauchnoe priborostroenie*. 2004. T. 14. № 1. S. 85–93. EDN HSQLQB.
26. Predlozheniya po primeneniyu formuly Vvedenskogo dlya rascheta zatuhaniy radiolinij peredachi video / S.V. Dvornikov [i dr.] // *Voprosy radioelektroniki. Ser.: Tekhnika teledeniya*. 2018. № 2. S. 105–111. EDN USZLAY.
27. Dvornikov S.V., Dvornikov A.M., Spirin A.M. Sintez manipulirovannyh signalov na osnove vejvlet-funkcij // *Informacionnye tekhnologii*. 2013. № 12. S. 52–55. EDN ROTMAR.
28. Sagdatullin A.M., Shamsutdinov R.A. Razrabotka algoritma uluchsheniya kachestva izobrazhenij vhodnogo videopotoka dlya upravleniya atomnymi transportnymi sredstvami // *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2021. T. 19. № 2. S. 90–95. DOI: 10.22213/2410-9304-2021-2-90-95.
29. Kuchukov V.A. Ekvalizaciya gistogramm izobrazhenij, predstavlenykh v sisteme ostatochnykh klassov // *Sovremennye tekhnologii v neftegazovom dele – 2018: sb. trudov mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.: v 2-h t. Oktyabr'skij: Ufimskij gos. neftyanoj tekhn. un-t*, 2018. T. 2. S. 290–293.
30. Metod obnaruzheniya radiosignalov na osnove obrabotki ih chastotno-vremennyh raspredelenij plotnosti energii / S.V. Dvornikov [i dr.] // *Informaciya i kosmos*. 2005. № 4. S. 13–16. EDN KXAITT.
31. Dvornikov S.V., Saukov A.M. Modifikaciya chastotno-vremennyh opisaniy nestacionarnykh processov na osnove pokazatel'nyh i stepennyh funkcij // *Nauchnoe priborostroenie*. 2004. T. 14. № 3. S. 76–85. EDN HSQPCL.
32. Manuk'yan A.A. Principy formirovaniya chastotno-vremennyh posledovatel'nostej impul'sov na osnove svojstv prostykh chislovyh polej Galua GF(p) i ih nekogerentnoj obrabotki dlya postroeniya radioizobrazhenij ob"ektov // *Vestnik vozdušno-kosmicheskoj oborony*. 2016. № 4 (12). S. 70–87.
33. Dvornikov S.V. Teoreticheskie osnovy sinteza bilinejnyh raspredelenij energii nestacionarnykh processov v chastotno-vremennom prostranstve (obzor) // *Trudy uchebnyh zavedenij svyazi*. 2018. T. 4. № 1. S. 47–60. EDN YUZUOE.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 24.09.2023; одобрена после рецензирования: 27.10.2023;
принята к публикации: 10.11.2023

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 24.09.2023; approved after review: 27.10.2023;
accepted for publication: 10.11.2023

Сведения об авторах:

Васильева Дина Владимировна, заместитель директора по воспитательной работе Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения; старший преподаватель кафедры Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного (190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67), SPIN-код: 4166-7299

Дворников Сергей Викторович, профессор кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов (Кафедра 21) Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67); профессор кафедры радиосвязи Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, доктор технических наук, профессор, e-mail: practicdsv@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4889-0001>, SPIN-код: 7109-9590

Дворников Сергей Сергеевич, старший преподаватель кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств (Кафедра 23) Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67); научный сотрудник научно-исследовательского отдела Военной академии связи им. С.М. Буденного, кандидат технических наук, e-mail: dvornik92@mail.com, SPIN-код: 8600-7244

Якушенко Сергей Алексеевич, доцент кафедры Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А), кандидат технических наук, доцент, SPIN-код: 7330-3298

Information about authors:

Vasilyeva Dina V., deputy director for educational work of Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation (190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya str., d. 67), senior lecturer of the department of Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, SPIN: 4166-7299

Dvornikov Sergey V., professor of the department of radio engineering and optoelectronic complexes (Department 21) Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation (190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya str., 67); professor of the department of radio communications of the Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, doctor of technical sciences, professor, e-mail: practicdsv@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4889-0001>, SPIN: 7109-9590

Dvornikov Sergey S., senior lecturer of the department of design and technology of electronic and laser devices (Department 23) Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation (190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya str., 67); researcher of the research department of the Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, candidate of technical sciences, e-mail: dvornik92@mail.com, SPIN: 8600-7244

Yakushenko Sergey A., associate professor of the department of the Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation (190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya str., 67, lit. A), candidate of technical sciences, associate professor, SPIN: 7330-3298