
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Научная статья

УДК 621.391; DOI: 10.61260/2218-13X-2024-1-44-54

ОБОСНОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕДУР ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Васильева Дина Владимировна;

Дворников Сергей Сергеевич;

✉ Дворников Сергей Викторович.

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

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

Москалец Геннадий Николаевич.

ФГУП «ГосНИИПП», Санкт-Петербург, Россия

✉ practicdsv@yandex.ru

Аннотация. Представлены результаты разработки научно-методического аппарата формирования векторов признаков в интересах автоматизации процедур обнаружения лесных пожаров по результатам обработки кадров видео изображений. Представлены аналитические алгоритмы формирования векторов признаков и решения задачи обнаружения их различий в автоматическом режиме. Рассмотрена возможность синтеза векторов признаков на основе декомпозиции изображений в базисе вейвлета Хаара. Определены оптимальные параметры вейвлета Хаара, обеспечивающие максимальную контрастность векторов признаков. Приведены результаты эксперимента.

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

Для цитирования: Васильева Д.В., Дворников С.С., Дворников С.В., Москалец Г.Н. Обоснование аналитического аппарата для автоматизации процедур обнаружения лесных пожаров // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2024. № 1. С. 44–54. DOI: 10.61260/2218-13X-2024-1-44-54.

Scientific article

AUTOMATION OF FOREST FIRES DETECTION PROCEDURES BASED ON VIDEO PROCESSING RESULTS

Vasilyeva Dina V.;

Dvornikov Sergey S.;

✉ Dvornikov Sergey V.

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.

Moskalets Gennady N.

FSUE «GosNIIPP», Saint-Petersburg, Russia.

✉ practicdsv@yandex.ru

Abstract. The results of the development of a scientific and methodological apparatus for the formation of feature vectors are presented in the interests of automating procedures for detecting

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2024

forest fires based on the results of processing video image frames. Analytical algorithms for generating feature vectors and solving the problem of detecting their differences in automatic mode are presented. The possibility of synthesizing feature vectors based on image decomposition in the Haar wavelet basis is considered. The optimal Haar wavelet parameters have been determined to ensure maximum contrast of feature vectors. The results of the experiment are presented.

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

For citation: Vasilyeva D.V., Dvornikov S.S., Dvornikov S.V., Moskalets G.N. Justification of the analytical apparatus for automating procedures for detecting forest fires // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2024. № 1. P. 44–54. DOI: 10.61260/2218-13X-2024-1-44-54.

Введение

Глобальное изменение климата, связанное с всеобщим потеплением, отрицательно сказывается на природоохранном комплексе [1, 2]. Указанные обстоятельства усугубляются негативными последствиями техногенной деятельности человека [3]. В результате чего существенно возросло число лесных пожаров, являющихся одной из основных проблем человечества последнего десятилетия [4–6].

Основные причины, приводящие к этому стихийному бедствию, подробно рассмотрены на страницах научных изданий [7–10]. Их анализ позволил выделить следующие факторы, играющие основную роль в возникновении лесных пожаров:

1. Человеческий фактор: неосторожное обращение с огнем, поджоги, сельскохозяйственные палы.

2. Молнии: грозы, приводящие к поджогу сухой растительности, особенно в засушливых регионах.

3. Активный переход на пиролизное масло, особенно в экваториальных и субэкваториальных районах. Это масло, которое образуется при нагревании древесины, может воспламениться и вызвать пожар.

4. Вулканическая активность – горячие материалы, выбрасываемые вулканами в воздух, нередко приводят к возгоранию флоры окружающего ландшафта.

5. Естественные факторы, такие как торнадо, ураганы и другие стихийные бедствия, приводящие к разрушению инфраструктуры, последствиями которых является возгорание лесных массивов.

Только в Российской Федерации в 2022 г. было зарегистрировано более 10 тысяч лесных пожаров, которые охватили площадь более 10 млн га. Большинство из них произошли в Сибири и на Дальнем Востоке.

Следует признать, что проблема борьбы с лесными пожарами, к сожалению, становится одним из приоритетных направлений деятельности МЧС России [11, 12]. Поэтому методы своевременного обнаружения возникновения лесных пожаров являются актуальными и имеющими прикладное значение для частей и подразделений МЧС России.

В связи с этим в настоящей статье представлены результаты исследования по разработке научно-методического аппарата по обоснованию в интересах автоматизации процедур обнаружения лесных пожаров.

Обоснование подхода к автоматизации процедур обнаружения лесных пожаров

Сложность ведения противопожарного контроля на территории Российской Федерации обусловлена наличием громадных территорий с низким уровнем ее технического обустройства. В таких условиях руководство МЧС России активно использует беспилотную авиацию для ведения постоянного мониторинга [13, 14].

Как правило, такой контроль ведется в полуавтоматизированном режиме, когда видеоборудование, установленное в качестве полезной нагрузки на борту летно-подъемных средств, передает видеорафик на экран монитора дежурной службы [15]. И уже непосредственно оператор принимает решение о возникновении пожара. Такой подход достаточно продуктивен, но требует «большого отрыва» личного состава для визуальной обработки поступающего видеоконтента.

Очевидным направлением повышения эффективности такого способа ведения пожарного контроля является автоматизация процедур обнаружения и принятия решения по результатам анализа видео контента.

В настоящее время методы обработки видео контента достаточно хорошо проработаны, что определяет перспективность их применения для решения данной задачи. Наиболее продуктивным в этом случае является применение технологий искусственного интеллекта [16]. Но такой подход предполагает наличие мощных серверов с разработанными базами данных, используемых для обучения нейронных сетей и принятия решения, что не всегда возможно обеспечить для удаленных подразделений МЧС России.

Вместе с тем в работах [17–19] рассматривалась возможность реализации более простых и доступных технических решений, основанных на элементах теории распознавания образов. В частности, в работе [20] был предложен комплекс мероприятий по автоматизации процедур обнаружения лесных пожаров по результатам обработки данных видеонаблюдений.

Указанный подход основан на формировании признакового пространства на основе векторов, формируемых из изображений видеоряда.

Удобство такого подхода обосновано с позиций отсутствия необходимости предварительного обучения системы и подготовки больших баз данных.

Действительно, если в качестве пространства распознавания определить пару векторов признаков [21, 22], сформированных на основе видеокadra текущего состояния местности R_{1m} и предшествующего ему состояния R_{0m} , то задача обнаружения может быть сведена к выполнению следующего алгоритма:

$$|R_{1m} - R_{0m}| \rightarrow \begin{cases} < D_{\text{доп}} \rightarrow H_0, \\ \geq D_{\text{доп}} \rightarrow H_1. \end{cases} \quad (1)$$

где $m = 1 \dots M$ – размерность вектора признаков; $D_{\text{доп}}$ – допустимая значение контрастности между векторами признаков, сформированных из видеокadров, характеризующих текущее состояние местности, предшествующее ему состояние; H_0 – гипотеза, согласно которой не выявлен пожар; H_1 – гипотеза, согласно которой выявлен пожар.

Согласно алгоритму (1) векторы признаков должны формироваться из кадров видеоизображений, поступающих в систему обработки с частотой, обеспечивающей, с одной стороны, возможность естественной смены подстилающего ландшафта в результате пролета аппарата, а с другой – обнаружения факта пожара.

Реализационный аспект такого подхода базируется на выборе величины $D_{\text{доп}}$, которая, в свою очередь, определяется чувствительностью формируемого вектора признаков.

Предложения по выбору аналитического аппарата для формирования векторов признаков

В работе [23] обосновано использование элементов кратномасштабного преобразования видеофрагментов при решении близкого класса задач.

В общем случае кратномасштабное преобразование функционального пространства $L^2(\mathbf{R})$ базируется на его декомпозиции, представленной совокупностью субпространств $V_j \subset L^2(\mathbf{R})$, организованных по принципу иерархической вложенности друг в друга [24, 25],

где $j \in \mathbf{Z}$. Как правило, для формирования субпространств используют различные виды вейвлет-функций, обладающих свойством локализации энергии как во временной, так и в спектральной областях.

Тогда обработка вектора признаков (для рассматриваемого примера) будет представлять собой результат его корреляции с базисными функциями, формируемыми на каждом уровне такой декомпозиции.

Представим результат такой декомпозиции следующим образом:

$$W_{k,n} = \frac{1}{\sqrt{k+1}} \sum_{k=0}^K \left[R_m \psi \left(\frac{m-n}{k+1} \right) \right], \quad (2)$$

где R_m – масштабируемый вектор признаков; $\psi [(t-n)/(m+1)]$ – масштабируемая функция (материнский вейвлет) [26, 27]; k – параметр масштаба (аналог частоты) $k = 0, 1, \dots, K$; K – число уровней масштабирования вектора признаков; n – параметр растяжения (аналог сдвига по времени).

Результат кратномасштабного преобразования, осуществляемого в соответствии с формулой (2), в работе [28] рассматривается как кратномасштабное преобразование на основе рядов вейвлетов непрерывного времени. Важным моментом рассматриваемой декомпозиции является выбор вида материнского вейвлета для реализации алгоритма (2). Так, в работе [29] обосновано, что наилучшее соответствие обеспечивается при условии близости структуры вейвлета декомпозируемому процессу. Поскольку в проведенном исследовании в качестве вектора признаков использовался вектор гистограмм распределения яркости, формируемый на основе видеофрагмента размером 782×626 , при разрешении 96 точек на дюйм с кодировкой 24 бита, то для масштабирования и кратномасштабного представления был использован вейвлет Хаара [30]:

$$\psi(n) = \begin{cases} 1 & \text{if } 0 \leq n < N/2, \\ -1 & \text{if } N/2 \leq n < N, \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

На рис. 1 показано временное представление вейвлета Хаара.

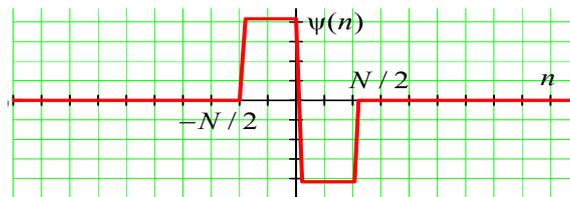


Рис. 1. Временное представление вейвлета Хаара

Следует отметить, что в соответствии с алгоритмом (2) материнский вейвлет претерпевает процедуры растяжения и сдвига, поэтому очень важно определить исходные значения N , что как раз и определяет научную составляющую настоящей статьи.

Результаты эксперимента

В качестве объекта исследования были выбраны два кадра видеоизображения лесистой местности (рис. 1, 2), на одном из которых запечатлен пожар. При этом площадь пожара составляет не более 8 % от общей площади изображения.

Первичные вектора признаков формировались в виде 256 – разрядного распределения гистограмм яркости.



Рис. 1. Предшествующий кадр лесного массива



Рис. 2. Текущий кадр лесного массива с возгоранием

Моделирование проведено в среде MathCAD. Поэтому алгоритм (2) был приведен к следующему виду:

$$W_{k,n} = \begin{cases} \text{for } k \in 0 \dots K \\ \text{for } n \in 0 \dots T \\ W_{k,n} \leftarrow \frac{1}{\sqrt{k+1}} \sum_{m=0}^K \left[R_m \Psi \left(\frac{m-n}{k+1} \right) \right], \\ W \leftarrow W \end{cases}$$

где K – количество уровней масштабирования; T – интервал временного сдвига.

В качестве примера на рис. 3, 4 показаны фрагменты вейвлет-преобразований для векторов признаков R_{0m} и R_{1m} , соответствующих рис. 1, 2 при $N = 1$.

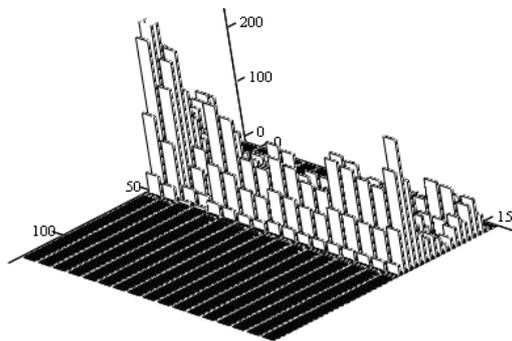


Рис. 3. Вейвлет-преобразование вектора R_{0m} ($N = 1$)

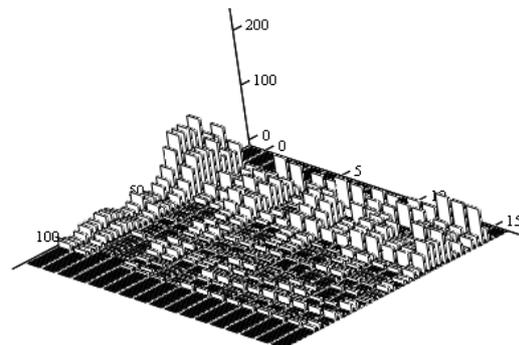


Рис. 4. Вейвлет-преобразование вектора R_{1m} ($N = 1$)

А на рис. 5, 6 при $N=128$.

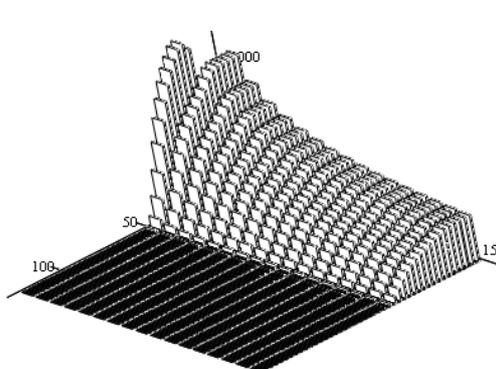


Рис. 5. Вейвлет-преобразование вектора R_{0m} ($N = 128$)

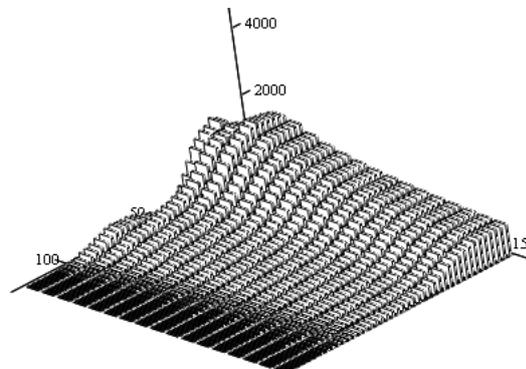


Рис. 6. Вейвлет-преобразование вектора R_{1m} ($N = 128$)

Все рисунки представлены в едином масштабе.

Очевидные различия вейвлет-преобразований приведут и к различным значениям разности векторов, определяемых выражением (1).

Для дальнейших расчетов матрицы вейвлет-преобразований структурировались в векторы гистограмм с одинаковыми энергетическими значениями.

Расчетные значения контрастности D представлены в таблице.

Таблица

Значения контрастности векторов признаков от исходного вида материнского вейвлета

N	1	2	4	8	16	32	64	128
D	4,47	5,22	5,52	5,37	4,96	4,47	4,20	4,08

Полученные результаты показывают, что наилучшая контрастность обеспечивается при значении $N = 8$.

Данный факт можно объяснить, исходя из следующих соображений. Наличие возгораний (пожаров и задымлений), запечатленных на кадре, равносильно внесению на изображение высокочастотных шумов, что подтверждается видом вейвлет-преобразования на рис. 4, где в высокочастотной части наблюдаются характерные всплески вейвлет-коэффициентов при $N = 1$. Вместе с тем изменение вида материнского вейвлета за счет увеличения N равносильно увеличению полосы пропускания формирующих вейвлет-преобразование фильтров. То есть с увеличением N происходит усреднение мелких значений вектора признаков, что наглядно отображено на рис. 6, при $N = 128$. А значение при $N = 8$ является оптимальным с позиций соответствия временной структуры материнского вейвлета значениям вектора признаков.

В качестве примера на рис. 7 представлены первые 16 значений вектора признаков для изображения рис. 2 и вейвлет Хаара при $N=8$.

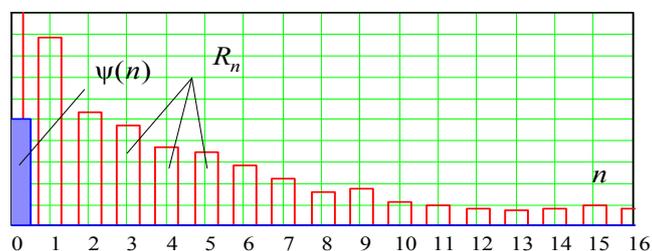


Рис. 7. Временное представление вейвлета Хаара

Заключение

Полученные результаты эксперимента позволяют сделать следующие выводы.

Вейвлет-преобразование достаточно чувствительный инструмент, позволяющий формировать векторы признаков для решения задачи обнаружения пожаров по результатам обработки кадров видеоизображений при качественном изменении фона даже в пределах 8 % от исходного.

При синтезе кратномасштабных распределений целесообразно использовать длительность исходного материнского вейвлета в пределах 8-кратного значения от шага дискретизации. Это позволяет обеспечить максимальную контрастность между векторами признаков.

Дальнейшие исследования авторы связывают с использованием методов совместной обработки вейвлет-преобразований [31, 32] с позиций повышения контрастности, формируемых на их основе векторов признаков.

Список источников

1. Иванова Ю.А., Аливердиева М.А. Экологическая проблема XXI века – глобальное потепление // Международный журнал конституционного и государственного права. 2022. № 2. С. 20–24.
2. Поляк Ю.Е., Дыбенко А.Н. О проблемах глобального потепления и углеродной нейтральности // Вестник ЦЭМИ. 2023. Т. 6. № 1. DOI: 10.33276/S265838870024492-4.
3. Мкртчян Ф.А., Солдатов В.Ю. О мониторинге экологических катастроф // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2023. № 9. С. 117–129. DOI: 10.36535/0235-5019-2023-09-3.
4. Иванова Г.А., Иванов В.А. Динамика лесных пожаров на территории лесных районов Средней Сибири // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2023. Т. 4. № 2. С. 43–48. DOI: 10.33764/2618-981X-2023-4-2-43-48.
5. Barovik D.V., Taranchuk V.B. Tools for the analysis and visualisation of distributions and vector fields in surface forest fires modelling // Journal of the Belarusian State University. Mathematics and Informatics. 2022. № 2. P. 82–93. DOI: 10.33581/2520-6508-2022-2-82-93.
6. 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.
7. 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.
8. Причины лесных пожаров в лесном фонде Уральского Федерального округа / В.Н. Сащенко [и др.] // Вестник биотехнологии. 2019. № 3 (20). С. 11.
9. Бобринев Е.В., Кондашов А.А., Удавцова Е.Ю. Использование регрессионного анализа показателей гибели людей при пожарах от времени прибытия первого пожарного подразделения на пожар // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2019. № 3. С. 95–102.
10. Сысоева Т.П., Лобова С.Ф., Кухарев А.А. Применение компьютерного моделирования динамики распространения пожара для установления месторасположения очага пожара // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2019. № 3. С. 121–131.
11. Аксенов С.Г., Морозова Д.П. Совершенствование мероприятий по профилактике и борьбе с лесными пожарами в России // Столыпинский вестник. 2023. Т. 5. № 1.
12. Газизов А.М., Янгирова Р.Р. Современные методы борьбы с лесными пожарами // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2021. № 1. С. 25–39. DOI: 10.17122/ogbus-2021-1-25-39.
13. Подрезов Ю.В. Особенности применения и разработки современных авиационных средств борьбы с лесными пожарами // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2019. № 2. С. 46–50.
14. Яковлев С.Е. Применение беспилотных летательных аппаратов в борьбе с лесными пожарами // Аммосов-2021: сб. материалов Науч.-практ. конф. студентов СВФУ. Якутск: Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 2021. С. 776–779.
15. Магомедов Р.А., Макарова Е.В., Котова Е.А. Исследование эффективности использования беспилотной летательной платформы вертолётного типа с огнетушащими капсулами для борьбы с лесными пожарами // Актуальные проблемы инженерных наук: материалы X (67-й) Ежегод. науч.-практ. конф. Северо-Кавказского федерального университета. Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2023. С. 402–404.
16. Abusalma A. The effect of implementing artificial intelligence on job performance in commercial banks of Jordan // Management Science Letters. 2021. Vol. 11. № 7. P. 2061–2070. DOI: 10.5267/j.msl.2021.3.003.

17. 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.
18. 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.
19. Тормозов В.С. Анализ методов распознавания образов и машинного обучения для распознавания визуальных образов // Информационные технологии XXI века: сб. науч. трудов / отв. ред. В.В. Воронин. Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2019. С. 354–359.
20. Автоматизация процедур обнаружения лесных пожаров по результатам обработки видео / Д.В. Васильева [и др.] // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 4. С. 30–40.
21. Прозоров Д.Е., Земцов А.В. Применение легковесной сиамской нейросети для формирования вектора признаков в системе васкулярной аутентификации // Компьютерная оптика. 2023. Т. 47. № 3. С. 433–441. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1204. – EDN JWCAEY.
22. Формирование векторов признаков сигналов из вейвлет-коэффициентов их фреймовых преобразований / С.В. Дворников [и др.] // Информационные технологии. 2013. № 5. С. 46–49. EDN QAQWUF.
23. Распознавание сигналов на основе вероятностной оценки дисперсии векторов их признаков / С.В. Дворников [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. Сер.: Техника телевидения. 2020. № 3. С. 81–90. EDN JYVVPW.
24. Семенов В.И. Сравнение алгоритма кратномасштабного анализа изображений в частотной области с алгоритмом Малла // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2022. № 59. С. 73–82. DOI: 10.17223/19988605/59/8.
25. Дворников С.В., Кудрявцев А.М. Теоретические основы частотно-временного анализа кратковременных сигналов: монография. СПб.: ВАС, 2010. 240 с. EDN: QMUUYKH.
26. Кратномасштабный вейвлет-анализ профилограммы / С.М. Гайдар [и др.] // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 5. С. 62–66. DOI: 10.26897/2687-1149-2022-5-62-66. EDN HTJLRH.
27. 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 KXAИТТ.
28. Дворников С.В., Дворников С.С., Спиринов А.М. Синтез манипулированных сигналов на основе вейвлет-функций // Информационные технологии. 2013. № 12. С. 52–55. EDN ROTMAR.
29. Андрианов П.А. Дискретный периодический кратномасштабный анализ // Записки научных семинаров Санкт-Петербургского отделения математического института им. В.А. Стеклова РАН. 2021. Т. 499. С. 7–21. EDN DRVQTN.
30. Zaynidinov H.N., Dadajanov U., Juraev J.U. Algorithm for compressing blood images using two-dimensional wavelets haar // Проблемы вычислительной и прикладной математики. 2021. № 1 (31). Р. 133–142. EDN CBAWRE.
31. 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.
32. Дворников С.В. Билинейные распределения с пониженным уровнем интерференционного фона в частотно-временном пространстве (продолжение обзора) // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 2. С. 69–81. EDN XRVQDR.

References

1. Ivanova Yu.A., Aliverdieva M.A. Ekologicheskaya problema XXI veka – global'noe poteplenie // *Mezhdunarodnyj zhurnal konstitucionnogo i gosudarstvennogo prava*. 2022. № 2. S. 20–24.
2. Polyak Yu.E., Dybenko A.N. O problemah global'nogo potepleniya i uglerodnoj nejtral'nosti // *Vestnik CEMI*. 2023. T. 6. № 1. DOI: 10.33276/S265838870024492-4.
3. Mkrtychyan F.A., Soldatov V.Yu. O monitoringe ekologicheskikh katastrof // *Problemy okruzhayushchej sredy i prirodnyh resursov*. 2023. № 9. S. 117–129. DOI: 10.36535/0235-5019-2023-09-3.
4. Ivanova G.A., Ivanov V.A. Dinamika lesnyh pozharov na territorii lesnyh rajonov Srednej Sibiri // *Interespo Geo-Sibir*. 2023. T. 4. № 2. S. 43–48. DOI: 10.33764/2618-981X-2023-4-2-43-48.
5. Barovik D.V., Taranchuk V.B. Tools for the analysis and visualisation of distributions and vector fields in surface forest fires modelling // *Journal of the Belarusian State University. Mathematics and Informatics*. 2022. № 2. P. 82–93. DOI: 10.33581/2520-6508-2022-2-82-93.
6. 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.
7. Kustov O.M., Shadaeva L.I., Nosyakova E.A. Osobennosti provedeniya otдел'nyh sledstvennyh 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.
8. Prichiny lesnyh pozharov v lesnom fonde Ural'skogo Federal'nogo okruga / V.N. Sashchenko [i dr.] // *Vestnik biotekhnologii*. 2019. № 3 (20). S. 11.
9. Bobrinev E.V., Kondashov A.A., Udavcova E.Yu. Ispol'zovanie regressionnogo analiza pokazatelej gibeli lyudej pri pozharah ot vremeni pribytiya pervogo pozharnogo podrazdeleniya na pozhar // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2019. № 3. S. 95–102.
10. Sysoeva T.P., Loboza S.F., Kuharev A.A. Primenenie komp'yuternogo modelirovaniya dinamiki rasprostraneniya pozhara dlya ustanovleniya mestoraspologheniya ochaga pozhara // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2019. № 3. S. 121–131.
11. Aksenov S.G., Morozova D.P. Sovershenstvovanie meropriyatij po profilaktike i bor'be s lesnymi pozharami v Rossii // *Stolypinskij vestnik*. 2023. T. 5. № 1.
12. Gazizov A.M., Yangirova R.R. Sovremennye metody bor'by s lesnymi pozharami // *Elektronnyj nauchnyj zhurnal Neftegazovoe delo*. 2021. № 1. S. 25–39. DOI: 10.17122/ogbus-2021-1-25-39.
13. Podrezov Yu.V. Osobennosti primeneniya i razrabotki sovremennyh aviacionnyh sredstv bor'by s lesnymi pozharami // *Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij*. 2019. № 2. S. 46–50.
14. Yakovlev S.E. Primenenie bespilotnyh letatel'nyh apparatov v bor'be s lesnymi pozharami // *Ammosov-2021: sb. materialov Nauch.-prakt. konf. studentov SVFU, Yakutsk: Severo-Vostochnyj federal'nyj universitet im. M.K. Ammosova*, 2021. S. 776–779.
15. Magomedov R.A., Makarova E.V., Kotova E.A. Issledovanie effektivnosti ispol'zovaniya bespilotnoj letatel'noj platformy vertolyotnogo tipa s ognetyushchimi kapsulami dlya bor'by s lesnymi pozharami // *Aktual'nye problemy inzhenernyh nauk: materialy X (67-j) Ezhegod. nauch.-prakt. konf. Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta. Stavropol': Severo-Kavkazskij federal'nyj universitet*, 2023. S. 402–404.
16. Abusalma A. The effect of implementing artificial intelligence on job performance in commercial banks of Jordan // *Management Science Letters*. 2021. Vol. 11. № 7. P. 2061–2070. DOI: 10.5267/j.msl.2021.3.003.
17. Dvornikov S.V., Dvornikov S.S., Konoplev M.A. Algoritm raspoznavaniya signalov radiosvyazi na osnove simmetricheskikh matric // *Informacionnye tekhnologii*. 2010. № 9. S. 75–77. EDN MUSLAD.

18. Dvornikov S.V., Saukov A.M. Modifikaciya chastotno-vremennyh opisaniy nestacionarnyh processov na osnove pokazatel'nyh i stepennyh funkcij // Nauchnoe priborostroenie. 2004. T. 14. № 3. S. 76–85.
19. Tormozov V.S. Analiz metodov raspoznavaniya obrazov i mashinnogo obucheniya dlya raspoznavaniya vizual'nyh obrazov // Informacionnye tekhnologii XXI veka: sb. nauch. trudov / otv. red. V.V. Voronin. Habarovsk: Tihookeanskij gosudarstvennyj universitet, 2019. S. 354–359.
20. Avtomatizaciya procedur obnaruzheniya lesnyh pozharov po rezul'tatam obrabotki video / D.V. Vasil'eva [i dr.] // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2023. № 4. S. 30–40.
21. Prozorov D.E., Zemcov A.V. Primenenie legkovesnoj siamskoj nejroseti dlya formirovaniya vektora priznakov v sisteme vaskulyarnoj autentifikacii // Komp'yuternaya optika. 2023. T. 47. № 3. S. 433–441. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1204. – EDN JWCAEY.
22. Formirovanie vektorov priznakov signalov iz vejjvlet-koefficientov ih frejmovyh preobrazovanij / S.V. Dvornikov [i dr.] // Informacionnye tekhnologii. 2013. № 5. S. 46–49. EDN QAQWUF.
23. Raspoznavanie signalov na osnove veroyatnostnoj ocenki dispersii vektorov ih priznakov / S.V. Dvornikov [i dr.] // Voprosy radioelektroniki. Ser.: Tekhnika televideniya. 2020. № 3. S. 81–90. EDN JYVVPW.
24. Semenov V.I. Sravnenie algoritma kratnomasshtabnogo analiza izobrazhenij v chastotnoj oblasti s algoritmom Malla // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika. 2022. № 59. S. 73–82. DOI: 10.17223/19988605/59/8.
25. Dvornikov S.V., Kudryavcev A.M. Teoreticheskie osnovy chastotno-vremennogo analiza kratkovremennyh signalov: monografiya. SPb.: VAS, 2010. 240 s. EDN: QMUYKH.
26. Kratnomasshtabnyj vejjvlet-analiz profilogrammy / S.M. Gajdar [i dr.] // Agroinzheneriya. 2022. T. 24. № 5. S. 62–66. DOI 10.26897/2687-1149-2022-5-62-66. EDN HTJLRH.
27. 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.
28. Dvornikov S.V., Dvornikov S.S., Spirin A.M. Sintez manipulirovannyh signalov na osnove vejjvlet-funkcij // Informacionnye tekhnologii. 2013. № 12. S. 52–55. EDN ROTMAR.
29. Andrianov P.A. Diskretnyj periodicheskij kratnomasshtabnyj analiz // Zapiski nauchnyh seminarov Sankt-Peterburgskogo otdeleniya matematicheskogo instituta im. V.A. Steklova RAN. 2021. T. 499. S. 7–21. EDN DRVQTN.
30. Zaynidinov H.N., Dadajanov U., Juraev J.U. Algorithm for compressing blood images using two-dimensional wavelets haar // Problemy vychislitel'noj i prikladnoj matematiki. 2021. № 1 (31). P. 133–142. EDN CBAWRE.
31. Dvornikov S.V. Teoreticheskie osnovy sinteza bilinejnyh raspredelenij energii nestacionarnyh processov v chastotno-vremennom prostranstve (obzor) // Trudy uchebnyh zavedenij svyazi. 2018. T. 4. № 1. S. 47–60. EDN YUZUOE.
32. Dvornikov S.V. Bilinejnye raspredeleniya s ponizhennym urovnem interferencionnogo fona v chastotno-vremennom prostranstve (prodolzhenie obzora) // Trudy uchebnyh zavedenij svyazi. 2018. T. 4. № 2. S. 69–81. EDN XRVQDR.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 18.11.2023; одобрена после рецензирования: 10.12.2023;
принята к публикации: 11.12.2023

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 18.11.2023; approved after review: 10.12.2023;
accepted for publication: 11.12.2023

Сведения об авторах:

Васильева Дина Владимировна, заместитель директора по воспитательной работе Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67); старший преподаватель кафедры Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного (194064, Санкт-Петербург, К-64, Тихорецкий пр-т, д. 3), SPIN-код: 4166-7299

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. Маршала Советского Союза С.М. Буденного (194064, Санкт-Петербург, К-64, Тихорецкий пр-т, д. 3), кандидат технических наук, e-mail: dvornik92@mail.com, SPIN-код: 8600-7244

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 (194064, Санкт-Петербург, К-64, Тихорецкий пр-т, д. 3), доктор технических наук, профессор, e-mail: rgacticdsv@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4889-0001>, SPIN-код: 7109-9590

Москалец Геннадий Николаевич, заместитель генерального директора – главный инженер Федерального государственного унитарного предприятия «Государственный научно-исследовательский институт прикладных проблем» (191167, Санкт-Петербург, наб. Обводного канала, д. 29), кандидат технических наук

Information about authors:

Vasilyeva Dina V., deputy director for educational work of the Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation (190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya str., 67); senior lecturer at the department of the Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny (194064, Saint-Petersburg, K-64, Tikhoretsky ave 3), SPIN: 4166-7299

Dvornikov Sergey S., senior lecturer at the department of design and technology of electronic and laser devices (Department 23) of the Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation (190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya str., 67); researcher at the research department of the Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny (194064, Saint-Petersburg, K-64, Tikhoretsky ave., 3), candidate of technical sciences, e-mail: dvornik92@mail.com, SPIN: 8600-7244

Dvornikov Sergey V., professor of the department of radio engineering and optoelectronic complexes (Department 21) of the 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 (194064, Saint-Petersburg, K-64, Tikhoretsky ave., 3), doctor of technical sciences, professor, e-mail: rgacticdsv@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4889-0001>, SPIN: 7109-9590

Moskalets Gennady N., deputy general director – chief engineer Federal state unitary enterprise «State research institute of applied problems» (191167, Saint-Petersburg, Obvodny canal embankment, 29), candidate of technical sciences