

УДК 004.932.2

Об идее применения WebVR для визуализации результатов обнаружения источников лесных пожаров на труднодоступных территориях

Агаркова Анна Викторовна

agarkovaav@student.bmstu.ru

SPIN-код: 9206-2245

Винокурова Екатерина Сергеевна

vinokurovaes@student.bmstu.ru

SPIN-код: 1540-9723

Посевин Данила Павлович

posevin@bmstu.ru

SPIN-код: 4874-5513

Иванов Игорь Потапович

ivanov@bmstu.ru

SPIN-код: 5867-2820

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Представлен прототип приложения мониторинга и визуализации результатов автоматического обнаружения лесных пожаров. Рассмотрено устройство и принцип работы мобильного блока на базе одноплатного микрокомпьютера Raspberry Pi, оснащенного видеокамерой, GPS-трекером, модулем передачи данных посредством специальной ad-hoc-сети и технологией беспроводной связи Wi-Fi. Показана реализация классических методов обработки изображений для детектирования очагов возгораний и расчета их характеристик — эпицентра, площади и эквивалентного радиуса, описан алгоритм визуализации полученных данных в WebVR на трехмерной модели рельефа местности. Разработанный прототип демонстрирует возможность создания инструмента поддержки принятия решений для оперативного распределения сил и средств пожаротушения с учетом особенностей ландшафта.

Ключевые слова: WebVR, трехмерная модель местности, визуализация возгорания, дистанционный мониторинг лесных пожаров, компьютерное зрение, мониторинг лесных пожаров

About the idea of using WebVR to visualize the results of detecting forest fire sources in hard-to-reach areas

Agarkova Anna Viktorovna

agarkovaav@student.bmstu.ru

SPIN-code: 9206-2245

Vinokurova Ekaterina Sergeevna

vinokurovaes@student.bmstu.ru

SPIN-code: 1540-9723

Posevin Danila Pavlovich

posevin@bmstu.ru

SPIN-code: 4874-5513

Ivanov Igor Potapovich

ivanov@bmstu.ru

SPIN-code: 5867-2820

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Abstract. A prototype of a forest fire monitoring and visualization application interface is presented. The article discusses the design and operation of a mobile unit based on a single-board microcomputer called Raspberry Pi, which is equipped with a video camera,

a GPS navigator, and a data transmission module that uses a special ad-hoc network and Wi-Fi wireless technology. The implementation of classical image processing techniques for fire hotspot detection and estimation of their characteristics — epicenter, area, and equivalent radius is demonstrated. A mechanism for visualizing the obtained data in WebVR on a three-dimensional terrain model is described. The developed prototype demonstrates the potential for creating a decision support tool for the rapid allocation of firefighting resources, taking into account landscape features.

Keywords: WebVR, three-dimensional terrain model, fire visualization, remote monitoring of forest fires, computer vision, forest monitoring

Введение. Поиск способов повышения уровня оперативности ликвидации лесных пожаров с каждым годом становится все острее — это связано с глобальным изменением климата и возрастанием частоты возникновения лесных пожаров. Большие площади лесных массивов в Российской Федерации являются причиной того, что борьба со стихией на труднодоступных территориях зачастую является сложной и затратной задачей. Для оптимальной организации работы пожарных бригад при ликвидации стихийных бедствий необходимы современные средства оперативного принятия решений, позволяющие оптимально и своевременно координировать доставку специальной техники и средств пожаротушения непосредственно к очагам возгораний. При планировании спасательных работ необходимо учитывать рельеф местности и его особенности, такие как растительность, наличие естественных преград, высот и впадин, а также возможность доступа на территорию охваченную пожаром с помощью наземных транспортных средств. Без учета приведенных выше факторов эффективность спасательных операций может быть сильно снижена, что в свою очередь может приводить к серьезным потерям, в том числе гибели людей и животных. Таким образом, можно сделать предположение об актуальности работы связанной с исследованием стека программных технологий и разработкой программных средств визуализации распространения пожаров с учетом рельефа местности, такие средства могут применяться службами, выполняющими мониторинг пожарной обстановки и службами принимающими решения об организации работ по пожаротушению. В связи с этим данная работа посвящена исследованию возможности и разработке прототипа информационной системы поддержки интерфейса визуализации результатов мониторинга и раннего обнаружения лесных пожаров на труднодоступных территориях в формате WebVR.

Материалы и методы. В рамках темы № FSFN-2024-0073 государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации решается задача исследования различных способов и специальных средств мониторинга лесных пожаров с применением различных видов летательных аппаратов. В данной работе в качестве специального средства мониторинга рассматривается мобильный блок [1], который представляет собой универсальный адаптер, выполненный в виде герметичного корпуса с установленной видеокамерой, направленной вниз. Внутри корпуса размещены одноплатный микрокомпьютер Raspberry Pi, GPS-модуль, модуль передачи

изображений по радиоканалу и устройство для записи информации. Выбор одноплатного микрокомпьютера обусловлен его компактностью, достаточной вычислительной мощностью для обработки изображений и возможностью интеграции с различными периферийными устройствами.

Работа аппаратно-программного комплекса доставки полезной нагрузки, представляющей собой пакет данных о факте и месте обнаружения возгораний, организована следующим образом:

1. Мобильный блок устанавливается на борт летательного аппарата, после чего осуществляются авиационные работы по осуществлению мониторинга местности, как правило это выполняется в автоматическом режиме. При этом перед началом авиационных работ регистрируется план полета и формируется маршрут движения летательного аппарата, который согласовывается заранее в ОрВД с учетом особенностей территории вадеонаблюдения и существующими разрешениями на осуществление полетов в данной местности.

2. В ходе выполнения авиационных работ летательный аппарат движется по заданному маршруту, выполняет фото и видеофиксацию местности посредством комплекта программных средств установленных на одноплатный компьютер, находящийся внутри мобильного блока.

3. В случае возникновения пожара упомянутое выше программное обеспечение с использованием нейросетевых алгоритмов [2] и классических методов обработки изображений, рассмотренных в данной работе, производят оценку области возгорания — предполагаемый радиус пожара и его эпицентр.

Эпицентр пожара определяется на основе данных принимаемых от GPS-трекера. При известных значениях высоты полета летательного аппарата и угла обзора камеры по формуле (1) вычисляется площадь возгорания, его эквивалентный радиус (2) и центр очага пожара (3, 4).

$$S_{obj} = N_{pix} \cdot cm_per_pix^2, \quad (1)$$

$$R = \sqrt{\frac{S_{obj}}{\pi}}, \quad (2)$$

$$dx_m = (r[cx] - \frac{N_x}{2}) \cdot scale_x, \quad (3)$$

$$dy_m = (r[cy] - \frac{N_y}{2}) \cdot scale_y. \quad (4)$$

В приведенных выше формулах: S_{obj} — площадь очага возгорания; N_{pix} — количество пикселей принадлежащих очагу возгорания; cm_per_pix — количество сантиметров в пикселе; R — радиус окружности эквивалентной очагу возгорания; dx_m , dy_m — координаты центра возгорания в метрах; $r[cx]$, $r[cy]$ — координаты центра возгорания в пикселях; N_x — длина изображения в пикселях; N_y — ширина изображения в пикселях; $scale_x$ и $scale_y$ — количество метров в пикселе по горизонтали и по вертикали.

В случае обнаружения пожара изображение и телеметрические данные, включая координаты эпицентра в специальном формате, содержащем значения GPS-координат и рассчитанный радиус, сохраняются на SD-карту одноплатного микрокомпьютера. После возвращения беспилотного летательного аппарата в дронопорт [3] или на площадку обслуживания парка летательных аппаратов центра принятия решений — мобильный блок отстыковывается, а записанные данные извлекаются для дальнейшей обработки в лабораторных условиях. Также предусмотрена автоматическая выгрузка полезной нагрузки без демонтажа мобильного блока по протоколу WebSockets.

Для автоматической отправки полезной нагрузки в виде фрагментов изображений возгораний с борта летательного аппарата на сервер обработки данных или рабочее место оператора предусмотрена возможность передачи информации по радиоканалу LoRa или посредством специальной энергоэффективной ad-hoc-сети [4]. В этом случае телеметрия, включающая координаты эпицентра и радиус возгорания, а также полученные изображения передаются на специальный компьютер-получатель и далее на сервер центра принятия решений, где данные обрабатываются, преобразуются и могут быть выгружены в формат WebVR для последующего анализа и визуализации. Предварительная обработка данных полезной нагрузки на компьютере-получателе позволяет организовать комплексный мониторинг местности, производить сравнение полученной информации за различные периоды времени и принимать обоснованные решения по ликвидации очагов возгораний.

Рассмотрим практическую реализацию. Визуализация данных в формате WebVR осуществляется с помощью библиотеки Three.js — для заданной территории отображается рельеф, на котором выделяются зоны возгорания. Высота рельефа дополнительно подсвечивается с помощью цветовой шкалы — более высокие участки окрашиваются в светлые тона, а более низкие — в темные. Для формирования модели рельефа местности использовались растровые карты высот, полученные в результате выполнения международного исследовательского проекта Shuttle Radar Topography Mission [5] по созданию цифровой модели рельефа большей части земной суши. Данные, полученные с сайта проекта Shuttle Radar Topography Mission, были предварительно обработаны и преобразованы соответствующим образом для загрузки в WebVR сцену. Программные средства для обработки карты высот и расчета параметров пожара были реализованы на языке программирования Python, а WebVR представление данных на — JavaScript.

Результаты. Тестирование работы алгоритма оценки площади возгорания проводилось на изображениях лесных пожаров, полученных из открытых источников. Параметры съемки, включая высоту полета летательного аппарата и угол обзора камеры, оценивались приближенно по характерным размерам объектов, присутствующих на изображениях. В качестве таких объектов использовались изображения деревьев, приблизительный или оценочный поперечный размер которых с учетом листвы использовался для оценки ожидаемой площади пожара — эти значения приведены в соответствующем поле

таблицы. Такой подход может приводить к значительной погрешности оценки расчетной площади пожара (см. значения в соответствующем поле таблицы). Однако в текущих условиях невозможности проведения натурных экспериментов, в частности участия в ликвидации лесных пожаров и получения реальных данных — разработанный алгоритм позволит в какой-то степени проверить корректность оценки реальных размеров областей возгораний и предоставить возможность их представления в формате WebVR.

При выполнении алгоритмов обработки изображений выполняется выделение области пожара и вычисление ее площади на основе количества пикселей, принадлежащих зоне возгорания. Результаты тестирования показали, что приложение вероятнее всего корректно выделяет основные зоны возгораний и позволяет получать оценки размеров их очагов более менее близкие к их ожидаемой или фактической площади (см. таблицу). Однако данные результаты следует проверить на практике, что на момент написания данной работы не представлялось возможным и требует проведения специальных выездных мероприятий и выполнения соответствующих им согласований.

Результаты эксперимента на основе данных из открытых источников

Изображение	Высота съемки, м	Угол обзора видеокамеры, град	Ожидаемая (фактическая) площадь, м ²	Расчетная площадь пожара, м ²
Рис. 1, а	100±50	80±20	300±150	313±298
Рис. 2, а	150±50	80±20	1500±750	1956±1253

Ниже на соответствующих рисунках приведены примеры работы прототипа разработанной информационной системы. Так, на рис. 1 представлен результат обработки изображения пожара на территории северного района Мексики, где после выделения на изображении зоны возгорания выполняется расчет параметров пожара, которые затем используются для построения визуализации в WebVR, а на рис. 2 представлен аналогичный пример для изображения пожара на территории России в северо-западном районе Красноярского края.

Обсуждение. В первой части работы было рассмотрено устройство мобильного блока и возможности его применения, а также реализация алгоритмов детектирования очагов возгорания на основе классических алгоритмов обработки изображений. При этом на кадрах полученных с видеокамеры мобильного блока выделяются зоны активного горения и далее определяются характеристики возгорания. Разработанный прототип информационной системы обеспечивает вычисление эпицентра пожара на основе данных GPS-трекера, а также оценку площади и эквивалентного радиуса возгорания с учетом высоты полета и угла обзора камеры.

Во второй части работы полученные данные визуализируются в формате WebVR. Данная модель может являться вспомогательным средством опера-

тора или лица принимающего решения для координации действий при осуществлении мероприятий по пожаротушению.

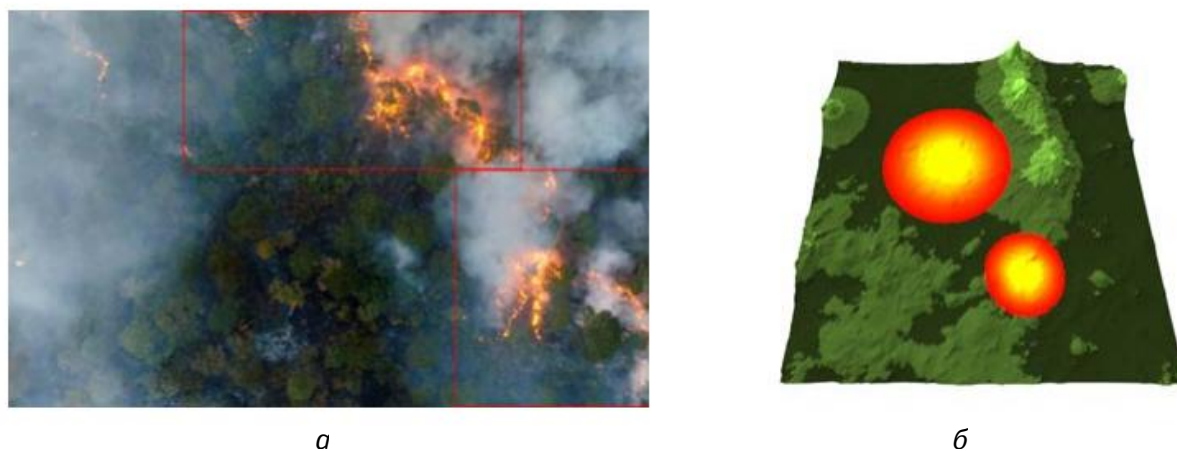


Рис. 1. Результат обработки изображения пожара на территории Мексики [6]:
 а — изображение с выделенным участком пожара после обработки алгоритмом детектирования;
 б — визуализация возгорания в WebVR



Рис. 2. Результат обработки изображения пожара в Красноярском крае [7]:
 а — изображение с выделенным участком пожара после обработки алгоритмом детектирования;
 б — визуализация возгорания в WebVR

Основной проблемой в данной работе стало отсутствие тестовых данных с заданными характеристиками видеокамер, параметров и высоты съемки масштабных лесных пожаров для осуществления численных экспериментов. В следствии этого была получена очень грубая оценка параметров возгораний.

Заключение. В данной работе был реализован прототип информационной системы мониторинга лесных пожаров, включающий в себя набор программных компонентов для сбора сырых данных, полученных с помощью мобильного блока, и визуализации обработанной информации в формате WebVR. В итоге был реализован минимально жизнеспособный продукт 4-го уровня готовности технологии (TRL-4) со следующим набором функциональности: детектирование очагов возгораний классическими методами об-

работки изображений, оценка площади пожаров с учетом данных GPS и последующее отображение информации на трехмерной модели рельефа местности, полученной из открытых источников. В дальнейшем планируется проведение экспериментов на реальной местности с имитацией пожара и применением мобильного блока, установленного на борт летательного аппарата.

Список источников

- [1] Горин В.А., Гусев Д.Ю., Краснов А.Ю., Лавров Р.Д. О результатах разработки мобильных аппаратно-программных средств тестирования характеристик специализированной сети мониторинга лесных пожаров. *Цифровые технологии: настоящее и будущее. IV Нац. науч.-практ. конф.: сб. ст.* Тольятти, Тольяттинская академия управления, 2025, с. 76–84.
- [2] Кривоносова А.Ю., Мамаева С.М., Андреева К.И. Сравнение эффективности нейросетевых алгоритмов обнаружения лесных пожаров на основе YOLO и U-Net. *Цифровые технологии: настоящее и будущее. IV Нац. науч.-практ. конф.: сб. ст.* Тольятти, Тольяттинская академия управления, 2025, с. 9–12.
- [3] Яковлев С.С., Хныченко К.Е. Исследование появления, развития и использования дронопортов в России и других странах. *Совершенствование авиационно-спасательных технологий при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. XXXV Междунар. науч.-практ. конф.: сб. тр.* Химки, Академия гражданской защиты МЧС России им. генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика, 2025, с. 129–134.
- [4] Пенкин А.Д., Кочетков Д.И., Нашекин Н.Д. и др. Исследование эффективности применения прототипа энергоэффективной mesh-сети на базе модулей Nodemcu для задач автоматизации выявления источников лесных пожаров и видеоконтроля труднодоступных территорий. *Обеспечение комплексной безопасности населения и территорий в экстремальных климатических условиях. Деловая программа межвед. опытно-исслед. учений сил и средств единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне Российской Федерации «Безопасная Арктика-2025»: матер.* Москва, ВНИИ по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 2025, с. 159–164.
- [5] Данные миссии SRTM. URL: <https://search.earthdata.nasa.gov/search/> (дата обращения 25.02.2026).
- [6] DRONE: Static top down view of a wild fire on a forest in Mexico. URL: <https://elements.envato.com/drone-static-top-down-view-of-a-wild-fire-on-a-for-WKYQC32> (accessed 12.02.2026).
- [7] *Как горит Сибирь. Карты, графики и фото пожаров в России.* URL: <https://www.bbc.com/russian/features-53532961> (дата обращения 11.02.2026).