

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРОТИВОПОЖАРНОГО МОНИТОРИНГА ЛЕСОВ ПУТЕМ РАСШИРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОВРЕМЕННЫХ КВАДРОКОПТЕРОВ

Е.М. ГУСАК, В.В. ГУСАК

Аннотация. Предложено решение актуальной научно-технической задачи: разработка информационной технологии расширения функциональных возможностей неспециализированных беспилотных летательных аппаратов с целью усовершенствования мониторинга лесных и других ландшафтных пожаров. Описанная информационная технология поможет разрешить противоречие между высоким уровнем затрат на разработку и эксплуатацию высокотехнологических противопожарных средств и их недостаточной эффективностью. Привлечение в состав информационной технологии раннего обнаружения очагов лесных пожаров современных беспилотных летательных аппаратов при условии расширения их информационно-технологических возможностей позволяет в фоновом режиме без дополнительных затрат на высокотехнологическое оборудование получать оперативную информацию о наличии очагов лесных пожаров и своевременно извещать соответствующие службы о пожарной опасности. Приведены результаты экспериментов, которые проводились как для серии статических снимков, так и для видеорядов.

Ключевые слова: информационная технология, беспилотный летательный аппарат, методы обработки изображений, параллельные вычисления.

ВСТУПЛЕНИЕ

Противопожарная защита лесов является одной из основных составляющих обеспечения безопасности национальных природных богатств, поскольку последствия лесных пожаров катастрофичны как для биосферы, так и для атмосферы, гидросферы, литосферы.

В основе технологии охраны лесов от пожаров лежат средства предотвращения и раннего обнаружения лесных пожаров. Эффективность их деятельности является залогом быстрого реагирования оперативно-спасательных служб и предотвращения широкомасштабных экологических катастроф.

Ежегодно на Земле возникает 400 тис. лесных пожаров, которые уничтожают около 0,5% общей площади лесов, выбрасывая в атмосферу миллионы тонн продуктов сгорания. Для Украины охрана лесов от пожаров является одной из самых сложных и актуальных проблем, что обусловлено климатическими изменениями — повышением среднегодовой температуры воздуха, ведением боевых действий на востоке страны, а также последствиями Чернобыльской катастрофы. Ежегодно в Украине фиксируется около 25 тыс. лесных пожаров на площади 30 тыс. гектаров [1].

Несмотря на имеющийся арсенал современных средств и методов противопожарного мониторинга и охраны леса, лесные пожары, не будучи вовремя обнаруженными, часто из незначительных очагов возгорания перерастают в экологические катастрофы. Поэтому разработка новых и совершенствование существующих моделей, методов, информационных технологий противопожарной защиты лесов, ориентированных на мобильность и оперативность, является современной актуальной научно-прикладной задачей.

Предложенная в этом исследовании информационная технология, суть которой заключается в привлечении на добровольной основе дополнительных неспециальных технических ресурсов, владельцами которых являются простые пользователи, призвана помочь устранить существующее противоречие между высоким уровнем затрат на разработку высокотехнологичных противопожарных средств и их недостаточной эффективностью.

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основой для разработки информационной технологии расширения функциональных возможностей беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с целью раннего обнаружения лесных пожаров являются результаты исследований в области противопожарного мониторинга, современное развитие беспилотной авиации и значительные достижения в повышении информативности цифровых изображений. Сегодня разработан ряд оптических и оптико-электронных методов их обработки с целью повышения информативности. В ряде исследований рассмотрены аэрозольные и наземные методы визуализации радара (SAR), основанные как на возможностях лазерных радаров, так и возможностях спутниковых технологий [2–6]. В частности, исследователи предложили новый подход к выполнению трехмерных измерений, характеризующих состояние зеленой биомассы. Была доказана точность и целесообразность использования технологии LIDAR для определения внезапных изменений в состоянии лесной биомассы, в том числе изменений, связанных с наличием очагов лесных пожаров и выгоревших участков. К недостаткам таких систем, основанных на LIDAR-технологиях, следует отнести их высокую технологичность и потребность в значительных финансовых затратах. Кроме того, инфракрасные лазеры, используемые во многих системах LIDAR, не способны проникнуть сквозь туман или дождь, а информация, полученная с помощью этих систем, предусматривает последующую дополнительную обработку.

В отдельных исследованиях представлены современные системы наблюдения и обнаружения очагов возгорания, основанные на использовании стационарных датчиков. Такие системы реализуются, в частности, в эффективных информационных технологиях обнаружения лесных пожаров на основе беспроводных сенсорных сетей (WSN), архитектура которых предусматривает видеонаблюдение, а в «слепых» и наиболее пожароопасных зонах — использование датчиков, объединенных в беспроводные сенсорные сети [7]. Результаты их работы, основанные на реальных экспериментальных подходах, свидетельствуют о достаточной эффективности предложенного метода. К таким системам относится система контроля лесных пожаров, созданная учеными Тернопольского национального экономического

университета. Авторы разработали архитектуру беспроводной распределенной, самоорганизующейся и устойчивой к отказам отдельных элементов сенсорную сеть, предназначенную для контроля состояния противопожарной безопасности леса [8]. Предложенная структура системы контроля и наблюдения за опасными для лесных пожаров участками обеспечивает мониторинг опасности возникновения пожаров и оперативное информирование аварийных служб в случае активации задействованных сенсоров измерения температуры, выявления открытого огня, углекислого газа, дыма, характерного звука и т.п. Использование технологии беспроводных сенсорных сетей обеспечивает эффективный мониторинг огромных участков леса с минимальным использованием различного типа оборудования.

Приведенные выше разработки приобретают особую актуальность в связи с необходимостью поиска эффективных методов раннего обнаружения и борьбы с лесными пожарами, возникающими на пораженной радиацией территории, в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС. Недостатком этих систем является то, что они предназначены для ведения локального наблюдения, фиксируют эпицентры пожара значительной интенсивности, реагируя на пламя определенной высоты, которое сопровождается шлейфом дыма. Кроме того, система предусматривает значительные финансовые затраты на свою эксплуатацию (к дополнительным затратам относится также приобретение необходимого дополнительного кабельного оборудования и усилителей).

Особое место в исследовании и применении методов дистанционного противопожарного мониторинга занимает съемка в тепловом диапазоне. Возможности, принципы работы, а также перспективы использования современных информационных технологий основываются на использовании термовизионных и тепловизионных камер [9, 10].

Все большее количество современных производителей предлагают термовизионные системы, в том числе предназначенные для установки на БПЛА с целью осуществления различных видов мониторинга. Использование БПЛА, оборудованных термовизионными камерами, является новым и перспективным методом детектирования лесных пожаров, получившим высокую оценку зарубежных и отечественных специалистов. Существуют компании, которые специализируются на тепловизионных системах для БПЛА, как, например, чешская компания Workswell. Оснащение БПЛА тепловизионной камерой также значительно расширяет возможности использования систем тепловидения. Благодаря высокой оперативности (при средней скорости 56 километров в час за двадцать минут полета БПЛА способен охватить площадь 1200 гектаров, проявляя шлейф дыма от лесного пожара, огонь, выгоревших участков леса), мобильности, высокой контролируемости, стабильности, экономичности использования БПЛА для мониторинговых наблюдений леса усматривается оптимальным. Однако термо- и тепловизионное оборудование в условиях раннего лесопожарного мониторинга не вполне гарантирует успех, поскольку на его работу значительное влияние оказывает стороннее инфракрасное излучение от нагретых солнцем расположенных в зоне обзора объектов, что может исказить информацию о наличии незначительного очага пожара. Густой туман также может повлиять на работу инфракрасных датчиков, поскольку капли воды препятствуют проникновению инфракрасного излучения. Кроме того, установка и транспортировка инфракрасных камер требуют дополнительных ресурсов [11].

Таким образом, как показывает анализ, ни один из описанных методов не универсален и не в состоянии полностью решить задачу эффективного противопожарного мониторинга леса.

Идея привлечения и возможного расширения информационно-технологических возможностей БПЛА базируется на анализе их технических характеристик и возможных сфер их применения. Активное развитие БПЛА для решения задач мониторинга обусловлено их значительными преимуществами перед традиционными и космическими методами, а именно — возможностью ведения наблюдения при отсутствии экипажа на борту, достаточной продолжительностью и дальностью полета, маневренностью, способностью вести мониторинг в любое время суток, в благоприятных и ограниченных метеоусловиях, относительно небольшой стоимостью, малыми затратами на эксплуатацию, возможностью массового производства [12]. Основными преимуществами БПЛА, по мнению авторов, являются способность к автоматической работе в опасных условиях, в отсутствие исполнителя, способность к выполнению монотонной, требующей определенных профессиональных навыков и концентрации внимания, работы. Сравнивая технологии получения изображений, использующие БПЛА с традиционными космическими технологиями, авторы отмечают:

- небольшую высоту съемки (от 10 до 200 метров) для получения сверхвысокого разрешения (единицы и десятые доли сантиметра) на местности;
- точечность — возможность детальной съемки небольших объектов и малых участков там, где это нерентабельно или технически невозможно сделать другими способами, например, в лесу или в условиях городской застройки;
- мобильность — не нужны аэродромы или специально подготовленные взлетные площадки, БПЛА легко транспортируются легковыми автомобилями или переносятся вручную, отсутствует бюрократическая процедура, требующая разрешения и согласования полетов;
- высокую оперативность — весь цикл, от выезда на съемку до получения результатов, занимает несколько часов;
- экологическую чистоту полетов — используются маломощные бензиновые или бесшумные электрические двигатели, чем обеспечивается нулевая нагрузка на окружающую среду.

Использование БПЛА для сопровождения многих видов деятельности — мировая практика, которая приобретает все более широкое распространение в Украине. Особая их популярность в последние годы связана со способностью быстро и эффективно удовлетворить потребности в аэрофото-сканировании — получении оперативной информации с высоты птичьего полета [13]. Как свидетельствует статистика, 45% БПЛА принадлежат обычным гражданским пользователям, использующим их для своих собственных нужд. Таким образом, почти половина всех проданных беспилотников представляет собой потенциальный сегмент для привлечения разработанной нами системы противопожарного мониторинга. Идея привлечения неспециальных БПЛА основывается на том обстоятельстве, что он может заменить собой целую группу операторов, операторский кран и вертолет. При этом он обладает в несколько раз большей мобильностью и способен обеспечить передачу информации в режиме реального времени.

Беспилотные летательные аппараты сегодня с успехом применяются как в военных, так и в мирных целях. Существует также опыт их эксплуатации в ходе противопожарного пожарного мониторинга леса. Однако для этого необходима дополнительная оптико-электронная система с высоким разрешением и с несколькими каналами вывода информации: тепловизор, видеокамера, инфракрасная камера, мультиспектральная камера и т.д. [14].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что сегодня отсутствуют информационные системы и технологии лесопожарного мониторинга, которые бы позволили без установки дополнительного высокотехнологичного оборудования, и только благодаря расширению имеющихся информационно-технологических возможностей стандартных неспециализированных БПЛА, владельцами которых являются индивидуальные пользователи, на устройствах которых установлена информационная система раннего мониторинга очагов лесных пожаров, проводиться эффективный противопожарный мониторинг леса со значительной высоты. Создание такого мобильного информационно-технологического сервиса на основе добровольной социокоммуникационной инициативы дополнит существующие методы противопожарного мониторинга леса и поможет повысить их эффективность — предоставит дополнительную возможность раннего обнаружения очагов лесных пожаров и получения информации об их возникновении раньше, чем из официальных источников. Следует особо отметить отсутствие необходимости государственного финансирования.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является разработка информационной технологии раннего обнаружения лесных пожаров на основе расширения информационно-технологических возможностей БПЛА, которая может стать дополнительным инструментом противопожарного мониторинга леса.

Достижение цели предполагало решение таких задач:

- 1) усовершенствование методов автоматизированной обработки информации, передаваемой с борта БПЛА;
- 2) разработка информационной технологии оповещения оперативно-спасательных служб в случае обнаружения очага лесного пожара привлеченным БПЛА;
- 3) выбор математических методов с учетом особенностей их реализации в информационной технологии раннего обнаружения лесных пожаров;
- 4) анализ результатов, полученных в ходе тестирования разработанной информационной технологии.

В соответствии с поставленными задачами были выбраны методы, использование которых позволяет достичь максимального эффекта повышения информативности цифровых изображений в заданных условиях. В ходе проведенных экспериментов оказалось, что наилучший эффект достигается комбинацией нескольких математических методов, а именно — последовательным применением метода повышения контрастности изображения, метода вейвлет-преобразования и метода кластеризации. Именно эти методы были положены в основу будущей информационной технологии.

Были определены задачи, которые поэтапно должен выполнять БПЛА: проведение видеосъемки, передача видеосигнала на устройство управления, автоматический анализ изображения на предмет наличия очага пожара и, в случае обнаружения очага пожара, передача на центральный пульт оперативно-спасательной службы соответствующей информации. Эта информация должна содержать оригинал изображения (видео), его обработанную копию, а также GPS-координаты предполагаемого очага возгорания.

В ходе проведения эксперимента возникла потребность в адаптации математических методов по критериям скорость/точность распознавания в соответствии с техническими характеристиками устройств управления БПЛА.

Результат функционирования информационной технологии достигается в два этапа: на первом происходит адаптация параметров под технические характеристики устройства управления, на втором – непосредственный поиск очагов возгорания.

Рассмотрим теоретические основы представленной информационной технологии.

В общем представлении необходимо найти функциональную зависимость вида

$$Connect : Video^i \rightarrow Operator . \quad (1)$$

Функциональная зависимость (1) преобразует полученный видеопоток в сигнал, понятный оператору (обработанное видео).

Сигнал обрабатывается в режиме реального времени. Схему принятия решения удобно представить в виде сети Петри (рис. 1) — направленного графа, каждый узел которого представляет собой результат математического преобразования, а ветви графа — процесс преобразования одного узла в другой, для которого необходимо соответствующее время t . Модель процесса в виде сети Петри приведена на рис. 1.

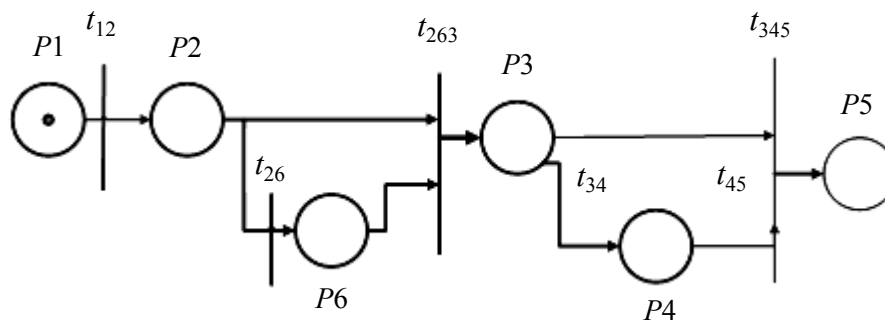


Рис. 1. Сеть Петри, моделирующая процесс принятия решения о наличии очага лесного пожара: P1 — получение видео; P2 — преобразование контраста; P3 — вейвлет-преобразование; P4 — обучение нейронной сети; P5 — кластеризация; P6 — адаптация в соответствии с техническими характеристиками устройства управления

Эту модель можно представить в виде кортежа отдельных функционалов, каждый из которых реализует три описанные выше этапа преобразования кадров изображения:

$$S(Operator) = \langle Etap_1, Etap_2, Etap_3 \rangle .$$

Для этого представим видеопоток в виде множества отдельных кадров:

$$Video^i = \{Cadr_1^i, Cadr_2^i, \dots, Cadr_{n_i}^i\}.$$

Каждый отдельный кадр претерпевает преобразование контраста:

$$Etap_1: Cadr_j \xrightarrow{\text{преобразование контраста}} Cadr'_j. \quad (2)$$

Результат преобразования, описанного формулой (2), — цифровой кадр, характеризующийся более высоким контрастом и яркостью. Затем осуществляется вейвлет-преобразование, которое описывается формулой

$$Etap_2: Cadr'_j \xrightarrow{\text{вейвлет-преобразование}} \overline{Cadr'_j} = (C'_{j_1}, C'_{j_2}, \dots, C'_{j_n}).$$

В результате получаем множество квантованных цифровых изображений оригинального кадра с меньшим разрешением. Далее преобразованный кадр подается на вход нейронной сети, которая разделяет его на кластеры. Этот процесс описан формулой

$$Etap_3: \overline{Cadr'_j} \xrightarrow{\text{кластеризация } k\text{-means, } c\text{-means}} Class_k.$$

В качестве метода преобразования контрастности был выбран метод эквализации гистограмм. Этот метод позволяет с большой скоростью без использования дополнительных настроек повысить контрастность кадра, содержащего задымленное или зашумленное изображение, в соответствии с которым

$$Cadr'_j = \int_0^1 f(\omega)_{Cadr_j} d\omega,$$

где $f(\omega)_{Cadr_j}$ — функция плотности распределения вероятностей уровней яркости кадра.

Для уменьшения размера изображения и минимизации потери информации, что является необходимым условием для повышения скорости обучения нейронной сети, следующими этапами обработки выбрано вейвлет-преобразование. Основной, важной для нас, идеей этого метода является замена множества базовых тригонометрических функций, при которых учитываются интегральные характеристики всего сигнального ряда новыми функциями, которые максимально учитывают поведение сигнала в окрестности исследованной точки и ограничивают влияние значений сигнала на точки удаленные от исследуемой. Основными критериями настройки преобразования являлись тип вейвлет-функции и процент нулевых вейвлет-коэффициентов:

$$\overrightarrow{Cadr'_j}(C'_{j_1}, C'_{j_2}, \dots, C'_{j_n}) = WF(C'_j, F_w, Z), \quad (3)$$

где — F_w вейвлет-функция; Z — процент нулевых коэффициентов; n — уровень квантования; $C'_{j_1}, C'_{j_2}, \dots, C'_{j_n}$ — квантованные изображения кадра C'_j .

Для дальнейшей обработки цифровых снимков и видеокадров, цель которой — обнаружение на них очагов возгорания, применены методы кластеризации. Основная гипотеза использования этих методов заключалась

в разделении цветов кадров на кластеры различного (естественного и неестественного) происхождения. Главные преимущества этого подхода — скорость принятия решения и отсутствие привязки к контурам искомого объекта. Следовательно появляется возможность определения очагов возгорания несмотря на присутствие помех (веток деревьев, листовой подстилки и т.п.).

В качестве используемых методов кластеризации были протестированы метод k -средних (k -means), алгоритм fuzzy c -means и карты Кохонена. Во время тестирования было установлено, что для решения заданного класса задач карты Кохонена не подходят, поскольку для их реализации необходимо весьма длительное обучение нейронной сети. Для реализации методов k -means и fuzzy c -means на обучение нейронной сети затрачивается меньше времени, однако для автоматического анализа наиболее удобным оказался метод fuzzy c -means, описанный формулой

$$Class_j(\mu_1, \mu_2, \mu_3) = FC(C'_{j_1}),$$

где C'_{j_1} — квантовое изображение первого уровня вейвлет-преобразования; FC — функция кластеризации; μ_1, μ_2, μ_3 — матрица функций принадлежности точек изображения к одному из кластеров — 1, 2, 3 соответственно.

Для установки критерия срабатывания системы (автоматической подачи сигнала об опасности) предложено определение порогового значения — относительного количества точек изображения, принадлежащих к нечеткому кластеру неестественных цветов α -уровня. Этот процесс описывается формулой

$$Signal = \begin{cases} 1, & \frac{\sum_{p=1, \mu_2 p > \alpha}^m 1}{m} > P; \\ 0, & \frac{\sum_{p=1, \mu_2 p > \alpha}^m 1}{m} \leq P, \end{cases}$$

где m — количество точек изображения C'_{j_1} ; P — пороговое значение точек изображения, принадлежащих ко второму кластеру α -уровня.

Если в течении серии из S последовательных кадров значение $Signal$ окажется равным единице, принимается решение об автоматическом информировании диспетчерского пункта оперативно-спасательных служб.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОБРАБОТКИ ВИДЕОПОТОКОВ НА ОСНОВЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Поскольку процесс принятия решений состоит из последовательных этапов вычислений с помощью ряда математических методов, для решения такого класса задач недостаточно одного мощного процессора. В работах [15, 16] показана целесообразность применения в подобных случаях параллельных алгоритмов — способа организации компьютерных вычислений, при котором программы разрабатываются как набор взаимодействующих вычислительных процессов, работающих параллельно (одновременно).

Реализация параллельных алгоритмов в рассматриваемом случае обеспечивает возможность одновременного наблюдения за объектами в видеопотоке. Процесс происходит в реальном масштабе времени, при этом видео является полноценным (30 fps). Реализация такого алгоритма на современных многоядерных CPU CUDA дает значительный прирост производительности — в 2–3 раза.

Процесс принятия решения возможно разделить на серию информационно независимых частей. Для этого был разработан метод автоматизированного поиска очагов лесных пожаров с использованием параллельных вычислений в фоновом режиме, что обеспечило распределение и оптимизацию использования ресурсов БПЛА и ускорило процесс обработки данных. Поскольку большинство современных устройств управления оснащены четырехъядерными процессорами, то метод был оптимизирован именно для них. Алгоритм приведен ниже.

Этап обучения и адаптации. Для серии кадров длительностью Δt_1 :

- каждый кадр полученного видеопотока проходит предварительную обработку (повышение контрастности и вейвлет-преобразования) на первом ядре процессора и формирует обучающую выборку нейронной сети;
- по окончании Δt_1 начальная обучающая выборка подается на второе ядро для обучения нейронной сети, которое длится в течение времени Δt_2 ;
- во время обучения нейронной сети первое ядро продолжает формировать обучающую выборку на основе следующих кадров;
- по прошествии времени Δt_2 обученная нейронная сеть направляется на третье ядро процессора, где происходит кластеризация и оценка времени выполнения вычисления;
- после оценки времени вычисления происходит модификация параметров вейвлет-преобразования n и частоты обработанных кадров l . Процесс происходит циклично до тех пор, пока не будут определены оптимальные параметры метода для конкретного устройства управления.

Этап принятия решения, который состоит из циклов обучения и кластеризации:

- длительность каждого цикла соответствует времени, необходимому для обеспечения процесса обучения нейронной сети и модифицируется в ходе функционирования алгоритма;
- по окончании процессов обучения и адаптации, а также в начале каждого цикла, обученная нейронная сеть передается на третье ядро для реализации процесса кластеризации кадров и формирования исходящего видеоряда. Видеоданные для обеспечения этого процесса непрерывно, в режиме реального времени, поступают с первого ядра;
- полученная дополненная обучающая выборка с первого ядра передается на второе ядро на обучение, после чего первое ядро формирует следующую обучающую выборку;
- второе ядро проводит обучение нейронной сети. После окончания процесса обучения цикл повторяется.

В случае выявления очага лесного пожара, согласно формуле (3), выходной видеоряд вместе с оригиналом и GPS-координатами пересылается на

пульт оперативно-спасательной службы, где оператор подтверждает или опровергает наличие опасности (очага лесного пожара) и принимает решение о незамедлительном принятии специальных мер или о дополнительном обследовании территории.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Один из 1000 результатов обработки цифровых изображений показан на рис. 2. Для обработки применялась последовательная комбинация методов повышения контрастности изображения, вейвлет-преобразования и кластеризации.

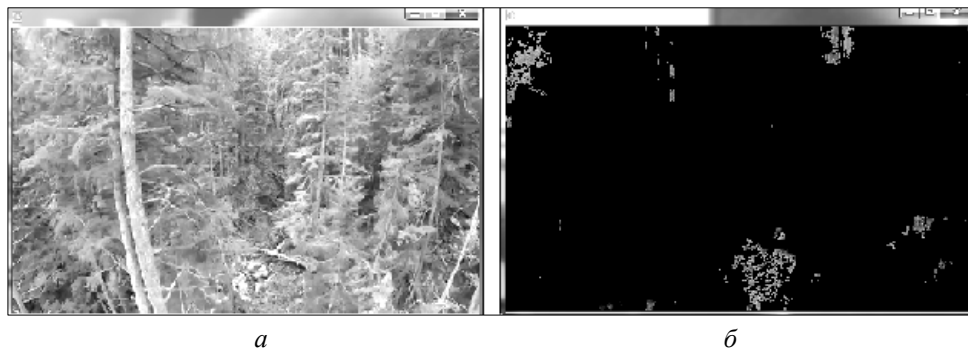


Рис. 2. Видеокadres, демонстрирующие результат обработки цифровых изображений: *a* — кадр до обработки; *б* — кадр после обработки

Как показали проведенные вычисления, для функционирования системы в режиме реального времени с обработкой каждого кадра необходимо, чтобы уровень разложения вейвлет-преобразования был равен 4.

Сравнение времени и безошибочности распознавания лесных пожаров на оригинальных изображениях и изображениях, обработанных с помощью разработанной информационной технологии, приведено в таблице.

Результаты эксперимента по распознаванию цифровых изображений

Критерий	Человек		Информационная система (ноутбук ASUS F541NC-GO054T (90NB0E93-M00700))		
	При предъявлении оригинальных изображений	При предъявлении обработанных изображений	$n=4, l=1$ (<i>k</i> -means/ <i>c</i> -means)	$n=6, l=2$ (<i>k</i> -means/ <i>c</i> -means)	$n=8, l=2$ (<i>k</i> -means/ <i>c</i> -means)
Среднее время распознавания, с	10	2	0,03	0,03	0,03
Средний процент правильных ответов (срабатываний)	70	90	75/78	78/80,5	80/82
Количество случаев «изображение не распознано»	30	10	25/24	22/20	20/20

Как видно из таблицы, время распознавания человеком-оператором очага возгорания на обработанных цифровых изображениях сократилось в 5 раз по сравнению со временем, затраченным на распознавание этих же объектов на оригинальных изображениях. Время их обработки и принятия решения автоматической системой, работающей под управлением Windows на ноутбуке ASUS F541NC-GO054T (90NB0E93-M00700), как правило, не превышает продолжительности одного кадра. То есть система способна функционировать в режиме реального времени.

Качество принятия решения оператором повысилось с 70% до 90%, причем существенно сократилось количество ложных распознаваний. Результаты эксперимента свидетельствуют о том, что количество случаев правильного срабатывания автоматизированной системы достаточно большое (80%), однако этот показатель все же ниже аналогичного показателя человека-оператора, следовательно система может использоваться как автоматизированная система, помогающая человеку принять оптимальное решение. Кроме того, данные таблицы свидетельствуют о том, что, работая в режиме автоматической фиксации очагов лесных пожаров, метод кластеризации *c-means* показывает лучший результат по сравнению с методом *k-means*.

Данные таблицы свидетельствуют также о том, что предложенная информационная технология обладает достаточной скоростью и качеством распознавания и способна стать дополнительным источником информации о наличии очагов лесных пожаров, что позволит повысить эффективность мониторинга и противопожарной защиты леса.

ВЫВОДЫ

В приведенном исследовании представлено решение актуальной научно-технической задачи — разработка информационной технологии раннего обнаружения очагов возгорания лесных пожаров на основе расширения уже имеющихся информационно-технологических возможностей неспециализированных БПЛА. Получены основные результаты:

1. Усовершенствован метод автоматизированной обработки информации, передаваемой с борта БПЛА, путем автоматической настройки параметров вейвлет-преобразования и адаптации их к техническим характеристикам устройств управления, что обеспечило бесперебойное функционирование информационной системы в фоновом режиме.

2. Усовершенствован метод автоматического обнаружения опасности лесного пожара, что позволяет автоматически сигнализировать об опасности.

3. Разработана информационная технология оповещения оперативно-спасательных служб привлеченным неспециализированными БПЛА, основанная на расширении информационно-технологических возможностей БПЛА, предоставляет дополнительную возможность оповещения и повышения эффективности противопожарной защиты леса.

4. В ходе проведенных экспериментов установлены оптимальные настройки параметров и обоснована целесообразность применения разработанной информационной системы в операторской деятельности, что в целом подтвердило эффективность основанной на ней информационной технологии раннего обнаружения очагов лесных пожаров.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Статистика лісових пожеж – Державне агентство лісових ресурсів України, Кабінет міністрів України. 2021.* [Онлайн]. Доступно: <http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/index>
2. “Modeling Forest Aboveground Biomass and Volume Using Airborne LiDAR Metrics and Forest Inventory and Analysis Data in the Pacific Northwest”, *Remote Sensing*, no. 7, pp. 229–255, 2015. doi: 10.3390/rs70100229.
3. K. Zhao, D. Valle, and S. Popescu, “Hyperspectral remote sensing of plant biochemistry using Bayesian model averaging with variable and band selection”, *Remote Sensing of Environment*, no. 132, pp. 102–119, 2013. doi: 10.1016/j.rse.2012.12.026.
4. A. Habib, M. Ghanma, M. Morgan, and R. Al-Ruzouq, “Photogrammetric and lidar Data Registration Using Linear Features”, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 71, pp. 699–707, 2005.
5. G. Taylor, D. Kidner, and K. Brundsdon, “Modelling and prediction of GPS availability with digital photogrammetry and LiDAR”, *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 21, no. 1, pp. 1–20, 2007. doi: 10.1080/13658810600816540
6. Li-Der Chang, K. Clint Slatton, and Carolyn Krekeler, “Bare-earth extraction from airborne LiDAR data based on segmentation modeling and iterative surface corrections”, *Journal of Applied Remote Sensing*, 4(1), 041884 (1 August 2010). doi: 10.1117/1.3491194.
7. K. Bouabdellah, H. Noureddine, and S. Larbi, “Using Wireless Sensor Networks for Reliable Forest Fires Detection”, *Procedia Computer Science*, no.19, pp. 794–801, 2013. doi: 10.1016/j.procs.2013.06.104.
8. В.В. Яцків та В.В. Башуцький, “Система контролю лісових пожеж на основі безпроводних сенсорних мереж”, *Сучасні комп’ютерні інформаційні технології: матеріали V Всеукр. шк.-семінару молодих вчен. і студ. АСІТ’2015, м. Тернопіль, ТНЕУ, 22–23 трав. 2015*, с. 63–64.
9. A. Rogalski, “Infrared detectors: an overview”, *Infrared Physics & Technology*, no. 43, pp. 187–210, 2002. doi: 10.1016/S1350-4495(02)00140-8.
10. J.L. Dupuy, J. Marechal, and D. Morvan, “Fires from a cylindrical forest fuel burner: combustion dynamics and flame properties”, *Combust. Flame*, no. 135, pp. 65–76, 2003. doi: 10.1016/S0010-2180(03)00147-0
11. Chuan Li, George D. Skidmore, and C.J. Han, “DRS uncooled VOx infrared detector development”, *Optical Engineering*, vol. 50, no. 50, 2010. doi: 10.1117/12.851795.
12. О.М. Алексєєв та Д.І. Бондарєв, “Перспективи розвитку безпілотного та муніципального авіаційного транспорту в Україні”, *Системи обробки інформації*, № 8, с. 10–16, 2016.
13. П.В. Ефремов, К.А. Попов, Т.А. Капитонова, и Г.П. Стручкова, “Обработка и анализ данных дрона для мониторинга линейных объектов, эксплуатирующихся на севере”, *Международный журнал экспериментального образования*, № 10-2, с. 238–239, 2016.
14. М.М. Проценко, “Аналіз методів цифрової обробки відеозображень апаратурою безпілотного літального апарату”, *Вісник ЖДТУ*, № 1, с. 89–95, 2014.
15. Г.И. Шпаковский, *Реализация параллельных вычислений: MPI, OpenMP, кластеры, грид, многоядерные процессоры, графические процессоры, квантовые компьютеры*. Минск: БГУ, 2011, 176 с.
16. Г.А. Поляков, С.И. Шматков, Е.Г. Толстолужская, и Д.А. Толстолужский, *Синтез и анализ параллельных процессов в адаптивных время параметризованных вычислительных системах: монография*. Харьков: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2012, 672 с.

Поступила 05.07.2021

INFORMATION ON THE ARTICLE

Olena M. Husak, ORCID: 0000-0003-4395-6355, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Ukraine, e-mail: gusakolena17@gmail.com

Volodymyr V. Husak, ORCID: 0000-0002-1165-3010, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Ukraine, e-mail: vgusak08@gmail.com

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПРОТИПОЖЕЖНОГО МОНІТОРИНГУ ЛІСІВ ШЛЯХОМ РОЗШИРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ СУЧАСНИХ КВАДРОКОПТЕРІВ / О.М. Гусак, В.В. Гусак

Анотація. Запропоновано вирішення актуального науково-технічного завдання: розроблення інформаційної технології розширення функціональних можливостей неспеціалізованих безпілотних літальних апаратів з метою вдосконалення моніторингу лісових та інших ландшафтних пожеж. Описана інформаційна технологія допоможе вирішити суперечність, що виникла між високим рівнем витрат на розроблення й експлуатацію високотехнологічних протипожежних засобів та їх недостатньою ефективністю. Залучення до складу інформаційної технології раннього виявлення осередків лісових пожеж сучасних безпілотних літальних апаратів, за умови розширення їх інформаційно-технологічних можливостей, дозволяє у фоновому режимі без додаткових витрат на високотехнологічне обладнання отримувати оперативну інформацію і своєчасно сповіщувати відповідні служби про небезпеку. Наведено результати експериментів, які проводилися як для серії статичних знімків, так і для відеорянів.

Ключові слова: інформаційна технологія, безпілотний літальний апарат, методи оброблення зображень, паралельні розрахунки.

IMPROVEMENT OF FOREST FIRE MONITORING SYSTEM BY EXPANDING INFORMATION AND TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES OF MODERN QUADCOPTERS / O.M. Husak, V.V. Husak

Abstract. The article proposes a solution to an important problem — the development of an information technology based on expanding the functionality of non-specialized unmanned aerial vehicles (drones) for early detection of forest fires. The proposed information technology is designed to increase the effectiveness of monitoring forest fires. The existing level of information technology does not fully settle the issue of reliable fire protection of forests. Today, there is a contradiction between the high cost of developing high-tech fire-fighting equipment and lack of its efficiency. The elimination of this contradiction will be facilitated by the involvement of additional non-technical and technical resources in the information technology of early detection of forest fire hotspots. The results of the analysis of the use of modern drones prove that the involvement of unmanned aerial vehicles significantly increases the efficiency of many types of monitoring and they can successfully be used to solve the problems of early detection of forest fire hotspots. The results of experiments are presented, which were carried out both for a series of digital images and for video.

Keywords: information technology, unmanned aerial vehicle, image processing methods, parallel computing.

REFERENCES

1. *Statistics of forest fires - State Forest Resources Agency of Ukraine, Cabinet of Ministers of Ukraine*. 2021. Available at: <http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/index>.
2. “Modeling Forest Aboveground Biomass and Volume Using Airborne Lidar Metrics and Forest Inventory and Analysis Data In The Pacific Northwest”, *Remote Sensing*, no. 7, pp. 229–255, 2015. doi: 10.3390/RS70100229.
3. K. Zhao, D. Valle, and S. Popescu, “Hyperspectral Remote Sensing of Plant Biochemistry Using Bayesian Model Averaging With Variable and Band Selection”,

- Remote Sensing of Environment*, no. 132, pp. 102–119, 2013. doi: 10.1016/j.rse.2012.12.026.
4. A. Habib, M. Ghanma, M. Morgan, and R. Al-Ruzouq, “Photogrammetric and Lidar Data Registration Using Linear Features”, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 71, pp. 699–707, 2005.
 5. G. Taylor, D. Kidner, and K. Brundson, “Modelling and Prediction of GPS Availability with Digital Photogrammetry and Lidar”, *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 21, no. 1, pp. 1–20, 2007. doi: 10.1080/13658810600816540.
 6. Li-Der Chang, K. Clint Slatton, and Carolyn Krekeler, “Bare-Earth Extraction from Airborne Lidar Data Based on Segmentation Modeling and Iterative Surface Corrections”, *Journal of Applied Remote Sensing*, 4 (1), 041884, 2010. doi: 10.1117/1.3491194.
 7. K. Bouabdellah, H. Nouredine, and S. Larbi, “Using wireless sensor networks for reliable forest fires detection”, *Procedia Computer Science*, no. 19, pp. 794–801, 2013. doi: 10.1016/J.Procs.2013.06.104.
 8. V.V. Yatskov and V.V. Bashutsky, “System of control of forest fires based on wireless sensory networks”, *Modern Computer Information Technologies: Materials V Allukr. Sk.-seminar of young teachings and the studio, ASIT'2015, Ternopil, TNEU*, pp. 63–64.
 9. A. Rogalski, “Infrared Detectors: An Overview”, *Infrared physics & technology*, no. 43, pp. 187–210, 2002. doi: 10.1016/S1350-4495(02)00140-8.
 10. J.L. Dupuy, J. Marechal, and D. Morechal, “Fires from A Cylindrical Forest Fuel Burner: Combustion Dynamics and Flame Properties”, *Combust. Flame*, no. 135, pp. 65–76, 2003. doi: 10.1016/S0010-2180(03)00147-0
 11. Chuan Li, George D. Skidmore, and C.J. Han, “DRS uncooled VOx infrared detector development”, *Optical Engineering*, vol. 50, no. 50, 2010. doi: 10.1117/12.851795.
 12. O.M. Alexeyev and D.I. Bondariev, “Prospects for the development of unmanned and municipal aviation transport in Ukraine”, *Information processing systems*, no. 8, pp. 10–16, 2016.
 13. P.V. Efremov, K.A. Popov, and T.A. Kapitonova, “Analysis of Data Drill for Monitoring Line Objectives, Exploiting in Severe”, *International Journal of Experimental Education*, no. 10-2, pp. 238–239, 2016.
 14. M.M. Protsenko, “Analysis of digital video processing methods by the hardware of the unmanned aerial vehicle”, *Bulletin of ZHDTHOU*, no. 1, pp. 89–95, 2014.
 15. G.I. Shutkovsky, Realization of parallel spelled: MPI, *OpenMP, clusters, grid, multi-volume processor, graphic processor, quantum computers*. Minsk: BGU, 2011, 176 c.
 16. G.A. Polyakov, S.I. Shmatkov, E.G. Tolstoluzhskaya, and D.A. Tolstoluzhsky, *Synthesis and Analysis of Parallel Processes in Adaptive Time of Parameterised Systems: Monograph*. Kharkov: V.N. Karazin Kharkiv National University, 2012, 672 p.