

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.032.26:614.84

Дикий
Александр Олегович

Детектирование возгораний по видеопотоку

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени
магистра информатики и вычислительной техники

по специальности 1-40 81 04 – Обработка больших объемов информации

Научный руководитель
Егорова Н. Г.
к.т.н., доцент

Минск 2020

ВВЕДЕНИЕ

Вовремя не обнаруженные и не ликвидированные возгорания вызывают большой экономический, экологический и людской ущерб. Системы автоматического обнаружения пожаров позволяют выявлять возгорания на ранних стадиях и принимать меры к предотвращению распространения огня на большие территории и минимизировать причиняемый ущерб.

Разработка средств раннего обнаружения пожаров и задымлений имеет несколько направлений: использование физических или химических детекторов, видеокамер и алгоритмов компьютерного зрения, различных архитектур глубоких нейронных сетей или комбинация перечисленных средств вместе.

Хотя физические и/или химические детекторы дыма и температуры проверены временем и имеют высочайшую точность обнаружения возгораний, низкую погрешность, их использование сопряжено с высокими затратами на установку, настройку и поддержание работоспособного состояния. Также данные средства имеют существенный недостаток в том, что они эффективно подходят только для небольших помещений. Следует отметить, что они не подходят для открытых пространств и низкоэффективны для больших закрытых помещений. Для решения данной проблемы имеет смысл анализировать кадры с видеокамеры, обычной или с тепловизором. Данный подход позволяет использовать различные беспилотные летательные аппараты, специализированную робототехнику, а также уличные камеры, массово установленные в крупных городах.

Существуют различные методы обнаружения дыма и огня на основе алгоритмов компьютерного зрения. Как правило, данные алгоритмы работают с пикселями изображений в пространствах RGB и HSI и используют статические характерные особенности огня (цвет, движение и геометрию), а также динамические характеристики, такие как неравномерность, диффузия и направленность.

Сложность такого подхода при извлечении объектов в классификации изображений заключается в том, что приходится выбирать, какие функции искать в каждом изображении. Когда количество классов классификации увеличивается или снижается четкость изображения, очень трудно справиться с задачей детектирования традиционными алгоритмами компьютерного зрения. Хотя глубокие нейронные сети имеют свои недостатки, такие как необходимость иметь огромное количество обучающих данных и потребность в больших вычислительных мощностях, развитие техники, увеличение количества доступных для изучения данных и совершенствование архитектур нейронных сетей позволяет использовать инструменты и методики алгоритмов глубокого обучения.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является исследование существующих моделей глубокого обучения, характерных признаков возгораний и метрик оценки качества, чтобы разработать алгоритм, который будет детектировать очаги пожаров в режиме реального времени с высокой точностью.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Исследована предметная область, связанная с анализом видеоряда посредством нейронных сетей.
2. Выбран инструментарий для реализации программного обеспечения анализирующей модели.
3. Разработана архитектура модели, выбраны используемые алгоритмы, количество скрытых слоев, функции активации, методы оптимизации.
4. Разработан алгоритм преобразования видеоряда в подходящий для работы нейронных сетей матричный формат.
5. Реализовано программное обеспечение для анализа видео на предмет пожаров.
6. Проведены экспериментальные исследования полученной архитектуры нейронной сети, подобраны оптимальные параметры.

Объектом исследования являются системы контроля периметра и принятия решений о характере ситуаций.

Предметом исследования является математическое и программное обеспечение компьютерных систем для решения задач контроля пространств на предмет возгораний, методы и алгоритмы автоматического принятия решений об отправке сигнала на пульт управления. Данные алгоритмы предложено проверить с использованием БПЛА и встроенной камеры, имеющиеся аппараты для их интеграции с ПО по каналу Wi-Fi.

Основной *гипотезой*, положенной в основу диссертационной работы, является возможность совместного использования сверточных нейронных сетей с рекуррентными для анализа видео.

Личный вклад соискателя

Результаты, приведенные в диссертации, получены соискателем лично. Вклад научного руководителя Н. Г. Егоровой, заключается в формулировке целей и задач исследования.

Апробация результатов диссертации

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на 19-й Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI века» (г. Минск, Беларусь,

2019 г.) и 56-ой научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (г. Минск, Беларусь, 2020 г).

Отдельные положения диссертации могут быть использованы при преподавании дисциплин «Машинное обучение» и «Нейросетевое моделирование и обработка данных».

Опубликованность результатов диссертации

По теме диссертации опубликовано 2 работы в сборниках трудов и материалов международных конференций.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников, списка публикаций автора и приложений.

В первой главе представлен анализ предметной области, выявлены основные существующие проблемы в рамках тематики исследования, показаны направления их решения.

Во второй главе представлены средства разработки архитектуры ПО и алгоритмов для работы с видео и глубоким обучением.

В третьей главе представлены методы формирования значимых признаков, определения оптимальных параметров для работы алгоритмов обучения, методы оценки результатов.

В четвертой главе представлен эксперимент по подтверждению работоспособности разработанной архитектуры, результаты исследования, описание реализации ПО для проведения экспериментов.

В приложении представлены фрагменты исходного кода программы, участвующие в подготовке экспериментальных данных, проведении эксперимента и использовании результатов исследования в практическом применении.

Общий объем диссертационной работы составляет 65 страниц, из которых основного текста – 42 страницы, 27 иллюстраций на 12 страницах, 4 таблицы на 2 страницах, библиографический список из 42 наименований на 3 страницах, список собственных публикаций соискателя из 2 наименований на 1 странице и 2 приложения на 5 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** определена исследуемая область и указаны основные направления исследования, показана актуальность темы данной диссертационной работы, дано краткое описание исследуемых вопросов, а также обозначена практическая ценность работы.

В первой главе приведен анализ прикладной области, дана краткая характеристика и описание процессов распознавания огня, рассмотрены существующие аналоги и существующие подходы в деле детектирования статических и динамических объектов в видеоряде.

За время работы исследована литература, касающаяся искусственных нейронных сетей, применяемых в глубоком обучении при распознавании образов, дано краткое описание основных моделей, их преимущества и недостатки, приведен их сравнительный анализ. Определены наиболее современные и качественные модели для работы с объектами, имеющими схожие с огнем характеристики. Основным отличием огня является мерцание – постоянное изменение границ языков пламени. На использовании этой особенности построено большинство детекторов, использующих компьютерное зрение. Помимо этого, могут использоваться следующие характеристики: яркость огня для черно-белого формата, определённый диапазон цвета для цветного формата, стационарность огня, форма.

Из анализа следует, что обнаружение пожара с использованием средств компьютерного зрения, состоящих из вручную настраиваемых элементов является трудоемкой задачей из-за сложного процесса проектирования элементов. Особенно сложно обнаружить пожар на ранней стадии в кадрах с изменяющимися условиями освещения, тенями и объектами, похожими на огонь; обычные низкоуровневые методы на основе признаков генерируют высокую частоту ложных срабатываний и имеют низкую точность обнаружения. Чтобы преодолеть эти проблемы, лучше исследовать модели глубокого обучения для возможного обнаружения пожара на ранних стадиях во время наблюдения. Принимая во внимание точность, встроенные возможности обработки интеллектуальных камер и количество ложных срабатываний, различные глубокие сети CNN подойдут лучше для целевой задачи.

Во второй главе содержится краткое описание используемых библиотек и модулей для предобработки данных, построения и обучения рассматриваемой архитектуры, а также среды выполнения экспериментальных исследований.

Для работы используемого алгоритма необходимо произвести обучение отдельных независимых модулей и всей топологии сети в целом. Построение топологии сети осуществляется с помощью мощного и простого фреймворка Keras, процесс обучения осуществляется в среде Colab, данные для обучения и валидации размечаются с помощью встроенного в Matlab модуля Image Labeler, работа с изображениями и видеорядом, перевод их из файловой структуры в матричную, их предобработка производится с помощью фреймворка для компьютерного зрения OpenCV. Также для более качественного обучения

сверточной модели производится аугментация данных с помощью библиотеки `imgaug`.

В третьей главе описана разработанная архитектура многомодульной сети, её основные компоненты, предложены методы формирования значимых признаков, определения оптимальных параметров для работы алгоритмов обучения, методы оценки результатов.

В диссертации предлагается метод обнаружения пожара на основе глубокого обучения, которые имитируют человеческий процесс ДТА в деле детектирования пожаров. Предполагается, что процесс ДТА может значительно уменьшить количество ошибочных решений.

В предлагаемом методе используется композиция моделей глубоких нейронных сетей с добавлением дополнительных классификаторов на основе моделей голосования. Архитектура сети, описываемая в диссертации, разделена на три раздела и представлена на рисунке 1.

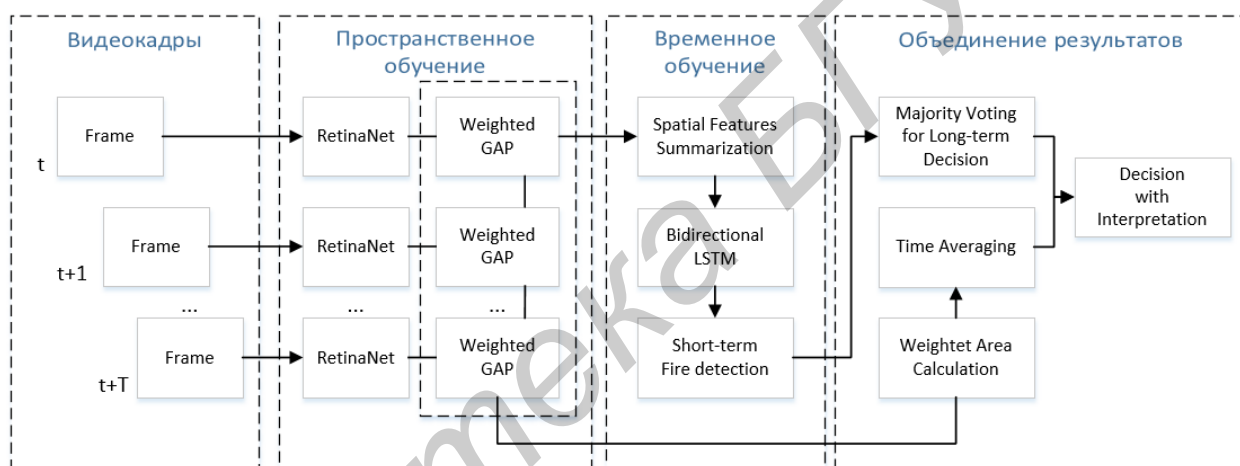


Рисунок 1 – Общая схема алгоритма

В первом разделе исследуются визуальные признаки кадров видеоряда. Для обнаружения областей, подозрительных на пожар (SRoF), на основании их пространственных и визуальных особенностей следует использовать CNN сети, предназначенные для детекции объектов. На данном этапе можно использовать любые сверточные сети, предназначенные для детекции объектов, однако рекомендуется к применению RetinaNet, т.к. это state-of-art сеть, она имеет решение проблемы обнаружения объектов разных размеров, а также подходит для задач отделения объектов от фона. Сеть определяет три разных класса: пламя, дым и негорючие объекты. Обычно пламя и дым не могут быть хорошо разделены в огне, так что только область дыма классифицируется как дым. Объект класса «негорючие объекты» подразумевает неподвижное изображение, которое не имеет объектов, связанных с огнем, однако которые являются сложными для дифференциации огня от не огня.

При этом сверточная сеть обучается как автономная сеть на отдельном массиве картинок и со своим блоком классификации и определения рамок. Ограничивающие рамки, включая SRoF и негорючие объекты, проецируются

на изученные характеристики в последнем слое, чтобы извлечь соответствующие пространственные характеристики.

Во втором разделе суммированные и объединенные особенности CNN в последовательности кадров временно накапливаются в двусторонней долговременной кратковременной памяти (Bidirectional LSTM), чтобы изучить динамическое поведение огня и классифицировать то, есть ли пожар в краткосрочном периоде. Здесь не происходит отделение пламени от дыма. Таким образом, Bidirectional LSTM последовательно обрабатывает набор выделенных пространственных признаков видеок кадров за период времени T , чтобы на основе динамических характеристик пламени и дыма принять решение для интервала $[t; t+T]$.

В третьем разделе краткосрочные решения объединяются в блоке мажоритарного голосования для анализа поведения объекта на нескольких интервалах времени. Последний блок также объединяет информацию с первого раздела, чтобы интерпретировать динамическое поведение огня и определить, были ли ограничивающие рамки SRoF обнаружены на этапе R-CNN в это время, увеличиваются они или нет в течение длительного периода.

В четвертой главе приведены результаты исследования описанной архитектуры, рассмотрен режим работы модулей при разных настраиваемых параметрах, определены оптимальные.

Результаты комбинации сверточных сетей, рекуррентных и блоков голосования показывают хорошие результаты, однако в процессе разработки и обучения сети имелась сложность связанная, с трудоемкостью поиска данных и их ручной разметки. Использование глубоких нейронных сетей влечет потребность в большом количестве данных и результат работы алгоритма поддается улучшению при увеличении размера тренировочного набора данных. Обобщенные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты работы предложенного алгоритма

Методы	False Positive, %	False Negative, %	Accuracy, %
RetinaNet (n= 512)	8.87	1.73	85.3
LSTM (T=2s)	3.04	2.12	92.5
Голосование (T=10s)	1.23	2.25	95.9

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Актуальность исследований, проведенных в рамках диссертационной работы, определяется возрастающей потребностью автоматизации процессов различных служб общества, министерства по чрезвычайным ситуациям в частности. Развитие беспилотной летательной техники, повсеместная установка видеокамер в городской черте и на объектах повышенной опасности дают высокую возможность использования описанного в диссертации алгоритма для раннего обнаружения и немедленного оповещения необходимых служб без непосредственного участия человека.

Основные научные результаты диссертации

За время проведения исследования был предложен метод обнаружения пожара, основанный на глубоком обучении, который имитирует процесс обнаружения человека. Была высказана гипотеза, что процесс ДТА может значительно уменьшить количество ошибок при обнаружении пожара. Предложенный метод использует модель обнаружения пожара RetinaNet для обнаружения SRoF на основе его пространственных особенностей. Затем LSTM накапливает характеристики, суммированные из SRoF и областей без пожара в последовательных кадрах, чтобы классифицировать, есть ли пожар или нет в краткосрочном периоде. Последовательные краткосрочные решения затем объединяются мажоритарным голосованием для окончательного решения. Кроме того, рассчитываются площади как пламени, так и огня, и их временные изменения интерпретируют динамическое поведение огня для вынесения окончательного решения о пожаре.

Экспериментально доказано, что предложенный метод обеспечивает высокую точность обнаружения пожара, уменьшая количество ложных обнаружений и ошибочных обнаружений, а также успешно интерпретирует временное поведение пламени и дыма, что, возможно, уменьшает количество ложных отправок сигналов о пожаре. Кроме того, был создан большой набор данных, который содержит разнообразные неподвижные изображения и видеоклипы о пожарах, из общедоступных репозиториях. Набор данных используется не только для обучения и тестирования проведенного эксперимента, но также может быть полезен для будущих исследований пожаров.

Преимуществами данного алгоритма по сравнению с использованием компьютерного зрения и простых нейронных сетей является более высокое качество классификации и обнаружения, пониженная чувствительность к объектам, сильно похожим на пожар, возможность анализа динамического поведения пламени, автоматическая настройка параметров и весов по зарекомендовавшим себя алгоритмам оптимизации.

Недостатками является высокая потребность в большом количестве данных, вычислительная сложность и трудоемкость настройки на этапе обучения

сети, необходимость контроля процесса обучения и тонкая настройка регуляризаторов для избежания переобучения сети. Также проблемой является необходимость хранения большого объема данных в виде весов сети, чтобы иметь возможность рядом с видеокамерой сразу выдавать результат.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученные результаты формируют теоретическую и практическую базу для разработки ПО компьютерных систем для решения задач детектирования возгораний с применением БПЛА, функционирующих в режиме реального времени. Результаты работы могут быть использованы для модернизации и дальнейшего развития существующих систем.

Разработанные методы и алгоритмы анализа возгораний могут применяться в автоматизированных системах видеонаблюдения и поддержки принятия решений для подачи сигнала на пульт управления МЧС. Алгоритм может работать в связке камеры видеонаблюдения и тепловой камеры, датчика дыма или температуры на заправочных станциях, лесных вышках, дронах, патрулирующих удаленные пожароопасные места.

Результаты работы могут использоваться для наладки и установки дополнительного оборудования, на котором может разместиться видеокамера, калибровки ее чувствительности.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

1-А Дикий, А.О. Автоматизация и интеграция информационных систем о состоянии окружающей среды / А.О. Дикий, В.А. Горская // Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI века. – Минск, БГУ, 2019. с. 148-150.

2-А Дикий, А.О. Детектирование возгораний по видеопотоку. / А.О. Дикий // Компьютерные системы и сети: материалы 56-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов. – Минск: БГУИР, 2020. – с. 24-26.