

МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРОЕКЦИЙ ОЧАГОВ ВОЗГОРАНИЯ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ ПО ЦИФРОВЫМ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯМ

Минаков Е.И., д.т.н., профессор кафедры радиоэлектроники Тульского государственного университета, e-mail:eminakov@bk.ru;

Калистратов Д.С., к.т.н., докторант кафедры радиоэлектроники Тульского государственного университета; Мирчук С.Г., аспирант кафедры радиоэлектроники Тульского государственного университета.

METHOD OF IDENTIFICATION OF FOREST FIRE PLACE PROJECTIONS ON DIGITAL VIDEO IMAGES

Minakov E.I., Kalistratov D.S., Mirchuk S.G.

Considered the actual problem of forest fire, proposed a method for recognizing of fire projections on digital video images based on a two-dimensional discrete Fourier transform, given the results of modeling for the space, air and ground video modes, describes the principle of searching fire projection with beforehand prepared base of fire and smoke images, considered the results of modeling for space, air and ground modes, offered model of corresponding measuring system, given recommendations for use the offered method in each of enumerated video modes.

Key words: digital video image, block decomposition, base of reference blocks, projection of fire places, comparison, spectral analysis, two-dimensional discrete Fourier transform.

Ключевые слова: цифровое видеоизображение, блочное разбиение, база опорных блоков, проекции очагов возгорания, сравнение, спектральный анализ, двумерное дискретное преобразование Фурье.

Введение

В последние годы, в связи с экстремально высокими температурными показателями в летнее время года обострилась проблема возгорания лесных массивов [1,2]. Лесные пожары наносят ощутимый вред флоре и фауне, подрывают сырьевой запас страны, оказывают негативное влияние на деревообрабатывающую промышленность и лесное хозяйство.

В силу указанных причин возросла актуальность создания информационно-измерительных систем и методов, направленных на автоматизацию процесса определения пространственных координат очагов возгорания с целью их скорейшего устранения.

При этом крайне желательно, чтобы подобные системы успевали распознавать места очагов возгорания и рассчитывать их пространственные координаты в режиме реального времени, пока огонь не распространился на значительную по площади территорию.

Отметим, что на сегодняшний день существует два наиболее распространённых метода идентификации лесных пожаров: видеосканирование и тепловидение. Основным преимуществом тепловидения является возможность «проникать» через дымовую завесу. Однако, даже самые современные тепловизоры имеют дискретное разрешение 640×480 точек, что в значительной мере снижает точность вычисления пространственных координат по тепловым дискретным изображениям.

Видеосканирование, напротив, позволяет работать с

Рассматривается актуальная проблема возгорания лесных массивов, излагается метод распознавания проекций очагов возгорания по цифровым видеоизображениям на основе двумерного дискретного преобразования Фурье, описывается принцип поиска проекций очагов возгорания по предварительно подготовленной базе изображений огня и дыма, приводятся результаты моделирования метода для режимов спутниковой, воздушной и наземной съёмки, предлагается модель соответствующей измерительной системы, даются рекомендации относительно использования предложенного метода в каждом из перечисленных режимов съёмки.

изображениями в формате HD, используя разрешение в одну или даже несколько тысяч точек на сторону кадрового изображения. Кроме того, цифровые видеокамеры имеют малые массово-габаритные показатели, что позволяет устанавливать их, в том числе, на беспилотных летательных аппаратах (например, на квадрокоптерах).

Таким образом, распознавание очагов возгорания по цифровым видеоизображениям, на сегодняшний день, выглядит более перспективно, чем методы тепловидения. По указанной причине, в данной статье описывается метод распознавания проекций очагов возгорания, основанный на применении спектрального анализа фрагментов цифровых видеоизображений лесных пожаров с целью выделения нужного подмножества фрагментов анализируемого изображения.

Метод идентификации очагов возгорания

Суть метода состоит в том, что анализируемое изображение логически разделяется на блоки меньшего размера. Каждый блок далее анализируется на предмет сходства с опорными изображениями огня и дыма, база которых формируется предварительно.

Сигналы опорных и сканируемых блоков изначально переводятся в спектральную область с помощью прямо-

го двумерного дискретного преобразования Фурье. В качестве критерия сходства блоков применяется один из статистических критериев, таких как среднее абсолютное или среднее квадратичное отклонение сигналов матриц коэффициентов преобразования Фурье. В этом плане, можно отметить, что использование цветного цифрового сигнала с тремя матрицами коэффициентов преобразования даёт лучшие результаты поиска по сравнению с чёрно-белыми изображениями, но требует втрое больших затрат машинного времени.

Отметим также, что аналогичный подход с анализом спектральных характеристик хорошо зарекомендовал себя в алгоритмах и устройствах распознавания речи. Однако, там, в отличие от рассматриваемого случая, используется одномерный математический аппарат.

В данном же случае, математическая модель метода распознавания построена [3,4] на основе двумерного дискретного преобразования Фурье в комплексной форме:

$$f(n_1, n_2) \approx \sum_{k_1=0}^{N_1-1} \sum_{k_2=0}^{N_2-1} c_{k_1, k_2} e^{i \left(\frac{2k_1 \pi n_1}{N_1} + \frac{2k_2 \pi n_2}{N_2} \right)},$$

$$x = \frac{T_1 n_1}{N_1}, \quad y = \frac{T_2 n_2}{N_2}, \quad f(n_1, n_2) \in \mathbb{C}, \quad c_{k_1, k_2} \in \mathbb{C}, \quad (1)$$

$$x \in [0, T_1], \quad y \in [0, T_2], \quad n_1 \in [0, N_1], \quad n_2 \in [0, N_2],$$

$$x, y \in \mathbb{R}, \quad n_1, n_2 \in \mathbb{Z}, \quad k_1, k_2 \in \mathbb{Z},$$

с комплексными коэффициентами:

$$c_{k_1, k_2} = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_2=0}^{N_2-1} f \left(\frac{T_1 n_1}{N_1}, \frac{T_2 n_2}{N_2} \right) e^{-i \left(\frac{2k_1 \pi n_1}{N_1} + \frac{2k_2 \pi n_2}{N_2} \right)}, \quad (2)$$

где: $f(n_1, n_2)$ – комплексная аппроксимирующая функция, представляющая собой ряд Фурье; c_{k_1}, k_2 – коэффициенты преобразования Фурье; n_1, n_2 – индексы пикселей выбранной цветовой матрицы блока по координатным осям; N_1, N_2 – количества пикселей выбранной матрицы блока по координатным осям, а также максимальные количества коэффициентов преобразования; k_1, k_2 – индексы коэффициентов преобразования; T_1, T_2 – периоды разложения функции; i – мнимая единица.

При этом в экспериментальной версии программного обеспечения метода используется как прямое, так и обратное преобразование Фурье, дающее наглядное представление о точности аппроксимации исходного изображения с использованием наперёд заданного количества коэффициентов преобразования.

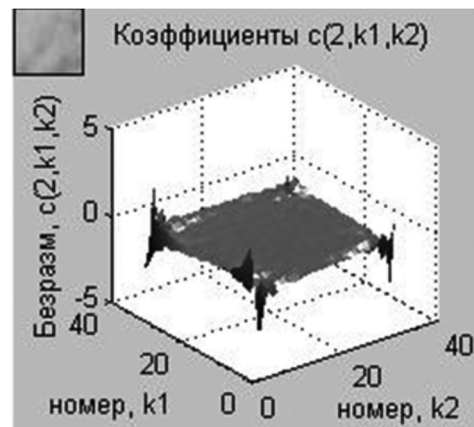
В рабочей же версии программы применяется только прямое преобразование Фурье, за счёт которого исходное цветное изображение поблочно переводится в спектральную область, после чего, в анализируемом изображении путём сравнения коэффициентов преобразования ищутся блоки, похожие на блоки опорной базы.

Опорная база, в свою очередь, подготавливается предварительно и формируется из изображений огня и дыма. Соответственно, алгоритм программного обеспечения метода использует два вида поиска очагов возгорания: по изображениям дыма и по изображениям огня.

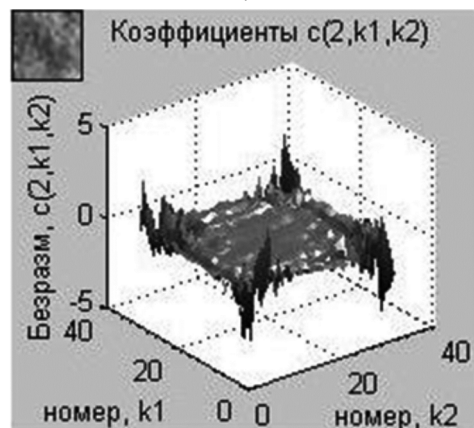
В ходе поиска проекций очагов возгорания сравниваются матрицы коэффициентов преобразования Фурье блоков текущего изображения и блоков опорной базы. В одном из вариантов в качестве критерия сходства используется среднее абсолютное отклонение коэффициентов.

Благодаря использованию такого подхода алгоритм распознавания имеет два критерия сходства фрагментов изображений: цвет и спектр. По этой причине, в большинстве случаев, алгоритм на основе преобразования Фурье работает точнее, чем простое сравнение цветных сигналов матриц.

Ниже (рис. 1) представлены «частотные портреты» изображений огня и дыма (подобные опорные фрагменты алгоритм метода ищет в анализируемом изображении), полученные с помощью прямого преобразования Фурье. База опорных блоков может пополняться. К примеру, дым может быть чёрный, белый, сплошной, клубящийся и так далее.



а)



б)

Рис. 1. Мнимые части коэффициентов преобразования Фурье для красных матриц различных изображений:

а) – для дыма; б) – для огня

Исходные изображения дыма и огня в данном случае имеют размер 32×32 точки (изображения показаны в левых верхних углах соответствующих частей рисунка). Матрицы коэффициентов преобразования имеют такую же размерность.

По представленному рисунку видно также, что в зависимости от спектра очередного опорного блока часть коэффициентов с малыми абсолютными значениями

может не использоваться вовсе, обеспечивая тем самым ускорение процесса идентификации очагов возгорания.

В общем случае, согласно результатам моделирования, чем больше различных опорных блоков используется, тем точнее идентификация очагов, но тем больше требуется временных вычислительных затрат.

Таким образом, каждый тип огня и дыма имеет свой уникальный спектр и цветовые характеристики, благодаря чему похожие блоки могут быть идентифицированы в произвольном изображении.

Известно, что связь прямого и обратного преобразований Фурье позволяет с определённой степенью точности восстанавливать исходную функцию. При этом, чем больше коэффициентов Фурье используется, тем выше степень сходства исходной и восстанавливаемой функции. К примеру, на рисунке ниже (рис. 2) показано наложение исходной и аппроксимированной функций при использовании только четырёх коэффициентов Фурье, соответствующих низкочастотным гармоникам.

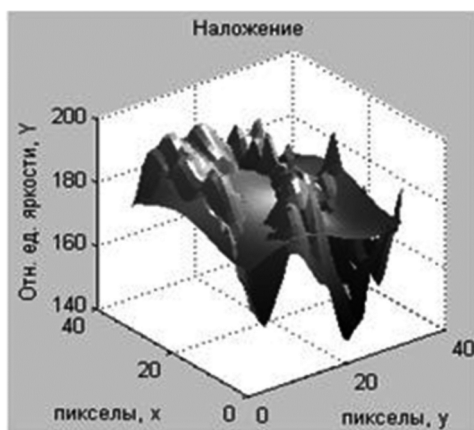


Рис. 2. Аппроксимация красной матрицы изображения опорного блока размером 32×32 точки матрицей коэффициентов Фурье размером 2×2 коэффициента

Касательно к предлагаемому методу, сокращение количества вовлекаемых в анализ коэффициентов преобразования Фурье снижает достоверность поиска проекций очагов, но позволяет ускорить процесс поиска. Таким образом, возникает противоречие между качеством поиска изображений очагов возгорания и времени обработки анализируемых входных видеоизображений.

Отметим, что скорость распространения пожара невелика, поэтому на обработку очередного цифрового изображения может отводиться до 10 и более секунд. Кроме того, если сократить количество коэффициентов преобразования, то процесс анализа можно ускорить дополнительно. В этой связи, в зависимости от производительности вычислительного устройства, временной запас может быть перенаправлен на повышение других характеристик системы (к примеру, временной запас можно «конвертировать» в повышение формата изображения, повысив тем самым точность определения пространственных координат очага).

Разработанный метод может применяться к спутниковым, воздушным и наземным изображениям. Различия состоят в изменении значений расчётных парамет-

ров и учёте геометрических размеров сцены. Более того, структурные элементы соответствующей модели измерительной системы (рис. 3) могут взаимодействовать друг с другом в целях повышения точности расчёта координат очага.

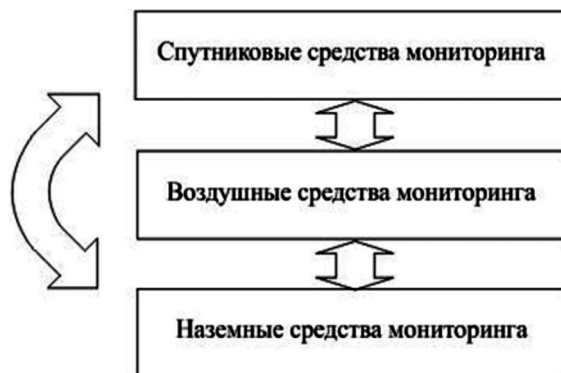


Рис. 3. Структурная схема информационно-измерительной системы на базе разработанного метода

Приведённая структура измерительной системы предполагает использование панорамных спутниковых изображений, сведения которой уточняются воздушными и наземными средствами мониторинга. Возможен также случай, когда работа спутниковых средств корректируется воздушными и наземными средствами по принципу обратной связи.

Отметим, что согласно результатам моделирования, спутниковые изображения, требуют разрешения изображения как минимум в 1024×768 точек, в то время как для воздушных и наземных изображений достаточно разрешения в 320×240 точек.

Кроме того, может существенно различаться и степень блочной дискретизации изображения (рис. 4). На представленном рисунке спутниковое изображение обрабатывалось с применением поиска очагов по дыму, а воздушное изображение с применением поиска по огню.

Реальные геометрические размеры запечатлённых областей составляют примерно 750×500 км для спутниковой съёмки (показаны пожары Сибири) и примерно 200×150 м для воздушной съёмки.

Из представленного примера видно, что больший размер блока позволяет точнее находить проекции дыма и огня на уровне изображений. Вместе с тем, на уровне пространства больший размер блока приводит к возрастанию погрешности вычисления вектора пространственных координат самого очага (поскольку на блочном изображении можно указать только блок, но не отдельную точку внутри него).

Возможен также вариант с использованием искусственного приближения или удаления сканируемой области за счёт «наведения фокуса» используемой оптической системы. Однако, в этом случае, каждой конфигурации оптической системы должен соответствовать свой набор блоков опорной базы изображений.

Таким образом, цифровую измерительную систему можно «перенастраивать», используя различные базы опорных изображений. Ограничение состоит только в том, что указанные базы должны быть подготовлены заранее.



а)



б)

Рис. 4. Результаты моделирования метода: а) – спутниковая съёмка; б) – воздушная съёмка

Заключение

В целом, можно отметить, что разработанный метод позволяет не только идентифицировать проекции лесных пожаров по изображениям огня и дыма, но и приблизительно рассчитывать пространственные координаты самих очагов с учётом режима видеосъёмки и геометрических размеров сцены.

Основным преимуществом предложенного метода является его универсальность, то есть возможность применения в спутниковом, воздушном и наземном режимах видеосъёмки.

Точность работы метода обуславливается использованием сразу двух критериев сходства анализируемых и опорных изображений: цвета и спектра. При этом цвет характеризуется амплитудами гармоник преобразования Фурье, а спектр учитывается характером распределения амплитуд по значениям частот.

Качество идентификации проекций очагов возгорания, согласно результатам моделирования, может до-

стигать примерно 90 % от всех блоков с очагами, а точность пространственных измерений, даже в случае наиболее неблагоприятного сочетания погрешностей, даёт не более 0,75 от соответствующей размерности реального пространственного сегмента, соответствующего найденному блоку на изображении.

Литература

1. Ситнов С.А. Аэрокосмический мониторинг дымового аэрозоля на европейской части России в период массовых пожаров лесов и торфяников в июле-августе 2010 г. / С.А. Ситнов, Г.И. Горчаков, М.А. Свириденков и др. // Оптика атмосферы и океана – 2012. – Т. 25. № 12 – с. 1062–1076.
2. Антанайтис В. Основы мониторингов лесов / В. Антанайтис // Тарту: Гос. ун-т – 1985. – С. 6–7.
3. Даджион Д. Цифровая обработка многомерных сигналов. / Д. Даджион, Р. Марсеро. – М.: Мир, 1988. – 488 с.
4. Власова Е.А. Ряды: учеб. для вузов. / Е.А. Власова; под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – 3-е изд. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 616 с.

НОВЫЕ КНИГИ

Витязев С.В. Цифровые процессоры обработки сигналов

Курс лекций – М.: Изд-во «Горячая линия-Телеком», 2017 г. – 100 с.: ил.

Рассмотрены основы построения архитектур и оптимизации программного обеспечения цифровых сигнальных процессоров. Сформулированы основные задачи цифровой обработки сигналов на сигнальных процессорах. Представлено описание инструментальных и программных средств работы с цифровыми сигнальными процессорами.

Для студентов технических вузов радиотехнических и инфокоммуникационных специальностей, будет полезна преподавателям, читающим соответствующие курсы

