

А. С. ВАСИЛЬЕВ, А. В. КРАСНЯЩИХ, О. Ю. ЛАШМАНОВ

АЛГОРИТМЫ ФИЛЬТРАЦИИ ЗАДЫМЛЕННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Рассматриваются вопросы фильтрации задымленного изображения в системе обнаружения и мониторинга лесных пожаров. Приведены результаты сравнительного анализа алгоритмов фильтрации задымленного изображения.

Ключевые слова: *фильтрация изображения, фильтрация дыма, оптико-электронная система, система обнаружения и мониторинга лесных пожаров, телевизионная камера.*

Введение. Лесные пожары не только представляют большую опасность как для населения, так и для экологической обстановки, но и наносят огромный экономический ущерб [1].

Задача раннего обнаружения возгорания является комплексной проблемой и требует соответствующего подхода. Наиболее рациональный подход к ее решению — применение оптико-электронной системы на базе беспилотного летательного аппарата. Оптико-электронная система должна содержать как минимум два оптических канала, работающие в разных спектральных диапазонах. Совместное использование тепловизионных и телевизионных изображений является лучшим решением для обнаружения и мониторинга лесных пожаров, так как дает наиболее полное представление о наблюдаемой местности и характере возгорания. Кроме того, такой подход позволяет разрабатывать эффективную тактику пожаротушения.

Качественное функционирование такой системы обеспечивается при цифровой обработке изображений с использованием прикладных методов нейронных сетей, а также методов адаптивной фильтрации замкнутых и незамкнутых высококонтрастных объектов с последующим обнаружением их контуров. Для правильного сопоставления найденных контуров и относительных координат применяется теория аффинных преобразований, а также математическая модель камеры-обскуры с учетом внешних и внутренних параметров. Для привязки относительных координат к абсолютным географическим координатам используются решения уравнений геоида земной поверхности, основанные на математической модели WGS-72 [2].

При построении подобных систем одной из важных задач является представление визуальной информации в виде понятном и удобном для восприятия оператором и системой обнаружения возгораний. При поиске возгораний беспилотный летательный аппарат зачастую попадает в зону задымления, что приводит к существенному снижению качества изображения, формируемого визуальным каналом. Для устранения дефектов изображения применяются различные методы фильтрации.

Методы фильтрации задымленного изображения. Для решения задач фильтрации задымления на изображении были рассмотрены три метода, базирующиеся на следующих алгоритмах:

- поиск аддитивной фоновой составляющей;
- высокочастотная фильтрация;
- эквализация гистограммы изображения.

Алгоритм на основе поиска аддитивной фоновой составляющей позволяет вычислить среднее значение фоновой составляющей по периметру кадра, при этом считается, что изображение задымлено полностью, а основная информация сосредоточена в центре кадра. В этом случае аддитивная фоновая составляющая описывается следующим образом:

$$\hat{I} = \sum_{i=0}^P I_i / P,$$

где I_i — уровень яркости i -го пиксела изображения, P — количество пикселей по периметру изображения; суммирование осуществляется по периметру изображения.

Затем производится фильтрация исходного изображения в соответствии с выражением

$$I(x_i, y_j) = \begin{cases} I(x_i, y_j) - \hat{I}, & \text{если } I(x_i, y_j) > \hat{I}; \\ 0, & \text{если } I(x_i, y_j) \leq \hat{I}. \end{cases}$$

В результате на выходе фильтра формируется изображение с уменьшенной фоновой составляющей, что соответствует уменьшению его задымленности. Наилучший результат достигается при повторении данной процедуры два-три раза.

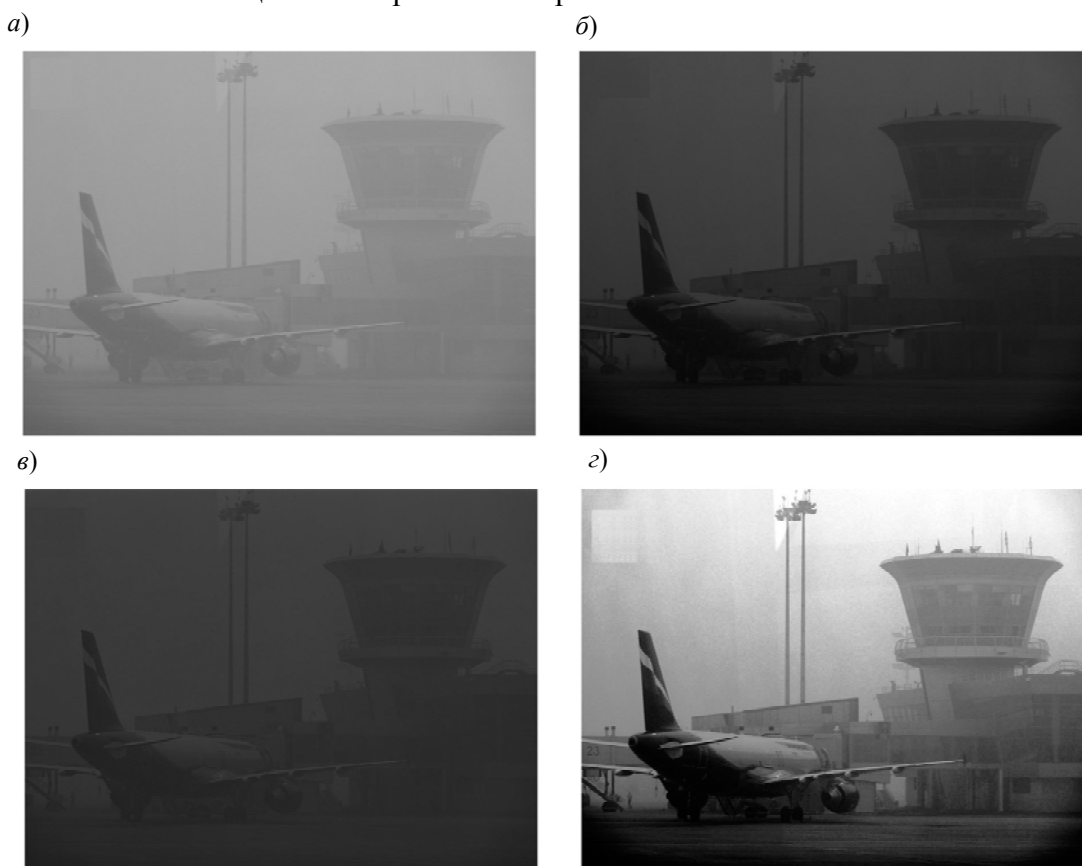
Алгоритм на основе высокочастотной фильтрации направлен на усиление высоких частот в фурье-спектре изображения, что позволяет увеличить его резкость. Для этого изображение переводится в частотную область с помощью прямого двумерного преобразования Фурье, затем поэлементно возводится в степень α , при этом $\alpha = [0 \dots 1]$:

$$F(\omega) = [F_k(\omega)]^\alpha.$$

Полученное новое спектральное распределение подвергается операции обратного двумерного преобразования Фурье [3].

Алгоритм на основе эквализации гистограммы изображения в общем случае подразумевает изменение гистограммы, при котором осуществляется преобразование яркости исходного изображения. Эквализация приводит к растяжению гистограммы входного изображения таким образом, что значения уровней яркости элементов эквализованного изображения перекрывают более широкий диапазон яркостей [4].

Результаты фильтрации задымленного изображения с использованием рассмотренных методов представлены на рисунке, где a — исходное изображение; b — фильтрация на основе поиска аддитивной фоновой составляющей; $в$ — высокочастотная фильтрация; $г$ — фильтрация на основе эквализации гистограммы изображения.



Результаты исследования. Для сравнения методов фильтрации использовалась база цифровых изображений, содержащих задымления. Все изображения были подвергнуты обработке рассмотренными методами. Качество фильтрации оценивалось комплексно на основе сравнения с исходным изображением по следующим параметрам:

- контраст по Микельсону (C);
- эксцесс двумерного спектра Фурье (ϵ);
- быстродействие (T);
- экспертная оценка (σ).

Величина контраста по Микельсону позволяет оценить степень уменьшения фоновой составляющей задымления изображения. По эксцессу двумерного спектра Фурье оценивается увеличение резкости изображения [5]. Оценка быстродействия алгоритмов производилась на компьютере со следующими техническими характеристиками: ЦПУ Intel Core i5-2400, 3,10 ГГц; ОЗУ 4 Гб.

Для экспертной оценки были привлечены 5 специалистов, которым были предъявлены 5 наборов изображений, сформированных случайным образом. Задача экспертов состояла в оценке степени улучшения качества изображения в процентном соотношении по сравнению с оригиналом. Результаты сравнительного анализа методов фильтрации приведены в таблице.

Метод фильтрации	Параметр			
	C , %	ϵ , %	T , мкс	σ , %
Поиск аддитивной фоновой составляющей	12—14	13—15	200—300	30—50
Высокочастотная фильтрация	6—8	17—21	400—700	5—10
Эквализация гистограммы изображения	36—40	24—27	200—300	70—80

Заключение. В соответствии с полученными результатами наилучшим был признан метод фильтрации на основе эквализации гистограммы изображения. Этот метод обладает высокими показателями качества изображения как при количественной оценке, так и с субъективной точки зрения экспертов. Таким образом, при решении задач улучшения качества изображений, искаженных задымлениями, целесообразно применение именно этого метода фильтрации.

Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных по федеральной целевой программе „Научные и научно-педагогические кадры инновационной России“ на 2009—2013 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев Ю. Л., Акимов В. А., Соколов Ю. И. Лесные пожары на территории России: Состояние, проблемы. М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. 312 с.
2. Васильев А. С., Краснящих А. В., Кортаев В. В., Лашманов О. Ю., Лысенко Д. Ю., Ненарокомов О. Н., Широков А. С., Ярышев С. Н. Разработка программно-аппаратного комплекса обнаружения лесных пожаров методом совмещения изображений // Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 12. С. 50—55.
3. Пахомов А. А., Потапов А. А. Методы цифровой обработки малоконтрастных изображений для распознающих систем реального времени // Материалы Междунар. науч. конф. „Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта (ISDMCI' 2009)“, Евпатория, 18—22 мая 2009 г. Херсон: ХНТУ, 2009. Т. 2. С. 395—400.
4. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. М.: Мир, 1982.
5. Jain A. K. Fundamentals of Digital Image Processing. NJ, USA: Prentice-Hall, 1989.

Сведения об авторах

Александр Сергеевич Васильев

— аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптико-электронных приборов и систем;
E-mail: yoshikawa06@gmail.com

- Андрей Владимирович Краснящих* — канд. техн. наук; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптико-электронных приборов и систем;
E-mail: crus@mail.ru
- Олег Юрьевич Лашманов* — аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптико-электронных приборов и систем;
E-mail: o.lashmanov@gmail.com

Рекомендована кафедрой
оптико-электронных приборов
и систем

Поступила в редакцию
07.02.13 г.

УДК 681.78

А. А. ГОРБАЧЁВ, В. В. КОРОТАЕВ, Е. Н. ПАНТЮШИНА

**ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА
КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПОРШНЯ В КЛАПАНЕ**

Рассматривается принцип построения оптико-электронной системы, предназначенной для контроля поперечных перемещений поршня в клапане. Представлены результаты испытаний поршня в лабораторных условиях.

Ключевые слова: оптико-электронная система, бесконтактное измерение, анализ изображений, контроль перемещений.

При функционировании подвижных элементов оборудования, например поршня в клапане, золотника в вентиле, поршней цилиндров в двигателе внутреннего сгорания и т. д., часто возникает необходимость проверки их работоспособности. Обычно подвижные элементы располагаются в труднодоступных местах и проконтролировать их работу контактным способом во время движения не представляется возможным. Использование в таких ситуациях оптико-электронных приборов и систем позволяет наблюдать за протекающими процессами в реальном времени, автоматизировать процесс снятия данных, реализовать оперативное и точное измерение линейных перемещений объекта бесконтактным способом и повысить, таким образом, достоверность получаемых результатов.

Бесконтактное измерение поперечных смещений можно реализовать с помощью законов геометрической и физической оптики. Однако использование законов физической оптики нецелесообразно, поскольку при подобных измерениях не требуется высокая (до единиц и десятков длин волн) точность. Кроме того, фиксация смещений интерференционной картины при перемещениях элементов объекта с ускорением, превышающим $0,1 \text{ м/с}^2$, требует использования дорогой высокоскоростной видеокамеры. Для динамической системы относительная погрешность может составлять 1 % от величины перемещений клапана (диапазон перемещений составляет единицы-десятки миллиметров), поэтому для создания таких оптико-электронных систем целесообразно использовать законы геометрической оптики [1].

На кафедре оптико-электронных приборов и систем НИУ ИТМО была разработана оптико-электронная система (ОЭС), принцип работы которой основан на анализе совокупности изображений. Конструктивная схема ОЭС, предназначенной для измерения поперечных линейных смещений поршня в клапане, представлена на рис. 1. Контроль положения поршня 4