

9. Riley J., Amyot F., Pohida T. et al. A hematoma detector—a practical application of instrumental motion as signal in near infra-red imaging, *Biomedical Optics Express*, 2012, Vol. 3, No. 1, pp. 192-205.
10. Kononov A.B., Vlasov V.V., Kalintsev A.G., Kravtseyuk O.V., Lyubimov V.V. Impul'snaya diffuzionnaya opticheskaya tomografiya na osnove ispol'zovaniya analiticheskikh statisticheskikh kharakteristik traektoriy fotonov [Pulsed diffusion optical tomography based on the use of analytical statistical characteristics of the trajectories of photons], *Kvantovaya elektronika* [Quantum Electronics], 2006, Vol. 36, No. 11, pp. 1048-1055.
11. Proskurin S.G., Potlov A.Yu. Early- and late-arriving photons in diffuse optical tomography, *Photonics & Lasers in Medicine*, 2013, Vol. 2, Issue 2, pp. 139-146. Doi:10.1515 /plm-2013-0003.
12. Potlov A.Yu., Proskurin S.G., Frolov S.V. Three-dimensional representation of late arriving photons for the detection of inhomogeneous in diffuse optical tomography // *Quantum Electronics*. – 2014. – Vol. 44, № 2. – P. 174-181.
13. Proskurin S.G. Using late arriving photons for diffuse optical tomography of biological objects // *Quantum Electronics*. – 2011. – Vol. 4, № 5. – P. 402-406.
14. Dehghani H., Srinivasan S., Pogue B., Gibson A. Numerical modelling and image reconstruction in diffuse optical tomography // *Phil. Trans. R. Soc. A.*, 2009, pp. 367. Doi: 10.1098/rsta.2009.0090.
15. Potlov A.Yu. Detection of optical inhomogeneities of biological tissue using TPSF conformal mapping, *ISJ Theoretical & Applied Science*, 2014, Vol. 17, No. 9, pp. 31-33.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор И.П. Жуков.

Потлов Антон Юрьевич – ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»; e-mail: zerner@yandex.ru; 393251, Тамбовская область, г. Рассказово, ул. Клубная, 22; тел.: 89158712697; кафедра биомедицинской техники; аспирант.

Potlov Anton Yurievich – Tambov State Technical University; e-mail: zerner@yandex.ru; 64, Klubnaya street, Rasskazovo, Tambov region, 393251, Russia; phone: +79158712697; the department of biomedical engineering; postgraduate student.

УДК 681.784

В.В. Семенов

КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ В ТЕЛЕВИЗИОННОМ АНАЛИЗАТОРЕ АЭРОЗОЛЕЙ

Описаны телевизионные анализаторы аэрозолей, позволяющие получать в разных проекциях основные геометрические и оптические параметры контролируемых частиц, необходимых для идентификации вещественного состава аэрозоля. Разработан алгоритм обработки изображений, состоящий из проверки на изображении наличия частиц, фильтрации, прошедшего проверку изображения с помощью медианного фильтра, коррекции фона, улучшения границ частиц, бинаризации с автоматическим выбором порога бинаризации, удаления мелких частиц с изображения, закрашивания частиц, выделения границ частиц, разбиения имеющегося изображения на части, соответствующие каждой проекции, проверки наличия частиц в каждой проекции, анализа геометрических параметров найденных частиц и их классификации. Приведен пример процесса распознавания с помощью программы MatLab. Рассмотренный в работе алгоритм, в отличие от известных, позволяет проводить обработку нескольких проекций частицы на ЭВМ и получать избыточные морфологические признаки о частице, необходимые для её достоверной идентификации.

Телевизионный анализатор аэрозолей; алгоритм обработки; распознавание изображений; классификатор.

V.V. Semenov

COMPUTER IMAGE PROCESSING FOR THE TV AEROSOL ANALYZER

The work describes television aerosol analyzers receiving basic geometric and optical parameters of controlled particles required for aerosol material composition identification in various projections. The developed image processing algorithm consists of image check for the particle presence, filtering, authenticated image using a median filter, background correction, edge enhancement particles, with automatic selection of binarization threshold, removal of fine particles from the image, particle painting, determination of particle boundaries, partitioning an existing image into pieces corresponding to each projection, particle check in each projection, the analysis and classification of geometric parameters for found particles. An example of a recognition process using MatLab is presented. The considered algorithm, as opposed to the existing ones, allows processing of multiple particle projections on a computer and receiving redundant morphological particle characteristics required for its accurate identification.

TV aerosol analyzer; processing algorithm; image recognition; the classifier.

Разработанные в работах [1–6] устройства относятся к технике автоматизации измерений и могут использоваться в медицине, биологии, экологии, фармацевтической промышленности, других областях науки и техники, связанных с автоматизированным анализом взвешенных частиц.

Принцип работы этих устройств состоит в освещении потока частиц световым пучком и регистрации параметров световых сигналов, формируемых частицами при их пролете через выделенную область потока частиц. Причем световой пучок после прохождения потока с использованием отражающих зеркал разворачивают по отношению к исходному пучку и вновь пропускают через поток, где регистрация изображения частиц при помощи ПЗС матрицы происходит с двух, трех и более равномерных углов светового потока [1–6].

На рис. 1 приведена схема, позволяющая получить в плоскости регистрации (на ПЗС видеокамеры) одновременно три изображения каждой частицы, соответствующие ее проекциям на три взаимно перпендикулярные плоскости.

Из рис. 1 видно, что в плоскости регистрации имеется три проекции частицы. При этом, поскольку частица смещена относительно осей OX , OY , на расстояния, превосходящие соответствующие размеры частиц, то все три изображения пространственно разнесены.

Функциональная схема разработанного анализатора, использующего описанную выше оптическую схему показана на рис. 2. Динамический ввод аэрозолей в область контроля осуществляется прокачной кюветой с шириной канала 1,5 мм и вакуумным насосом. Скорость прокачки подбирается программно ПЭВМ так, чтобы в каждый кадр видео сигнала попадало не более 1 частицы (50 частиц в секунду). Сформированный программой управления сигнал управления поступает с ПЭВМ и плату ввода вывода (АЦП-ЦАП) для управления скоростью прокачки (вакуумным насосом), фокусировкой объектива видеокамеры телевизионного анализатора и излучателями 1, 8. При этом для анализа аэрозоля формируются два кадра – один получается излучателем 1 и формирует информацию о форме и основных размерах частицы тремя изображениями в разных проекциях, второй излучателем 8 (рис. 2) для формирования одного изображения о цвете частицы. Так же данная схема содержит классификатор – базу данных формы и размеров частиц, а так же цветовых параметров частиц разных аэрозолей.

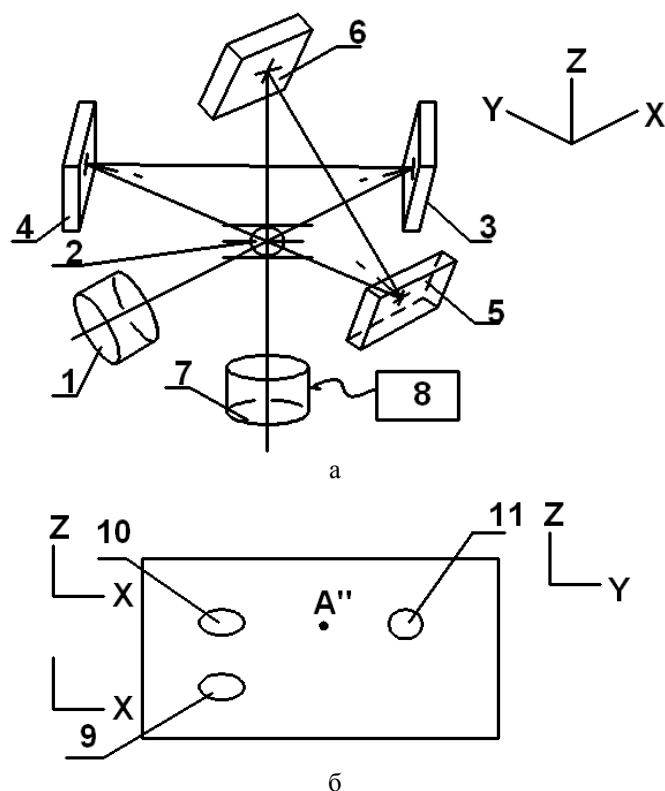


Рис. 1. Формирование проекций частицы на три взаимно перпендикулярные плоскости: а – общая схема; б – вид плоскости регистрации: 1 – осветитель; 2 – поток частиц; 3, 4, 5, 6 – зеркала; 7 – видеокамера; 8 – блок обработки; 9 – третье изображение частицы; 10 – отображение первого изображения; 11 – отображение второго изображения

Следует отметить, что в предлагаемом анализаторе нижний предел измерений по размерам (определяемый разрешающей способностью формирующей оптики) составляет примерно 1 мкм.

Внешний вид прототипа телевизионного анализатора аэрозолей показан на рис. 3.

На рис. 4 показана функциональная схема переносного телевизионного анализатора на базе DSP-процессора типа TMS320C6711.

Рассмотрим процесс функционирования системы телевизионного анализа изображений. Наблюдаемые частицы могут иметь самые различные формы: сплюснутую, сфероидальную, продолговатую и др. Если все три размера совпадают это сфероидальная частица, если нет – значит, частица другого типа.

В общем случае проводятся следующие операции распознавания (рис. 5): считывание и отображение изображений; сглаживание; улучшение изображений: пространственная (линейная) фильтрация, например, использование медианного фильтра для удаления шума на изображении; бинаризация изображений, пороговое разделение, выделение кромок; морфологический анализ; количественный анализ; вычисление данных, характеризующих форму, размер и цвет частиц пыли, сброс информации на диск.

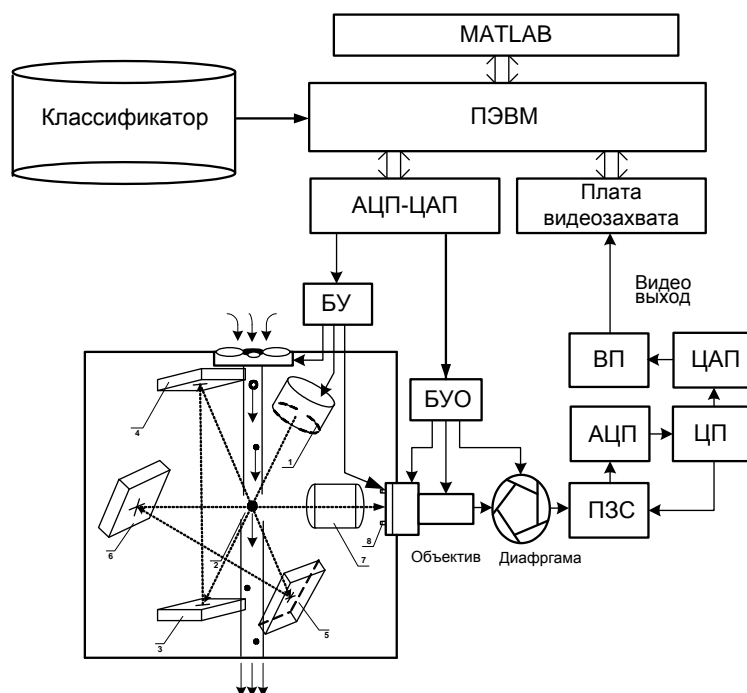


Рис. 2. Функциональная схема разработанного телевизионного анализатора:
 1 – лазерный осветитель; 2 – поток частиц; 3, 4, 5, 6 – зеркала; 7 – микролинза;
 8 – линейка светодиодных осветителей; БУ-блок управления вентилятором и
 лазерным излучателем; БУО-блок управления объективом (моторами
 фокусировки, трансфокатора и диафрагмы) видеокамеры; ПЗС – видео-сенсор
 (прибор с зарядовой связью); АЦП – аналогово-цифровой преобразователь;
 ЦП – центральный процессор; ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь;
 ВП – видеопроцессор

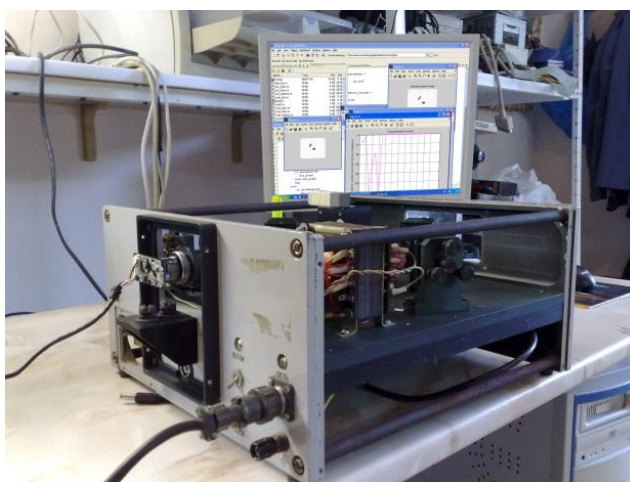


Рис. 3. Внешний вид прототипа телевизионного анализатора аэрозолей

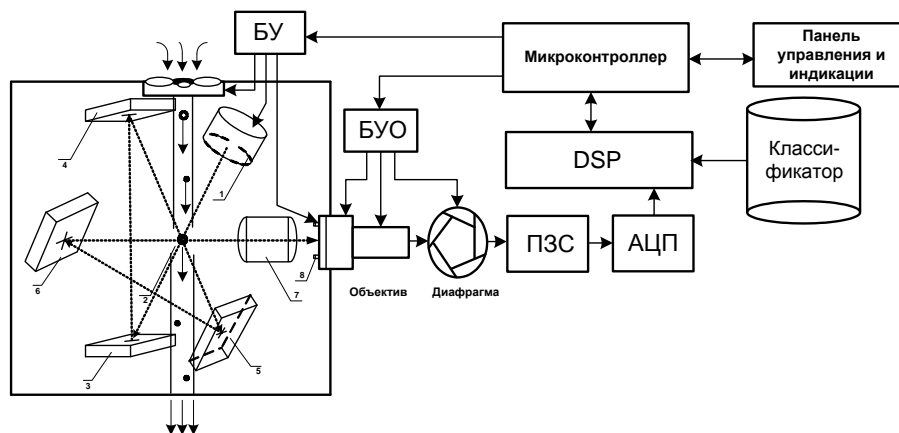


Рис. 4. Телевизионный анализатор на базе DSP-процессора

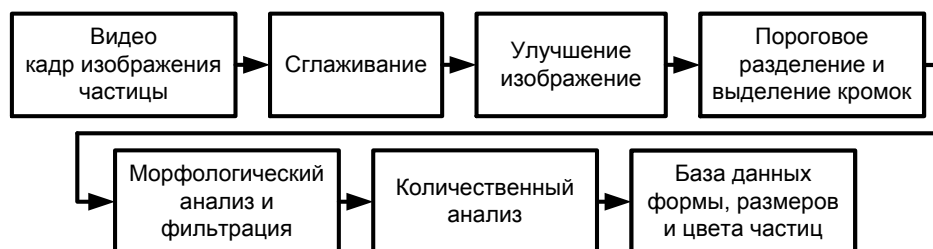


Рис. 5. Процесс распознавания размера и формы аэрозолей

Полученные изображения частиц передаются на компьютер для цифровой обработки, состоящей из проверки на изображении наличия частиц, фильтрации, прошедшего проверку изображения с помощью медианного фильтра, коррекции фона, улучшения границ частиц, бинаризации с автоматическим выбором порога бинаризации, удаления мелких частиц с изображения, закрашивания частиц, выделения границ частиц, разбиения имеющегося изображения на части, соответствующие каждой проекции, проверки наличия частиц в каждой проекции, анализа геометрических параметров найденных частиц и их классификации [7].

На рис. 6 приведена блок-схема алгоритма обработки изображения. Анализ изображения осуществляется следующим образом. На шаге 2 в компьютер поступают изображения, полученные с помощью вышеописанного устройства, а так же устройств, описанных в [1–6].

Под изображением понимается целочисленная матрица, элементы которой меняются в диапазоне от 0 до 255, что соответствует яркости в точках двумерной картины в оттенках серого.

На шаге 3 выполняется проверка появления объектов на изображении. Из последовательности кадров инициализируются соседние кадры, из которых вычитается постоянная составляющая, измеряются энергетические спектры кадров и полученные данные представляются в виде матрицы предыдущего и матрицы текущего кадров, определяются разности отношений двух соседних кадров и сравнивается полученная разность с порогом и принимается решение о появлении объекта в текущем кадре изображения.



Рис. 6. Блок-схема алгоритма обработки изображения

После определения наличия объектов на изображении на шаге 4 выполняется фильтрация полученных изображений. Пусть $g(x,y)$ – исходное изображение, S_{xy} – прямоугольная окрестность размерами $m \times n$ с центром в точке (x,y) . Изображение $f(x,y)$ получается в результате обработки исходного изображения с помощью медианного фильтра:

$$f(x,y) = \text{median}_{(s,t) \in S_{xy}} \{g(s,t)\} \quad .(1)$$

В результате с изображения удаляется импульсный шум. При применении медианного фильтра используется двумерное окно, имеющее центральную симметрию, при этом его центр располагается в центральной точке фильтрации. Размер окна составляет девять пикселей и оно проходит по всем точкам изображения.

На следующем шаге 5 выполняется коррекция фона для устранения неравномерности интенсивности светового потока. В процессе коррекции фона осуществляется вычитание заранее сохраненного в память снимка фона из полученного изображения частиц, в результате чего фоновое изображение удаляется из полученного снимка.

На шаге 6 производится процесс улучшения границ, для реализации которого применяется оператор Лапласа, который имеет следующий вид:

$$\nabla^2 f = [f(x+1,y) + f(x-1,y) + f(x,y+1) + f(x,y-1)] - 4f(x,y). \quad (2)$$

Применение данного оператора сводится к свертке изображения с маской квадратной формы, показанной на рис. 7, состоящей из девяти пикселей, в которой центральный пиксель является исследуемым.

0	-1/4	0
-1/4	2	-1/4
0	-1/4	0

Рис. 7. Маска, необходимая для реализации процесса улучшения границ полученных изображений оператором Лапласа

Далее на шаге 7 (рис. 6) происходит выбор порога бинаризации. Пороговое значение бинаризации считается выбранным верно, если выполняется равенство:

$$\frac{\mu_1 + \mu_2}{2} = k, \quad (3)$$

где μ_1 – среднее из всех значений пикселей, которые лежат в пределах от 0 до k , а μ_2 – среднее из всех значений пикселей, которые лежат в пределах от k до 255, k – значение уровня серого которое выбрано в качестве порога.

После нахождения порога бинаризации, на шаге 8 выполняется процесс бинаризации. В результате пиксели, имеющие значение яркости меньше значения рассчитанного в выражении (3) считаются частицей.

Вследствие того, что на изображении много мелких объектов, не представляющих важности при исследовании, объекты меньше заданного числа пикселей удаляются с изображения на шаге 9.

Для того чтобы проводить дальнейший анализ, необходимо закрасить замкнутые области, которые первоначально были определены как фон. Для этого на шаге 10 пиксели, равные 0, все восемь соседних пикселей которых равны 1, заменяются на 1.

На шаге 11 выделяются границы объектов на изображении. Для этого на бинарном изображении в 0 устанавливаются пиксели объекта, у которых 4 соседних по горизонтали и вертикали пикселя были равны 1, т.е. тоже являлись пикселями объекта. В результате не сброшенными останутся только пиксели границы объекта.

Дальнейшая обработка изображений заключается в необходимости анализа изображений соответствующих одной частице, для этого на шаге 12 проводят разбиение имеющегося изображения ($f(x,y)$) на части, соответствующие каждой проекции. Например, для трех проекций: $(f_1(x,y), f_2(x,y), f_3(x,y))$, при этом $[f_1(x,y), f_2(x,y), f_3(x,y)] \in f(x,y)$, но $f_1(x,y) \notin f_2(x,y) \notin f_3(x,y)$ и на шаге 13 подсчитывается количество объектов n_i в каждой части f_i , где $n_1 \in f_1(x,y)$, $n_2 \in f_2(x,y)$, $n_3 \in f_3(x,y)$. На шаге 14 происходит проверка равенств: если количество объектов в каждой из трех частей $f(x,y)$ совпадает, т.е. $n_1=n_2=n_3$, то отсутствуют объекты, полученные в результате наложения частиц и данное изображение возможно в дальнейшем анализировать; если количество объектов в каждой части изображения различно хотя бы одной части $f(x,y)$, т.е. $n_1 \neq n_2 \neq n_3$, $n_1 \neq n_2 = n_3$ или $n_1 = n_2 \neq n_3$, то на изображении существуют объекты, полученные в результате наложения частиц и необходимо пропустить данное изображение и перейти к следующему шагу.

Далее на шаге 15 происходит определение параметров формы частиц:

- ◆ площадь $S(F) = \sum_{(x,y) \in F} 1$, равная количеству пикселей объекта, где F – множество пикселей относящихся к объекту;
- ◆ высота $\Delta y = \max_{(x,y) \in F} \{y\} - \min_{(x,y) \in F} \{y\}$ вписанного прямоугольника;
- ◆ ширина $\Delta x = \max_{(x,y) \in F} \{x\} - \min_{(x,y) \in F} \{x\}$ вписанного прямоугольника;
- ◆ выпуклая площадь $S_{\text{пр}}(P) = \sum_{(x,y) \in P} 1$, равная площади выпуклого многоугольника, в который вписан объект, где P – множество пикселей относящихся к многоугольнику, в который вписан объект;
- ◆ другие параметры.

Для возможности классификации на шаге 16 вычисляются коэффициенты формы:

- ◆ коэффициент выпуклости (4), равный отношению площади к выпуклой площади:

$$k_B = \frac{S(F)}{S_{\text{пр}}(P)}; \quad (4)$$

- ◆ коэффициент заполнения (5), равный отношению площади объекта к площади ограничивающего прямоугольника:

$$k_3 = \frac{S(F)}{\Delta y * \Delta x}; \quad (5)$$

- ◆ эксцентриситет эллипса (6) с главными моментами инерции, равными главным моментам инерции объекта:

$$\varepsilon = \sqrt{1 - \frac{c(F)^2}{d(F)^2}}; \quad (6)$$

где $c(F)$ и $d(F)$ большая и малая полуоси эллипса;

- ◆ другие коэффициенты.

На основе полученных данных производится классификация объектов для каждой проекции частицы. Пример классификатора для определения формы изображения в одной из полученных проекций показан в табл. 1.

Таблица 1

Пример классификатора для определения формы изображения

Примитив	k_B	k_3	ε
а) Круг	0.9781	0.7822	0
б) Эллипс	0.9665	0.6602	0.8769

в) Квадрат	0.9669	0.6905	0.0501
г) Прямоугольник с отношением сторон 1:3	0.9495	0.4861	0.9454
д) Прямоугольник с отношением сторон 1:12	0.8816	0.2071	0.9971
е) S-образный объект	0.4595	0.4208	0.8728

Для получения окончательного вывода о форме частицы сложного строения и её идентификации происходит сравнение полученных коэффициентов формы для каждой из проекций и делается окончательная классификация:

- ◆ однозначный примитив;
- ◆ примитив, имеющий отклонения в сторону другого примитива;
- ◆ примитив, имеющий отклонения в сторону двух других примитивов.

Обзор существующего программного обеспечения показал, что наиболее перспективными программными продуктами для телевизионного анализа изображений являются программы MATLAB и NI Vision Builder .

Описанный выше алгоритм был реализован в программе MatLab [8].

На рис. 8,а показано тестовое изображение в трех проекциях, полученное телевизионным анализатором аэрозолей.

На рис. 8,б приведен результат работы программы MATLAB по вышеприведенному алгоритму работы.

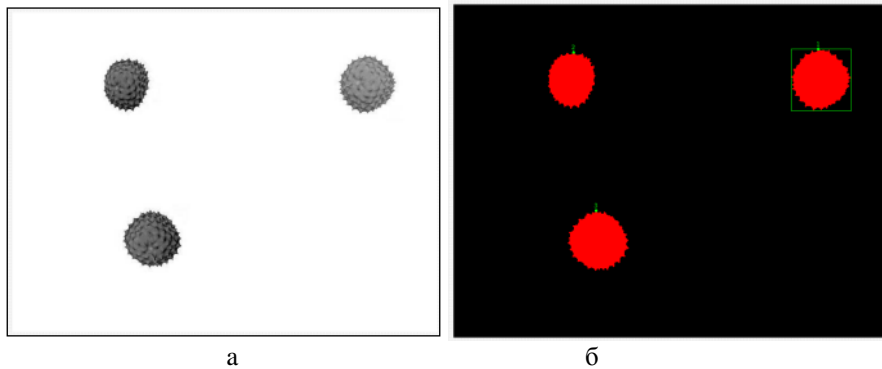


Рис. 8. Изображения частиц до (а) и после (б) цифровой обработки изображения

Алгоритм обработки изображений так же позволяет определять и выводить в базу данных основные параметры, характеризующие цвет форму и размеры частиц, среди которых: площадь; центр масс; ширина и длина описанного прямоугольника; наибольшая длина сегмента; периметр частицы; сумма пикселей в частице; квадрат суммы пикселей в частице; момент инерции; средняя хорда; длина наибольшего сегмента; ориентация частицы; меньшая и меньшая ось эллипса; отношение большей оси эллипса к меньшей; фактор удлинения; фактор уплотнения; отношение периметра частицы к периметру описанной окружности; отношение площади частицы к ее периметру; диаметр описанной окружности; диагональ эквивалентного прямоугольника в пользовательских единицах и др., по которым вместе с информацией о цветовых составляющих частицы (R, G, B) формируется уникальный классификатор распознавания, принадлежащий лишь к частицам определенной природы.

Таким образом, описанные телевизионные анализаторы аэрозолей, позволяют получать в разных проекциях основные геометрические и оптические параметры контролируемых частиц, необходимых для идентификации вещественного состава аэрозоля.

Рассмотренный в работе алгоритм компьютерной обработки, в отличие от известных, позволяет проводить обработку нескольких проекций частицы на ЭВМ и получать избыточные морфологические признаки о частице, необходимые для её достоверной идентификации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент 2503947, РФ МПК⁶ G01N 15/02. Способ анализа взвешенных частиц / Семенов В.В., Колот А.В.; заявитель и патентообладатель Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса – № 2012116308/28; заявл. 23.04.2012; опубл., 10.01.2014. Бюл. № 1.
2. Патент 2436067 РФ, МПК⁶ G01N 15/02. Способ анализа взвешенных частиц / Семенов В.В., Постоловский Н.Н., Ханжонков Ю.Б., Асцатуров Ю.Г.; заявитель и патентообладатель Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса. – № 2010143384/28; заявл. 22.10.2010; опубл. 10.12.2011. Бюл. № 34.
3. Патент 2485481 РФ, МПК⁶ G01N 15/02. Способ анализа взвешенных частиц / Семенов В.В., Шандра А.С., Ханжонков Ю.Б., Асцатуров Ю.Г.; заявитель и патентообладатель Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса. – № 2011151637/28; заявл. 16.12.2011; опубл., 20.06.2013. Бюл. № 17.
4. Семенов В.В. Телевизионный анализатор аэрозолей // Высокие технологии, исследования, промышленность: Сборник трудов Девятой Международной научно-практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности». Т. 2. Санкт-Петербург 22.04-23.04.2010 / Под ред. А.П. Кудинова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – С. 260-261.
5. Семенов В.В., Шандра А.С., Юхнов В.И. Телевизионный анализатор размеров и форм аэрозолей // Современные проблемы радиоэлектроники: Сборник научных трудов четвертой международной научной конференции. Ростов-на-Дону, 24 мая 2012 г. – Ростов-на-Дону. РИО РТИСТ ФГБОУ ВПО "ЮРГУЭС", 2012. – С. 175-178.
6. Семенов В.В., Ханжонков Ю.Б., Асцатуров Ю.Г. Оценка потенциальной опасности возникновения поллинозов телевизионным анализатором аэрозолей // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4 (Ч. 1). Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4r1y2012/1278> (доступ свободный).
7. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Определение параметров взвешенных частиц произвольной формы / Семенов В.В., Даниленко И.Н.; правообладатель ФГБОУ ВПО ДГТУ. – № 2014612128 от 19.02.2014, заявка №2014610125 от 09.01.2014 г.

REFERENCES

1. Patent 2503947, RF MPK⁶ G01N 15/02. Sposob analiza vzveshennykh chastits [The method of analysis of suspended particles], *Semenov V.V., Kolot A.V.*; *zayavitel' i patentoobladatel' Yuzhno-Rossiyskiy gosudarstvennyy universitet ekonomiki i servisa*, No. 2012116308/28; *zayavl. 23.04.2012; opubl., 10.01.2014 Byul. No. 1.*
2. Patent 2436067 RF, MPK⁶ G01N 15/02. Sposob analiza vzveshennykh chastits [The method of analysis of suspended particles], *Semenov V.V., Postolovskiy N.N., Khanzhonkov Yu.B., Astaturov Yu.G.*; *zayavitel' i patentoobladatel' Yuzhno-Ros. gos. un-t ekonomiki i servisa*, No. 2010143384/28; *zayavl. 22.10.2010; opubl. 10.12.2011. Byul. No. 34.*
3. Patent 2485481 RF, MPK⁶ G01N 15/02. Sposob analiza vzveshennykh chastits [The method of analysis of suspended particles], *Semenov V.V., Shandra A.S., Khanzhonkov Yu.B., Astaturov Yu.G.*; *zayavitel' i patentoobladatel' Yuzhno-Ros. gos. un-t ekonomiki i servisa*, No. 2011151637/28; *zayavl. 16.12.2011; opubl., 20.06.2013. Byul. № 17.*

4. *Semenov V.V. Televizionnyy analizator aerorozley [TV analyzer aerosols], Vysokie tekhnologii, issledovaniya, promyshlennost': Sbornik trudov Devyatoy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Issledovanie, razrabotka i primeneniye vysokikh tekhnologiy v promyshlennosti» [High technology, research, industry: proceedings of Ninth International scientific-practical conference "Research, development and application of high technologies in industry"]*. Vol. 2. Sankt-Peterburg 22.04-23.04.2010. St. Peterburg: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2010, pp. 260-261.
5. *Semenov V.V., Shandra A.S., Yukhnov V.I. Televizionnyy analizator razmerov i form aerorozley [V analyzer sizes and shapes of aerosols], Sovremennyye problemy radioelektroniki: Sbornik nauchnykh trudov chetvertoy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii [Modern problems of radio electronics: proceedings of the fourth international scientific conference]*. Rostov-na-Donu, 24 maya 2012 g., Rostov-on-Don. RIO RTIST FGBOU VPO "YuRGUES", 2012, pp. 175-178.
6. *Semenov V.V., Khanzhonkov Yu.B., Astsaturov Yu.G. Otsenka potentsial'noy opasnosti vozniknoveniya pollinozov televizionnym analizatorom aerorozleyx [Assessment of potential risk of allergic rhinitis TV analyzer aerosols], Inzhenernyy vestnik Dona [Journal of Engineering Don]*, 2012, No. 4 (Parte 1). Available at: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1278> (dostup svobodnyy).
7. *Gonsales R., Vuds R. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy [Digital image processing]*. Moscow: Tekhnosfera, 2005, 1072 p.
8. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM. Opredeleniye parametrov vzveshennykh chastits proizvol'noy formy [The certificate of state registration of computer programs. Determination of parameters of suspended particles of arbitrary shape]*, *Semenov V.V., Danilenko I.N.*; pravoobladatel' FGBOU VPO DGTU, № 2014612128 ot 19.02.2014, zayavka №2014610125 ot 09.01.2014 g.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.А. Сапронов.

Семенов Владимир Владимирович – Институт сферы обслуживания и предпринимательства филиал Донского государственного технического университета; e-mail: vvsemenov@mail.ru, г. Шахты, ул. Шевченко, 147; тел.: 89185021828; кафедра радиоэлектронных систем; к.т.н.; доцент.

Semenov Vladimir Vladimirovich – Institute of the service sector and entrepreneurship Branch Don State Technical University; e-mail: vvsemenov@mail.ru; 147, Shevchenko street, Shakhty, Russia; phone: +79185021828; the department of radio electronic systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 531.15:612.087

А.Н. Бобылев, П.А. Кручинин, В.А. Чертополохов

СОВМЕСТНАЯ ОБРАБОТКА ПОКАЗАНИЙ ИНЕРЦИАЛЬНОГО БЛОКА И СИСТЕМЫ ВИДЕОАНАЛИЗА*

Рассматривается задача определения параметров относительного расположения осей чувствительности инерциального измерительного блока и маркеров системы видеоанализа, закрепленных на твердом теле. Такая задача актуальна при построении аппаратно-программных комплексов совместной обработки данных видеоанализа движений человека и инерциальных сенсоров при измерениях для биомеханических систем. Предполагается, что маркеры видеоанализа и блок инерциальных сенсоров закреплены на части тела человека, которая моделируется недеформируемым твердым телом. Для определения параметров относительного положения осей чувствительности инерциального измерительного блока и маркеров системы видеоанализа используется «калибровочный» участок из-

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 12-01-00839).