

УДК 535:004.93

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ФОТОННОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЦИФРОВОГО ВИДЕО

Г. А. Шадрин, С. А. Кочеров
Сургутский государственный университет
g_shadrin@mail.ru

В статье рассмотрен вопрос создания автоматизированного анализатора мутных сред. Анализ среды основывается на модифицированном методе динамического рассеяния света. В работе представлена методика эксперимента, а также скриншоты из программы-обработчика данных.

Ключевые слова: спектроскопия, корреляционный анализ, обработка видеофайлов, программирование.

HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX OF PHOTON CORRELATION SPECTROSCOPY BASED ON ANALYSIS OF DIGITAL VIDEO

G. A. Shadrin, S. A. Kocherov
Surgut State University
g_shadrin@mail.ru

The article considers the creation of an automated analyzer of turbid media. The analysis of the medium is based on a modified method of dynamic light scattering. The article presents the experimental techniques, as well as screenshots from the data processor.

Keywords: spectroscopy, correlation analysis, video files processing, programming.

Введение. Фотонная корреляционная спектроскопия – это сравнительно новая и быстро развивающаяся область физики. Она соприкасается с областями знаний: физикой, биологией, химией, техникой. На всех этапах своей эволюции человечество взаимодействует с окружающей средой. Водная оболочка, воздушная оболочка и недра Земли в настоящее время подвержены усиливающемуся негативному воздействию со стороны человека. Самым глобальным и значимым является выброс в окружающую среду веществ неестественного происхождения. Ярким примером таких загрязнений являются газообразные и аэрозольные отходы промышленного производства. В результате деятельности многих предприятий возникают отходы в виде мелких твердых или жидких частиц, оказывающих потенциальную опасность для человека [1].

Данная работа актуальна в области охраны труда и безопасности жизнедеятельности человека. Возникают ситуации, когда появляется необходимость в реальном времени фиксировать процессы зарождения пылевого облака и динамику его изменения во времени в конечном пространстве. Требование своевременного и быстрого контроля уровня засоренности не позволяет применять известные методы определения размеров микрочастиц посредством отбора проб и лабораторного анализа.

Статья посвящена созданию автоматизированного экспресс-анализатора (работа которого основана на модифицированном методе динамического рассеяния света) оценки динамики запыленности атмосферы жидкими и твердыми микрочастицами, способного провести анализ в заданном месте без влияния на измеряемый объект в любой момент времени.

Методика эксперимента

Способ нахождения размеров частиц заключается в измерении и дальнейшем анализе осцилляций во времени, яркости (интенсивности) рассеиваемого излучения на микрочасти-

цах. Из-за случайного движения растворенных в другом веществе микрочастиц, вызываемого неуравновешенными колебаниями молекул вещества, яркость рассеиваемого излучения колеблется вокруг своего среднестатистического значения яркости [2].

При прохождении сфокусированного луча через такую среду будет происходить частичное рассеивание излучения на молекулах, растворенных в среде. Осцилляции яркости частично рассеиваемого излучения будут соответствовать осцилляциям локального сосредоточения растворенных в веществе микрочастиц. Информация о скорости движения диффундирующих частиц в веществе (коэффициенте диффузии частиц) связана корреляционной зависимостью с флуктуациями яркости излучения [3].

Автокорреляционная функция (или АКФ) в своем классическом представлении выглядит следующим образом:

$$G(\tau) = \langle I(0) \times I(t - \tau) \rangle = \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{1}{tm} \int_0^m I(t) \times I(t - \tau) \partial \tau, \quad (1)$$

где яркость (или интенсивность излучения) I принимает неодинаковое значение в моментах t и $(t - \tau)$; t_m – время, в течение которого АКФ изменяет свое значение.

Можно утверждать, что в подобной среде АКФ яркости излучения рассеиваемого света снижается с течением времени по экспоненциальному закону и время перехода среды в равновесное состояние однозначно зависит от D . Функция корреляции яркости рассеиваемого излучения (для случая квадратичного детектирования) имеет вид:

$$G(\tau) = a \times \exp\left(\frac{-2 \times \tau}{t_c}\right) + b, \quad (2)$$

$$\frac{1}{t_c} = D_t \times q^2. \quad (3)$$

Волновой вектор флуктуаций концентрации описывается выражением:

$$q = \frac{4 \times \pi \times n}{\lambda} \times \sin\left(\frac{\theta}{2}\right). \quad (4)$$

В формулах 2–4: a и b – эмпирические числа, n – отношение фазовых скоростей света в вакууме и в веществе, в котором распределены частицы, λ – длина волны лазерного излучения и θ – угол рассеивания света [4].

В лабораторных условиях был создан стенд, на котором проводятся серии экспериментов с рассеянием лазерного излучения на частицах коллоидных растворов. Коллоидный раствор находится в прозрачной кювете, через которую проходит лазерный луч. Структурная схема стенда представлена на рис. 1.

Новизна метода заключается в том, что вместо стандартного оборудования (спектрофотометров) в качестве детектора рассеянного света и используется видеокамера. Компьютерная обработка видеофайла позволяет определить параметры рассеяния света на частицах и параметры частиц.

Помещение, в котором проводится эксперимент, должно быть без посторонних источников света (единственный источник света – это лазер), чтобы камера детектировала только рассеяние лазерного света. Съемка кюветы ведется под углом 90 градусов к оси распространения лазерного луча [5].

Состав оборудования

Все эксперименты проводятся в лаборатории оптики СурГУ на специально организованном стенде. Стенд (рис. 2) состоит из следующих частей:

- лазер – в данной работе используется гелий-неоновый лазер, который имеет рабочую длину волны 632,8 нм, расположенную в красной части видимого спектра;
- камера – цифровая камера высокого разрешения: чем выше качество съемки, тем точнее результаты измерения;
- химические вспомогательные средства – прозрачные кюветы, в которых будут находиться растворы с заранее известными характеристиками для проверки результатов работы.

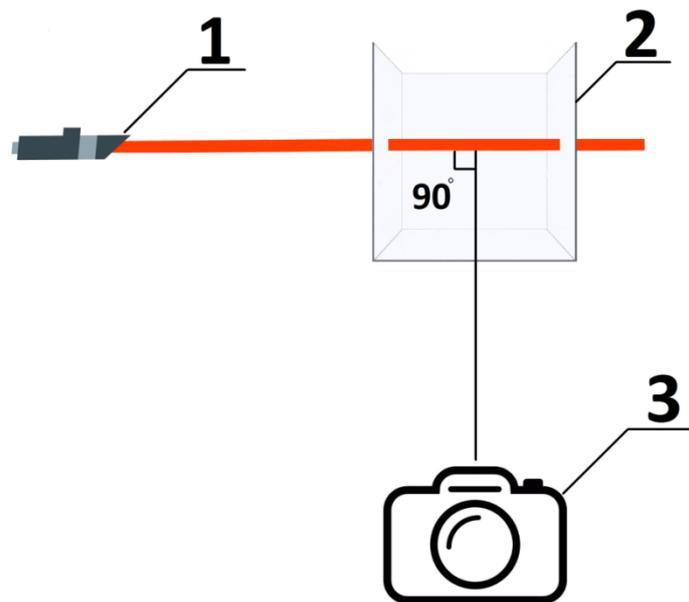


Рис. 1 Структурная схема стенда:

1 – лазер; 2 – кювета с коллоидным раствором; 3 – цифровая камера



Рис. 2. Фотография стенда

Обработка экспериментальных данных

Поскольку автокорреляционная функция строится для интенсивности рассеянного света на определенной области видеофайла, необходимо извлечь эту информацию из него. Эта область представлена отдельным пикселем, содержащим частицу, на которой рассеивается свет. Для решения данной задачи была реализована программа на языке C++ с ис-

пользованием библиотеки компьютерного зрения OpenCV. Интенсивность излучения в OpenCV представлена аддитивной цветовой моделью RGB, значение каждого из трех базовых составляющих изменяется в диапазоне от 0 до 255 [6], [7]. Интерфейс программы представлен на рис. 3.

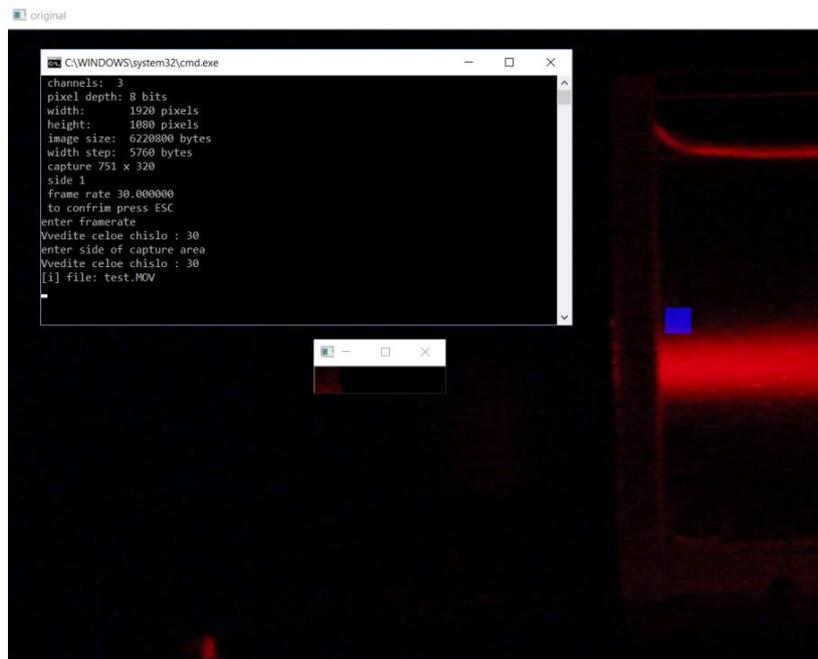


Рис. 3. Интерфейс программы для обработки видеофайла

Заключение. Реализованная программа обладает следующим функционалом:

- возможность выделения области видеофайла;
- регистрация значения интенсивности в каждый момент времени;
- архивация данных;
- расчет автокорреляционной функции;
- интерпретация и визуализация данных.

Были проведены опыты, в которых рассеяние света лазера производилось на кювете с молоком (0,05 г на 200 мг воды). Кадр исследуемого видеофайла и автокорреляционная функция представлены соответственно на рис. 4 и 5.

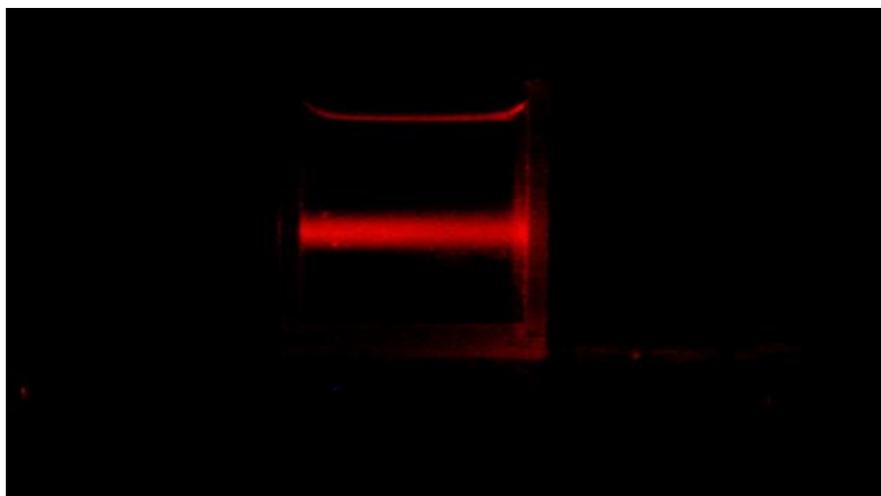


Рис. 4. Кадр из исследуемого видеофайла

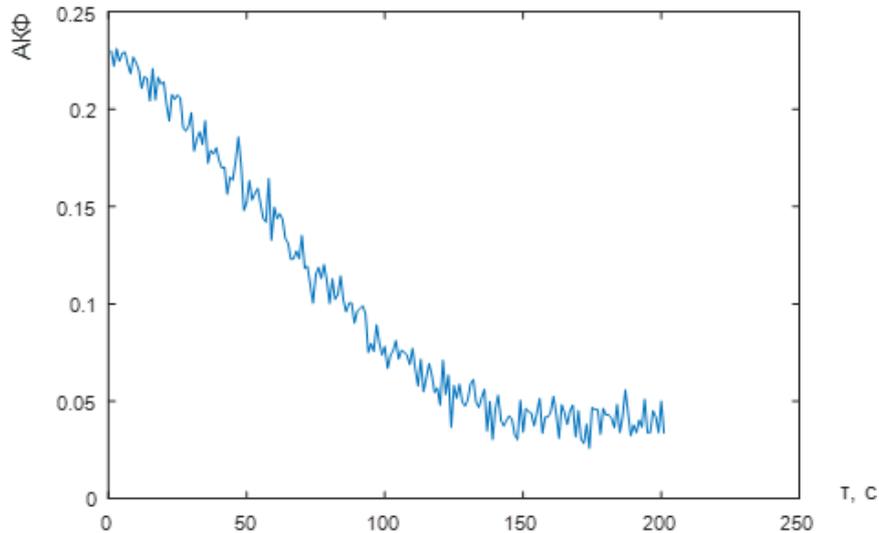


Рис. 5. Автокорреляционная функция рассеиваемого света на частицах жира, эмульсированных в воде

В ходе экспериментов был рассчитан размер частиц жира, эмульсированных в воде. Рассчитанное значение составило $0,000004797$ м (или $4,8$ мкм). Величина жировых шариков колеблется от $0,5$ до 10 мкм [8].

Литература

1. Непомнящая Э. К., Величко Е. Н., Богомаз Т. А., Аксёнов Е. Т. Развитие методов лазерной корреляционной спектроскопии для исследования параметров технических и биологических суспензий // Лазеры. Измерения. Информация, 2014 : сб. докладов 24 Междунар. конф. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2014. Т. 1. С. 295–306.
2. Brown W. Dynamic Light Scattering: The Method and Some Applications. Oxford : Clarendon Press, 1993. 735 p.
3. Berne B. J., Pecora R. Dynamic Light Scattering with Applications to Chemistry, Biology and Physics. N.Y. : Willey-Interscience, 1976. 376 p.
4. Спектроскопия оптического смешения и корреляция фотонов / под ред. Г. Камминса, Э. Р. Пайка. М. : Мир, 1978. 584 с.
5. Шадрин Г. А. Фотонная корреляционная спектроскопия с помощью цифрового видео // Вестник кибернетики. 2015. № 4. С. 68–71.
6. Конев А. А., Пальчикова И. Г. Библиотека OpenCV и ее использование в задачах цитофотометрии // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2015. Т. 4, № 2. С. 71–76.
7. OPENCV : официальный сайт библиотеки «компьютерного зрения». URL: <http://opencv.org/> (дата обращения: 11.04.2018).
8. Молоко и молочные продукты. Методы определения жира. ГОСТ 5867-90. М. : Стандартиформ, 2009. 58 с.