

ПАНОРАМНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ: АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСШИФРОВКИ И АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Абруков В.С., Абрукова Л.С., Андреев И.В., Дельцов П.В.

Чувашский государственный университет, Физико-технический факультет,
Чебоксары, Россия

Аннотация. Представлены новые подходы к автоматизации расшифровки и анализа изображений для панорамных оптических методов. В основе подходов лежит метод последовательного окрашивания отдельных частей изображения и использование искусственных нейронных сетей (ИНС). Данные подходы могут использоваться в научных и прикладных исследованиях в различных областях науки и техники.

1. ВВЕДЕНИЕ

Панорамные оптические методы (ПОМ), которые позволяют исследовать объект сразу во всем объеме в течение неограниченного периода времени, представляют особый интерес среди оптических методов диагностики. Они могут использоваться для определения разнообразных интегральных (прямая задача) и локальных (обратная задача) характеристик объекта. К этим методам относятся: методы видеорегистрации излучения и поглощения в различных областях спектра, теневые и интерференционные методы, спекл-интерферометрия, методы малоуглового рассеяния, дифракционные методы, некоторые методы спектроскопии.

Для определения интегральных характеристик объекта ПОМ требуют интегрирования распределения интенсивности в плоскости изображения, для определения локальных характеристик - решения обратных задач оптики. Решение обеих задач начинается с этапа расшифровки изображения: получения дискретного набора значений функции распределения интенсивности в плоскости изображения. Проведение расшифровки, если она выполняется вручную, является очень трудоемкой процедурой. Кроме того, результаты расшифровки часто имеют субъективный характер и сильно зависят от опыта оператора в расшифровке изображения. Всем это ограничивает уровень применения ПОМ в количественных исследованиях. Поэтому для полной реализации широких возможностей ПОМ необходима автоматизация этапов расшифровки изображения и анализа полученных данных. Автоматизация обязательна, если ПОМ используются в системах управления.

В данной работе представлены автоматизированные процедуры расшифровки изображений ПОМ и определения характеристик объекта, основанные на представлении изображения объекта как совокупности черных и белых пикселей, а также процедуры, использующие нейросетевые технологии. Все процедуры представлены на примере интерферометрии.

2. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

2.1. Интерферометрия. Основные задачи и возможности.

Основные параметры изображения, которые обычно определяются в процессе расшифровки интерферограммы следующие [1]: значения функции распределения разности фаз в плоскости интерферограммы, $S(x,y)$; интеграл от $S(x,y)$; координаты геометрических границ объекта и его частей. Подобные данные получают обычно и в процессе расшифровки изображений для других ПОМ.

Эти данные в совокупности позволяют получать самые разнообразные и важные характеристики объекта в случае интерферометрии. Детальные описания возможностей интерферометрии для исследования процессов горения, газодинамики и теплообмена представлены в [1, 2].

2.2. Автоматизация расшифровки и анализа изображения на основе представлении изображения как совокупности черных и белых пикселей.

В данном разделе приведено краткое описание компьютерных программ для автоматизации расшифровки и анализа интерферограмм, разработанных авторами в период с 1998 по 2000 год.

Программа 1. Определение интеграла от $S(x, y)$ методом последовательного окрашивания интерференционных полос.

Изображение интерферограммы рассматривается как совокупность черных и белых пикселей. Интеграл представляется как сумма площадей (в пикселях) интерференционных полос, умноженных на среднее значение $S(x, y)$ («вес» полосы), которое соответствует каждой полосе. Расшифровка осуществляется следующим образом. Оператор одним «щелчком» компьютерной мыши отмечает любое место первой интерференционной полосы, программа окрашивает всю область полосы зеленым цветом и вычисляет число окрашенных пикселей. Интеграл от $S(x, y)$ в области данной полосы пропорционален этому числу. Полученное число умножается на «вес» полосы, который указывается оператором. Все интерференционные полосы обрабатываются таким путем, полученные

результаты суммируются, и получается интеграл от $S(x,y)$ по всей области изображения объекта на интерферограмме. Число щелчков мыши обычно равняется 10 ... 20, в зависимости от сложности интерферограммы. Используются изображения bmp-формата. Пока программа может использоваться только для обработки интерферограмм, полученных при настройке интерферометра на полосу бесконечной ширины.

Программа, одновременно с полным интегралом от $S(x, y)$, определяет также полную площадь изображения объекта, его объем и площадь боковой поверхности (если объект имеет цилиндрическую симметрию), а также периметр изображения объекта.

Примеры применения программы для определения интегральных характеристик процесса зажигания топлива лазерным излучением приведены в [3,4].

Программа 2. Определение «полного набора» значений функции $S(x,y)$.

Программа обрабатывает автоматически все возможные сечения на изображении интерферограммы. Обычно, число сечений - около 300 ... 400 и число отдельных значений $S(x,y)$ около 3000 ... 4000. Эта программа, как и программа N1, использует принцип окрашивания интерференционных полос. В отличие от программы N1, программа N2 определяет координаты границ и середин всех интерференционных полос по все области интерферограммы. Работа оператора заключается только в определении «веса» полосы (порядка 10 ...20 цифр).

Программа требует предварительного редактирование изображения интерферограммы. В процессе редактирования необходимо удалить ненужные области пикселей или отдельные пиксели (шум).

По полученным значениям $S(x,y)$ с помощью стандартных методов решения обратных задач оптики программа определяет поле температуры в пламени [3,4].

2.3. Автоматизация расшифровки и анализа изображения с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС).

2.3.1. Прямая задача интерферометрии: определение интегральных характеристик объекта.

Программа 1. Задача определения интегральных характеристик пламени на основе неполных данных об интерферограмме пламени.

Искомые интегральными характеристиками были: масса пламени, Архимедова подъемная сила, действующая на пламя, количество тепла в пламени. В качестве неполных параметров интерферограммы пламени рассматривались следующие геометрические параметры: максимальная высота и ширина изображения, площадь и периметр.

Neural Net Wizard 1.7 (NNW) представленный BaseGroupLabs (www.basegroup.ru) использовался в работе. Работа NNW основана на алгоритме обратного распространения ошибки. NNW был обучен с помощью различных комбинаций вышеотмеченных геометрических параметров интерферограммы. Они подавались на вход NNW. Интегральные характеристики пламени, определенные заранее для различных видов интерферограмм, подавались на выход NNW.

Двенадцать различных комбинаций геометрических параметров использовались как входные параметры при обучении NNW. Результаты показали, что NNW может достаточно точно определять интегральные характеристики пламени только по геометрическим параметрам изображения (без определения интеграла от $S(x,y)$). Однако, анализ результатов также показывает, что точность зависит от используемой при обучении NNW комбинации входных параметров. Например, если используются значения высоты и периметра изображения, то ошибка меньше, чем в случае, когда используются значения ширины и высоты изображения пламени на интерферограмме.

Преимущество обученной NNW по сравнению с программой 1, представленной в пункте 2.2 состоит в значительно более простой работе оператора. Определение геометрических параметров изображения может быть полностью автоматизировано. Это может позволить использовать NNW для создания полностью автоматизированных систем управления.

Для создания базы данных геометрических параметров изображений и соответствующих им интегральных параметров объекта, необходимой для обучения ИНС необязательно иметь экспериментальные данные. База данных для обучения может быть получена с помощью достаточно простых численных расчетов. Пример такого подхода к созданию базы данных для обучения ИНС приведен ниже для случая решения обратной задачи интерферометрии.

2.3.2. Обратная задача интерферометрии: определение локальных характеристик объекта.

Рассматривалась задача определения значений подынтегрального выражения на основе значений интеграла. Использовалось интегральное уравнение Абеля (случай цилиндрической симметрии объекта). Основная особенность - решение обратной задачи на основе неполной информации о $S(x,y)$. Результаты показали, что в отличие от программы 2, представленной в 2.2. даже одно значение $S(x,y)$ позволяет получить полное распределение температуры в сечении пламени.

Решение осуществлялось следующим образом. Различные функции $S(x)$ – распределение разности фаз в сечении интерферограммы были получены для различных видов подынтегральных функций с помощью прямого численного решения безразмерного уравнения Абеля. Использовались десять различных видов подынтегральных функций, отражающих реальные функции распределения показателя преломления в пламенах и газодинамических потоках. Значения полученных функций $S(x)$, значения радиусов (аргументов подынтегральных функций) и прицельные расстояния (x) подавались вход NNW на этапе обучения. Значения подынтегральных функций подавались на выход NNW.

Результаты обучения показали, что NNW может достаточно точно решать обратные задачи. Максимальная ошибка восстановления подынтегральной функции при тестировании обученной программы не превышала 5 %.

В перспективе, так как определение одного значения $S(x)$ (и его изменения в заданной точке изображения в случае нестационарных объектов) может быть полностью автоматизировано, возможно применение NNW в системах автоматического управления.

Дальнейшие перспективы работы связаны с реализацией возможностей NNW при решении обратных задач для других ПОМ, и применения NNW при решении реальных задач управления процессами в промышленности, например, процессами в двигателях.

Литература

1. Аbruков С.А., Аbruков В.С., Мальцев В.М. Интерферометрия процессов горения// Известия НАНИ Чувашской Республики, 1996, N 6, с. 105 - 124
2. Abruков V.S., Ilyin S.V., Maltsev V.M., Andreev I.V. "Interferometric Technique in Combustion, Gas Dynamic and Heat Transfer Research. New Results and Technologies", CD-ROM Proc. Of VSJ-SPIE98 Int. Conference on Optical Technologies and Image Processing in Fluid, Thermal, and Combustion Flow, AB076, VSJ, Yokohama, 1998 (<http://www.vsj.or.jp/vsjspie/>).
3. Аbruков В.С., Андреев И.В., Кощев И.Г. Оптические методы: автоматизированная обработка данных и возможности применения в фундаментальных исследованиях процессов горения и системах управления. // Химическая физика, 2001, т.20, №5, с.6-11;
4. Abruков V.S., Andreev I.V., Deltsov P.V. Optical Diagnostics – Automatic Data Processing and Application in Fundamental Studies and Control Systems. In: Optical Methods for Data Processing in Heat and Fluid Flow/ Ed. C. Greated, J.Cosgrove and J.M. Buick, Institute of Mechanical Engineering, Professional Engineering Publishing, London, 2002, Chapter 21, pp. 247 – 265.



PANORAMIC OPTICAL METHODS: AUTOMATION OF IMAGE DECODING AND ANALYSIS, USAGE OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Abrukov V., Abrukova S., Andree I., Deltsov P.

Physico-Technical Faculty, Chuvash State University, Cheboksary, Russia

1. INTRODUCTION

Panoramic optical methods (POMs), which allow to investigate object at once in a total volume of object and during the unlimited period, represent the special interest among optical methods of diagnostics. They can be used for determination both various integral and local characteristics of objects [1]. Among them, we can mark the following methods: methods of video registration of radiation or absorption in various spectral bands, shadow methods, interferometric technique, speckle interferometry, methods of small-angle scattering, diffraction methods, some methods of spectrometry.

For the determination of integral characteristics of object, the POMs are demanding the integration of intensity distribution in a plane of the image registration. For the determination of local characteristics of object, the POMs are demanding the solving of inverse problems of optics. Solving of both problems should be preceded by solving the problem of image decoding: obtaining of the discrete set of function of intensity distribution in a plane of the image. The results of decoding often have a subjective nature and depend greatly on the experience of the operator in the image decoding. It limits the level of usage of POMs in the quantitative analysis.

The automation of image decoding and analysis of received data is necessary for the full realization of wide possibilities of POMs and this must ensure also the accuracy and reliability of the results. The automation is obligatory, if panoramic optical methods are planned to use in control systems.

At present paper, the automated procedures of POMs image decoding and object characteristics calculation based on presentation of object image as a collection of black and white pixels as well as ones based on artificial neural networks technologies are presented. They are presented on example of interferometry.

2. THE BASIC RESULTS

2.1. Interferometry. Basic tasks and possibilities.

The main data that are determining during interferogram decoding are the following [1]: the phases difference distribution on the interferogram, $S(x,y)$; the integral $\int S(x,y)dx dy$; co-ordinates of geometric borders of the object and its parts.

The data like above are obtained usually during image decoding for other POMs.

These data permit to obtain very various and important characteristics of object in the case of interferometry. Detailed description of possibilities of interferometry for combustion, gas dynamic and heat transfer research is presented in [1].

2.2. Automation of Image Analysis.

Brief description of computer programs for automation of decoding and analysis of interferograms developed by authors are presented in this section.

Program N1. The program of the determination of the integral $\int S(x,y)dx dy$ by means of the painting of the interference bands.

This method processes an interferogram image as a collection of black and white pixels. The integral is represented as a sum of the square (in pixels) of black and white interference bands multiplied by the average value of $S(x,y)$ (weight of band.), which correspond to each band. The decoding is made as follows. Operator with one mouse click marks any spot of the concrete interference band; the computer paints the area of that band with the green color and automatically computes the number of painted pixels. This number is proportional to the integral of the band. The obtained number is multiplies by weight of band, which is indicating by the operator. All interference bands on the interferogram are processed by above-mentioned way and the results obtained are summarized. The number of mouse clicks usually equals 10 ...20. The interferogram image of the bmp-format (monochrome variant) is used. A calculation needs a little preliminary image editing. Recently the program could only be used for calculation of interferograms obtained at customization of an interferometer on a band of infinite width.

The program also allows determination the square of the object image as a whole, the object volume and the square if its side surface (if an object has a cylindrical symmetry), as well as the object image perimeter, by one mouse click.

Program N2. The program of the automatic determination of the full function $S(x,y)$.

The program allows to process automatically all possible cross-sections on the interferogram image. Usually, the number of cross-sections is near 300 ...400 and number of separate values of the $S(x,y)$ near 3000 ...4000. This program, as program N1, uses the principle of painting the interference bands. Unlike program N1, program N2 determines no square of band, but co-ordinates the borders and middle of all the

interference bands on all its length. The work of an operator consists of indicating the band number (usually about 10.20 numerals).

The program N2 demands preliminary interferogram image editing. During editing, it is necessary to remove the unnecessary areas of pixels or separate pixels (noise).

The examples of usage of the programs 1 and 2 are shown in [2].

2.3. Using of Artificial Neural Networks Technologies.

2.3.1. Direct task of interferometry: Determination of integral characteristics of object.

Program N3. One of the problems of the work, which we have now, is learning of the possibilities of neural networks usage for determining the integrated characteristics of a flame on the basis of incomplete parameters of flame interferograms. The required integral characteristics of a flame are: the mass of a flame, the Archimedes lifting force acting on a flame, and quantity of heat in a flame. As incomplete parameters of the interferometric images, the following geometrical parameters of the interferometric image of a flame are used: maximal height and width of the image, square and perimeter.

The Neural Network Wizard (NNW) 1.7 of BaseGroup Corporation (www.basegroup.ru) was used in our work. This program works based on back propagation algorithm. The NNW was trained with the help of various combinations of the above-stated geometrical parameters of the interferometric image. They were installed on an input of an NNW. The integral characteristics of a flame were installed on an output of the NNW. It was necessary to find what combinations of input values give the more precise results.

Twelve various combinations of the geometrical parameters were used as input data at training of the NNW. The results show that the NNW can determine the integral characteristics of a flame successfully enough. However, the analysis of results also shows that the result of the NNW operation considerably depends from the combination of input data that is used at training. For example, if the combination of values of height and perimeter of the image is used the error is small. The error is higher if the combination of values of width and height of the image are used at training.

The advantages of NNW consist of considerably more simple operation of the operator and the much greater speed of operation of the program. Determination of square, perimeter, height and width are the operations, which can be completely automatized. It presumes to use the program at the development of automatic control systems.

2.3.2. Inverse problem: Determination of distribution of local characteristics of object.

The task of determination of integrand meanings on basis of integral meanings was considered. Abel integral equation (the case of cylindrical symmetry) was examined. The main feature is the solving of an inverse problem on the basis of incomplete data about the phase difference distribution function (incomplete data of integral meanings) in an interferogram plane. It can be used the only meaning of the integral. The only meaning of integral allows to restore the all meanings of the integrand.

The solving was carried out as follows. The integrals for different kinds of integrands were received by means of the direct solving of Abel equation. Ten various kinds of integrands, reflecting the real-life kinds of functions of distribution of thermodynamic parameters in flames and gas dynamic flows were used. The meanings of integrals, the meanings of the radiuses (the arguments of integrand) and aiming distances were installed on an input of NNW on a stage of the NNW training. The meanings of integrand were installed on an output of the NNW.

The results of training show, that NNW can solve the inverse problems for a case of cylindrical symmetry. The NNW testing shows that the maximum error of restoration of integrands not exceeds 5%.

In the long term, since the determination of one meaning of integral (and their changes in time in case of the non-stationary objects) can be completely automated, the applying of NNW in automatic control systems is possible.

The further perspectives of the work are connected with the realization of NNW opportunities while solving of inverse problems for other panoramic optical methods, and for their application while solving of practical tasks of industry processes control.

REFERENCE

1. Abrukov V.S., Ilyin S.V., Maltsev V.M., Andreev I.V. "Interferometric Technique in Combustion, Gas Dynamic and Heat Transfer Research. New Results and Technologies", CD-ROM Proc. Of VSJ-SPIE98 Int. Conference on Optical Technologies and Image Processing in Fluid, Thermal, and Combustion Flow, AB076, VSJ, Yokohama, 1998 (<http://www.vsj.or.jp/vsjspie/>)

2. Abrukov V.S., Andreev I.V., Deltsov P.V. "Optical Diagnostics – Automatic Data Processing and Application in Fundamental Studies and Control Systems", Optical Methods for Data Processing in Heat and Fluid Flow/ Ed. C. Greated, J.Cosgrove and J.M. Buick, Institute of Mechanical Engineering, Professional Engineering Publishing, London, Chapter 21, pp. 247 – 265, 2002.