# Метод автоматической обработки экспериментальных данных интерферограмм

# И. К. Губаревич

# Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно, Беларусь; e-mail: i.gubarevich @grsu.by

Показана возможность автоматизации методики обработки данных, полученных при использовании высокочувствительных оптических методов исследования лазерно-плазменного воздействия на материалы. Данная методика средствами MATLAB позволяет достичь положительного эффекта, заключающегося в значительной экономии ресурсов и времени, выделяемых на обработку данных, полученных в ходе эксперимента, а также существенно повысить точность конечного результата.

Ключевые слова: интерферограмма, плазма, цифровая обработка изображений.

## Введение

Процесс регистрации быстропротекающих динамики процессов в облаке. образующемся у поверхности облучаемого пароплазменном образца образования плазмы в ходе воздействия на него лазерного импульса, предусматривает запись и обработку интерферограмм [1]. Следующими этапами являются вычисление по изображению величины смещения интерференционных полос от невозмущенного состояния, расчет изменения показателя преломления с помощью интегрального уравнением Абеля [2] и вычисление требуемых параметров плазмы. Подобные исследования довольно трудоемки, т.к. включают в себя несколько этапов: запись быстропротекающего процесса образования плазменного облака вблизи поверхности образца, оценку влияния на него внешних факторов, изучение рельефа поверхности кратера, образовавшегося на поверхности образца.

## Оптимизация расчетов

Математические расчеты можно автоматизировать, использовав возможности пакета MATLAB и его расширений. Полученное в ходе эксперимента изображение интерферограмм считывается из соответствующего файла и помещается в массив данных MATLAB для возможности дальнейшей обработки средствами расширения Image Processing Toolbox (рис. 1, a). Прочитанное из файла изображение имеет формат представления данных uint8. Далее путем преобразования RGB составляющих пикселов оригинала в соответствующие им значения яркости, создается черно-белое полутоновое изображение интерферограммы. Затем происходит настройка оптимальной яркости и контрастности изображения (рис. 1, б). Для подавления шумов изображение фильтруется и сглаживается. По умолчанию используется сглаживающий фильтра Гаусса с заданным стандартным отклонением распределения (рекомендуемое значение величины равно 2) (рис. 1, в). Далее изображение преобразуется в бинарное методом отсечения по порогу яркости (рис. 1, г). Пикселы результирующего бинарного изображения принимают значения логического 0 (черный цвет), если яркость соответствующих пикселов исходного изображения меньше заданного порога, и значения логической 1 (белый цвет), если яркость соответствующих пикселов исходного изображения больше либо равна заданному порогу. Порог задается в диапазоне от 0 до 1 и по умолчанию автоматически вычисляется с использованием метода Оцу [3]. При необходимости значение порога может быть задано вручную.



Выбор отдельной полосы на интерферограмме осуществляется путем указания курсором мыши любой точки, находящейся в области полосы. После указания программе интересующей полосы происходит обнаружение и построение кривой, проходящей через центр полосы (равноудаленной в каждой точке от левого и правого краев полосы) и тем самым описывающей ее положение на интерферограмме [4]. Для этого изображение полосы разбивается на ряд строк шириной в один пиксель и вычисляется центр каждой строки. Координаты центров строк записываются в массив, и по ним строится соответствующая кривая. Однако из-за неоднородности и зашумленности исходного изображения построенная таким образом кривая в отдельных точках может неадекватно отражать реальный центр на протяжении всей полосы, уходя в области, полученные из-за искажений краев полосы. Для минимизации полученных случайных отклонений кривая сглаживается средствами расширения MATLAB Curve Fitting Toolbox.

Для получения численных значений смещение полосы от невозмущенного состояния, необходимо получить прямую описывающую положение полосы в данном состоянии. Для этого соединяются точки, полученные путем вычисления среднего значения координат десяти первых и последних центров строк изображения выбранной полосы (рис. 2).



Рис. 2. – Интерферограмма с выбранной для определения смещения от невозмущенного состояния светлой полосой.

Значения смещения в пикселях определяется как длина перпендикуляра, опущенного их точки кривой, описывающей текущее положение полосы к прямой описывающей положение полосы в невозмущенном состоянии. Сдвиг полосы в пикселях преобразуется в число полос, на которое сместилась интерференционная картина при образовании неоднородности. Для этого сдвиг полосы в пикселях делится на среднюю ширину полосы в пикселях. Средняя ширина полосы определяется как среднее расстояние между двумя соседними светлыми либо темными полосами.

Смещение интерференционных полос на интерферограмме и изменение показателя преломления связаны между собой интегральным уравнением Абеля [4],

$$\Delta k(x, y) = \frac{2}{\lambda} \int_{r=y}^{R} \left[ n(x, r) - n_0 \right] \frac{r \, dr}{\sqrt{r^2 - y^2}},\tag{1}$$

где  $r = \sqrt{z^2 + y^2}$ . Это уравнение имеет точное решение:

$$n(x,r) - n_0 = -\frac{\lambda_l}{\pi} \int_r^R \frac{dk(x,y)/dy}{\sqrt{y^2 - r^2}} dy.$$
 (2)

Для численного решения уравнения Абеля применяется один из наиболее простых и наглядных методов, а именно метод ступенчатой аппроксимации, который часто называют методом Пирса.

#### Заключение

Таким образом, положительный эффект предложенной методики обработки интерферогрмм с помощью пакета и его приложений заключается в значительной экономии ресурсов и времени, выделяемых на обработку данных экспериментов, при этом получается существенно повысить точность конечного результата. Особенно это ощутимо при обработке записи скоростной кинофотосъемки, при которой требуется одновременная обработка десятков отдельных кадров. Использование пакета MATLAB позволяет не только обрабатывать изображение интеферограмм с целью устранения шумов и неоднородностей т. е. повышать их качество, но и производить расчеты параметров исследуемых процессов, визуализировать результаты с возможностью моделирования картины быстропротекающих процессов.

## Литература

- 1. Васильев, С. В., Иванов А. Ю. Влияние электрического поля на приповерхностные процессы при лазерной обработке материалов. Квантовая электроника. 2012. Т. 42, № 2. С. 170–174.
- 2. Jackson, S. L., Shumlak U. Abel inversion of a holographic interferogram for determination of the density profile of a sheared-flow Z pinch. Review of scientific instruments. 2006. Vol. 77, № 8. P. 10.
- 3. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics. 1979. Vol. 9, №. 1. P 62–66.
- 4. Островский Ю. И., Бутусов М. М., Островская Г. В. Голографическая интерферометрия. Монография. Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1977. 336 с.

# The method of automatic processing of experimental data of interferograms

## I. K. Gubarevich

## Yanka Kupala State University of Grodno, Belarus; e-mail: i.gubarevich @grsu.by

The method of automated processing of interferograms obtained during laser-plasma processing of materials by means of MATLAB is presented. The presented method allows to achieve a positive effect, which consists in significant saving of resources and time allocated for processing data obtained during the experiment, and significantly improve the accuracy of the final result

Keywords: interferogram, plasma, digital image processing.