



УДК 681.723.26

Д.А. Орлов¹, Е.А. Неверова¹, А.А. Козырев²

¹ Московский энергетический институт (технический университет), Россия,
111250, Москва, Красноказарменная ул., 14, E-mail: elneverova@yandex.ru

² ОАО «НПК «СПП», Россия,
111024, Москва, ул. Авиамоторная, 53, E-mail: dmi-tree@yandex.ru

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ПОЛОС ПРИ ИХ ВРАЩЕНИИ

Предложен алгоритм обработки изображения интерференционной картины, создаваемой датчиком угла на основе периодического растра и фотоприемной матрицы. Для измерения углов применен метод взвешивания и наименьших квадратов. Дана оценка ошибки определения угла наклона полос.

МЕТОД ВЗВЕШИВАНИЯ, МЕТОД НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ, ФОТОПРИЕМНАЯ МАТРИЦА

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Алгоритм обработки изображения основан на измерении угла наклона интерференционных полос периодического растра, закрепленного на оси объекта. Для регистрации изображения используется фотоприёмная матрица. Изображение на матрице представляет собой чередование темных и светлых полос. Значение угла вычисляется при обработке всех пикселей изображения.

Малая погрешность измерений угла обеспечивается за счёт использования большого количества точек в измерительном массиве, которое определяется числом пикселей фотоприёмной матрицы. Ошибки измерений связаны с собственными шумами матрицы и неоднородностями в оптическом тракте. Отсутствие объектива и применение методов цифровой фильтрации при обработке изображения, сводят влияние искажений в оптическом тракте к минимуму. Быстродействие системы обусловлено длительностью импульса подсветки, а частота измерения угла равняется частоте считывания кадра.

СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Для определения точности измерения датчика углового положения была собрана экспериментальная установка. Установка смонтирована на основании и содержит светодиод белого света, фотоприёмную матрицу, число элементов которой составляет 1024×1280 при размере пикселя $5,2 \times 5,2$ мкм. На расстоянии 2 мм от матрицы размещен оптический растр. Расстояние от оптического растра до светодиода составляет 45 мм. Растр представляет собой прозрачную пластину с нанесенными непрозрачными полосами шириной (100 ± 1) мкм и периодом (200 ± 1) мкм. Растр закреплен на моторизованной платформе. Моторизованная платформа управляется от компьютера и имеет диапазон вращения 360° , её угловое положение выводится на мониторе с дискретом 1 угл. сек.

При освещении оптического растра светодиодом изображение, спроецированное на фоточувствительной поверхности матрицы датчика, представляет собой параллельные, периодически чередующиеся темные и светлые полосы равной толщины (рис. 1а). Вследствие некоторого расстояния между фотоприёмной матрицей и оптическим растром

границы полос на изображении оказываются размытыми. На рис. 1б показано сечение полос по строке, форма которого является близкой к синусоидальной.

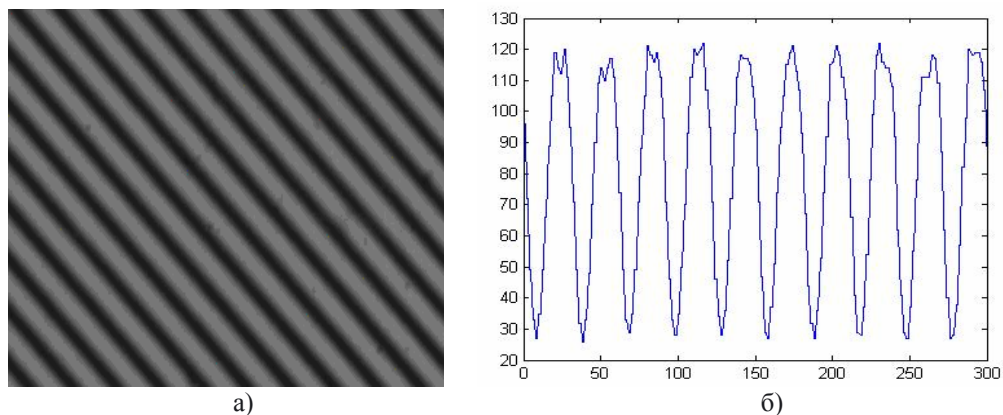


Рис. 1. Изображение, спроецированное на фоточувствительной поверхности матрицы: а) фрагмент изображения, размер 250×300; б) сечение фрагмента изображения по строке

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ПОЛОС

Для определения угла наклона рассматривалось несколько алгоритмов. Алгоритмы дают разные значения погрешности измерения угла наклона. Проведено сравнение погрешностей определения угла наклона и определен наилучший алгоритм.

Первый алгоритм заключается в следующем. Выбирается порог освещенности, и выполняется бинаризация изображения по выбранному уровню освещенности. Пикселям, значение освещенности которых больше выбранного порога, присваивается значение 1, а пикселям, значение которых меньше порога, – 0. Совокупность пикселей со значением 1, является светлой полосой. Период полос в строке определяется как расстояние от начала одной полосы до начала следующей полосы. Далее по всему изображению определяются средние периоды полос по строкам T_x , начиная с первого элемента первой строки по последний элемент и далее построчно, и по столбцам T_y , начиная с первого элемента первого столбца по последний элемент и далее по столбцам. Угол наклона полос определяется по формуле (1)

$$\alpha = \arctg(T_y / T_x). \quad (1)$$

Погрешность определения угла наклона данного алгоритма составляет $\pm 2'$. Достоинством метода является быстрдействие. Недостаток алгоритма заключается в том, угол наклона определяется с большой погрешностью, когда полосы располагаются в интервале углов $(0 \pm 10)^\circ$ и $(90 \pm 10)^\circ$.

Во втором алгоритме период полос в строке определяется как расстояние между центрами светлых полос. Центр светлых полос определяется методом взвешивания [1]. Аналогично предыдущему алгоритму определяются средние периоды полос по строкам T_x и по столбцам T_y , и находится угол наклона полос.

Погрешность определения угла наклона данного алгоритма составляет $\pm 1,5'$. Недостаток заключается в том, что трудно определить угол, когда полосы располагаются в интервале углов $(360 \pm 10)^\circ$ и $(90 \pm 10)^\circ$.

В следующем алгоритме уделяется внимание поиску угла наклона полос в горизонтальном и вертикальном их положении. Методом взвешивания определяются координаты центров светлых полос построчно и по столбцам и сохраняются в два массива. Полученные массивы с координатами центров светлых полос сравниваются по общему числу элементов в массиве. Выбирается тот массив данных, число элементов в котором больше. Другой массив с координатами центров полос не используется.

К выбранному массиву с координатами центров полос применяется алгоритм связанности. Из всего массива полученных координат выделяются координаты только тех точек, которые принадлежат одной полосе. По координатам центров полос, лежащих на одной прямой, методом наименьших квадратов находятся углы наклона полос [2].

По найденным углам строится гистограмма – распределение числа углов от их значения, по гистограмме определяется интервал с наименьшим числом углов меньше определенного уровня. После этого угол наклона полос определяется как среднее всех углов.

Данный алгоритм определяет весь диапазон углов. Погрешность определения угла наклона составляет $\pm 1'$. Погрешности измерений связаны с шумом матрицы, а также с неодинаковым расстоянием между пикселями в строках и столбцах. Расстояние между строками пикселей больше на 1%, чем расстояние между столбцов пикселей.

Последний алгоритм был усовершенствован. Устранение ошибок измерения производилось с использованием методов цифровой фильтрации [3].

Рассмотрим подробно алгоритм определения угла при обработке сечений по строкам. Центр масс полосы p вдоль строки j можно определить по формуле:

$$\hat{x}_{p,j} = \frac{\sum_{i=k}^{k+l} (i \cdot I_{i,j})}{\sum_{i=k}^{k+l} (I_{i,j})}, \quad (2)$$

где $I_{i,j}$ – значение освещенности пикселя с координатами i, j ; k и l – координата начала полосы и ширина полосы, определённые по уровню порога, соответственно.

При обработке всего кадра по формуле (2) каждой строке соответствует q значений координат центров масс пересекаемых ею полос. Результатом обработки всего изображения является $(q \cdot m)$ значений координат, где m – число строк на фотоприёмной матрице.

Используя алгоритмы связанности, из всего массива полученных координат выделяются координаты только тех точек, которые принадлежат одной полосе. На этом этапе возможна сортировка и отбрасывания сбойных полос, возникающих на оптических дефектах раstra и фотоприёмной матрицы. Дальнейшая обработка проводится независимо для каждой полосы.

Найденные координаты, принадлежащие полосе p , используются для определения угла её наклона методом наименьших квадратов:

$$A_p = \frac{\sum_{j=1}^m (x_j - \bar{x})j}{\sum_{j=1}^m (x_j - \bar{x})^2}, \quad (3)$$

$$\alpha_p = \arctg(A_p), \quad (4)$$

где A_p – коэффициент, характеризующий угол наклона прямой, проведенной вдоль полосы с минимальным отклонением от её середины; x_j – координата центра масс полосы p вдоль строки j ; \bar{x} – среднее значение всех используемых при вычислении координат центров масс полосы p ; α_p – угол наклона прямой в радианах, соответствующий углу наклона p -ой полосы.

После определения угла наклона всех полос применяются методы цифровой фильтрации для отбрасывания ошибок измерений [4, 5]. Критерием фильтрации могут задаваться такие параметры, как длина линии, кривизна линии, ошибка определения угла и т.д. После фильтрации полученные значения углов усредняются по всему изображению.

При оценке ошибки пренебрежём влиянием дефектов и неоднородностей в оптических элементах системы. Тогда оценку ошибки измерений можно произвести исходя из того, что для измерения угла достаточно значений координат двух точек, а измеренный угол можно представить в виде среднего значения элементарных двухточечных измерений. В этом случае ошибку измерения угла можно определить статистическими методами, применяя методы оценки ошибки косвенных измерений [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Для оценки точностных параметров экспериментальной установки проводилось вычисление угла по последнему изложенному выше алгоритму при одновременном его измерении положения поворотной платформы.

На рис. 2 представлена зависимость погрешности определения угла наклона полос от их углового положения после вычитания систематической составляющей. По графику зависимости определена ошибка измерений угла в эксперименте, которая составляет $\pm 0,5'$.

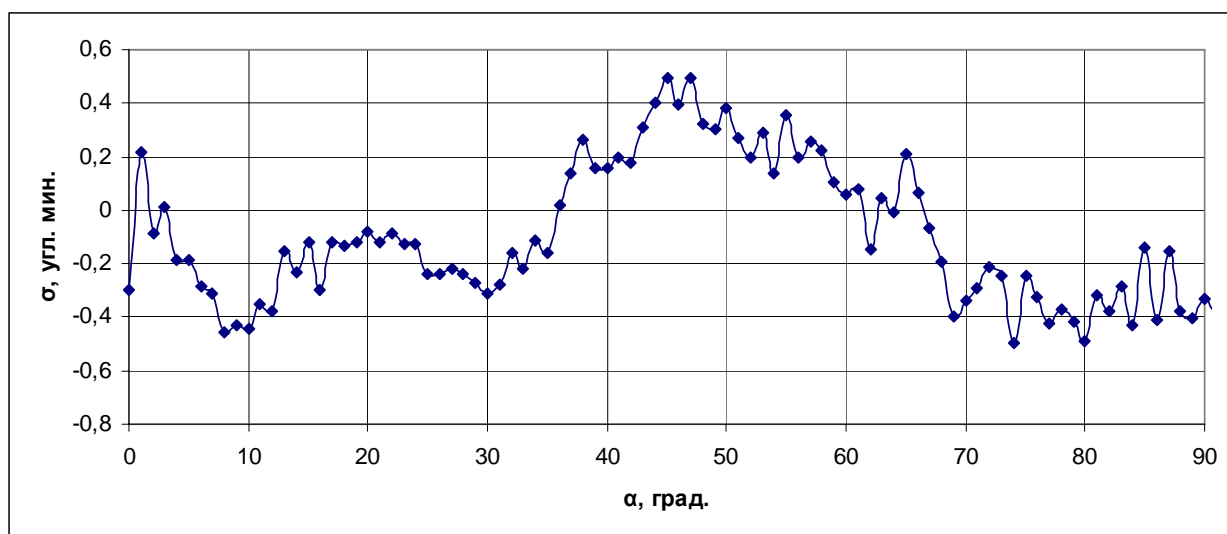


Рис. 2. Зависимость погрешности определения угла наклона полос от их углового положения, устанавливаемого моторизованной платформой, после вычитания систематической составляющей

Проведенные экспериментально оценки показывают, что предложенный алгоритм измерения позволяет определять углы наклона полос с погрешностью вплоть до единиц угловых секунд. При измерениях уровень ошибки определения углового положения раstra составил не более $0,5'$.

Необходимо подчеркнуть, что при определении ошибки измерений угла не были учтены шумы, вносимые размерами пикселей фотоприемной матрицы и неодинаковым расстоянием между пикселями в строках и столбцах [1]. Эти факторы требуют дополнительного рассмотрения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят руководство ОАО «НПК «СПП» в лице Дмитриева С.В. за оказанную помощь в создании макета установки и обсуждение результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савченко Е.В., Разумов Л.А., Ринкевичюс Б.С. Определение координат центра гауссова пучка с помощью матричного приемника методом взвешивания // Измерительная техника. 2003. № 12. С. 11 – 14.

2. Неверова Е.А., Орлов Д.А. Определение положения центра лазерного пучка при превышении динамического диапазона матричного приемника // Измерительная техника. 2010. №10. С. 39 – 42.
3. Неверова Е.А., Орлов Д.А. Предварительная калибровка КМОП InGaAs матрицы для повышения качества изображения // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. XVI Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. М: Изд. дом МЭИ, 2010. Т. 1. С. 186.
4. Кетков Ю.Л., Кетков А.Ю., Шульц М.М. MATLAB 7: программирование, численные методы. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 752 с.
5. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера. М. Физматлит, 2001.
6. Евтихиева О.А., Расковская И.Л., Ринкевичюс Б.С. Лазерная рефрактография. М.: Физматлит, 2008.

D.A. Orlov¹, E.A. Neverova¹, A.A. Kozyrev²

¹ *Moscow Power Engineering Institute (technical university), Russia,
111250, Moscow, Krasnokazarmennaya st., 14, E-mail: elneverova@yandex.ru*

² *OAO «NPK «SPP», Russia,
111024, Moscow, Aviamotornaya st., 53, E-mail: dmi-tree@yandex.ru*

AN ALGORITHM FOR IMAGING THE INTERFERENCE FRINGES IN THEIR ROTATION

An algorithm for imaging the interference pattern has been proposed. For measuring weighting method and least squares has been used. The estimation error of measurement of the angle has been given.

WEIGHTING METHOD, SQUARES METHOD, PHOTODETECTOR MATRIX.