

УДК 681:378

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРИБОРА КОНТРОЛЯ МАРОК
ЦИФРОВОГО АВТОКОЛЛИМАТОРА

А.А. Литвинович

Рассматривается создание алгоритма автоматизации операций контроля характеристик марок для цифрового автоколлиматора, на основе созданного алгоритма разработано программное обеспечение для прибора контроля.

Ключевые слова: цифровой автоколлиматор, контроль марок.

Марки предназначены для новых цифровых автоколлиматоров, разрабатываемых в ОАО «ЛОМО», у которых унифицированы алгоритм обработки изображений, методика измерения углов, электронные составляющие (включая ПЗС-матрицу). Определение позиции марки происходит путем имитации сканирования щелью, размер которой определяется размером пикселя матрицы цифрового коллиматора, т.е. каждая строка (либо столбец) изображения с матрицы суммируется в массиве-накопителе, и определение координат марки производится по данным одномерного массива для каждой координаты. После имитации сканирования изображения поочередно в двух направлениях оба массива-накопителя содержат в себе распределение нормированного коэффициента пропускания (НКП). Для правильной интерпретации данных цифровым коллиматором распределение НКП марки должно иметь форму равнобедренного треугольника, либо равнобокой трапеции с верхним основанием минимального размера, что должно обеспечиваться конфигурацией марки.

Существует три типоразмера марок (100, 250, 1000 мкм) для трех версий цифровых коллиматоров. На марки (и на содержащиеся в них структуры, в частности) заданы определенные требования, которые необходимо контролировать в автоматизированном режиме. Соответственно для контролеров ОТК нужно создать прибор контроля и программное обеспечение (ПО), которое максимально упростит процесс контроля характеристик изготовленных марок. В состав прибора контроля входят микроскоп ПОЛАМ Р-312 со светодиодным осветителем, цифровая камера EVS VAC-135-USB, устройство позиционирования марки и персональный компьютер; из дополнительной оснастки – объект-микрометр, окуляр-микрометр МОВ-1-16^х. Алгоритм обработки изображения марки, лежащий в основе ПО, должен строиться по модульному принципу и включать в себя набор фильтров, которые могут использоваться при необходимости. В качестве предобработки могут применяться инверсия изображения (при контроле фотошаблонов, так как те имеют обращенные цвета) и учет фона. Изображение марки обрабатывается путем имитации сканирования, в результате чего получаются два массива с распределениями НКП. Затем производится определение коэффициента асимметрии (КА), положения центров тяжести (ЦТ) и медиан по распределениям, а также производится расчет области существования (ОС) и привязка положений ЦТ и медиан к ее центру.

Из требований чертежа оптическая плотность темного фона должна быть не ниже 2,5, что при пересчете на НКП равняется 0,032 и менее, следовательно, это значение не может быть верно измерено с помощью микроскопа и телекамеры, собственные шумы которой находятся на уровне 0,03–0,11 от насыщения матрицы при отсутствии какой-либо засветки. Исходя из этого, для измерения оптической плотности необходимо использовать микрофотометр, а для учета фона воспользоваться операцией сегментации по нижнему порогу [Л]:

$$seg(x,t) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq t, \\ x, & \text{при } x > t, \end{cases}$$

где x – интенсивность пикселя; t – пороговое значение интенсивности, ниже которого интенсивность можно считать нулевой. Сегментация проводится над каждым пикселем захватываемого изображения, в результате чего значения интенсивности фона исключаются из дальнейших вычислений. Следующий этап после предобработки – имитация сканирования. Эту операцию по направлению одной оси можно описать следующей формулой:

$$R_i = \sum_{k=0}^N I_{i,k},$$

где $I_{i,k}$ – исходное изображение, рассматриваемое как массив; i, k – порядковые номера элементов массивов; N – количество элементов в строке (столбце) исходного изображения; R – результирующий массив, который впоследствии нормируется и его можно считать распределением НКП, дальнейшая работа по определению характеристик проводится с ним.

ОС определяется последовательностью ненулевых элементов распределения НКП, исходя из того, что на одном кадре, полученном на приборе контроля, будет присутствовать только один объект. Такое решение позволяет упростить алгоритм и облегчить расчет ОС, а также отсеивать марки с прокольными пятнами, располагающимися вблизи структуры.

Расчет центра тяжести распределения НКП производится по формуле

$$C = \frac{\sum_{i=0}^N R_i \cdot i}{\sum_{i=0}^N R_i}.$$

Если рассматривать распределение НКП как распределение случайной величины, то к нему можно применить математический аппарат теории вероятности, в частности, медиану распределения случайной величины. В данном случае медиана определяется с помощью циклического прохода по массиву, содержащему распределение НКП, и расчета значения разностей площадей по формуле

$$M_k = \left| \sum_{i=0}^{N-k} R_i - \sum_{i=N-k}^N R_i \right|.$$

Положение медианы распределения будет определяться порядковым номером k , минимального элемента M_k . Численное значение КА распределения НКП в дискретном виде можно рассчитать как

$$K = \sum_{i=0}^{N-1} (R_i - R_{i+1}).$$

При значении КА, не превышающем 0,25, распределение можно считать симметричным. Благодаря привязке ЦТ и медианы к центру ОС их координаты становятся смещениями, следовательно, они также могут характеризовать симметрию распределения НКП, а также позволяют производить сравнительную оценку. Идеальным результатом будут значения, равные нулю, на практике центры расходятся на небольшие величины, которыми можно пренебречь. При наличии деформации в структуре марки смещения ЦТ и медианы возрастают, что может говорить о непригодности марки для использования.

Разработанное ПО позволяет как производить захват изображения с камеры, так и загружать заранее полученные изображения. Предусмотрен специальный функционал, позволяющий проводить градуировку осей по изображению объект-микрометра в автоматизированном режиме. Градуировка производится перед каждой отдельной серией измерений и при смене объективов. В качестве дополнительных функций введены: возможности отображения сетки поверх захватываемого изображения, что помогает правильно позиционировать марку; пакетная обработка заранее полученных изображений; создание файлов-отчетов с настраиваемым видом, что позволяет свести к минимуму рутинные операции подготовки протоколов контроля ОТК.

ПО было разработано на Java (язык и платформа) с использованием графической библиотеки из Processing (чтение изображений и визуализация данных), набором библиотек GSVideo (захват изображений с камеры) и библиотеки создания пользовательского интерфейса Swing. Прибор контроля и разработанное для него программное обеспечение внедрены в процесс производства марок в ОАО «ЛОМО».

[Л]. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.

Литвинович Александр Александрович – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, litvinovich.alexander@gmail.com