

Одним из видов ошибок, вносимых дискретизацией, является искажение длины кривой. В среднем порождающая дуга кривой длиной $m(l_c)$ в процессе дискретизации заменяется элементом шкалы длиной $m(l_m) = \sum_{i=0}^{k-1} P(i) l_{m_i}$.

Математическое ожидание длины линии модели равно $m(L_m) = m(l_m)m(N) \approx m(L)m(l_m)/m(l_c)$. Так, для метода квадратных окрестностей при равномерном распределении угла наклона касательной $m(L_m) \approx 1.273m(L)$.

В таблице приведены рассчитанные средние значения для четырех методов дискретизации: метода квадратных окрестностей, метода Фримена [4], метода оценки косоугольных проекций [1] со шкалой из восьми элементов и метода пересечения контрольного образца [9] со шкалой из шестнадцати элементов. В последнем случае область притяжения представляет собой квадрат со стороной $4T_s$. Для всех методов точки отсчета размещаются в узлах квадратной решетки. Расчет проводился для случая равномерного распределения угла наклона касательной.

Рассмотренный метод позволяет оценить не только средние значения, но и другие вероятностные характеристики дискретных моделей и кодовых описаний, например распределения вероятностей, дисперсии и т. п.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кипоть В. Л. Дискретизация плоских кривых. [Реф. опубл. в библиогр. указателе ВИНТИ «Депонированные рукописи», 1978, № 7, б. о. № 89]. Рукопись деп. в ВИНТИ 9.01.78, № 118.
2. Поляков В. Г., Переверзев-Орлов В. С. Электронные системы следящей развертки.— М.: Энергия, 1968.
3. Басов Е. П., Абрамов В. Н. Графические регистрирующие устройства ЕС ЭВМ.— М.: Статистика, 1977.
4. Freeman H. Computer Processing of Line-Drawing Image.— Computing Surveys, 1974, vol. 6, N 1.
5. Розенфельд А. Распознавание и обработка изображений.— М.: Мир, 1972.
6. Кенделл М., Моран П. Геометрические вероятности.— М.: Наука, 1972.
7. Яглом А. М., Яглом И. М. Вероятность и информация.— М.: Наука, 1973.
8. Поляков В. Г. Естественная дискретная модель рисунка, некоторые асимптотические ее свойства и предсказание хода следящей развертки.— ПИИ, 1970, т. 6, № 3.
9. Miermont J. M. Etude Algébrique et Programmation de la Discretisation de Figures Plane.— In: Thèse le grade de docteur de troisième cycle informatique. Grenoble: USM, 1971.

*Поступила в редакцию 15 сентября 1978 г.;
окончательный вариант — 3 декабря 1979 г.*

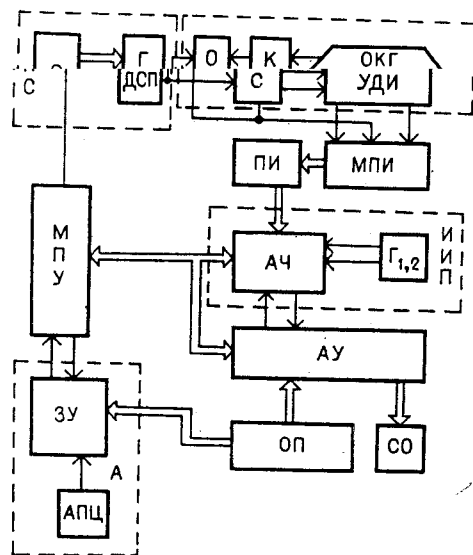
УДК 681.786-52 : 62.426

В. К. АЛЕКСАНДРОВ, Ю. Н. БИЕНКО, В. Н. ИЛЬИН

(Минск)

ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ И АНАЛИЗА ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОТЯЖЕННЫХ МИКРООБЪЕКТОВ

В ряде отраслей точного приборостроения (электронная, радиотехническая, электротехническая, часовая и др.) необходимы автоматизированные измерительно-информационные системы (ИИС) для производственного контроля и автоматизации точностных исследований протяженных микрообъектов, таких как микропровода, микроспираль, нити, часовые



волоски и другие. Создание подобных систем требует изысканий для автоматизации точностных исследований протяженных микрообъектов, разработанная на основе идей, изложенных в [1—5]. Экспериментальный образец ИИС предназначен для контроля и анализа точности размеров поперечного сечения (диаметра и овальности) микропроволоки, используемой для тел накала осветительных приборов [6].

Структурная схема ИИС (см. рисунок) включает в себя модули системной части и процессорные модули.

Системная часть состоит из модуля сбора информации (МСИ), модуля преобразования информации (МПИ), первичного измери-

теля (ПИ), модуля управления перемоткой и сканатором (МУПС) и средств отображения информации (СО).

МСИ содержит оптический квантовый генератор (ОКГ), коллимирующую систему (К), увеличивающую систему (УС), интерферометр (И), устройство дублирования изображения (УДИ) и сканатор (С) и служит для приема, формирования и передачи оптических изображений измеряемых объектов (О).

Интерференционно-теневой способ, положенный в основу оптического устройства МСИ, предусматривает совместное использование раздвоенного теневого изображения микрообъекта и изображения интерференционного поля одного масштаба.

Раздвоенным полуконтрастным элементам изображения микрообъекта придается встречное движение, при котором элементарному смещению изображения микрообъекта соответствует такое же смещение интерференционных полос. Благодаря этому исключается погрешность масштабирования и возникает возможность уменьшения коэффициента интерполяции при число-импульсном квантовании периода интерференционных полос.

Повышение точности отсчета границ микрообъекта достигнуто использованием достоинств метода раздвоения изображения, обладающего высокой разрешающей способностью за счет резкого изменения освещенности на соответствующей краю микрообъекта границе касания полуконтрастных изображений [7].

В качестве УДИ использована оптическая схема окулярной головки ОГУ-22, расщепляющей контрастное изображение на два полуконтрастных, причем одно из них прямое, а другое обратное.

МПИ предназначен для преобразования оптической информации в электрические сигналы. Картина раздвоенного изображения микрообъекта и интерференционное поле считываются фотоприемниками. Импульсы с фотоприемников, считывающих изображения, являются командными, их длительность пропорциональна размеру изображения объекта и в общем виде выражается через параметры сканатора:

$$t_n = (d \sin i / V_c) (1 - \cos i / \sqrt{n^2 - \sin^2 i}),$$

где t_n — длительность командных импульсов; d — толщина стекла сканатора, выполненного в виде вращающегося параллелепипеда; V_c — линейная скорость движения изображения объекта; n — показатель преломления стекла; i — угол поворота сканатора.

В устройстве применена схема интерферометра Майкельсона, в измерительном плече которого вращается призма (сканатор), изменяющая разность хода Δx световых лучей.

Импульсы с фотоприемников, считывающих интерференционное поле, являются измерительными, в каждый момент времени их период $\tau = \Delta x / V_c$, где $\Delta x = 2d(\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \cos i - n + 1)$.

Электрические сигналы в виде импульсных последовательностей с обоих каналов подаются в первичный измеритель (ПИ).

ПИ по командным импульсам формирует пакеты измерительных импульсов, число которых в пакете $N = t_n / \tau$.

МУПС содержит программно управляемый генератор (Г) от специализированного процессора, схему автоматического регулирования скоростями (АРС) движения объекта и сканатора, силовые схемы частотного управления двигателями, датчик скорости перемотки (ДСП).

Импульсы с ДСП, частота следования которых пропорциональна скорости перемотки, поступают в схему АРС, осуществляющую через силовые схемы частотное управление двигателями. Режимы пуска, торможения и рабочая скорость микрообъекта программируются и управляются специализированным процессором.

Средства отображения стандартны: цифронпечатающее устройство и цифровое индикаторное табло.

Процессорные модули включают в себя интерполятор импульсного потока (ИИП), арифметическое устройство (АУ), анализатор (А), модуль программного управления (МПУ), оцифрованные переключатели (ОП).

ИИП содержит арифметическую часть (АЧ), четыре 16-разрядных счетчика с предварительной установкой от регистров, хранящих константы, и оперативных регистров, хранящих пакеты измерительных импульсов, и два генератора ($\Gamma_{1,2}$) частотой 500 кГц и 5 МГц. Отношение частот генераторов определяется коэффициентом интерполяции импульсного потока.

АУ содержит два 20-разрядных универсальных сумматора, реверсивный 24-разрядный счетчик, четыре 20-разрядных сдвиговых регистра, четыре 16-разрядных счетчика с предварительной установкой и дешифрацией нулевого состояния, запоминающее устройство тригонометрических величин и аппаратные средства программных циклов.

АУ выполняет следующие операции: сложение — вычитание двух 20-разрядных чисел; умножение — деление чисел, одно из которых задано кодом, другое — импульсной последовательностью; сложение с предыдущей суммой (накопление); вычисление тригонометрических функций \sin и \cos ; возведение в квадрат; извлечение квадратного корня.

Перечисленные операции позволяют с высокой точностью вычислять текущие и средние размеры, а также погрешности изготовления контролируемых микрообъектов.

Вычисление текущих размеров P поперечного сечения микрообъекта осуществляется по формуле

$$P = d \sin [f(\Delta x)] \{1 - \cos [f(\Delta x)] / \sqrt{n^2 - \sin^2 [f(\Delta x)]}\},$$

где $f(\Delta x)$ — значение угла поворота сканатора в функции разности хода лучей в интерферометре.

Анализатор (А) содержит оперативное запоминающее устройство объемом шестнадцать 1024-разрядных слов (ЗУ), регистры ввода и вывода, аппаратные средства организации программных циклов (АПЦ). Анализатор позволяет проводить вычисление гистограммы плотности распре-

деления погрешностей измеряемых величин и контроль выхода размеров за допустимые пределы.

При выполнении операции вычисления гистограммы импульсный поток с АУ по заданной программе и в зависимости от собственного «веса» распределяется по 16 каналам. Переполнение одного из каналов автоматически переводит анализатор в режим вывода. Вывод информации осуществляется без ее стирания сначала по программе «Гистограмма», а затем по программе «Допуск».

МПУ содержит запоминающее устройство объемом шесть 20-разрядных слов, связанных с цифровыми переключателями, регистр констант и аппаратные средства организации программных циклов. МПУ по каналам связи осуществляет двусторонний обмен командами со всеми системными и процессорными модулями.

Приведем последовательность работы системы в автоматическом режиме. После включения и нажатия кнопки «Сброс» на оцифрованных переключателях устанавливаются нужные цифровые значения, соответствующие параметрам измеряемого объекта. По команде «Пуск» производится запуск программы, осуществляющей включение и плавный разгон двигателя перемотки и сканатора, несколько команд для вычисления действительного значения измеряемой величины и запуска анализатора, подсчет числа измерений и генерацию команды для вычисления среднего значения измеряемой величины, вывод полученного числа измерений и затем среднего значения, после чего включается второй режим анализатора для вывода статистической информации. По окончании вывода цикл программы повторяется.

Совместное использование теневых и интерференционных явлений с применением оптического квантового генератора в разработанной ИИС позволило по-новому решить задачу высокоточных измерений, размерного контроля и опытно-статистической обработки измерительной информации при автоматизации научных исследований точности изготовления протяженных микрообъектов.

На общую погрешность контроля оказывают влияние дефокусировка изображения и аберрации, вносимые сканатором, шумы лазера, а также погрешности в цепях преобразования и обработки информации. Экспериментальное определение комплексной погрешности контроля осуществлялось путем 50-кратного измерения каждого из трех комплектов установленных неподвижно проволок диаметром 73,41, 103,26, 141,81 мкм, аттестованных БРЦМС с точностью до сотых долей микрона и принятых нами за макеты образцов при метрологической аттестации. Среднеквадратическое отклонение не превышало $\sigma = 0,015$ мкм, случайная погрешность измерения составила $\pm 2\sigma = 0,03$ мкм, а нормированная погрешность измерения — $\pm 2\sigma/0,6 = 0,05$ мкм.

Измерения проводились при скорости сканирования ~ 40 мм/с, при этом база измерения не превышала размера поперечного сечения микрообъекта.

Метрологические характеристики ИИС обеспечиваются тщательной настройкой, учетом систематических погрешностей, нормальными условиями эксплуатации. При определении погрешностей изготовления, например микропроволок для тел накала осветительных приборов, настройка производится по ближайшему номинальному размеру проволок, изготовленных по ГОСТ 2475—62. В системе практически обеспечивается отношение сигнал — шум, равное 10—12, при отношении пороговой чувствительности к шуму — 5—6. Влияние дефокусировки может быть значительно снижено за счет введения оптического фильтра, расположенного в фокальной плоскости объектива [8].

Экспериментальный образец системы для широкого диапазона контролируемых объектов 5...300 мкм и скорости перемещения объекта до 0,1 м/с имеет нормированную погрешность измерения $\pm(0,05 \dots 0,5)$ мкм, обеспечивает цифровую индикацию и вывод на цифрочекать числа изме-

рений, размера и его погрешности, овальности, среднего размера и гистограммы рассеяния погрешностей на заданном числе измерений в интервале 10...9999.

При расширении области применения системы представляется целесообразным проводить работы по пути дальнейшего повышения производительности контроля и разнообразия функций процессорной части системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Н. В. Современное состояние линейных измерений. (Интерференционные методы измерения длины штриховых мер).— М.: Госстандарт СССР, НПО и ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, ВНИИКИ, 1978.
2. Лазерные интерферометры/Под ред. В. П. Коронкевича.— Новосибирск: изд. ИАиЭ СО АН СССР, 1978.
3. Александров В. К. Способ контроля линейных размеров микрообъектов. (Автор. свид-во № 612148).— БИ, 1978, № 23.
4. Александров В. К., Биенко Ю. Н., Ильин В. Н. Способ контроля линейных размеров микрообъектов. (Автор. свид-во № 742705).— БИ, 1980, № 23.
5. Александров В. К., Биенко Ю. Н., Ильин В. Н. Контроль поперечных размеров протяженных микрообъектов методом раздвоения изображения.— В кн.: Новые физические методы и средства контроля промышленных изделий. Минск: изд. АН БССР ОФНК, 1978, с. 315—317.
6. Александров В. К. и др. Система для автоматизации научных исследований точности изготовления протяженных микрообъектов.— В кн.: Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ. [Тез. докл. на Всесоюз. конф. 11—13 июня 1979 г.]. Новосибирск: изд. ИАиЭ СО АН СССР, 1979, с. 160.
7. Dyson J. Precise Measurement by Image-Splitting.— JOSA, 1960, vol. 50, p. 754—757.
8. Mesch F. Systemtheoretische Beschreibung Optischelektrischer Messsysteme.— ATM, 1977, Bd 44, S. 249—258.

*Поступила в редакцию 25 июля 1979 г.;
окончательный вариант — 30 октября 1980 г.*

УДК 576.8.074 : 681.3

О. С. СЛАДКОВ, И. В. ЩУКИН
(Москва)

ВОЗМОЖНОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПО МОРФОЛОГИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ МЕТОДАМИ ФУРЬЕ-МИКРОСКОПИИ И ОПТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Анализ изображений в биологии и медицине часто связан с определением особенностей формы микрообъектов. В качестве примеров укажем классификацию клеток крови лейкоцитарного ряда по форме ядра, а также задачу обнаружения индикаторных микроорганизмов при гидробиологических исследованиях*. В данной работе рассматриваются дифракционные методы решения указанного класса задач, основанные на анализе пространственного спектра изображений микрообъектов [1, 2]. По сравнению с традиционными методами анализа изображений, основанными на применении сканирующих микроскопов [3], дифракционные методы в сочетании с техникой оптической фильтрации позволяют

* В данной работе рассматриваются только те составляющие морфологического описания биологического объекта, которые связаны с его геометрическими характеристиками, морфологические же параметры, связанные, например, с цветом объекта, не учитываются. (Относительно использования цветовых характеристик биологических объектов в когерентно-оптических устройствах классификации см. [4].)