

Е. Н. БОГОМОЛОВ, А. Е. ДИКУН, В. П. ЮНОШЕВ

(Новосибирск)

АППАРАТНЫЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ОПТИКО-ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТРОЛЯ

Введение. Возможности фурье-оптики позволяют по-новому подойти к решению задачи контроля линейных размеров изделий [1, 2]. На ее основе довольно эффективно реализуется дифференциальный метод измерений путем геометрического сжатия теневого изображения объекта. Формируемое при этом практически без потери точности дифференциальное изображение может быть измерено телевизионными средствами с погрешностью в доли процента. С учетом коэффициента сжатия результирующая погрешность уменьшается в десятки раз и может быть снижена до уровня 0,01%, вполне приемлемого при контроле изделий широкого класса.

В [1] описаны общие принципы построения оптико-цифровой системы контроля (ОЦСК) изделий сложной формы с использованием средств фурье-оптики и цифровой телевизионной техники. Оптический блок ОЦСК и его функционирование рассмотрены в [2]. В настоящей работе представлено более подробное описание аппаратных и программных средств электронной системы ОЦСК.

Описание структуры электронной системы ОЦСК. При разработке архитектуры учитывалась специфика класса контролируемых системой изделий, включающего лишь объекты, имеющие четкую теневую проекцию. Их теневые изображения при сжатии оптическим блоком ОЦСК [1, 2] преобразуются в контурные бинарные изображения. В этом случае нет необходимости кодировать все точки изображения, как, например, в видеосистеме фирмы «Quantex Corporation» [3]. Более целесообразно из телевизионного (ТВ) кадра выбрать и измерять координаты лишь характерных точек контура. В зависимости от сложности анализируемого изображения количество их может быть различным (рис. 1, *a—г*), но очевидно, что объем измерительной информации при таком подходе существенно сокращается, а процедура принятия решения «годен — брак» упрощается.

Для измерения координат точек контура (рис. 2, *a*) использовался известный метод, основанный на пороговой обработке видеосигнала [4]. При этом из видеосигнала строки (рис. 2, *b*), соответствующего определенному сечению *AB* контурного изображения, с помощью порогового устройства формируются прямоугольные импульсы (рис. 2, *в*), положение которых соответствует положению центров контура. Измерение координат импульсов осуществляется путем заполнения эталонной частотой *F* (рис. 2, *г*) интервала времени от начала ТВ-строки до переднего и заднего фронтов импульсов с последующим вычислением положений центров импульсов (t_A и t_B на рис. 2, *б*).

Структура разработанной электронной системы ОЦСК, взаимодействующей с микро-ЭВМ «Электроника-60», приведена на рис. 3. Отметим две особенности системы. Во-первых, в ее основу положен стандарт КАМАК, что в условиях большой номенклатуры стандартных модулей КАМАК позволяет быстро и гибко менять конфигурацию системы в зависимости от сложности изделий и скорости их контроля, органично вписывать ее в АСУ технологическим процессом производства изделий.

Вторая особенность касается быстродействия системы — одной из важнейших технических характеристик. Для обеспечения оперативной работы системы (в темпе ТВ-сканирования) необходимо, чтобы время сбора данных об одном сечении изделия с помощью ЭВМ не превышало длительности развертки строки (60 мкс). При использовании распространенных микро-ЭВМ это условие не выполняется, что приводит к резкому сокращению скорости сканирования до величины 1 сеч./кадр. В разработанной системе ограничения на быстродействие преодолеваются путем организации сбора данных аппаратными средствами.

Перейдем к описанию системы. Формируемое оптическим блоком дифференциальное изображение контролируемого изделия воспринимается телевизионной камерой (ТК) (тип КТП-87), из которой выведены видеосигнал, кадровый и строч-

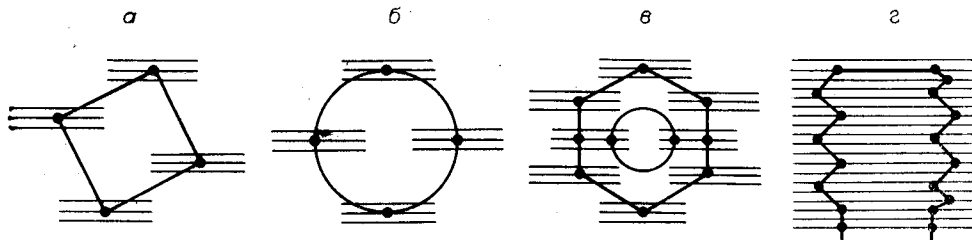


Рис. 1.

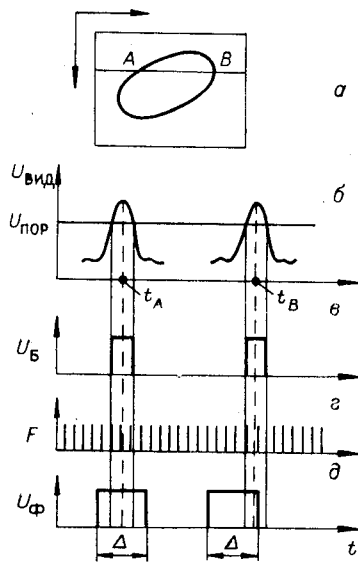


Рис. 2.

интересующая нас строка, задаваемая кодом в регистре строки (РС). При наличии в строке двух и более видеоимпульсов (как на рис. 2, б) строка разбивается на фрагменты, содержащие по одному импульсу, путем занесения данных в регистры начала и конца фрагмента (РНФ и РКФ). Выходной сигнал U_{Φ} блока выделения фрагмента разрешает прохождение сигналов АК на входы записи регистров результатов (РР). Тем самым они фиксируют в регистрах результата коды, пропорциональные интервалам времени от начала ТВ-строки до переднего и заднего фронтов импульса U_{Φ} (рис. 2, в). Эти интервалы измеряются с помощью кварцованного генератора (Г) (частота 20 МГц) и счетчика (СЧ).

Важным блоком системы является блок логики контроля (ЛК), с помощью которого осуществляется гибкое взаимодействие программных и аппаратных средств системы. Входными сигналами этой схемы являются сигнал U_{Φ} с БВФ, стробы аналогового компаратора, а также два битовых слова, выделенные в РНФ и РКФ. Выходные сигналы этой схемы — запросы LAM⁺ и LAM⁻ (на рис. 3 показаны как LAM).

При использовании программных средств ЭВМ указывает фрагмент, а логика контроля сигналом LAM⁺ информирует о моменте окончания его сканирования. ЭВМ читает содержимое регистра результатов и устанавливает, лежат ли они в интервале допустимых размеров (поле допуска), соответствующем данному сечению изделия.

Возможен случай, когда блок логики контроля сам анализирует наличие в поле допуска интересующей точки контура и выдает сигнал LAM⁺ (точка контура внутри поля допуска Δ) или LAM⁻ (точка вне поля) (рис. 2, д). При этом поле допуска задается программно.

Наконец, при использовании аппаратных средств функции указания фрагмента берет на себя блок ЛК совместно со специализированным крейт-контроллером с внутренней обработкой запросов (КК ВОЗ) [5]. При работе в режиме ВОЗ крейт-контроллер в ответ на запросы, отнесенные к группе «внутренних» (обслуживаемых внутри крейта без ЭВМ), осуществляет пересылку данных из модуля в модуль по программе, занесенной заранее в крейт-контроллер из ЭВМ «Электроника-60», причем со скоростью, регламентированной стандартом КАМАК (1 опер./мкс).

Так, в ответ на «внутренний» запрос LAM⁺ крейт-контроллер пересылает полученные данные об изображении из регистра результатов в ОЗУ результатов (ОЗУ Р), а данные о новом фрагменте из ОЗУ исходных данных (ОЗУ ИД) в регистр строки и регистры начала и конца фрагмента. «Внешний» запрос LAM⁻ прекращает работу системы в режиме ВОЗ и инициирует программный режим.

Для правильного выбора уровня порогового напряжения (в соответствии с освещенностью изображения) в системе предусмотрена возможность последовательной оцифровки видеосигнала с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП), снабженного аналоговым запоминающим устройством (АЗУ). Запоминание видеосигнала в АЗУ и запуск АЦП проводится сигналом с блока выделения фрагмента. Смеситель видеoinформации (СВИ) позволяет выводить на видеоконтрольное устройство (ВКУ) совмещенную картину анализируемого изображения и служебных сигналов, что необходимо для настройки системы и контроля правильности ее работы.

Кроме перечисленных устройств, в систему входят модули, расширяющие ее функциональные возможности: телевизор для визуализации цифровой информации (ЦТ) и модуль канала последовательной связи (КПС) с ЭВМ более высокого уровня.

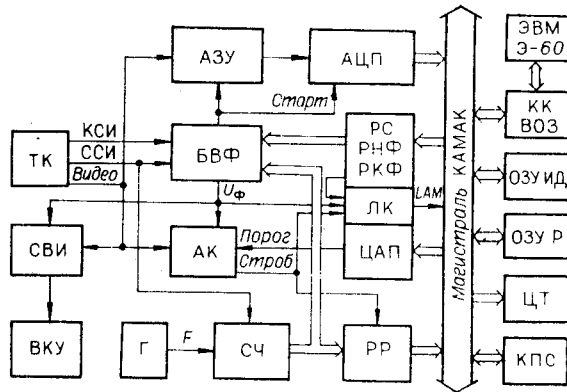


Рис. 3.

ный синхроимпульсы (КСИ и ССИ). Видеосигнал поступает на аналоговый компаратор (АК), выделяющий моменты равенства напряжения видеосигнала $U_{\text{вид}}$ пороговому напряжению $U_{\text{пор}}$ (рис. 2, б), которое задается цифроаналоговым преобразователем (ЦАП). Блок выделения фрагмента (БВФ) выделяет интервал времени, в течение которого в кадре сканируется

Режимы работы ОЦСК. В системе предусмотрены два основных режима работы: режим контроля и калибровки параметров системы и режим измерения размеров изделий. В первом режиме контролируются такие параметры электронной системы, как неравномерность чувствительности видикона телекамеры по полю, уровень видеосигнала и отношение сигнал/шум, форма видеосигнала в выбранной строке.

Знание этих параметров позволяет выбирать оптимальный уровень освещенности объекта и соответствующую ему величину аналогового порога компаратора.

В этом же режиме определяются основные параметры ОЦСК в целом: константы расщепления (размеры, на величину которых уменьшается контролируемое изображение) и цена деления в микрометрах на квант [1].

После калибровки системы в нее вводятся параметры эталонного изделия. Рассмотрим три способа реализации этой процедуры.

1. Непосредственное измерение дифференциального изображения эталонного изделия. Предполагается, что эталон выполнен с точностью, превышающей на порядок точность системы. Допустимые отклонения контролируемых изделий от эталона (поля допусков) вводятся в виде констант в управляющую программу.

2. Ввод размеров эталона в программу. Характерные точки эталона и допуски задаются в виде таблицы констант, которыми и оперирует программа. Параметры эталона могут вводиться также с помощью средств кодирования графической информации.

3. Ввод в программу математического уравнения, описывающего эталон. В этом случае ЭВМ вычисляет размеры эталона, а затем сопоставляет их с контролируемым изделием.

Во втором измерительном режиме системой регистрируется дифференциальное изображение контролируемого изделия, формируемое оптическим блоком ОЦСК, которое затем обрабатывается электронными средствами с выдачей сигнала о годности изделия.

Рассмотрим подробнее, какие сочетания программных и аппаратных средств предпочтительнее в той или иной ситуации. Работа системы может осуществляться в трех режимах: программно, аппаратно и комбинированным образом. Программный режим применяется в случае, когда велика степень неопределенности положения детали в поле восприятия телекамеры (положение в кадре, угол ориентации). Время измерения и контроля в этом случае колеблется в широких пределах и определяется сложностью программы.

Программно-аппаратный режим целесообразен в случаях, когда степень неопределенности существенно меньше: например, изделие движется поступательно с постоянной скоростью. ЭВМ указывает с поправками на скорость координаты полей допусков, а дальнейшие операции в системе выполняются аппаратно. Необходимое время контроля в этих случаях может быть снижено до нескольких кадров на одно изделие.

Аппаратный режим применим, когда положение детали в кадре строго фиксировано. В этом случае информация об изделии заносится из ЭВМ в ОЗУ исходных данных и включается аппаратный режим контроля. Время контроля не превышает длительности кадра, а количество контролируемых точек K в каждой из строк кадра

$$K \leq T / (2nt_{\text{ц}} + t_{\text{ф}}),$$

где T — время сканирования ТВ-строки; $t_{\text{ц}}$ — длительность цикла КАМАК-команды; $t_{\text{ф}}$ — время сканирования фрагмента; n — число 16-разрядных слов для указания положения фрагмента. Например, при $T = 51,2$ мкс, $t_{\text{ц}} = 1,2$ мкс, $t_{\text{ф}} = T/10 = 5$ мкс и $n = 3$ величина $K = 4$, что в пересчете на кадр составляет ~ 2000 точек.

Программное обеспечение. Программы, обслуживающие систему, написаны на BASIC-подобном языке QUASIC, ориентированном на работу с аппаратурой КАМАК [6], некоторые подпрограммы, определяющие быстродействие системы, — на Ассемблере.

Разработаны следующие программные модули:

1. Модуль измерения линейных размеров. Входными величинами модуля являются номера строк, левая и правая границы фрагмента, режим работы контроллера — «программный — ВОЗ», представление результата измерения — «микрометры — кванты».

2. Модуль измерения линейных размеров с усреднением. Входной величиной, кроме указанных выше параметров, является количество измерений. Заметим, что, помимо усреднения по времени, имеется возможность программного усреднения по сечениям. Точность измерения повышается в 3–5 раз.

3. Модуль измерения параметров наружных резьб. По положению фрагмента в виде прямоугольника, который охватывает интересующий участок резьбы, программа измеряет положение огибающей треугольных зубцов и исключает участки при вершине и основании зубца, составляющие 10% от его высоты. Далее методом наименьших квадратов вычисляется положение интерполирующих отрезков и угол между ними. Кроме угла профиля, измеряются средний диаметр и шаг резьбы.

Параметры системы. Макет разработанной системы при работе в предусмотренных режимах подтвердил на практике правильность выбранных аппаратных и программных решений и характеризуется следующими параметрами: число квантов в пределах размеров кадра вдоль осей X и Y — 1024×512 ; погрешность определения

положений характерной точки контура изображения по вертикали — ± 1 квант, по горизонтали — ± 2 кванта (исключая нелинейные искажения ТВ-камеры); количество координат точек, измеряемых и контролируемых в течение одного ТВ-кадра (40 мс), — 128 (в программном режиме) и 2000 (в режиме ВОЗ).

АЦП с АЗУ обеспечивают требуемую точность измерения значения видеосигнала. Время аналого-цифрового преобразования (8 двоичных разрядов) — 1 мкс. Цифровые регистры ввода/вывода данных 16-разрядные. Емкость КАМАК — модуля ОЗУ — 1024 16-разрядных слов, причем его можно использовать как для чтения координат фрагмента, так и для записи результатов измерения. Модуль привода телевизора позволяет воспроизводить бинарные изображения размерностью 256×384 . Модуль последовательной связи передает/принимает данные в стандарте RS232.

Система занимает в крейте 16 позиций и содержит 12 модулей, из них 10 стандартных, 2 специально разработанных. Объем программ 25 Кслов.

В настоящее время система проходит лабораторные испытания. Ее дальнейшее развитие ведется в направлении наращивания программного обеспечения для решения конкретных задач контроля.

Авторы благодарят А. Н. Касперовича и Ю. В. Чугуя за помощь при подготовке статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вертопрахов В. В., Михляев С. В., Чугуй Ю. В., Юношев В. П. Оптико-цифровая система промышленного контроля. — Автометрия, 1983, № 4.
2. Вертопрахов В. В., Михляев С. В., Чугуй Ю. В. Оптические преобразования изображений в оптико-цифровой системе промышленного контроля. — Автометрия, 1983, № 4.
3. Menger P. Digital video systems applied to product inspection. — In: SPIE. Optics in Quality Assurance II, 1979, vol. 170.
4. Löffler H., Jäger H. Messverfahren der Bildanalyse zur Fertigungskontrolle feinmechanischer Präzisionsteile oder elektronischer Bauelemente. — Messen + Prüfen/Automatik, Oktober 1979.
5. Солобов В. Е., Солоненко В. И. Контроллер к ЭВМ «Электроника-60» с внутренней обработкой запросов. — Автометрия, 1980, № 4.
6. Подольский Л. И. Система QUASIC для программирования на мини-ЭВМ. — Пуццино, 1980.

Поступило в редакцию 2 апреля 1983 г.