

Д. т. н. В. Н. ИЛЬИН, А. В. ДУБЕШКО, Д. А. МИХАЕВИЧ

Республика Беларусь, г. Минск, Институт физики НАН Беларуси
E-mail: ilyin@inel.bas-net.by

Дата поступления в редакцию
26.02.2010 г.

Оппонент к. т. н. В. А. БОЛТЕНКОВ
(ОНПУ, г. Одесса)

ЛАЗЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Представлены базовые варианты многокоординатных устройств контроля сложных профилей поверхности, отличающиеся способом формирования зондирующего пучка, и принцип построения трехкоординатной системы измерения высоты и линейных размеров микросборок ПЗС.

Для измерения размеров и формы изделий точно-го приборо- и машиностроения, а также профилей поверхности технических объектов и их положения в пространстве существует большое число датчиков и измерительных преобразователей, принцип действия которых основан на различных физических явлениях [1, 2].

Особое место среди них занимают малогабаритные оптико-электронные устройства триангуляционного типа, использующие экономичные лазерные источники, многоэлементные фотоприемники и специализированные микропроцессоры высокой интеграции [3]. Триангуляция в геометрической оптике более других подобна обычному механическому контактному измерению. В устройствах, использующих триангуляцию, измеряется местоположение пересечения сфокусированного светового пучка с поверхностью детали. Этот подход рассматривает световые пучки как геометрические лучи, игнорируя волновые свойства света, и основывается на фотодатчиках положения.

Интенсивно развиваются методы контроля формы и профиля поверхности. Разработка многокоординатных зондовых устройств нового поколения, работающих по координатам в одном временном интервале, — актуальная научная и техническая задача. Мировой спрос на многокоординатные приборы превышает предложение, которое зачастую не удовлетворяет заказчиков ни по точности, ни по измерительному диапазону.

К таким объектам контроля, в частности, относятся фотопанели, представляющие собой сборки ПЗС-матриц, установленные на подложке определенным образом друг относительно друга и реперных точек. Контролируемыми параметрами здесь являются положение ПЗС-матриц на подложке — координаты X , Y и высота их установки — координата Z . Дополнительные трудности в измерительный процесс вносят

конструктивные особенности фотопанели, имеющей как диффузные, так и зеркальные поверхности, а также защитное стекло, устанавливаемое для герметизации всей сборки.

Авторами разработаны метод измерения и два базовых варианта многокоординатных устройств контроля сложных профилей поверхности, отличающиеся способом формирования зондирующего пучка [3—5].

Метод измерения включает в себя автоматическое сканирование поверхности объекта полосой когерентного или некогерентного света, получение изображения контура объекта, расчет расстояния до объекта (координаты Z) для каждой из множества точек вдоль проекции световой линии на объекте (для координаты X), обеспечение равномерности пучка, зондирующего фотодиодную матрицу, и его обнаружение с помощью градиентного фильтра, определение координаты полосы с субпиксельной точностью (до 0,05% от измерительного диапазона) методом центра тяже-

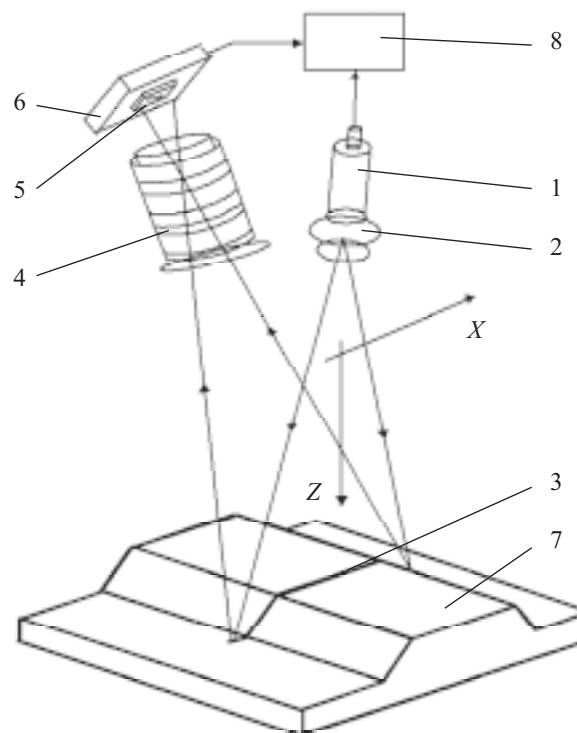


Рис. 1. Функциональная схема одноканального устройства

сти, преобразование координат полосы на матрице в координаты Z, X в пространстве при помощи таблицы, сформированной по разработанному методу калибровки с применением точечного шаблона.

В первом варианте устройства развертка луча осуществляется механическим сканером, а во втором — с помощью цилиндрической линзы.

На **рис. 1** представлено одноканальное устройство для бесконтактного измерения и контроля профиля поверхности, положения, перемещения, геометрических размеров и распознавания технологических объектов.

В основу работы одноканального оптико-электронного устройства положен принцип оптической триангуляции. Излучение полупроводникового лазера *1* формируется объективом *2* в виде световой линии *3* и проецируется на объект *7*. Диффузное изображение световой линии на объекте воспринимается объективом *4* и передается на матрицу *5*. Полученное изображение контура объекта анализируется сигнальным процессором *6* и компьютером *8*, который рассчитывает расстояние до объекта (т. е. координату Z) для каждой из множества точек вдоль проекции световой линии на объекте (для координаты X).

Развертка исходного лазерного пучка в линию осуществляется с помощью цилиндрической линзы, входящей в состав объектива *2*. Так как интенсивность исходного лазерного пучка имеет Гауссово распределение, то и интенсивность в зондирующей линии повторяет это распределение. Неравномерность интенсивности по всей протяженности линии накладывает определенные условия на алгоритм обработки изображения, полученного с матрицы *5*.

На **рис. 2** представлена оптическая схема двухканального устройства для измерения геометрических параметров поверхности объектов со сложным профилем. Излучение лазера *1* формируется объективом *2* и направляется в оптический узел угловой развертки

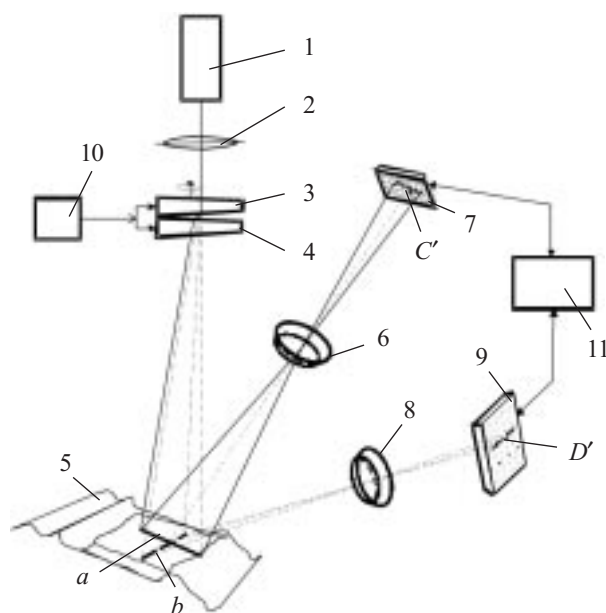


Рис. 2. Оптическая схема двухканального устройства

ки лазерного луча, представляющий собой систему двух оптических клиньев *3* и *4*, имеющих независимые оси вращения. Получение заданного угла отклонения луча осуществляется в два этапа: а) вращением первого клина устанавливается абсолютная величина вектора отклонения луча в плоскости анализа; б) совместным вращением обоих клиньев задается направление этого вектора в той же плоскости.

Таким образом на поверхности измеряемого объекта *5* формируется полоса света в положении а) или б) (см. рис. 2), которая воспринимается формирующими объективами *6* и *8* и передается в виде изображений C' и D' в плоскость фотодиодных матриц *7* и *9*. Управление фотодиодными матрицами, приводом узла развертки *10* и обработкой видеопотока, а также вычисление параметров профиля осуществляется сигнальным процессором *11*.

Система измерения высоты и линейных размеров микросборок ПЗС

Разработанный метод реализован в трехкоординатной системе измерения высоты и линейных размеров микросборок ПЗС «Трианмикро», которая обеспечивает:

- двухкоординатные перемещения оптико-электронного 2D-сканера при помощи системы порталного типа;

- контроль и измерение величины перемещения и позиционирования 2D-сканера по координатам X, Y с помощью растровых датчиков перемещения;

- формирование зондирующей поверхность лазерного луча, падающего под углом 35° к оси Z , в виде световой линии, повернутой под углом 45° к осям координат X и Y ;

- измерение линейных размеров по координате Z путем получения и обработки изображения световой линии, деформированной профильными элементами поверхности.

В состав системы «Трианмикро» (**рис. 3**) входят: гранитная плита-основание, гранитная плита-портал, лазерный сканер, двигатели FL42STH47-0854A и FL39ST20-03A, драйвер шагового двигателя, источник питания $2 \times 24VDC, 1,2A$, преобразователь $2 \times RS232-USB$, компьютер Model № MS2205 Aser.



Рис. 3. Система трехмерных измерений размеров микросборок ПЗС «Трианмикро»

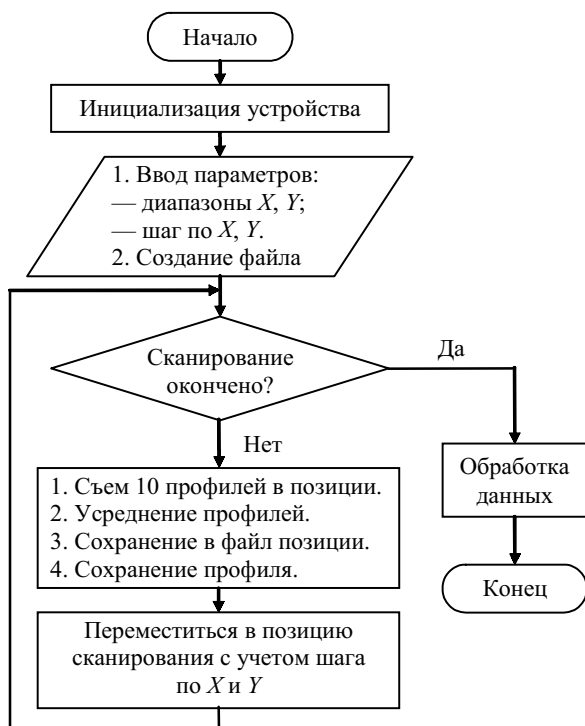


Рис. 4. Алгоритм работы системы «Трианмикр»

Разработанный алгоритм работы системы показан на рис. 4.

В программном модуле обработки видеопотока реализованы следующие алгоритмы:

- обеспечение равномерности зондирующего пучка на матрице;
- обнаружение отклика от зондирующего пучка на матрице с помощью градиентного фильтра;
- уточнение координаты пучка методом центра тяжести с субпиксельной точностью, что повышает точность измерений датчика до 0,1—0,05% от диапазона;
- преобразование координат пучка на матрице в координаты Z, X в пространстве с помощью таблицы, полученной в результате калибровки по точечному шаблону для увеличения быстродействия.

В качестве матрицы выбран элемент фирмы Supress IBIS5-A-1300 со следующими параметрами:

- разрешение 1280×1024;
- частота съема изображения 40 МГц;
- возможность выбора интересующей области сканирования (ROI);
- возможность съема полного изображения с разрешением 640×512.

Управление и обработку видеопотока матрицы осуществляет двухъядерный сигнальный процессор

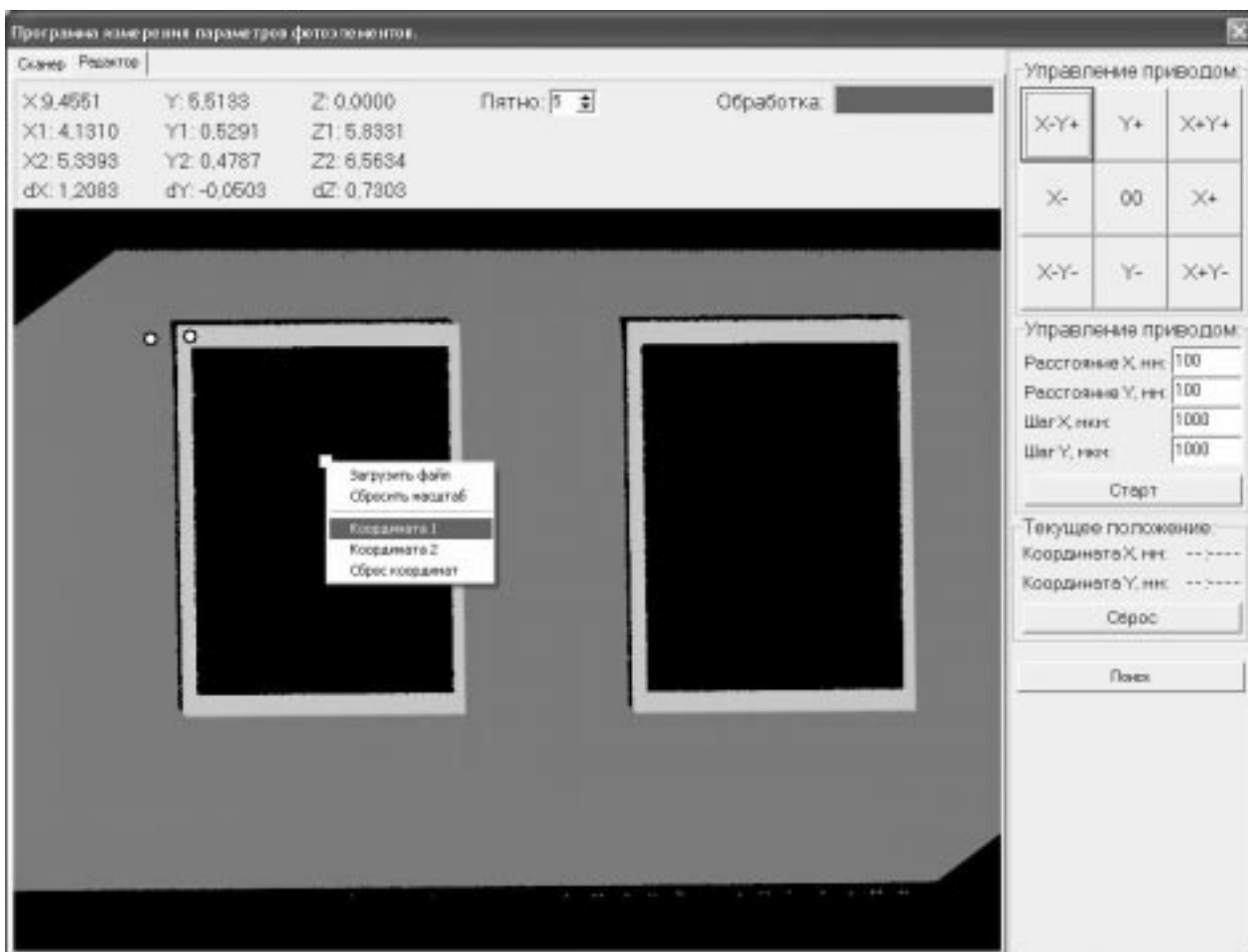


Рис. 5. Окно редактора программы

фирмы Analog Devices ADSP-BF561 с частотой ядра до 600 МГц и частотой внешней шины 133 МГц.

Наличие в процессоре двух АЛУ общего назначения и четырех видео-АЛУ позволяет выполнять в одном ядре до трех операций за такт. В результате становится возможной достаточно простая реализация мультизадачности при помощи разработанного фирмой Analog Devices простейшего ядра VDK с переключением контекста.

Вышеперечисленные параметры матрицы и процессора позволяют рассчитать от 100 до 3000 (в режиме ROI) профилей, что ограничено, в основном, скоростью матрицы. Передача данных производится по интерфейсу Ethernet со скоростью от 100 Мбит/с до 8 Мб/с на микросхеме фирмы Davicom DM9000A.

Программа с интуитивно понятным интерфейсом пользователя (окно редактора изображено на **рис. 5**) позволяет снимать данные с 2D-сканера и управлять координатной системой. Таким образом проводятся измерения параметров объектов по координатам X , Y , Z в заданной области сканирования с заданным шагом в соответствующих полях, анализ и обработка результатов.

Описанные одно- и двухканальные оптические устройства, а также трехкоординатная система полу-

чения и обработки изображения световой линии, деформированной профильными элементами поверхности, могут применяться для измерения сложных профилей поверхности технических объектов, в частности, высоты гребней и глубины канавок, а также для обнаружения дефектов поверхности.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Александров В. К., Биенко Ю. Н., Ильин В. Н. Оптико-электронные средства размерного контроля технологических микрообъектов.— Минск: Наука и техника, 1988.
2. Ильин В. Н., Галушко Е. В. Оптико-электронные измерительные преобразователи.— Минск: ИПП Минэкономики РБ, 1996.
3. Михаевич Д. А., Дубешко А. В. Оптико-электронное устройство для двухкоординатных измерений // Сб. материалов IV МНТК «Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств».— Новополоцк.— 2006.— Т 1.— С. 276—278.
4. Ильин В. Н., Дубешко А. В., Михаевич Д. А. Лазерное устройство для измерения трехмерных объектов // Сб. материалов VI МНТК «Лазерная физика и оптические технологии».— Гродно.— 2006.— Ч. 1.— С. 282—284.
5. Ильин В. Н., Дубешко А. В., Михаевич Д. А. Оптико-электронная система измерения высоты и линейных размеров микросборок ПЗС // Тр. X МНПК «Современные информационные и электронные технологии».— Одесса.— 2009.— Т. 2.— С. 46.