

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.byДата 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 тяжести.

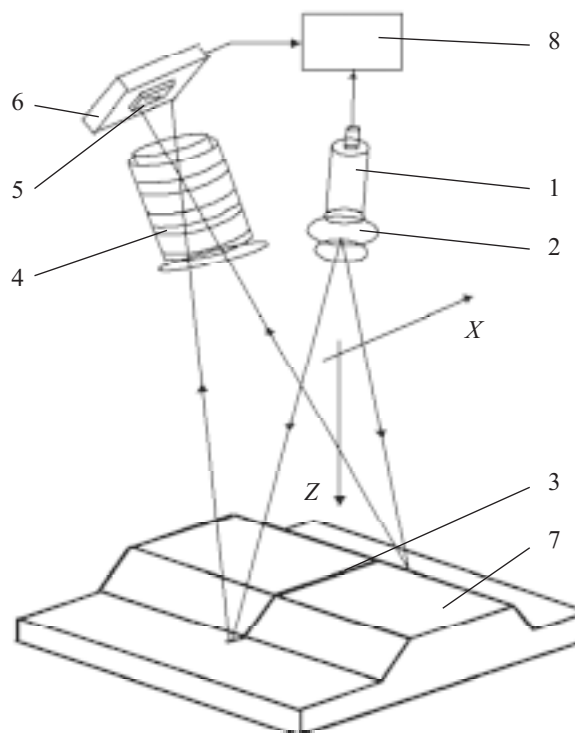


Рис. 1. Функциональная схема одноканального устройства

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 разверт-

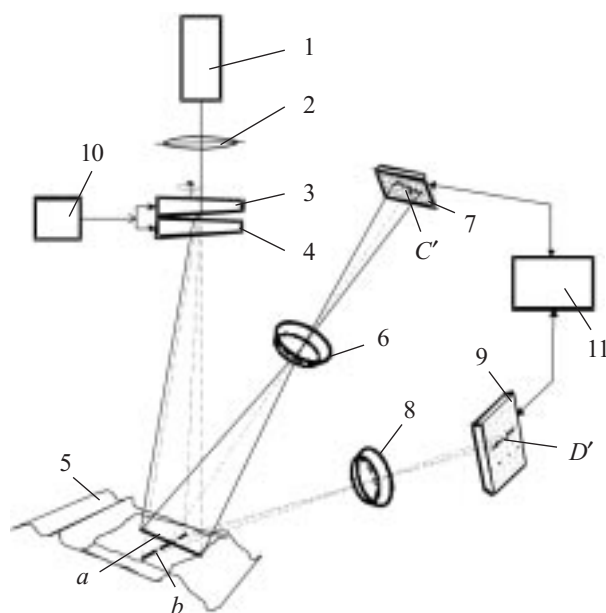


Рис. 2. Оптическая схема двухканального устройства

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 *a*) или *b*) (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 поверхности лазерного луча, падающего под углом  $35^\circ$  к оси  $Z$ , в виде световой линии, повернутой под углом  $45^\circ$  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  $2 \times 24\text{VDC}$ , 1,2A, преобразователь  $2 \times \text{RS232-USB}$ , компьютер Model № MS2205 Aser.



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

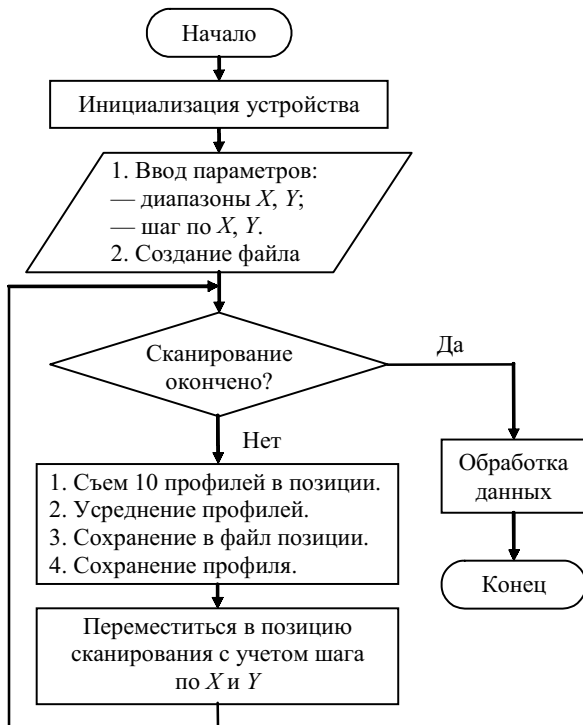


Рис. 4. Алгоритм работы системы «Трианмикр»

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 Cypress 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

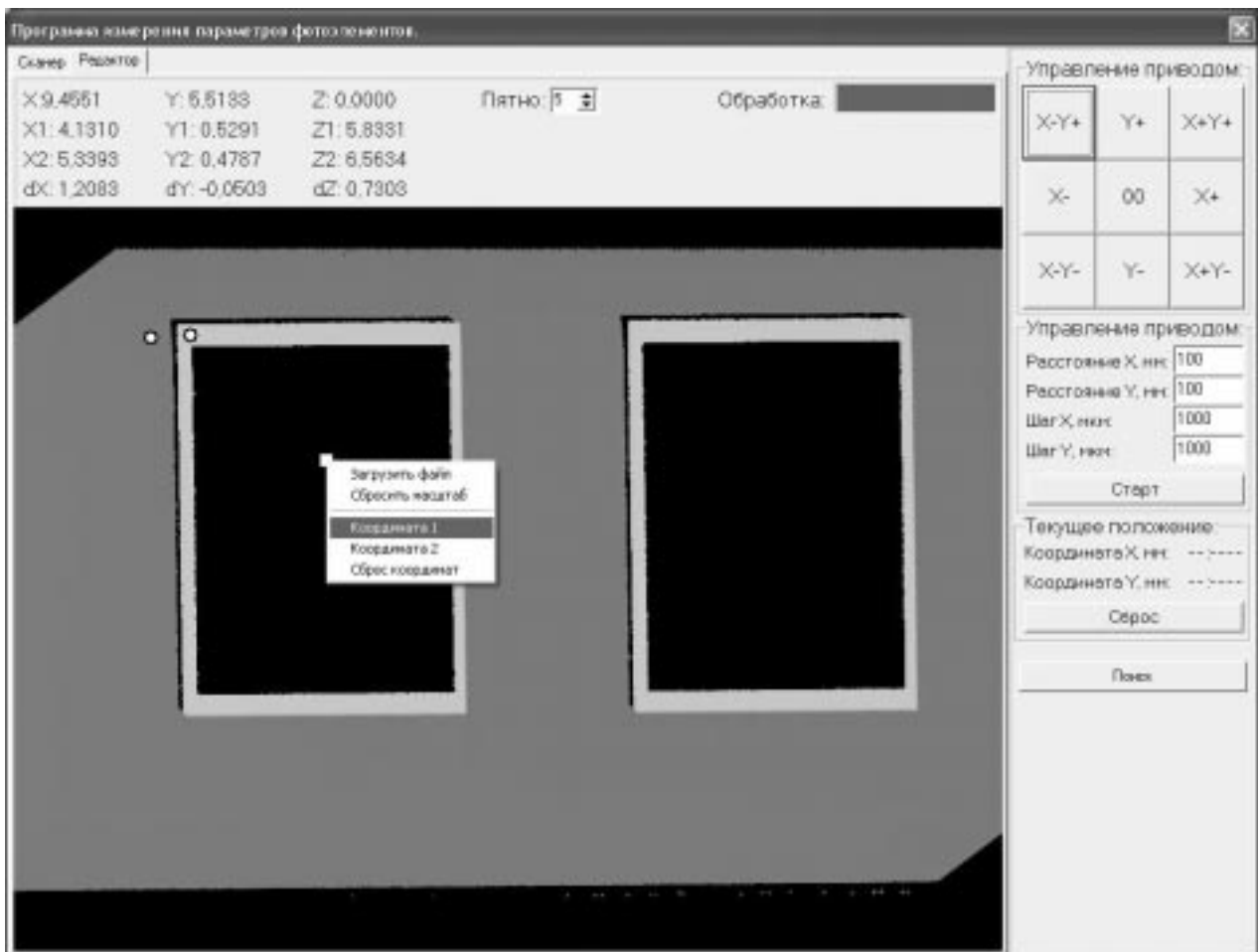


Рис. 5. Окно редактора программы

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. Михеевич 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., Михеевич 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., Михеевич Д. А. Оптико-электронная система измерения высоты и линейных размеров микроструктур ПЗС // Тр. Х МНПК «Современные информационные и электронные технологии».— Одесса.— 2009.— Т. 2.— С. 46.

И. А. ИВАНЧЕНКО, В. И. САНТОНИЙ, д. ф.-м. н. В. А. СМЫНТЫНА

Украина, Одесский национальный ун-т им. И. И. Мечникова  
E-mail: deer\_night@mail.od.ua

Дата поступления в редакцию  
03.09 2009 г. — 26.02 2010 г.

Оппонент В. Г. ЮРЬЕВ  
(ЦКБ «Ритм», г. Черновцы)

## ЦИФРОВОЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА НАПРАВЛЕННОГО ОТРАЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ

*Применение в отражательной фотометрии многоэлементного фотоприемника позволило увеличить точность и упростить измерение спектрального коэффициента направленного отражения поверхности.*

Различие в отражательной способности природных и искусственных объектов широко используется для их распознавания и классификации [1]. Качество материалов и разнообразных покрытий, используемых в светотехнической, лакокрасочной промышленности, в гальванотехнике и других областях, в первую очередь, определяется коэффициентами отражения и поглощения [2]. Поэтому определение коэффициента отражения различных объектов как одного из основных оптических параметров является актуальной задачей научных исследований и приборостроительной практики.

Требования к точности измерения коэффициента отражения высоки, поскольку диапазон возможных

значений коэффициента широк — от 0,04 до 0,89 [3, с. 49]. Большинство распространенных методов исследования отражательной способности поверхности основано на измерении амплитудных значений характеристик отраженного излучения, таких как интенсивность, яркость и пр. При этом точность измерения в значительной степени зависит от величины измеряемых параметров. Известно [4], что отражение излучения измеряется с наибольшей для аналоговых приборов точностью около 1% в диапазоне значений коэффициента отражения 0,2—0,6, а за пределами этого диапазона погрешность превышает 3%. Одним из путей повышения точности измерения отражения излучения может быть переход к цифровому представлению и обработке измерительной информации, что обеспечивает ряд безусловных преимуществ, в том числе по точности, для которой достижимым становится уровень до  $10^{-3}\%$  [5, 6].

Это направление измерений реализуется в области фотометрии, в которой первичным измерительным преобразователем является фотоэлектрический приемник оптического излучения.