

## РАЗДЕЛ V. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ.

линейными, так и нелинейными упругими свойствами.

Функции АИС расширены на основе применения бесконтактного метода измерения стрелы прогиба и радиуса кривизны образцов в процессе испытаний.

Разработанное программное обеспечение позволило автоматизировать процесс испытаний, что повышает надежность, оперативность получения результатов испытаний, исключает субъективный фактор при расчетах и обеспечивает документирование результатов испытания.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Испытания упругих стержней методом продольного изгиба [Текст]: монография / под ред В.Ф. Савина [и др.]. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2009. – 222 с.
2. Дарков А. В. Сопротивление материалов : изд. 3-е. [Текст] / Дарков А. В., Шпиро Г. С. – М.: Высшая школа, 1969. - 734 с.: ил.
3. Блазнов А.Н. Исследование устойчивости стеклопластиковых стержней [Текст] / А.Н. Блазнов, Ю.П. Волков, А.Н. Луговой, В.Ф. Савин // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных

исследованиях: Межвузовский сборник. – Барнаул, АлтГТУ, 2002. – С. 153

4. Попов Е.П. Теория и расчет гибких упругих стержней [Текст] / Е.П. Попов. – М.: Наука, 1986. – 290 с.
5. Анфилофьев А.В. Стрела прогиба и сближение концов стержня в продольном изгибе [Текст] / А.В. Анфиловьев. – ПМТФ, 2001. – 188 с.
6. Сергеенко А.Б. Цифровая обработка сигналов [Текст] / А.Б. Сергеенко. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.: ил.
7. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – Москва, Техносфера, 2005. – 1072 с.: ил.

*Аспирант М.Ю. Локтев, Loktev-BZS@mail.ru, - Бийский технологический институт; доцент А.Я. Суранов, к.т.н.; студент 2-го курса магистратуры Д.А. Ермолаев, – Алтайский государственный университет, кафедра радиофизики и теоретической физики, (385-2)36-70-61, alexander.suranov@yandex.ru; начальник испытательной лаборатории В.Ф. Савин, к.т.н., Savin@BZS.ru, (385-4)44-26-55 – Бийский завод стеклопластиков; проф., главный метролог, В.А. Абанин, д.т.н., 8-923-646-53-78, aba@bti.secna.ru - Бийский технологический институт.*

УДК 681.518.5: 004.932

## ОПЫТ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

А.С.Бессонов

Обсуждаются вопросы создания автоматизированных систем, предназначенных для визуального контроля оптических деталей при производстве средств измерений. Особое внимание уделяется разработке программного обеспечения. Описывается конкретный пример прикладной программы.

**Ключевые слова:** автоматизированная система, визуальный контроль, оптическая деталь, обработка изображений, программное обеспечение, среда программирования LabVIEW, функции IMAQ Vision.

### Введение

При производстве точных оптических и оптико-электронных средств измерений осуществляется сложный многоступенчатый контроль их элементов. Среди используемых методов центральное место занимает визуальный контроль, позволяющий определить чистоту обработки поверхностей оптических деталей, равномерность напыления зеркальных слоев, провести проверку на отсутствие различных механических дефектов (сколов, царапин) и т.д.

В течение многих лет визуальный контроль не был автоматизирован, и выполнялся

вручную с помощью оптических микроскопов. Однако с появлением в последние годы доступных цифровых микроскопов, оснащенных компьютерными интерфейсами, и программных средств обработки изображений автоматизация контроля поверхностей оптических деталей может осуществляться в полной мере. Некоторые особенности разработки автоматизированных систем такого рода рассмотрены в данной статье.

### Средства автоматизации систем визуального контроля

Автоматизированные системы контроля поверхностей оптических деталей относятся к

## ОПЫТ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

системам компьютерного зрения. В состав их аппаратных средств входят цифровой микроскоп, оснащенный телекамерой, и персональный компьютер (ПК) (рисунок 1). Наличие стандартного компьютерного интерфейса (чаще всего USB) обеспечивает поступление кадров изображения в компьютер для последующей программной обработки. Показанный на рисунке моторизованный предметный столик, на котором устанавливается контролируемая деталь, также снабжен компьютерным интерфейсом. Это обеспечивает программное управление сканированием поверхностей в случае, когда они попадают в кадр не полностью.

В ПК соответствующая прикладная программа производит предварительную обработку поступившего изображения и его последующий анализ. Идеальные оптические поверхности однородны, и пятна, линии и другие объекты в составе изображения относятся к числу дефектов. После выделения параметров данных элементов изображения производится анализ их параметров, на основании которого принимается решение, подлежит ли оптическая деталь отбраковке или нет.



Рисунок 1 - Автоматизированная система контроля поверхностей оптических деталей

При разработке системы выбор цифрового микроскопа [1] осуществляется с учетом его технических характеристик, среди которых следует выделить параметры формируемого изображения, конструкцию микроскопа и открытость его программного обеспечения.

Увеличение микроскопа должно быть достаточным для надежного выделения значимых дефектов поверхности. Поскольку при росте увеличения ее фрагмент, охватываемый кадром, уменьшается, то неизбежным становится сканирование изображения. Повышение разрешения цифрового изображения здесь может оказаться неприемлемым, так как оно может сопровождаться необходимостью применения нестандартных технологий ввода изображения в компьютер, что при-

ведет к трудностям при создании программного обеспечения.

Микроскоп должен иметь такую конструкцию, которая бы позволила осуществлять контроль заданного набора оптических деталей совместно с приспособлениями для их установки и крепления на предметном столике. Наиболее универсальны цифровые камеры, которые устанавливаются на механическую конструкцию, разработанную и изготовленную пользователем в соответствии с решаемыми задачами. Однако в этом случае трудоемкость проводимых работ увеличивается.

Компьютерное управление и анализ изображений делают важным требование достаточной *открытости программного обеспечения* аппаратных средств системы. Выполнение этого требования означает, что разработчик системы может создать прикладную программу, взаимодействующую с их драйверами и способную выполнить все необходимые функции. Неудобным и ограничивающим степень автоматизации является случай, когда приходится получать кадры изображения с помощью одной программы, предоставленной производителем микроскопа, а потом их анализировать с помощью другой программы собственной разработки.

Технологии программирования

Существенное облегчение процесса разработки прикладной программы для систем визуального контроля обеспечивается при возможности получения изображения и захвата необходимых кадров стандартными средствами, к которым можно отнести использование WDM-драйверов и технологии *DirectX* (фирма Microsoft) [2]. Как правило, это выполняется до разрешения 400 000 пикселей в кадре, но этот недостаток, как уже указывалось, компенсируется повышением увеличения и сканированием.

Еще большее снижение трудоемкости достигается при использовании специализированных компонентов *ActiveX*. Например, компонент *XVideoOCX 1.44*, работающий с любыми стандартными устройствами ввода изображения, позволяет без ощутимой потери быстродействия производить их инициализацию, установку формата кадров, ввод изображения, захват кадров и т.д.

Следующим вопросом, который неизбежно решается при разработке любой системы компьютерного зрения, являются выбор среды программирования и средств обработки и анализа изображений, необходимых для использования в прикладной программе.

Широко распространенная среда графического программирования *LabVIEW* [3] уни-

## РАЗДЕЛ V. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ.

версальна и весьма привлекательна для разработчиков, но имеет существенный недостаток: программы получаются избыточными и

работают существенно медленнее, чем программы, разработанные на алгоритмических языках (C++, Pascal и др.).

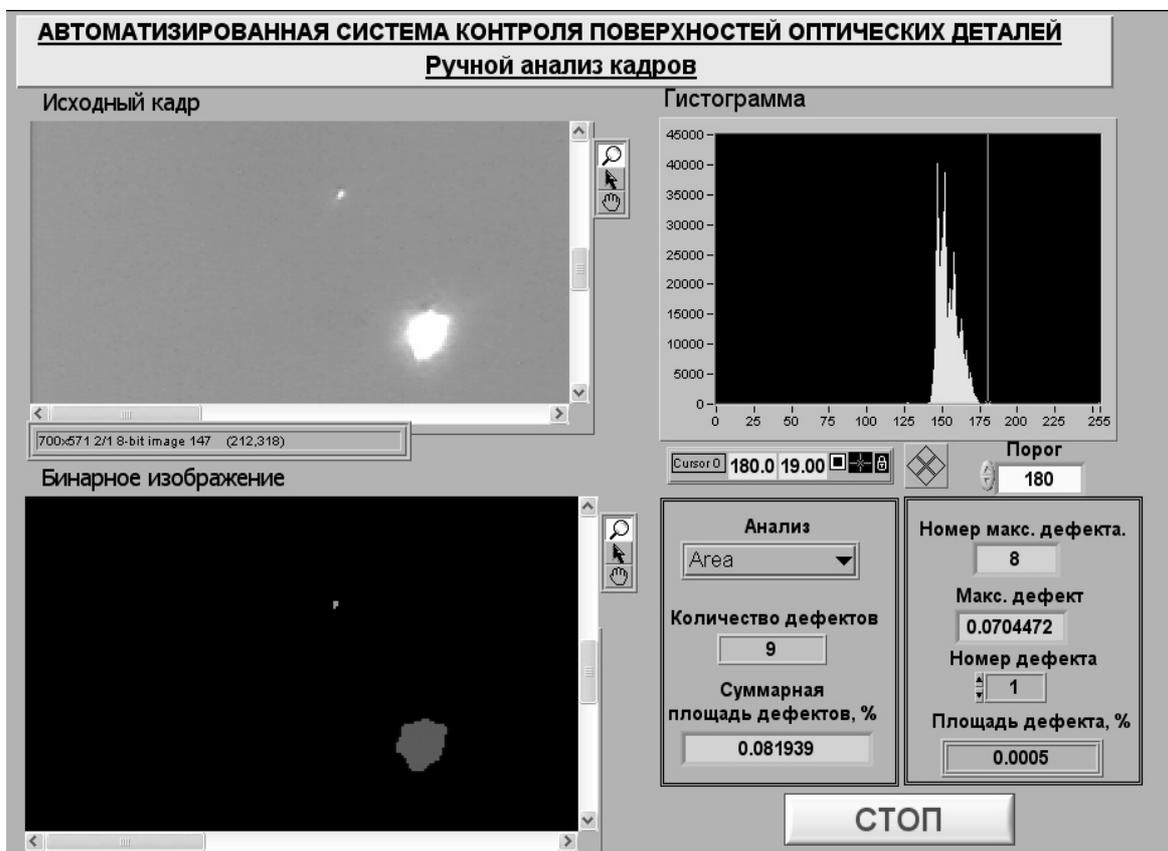


Рисунок 2 - Передняя панель программного модуля обработки и анализа изображений

Этот недостаток при работе с изображением приводит к заметному снижению производительности системы. Поэтому при разработке систем описываемого класса среду LabVIEW целесообразно применять в качестве основной, в то время как модули получения, обработки и анализа изображений для повышения производительности контроля лучше создавать на алгоритмическом языке (например, C++) с дальнейшим встраиванием в LabVIEW программу.

Выбор средств обработки и анализа осуществляется после изучения особенностей изображений, с которыми предстоит работать системе. Рассматриваемый в данной статье случай проектирования характерен тем, что до его начала имелась значительная по объему информация о контролируемых оптических деталях, представленная в виде файлов кадров изображений.

Проведенное исследование показало, что стоящие задачи нельзя назвать сложными. Поступающее от микроскопа изображе-

ние обладает достаточно высоким качеством, дефекты большей частью представляют собой связанные объекты (см. рисунок 2) и достаточно легко выделяются на фоне. Высокоуровневую обработку, связанную с распознаванием дефектов, в первых версиях программы было решено не использовать. Поэтому при разработке нами использовался известный алгоритм, когда полутоновое изображение фильтруется от шумов, преобразуется в бинарное по определенному порогу, а затем производится выделение объектов и определение их параметров [4]. Порог для каждого из видов изображений определялся по гистограммам яркости пикселей (см. рисунок 2), устанавливался фиксированным и запоминался среди настроек системы. В качестве критериев годности или негодности поверхности деталей были выделены суммарная относительная площадь выделенных дефектов и относительная площадь максимального дефекта.

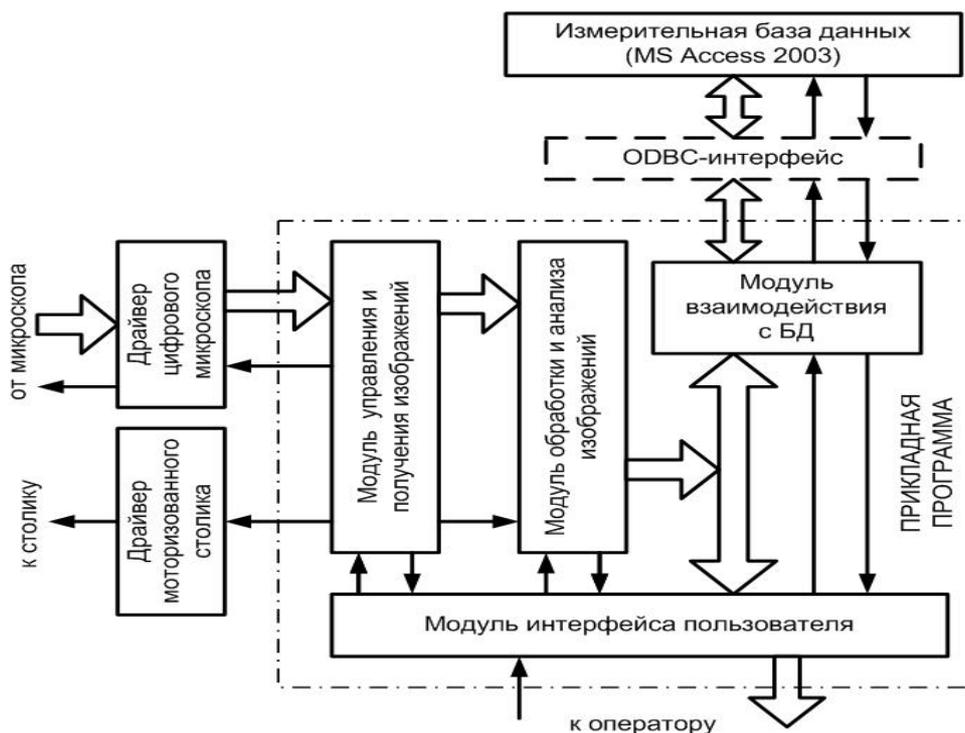


Рисунок 3 - Структурная схема программного обеспечения системы

Указанный алгоритм может быть реализован программистом самостоятельно. Однако в настоящее время существуют готовые технологии обработки и анализа изображений, которые хорошо зарекомендовали себя в течение многих лет использования. Среди прочих здесь можно выделить технологию IMAQ Vision (фирма National Instruments, США) [5], которая не зависит от среды программирования и обладает рядом других преимуществ. Однако решающим фактором при выборе этой технологии может стать наличие лицензии на ее использование.

#### Структурная схема программного обеспечения

Опыт разработки, описываемый в этой статье, был получен при создании автоматизированной системы контроля, используемой на серийном производстве лазерных гироскопов [6]. На рисунке 3 приведена структурная схема ее программного обеспечения.

Прикладная программа включает в себя модуль управления и получения изображений (МУПИ), модуль обработки и анализа изображений (МОАИ), модуль интерфейса пользователя (МИП) и модуль взаимодействия с базой данных (МВБД).

МУПИ работает совместно с драйверами цифрового микроскопа и предметного столика. По командам, подаваемым по интерфейсу USB, столик может перемещаться по двум

координатам. Одновременно с перемещением изображение поступает в МОАИ и затем для отображения на экране в МИП. Захват кадров осуществляется в случае, когда параметры обнаруженных дефектов превышают установленные нормы. Для реализации МУПИ использовались технологии C++ и DirectX.

В МОАИ вошла следующая последовательность функций IMAQ: чтения полутонового изображения *IMAQ ReadFile*, линейной фильтрации *IMAQ Convolute*, бинаризации изображения по заданному порогу *IMAQ Threshold*, разметки объектов изображения *IMAQ Label*, определения площадей частей изображения *IMAQ Particle Analysis* с их дальнейшим суммированием и нахождением максимального значения. МОАИ создавался на основе технологий LabVIEW и C++.

МВБД обеспечивают взаимодействие с измерительной базой данных по интерфейсу ODBC, а МИП - с оператором системы. Оба модуля были созданы средствами LabVIEW.

База данных, созданная в СУБД Access, предназначена для хранения служебной и измерительной информации. Служебная информация касается идентификации оптических деталей и операций по их контролю. Измерительная информация содержит кадры изображения и результаты их анализа.

Прикладная программа работает в двух

## РАЗДЕЛ V. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ.

режимах. В ручном режиме оператор сам просматривает поступающее в ПК изображение, передвигая предметный столик. Если ему попадают кадры со значительными дефектами поверхности, то они записываются в базу данных. В автоматическом режиме это происходит без участия человека. По совокупности дефектов поверхностей оптических деталей принимается решение об их годности.

### Заключение

Автоматизированная система визуального контроля поверхностей оптических деталей (рисунки 1, 3) введена в эксплуатацию и успешно используется. Заказчиком было отмечено повышение производительности труда и уменьшение процента бракованных деталей.

В качестве одного из путей развития системы следует указать ввод в ее состав интеллектуальной обработки, связанной с распознаванием вида дефектов. Выбор готовых решений IMAQ Vision облегчит создание новой версии программного обеспечения. Од-

нако для решения задач компьютерного зрения существуют и другие технологии, обладающие своими преимуществами.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. [http://www.mikroskope.ru/digital\\_micro.html](http://www.mikroskope.ru/digital_micro.html)
2. Есенин С.А. В.И. DirectX и Delphi: разработка графических и мультимедийных приложений. – СПб.: Форум: БХВ-Петербург, 2006.
3. Трэвис Дж., Кринг Дж. LabVIEW для всех. – М.: ДМК Пресс, 2011.
4. Хорн Б.К.П. Зрение роботов. – М.: Мир, 1989.
5. Визильтер Ю.В. и др. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW и IMAQ Vision. – М.: ДМК Пресс, 2007.
6. Панов М.Ф. и др. Физические основы интегральной оптики. – М.: Издательский центр «Академия», 2010.

*К.т.н., доцент А.С. Бессонов: alexsb64@newmail.ru; тел. (495) 4349445 - Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет).*

УДК. 662.997.05(043)

## АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

М.В. Китаева, А.В. Юрченко, А.В. Охорзина, А.В. Скороходов

В статье описана система слежения за Солнцем для фотоэлектрических модулей и энергетических систем на их основе. Представлены результаты расчетов эффективности применения систем слежения для солнечных энергетических установок (СЭУ) и результаты натурных испытаний работы фотоэлектрических модулей (ФМ) с системой слежения в Томске.

**Ключевые слова:** Фотоэлектрический модуль, система ориентации.

### Введение

Солнечная энергия характеризуется максимальной простотой использования, наибольшими ресурсами, экологической частотой и повсеместным распространением. Эти обстоятельства определяют гелиоэнергетику как одно из наиболее перспективных направлений развития возобновляемой энергетики

В Томской области имеются широкие возможности применения солнечных установок для индивидуальных потребителей, особенно в сельской местности. Расширение масштабов применения СЭУ не только даст значительную экономию энергоресурсов и повышение уровня жизни, но и позволит смягчить экологическую ситуацию.

Результаты климатических испытаний ФМ в Томске, проведенные с 1996г. по 2008г. [2], показали надежность и эффективность их использования в условиях Томской области. За исследуемый период на квадратный метр земной поверхности в районе Томска пришлось в среднем 4,5 кВт·ч солнечного излучения в день или 1643 кВт·ч/м<sup>2</sup> за год.

Проведенный эксперимент убедительно показал возможность и целесообразность использования ФМ для выработки электрической энергии для маломощных потребителей в пределах Томской области.

Одной из основных проблем использования ФМ является высокая стоимость производимой электроэнергии. Наиболее эффективным способом снижения ее стоимости