

ПРОМЫШЛЕННАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ НА БАЗЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЦИФРОВОЙ КАМЕРЫ INTCAM 285-1

БУРКОВ А.П., КОМИН В.Г., КРАСИЛЬНИКЪЯНЦ Е.В., кандидаты техн. наук

Рассматриваются современные принципы построения и основные элементы промышленной системы технического зрения. Описывается аппаратное и программное обеспечение промышленной системы технического зрения на базе интеллектуальной цифровой камеры intCAM 285-1. Приводится пример ее внедрения.

Ключевые слова: системы технического зрения, интеллектуальная цифровая камера, обработка изображений, пространственная фильтрация, масса стеклянной капли.

INDUSTRIAL COMPUTER VISION SYSTEM ON THE BASE OF INTCAM 285-1 INTELLECT DIGITAL CAMERA

BURKOV A.P., Ph.D., KOMIN V.G., Ph.D., KRASILNIK'YANTS E.V., Ph.D.

This paper is devoted to the modern principles of industrial computer vision system designing and its main elements. There is the description of industrial computer vision system hardware and software support on the base of intCAM 285-1 intellect digital camera. There is also an example of its introduction.

Key words: computer vision system, intellect digital camera, image processing, space filtering, glass drop weight.

Современные принципы построения промышленной системы технического зрения. Применение в ряде отраслей промышленности бесконтактного контроля геометрических параметров, состояния поверхности, цвета или формы выпускаемой продукции является единственным способом повышения ее качества и снижения себестоимости. Системы технического зрения (СТЗ) позволяют сегодня обеспечить высокий уровень точности измерений, обнаружения и исправления отклонений от заданных параметров на различных стадиях формирования изделия в режиме реального времени.

Промышленная система технического зрения – это аппаратно-программный комплекс, осуществляющий пространственно-временную дискретизацию электромагнитного излучения видимого диапазона исследуемого объекта с целью регистрации его параметров и их анализа в режиме реального времени. Объект исследования представляет собой в общем случае подвижный носитель информации, которую возможно зарегистрировать оптическим путем с помощью видеосенсора [1].

Основными элементами системы технического зрения являются:

- цифровая камера;
- устройства синхронизации работы камеры с технологическим оборудованием;
- программируемый логический контроллер (ПЛК) или промышленный компьютер (ПК);
- программное обеспечение, координирующее функционирование всего комплекса;
- интерфейс, связывающий СТЗ, ПЛК/ПК и исполнительные механизмы.

СТЗ должна обладать мультипликативностью и адаптируемостью к большинству видов оборудования и интерфейсов систем контроля.

Ключевым элементом каждой СТЗ является цифровая камера – специализированное

устройство регистрации изображений на основе фоточувствительных ПЗС или КМОП структур различной схемотехнической организации (линейных и матричных). Выбор камеры производится по следующим критериям: разрешающая способность; чувствительность; размер ячейки видеосенсора; время экспозиции; скорость передачи данных; длина интерфейсного кабеля «камера – компьютер»; тип интерфейса с ПК. Именно цифровая камера определяет основные характеристики системы, поэтому ее выбор должен определяться задачами, поставленными перед СТЗ, базироваться на знаниях конкретной предметной области, специфики получения изображений и использования результатов их обработки.

Традиционно изображение, сформированное камерой, передается компьютеру, где специализированным программным обеспечением (ПО) выполняются его последующая обработка, анализ и формирование управляющих сигналов. Такая двухступенчатая архитектура вызывает трудности в адаптации подобных систем к специфике конкретного производства. Это обусловлено низкой скоростью работы, определяемой в основном необходимостью передачи больших объемов информации. Кроме того, большинство стандартных интерфейсов, таких как Ethernet, USB, не обладают достаточной для промышленных применений помехоустойчивостью. В результате производительность большинства технологических агрегатов не допускает работы подобных систем в режиме реального времени. При этом полезная составляющая информации, используемая для работы, как правило, составляет около 1 % всего передаваемого объема данных.

Интегрирование непосредственно в цифровую камеру процессора, способного выполнять функции обработки, анализа изображения и формирования управляющих сигналов, позво-

ляет повысить ее быстродействие, расширить области использования и возможности СТЗ, встраивать СТЗ в уже имеющиеся системы автоматизации и сократить число элементов СТЗ. Подобная архитектура СТЗ позволяет рационально распределить вычислительные задачи между процессорами камеры и компьютера.

Программным обеспечением процессора камеры должны решаться следующие основные задачи: первичная обработка изображений; сегментация, оконтуривание и векторизация; классификация найденных объектов, расчет и анализ их параметров, взаимодействие с исполнительными механизмами.

Необходимость первичной обработки изображений – устранения пространственных, амплитудных искажений и случайных помех (фильтрация, выравнивание освещенности, улучшение качества) – может быть вызвана сложным характером изображения, получаемого в естественных условиях; неопределенностью условий наблюдения; низким качеством исходных изображений (например, по пространственному разрешению, контрастности). Предварительно обработанное изображение является информационным полем для поиска и выявления образов интересующих объектов и анализа последних. Сегментация изображения и оконтуривание позволяют выявить наличие образов объектов на нем, а векторизация – снизить размерность данных. По заданным геометрическим признакам производится классификация объектов и затем нахождение их числовых характеристик.

На процессор ПК возлагаются задачи визуализации, хранения и статистической обработки полученной информации. Последние разработки в области систем технического зрения имеют тенденцию к аппаратному слиянию промышленной цифровой камеры и компьютера (например, продукты Sony XCI-SX1 Intelligent Camera и Matrox Iris E-Series).

В настоящее время развитие СТЗ идет по экстенсивному пути наращивания вычислительной мощности. Однако действительный скачок в развитии СТЗ должен произойти при использовании в их ПО элементов искусственного интеллекта.

Интеллектуальная цифровая камера intCAM 285-1. В соответствии с приведенными принципами построения промышленной СТЗ разработана интеллектуальная цифровая камера intCAM 285-1 (рис. 1), предназначенная для получения высококачественных чернотелых изображений (в промышленных применениях цветного представления, как правило, не требуется), их обработки, анализа в режиме реального времени и передачи в компьютер по локальной сети CAN. Интеллектуальная цифровая камера intCAM 285-1 создана на базе цифровой матричной ПЗС камеры и RISC-процессора с ядром ARM.

Используемая в камере ПЗС матрица SONY ICX285AL обладает следующими достоинствами:

- прогрессивной разверткой;
- высокой чувствительностью;
- малым временем экспозиции (от 5 мкс);
- широким динамическим диапазоном.



Рис. 1. Интеллектуальная цифровая камера intCAM 285-1

Интегрированный в камеру процессор позволяет:

- производить обработку и анализ изображения непосредственно в камере без передачи кадра в компьютер;
- повысить частоту измерений (полное время обработки кадра зависит от сложности используемых алгоритмов и составляет в настоящее время от 200 до 800 мс);
- сократить объем передаваемых данных в 100–10000 раз, что позволяет увеличить длину кабеля связи камеры с компьютером или ПЛК до 300–500 м при использовании локальной сети CAN, обладающей высокой помехоустойчивостью;
- создавать на базе камеры системы технического зрения и встраивать их в уже имеющиеся системы автоматизации;
- реализовывать пользовательские алгоритмы запуска съемки и обработки изображений на языке высокого уровня C++.

ПО интеллектуальной цифровой камеры intCAM 285-1 включает алгоритмы предварительной обработки изображения (изменение контрастности и яркости, инвертирование, бинаризация, выделение границ, шумоподавление) и алгоритмы анализа изображения (поиск объектов на изображении, векторизация образов, классификация объектов, расчет и анализ параметров объектов).

В алгоритмах предварительной обработки изображения применяется пространственная фильтрация посредством LUT-преобразований.

Поиск объектов производится по отличию объекта от фона по яркости и предварительно заданным линейным размерам исследуемого объекта. Для обнаружения объекта используется либо фиксированный порог, либо при переменной светимости объекта – плавающий порог. Следующим шагом в случае успешного обнаружения образа объекта является его векторизация – получение контура образа объекта.

Для классификации найденных на изображении объектов используется статистический метод измерения степени различий между объектами на основе дискриминантных переменных [2]. Радиус гиперсферы, внутри которой лежат объекты, принадлежащие данному классу, и число p дискриминантных переменных определяются экспериментально.

ПО компьютера, функционирующее под операционными системами Windows 2000/XP, позволяет выполнять:

- установку и настройку параметров камеры;
- установку и настройку параметров анализа изображения;
- визуализацию получаемых данных;
- расчет и анализ параметров объекта на изображении.

Интеллектуальная цифровая камера intCAM 285-1, обладающая открытой архитектурой, с интегрированным ARM процессором и набором функций обработки и анализа изображений представляет собой законченный модуль для построения систем технического зрения.

Практическое применение. В стекольной промышленности одним из наиболее эффективных путей снижения себестоимости стеклоизделий и повышения их качества является измерение и регулирование массы стеклянной капли. Так, снижение массы стеклоизделия на 2–3 грамма на одной секционной машине приносит предприятию прибыль до 1 млн руб. в год, а ряд современных технологий вообще не реализуется без системы оперативного контроля массы стекла. Одним из возможных путей реализации такого контроля является установка системы управления массой стеклянной капли (СУ МСК), которая позволяет:

- повысить коэффициент использования стекла;
- снизить массу стеклоизделия в среднем на 1–2 %;
- стабилизировать технологический процесс;
- освободить оператора от постоянного контроля за весом изделия;
- внедрить современные технологии производства облегченной тары (PB и NNPB).

СУ МСК представляет собой бесконтактную систему измерения и регулирования массы стеклянной капли в диапазоне от 100 до 900 г с точностью не менее 0,5 % и временем анализа объекта не более 0,4 с. Объектом измерения является капля стекла (рис. 2), обладающая следующими характеристиками:

- выраженная осевая симметрия;
- высота от 70 до 200 мм, диаметр от 50 до 70 мм;
- свободно падающее тело, максимальная скорость – 5 м/с;
- высокая яркость.

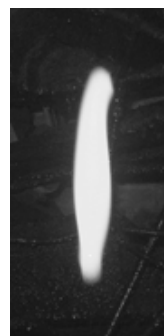


Рис. 2. Капля стекла

В качестве измерительной части СУ МСК выступает СТЗ на базе интеллектуальной цифровой камеры intCAM 285-1.

Вычисление геометрических характеристик капли, в частности ее объема, проводилось на основе анализа плоской проекции. Для объектов, близких по форме к телу вращения, когда выполняется условие топологического подобия плоских сечений, возможно измерение объема при регистрации единственной плоской проекции [2]. Анализ экспериментальной регрессионной зависимости между расчетным и фактическим объемом зарегистрированных объектов (рис. 3) показал, что фактический объем изменялся не более чем на 2,5 %, коэффициент корреляции составил 0,7, а погрешность измерения объема – не более $\pm 0,5$ %.

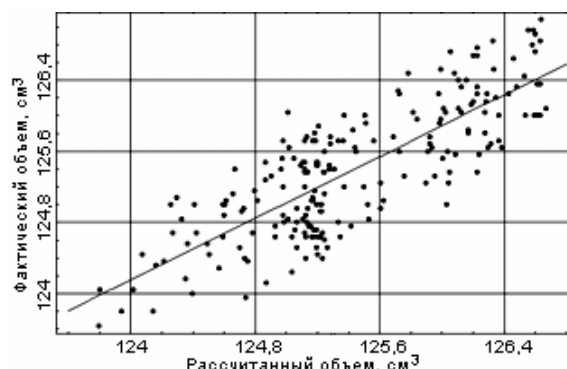


Рис. 3. Регрессионная зависимость между рассчитанным и фактическим объемом зарегистрированных объектов (число измерений – 212)

В качестве дискриминантных переменных, необходимых для анализа отклонений формы капли использовались коэффициенты разложения в ряд Фурье, определенные для расстояний от центра масс капли до конечных точек векторов контура [3].

На рис. 4 представлены формы контуров образов капли разных классов, для которых рассчитаны и сведены в таблицу расстояния Махаланобиса до центра масс соответствующего класса (см. таблицу). Координаты центров классов рассчитывались по 20 образцам, число дискриминантных переменных – 20.

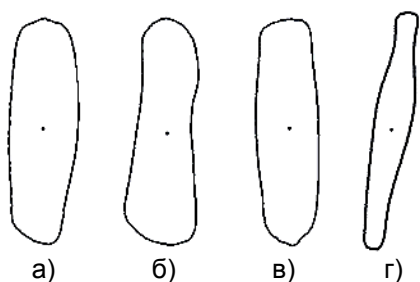


Рис. 4. Образы капель 4-х классов: а – класс №1; б – класс №2; в – класс №3; г – класс №4

Расстояния Махаланобиса для экземпляров капель 4-х классов

Класс №	Значение $D^2 (X G)$			
	Класс №1	Класс №2	Класс №3	Класс №4
1	429	$278 \cdot 10^6$	$595 \cdot 10^5$	$190 \cdot 10^6$
2	$193 \cdot 10^7$	374	$198 \cdot 10^7$	$189 \cdot 10^7$
3	$393 \cdot 10^3$	$390 \cdot 10^4$	380	$517 \cdot 10^5$
4	$659 \cdot 10^3$	$280 \cdot 10^3$	$642 \cdot 10^3$	300

Значения в таблице дискриминантных переменных указывают на хорошую различимость формы различных капель, что обеспечивает возможность оперативного контроля за ходом технологического процесса.

В ходе производственных экспериментов (рис. 5), проведенных на ряде стекольных заводов, была выработана оптимальная структура системы управления массой стеклянной капли. Полученные результаты подтвердили возможность бесконтактного измерения массы стеклянной капли с заданной точностью посредством СТЗ на базе интеллектуальной цифровой камеры intCAM 285-1 (рис. 6).

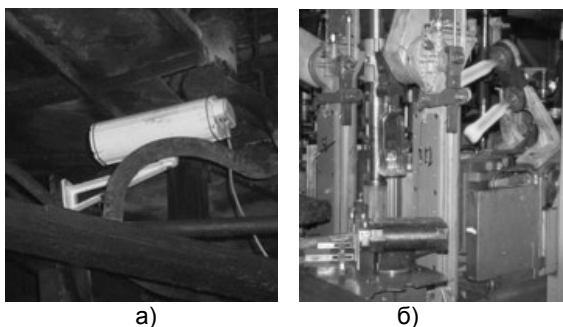


Рис. 5. Производственные установки: а – камера; б – стеклоформирующая машина

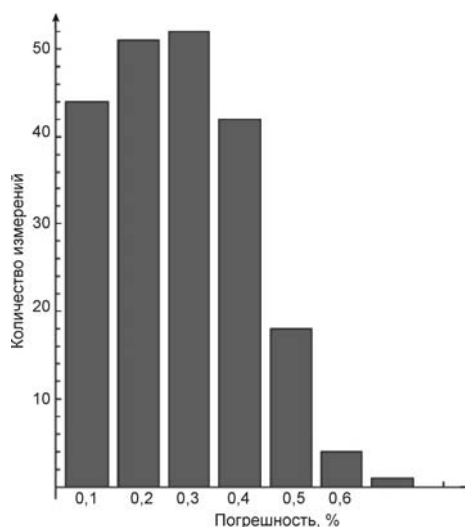


Рис. 6. Гистограмма погрешности измерения массы стеклянной капли

Заключение

Высокочувствительная ПЗС матрица с прогрессивной разверткой и малым временем экспозиции, которая обеспечивает получение качественных изображений быстропротекающих процессов даже при неблагоприятных условиях съемки, а также интегрированный ARM процессор делают интеллектуальную цифровую камеру intCAM 285-1 практически универсальным инструментом получения и анализа информации в видимом диапазоне длин волн.

СТЗ на базе intCAM 285-1 могут эффективно использоваться при решении широкого круга задач, включая задачи промышленной автоматизации (измерение размеров, формы, контроль качества, задачи сортировки), технического зрения роботов, медико-биологических анализов и биометрии и т.п.

Список литературы

1. **Бурков А.П., Комин В.Г., Красильникъ-янец Е.В., Салахутдинов Н.В.** Математическое и аппаратное обеспечение промышленной системы машинного зрения: Тез. докл. Междунар. науч.-техн. мультikonф. «Проблемы информационно-компьютерных технологий и мехатроники» (ИКТМ-2007). – Дивноморское, 2007. – С. 256–260.
2. **Measurements of voluems of skew fields with topologically similar parallel cuts on optical images on the plane of registration / V. Meledin, G. Bakakin, I. Naumov, et all. // Proc. of SPIE, 4115-70, 2000.**
3. **Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клека и др.; Под ред. И.С. Енюкова: Пер. с англ. – М.: Финансы и статистика, 1989.**

Бурков Александр Павлович,
 ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
 кандидат технических наук, ведущий инженер учебно-исследовательского центра электронных систем ЭИМС,
 телефон (4932) 26-97-03,
 e-mail: terehov@eims.ispu.ru

Комин Вадим Геннальевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент кафедры физики,
телефон (4932) 26-99-27,
e-mail: admin@fizika.ispu.ru

Красильникьянц Евгений Валерьевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, начальник учебно-исследовательского центра электронных систем ЭИМС,
телефон (4932) 26-97-03.