

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.385.833

*Р. М. Гафаров*, кандидат технических наук  
*В. А. Куликов*, доктор технических наук  
*А. В. Коробейников*, кандидат технических наук  
*К. А. Шляхтин*, студент  
 ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

### СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВНЕШНЕГО ВИДА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБЧАТЫХ ИЗДЕЛИЙ

*В статье рассматриваются вопросы построения высокоэффективных алгоритмов системы технического зрения для контроля внешнего вида неметаллических трубчатых изделий.*

**Ключевые слова:** контроль, бинаризация изображения, дефект, скелетное преобразование, неоднородность текстуры.

#### Введение

Одним из заключительных этапов в процессе производства неметаллических трубчатых изделий является контроль их внешнего вида. Длина изделий может варьироваться от 300 до 500 мм, толщина (диаметр) от 3 до 6 мм. В процессе серийного производства изделий система технического зрения (СТЗ) должна решать следующие задачи.

1. Круговой обзор изделия и формирование совокупности изображений для различных его проекций.
2. Бинаризация изображения с адаптивным порогом.
3. Контроль прямолинейности (изогнутости) изделия.
4. Определение длины изделия и соответствия ее заданному допуску.
5. Контроль локальных изменений диаметра.
6. Контроль однородности текстуры материала по всей длине изделия.
7. Контроль торцов изделия для выявления дефектов их поверхностей, а также определения недопустимых сколов.
8. Алгоритмы обработки изображений помимо высокой эффективности должны обладать высокой производительностью для обеспечения работы в режиме реального времени.

#### Формирование изображений изделия

Общая схема СТЗ для контроля внешнего вида неметаллических трубчатых изделий приведена на рис. 1. На ней указаны видеокамера  $V$ , формирующая последовательность видеок кадров  $k_1, k_2, \dots, k_n$  изображения контролируемого изделия  $P$ , два синхронно вращающихся приводных валика  $R$ , компьютер  $C$ , реализующий функции ввода и обработки видеoinформации, а также алгоритмов автоматического контроля изделий. Круговой обзор изделия  $P$  происходит за счет его осевого вращения перед неподвижной видеокамерой при помощи двух приводных валиков  $R$ . Число кадров, приходящихся на одно изделие,

зависит от требуемой точности контроля, а также технических характеристик видеокамеры  $V$ . Точность представления изображения изделия  $P$  в кадрах  $k_i$  также выбирается исходя из требований точности контроля. Обычно на практике используют разрешение 6–10 пикселей на миллиметр.

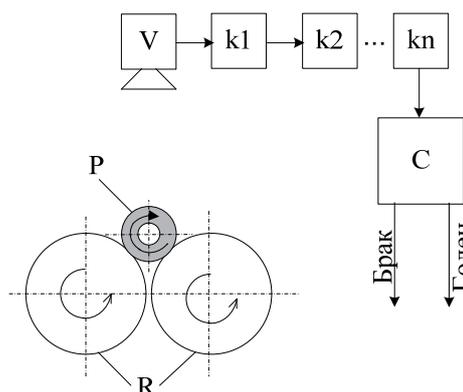


Рис. 1. Общая схема СТЗ

#### Бинаризация изображения с адаптивным порогом

Для эффективной обработки информации необходимы различные формы представления изображений контролируемого изделия. Одним из первых этапов работы СТЗ является сегментация изображения с целью отделения его фоновой части от объекта анализа. Самым простым способом сегментации является бинаризация, т. е. перевод полноцветного или в градациях серого изображения в монохромное, где присутствуют только два типа пикселей (1 и 0). Существуют различные способы бинаризации, которые можно разделить на 2 группы: пороговые и адаптивные.

Операция порогового разделения заключается в сопоставлении значения яркости каждого пикселя изображения с заданным значением порога:

$$B(x, y) = \begin{cases} 1, & I(x, y) \geq t, \\ 0, & I(x, y) < t, \end{cases}$$

где  $B(x, y), I(x, y)$  – функции бинарного и исходного изображений соответственно;  $t$  – значение порога.

Для устойчивой работы такого способа бинаризации требуются достаточно жесткие условия разделения яркостных характеристик объекта и фона, а также однородное освещение. Исследования показали, что в рабочей зоне видеокамеры указанные требования не всегда выполняются. Поэтому для сегментации использовался способ бинаризации с адаптивным порогом. Во-первых, было выявлено, что гистограммы отдельных цветовых составляющих исходного изображения предоставляют различный диапазон возможных значений порога бинаризации. Левая часть в гистограммах на рис. 2 соответствует объекту, а правая – фону.

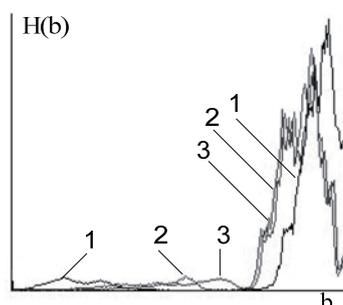


Рис. 2. Гистограммы цветовых составляющих входного изображения: 1 – синяя; 2 – зеленая; 3 – красная

Видно, что диапазон возможных значений порога  $t$  для синей составляющей гораздо шире, чем для красной и зеленой составляющих. Поэтому бинаризация осуществлялась на основе только синей составляющей входного изображения  $I_B$ . Во-вторых, процесс бинаризации происходит путем сканирования изображения по столбцам – перпендикулярно ориентации трубки. В окрестности  $(w \times w)$  каждой точки сканирования вычисляется сумма яркостей  $S(y)$  и в качестве порога бинаризации в данном столбце выбирается значение:

$$t(x) = (\min(S(y)) / w^2 + 255) / 2. \quad (1)$$

Поскольку данный процесс связан с многократным вычислением сумм яркостей в окне  $(w \times w)$ , предварительно было создано интегральное изображение, использование которого существенно сокращает вычислительные затраты [1].

**Контроль прямолинейности (изогнутости) изделия**

Данный вид контроля основывается на выделении осевой линии трубчатого изделия на бинарном изображении  $B$  с использованием быстрого алгоритма скелетизации [2]. Однопроходной сканирующий алгоритм скелетизации основан на вписывании квадратов в изображение объекта и в процессе сканирования вычисляет текущий размер квадрата по рекуррентной формуле:

$$q_{x,y} = \min(q_{x,y-1}, q_{x-1,y-1}, q_{x-1,y}) + 1. \quad (2)$$

Квадрат считается вписанным, если выполняется условие:

$$(B_{x-1,y-1} = 1) \& (q_{x-1,y-1} \geq q_{x,y-1}) \& \& (q_{x-1,y} \geq q_{x-1,y}) \& (q_{x-1,y-1} \geq q_{x,y}). \quad (3)$$

Центры вписанных квадратов образуют осевую линию, которая проверяется на изогнутость. Степень изогнутости оценивается отношением максимальной величины отклонения от прямолинейности к длине изделия. Для этого по конечным точкам осевой линии вычисляется угол ее наклона к горизонтали  $\alpha_o$ . Если  $\alpha_o \neq 0$ , то осевая линия поворачивается на угол  $-\alpha_o$ , чтобы ее конечные точки лежали на одной горизонтали. Тогда за степень изогнутости принимается вертикальный размер описанного около осевой линии прямоугольника, отнесенного к длине осевой линии. Бинарное изображение трубчатого изделия с выделенной осевой линией и описанным прямоугольником показаны на рис. 3.



Рис. 3. Бинарное изображение трубки с выделенной осевой линией

**Контроль локальных изменений диаметра**

На этапе скелетизации были вычислены размеры вписанных квадратов  $q_i$ , которые на горизонтальных участках соответствуют диаметру трубки  $d$ . Однако на наклонных участках (рис. 4) размер квадрата отличается от  $d$  и зависит от угла наклона:

$$d = q(\sin\beta + \cos\beta). \quad (4)$$

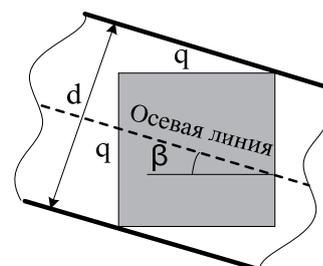


Рис. 4. Схема фрагмента трубки с вписанным квадратом

Для контроля локальных изменений диаметра последовательно для всех выделенных квадратов по формуле (4) вычисляется текущее значение диаметра трубки. Угол  $\beta$  определяется наклоном небольшого участка осевой линии, проходящего через данный квадрат и полученного его линейной аппроксимацией.

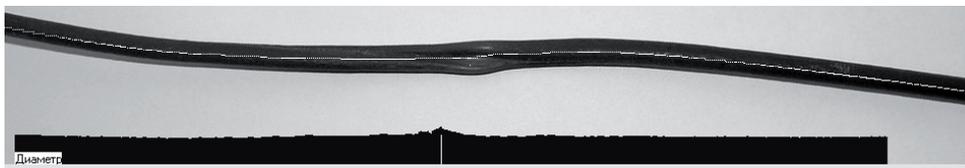


Рис. 5. Пример трубки с локальным изменением диаметра

### Контроль торцов изделия

Дефекты торцов изделия на изображениях трубок выражаются в нарушении текстуры материала на торцах и изменении формы его контура. В настоящее время разработано множество методов текстурного анализа, используемых для выделения дефектов на изображениях: статистический подход, структурный подход, методы, основанные на фильтрации [3]. Многие из них требуют достаточно больших вычислительных затрат, неприемлемых для СТЗ.

В данной работе применяется дифференциальная оценка неоднородностей для участка торца и ближнего фрагмента трубки. Участок торца представляет собой квадрат  $(w \times w)$ , который маскируется бинарным изображением  $B$ . В выделенной таким образом области изображения  $I_R$  в каждой ее точке производится пространственное дифференцирование:

$$z(x, y) = I_R(x, y - 1) + I_R(x + 1, y) + I_R(x, y + 1) + I_R(x - 1, y) - 4I_R(x, y). \quad (5)$$

Значения  $z(x, y)$ , превышающие заданный порог, суммируются по абсолютной величине  $Z = \sum_{x,y \in B} |z(x, y)|$ . Подобная же оценка вычисляется для квадратного фрагмента изображения трубки на удалении  $w$  от торца. При существенной разнице полученных оценок  $Z_1$  и  $Z_2$  принимается решение



$$k_z = 1,02 \\ k_p = 0,28$$



$$k_z = 39,78 \\ k_p = 0,65$$



$$k_z = 46,24 \\ k_p = 0,07$$



$$k_z = 15,01 \\ k_p = 0,26$$

Рис. 6. Примеры автоматического обнаружения дефектов торца

### Заключение

В данной работе были разработаны алгоритмы преобразования исходных изображений в формы, удобные для последующих операций контроля, по-

зволяющие использовать информацию и структуры данных предыдущих этапов для повышения эффективности текущих операций контроля. В частности, сканирующий алгоритм скелетизации преобразует

об отбраковке изделия. Параметром отбраковки является коэффициент неоднородности торца:  $k_z = \frac{Z_1}{Z_2}$ .

Данный подход укладывается в так называемый метод обнаружения новизны (novelty detection [4]) для выделения неоднородностей на текстурных изображениях.

Контроль формы торца основан на оценке его прямоугольности. С этой целью строится квадрат  $(w \times w)$ , описывающий торец. На изображении  $B$  вычисляется отношение числа белых и черных пикселей внутри квадрата. Если форма торца прямоугольная, то он будет хорошо прилегать к сторонам квадрата и число белых пикселей внутри него будет невелико. При нарушении формы торца это отношение будет увеличиваться, что и позволяет отбраковывать изделия по этому показателю. Параметром отбраковки является коэффициент прямоугольности

торца:  $k_p = \frac{n_w}{n_w + n_b}$ , где  $n_w, n_b$  – число белых и черных пикселей в квадрате соответственно.

Примеры трубок с дефектами торца приведены на рис. 6. В экспериментах с анализом дефектов торца были использованы следующие пороговые значения – порог на неравномерность текстуры торца  $k_z = 10$  и порог на изменение формы торца  $k_p = 0,2$ .

зволюющие использовать информацию и структуры данных предыдущих этапов для повышения эффективности текущих операций контроля. В частности, сканирующий алгоритм скелетизации преобразует

изображение объекта в набор вписанных квадратов, которые могут использоваться как набор локальных фрагментов для текстурного анализа изображения, координаты положения квадратов для контроля изогнутости, а размеры – для контроля локальных изменений диаметра трубчатых изделий.

На тестовых и натуральных изображениях проведены исследования для оценки влияния параметров алгоритма на качество выделения текстурных неоднородностей на торцах изделий. Алгоритмы контроля однородности текстуры материала по всей длине изделия находятся на стадии лабораторных испытаний, отчет о которых будет опубликован после получения практически значимых результатов. Что касается остальных видов контроля, то исследования показали устойчивую работу предлагаемых алгоритмов, и они могут быть внедрены в состав высокоэффективных СТЗ.

\*\*\*

*R. M. Gafarov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU

*V. A. Kulikov*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU

*A. V. Korobeynikov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU

*K. A. Shlyakhtin*, Student, Kalashnikov ISTU

#### **Vision system for appearance control of nonmetallic tubular products**

*This article discusses the construction of highly efficient algorithms of vision system to control the appearance of nonmetallic tubular products.*

**Keywords:** control, image binarization, defect, skeletal transformation, texture inhomogeneity.

Получено: 18.04.16

#### **Библиографические ссылки**

1. Южаков Г. Б. Алгоритм быстрого построения дескрипторов изображения, основанных на технике гистограмм ориентированных градиентов // Информатика, математическое моделирование, экономика : труды МФТИ. – 2013. – Т. 5, № 3. – С. 84–91.

2. Гафаров Р. М., Егоров С. Ф. Автоматическая система контроля фотошаблонов и печатных плат на базе скелетного описания // Применение вычислительной техники в измерительных системах : межвузовский сборник. – Ижевск : Экспертиза, 1997. – С. 38–40.

3. Пластинин А. И., Храмов А. Г., Соифер В. А. Обнаружение текстурных неоднородностей на микромасштабных изображениях материалов // Компьютерная оптика. – 2011. – Т. 35, № 2. – С. 158–165.

4. Markou M. Novelty Detection: A Review – Part 1: Statistical Approaches / M. Markou, S. Singh // Signal Processing. – 2003. – Vol. 83. – P. 2481–2497.