

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ИЗМЕРИТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СРЕДСТВ

Шерстюк Ю.А., группа НАП-03

Руководитель проф. каф. ЭТ Чичикало Н.И.

Аннотация. Предложен метод определения диаметра трубных заготовок в прокатно-металлургическом производстве, позволяющий при использовании телевизионных систем показать высокую различимость близких по форме объектов измерения.

Актуальность. Metallургия относится к области техники, использующей высокотемпературные процессы получения материалов и производства готовых изделий и конструкционных полуфабрикатов. Тяжелые условия производства в металлургии характеризуются наличием большего числа вредных для здоровья человека воздействий и факторов, что требует широкого использования систем комплексной автоматизации управления технологическими процессами.

Контроль и измерения диаметров поперечного сечения продукции в прокатно-металлургическом производстве является важной составной частью технологического процесса. В частности, измерение диаметра поперечного сечения трубы позволяет улучшить качество изделий, уменьшить отбраковку труб бурильного и обсадного сортаментов.

Анализ показывает незатухающий интерес к проблеме измерения геометрических размеров объектов. За последние годы резко увеличилось патентование по рассматриваемой проблеме в Японии, которая в период с 1991 по 2002 годы вышла на первое место в мире (24 патента). Патентные исследования указывают, что к поставленной проблеме практически равный интерес со стороны, как научно-исследовательских институтов, так и промышленных предприятий. Очевидна тенденция к построению измерительной аппаратуры на основе телевизионных датчиков с малым

энергопотреблением, не требующей дополнительного подсвета или использующей собственное тепловое излучение объекта в качестве информативного параметра.

Характеристика известных решений. Проведенные исследования позволяют выделить основные группы бесконтактных измерителей геометрических размеров объектов:

- измерители, использующие акустические преобразователи;
- измерители на основе лазерных излучателей и преобразующих систем зеркал;
- измерители на основе многооконных элементов;
- измерители, использующие датчики инфракрасного диапазона (ИК);
- измерители, использующие телевизионные камеры.

Первая группа измерителей объединяет акустические системы, в которых используется импульсный акустический генератор, акустический приемник и вычислительное устройство, определяющее размеры объекта на основе зарегистрированного интервала времени между излучением звукового импульса и его приемом.

Вторая группа измерителей, использующих лазерные излучатели и преобразующие системы зеркал, включает измерительные системы, требующие высокой точности изготовления и настройки оптической системы и применения лазера. Это не всегда возможно в условиях прокатно-металлургического производства. Кроме того, при использовании лазерного излучения из-за наличия загрязняющих частиц или неровности могут возникнуть дифракционные эффекты, влияющие на точность измерения.

Третья группа объединяет бесконтактные измерительные системы на основе многооконных элементов. Измерение параметров поперечного сечения объекта осуществляется методом прямого счета импульсов от элементов, установленных вдоль линии пути объекта измерения в момент поступления сигнала от крайнего элемента, фиксирующего появление в его поле зрения

передней кромки объекта. Для повышения точности необходимо большое число элементов, что усложняет прибор и уменьшает его надежность.

Четвертая группа включает бесконтактные измерительные системы с использованием ИК-датчиков. Эти системы, в отличие от предыдущих двух групп не требуют внешней подсветки, так как информативный признак для их работы лежит в изменении инфракрасной картины (распределения температур) зоны наблюдения. Действительно, в прокатно-металлургическом производстве, измеряемый объект, нагретый до температуры порядка 1000 К, сам является источником лучистой энергии. При высокой собственной температуре измеряемого объекта изображение оказывается контрастным по отношению к окружающему фону, и границы объекта могут быть выделены из видеосигнала известными методами [1, 2]. Однако недостатком данных систем можно считать высокий уровень сопутствующих тепловых шумов, присущий ИК-системам.

Измерительные системы пятой группы объединяет использование телевизионных камер для получения сигнала изображения с последующим измерением длительности интервала, соответствующего измеряемому параметру. Способы измерения геометрических размеров объектов с помощью телевизионных устройств основаны, как правило, на измерении длительности временного интервала между перепадами видеосигнала, соответствующего развертке изображения краев объекта в направлении измерения, т.е. к измерению длительности видеоимпульса, эквивалентного контролируемому размеру.

Измерение диаметра поперечного сечения по длительности импульса видеосигнала вытекает из самой сущности телевизионной передачи изображений. Для такого рода измерений оказывается достаточной однострочная система развертки изображения. Однако искажения изображения за счет геометрических искажений в оптоэлектронных преобразователях, а

также из-за нелинейности развертки приводят к значительному несоответствию временного интервала видеосигнала размеру объекта.

Широкому распространению бесконтактных телевизионных методов измерения в трубном прокатно-металлургическом производстве препятствует низкая освещенность металлургических цехов, которая не позволяет получать контрастные телевизионные изображения объектов. В связи с этим для более точного определения границ объекта приходится "подсвечивать" объект, измеряя протяженность его тени. Такой способ требует дополнительных энергетических затрат и приводит к значительным погрешностям при уменьшении освещенности фона из-за загрязнения или неисправности осветителя.

Проведенный анализ показывает, что при разработке бесконтактной измерительной аппаратуры на принципах оптоэлектроники одной из важных задач, является обеспечение максимальной чувствительности датчика и отношения сигнал/шум для обеспечения высокой точности измерения. Во многих случаях эта проблема решается с помощью мощных источников внешнего освещения, обеспечивающих высокий контраст оптического изображения. При этом измерение сопровождается неоправданным расходом электроэнергии, идущей на нагрев источников излучения осветительных установок.

Очевидным преимуществом этих измерителей является способность выделять информацию о границах измеряемого объекта из картины распределения температур в зоне наблюдения. При высоких температурах нагрева измеряемого объекта изображение получается высококонтрастным, что гарантирует низкую погрешность измерения. Однако из-за существенных отличий физических процессов, происходящих в различных телевизионных датчиках при формировании и считывании поперечного сечения, представляется актуальным оценить возможность использования

телевизионных преобразователей в аппаратуре, работающей с тепловым излучением измеряемых объектов.

Постановка задачи. Система обработки визуальной информации должна обеспечить выполнение следующих функций:

- выделение изображения поперечного сечения объекта измерения;
- измерение параметров поперечного сечения;
- выработка сигналов для управления прокатным станом.

Обратимся к изображению трубной заготовки (рис. 1), полученной при помощи матрицы ПЗС. Анализ изображения показывает, что важным моментом при измерении диаметра трубы на фоне мешающих засветок является выбор порога, сравнение с которым позволяет заключить, относится ли данная точка изображения к объекту измерения или к фону.

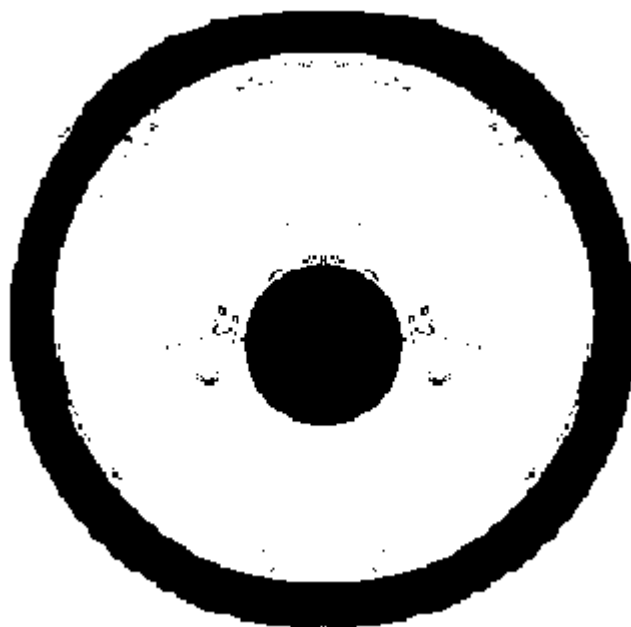


Рисунок 1 — Внешний вид трубной заготовки

Существует ряд методов автоматического определения этого порога [3,4], среди которых можно выделить:

- метод моды;

- метод на основе анализе матрицы потенциалов, полученной по исходному изображению;
- метод, на основе анализе гистограмм, распределения числа точек изображения, по уровням квантования их яркостей;
- метод логического сглаживания;
- метод половинного деления сегментации дискретной кривой отрезками прямых и дугами окружностей;
- метод нахождения угловых точек у дискретной кривой;
- метод инвариантного описания диаметра трубы посредством моментов.

Для идентификации диаметра трубы необходимо получать в ЭВМ его описание в виде набора информативных признаков. В работе анализируется способ инвариантного описания геометрических размеров поперечного сечения объекта посредством моментов. Обратимся к рис. 2, который иллюстрирует применение принципа инвариантного описания диаметра трубы при использовании телевизионной аппаратуры на основе матрицы приборов с зарядовой связью (ПЗС).

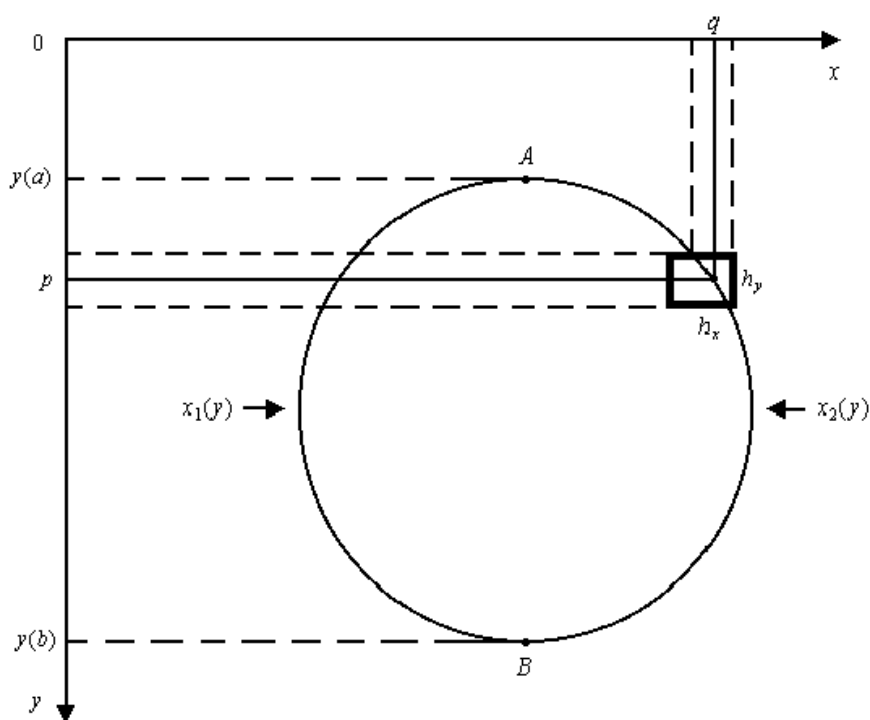


Рисунок 2 — Вид объекта измерения

Отметим на объекте измерения точки А и В с координатами $y(a)$ и $y(b)$. Правая и левая части объекта измерения описываются функциями $x_1(y)$ и $x_2(y)$. Размер $h_y = H/P$ определяется высотой матрицы ПЗС H и числом строк в матрице P .

Координата по оси ординат $y = h_y(p + \xi)$ определяется номером строки p и параметром $-1/2 < \xi < 1/2$.

Пусть S — область определения функции $f(x, y)$. Тогда с учетом принятых обозначений определим коэффициенты z_{jk} , $j, k = \overline{0, n}$ функции $f(x, y)$:

$$z_{jk} = \iint_S x^j y^k f(x, y) dx dy = \int_{y(a)}^{y(b)} y^k \int_{x_1(y)}^{x_2(y)} x^j dx dy = \sum_{p=p(a)}^{p(b)} h^{k+1} y \int_{-1/2}^{1/2} (p + \xi)^k \frac{x_{2p}^{j+1}(\xi) - x_{1p}^{j+1}(\xi)}{j+1} d\xi$$

где $x_{2p}(\xi) = x_2[h_y(p + \xi)]$ и $x_{1p}(\xi) = x_1[h_y(p + \xi)]$.

Координаты

$$x_{1p}(\xi) = h_x [q_{1p} + a_{1p}(\xi)] \quad \text{и} \quad x_{2p}(\xi) = h_x [q_{2p} + a_{2p}(\xi)]$$

по оси x определяются длиной строки матрицы на ПЗС L , числом элементов в строке Q и параметром $h_x = Q/L$.

По полученным данным определяются значения для коэффициентов z_{jk} , $j, k = \overline{0, n}$ через начальные q_{p1} и конечные q_{p2} координаты хорд измеряемого диаметра трубной заготовки на каждой строке p матрицы ПЗС:

$$z_{jk} = \frac{h_x^{j+k} h_y^{k+1}}{(j+1)(k+1)} \sum_{p=p(a)}^{p(b)} (q_{2p}^{j+1} - q_{1p}^{j+1}) \left(\left(p + \frac{1}{2} \right)^{k+1} - \left(p - \frac{1}{2} \right)^{k+1} \right)$$

Набор коэффициентов z_{jk} , $j, k = \overline{0, n}$ однозначно определяет функцию $f(x, y)$. Соответственно и каждой функции $f(x, y)$ соответствует свой набор коэффициентов z_{jk} , $j, k = \overline{0, n}$. Таким образом, если изображение $f(x, y)$ содержит один объект измерения, то набор коэффициентов z_{jk} , $j, k = \overline{0, n}$ может быть использован для его описания. Для описания коэффициентов до третьего порядка используются следующие формулы:

$$\left\{ \begin{array}{ll} z_{00} = h_x h_y \sum_p n_p; & z_{10} = h_x^2 h_y \sum_p n_p q_p; \\ z_{01} = h_x h_y^2 \sum_p p n_p; & z_{20} = h_x^3 h_y \sum_p n_p (q_p^2 + \frac{n_p^2}{12}); \\ z_{02} = h_x h_y^3 \sum_p n_p (p^2 + \frac{1}{12}); & z_{11} = h_x^2 h_y^2 \sum_p p n_p q_p; \\ z_{21} = h_x^3 h_y^2 \sum_p p n_p (q_p^2 + \frac{n_p^2}{12}); & z_{12} = h_x^2 h_y^3 \sum_p n_p q_p (p^2 + \frac{1}{12}); \\ z_{30} = h_x^4 h_y \sum_p n_p q_p (q_p^2 + \frac{n_p^2}{4}); & z_{03} = h_x h_y^4 \sum_p n_p (p^3 + \frac{1}{4}); \end{array} \right.$$

где $n_p = q_{2p} - q_{1p}$ — длина хорды на строке P матрицы ПЗС;

$$q_p = \frac{q_{2p} + q_{1p}}{2} \text{ — координата центра этой хорды.}$$

В телевизионной аппаратуре значения коэффициентов $z_{jk}, j, k = \overline{0, n}$ вычисляются с определенной погрешностью. В результате этого фрагмент измерения представляется в пространстве не точкой, а некоторой областью вокруг данной точки. Размеры области зависят от величины суммарной погрешности (методической и аппаратурной). Методическая погрешность обусловлена способом съема информации об объекте измерения. Величина этой погрешности зависит от относительных размеров и формы объекта, а также от его ориентации и положения относительно начала отсчета.

Аппаратурные погрешности возникают из-за неидеальных свойств матрицы ПЗС и определяются следующими составляющими:

- случайная погрешность определения координат начала q_{1p} и конца q_{2p} хорд, обусловленная фотонными шумами и шумами канала считывания и квантования устройства дискретно-аналоговой обработки;
- систематическая погрешность определения этих координат, обусловленная дисторсией оптической системы.

Для обеспечения устойчивости алгоритмов сопоставления к изменениям освещенности проводится нормировка фрагмента. При этом яркость каждого элемента рассчитывается по формуле:

$$b_i = (B_i - M) / D \quad (i=1,2,\dots,n),$$

где B_i — яркость i -го элемента фрагмента;

b_i — его нормированная яркость;

n — число элементов фрагмента;

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_i ;$$

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n | B_i - M |.$$

Такая нормировка элементов обеспечивает инвариантность нормированных яркостей по отношению к линейным искажениям значений B_i , т.е. к искажениям вида:

$$B_i = aB_i^0 + \beta \quad (i = 1,2,\dots,n),$$

где B_i^0 — яркость, полученная при измерении эталонного фрагмента;

$a > 0$, β — константы.

Вывод. Обоснован выбор измерителей, использующих телевизионные камеры для определения диаметра трубных заготовок позволяет показать высокую различимость близких по форме объектов измерения, при этом существенно снизить суммарную погрешность измерения за счет снижения геометрических искажений.

Перечень ссылок

1. Радиотехнические и телевизионные средства сбора и обработки информации / Под ред. К.Е.Румянцева. — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1998. — 162 с.
2. Балабаев С.Л., Румянцев К.Е. Телевизионный датчик контроля изделий металлургического производства // Информационные технологии в науке и образовании. Сб. науч. трудов. — Вып.28. Шахты. 1998. — С. 24–28.
3. Афанасьев А.Н. Экспериментальная автоматическая телевизионная система восприятия объектов трехмерной сцены // Техника средств связи. Сер. Техника телевидения. 1977. — Вып.2. — С.27.
4. Юревич Е.И., Новаченко С.И., Павлов В.А. Управление роботами на ЭВМ / Под ред. Е.И.Юревича. — Л.: Энергия. Лен. отд-ние, 1980. — 264 с.