



## МЕТОДИКА И АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДВУХЭТАПНОЙ ВИДЕОИДЕНТИФИКАЦИИ МЕТАЛЛОПРОКАТНЫХ ЗАГОТОВОК

А.А. Орлов, А.В. Провоторов, А.В. Астафьев (ВлГУ им. А.Г. и Н.Г. Столетовых)

Представлены методика и алгоритмы автоматического обнаружения маркировки, использованные при создании системы автоматической идентификации маркировки (САИМ) для отслеживания движения заготовок между складом и основным производственным оборудованием цеха ОАО «Выксунский металлургический завод». Представленная разработка позволяет осуществлять автоматический контроль продукции металлопрокатного комплекса на промышленном предприятии. Отличительной особенностью системы является возможность распознавания образов на большом расстоянии 3...16 м<sup>1</sup>.

Ключевые слова: система технического зрения, системы автоматической идентификации маркировки, наведение видеодатчика.

### Введение

В современных рыночных условиях автоматизация процессов производства — одно из приоритетных направлений развития отечественных предприятий. В целях необходимости модернизации существующих производств в настоящее время динамично развиваются системы технического зрения (СТЗ), позволяющие автоматически анализировать изображения промышленной продукции (идентифицируя ее по маркерам). Системы автоматической идентификации (САИ), использующие СТЗ, заменяют человека в опасных и вредных зонах производства, значительно уменьшают его рутинный труд в ситуациях, где практически невозможно применение других известных методов идентификации [1].

ОАО «Выксунский металлургический завод» производит трубы для добычи и транспортировки нефти и газа, строительства, жилищно-коммунальной сферы, колес для железнодорожного транспорта. В ходе ТП требуется осуществлять идентификацию заготовок — слябов, представляющих собой металлические плиты длиной 4...7 м и толщиной до 40 см с закрепленной на боковой стороне маркировкой. Слябы перемещаются с помощью промышленного крана с длиной троллеи 32 м таким образом, что закрепленный груз может находиться на расстоянии 3...16 м до ближайшей опоры и на высоте до 8 м, что значительно затрудняет задачу распознавания маркера.

Руководство завода поставило задачу разработать САИМ, удовлетворяющую следующим требованиям:

- 1) стабильный ТП (отсутствует необходимость изменений);
- 2) возможность автоматического поиска координат маркера (даже на движущейся продукции);

3) достоверная идентификация маркировки на большом расстоянии — 3...16 м.

В настоящее время на рынке присутствуют различные решения в области САИМ, в том числе использующие СТЗ, от отечественных и зарубежных производителей. Однако все они рассчитаны на распознавание образов на ограниченном расстоянии до 3 м от видеосканера [2–7].

Для решения поставленной заводом задачи применения данных технологии автоматической идентификации не удовлетворяет сформулированным требованиям, что обуславливает необходимость разработки специальной СТЗ. В связи с этим авторами разработаны методика и алгоритмы автоматического обнаружения маркировки, использованные при создании системы автоматической идентификации маркировки (САИМ) для отслеживания движения заготовок между складом и основным производственным оборудованием цеха. Представленная разработка позволяет осуществлять автоматический контроль продукции металлопрокатного комплекса на промышленном предприятии.

С целью повышения достоверности и оперативности идентификации в работе предлагается двухэтапная идентификация: «грубое» наведение видеокamеры на основе информации с позиционных датчиков и «тонкое» наведение на основе цифрового анализа изображения для локализации и распознавания маркера металлопрокатной заготовки (сляба).

### Описание структуры аппаратно-программного комплекса САИМ

САИМ предназначена для автоматического определения маркировки (алфавитно-цифрового кода) и передачи полученного кода маркировки на сервер

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-07-00845.

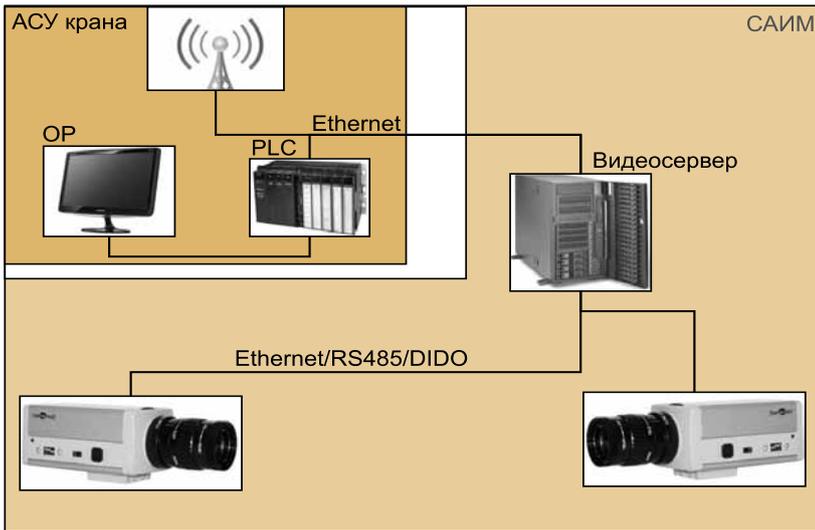


Рис. 1. Общая структурная схема САИМ

АСУТП склада по сети Ethernet. Полученная маркировка используется в АСУТП склада для визуализации и контроля правильности составления и выполнения заданий на транспортировку заготовок.

На предприятии ОАО «Выксунский металлургический завод» САИМ включает: видеокамеру производственного назначения фирмы Basler, поворотное устройство и защитный кожух для камеры фирмы Siemens, шкаф для приема/передачи данных с платой телеметрии RTS 9.03 от фирмы «БИК-Информ» (Санкт-Петербург), шкаф видеосервера с системным блоком для обработки входящего видеосигнала по средствам платы Matrox SoliosGigE, контроллер крана фирмы KONECRANES, обеспечивающий сбор данных о состоянии датчиков крана [8].

Камеры, оснащенные поворотными устройствами, и видеосервер устанавливаются на промышленные краны фирмы KONECRANES. Шкаф видеосервера располагается на складе слябов и аккумулирует информацию с кранов через протокол Ethernet. Общая структурная схема СИИМ представлена на рис. 1.

Первоочередной задачей САИМ является автоматическая локализация положения и распознавания маркера.

Для решения этой задачи разработана методика, включающая четыре этапа.

1. Определение местоположения груза и наведение видеодатчика на центр маркировки.
2. Формирование детализированного снимка груза.
3. Локализация области маркировки.
4. Распознавание маркировки.

**Определение местоположения груза и наведение видеодатчика на центр маркировки**

Требуется обработать и интерпретировать данные, поступающие от измерительных устройств, для определения текущего местоположения груза и корректировки положения видеодатчика.

*Алгоритм наведения видеодатчика на маркер.*

1. Получение информации от измерительных устройств:

$x_d$  — координата груза относительно крайней точки моста крана, мм;

$z_d$  — координата груза относительно уровня пола вдоль оси подъема, мм;

$\alpha_p$  — положение видеодатчика по горизонтали;

$\beta_p$  — положение видеодатчика по вертикали.

2. Преобразование полученных данных в следующие значения:

— координаты груза ( $x, y, z$ ) в описанной системе координат математической модели;

— координаты положения видеодатчика ( $\alpha, \beta$ ).

3. Формирование управляющей команды для видеодатчика  $u(a, b)$  на основе анализа текущего положения груза и видеодатчика. Здесь  $a$  — угол между положением видеодатчика и маркировкой по горизонтали;  $b$  — угол между положением видеодатчика и маркировкой по вертикали.

4. Преобразование видеодатчиком управляющего сигнала  $u(a, b)$  в механическое воздействие  $U(a, b)$ .

5. Изменение положения видеодатчика в пределах механического воздействия. Далее в систему поступает обновленная информация о состоянии датчика положения груза и видеодатчика.

Процесс повторяется до момента выдачи системой сигнала о нахождении объекта управления в расчетном положении в рамках установленной погрешности ( $E_a, E_b$ ). Здесь и далее погрешность допускается, так как полное совпадение с расчетным состоянием недостижимо в силу влияния на систему в реальной среде возмущающих воздействий и ограниченной точности измерительных датчиков.

В результате выполнения данного этапа положение видеодатчика меняется таким образом, что в области его видимости оказывается маркированное изделие.

**Формирование детализированного снимка области груза**

Для получения детализированного снимка маркировки необходимо изменить масштаб изображения и фокусное расстояние видеодатчика таким образом, чтобы в области захвата видеодатчика оказалось изображение груза с нанесенной на него маркировкой.

Область захвата видеодатчика определяется первым множителем из формулы:

$$s = \frac{2 * r}{W_m} * l * \tan\left(\frac{\alpha_v * \pi}{2 * 180}\right), \quad (1)$$

где  $r$  - расстояние по диагонали от видеодатчика до маркировки;  $l$  - коэффициент приближения;  $W_m$  - длина метки;  $\alpha_v$  - угол поля зрения видеодатчика.

Значение первого множителя варьируется в зависимости от цели формирования изображения.

*Алгоритм изменения масштаба изображения.*

1. Получение информации от измерительных устройств:

$x_d$  — координата груза относительно крайней точки моста крана, мм;

$z_d$  — координата груза относительно уровня пола вдоль оси подъема, мм;

$s_p$  — текущий масштаб изображения видеодатчика;

$f_p$  — текущее фокусное расстояние видеодатчика.

2. Вычисление следующих параметров:

— координаты груза ( $x, y, z$ ) в описанной системе координат математической модели;

— текущий масштаб изображения видеодатчика  $s$ .

3. Расчет нового значения масштаба изображения, то есть расстояния от видеодатчика до маркера по диагонали  $r$ :

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}. \quad (2)$$

4. Расчет по формуле (1) во сколько раз необходимо увеличить масштаб изображения  $s$ , на котором в область захвата камеры попадает весь груз с закрепленной на нем биркой с маркировкой.

5. Формирование управляющей команды  $u(s)$  на видеодатчик.

6. Преобразование видеодатчиком управляющего сигнала  $u(s)$  в механическое воздействие  $U(s)$ .

7. Изменение масштаба изображения видеодатчика в пределах механического воздействия. Далее измерительное устройство получает новую информацию о состоянии датчиков.

Процесс повторяется до момента выдачи системой сигнал о нахождении объекта управления в расчетном положении в рамках установленной погрешности  $E_s$ .

В процессе изменения масштаба изображения необходимо пропорционально изменить фокусное расстояние видеодатчика.

*Алгоритм формирования снимка области груза видеодатчиком.*

1. Получение информации от измерительных устройств:  $x_d, z_d, s_p, f_p$ .

2. Преобразование полученных данных в следующие значения:

— координаты груза ( $x, y, z$ ) в описанной системе координат математической модели;

— текущий масштаб изображения видеодатчика  $s$ ;

— текущее фокусное расстояние видеодатчика  $f$ .

3. Определение нового значения фокусного расстояния видеодатчика. Для этого определяется расстояние от видеодатчика до маркера по формуле (2). Далее вычисляется фокусное расстояние до объекта  $f$ :

$$f = \frac{r}{s}. \quad (3)$$

4. Формирование управляющей команды  $u(f)$  для видеодатчика.

5. Прием видеодатчиком  $u(f)$  и преобразование в механическое воздействие  $U(f)$  на объект управления.

6. Изменение фокусного расстояния в пределах механического воздействия. Далее измерительные устройства получают обновленную информацию от датчиков.

Процесс повторяется до момента достижения значения фокусного расстояния расчетного положения в рамках установленной погрешности  $E_f$ .

В результате выполнения данного этапа методики масштаб изображения и фокусное расстояние видеодатчика изменяются, что позволяет получить детализированное изображение маркированного изделия, необходимое для достоверного обнаружения маркировки.

Описанные этапы реализуют процесс грубого обнаружения области маркировки.

### Локализация области маркировки

На данном этапе методики производится анализ текущего изображения с видеосканера с целью определения наличия на нем маркировки. Положение видеодатчика корректируется по результатам анализа, что позволяет достоверно определить местоположение маркировки.

Рассмотрим алгоритм локализации области маркера.

1. Получение информации от измерительных устройств:  $x_d, z_d, \alpha, \beta$  — положение видеодатчика по вертикали, а также  $I$  — изображение с видеодатчика.

2. Преобразование полученных данных в следующие параметры:

— координаты груза ( $x, y, z$ ) в описанной системе координат математической модели;

— координаты положения видеодатчика ( $\alpha, \beta$ ).

3. Формирование управляющей команды  $u(x_m, y_m)$ , где координаты метки на изображении  $I$  — ( $x_m, y_m$ ) вычисляются по формуле:

$$(x_m, y_m) = F_i(I). \quad (4)$$

4. Прием видеодатчиком управляющих сигналов  $u(x_m, y_m)$  и преобразование их в механическое воздействие  $U(x_m, y_m)$ .

5. Изменение положения видеодатчика в пределах механического воздействия  $U(x_m, y_m)$ . Далее измерительные устройства получают обновленную информацию от датчиков.

Процесс повторяется до выдачи устройством управления сигнала о нахождении объекта управления в расчетном положении в рамках установленной погрешности ( $E_x, E_y$ ).

В результате выполнения данного этапа методики положение видеодатчика корректируется таким образом, что маркер изделия оказывается в центре изображения, что позволяет увеличить шанс успешного распознавания маркировки.

### Распознавание маркировки

Для идентификации области маркера необходимо получить его максимально увеличенное и де-

Таблица

	Достоверность распознавания, %	Среднее время распознавания, с
Условия недостаточной видимости		
Ручной метод обработки	86	25
СИАМ	96	12,9
Положение маркировки заранее неизвестно		
Ручной метод обработки	72	30
СИАМ	98	14,9
В технологических зонах с повышенной температурой		
Ручной метод обработки	Невозможно по технике безопасности	–
СИАМ	98	13,9

тализированное изображение путем изменения масштаба изображения и фокусного расстояния видеодатчика и коэффициента приближения формулы (1).

*Алгоритм распознавания маркировки.*

1. Заключительное увеличение масштаба изображения и пропорциональное изменение фокусного расстояния видеодатчика (этап 2).

2. Получение данных от измерительных устройств:  $I, x_d, z_d$ .

3. Преобразование полученных сигналов в координаты груза ( $x, y, z$ ) в описанной системе координат математической модели.

4. Анализ полученного изображения. Оценка положения области маркировки относительно видеодатчика вычисляется по формуле:

$$a_n = N_a(I, x, y, z), \quad (5)$$

где  $a_n$  — угол нормализации изображения маркировки относительно положения видеодатчика;

5. В случае превышения  $a_n$  критического значения  $k_a$  необходимо преобразовать изображение  $I$ , относительно угла нормализации по формуле:

$$I = N_i(I, a_n), \quad (6)$$

где  $N_i$  — функция нормализации изображения.

6. Распознавание изображения маркировки. Процесс распознавания можно представить следующим образом:

$$(M, p) = R(I), \quad (7)$$

где  $M$  — результат распознавания маркировки;  $p$  — вероятность успешного распознавания;  $I$  — изображение, содержащее область маркировки.

В результате выполнения данного этапа происходит идентификация области маркировки на изображении с видеодатчика.

Этапы 3 и 4 методики реализуют процесс тонкого обнаружения области маркировки.

#### Экспериментальные результаты

Для проверки работоспособности разработанной методики автоматического обнаружения маркировки был проведен ряд экспериментов на складе слэбов металлопрокатного комплекса СТАН-5000 ОАО «Выксунский металлургический завод».

Эксперименты проводились в сравнении с ручным методом идентификации маркировки при изменяющихся условиях окружающей среды (таблица). Число экспериментов везде 150 ед.

Полученные результаты показали работоспособность методики при различных условиях. Время выполнения локализации в зависимости от условий эксперимента составляет до 15 с. Достоверность распознавания составила 96%. Полученные результаты подтверждают достоверность предлагаемой методики.

#### Заключение

Таким образом, разработанная методика автоматического обнаружения маркировки, основанная на двухэтапном («грубом» и «тонком») наведении видеодатчика, позволяет достоверно локализовать и распознавать область маркера на изображении. Корректность работы методики подтверждена про-

**PENTAIR**

*Hoffman McLean*

ОТЛИЧНОЕ РЕШЕНИЕ  
ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ

НАДЕЖНАЯ ЗАЩИТА,  
ИДЕАЛЬНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

Промышленные шкафы Hoffman® PROLINE™ в сочетании с охлаждающими устройствами McLean® — это передовое решение Pentaair для защиты электронного оборудования. Pentaair — ваш глобальный партнер в сфере защиты оборудования. Решения и услуги для идеального охлаждения от одного поставщика.

DESIGN WITH CONFIDENCE™

WWW.HOFFMANONLINE.BIZ

веденными экспериментами на ОАО «Выксунский металлургический завод».

#### Список литературы

1. Forsyth D., Ponce J. Computer Vision: A Modern Approach//Prentice Hall, Englewood Cliffs. 2003.
2. Chen I.-H., Wang S.J. Efficient vision-based calibration for visual surveillance systems with multiple PTZ cameras//IEEE Int'l Conf. on Computer Vision Systems, 2006.
3. Стародубов Д.Н., Стулов Н.Н. Комплекс программ обработки и анализа изображения объектов в системах технического зрения//Программные продукты и системы. 2006. №3.
4. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение//Пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2006.
5. Клевалин В.А., Поливанов А.Ю. Цифровые методы распознавания в системах технического зрения промышленных роботов//Мехатроника. Автоматизация. Управление 2008. №5.
6. Aluze D., Merienne F., Dumont C., Gorria P. Vision system for defect imaging, detection, and characterization on a specular surface of a 3D object//Image Vision Comput. 2008. №20.
7. Rosati G., Boschetti G., Biondi A., Rossi A. Real-time defect detection on highly reflective curved surfaces//Optics Lasers Eng. 47. 2009.
8. Провоторов А.В., Орлов А.А. Разработка методики и системы автоматической идентификации промышленной продукции на основе анализа изображений с управляемых видеодатчиков//Ползуновский вестник. Барнаул: РИЦ АлтГТУ. 2012.

*Орлов Алексей Александрович* — д-р техн. наук, зав. кафедрой физики и прикладной математики, *Провоторов Алексей Владимирович* — аспирант, *Астафьев Александр Владимирович* — аспирант Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н. Г. Столетовых. Контактный телефон (49234) 77-1-24. E-mail: alexandr.astafiev@isconnection.ru

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УТЕЧКИ ИЗ НЕФТЕПРОВОДА ПО РАЗНОСТИ ВО ВРЕМЕНИ ДАВЛЕНИЯ В ЧЕТЫРЕХ КОНТРОЛИРУЕМЫХ СЕЧЕНИЯХ ТРУБЫ

**Т.Е. Мамонова (Томский политехнический университет)**

Предложен метод определения утечки, основанный на анализе гидравлических характеристик трубопровода, изменяющихся во времени. Описано устройство для измерения разности во времени давления в контролируемых сечениях трубы. Получены расчетные формулы для определения массового расхода и координаты утечки в соответствии с предложенным методом. Приведено исследование метода с применением программы COMSOL Multiphysics 3.5. Показано, что предложенный метод и расчетные формулы, соответствующие ему, являются работоспособными и применимыми при определении утечек из нефтепроводов.

Ключевые слова: нефтепровод, датчик давления, гидравлический профиль трубопровода, утечка в трубопроводе.

При эксплуатации магистральных нефтепроводов одной из наиболее актуальных и сложных задач является своевременное обнаружение утечек, а также определение координаты и массового расхода этих утечек. Особо острой является проблема определения несанкционированных врезок в трубопровод, которые устанавливаются для хищения нефтепродуктов, так как может привести к большим экономическим и экологическим затратам. Например, установлено, что на ликвидацию врезки требуется порядка 2,5 млн. руб., а экологический ущерб оценить практически невозможно [1].

Сложность обнаружения несанкционированных врезок заключается в следующем.

1. Длительность утечки при установке несанкционированной врезки невелика и может составлять порядка минут или даже секунд.

2. Расход таких утечек сравнительно мал, что приводит к малому изменению давления при их возникновении и по используемым датчикам давления такое изменение зачастую обнаружить нет возможности из-за недостаточной чувствительности последних.

Методы обнаружения утечек, которые используются в настоящее время при эксплуатации линейной части нефтепроводов, в большинстве случаев являются малочувствительными к изменениям интенсивности возникающих кратковременных утечек и предназначены, в основном, для обнаружения утечек и определения только их местоположения [3]. Методы же, при использовании которых есть возможность определить утечки малой интенсивности, например, такие как метод акустической эмиссии, являются дорогостоящими.

В представляемой работе предлагается метод для определения координаты и массового расхода утечки, который основан на анализе гидравлических характеристик трубопровода по разности во времени давления в контролируемых сечениях трубы. Прототипом предлагаемого метода является метод гидравлической локации утечки, описанный в [2]. В данном методе используются дифференциальные датчики давления, измеряющие изменения давления на концах базисных сегментов, выбранных вблизи нефтеперекачивающих станций в начале и конце трубы. Координата  $\xi$