

На правах рукописи

Провоторов Алексей Владимирович

**Алгоритмы двухуровневого управления видеодатчиками
системы автоматической идентификации
маркировки слябов**

Специальность

05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка
информации (промышленность)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Муром – 2014

Работа выполнена в Муромском институте (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования (ФГБОУ ВПО) «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ).

Научный руководитель доктор технических наук, доцент Орлов Алексей Александрович.

Официальные оппоненты:

Чернецкая Ирина Евгеньевна, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, профессор кафедры «Вычислительная техника»;
Стародубов Дмитрий Николаевич, кандидат технических наук, ООО «Корпорация Ред Софт», г. Москва, начальник отдела фундаментальной разработки.

Ведущая организация ФГБОУ ВПО «Череповецкий государственный университет», г. Череповец, Ярославская область.

Защита состоится 25 июня 2014 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д212.025.01, созданного на базе ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, ауд. 335-1.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте ВлГУ <http://diss.vlsu.ru/>.

Автореферат диссертации размещен на сайте ВАК <http://vak.ed.gov.ru>.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2014 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, направлять по адресу университета: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, ВлГУ, учено-му секретарю диссертационного совета Д212.025.01.

Ученый секретарь диссертационного совета

Н.Н. Давыдов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности

В связи с ростом масштабов работ по интенсификации и компьютеризации и комплексной автоматизации производства автоматизация управления технологическими процессами на промышленных предприятиях является актуальной. Это привело к возможности появления систем, способных решать задачи автоматизации в различных областях промышленности. Применение таких систем не только позволяет повысить эффективность производства и снизить затраты, но и позволяет заменить человека в опасных и вредных зонах производства, значительно уменьшает его рутинный труд.

Одной из таких задач автоматизации является обеспечение контроля промышленных изделий в процессе транспортировки по территории предприятий. Для решения данной задачи применяется маркировка изделий.

Существует большое количество методов идентификации маркировки, применяемых при различных условиях и особенностях производства. Наиболее часто используются методы на основе радиочастотных меток и меток с использованием штрих-кода.

В настоящее время наблюдается растущий интерес к технологиям и системам автоматической идентификации на основе технического зрения. Системы технического зрения предназначены для автоматического распознавания, определения координат, контроля внешнего вида объектов произвольной формы и используются в различных областях науки и техники.

Вклад в разработку методов и систем идентификации на основе технического зрения внесли Хауштайн Х.Д., Хлытчиев М.С., Садыков С.С., Титов В.С., Сырямкин В.И., S. Draghici, O. Martinsky, H. Kwasnicka, S. Sexton, J. Wentworth.

Для повышения оперативности производства на предприятии «Выксунский металлургический завод» существует задача обеспечения автоматического контроля транспортировки металлопрокатных заготовок (слябов). Однако, применение существующих методов и систем идентификации изделий в данном случае невозможно или малоэффективно ввиду наличия следующих особенностей:

- невозможность точного определения местоположения изделия и соответственно невозможность идентификации маркировки;
- большое отношение расстояния до объекта идентификации к его размерам снижает достоверность и оперативность идентификации при использовании существующих систем.

Таким образом, разработка методов, алгоритмов и систем автоматической идентификации маркировки, способной достоверно и оперативно обеспечивать контроль движения изделий на промышленном предприятии является актуальной научно-технической задачей.

Объект исследования — системы контроля движения продукции.

Предмет исследования — технические средства и алгоритмы автоматической идентификации и локализации маркировки.

Целью работы является повышение оперативности системы движения металлопрокатной продукции на складе слябов и заготовок промышленного предприятия.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Разработать математическую модель системы автоматической идентификации маркировки.
2. Разработать алгоритмы автоматического наведения и обнаружения маркировки.
3. Разработать систему автоматической идентификации маркировки слябов.
4. Экспериментально исследовать разработанные алгоритмы и систему автоматической идентификации маркировки слябов.

Научная новизна работы:

- разработана новая научная идея автоматической идентификации маркировки, основанная на двухуровневом масштабировании и наведении видеодатчиков;
- предложены алгоритмы управления системой автоматической идентификации маркировки, обеспечивающие оперативный контроль движения слябов;
- доказаны перспективность и практическая значимость исследований для решения задачи автоматической идентификации маркировки слябов в промышленных условиях;
- введены понятие процесса идентификации маркировки промышленных изделий в условиях металлопрокатного производства.

Теоретическая значимость работы обоснована следующим:

- доказаны положения, вносящие вклад в расширение представлений о построении алгоритмов и систем автоматической идентификации маркировки промышленных изделий;
- применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих базовых методов исследования, в том числе, методов математического моделирования и экспериментальных методик;
- изложены факторы, оказывающие влияние на достоверность и оперативность идентификации маркировки в сложных промышленных условиях;
- раскрыты несоответствия существующих систем технического зрения требованиям металлопрокатного производства;
- изучены внутренние и внешние связи элементов системы автоматической идентификации маркировки слябов.

Практическая значимость:

- разработаны и внедрены алгоритмы автоматического обнаружения маркировки обеспечивающие заданную точность и оперативность распозна-

вания маркировки металлопрокатных заготовок, на промышленном предприятии «Выксунский металлургический завод», что подтверждается соответствующим актом;

- определена область практического использования полученных результатов при создании промышленных систем идентификации маркировки;
- создана система практических рекомендаций для построения комплекса технических средств системы автоматической идентификации маркировки промышленных изделий;
- представлены методические рекомендации по эксплуатации системы автоматической идентификации маркировки.

Методология и методы исследования. В работе использованы основные понятия теории алгоритмов, системного анализа, математического моделирования, теории вероятностей и математической статистики, теории управления, теории распознавания образов, цифровой обработки изображения.

Положения, выносимые на защиту:

- математическая модель системы «маркированное изделие – измерительная среда», позволяет определить идентификационные данные о перемещаемой промышленной продукции на складе слябов и заготовок металлопрокатного комплекса;
- алгоритмы управления видеодатчиками системы автоматической идентификации маркировки обеспечивают достоверную локализацию изображения сляба и маркера на нем;
- система автоматической идентификации маркировки слябов обеспечивает идентификацию и оперативный контроль металлопрокатных заготовок в процессе движения на складе слябов и заготовок на металлопрокатном комплексе;
- результаты экспериментальных исследований разработанных алгоритмов и системы автоматической идентификации подтверждают необходимую достоверность и оперативность их работы в реальных условиях производства металлопрокатного комплекса.

Степень достоверности результатов исследования обусловлена тем, что:

- для экспериментальных работ результаты измерений получены на сертифицированном оборудовании Basler, Conecranes, Siemens; показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях металлопрокатного комплекса СТАН 5000;
- теория построена на известных проверяемых данных с использованием методов теории моделирования, теории эксперимента, программирования и согласуется с опубликованными в журналах ВАК и РИНЦ экспериментальными данными по теме диссертации;

- идея базируется на анализе практики, передового опыта и основах теории моделирования, методах технологии визуального проектирования и событийного программирования;

- использованы сравнения авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике на складе металлопрокатного комплекса СТАН 5000;

- установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, полученными в ходе имитационного моделирования процесса при непосредственных измерениях с использованием сертифицированных приборов;

- использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, а также новейшие способы и средства хранения информации с применением средств вычислительной техники.

Апробация результатов

Результаты работы получены автором при выполнении: хоздоговорной НИР №425/11 «Разработка, изготовление, поставка и пусконаладочные работы программного обеспечения системы автоматической идентификации маркировки слябов на складе слябов и заготовок толстолистового прокатного стана ОАО «Выксунский металлургический завод»; грантов РФФИ № 13-07-00825 А «Теория наследственности и изменчивости признаков на последовательностях цифровых изображений и ее применение в системах технического зрения» и № 13-07-00845 А «Система и технология идентификации маркировки по последовательности разноракурсных изображений»; гранта УМНИК 2012-2013 «Разработка системы автоматической идентификации промышленной продукции на основе анализа изображений с управляемых видеодатчиков» и используются на складе слябов и заготовок ОАО «Выксунский металлургический завод» для идентификации металлопрокатных заготовок.

Диссертационная работа и отдельные ее части докладывались и обсуждались на межд. конф. «Татищевские чтения» (ВУиТ, г. Тольятти, 2011), межд. конф. «Перспективы развития информационных технологий» (НГТУ, г. Новосибирск, 2011), межд. конф. «Современные исследования и развитие» (Бялгород-БГ ООД, г. София, 2011), межд. конф. «Измерение, контроль, информатизация ИКИ-2012», (АлтГТУ, г. Барнаул, 2012) 14-ой и 15-ой межд. конф. «Цифровая обработка сигналов и её применение DSPA» (ИПУ РАН, г. Москва, 2012, 2013), межд. конф. «Распознавание 2013» (ЮЗГУ, г. Курск, 2013), межд. конф. «Техническое зрение в системах управления» (ИКИ РАН, г. Москва, 2013), «Зворыкинские чтения» (МиВлГУ, г. Муром, 2011-2013).

По теме диссертационной работы опубликованы 15 работ, 4 из которых в журналах, входящих в перечень ВАК.

Диссертационная работа включает введение, четыре главы, заключение, список литературы, имеющий 150 наименований, и приложения. Общий

объем диссертации – 136 страницы, в том числе 114 страниц основного текста. Таблиц 14, рисунков 38.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, приведены результаты, выносимые на защиту.

В **первой главе** «Анализ задачи, методов и систем идентификации промышленной продукции» выполнен анализ особенностей процесса транспортировки слябов и системы управления технологическими процессами предприятия для выявления необходимости создания системы автоматической идентификации маркировки слябов.

Проведен анализ методов маркировки. В результате анализа был выбран метод идентификации металлопрокатных изделий, основанный на применении символно-штрихового кода, нанесенного каплеструйным способом.

Проанализированы методы и системы автоматической идентификации символно-штрихового кода, основанные на использовании технического зрения для решения задачи идентификации маркированных объектов. Анализ показал необходимость создания специальной системы для решения поставленной задачи.

Выполнено описание комплекса технических средств для реализации системы автоматической идентификации маркировки слябов.

Определены цель и задачи диссертационной работы, направленные на разработку новых алгоритмов и системы автоматической идентификации маркировки для контроля движения металлопрокатных заготовок.

Во **второй главе** «Разработка математической модели и алгоритмов управления видеодатчиками» предлагается математическая модель системы «маркированное изделие – измерительная среда», алгоритмы автоматического наведения видеокамер и алгоритм управления системой автоматической идентификации.

Система «маркированное изделие – измерительная среда» представляет собой множество измерительных датчиков и объект исследования – маркированное изделие и позволяет определить идентификационные данные (местоположение сляба, координаты маркировки) о промышленной продукции на складе металлопрокатного комплекса. Система характеризуется следующим набором параметров и взаимосвязей.

Маркированное изделие – это груз, закрепленный на магните крана (в данном случае сляб), имеющий нанесенную на него маркировку. Характеризуется следующими параметрами (Рисунок 1,2,3): H_s – высота сляба; L_s – длина сляба; d_y – расстояние по длине, от левого края сляба до начала маркировки; W_m – длина маркировки; H_m – ширина маркировки; x – расстояние от видеодатчика до середины сляба по оси OX; y – расстояние от видеодатчика до середины сляба по оси OY; z – расстояние от видеодатчика до середины сляба по оси OZ; g – расстояние от видеодатчика до середины сляба; (x_m, y_m) –

координаты центра маркировки в системе координат «маркированное изделие – измерительная среда».

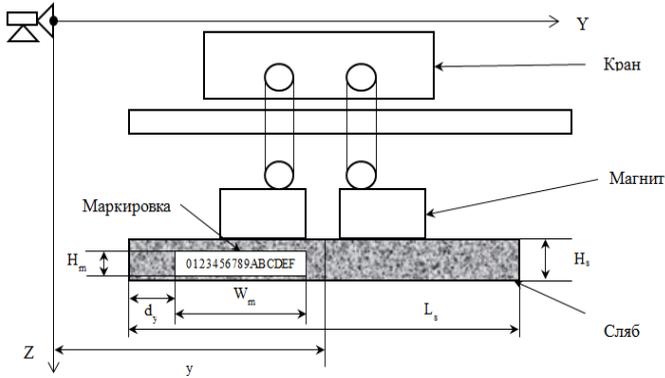


Рисунок 1 – Схема маркированного изделия (вид спереди)

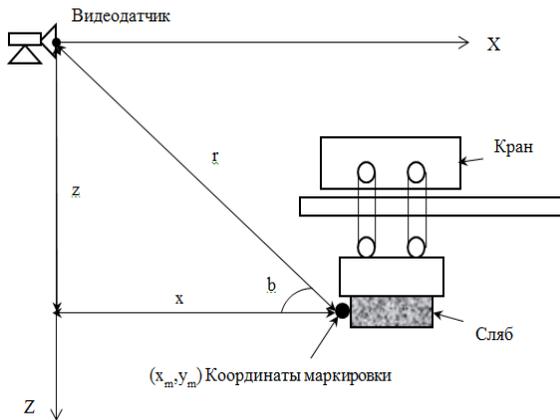


Рисунок 2 – Схема маркированного изделия (вид сбоку)

Видеосканер и контроллер крана формируют измерительную среду – набор датчиков различного типа, предоставляющий следующие параметры (идентификационные данные о слябе):

I – изображение, полученное с видеодатчика (разрешение 1280x720, 256 градаций серого); x_d – показания датчика о координате сляба, относительно крайней точки моста крана, В.(вольты); z_d – показания датчика о координате сляба, относительно уровня пола, вдоль оси подъема, в В.; α_p – показания датчика о положении видеодатчика по горизонтали, в В. β_p – показания датчика о положении видеодатчика по вертикали, в В.; s_p – показания датчика о масштабе изображения видеодатчика, в В.; f_p – показания датчика о фокусном расстоянии видеодатчика, в В.

Математическая модель описывается системой уравнений (1-13).

$$(x_m, y_m) = F_l(I) \quad (1)$$

$$x_d = |x + d_x| \quad (2)$$

$$z_d = z + d_z - H_s \quad (3)$$

$$y = \frac{L_s}{2} - d_y \quad (4)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (5)$$

$$\alpha_p = a_\alpha * \alpha + b_\alpha \quad (6)$$

$$\beta_p = a_\beta * \beta + b_\beta \quad (7)$$

$$s_p = a_s * s + b_s \quad (8)$$

$$f_p = a_f * f + b_f \quad (9)$$

$$a = \frac{180}{\pi} \cdot \operatorname{atan} \frac{y}{x} \quad (10)$$

$$b = \frac{180}{\pi} \cdot \operatorname{atan} \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (11)$$

$$s = \frac{2 \cdot r}{W_m} \cdot l \cdot \tan \left(\frac{\alpha_v}{2} * \frac{\pi}{180} \right) \quad (12)$$

$$f = \frac{r}{s} \quad (13)$$

где $F_l(I)$ - Функция локализации маркировки на изображении; l – длина локализуемого объекта (маркировка, сляб); α_v – угол поля зрения видеодатчика (Рисунок 3); (α, β) – значения наклона видеосканера по горизонтали и вертикали; (s, f) – значения текущего масштаба изображения и фокусного расстояния; (a, b) – углы между положением видеодатчика и сляба по горизонтали и вертикали; (s_r, f_r) – расчетные значения масштаба изображения и фокусного расстояния для локализуемого объекта; $d_x, d_y, d_z, b_\alpha, a_\beta, b_s, b_f$ – параметры для преобразования показаний

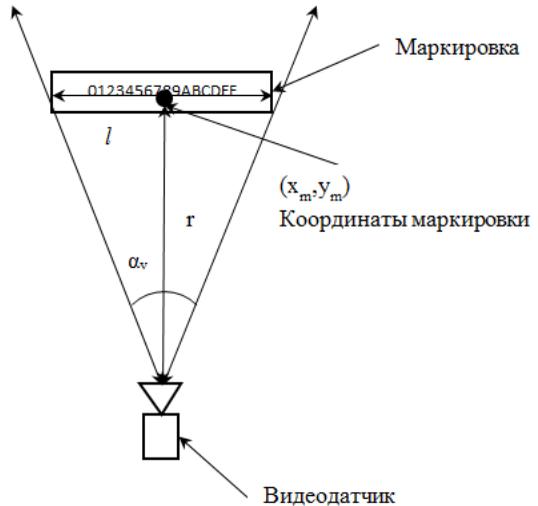


Рисунок 3 – Схема расчета параметров маркировки

датчиков.

В результате была разработана математическая модель системы «маркированное изделие – измерительная среда», отличающаяся использованием множества признаков с видео- и позиционных датчиков и позволяющая определить идентификационные данные о промышленной продукции на складе слябов и заготовок металлопрокатного комплекса.

Разработка алгоритмов автоматического наведения видеодатчиков. Для построения системы автоматической идентификации маркировки разработаны алгоритмы автоматического наведения видеокамер на основе математической модели системы «маркированное изделие – измерительная среда».

1. Алгоритм наведения видеодатчика на центр сляба (грубое наведение) состоит из следующих этапов (Рисунок 4).

1) Получение и обработка данных, поступающих с измерительных устройств, для определения текущего местоположения груза (x, y, z) по формулам (2), (3), (4) и положения видеодатчика (α, β) по формулам (6), (7).

2) Расчет положения видеодатчика (a, b) по формулам (10), (11) для наведения на центр сляба.

3) Если положение видеодатчика соответствует расчетному в рамках установленной погрешности, производится настройка фокусного расстояния (f) и масштаба видеодатчика (s) по формулам (12), (13) для получения снимка маркированного изделия. В противном случае производится корректировка положения видеодатчика.

Учитывая возможные технические помехи и погрешности показаний датчиков в рамках данного алгоритма, будем считать успешным наведение видеодатчика на центр закрепленного груза в пределах 1 метра.

Исходя из того факта, что алгоритм грубого наведения видеодатчика позволяет в рамках определенной погрешности получить увеличенное изображение изделия, местоположение маркировки остается неизвестным. Для решения данной проблемы необходимо использовать дополнительные программные средства.

2. Алгоритм наведения видеодатчика на область маркировки (точное наведение) состоит из следующих этапов (Рисунок 5).

1) Получение и обработка данных, поступающие с измерительных устройств для определения текущего местоположения груза (x, y, z) по формулам (2), (3), (4) и положения видеодатчика (α, β) по формулам (6), (7).

2) Локализация области маркировки. На данном этапе производится анализ текущего изображения (I) с видеосканера с целью определения наличия в данном кадре маркировки. Если положение маркировки найдено, положение видеодатчика корректируется относительно полученных координат (x_m, y_m) .

3) Настройка фокусного расстояния (f) и масштаба видеодатчика (s) по формулам (12), (13) для получения детализированного снимка области маркировки.

4) На основе данных о положении груза (x, y, z) рассчитывается угол искажения изображения маркировки (α_n). Если угол превышает предельное значение, производится нормализация изображения.

5) Распознавание области маркировки. Результатом является строка символично-цифрового кода (M) и расчетная вероятность успешного распознавания (p). Алгоритм точного наведения позволяет скорректировать положение видеодатчика, получить детализированное изображение области маркировки и идентифицировать символично-цифровой код на нем.

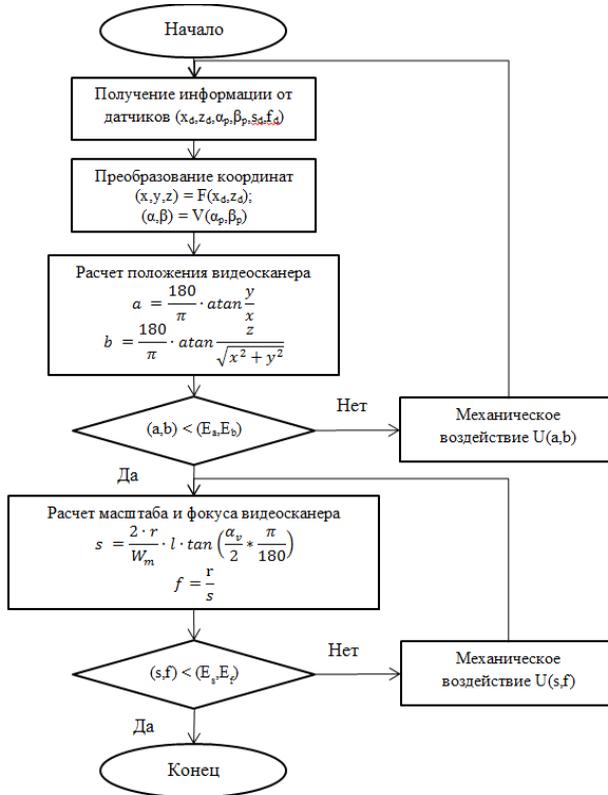


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма наведения видеосканера на сляб (грубое наведение)

На основе алгоритмов грубого и точного наведения видеодатчиков был разработан алгоритм управления системой автоматической идентификации маркировки, основанный на двухуровневом (грубом и точном) масштабировании и наведении видеодатчиков (Рисунок 6).

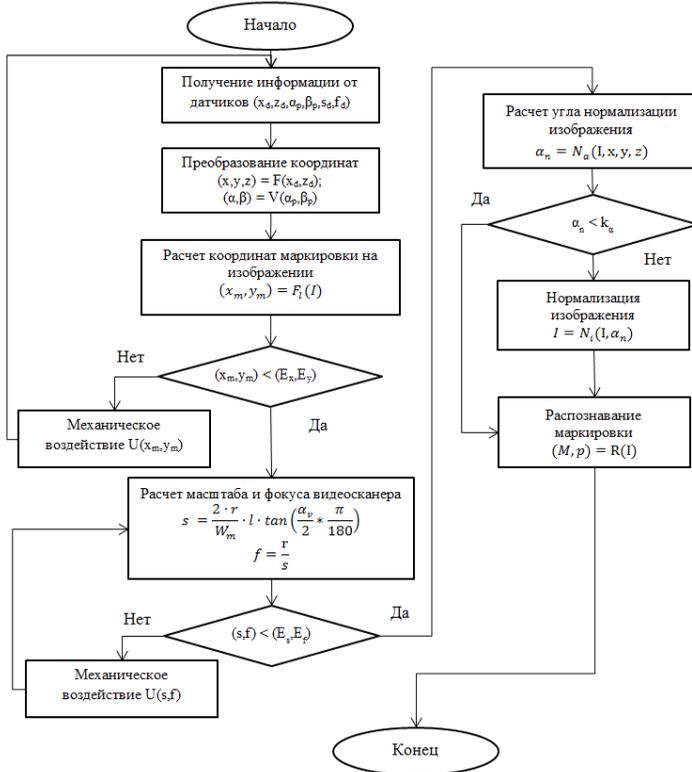


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма наведения видеосканера на маркировку (точное наведение)

В **третьей главе** «Разработка системы автоматической идентификации маркировки слябов» приводится проектирование и программная реализация имитационной модели и системы автоматической идентификации маркировки.

Проектирование системы автоматической идентификации маркировки. Для реализации описанных алгоритмов управления видеодатчиками, разработана структура системы автоматической идентификации маркировки, состоящая из следующих элементов: видеосканер, контроллер крана, модуль управления, сервер склада.

Видеосканер – это управляемый видеодатчик, элемент измерительной среды математической модели, состоящий из следующих элементов:

- камера – устройство захвата и передачи изображения;
- трансфокатор представляет собой оптическую систему, которая дает возможность управления масштабом изображения и фокусным расстоянием видеокamеры;

– поворотное устройство представляет собой механизм, позволяющий осуществлять наведение камеры по заданным параметрам.

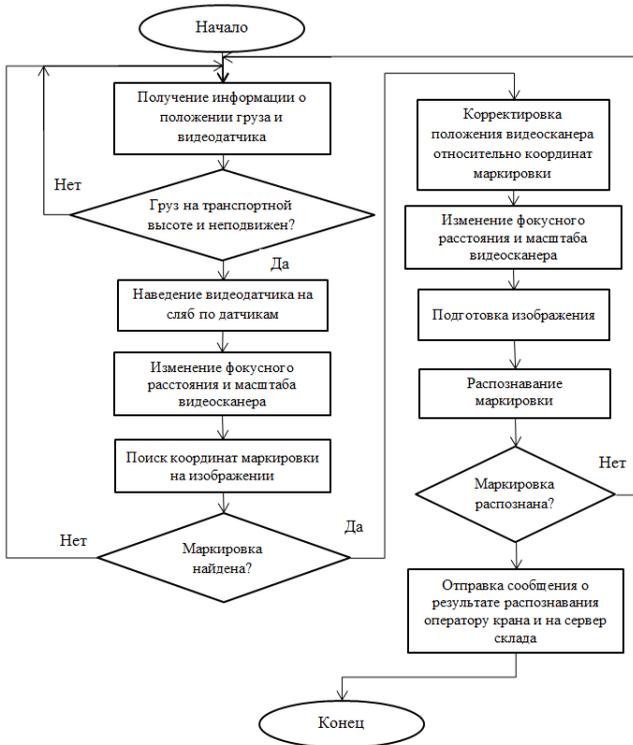


Рисунок 6 – Алгоритм управления системой автоматической идентификации маркировки

Контроллер крана представляет собой измерительное устройство, предоставляющее в реальном времени информацию о текущем состоянии крана.

Модуль управления реализует методику автоматического обнаружения маркировки, обеспечивает:

- анализ информации от измерительных устройств;
- формирование управляющих воздействий.

Модуль управления включает следующие элементы:

- подсистема управления положением камеры, реализует алгоритм наведения видеодатчика на область маркера;
- подсистема управления трансфокатором камеры, обеспечивает процесс формирования детализированного снимка области груза;
- подсистема локализации маркировки, реализует алгоритм обнаружения области маркера;
- подсистема идентификации маркировки, предназначена для анализа области маркера.

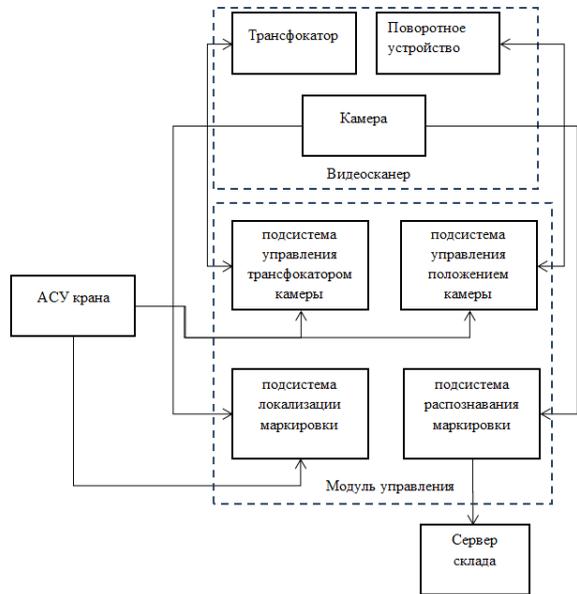


Рисунок 7 – Структурная схема системы

Контроллер крана представляет собой аппаратно-программный комплекс, предоставляющий в реальном времени информацию о текущем состоянии крана.

Сервер склада принимает результат распознавания маркировки, является составной частью автоматизированной системы управления технологическими процессами склада промышленной продукции металлопрокатного комплекса.

Структурная схема системы автоматической идентификации маркировки представлена на рисунке 7.

Имитационная модель системы автоматической идентификации маркировки слябов. Для проверки работоспособности разработанных алгоритмов автоматического наведения видеодатчиков была реализована имитационная модель системы на основе математической модели «маркированное изделие - измерительная среда». Имитационная модель состоит из следующих основных программных модулей: симуляторы двух камер, симулятор крана, система автоматической идентификации маркировки.

Основные экранные формы программных модулей модели представлены на рисунке 8.

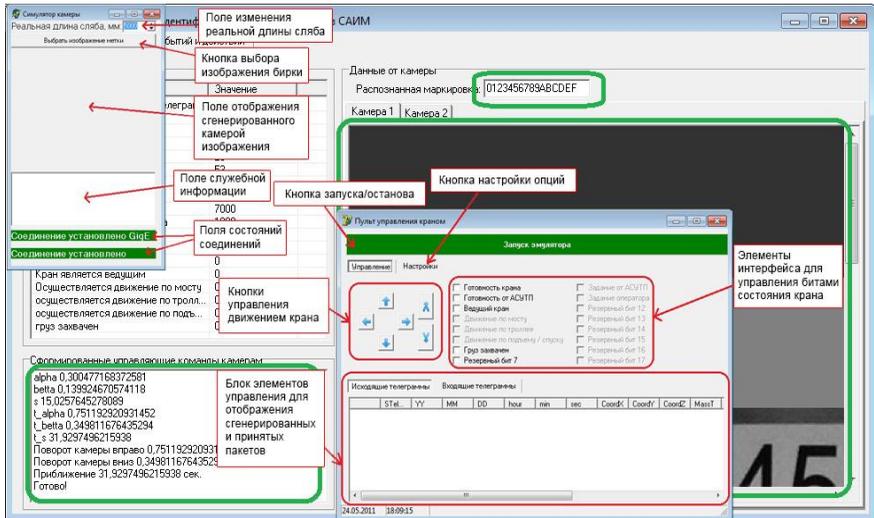


Рисунок 8 – Программная реализация имитационной модели системы

Проведены экспериментальные исследования на имитационной модели при различных значениях состояний измерительной среды и идентифицируемых объектов: длина сляба от 3 до 8 метров; расстояние от видеодатчика до сляба от 1 до 35 метров; положение маркировки от 0 до 5000 мм от левого края сляба. Разработанные алгоритмы управления системой автоматической идентификации маркировки успешно апробированы на созданной имитационной модели.

Создание имитационной модели системы автоматической идентификации маркировки слябов являлось подготовительным этапом для формирования реальной системы для контроля движения слябов на предприятии.

Разработка системы автоматической идентификации маркировки слябов. Программное обеспечение разработанной системы автоматической идентификации маркировки на предприятии обеспечивает следующие функции:

- обмен с контроллером Simatic S7-300 АСУ крана и получение текущих параметров положения грузоподъемного органа и грузовой тележки крана;
- обмен со сканирующими камерами по протоколу GigE-Vision и получение потока видеок кадров в реальном времени;
- формирование управляющих воздействий на поворотные устройства PPT1, PPT2 по протоколу Pelco D (RS-485);
- формирование заданий фокусировки и кратности оптического увеличения изображения для трансфокаторов по протоколу Pelco D (RS-485);

- первичная обработка видеок кадров и определение наличия распознаваемой маркировки сляба (заготовки) в зоне обзора камеры;
- распознавание алфавитно-цифровой маркировки и оценка вероятности правильного распознавания;
- формирование и отправка посылки для сервера склада, содержащей: код крана, маркировку сляба (до 15 символов), дату и время определения маркировки, вероятность правильного распознавания маркировки, признак успешного распознавания либо невозможности распознавания маркировки.

Основными элементами управления являются: блок ручного управления камерами, блок автоматического управления камерами, блок информации с контроллера крана, поле событий системы.

Основная экранная форма программы показана на рисунке 9.

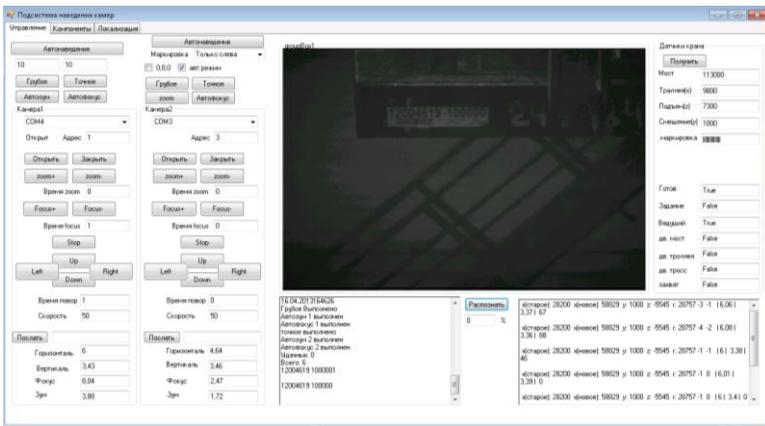


Рисунок 9 – Основное окно разработанной системы

В четвертой главе «Экспериментальные исследования разработанной системы» приведены результаты экспериментальных исследований адекватности математической модели, достоверности методики автоматического обнаружения и оперативности разработанной системы автоматической идентификации маркировки.

Экспериментальное исследование адекватности математической модели. Процедура оценки основана на сравнении измерений на реальной системе и результатов экспериментов на модели. Оценка проводилась следующими методами проверки адекватности:

- по средним значениям откликов модели $M(x)$ и системы $M(x_r)$ по формуле;

$$\delta(x) = \frac{M(x) - M(x_r)}{M(x_r)}$$

- по дисперсиям отклонений откликов модели $D(x)$ и системы $D(x_r)$;

$$\delta_d(x) = \frac{D(x) - D(x_r)}{D(x_r)}$$

– по максимальному значению относительных отклонений откликов модели (x) от откликов системы (x_r).

$$E_{max}(x) = \max\left(\frac{x - x_r}{x_r}\right)$$

При количественном сравнении оценивают точность вычисления параметров. В моделях, используемых в системах контроля движения, требуемая точность должна быть в пределах 90%.

Результаты исследования приведены в таблицах 1, 2 и рисунке 10.

Таблица 1 – Экспериментальное исследование изменения параметра угла наклона видеосканера

Управляющий параметр – показания датчика о положении поворотного устройства (α_p, β_p)			
Управляемый параметр	Вид сигнала	Исследуемые характеристики	
		Мат. ожидание	Дисперсия
Наклон поворотного устройства (α_p, β_p)	Входной параметр на объекте	5.499	0.015
	Выходной параметр на объекте	-4.387	24.677
	Выходной параметр на модели	-4.279	23.232
	Относительная погрешность	3.312%	
	Максимальное значение ошибки	8.777%	
	Величина выборки	500	

Таблица 2 – Экспериментальное исследование изменения масштаба видеосканера

Управляющий параметр – показания датчика о текущем масштабе трансфокатора (s_p)			
Управляемый параметр	Вид сигнала	Исследуемые характеристики	
		Мат. ожидание	Дисперсия
Масштаб трансфокатора (s_p)	Входной параметр на объекте	4624.916	12280071.364
	Выходной параметр на объекте	1.971	0.04
	Выходной параметр на модели	1.91	0.037
	Относительная погрешность	1.391%	
	Максимальное значение ошибки	1.879%	
	Величина выборки	500	

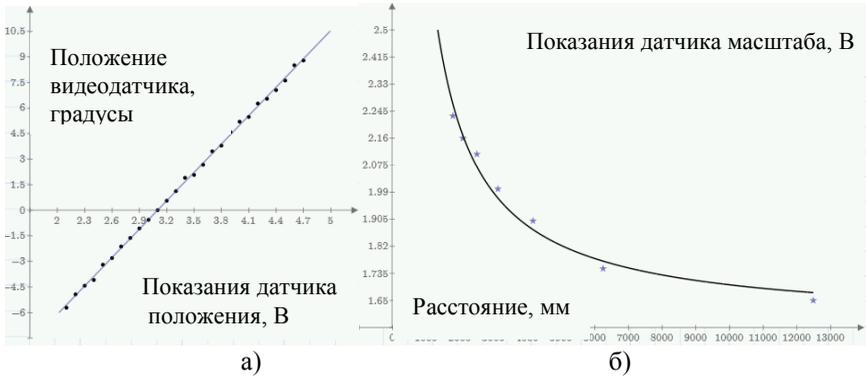


Рисунок 10 – Графики сравнения реальных и моделированных значений: поворота видеосканера (а), масштаба изображения видеосканера (б)

Таким образом, математическая модель «маркированное изделие – измерительная среда» является адекватной на основе представленных экспериментальных данных. Разница измерений в среднем не превышала 4%, максимальная относительная ошибка – 8%, что позволяет сделать вывод о достоверности представленной математической модели.

Экспериментальное исследование разработанных алгоритмов наведения видеодатчиков. Цель экспериментального исследования – определить достоверность применения алгоритмов грубого и точного наведения видеодатчиков. Экспериментальное исследование проводилось на разработанной системе автоматической идентификации маркировки.

Оценка алгоритма грубого наведения. Вычисляется вероятность успешного наведения видеосканера на маркировку (P_m). Успешным в данном случае будем считать попадание маркированного изделия в область видимости видеосканера. Степень попадания оценивается экспертным методом. При наличии технических помех и погрешностей показаний датчиков, вероятность успешного наведения должна составлять не менее 90%.

В результате проведенных экспериментов было установлено, что при выборке равной 500 опытов, вероятность попадания маркированного груза в область видимости видеосканера составила 98%.

Оценка алгоритма точного наведения. Для оценки достоверности используется вероятность успешного распознавания маркировки (P_t), и вычисляется как отношение числа успешных распознаваний (r) к общему числу экспериментов (n):

$$P_t = \frac{r}{n}$$

Допустимое значение вероятности успешного распознавания для систем контроля движения изделий установлено на уровне 95%.

В результате проведенных экспериментов было установлено, что при выборке равной 500 опытам, вероятность успешного распознавания маркировки составила 96,21%.

Таким образом, алгоритмы управления системой автоматической идентификации функционирует с требуемой достоверностью в рамках приведенных экспериментальных данных.

Экспериментальное исследование работы построенной системы автоматической идентификации маркировки. Экспериментальное исследование проводилось в целях сравнения оперативности и достоверности работы разработанной системы и ручного метода идентификации слябов.

Ручной метод идентификации слябов представляет собой процесс внесения в систему контроля предприятия данных о маркировке с помощью мобильного терминала. Мобильный терминал – это устройство, имеющее считыватель, способный к автоматическому занесению сведений о маркировке на расстоянии до 1 метра, и клавиатуру для ручного занесения информации в ситуациях, когда использование считывателя невозможно.

Результатами экспериментального исследования являются:

– оперативность идентификации в секундах. Оперативность идентификации рассчитывается при успешном распознавании маркировки. Успешным считается вероятность успешного распознавания превышающая 85%. Допустимое время распознавания по установленным производством требованиям – 15 сек.

Факторы, влияющие на достоверность и оперативность идентификации:

- расстояние до идентифицируемого объекта (близко – до 10 метров, далеко – от 10 метров);
- освещенность (ясно – более 70 лк., пасмурно – 60-70 лк., искусственное освещение – 50-60 лк.).

Эксперимент по оценке оперативности работы системы автоматической идентификации маркировки слябов проводился при выборке более 100 опытов. По результатам экспериментов составлена гистограмма оперативности идентификации (Рисунок 11).

Использование автоматического метода удовлетворяет требованиям к оперативности в 15 сек. при любых условиях, в то время как ручной метод показывает превышение лимита идентификации. Это связано с увеличением дистанции при транспортировке, а также особым требованиям к персоналу и, как следствие, затруднению идентификации ручным методом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сформулированы основные теоретические и практические результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы:

1. Выполнен анализ особенностей процесса транспортировки слябов и системы управления технологическими процессами предприятия. Проведен анализ методов маркировки. Проанализированы методики и системы автома-

тической идентификации символично-штрихового кода, основанные на использовании технического зрения. Выполнено описание комплекса технических средств для реализации системы автоматической идентификации маркировки слябов.

2. Разработана математическая модель системы «маркированное изделие – измерительная среда», отличающаяся использованием множества признаков с видео- и позиционных датчиков и позволяющая определить идентификационные данные о промышленной продукции на складе металлопрокатного комплекса.

3. Предложены алгоритмы автоматического наведения видеокамер, основанные на обработке данных с датчиков мостового крана, позволяющие достоверно локализовать изображение сляба и маркера на нем.

4. Разработан алгоритм управления системой автоматической идентификации, основанный на двухуровневом масштабировании и наведении видеодатчиков и обеспечивающий оперативный контроль движения слябов.

5. Разработана система автоматической идентификации маркировки слябов, основанная на разработанных алгоритмах обнаружения маркировки, обеспечивающая идентификацию и оперативный контроль металлопрокатных заготовок в процессе движения.

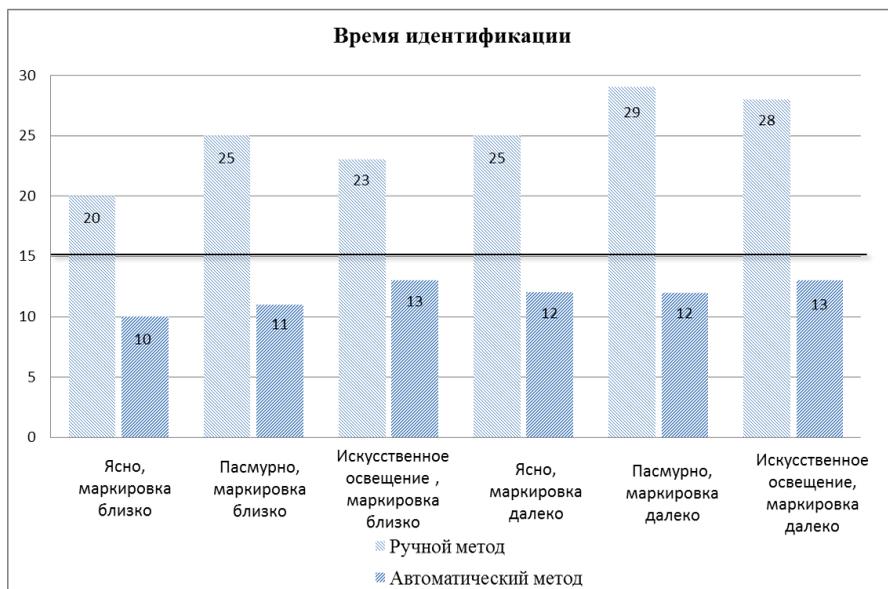


Рисунок 11 – Гистограмма экспериментальных исследований оперативности при различных условиях

6. Проведена оценка адекватности математической модели «маркированное изделие – измерительная среда». Разработанная модель соответствует реальной системе на 95-99%, что отвечает требованиям достоверности.

7. Проведено исследование алгоритма управления системой автоматической идентификации. По результатам проведенных исследований достоверность локализации маркировки составила 96-98%.

8. Выполнено экспериментальное исследование разработанной системы, определяющее оперативность идентификации слябов. Время идентификации составило от 10 до 14 секунд, что соответствует предъявленным требованиям к оперативности работы.

9. Результаты проведенных в работе исследований внедрены на промышленном предприятии для контроля движения изделий на складе слябов и заготовок.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи, опубликованные в изданиях перечня ВАК

1. Провоторов, А. В. Методика поэтапного обнаружения маркировки слябов [Электронный ресурс] / А. В. Провоторов, А. А. Орлов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/pdf/2012/6/522.pdf>. (Соискатель 50%).
2. Провоторов, А. В. Разработка методики и системы автоматической идентификации промышленной продукции на основе анализа изображений с управляемых видеодатчиков [Текст] / А. В. Провоторов, А. А. Орлов // Ползуновский вестник. – 2012. – № 2/1. – С. 67–69. (Соискатель 50%).
3. Провоторов, А. В. Методика и алгоритмы автоматической двухэтапной видеоидентификации металлопрокатных заготовок [Текст] / А. В. Провоторов, А. А. Орлов, А. В. Астафьев // Автоматизация в промышленности. – 2013. – № 10. – С. 53–57. (Соискатель 50%).
4. Провоторов, А. В. Программная реализация системы автоматической идентификации слябов [Текст] / А. В. Провоторов, А. А. Орлов // Программные продукты и системы. – 2013. – № 4. – С. 175–179. (Соискатель 50%).

Публикации в других изданиях

5. Провоторов, А. В. Системный анализ методов маркировки промышленных изделий [Текст] / А. В. Провоторов, А. А. Орлов, А. В. Астафьев // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2010. – № 15. – С. 136–140. (Соискатель 50%).
6. Провоторов, А. В. Особенности автоматической идентификации трубопроводной продукции [Текст] / А. В. Провоторов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2011. – № 16. – С. 22–25. (Соискатель 50%).
7. Провоторов, А. В. Анализ визуальных систем мониторинга производственного процесса на промышленных предприятиях [Текст] / А. В. Провоторов, А. А. Орлов, А. В. Астафьев // Вестник НГУЭУ. – 2011. – № 1. – С. 13–15. (Соискатель 50%).

8. Провоторов, А. В. Разработка методики автоматической идентификации промышленных изделий на основе анализа методов маркировки [Текст] / А. В. Провоторов, А. А. Орлов, А. В. Астафьев // Молодой ученый. – 2011. – № 1. – С. 132–134. (Соискатель – 50%).
9. Провоторов, А. В. Автоматический контроль продукции металлопрокатного комплекса на основе системы распознавания изображений маркеров [Текст] / А. В. Провоторов, А. А. Орлов // Труды 13-й международной конференции «Цифровая обработка сигналов и её применение» (DSPA'2012), т. 2. – М. – 2012. – С. 281–285. (Соискатель 50%).
10. Провоторов, А. В. Разработка системы автоматической идентификации маркировки для отслеживания движения слябов [Текст] / А. В. Провоторов, А. А. Орлов // Материалы конференции «Измерение, контроль, информатизация» (ИКИ - 2012). – Барнаул. – 2012. – С. 38–43. (Соискатель 50%).
11. Провоторов, А. В. Разработка системы автоматической идентификации слябов на основе анализа изображений с видеодачников [Текст] / А. В. Провоторов, А. А. Орлов, А. В. Астафьев // Материалы конференции «Техническое зрение в системах управления». – М. – 2013. – С. 14–17. (Соискатель 50%).
12. Провоторов, А. В. Обзор технологий и методов маркировки и идентификации трубопроводных изделий [Текст] / А. В. Провоторов, А. В. Астафьев // Материалы VII международной научной конференции «Современные исследования и развитие». – София. – 2011. – С. 48–52. (Соискатель 50%).
13. Провоторов, А. В. Адаптация технологии автоматической идентификации промышленных изделий для производства трубопроводной продукции [Текст] / А. В. Провоторов, А. В. Астафьев // Материалы международной научно-практической конференции «Перспективы развития информационных технологий». – Новосибирск. – 2011. – С. 130–135. (Соискатель 50%).
14. Провоторов, А. В. Системный анализ технологий и систем идентификации трубопроводной продукции по маркеру в условиях промышленного производства [Текст] / А. В. Провоторов, А. А. Орлов, А. В. Астафьев // Материалы VIII научно-практической конференции «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики». – Тольятти. – 2011. – С. 187–195. (Соискатель 50%).
15. Провоторов, А. В. Решение задачи автоматической идентификации слябов на основе анализа изображения с видеокамер [Текст] / А. В. Провоторов, А. А. Орлов // Материалы XI научно-технической конференции «Распознавание 2013». – Курск. – 2013. – С. 354–356. (Соискатель 50%).

Подписано в печать . . . 2014.
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 1,39.
Тираж 100 экз. Заказ . . .

Издательство Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

602264, Владимирская обл., г. Муром, ул. Орловская, 23.