

ХАРЬКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.К. ЯНГЕЛЯ

На правах рукописи

Соловей Владимир Алексеевич

СИНТЕЗ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ
ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
НА ОСНОВЕ КОНСТРУИРУЕМЫХ ЛОКАЛЬНЫХ
ОКОН

05.13.01 – Управление в технических системах

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Харьков - 1993



№ 27009

Работа выполнена в Сумском физико-технологическом институте

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Пуятин Евгений Петрович

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук, профессор Руденко Олег Григорьевич
- кандидат технических наук Веселый Виктор Павлович

Ведущая организация - Научно-производственное объединение
"Электрон" г. Сумы.

Защита диссертации состоится "12" апреля 1993 г.

_____ часов на заседании специализированного совета
068.37.01 в Харьковском ордена Трудового Красного Знамени
институте радиозлектроники имени академика М.К. Янгеля
/ ЗІОІАІ, Харьков - ІАІ, проспект Ленина; ІА /

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Харьков-
ского ордена Трудового Красного Знамени института радиозлект-
роники имени академика М.К. Янгеля.

Автореферат разослан 11 марта 1993 г.

Ученый секретарь

специализированного совета

Эдуард Александрович Дедиков

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00803290 (M)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Современное развитие робототехники и автоматизации тесным образом связано с разработками в области обработки изображений и прикладного распознавания образов.

В последнее время все более актуальной в промышленности становится задача автоматического контроля, особенно при автоматизации сборочных процессов, поскольку сборка должна осуществляться деталями, прошедшими 100% контроль. Автоматизация контроля, особенно в массовом производстве, является задачей, требующей применения сложных систем контроля, в том числе на основе систем технического зрения (СТЗ). В то же время очевидно, что высокая плотность информации, содержащейся в видеосигнале, вызывает необходимость использования большой вычислительной мощности и сложных алгоритмов цифровой обработки. Это для большого числа прикладных задач не позволяет применить хорошо теоретически разработанные алгоритмы теории восстановления изображений или алгоритмы выделения полезного сигнала из зашумленных изображений на основе методов оптимальной фильтрации, требующих большого процессорного времени.

Большому классу изделий машиностроительной и электронной промышленности предъявляются высокие требования к качеству поверхности. К таким изделиям, в частности имеющим плоские поверхности, относятся, например, печатные платы, кремниевые пластины, поршневые кольца, седла клапанов и др. Существующие СТЗ для контроля таких поверхностей не всегда обеспечивают требуемые быстродействие и достоверность контроля и при этом весьма дороги.

Целью диссертационной работы является повышение эффек-

тивности систем технического зрения для контроля плоских поверхностей.

Предметом исследований настоящей работы являются методы и средства выделения полезной информации в изображениях объектов контроля.

Для задач контроля поверхностей, в частности при поиске дефектов, когда существенной является информация о наличии случайным образом расположенных дефектов, требуется заранее локализовать область контроля, исключив операции поиска и идентификации границ. Очень важно решение этой задачи на стадии предварительной обработки сигнала об изображении, а именно на уровне датчика. Это позволяет получить значительно больший эффект за счет разгрузки вычислительной мощности систем обработки и распознавания и соответствующего снижения требований к ним.

Задачей работы является разработка систем технического зрения для контроля плоских поверхностей с повышенной достоверностью функционирования и высокой производительностью при низкой стоимости на основе метода конструируемых локальных окон.

Решение этой задачи состоит из совокупности следующих задач:

1. Разработка метода конструируемых локальных окон.
2. Разработка математической модели телевизионной СТЗ на основе конструируемых локальных окон.
3. Разработка алгоритмов эффективного кодирования изображений конструируемых локальных окон.
4. Реализация полученных алгоритмов в виде эффективных

аппаратных решений.

Автор защищает:

- метод конструируемых локальных окон;
- алгоритмы эффективного кодирования изображений конструируемых локальных окон;
- системы контроля плоских поверхностей и их основные блоки.

Научная новизна работы заключается:

1. В разработке метода выделения полезной информации в изображениях контролируемых поверхностей на основе конструируемых локальных окон.

2. Алгоритмов эффективного кодирования конструируемых локальных окон.

Практическое значение работы состоит:

1. В разработке систем технического зрения для автоматического контроля поверхностных дефектов на основе конструируемых локальных окон.

2. В разработке функциональных блоков систем технического зрения с конструируемыми локальными окнами.

Достоверность полученных результатов обоснована теоретически, экспериментами на специально изготовленных стендах и макетах и результатами внедрения.

Результаты внедрения положений и выводов диссертационной работы заключаются в том, что они использованы при построении автомата для контроля поверхностных дефектов заготовок поршневых колец по хозяйственной теме "Разработка и исследования

системы автоматического контроля поршневых колец", № ГР 0187-0035891, а также при дипломном проектировании в Сумском, физико-технологическом институте.

Апробация работы и публикации. Научные результаты работы докладывались и обсуждались на Республиканской школе-семинаре "Опыт создания и эксплуатации робототехнических комплексов и ГПС в машино- и приборостроении" /г. Сумы, 1988 г./; на Всесоюзном научно-практическом семинаре "Гибкие производственные системы. Состояние исследований. Практические вопросы". /г. Москва, 1988 г./; на Всесоюзной научной конференции "Проблемы технологии и точности ГПС в машиностроении". /г. Москва, 1990 г./; на Международной школе "Проектирование автоматизированных систем контроля и управления сложными объектами" /г.г. Харьков-Туапсе, 1992 г./; на Міжнародному симпозиумі з Імовірнісних моделей та обробки випадкових сигналів І полів /Харків-Тернопіль 1992 р./

По результатам работы опубликовано девять статей и получено десять авторских свидетельств и положительных решений на изобретения.

Съем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений, содержит 49 рисунков и 9 таблиц.

Содержание работы

Во введении дано обоснование актуальности диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, кратко охарактеризованы научная новизна и практическое значение полученных результатов, приведена структура и краткая аннотация

глав диссертационной работы.

В первой главе работы анализируется состояние исследуемой задачи, проблема выбора устройств видеоввода и средств освещения, формулируется математическая постановка задачи.

Функциональные возможности, эффективность и гибкость СТЗ существенно зависят от ее алгоритмического обеспечения. Для работы в реальном времени используемые алгоритмы должны быть как можно более простыми, но вместе с тем широкий круг решаемых задач заставляет обращаться к сложным методам обработки и анализа видеосообщения. С другой стороны, ограничения в стоимости, надежности работы в тяжелых производственных условиях и некоторые другие допускают использование в СТЗ лишь сравнительно дешевых и простых вычислительных устройств.

В работе показано, что в настоящее время появляется все большая потребность в СТЗ, в которых удается достигнуть разумного компромисса между их универсальностью и специализацией, что на наш взгляд, и определяет перспективу исследований в этом направлении. Наиболее важными характеристиками эффективности промышленных СТЗ являются быстродействие, достоверность, надежность и стоимость. На их обеспечение влияют главным образом такие факторы, как сложность алгоритмов обработки, количество информации в изображении, характеристики видеодатчиков и средств освещения.

На основе анализа применяемых в настоящее время в системах технического зрения устройств видеоввода показано, что для анализа зафиксированных перед видеодатчиком поверхностей, характерными признаками которых являются точечные одиночные или рассеянные дефекты, наиболее эффективным является применение

видиконов даже по сравнению с ПЭС. Даны характеристики шумов и характер их влияния на качество работы датчиков.

Проанализированы проблемы СТЗ, связанные с освещением. Определены основные источники искажений как оптических, так и от освещения. Показано влияние выбора освещения на сложность алгоритмов обработки, а также, в частности – целесообразность применения для незеркальных поверхностей диффузного освещения, способствующего подавлению основного рельефа поверхности и контрастированию дефектов.

Особенностью предлагаемого в работе метода решения задачи синтеза систем технического зрения для контроля плоских поверхностей является устранение избыточной информации в изображении контролируемой поверхности на уровне датчика путем использования конструируемых локальных окон. Это позволяет для функции, описывающей результат анализа изображения,

$$\mathcal{X} = \Psi \left\{ \nu \left[V(g, h, \rho, \xi) \right] \right\},$$

где g - распределение интенсивности освещения,
 h - искажения, вносимые освещением,
 ρ - искажения, вносимые оптической системой,
 ξ - случайная функция шумовых факторов

$V = V(t_i)$ - сеточная функция,

$$\nu = \nu(t_i) = \begin{cases} 1 & \text{при } V(t_i) \geq H \\ 0 & \text{при } V(t_i) < H \end{cases}$$

H - порог бинаризации,

ввести ограничение в виде функции локализации

$$\mu(t_i) = \begin{cases} 1 & \text{при } t_i \in D \\ 0 & \text{при } t_i \notin D, \end{cases}$$

где D - локальное окно.

В результате

$$f = \psi_D \{ v [v(g, h, p, \xi)] \wedge \mu \}.$$

где

$$f = \begin{cases} 1 & \text{при } \psi_D = 0 \\ 0 & \text{при } \psi_D \neq 0 \end{cases}$$

Это позволяет повысить быстродействие, снизить вероятность сбоя при выполнении операции анализа, снизить аппаратные затраты на преобразование изображения. Получение этой функции с учетом μ и является задачей данной работы.

Во второй главе работы разрабатывается математическая модель системы технического зрения, использующая конструируемые локальные окна, и предлагаются формулы для представления в дискретном виде изображений этих окон.

Предложен принципиально новый метод контроля плоских поверхностей на основе конструируемых локальных окон. Суть метода заключается в том, что каждому контролируемому объекту ставится в соответствие локальное окно, конструируемое в форме этого объекта. В результате резко уменьшается количество анализируемой информации.

Формально задача, решаемая СТЗ, сводится к вычислению функции f , особенностью которой в данной работе как отмечалось выше, является введение характеристической функции μ , содержащей информацию о локальном окне. Наличие этой характеристической функции приводит к принципиальным отличиям разрабатываемой СТЗ по сравнению с существующими.

Изображение характеризуется распределением интенсивности $g(x, y)$. Распределение интенсивности излучения от сцены

воспринимается камерой на фоне большого числа искажений, вносимых в изображение различными источниками. Исходя из этого в работе модель камеры представлена зависимостью выходного напряжения V от распределения интенсивности в плоскости изображения $g(x, y)$ с учетом искажающих факторов $h(x, y)$, $\rho(x, y)$, $\xi(x, y)$.

Телевизионное изображение является результатом движения электронного луча по всей дискретной совокупности элементов изображения за фиксированный промежуток времени. Это позволяет рассматривать выходной сигнал модели камеры как функцию времени, которая получается заменой координат X , Y их зависимостями от времени $X(t_i)$ и $Y(t_i)$.

Таким образом, после подстановки вместо X , Y выражений для $X(t_i)$ и $Y(t_i)$ получаем функцию $V(t_i)$, которая называется сеточной. Эта функция представляет собой выражение для результирующего сигнала в момент времени t_i на выходе модели камеры.

На следующем этапе преобразований выходной сигнал $V(t_i)$ претерпевает операцию бинаризации путем введения порога $H > 0$, результат которой представляется бинарной функцией

$$v(t_i) = \begin{cases} 1 & \text{при } V(t_i) \geq H \\ 0 & \text{при } V(t_i) < H \end{cases}$$

Ограничиваем анализируемое изображение путем введения характеристической функции, которая определяется параметрами интересующей нас области D , представляющей конструируемое локальное окно,

$$\mu(t_i) = \begin{cases} 1 & \text{при } t_i \in D \\ 0 & \text{при } t_i \notin D \end{cases}$$

На основании вышеизложенного в работе показано, что:

1. Время анализа изображения объекта предложенным способом в ν раз меньше времени анализа всего изображения, где $\nu = \frac{|D|}{N}$, а $|D|$ - количество элементов множества D .

2. Отношение вероятности P_2 возникновения хотя бы одного сбоя при анализе сигналов в модифицированном случае к аналогичной вероятности P_1 в исходном случае подчиняется следующим оценкам:

$$\frac{|D| \cdot q^{|D|-1}}{N} < \frac{P_2}{P_1} < \frac{|D|}{N \cdot q^{N-1}}$$

Здесь $q = 1 - p$ - вероятность безошибочного приема сигналов.

Реализация предложенного в работе метода конструируемых локальных окон требует возможности получения на телевизионном экране изображений различных форм распространенных деталей и изделий машиностроительной, электронной и др. продукции, которые могут представлять собой как простые, так и сложные геометрические фигуры. Показано, что наиболее эффективным подходом к решению этой задачи является разработка специализированных генераторов изображений, обладающих сравнительно низкими стоимостью и аппаратурными затратами и сохраняющими

при этом высокое быстродействие. В основу построения таких генераторов в работе положено представление геометрических фигур на телевизионном экране в точечном виде. Для формирования на экране кусочно-аналитической кривой $\Gamma = \bigcup_{\rho=1}^n \Gamma_{\rho}$, где каждая кривая Γ_{ρ} задана аналитически как график функции $x = f_{\rho}(y)$, $\rho = 1, 2, \dots, n$ в декартовой системе координат, достаточно сформировать каждую кривую Γ_{ρ} в отдельности. Для формирования кривой Γ_{ρ} в запоминающее устройство для каждой строки i , $i_{\min} \leq i \leq i_{\max}$ необходимо ввести координату точки/номер элемента j , в которой кривая Γ_{ρ} пересечет эту строку. Отсчет номера элемента ведется от вертикальной прямой с уравнением $x = 0$ или от вертикальной прямой, сдвинутой влево от первой на расстояние d . Таким образом получено выражение для координаты j , в которой кривая Γ_{ρ} пересечет строку i

$$j = \left[\frac{d}{\Delta x} + \frac{f_{\rho}(\Delta y \cdot i)}{\Delta x} \right],$$

где Δx , Δy - расстояние между элементами изображения соответственно по горизонтали и вертикали.

В работе рассмотрен ряд примеров, подтверждающих достоинства такого подхода.

В третьей главе рассмотрены матричный и координатный методы кодирования телевизионных изображений конструируемых локальных окон, выполнена оценка их избыточности, разработан алгоритм рационального кодирования изображений и предложен вариант его реализации.

Из имеющихся в настоящее время подходов к описанию изо-

бражений в СТЗ наиболее рациональным является точечное представление изображений, одним из основных преимуществ которого является отсутствие накопления ошибок. Известны матричный и координатный методы кодирования изображений на основе точечной структуры, каждый из которых в зависимости от вида изображения требует для своей реализации различное количество информации. При этом возникает вопрос оценки ее величины и на этой основе выбора способа рационального кодирования точечных изображений.

Число бит информации для реализации матричного метода формирования изображения на матрице из n элементов равно $I_M = \log_2 2^n$. Число бит информации для реализации координатного метода формирования изображения, содержащего K точек, на матрице из n элементов равно $I_K = \log_2 n^K = K \log_2 n$. Поскольку число элементов, принадлежащих формируемому изображению $K < n$ и, соответственно, число возможных изображений равно C_n^K , то минимальное количество требуемой в этом случае информации равно $I_m = \log_2 C_n^K$. Оценку избыточности каждого из методов можно произвести с помощью предложенных в работе выражений для коэффициентов избыточности

$$K_{изб\ M} = \frac{n}{\log_2 C_n^K}, \quad K_{изб\ K} = \frac{K \log_2 n}{\log_2 C_n^K}.$$

Анализ зависимостей этих коэффициентов от величины K показал, что как матричный, так и координатный методы кодирования изображений обладают избыточностью.

Если разбить множество из n элементов отображения на

подмножества n_1, n_2, \dots, n_j так, что $n = n_1 + n_2 + \dots + n_j$ ($j = 1, 2, \dots, n$), и, соответственно $2^n = 2^{n_1} \cdot 2^{n_2} \cdot \dots \cdot 2^{n_j}$, то в этом случае в каждое подмножество войдет K_1, K_2, \dots, K_j точек $K = K_1 + K_2 + \dots + K_j$.

В результате каждое подмножество элементов отображения можно рассматривать как отдельный источник информации, а величина избыточности для каждого источника будет

$$i_1 = n_1 - \log_2 C_{n_1}^{K_1}; \quad i_2 = n_2 - \log_2 C_{n_2}^{K_2}; \quad \dots; \quad i_j = n_j - \log_2 C_{n_j}^{K_j}.$$

При этом информация, передаваемая от всех источников, определяется выражением

$$I_c = \log_2 C_{n_1}^{K_1} + \log_2 C_{n_2}^{K_2} + \dots + \log_2 C_{n_j}^{K_j}$$

В работе доказывается, что, поскольку в рассматриваемом случае мы получаем заранее дополнительную информацию о K_1, K_2, \dots, K_j то $C_n^K > \prod_{j=1}^n C_{n_j}^{K_j}$. Это означает, что при представлении формируемого изображения информацией от нескольких источников величина передаваемой информации будет меньше, и мы получаем большую избыточность информации, чем при представлении от одного источника, что позволяет при хранении и передаче информации об изображениях уменьшить емкость требуемой памяти.

Очевидно, что для каждого из источников информации в зависимости от числа K эффективность применения матричного или координатного метода будет различна. В работе определены условия, при которых можно однозначно судить об эффективности применения каждого из методов для любого K . Матричный

метод нужно применять при условии

$$\frac{n}{\log_2 n} \leq K \leq \frac{n}{\log_2 n} (\log_2 n - 1),$$

а координатный - при условии

$$\frac{n}{\log_2 n} (\log_2 n - 1) \leq K \leq \frac{n}{\log_2 n}$$

В работе на примере проиллюстрирована эффективность использования этих условий и разработан алгоритм оценки эффективности кодирования изображений локальных окон матричным и координатным методами. В СТЗ промышленного применения, как правило, формируются изображения, для которых числа K заранее известны. Для таких систем в работе разработана схема реализации алгоритма оценки эффективности кодирования.

Рациональное кодирование точечных изображений не устраняет избыточность полностью. Дальнейшее уменьшение избыточности возможно путем использования различных методов сжатия изображений. Один из этих методов учитывает тот факт, что код изображения, полученный матричным или координатным методами, является равновесным кодом, поскольку в каждом случае для него число K заранее известно. Существующие методы сжатия равновесных кодов в ряде случаев требуют слишком больших аппаратных затрат. Поэтому целесообразно использовать для сжатия равновесных кодов биномиальные числа, обладающие структурой, соответствующей структуре кодов с постоянным весом. Процедура сжатия состоит в переходе от равновесного кода к биномиальному и затем от биномиального кода - к двоичному измеру. Для этого пре-

образования используется известная функция для биномиальной системы счисления. В работе предложен алгоритм такого преобразования, который заключается в следующем: подсчитывается количество единичных разрядов в коде K ; p - разрядный код с постоянным весом преобразуется в n - разрядный биномиальный код по известному алгоритму; для каждого i - го разряда биномиального кода, где $i = 1, 2, \dots, n$, подсчитывается число единиц в старших разрядах q_i ; для каждого разряда подсчитывается величина $K - q_i$; для каждого разряда подсчитывается с помощью алгоритма биномиального счета величина $C_i^{K - q_i}$; производится суммирование величин $C_i^{K - q_i}$ для единичных разрядов биномиального кода. Рассмотренный алгоритм в работе положен в основу структуры преобразователя кода с постоянным весом в двоичную степенную систему счисления. В работе также решена задача обратного преобразования, т.е. получения исходного кода изображения по его сжатому номеру, и предложена структура аппаратной реализации такого преобразования.

Другой предложенный в работе алгоритм основывается на том, что в преобразуемом двоичном n - разрядном числе подсчитывается количество единичных разрядов K . В результате это число преобразуется в биномиальное с параметрами n и K , после чего осуществляется перебор биномиального кода в сторону убывания до получения нулевой комбинации и одновременно - двоичного - в сторону возрастания. Получаемое в результате число является сжатым отображением исходного двоичного сжимаемого кода. Для некоторых значений n и K такое сжатие будет весьма значительным. На основе этого алгоритма в работе предложена структура соответствующего преобразователя кодов.

Изображения в памяти СТЗ обычно хранятся в виде номеров элементов отображения, находящихся в точках пересечения формируемых изображений с соответствующими строками. При этом число разрядов ячеек памяти определяется наибольшим номером элемента отображения. Если же в память записывать не значение координаты, а величину приращения между двумя соседними координатами отображаемой фигуры, то емкость памяти удастся сократить в несколько раз.

Для построения на экране изображения аналитической кривой с помощью приращений, заданной в явном виде с помощью функции $x = f(y)$ необходимо занести в ЗУ координату $f(0)$ элемента изображения в строке с начальным номером $i=0$. Предполагаем в дальнейшем, что для любых номеров строк $i = 0, 1, \dots, i_{max}$ выполнено ограничение

$$\tilde{f}(i) = \left[\frac{f(\Delta y \cdot i)}{\Delta x} \right] \leq f_{max},$$

здесь Δx и Δy - шаги по переменным x и y , соответственно $[L]$ - целая часть L . Для дальнейшего построения будем засылать в ЗУ для каждого номера $i = 1, 2, \dots, i_{max}$ номер элемента $\tilde{f}(i)$ в строке i , а выражение $+d_i$ или $-d_i$, где d_i выбирается из заранее заданной совокупности натуральных чисел $D = \{d_1, d_2, \dots, d_k, \dots, d_s\}$ по следующему правилу. Именно, число d_i должно являться наилучшим приближением модуля разности

$$\left| \frac{f(\Delta y \cdot i)}{\Delta x} - \frac{f(\Delta y \cdot (i-1))}{\Delta x} \right|$$

элементами множества D т.е.

$$\left| d_i - \frac{1}{\Delta x} |f(\Delta y \cdot i) - f(\Delta y \cdot (i-1))| \right| =$$

$$= \min_{k=1,2,\dots,s} \left| d_k - \frac{1}{\Delta x} |f(\Delta y \cdot i) - f(\Delta y \cdot (i-1))| \right|$$

Наконец, знак перед числом d_i совпадает со знаком разности

$$\Delta f_i = \frac{1}{\Delta x} [f(\Delta y \cdot i) - f(\Delta y \cdot (i-1))].$$

Описанная процедура позволяет, как уже упоминалось выше, уменьшить емкость памяти. В самом деле, в данном случае вместо хранения в ЗУ вычисляемого номера элемента $j(i)$ для каждого номера строки i можно вычислять номер элемента

$$j(i) = j(0) + \sum_{l=1}^i \operatorname{sgn}(\Delta f_l) \cdot d_l,$$

(если, конечно, $j(i) \leq j_{\max}$); здесь $\operatorname{sgn}(\Delta f_l) =$
 $= +1$, если $f(\Delta y \cdot l) - f(\Delta y \cdot (l-1)) \geq 0$, и
 $\operatorname{sgn}(\Delta f_l) = -1$ в противном случае.

Если на каком-то номере i окажется нарушенным условие $j(i) \leq j_{\max}$, то придется пересчитать число d_i из условия, сузив множество D : именно, вместо D рассмотреть $D' = D - \{d_i\}$.

Так, например, для формирования окружности в ЗУ вводит для строки $i = 1$ координату точки (номер элемента) $j(1)$, в которой окружность пересекает эту строку. Для каждой после-

дующей строки ($i \geq 2$) в ЗУ будет заноситься не номер элемента $j(i)$, а символ $+ a_i$ или $- a_i$; здесь a_i - длина интервала из конечного набора $\{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ заранее выбранных длин, наиболее близкая к длине $|j(i) - j(i-1)|$. Учитывая известную формулу для окружности

$$j(i) = \frac{d}{\Delta x} + \frac{\Delta y}{\Delta x} \left(l_{max} - \sqrt{2 l_{max} i - i^2} \right),$$

можно формально записать

$$\begin{aligned} & \left| a_i - \frac{\Delta y}{\Delta x} \left(\sqrt{2 l_{max} i - i^2} - \sqrt{2 l_{max} (i-1) - (i-1)^2} \right) \right| = \\ & = \min_{1 \leq l \leq m} \left| a_l - \frac{\Delta y}{\Delta x} \left(\sqrt{2 l_{max} i - i^2} - \sqrt{2 l_{max} (i-1) - (i-1)^2} \right) \right| \end{aligned}$$

где l_{max} - число строк той части раstra, в которой описывается верхняя половина круга, а $\frac{\Delta y}{\Delta x} = \gamma$ - формат дискретного элемента.

Наконец, знак перед a_i выбирается так: "+", если $j(i) > j(i-1)$, а "-", если наоборот, $j(i) < j(i-1)$. Кстати, в случае окружности нетрудно убедиться, что

$$\begin{aligned} j(i) - j(i-1) &= \frac{\Delta y}{\Delta x} \left(\sqrt{2 l_{max} (i-1) - (i-1)^2} - \sqrt{2 l_{max} i - i^2} \right) = \\ &= \frac{\Delta y}{\Delta x} \left(-2 l_{max} i + 2i - 1 \right) / \left(\sqrt{2 l_{max} (i-1) - (i-1)^2} + \sqrt{2 l_{max} i - i^2} \right) < \\ &< 0. \end{aligned}$$

Значит для всех строк $i = 2, 3 \dots i_{max}$ в ЗУ заносится $(-a_i)$.

На основании вышеизложенного для формирования изображений конструируемых локальных окон посредством приращений, в памяти последовательно, начиная с первого, записываются приращения координат точек контура формируемого изображения локального окна и знаки этих приращений. Знак приращения указывает вычитать или прибавлять данное приращение к значению координаты предыдущей строки. Координаты контура формируемого локального окна /его левой и правой частей/ формируются раздельно и независимо друг от друга путем сложения либо вычитания значения координаты предыдущей строки со значением приращения, выбранного из памяти в соответствии с адресом. По этому же адресу одновременно с приращением выбирается знак приращения. В общем случае для каждой строки изображения в памяти хранится два значения приращения и два знака этих приращений, соответствующие левой и правой частям изображения.

В работе предложена структура генератора изображений, реализующего рассмотренный алгоритм.

При построении изображения локального окна, обладающего симметрией, как осевой так и центральной, оказывается возможным кодировать только части этой фигуры, по отношению к которой остальные ее части симметричны и их координаты могут быть определены косвенно по имеющимся координатам заданной части изображения. Достижимая при этом экономия аппаратурных затрат не снижает точности получения изображения.

В работе предложен следующий алгоритм генерации изображений симметричных локальных окон.

В запоминающем устройстве имеется кривая Γ_1 , расположенная во II квадранте декартовой системы координат, начало O' которой имеет координаты (i_0, j_0) в исходной декартовой системе координат iOj . Начало O исходной системы координат расположено в верхнем левом углу телевизионного раstra. Ось i имеет направление вниз по кадру, ось j - вправо по строке.

Кривая Γ_1 задана в декартовой системе координат iOj в следующем виде:

$$\Gamma_1 = \{ (i, j(i)) : i_N \leq i \leq i_K \},$$

где i - номер строки, пробегаящий все целые значения от i_N - номера начальной строки до i_K - номера конечной строки; $j(i)$ - номер элемента отображения в i -й строке, в которой кривая Γ_1 пересекает эту строку.

Точка O' имеет координаты (i_0, j_0) , так, что $i_K \leq i_0$, $j_0 = \max_{i_N \leq i \leq i_K} j(i) \leq j_0$.

Тогда кривая Γ_1^v , расположенная в I квадранте симметрично кривой Γ_1 относительно вертикальной оси $O'y$, задается формулой

$$\Gamma_1^v = \{ (i, 2j_0 - j(i)) : i_N \leq i \leq i_K \}.$$

Кривая Γ_1^h , расположенная в III квадранте симметрично кривой Γ_1 относительно горизонтальной оси xO' , задается в виде

$$\Gamma_1^h = \{ (2i_0 - i, j(i)) : i_N \leq i \leq i_K \}.$$

Кривая Γ_1^c , расположенная в IV квадранте симметрично кривой Γ_1 относительно начала координат O' , задается формулой

$$\Gamma_1^c = \left\{ (2i_0 - i, 2j_0 - j(i)) : i_n \leq i \leq i_k \right\}.$$

Если размеры экрана ограничены номером строки i_{max} и номером элемента в строке j_{max} , то для возможности изобразить кривую Γ_1^v необходимо выполнить условие

кривую Γ_1^h - условие $2j_0 \leq j_{max}$;
кривую Γ_1^c - условие $2i_0 - i_n \leq i_{max}$;
кривую Γ_1^c - оба предыдущих условия.

Для реализации рассмотренного алгоритма в работе предложена соответствующая структурная схема.

В четвертой главе работы в развитие рассмотренного метода конструируемых локальных окон предложен метод контроля плоских поверхностей с чередующимися полями различной отражательной способности, состоящий в том, что формирует базовое локальное окно, формой и размерами соответствующее контролируемой поверхности. Внутри базового окна формируется соответствующее число рабочих локальных окон, конструируемых в соответствии с формой и размерами полей с различной отражательной способностью, расположенных на контролируемой поверхности. Эти окна разделяются зонами нечувствительности, учитывающими краевой эффект. Анализ изображения контролируемой поверхности в полях рабочих локальных окон выполняется последовательно построчно в течение одного кадра изображения.

Такой метод применим для контроля сложных поверхностей, разделенных на области с неодинаковой отражательной способно-

стью, например, печатные платы. В работе предложена структура аппаратной реализации этого метода.

На основе предложенного в работе метода конструируемых локальных окон разработан автомат для контроля поверхностных дефектов заготовок поршневых колец. Автомат представляет собой систему технического зрения с телевизионным способом получения изображения контролируемой поверхности. Две телекамеры на видеодиаках обеспечивают одновременное получение изображений двух противоположных торцевых поверхностей заготовки поршневого кольца, помещенной в зону контроля. Телекамеры установлены совместно со специально разработанными диффузными осветителями, которые позволили подавить микрорельеф поверхности заготовки и контрастировать дефекты. В качестве транспортного механизма использован серийный автомат КА-143, для которого была разработана специальная оснастка, обеспечивающая ориентацию заготовок, захват и подачу их в зону контроля и выгрузку после разбраковки. Специализированный электронный блок автомата обеспечивает формирование локального окна, сконструированного в форме готового поршневого кольца, коррекцию местоположения локального окна по отношению к положению изображения заготовки в зоне контроля и анализ наличия дефектов одновременно на двух противоположных сторонах заготовки с последующей разбраковкой.

Благодаря введению локального окна, не контролируются припуски на последующую обработку, что визуально сделать оператору невозможно. Производительность автомата составляет до 3000 заготовок в час, что позволяет заменить двух операторов. Достоверность контроля при этом значительно повышается, что

подтверждается заводскими испытаниями.

Заключение. Представленная работа преследовала цель повышения быстродействия и достоверности систем автоматического контроля плоских поверхностей на основе систем технического зрения. Существующие системы технического зрения весьма дороги и не всегда могут обеспечить требуемое быстродействие и надежность.

Эти недостатки предлагается устранить за счет использования конструируемых локальных окон, формой и размерами соответствующих контролируемым поверхностям, в чем и состоит основная идея работы. В этом случае из процедуры контроля исключается алгоритмически сложная и, в силу этого, недостаточно надежная операция поиска и идентификации краев контролируемой поверхности. Помимо достаточно длительного времени выполнения эта операция содержит в себе процедуры, способствующие размыванию и потере в преобразуемом изображении контролируемого объекта информации об одиночных дефектах, воспринимаемых в данном случае как помехи /шум усилителей/. Кроме того, из операции контроля исключается анализ фона, что для задачи повышения достоверности контроля имеет решающее значение.

Непосредственно в данной работе предложена математическая модель телевизионной СТЗ, учитывающая конструируемые локальные окна. На основе этой модели разработан метод контроля плоских поверхностей, названный в работе методом конструируемых локальных окон.

На основе этого метода получена возможность синтеза эффективных структур СТЗ, отличающихся повышенной надежностью и быстродействием.

Развитие метода конструируемых локальных окон потребовало

разработки специальных функций локализации, что позволило разработать новые методы эффективного кодирования изображений локальных окон. К ним относятся методы рационального кодирования на основе свойств симметрии, приращений и биномиальных кодов.

Эти методы были использованы при построении систем технического зрения и их блоков:

1. Для автоматического контроля плоских однородных поверхностей.

2. Для автоматического контроля плоских неоднородных поверхностей.

3. Генераторов изображений локальных окон с различными способами их кодирования.

4. Специального осветителя поверхности контролируемых изделий, по которым формируются локальные окна.

Практическая разработка одного из таких автоматов, использующего конструируемые локальные окна, для контроля поверхностных дефектов заготовок поршневых колец показала его эффективность, выразившуюся в низкой стоимости, высоком быстродействии и надежности.

В перспективе метод конструируемых локальных окон при дальнейшем его развитии может быть использован для сложных неоднородных поверхностей, не обязательно плоских, а также для анализа распознаваемых изображений.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах.

1. А.С. 1425846 (СССР) Преобразователь кодов. /Борисенко А.А., Куно Г.В., Соловей В.А. Спубл. БИ № 35, 1938.

2. А.С. 1444956 (СССР) Преобразователь равновесного кода /Борисенко А.А., Куно Г.В., Соловей В.А. Спубл. БИ № 46, 1988.

3. А.С. 1547071 (СССР) Преобразователь кодов. /Борисенко А.А., Соловей В.А., Мирошниченко В.М. Опубл. БИ № 8, 1990.

4. А.С. 1716047 (СССР) Способ автоматического контроля поверхностных дефектов и устройство для его осуществления. /Борисенко А.А., Соловей В.А. ДСП, 1987.

5. А.С. 1702416 (СССР) Генератор изображений. /Борисенко А.А., Соловей В.А., Пивень Г.Н., Новиков В.М. Опубл. БИ № 48, 1991.

6. А.С. 1691965 (СССР) Устройство для передачи информации /Борисенко А.А., Володченко Г.С., Соловей В.А., Леви В.А., Лисенко А.Е., Майстренко С.И., Рындин Я.П., Улыбин Ю.Е., Опубл. БИ № 42, 1991.

7. Борисенко А.А., Володченко Г.С., Соловей В.А., Пивень Г.Н., Новиков В.М., Иванченко И.М., Горбась Н.Г., Калашников В.Е. Способ и устройство для автоматического контроля поверхностных дефектов. Положит. реш. от 10.04.91, по заявке № 4800928/25.

8. Борисенко А.А., Соловей В.А., Пивень Г.Н., Новиков В.М., Устройство для автоматического контроля поверхностных дефектов. Положит. реш. от 06.06.1989, по заявке № 4817508.

9. Борисенко А.А., Соловей В.А. Устройство для автоматического контроля дефектов поверхностей. Положит. реш. от 30.01.1992, по заявке № 4824744.

10. Борисенко А.А., Соловей В.А., Арбузов В.В. Метод контроля поверхностных дефектов в ГАП на основе СТЗ. В кн. Тез. докл. Всесоюз. научной конф. "Проблемы технологии и точности

ГПС в машиностроении. Москва, 1990, с. 62-63.

11. Борисенко А.А., Соловей В.А., Арбузов В.В. Роботизированная система контроля поверхности поршневых колец с использованием СТЗ. В кн. Тез. докл. Всесоюз. семинара "Гибкие производственные системы. Состояние исследований. Практические вопросы". Москва, 1988, с. 37.

12. Борисенко А.А., Соловей В.А., Онанченко Е.Л., Куно Г.В. Об одном методе автоматического контроля качества плоских поверхностей. В кн. Тез. докл. Респ. школы-семинара "Опыт создания и эксплуатации робототехнических комплексов и ГПС в машиностроении и приборостроении. Сумы, 1988, с. 23.

13. Борисенко А.А., Соловей В.А., Усков М.К., Чинаев П.И. Робототехнический комплекс для автоматического контроля поверхностных дефектов с использованием технического зрения. В Междунар. журн. Проблемы машиностроения и автоматизации. 1991, № 2, с. 23-28.

14. Путятин Е.П., Борисенко А.А., Соловей В.А. О рациональном кодировании изображений с точечной структурой. В кн. Тез. докладов Международн. школы "Проектирование автоматизированных систем контроля и управления сложными объектами". Харьков-Туапсе, 1992, с. 54.

15. Путятин Е.П., Борисенко А.А., Соловей В.А. К вопросу о рациональном кодировании точечных изображений. Деп. рук. УкрНИИТИ, 1992.

16. Путятин Е.П., Борисенко А.А., Соловей В.А., Арбузов В.В. О рациональном кодировании телевизионных изображений. //Збірка наукових праць "Імовірнісні та обробка випадкових сигналів і полів", ч. 2, с. 106-116, Харьков, 1992.

17. Разработка и исследование методов контроля поршневых колец. Со-
говорной работе. № ГР 0187-008891 СМЛИ, 1989.

18. Соловей В.А., Борисенко А.А., Новиков В.М., Пивень
Г.Н. Осветитель. Положит. реш. от 23.02.1992 по заявке
№ 4483107.

19. Соловей В.А. Контроль плоских объектов на основе СТЗ.
Деп. рук. УкрНДНТИ, 1988, № 2473-Ук 88.

