

На правах рукописи

Ненашев Алексей Леонидович

**Метод оптического контроля количества
хлебобулочных изделий на конвейерных линиях в
условиях нестационарной освещенности**

Специальность: 05.11.13 – приборы и методы контроля природной среды,
веществ, материалов и изделий

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Барнаул – 2011

Работа выполнена в Алтайском государственном техническом
университете им. И.И. Ползунова

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Якунин А.Г.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Еськов А.В.;

кандидат физико - математических наук,
доцент Лепендин А.А.

Ведущая организация: научно – исследовательский Томский политехниче-
ский университет

Защита состоится 25 ноября 2011 г. в 14 часов
на заседании диссертационного совета Д212.004.06, действующего при
Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползуно-
ва.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского государст-
венного технического университета.

Ваш отзыв в двух экземплярах, заверенных гербовой печатью, просим
направлять по адресу: 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина 46 на имя ученого
секретаря специализированного диссертационного совета Д212.004.06

Автореферат разослан 18 октября 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, к.т.н., доцент

Кривобоков Д.Е.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Актуальность проблемы.

Для решения задач автоматизации контроля изделий на конвейерных линиях одним из наиболее перспективных методов является использование систем технического зрения (СТЗ). На сегодняшний день системы технического зрения показали свою высокую эффективность при решении многих задач, связанных с управлением сложными производствами и автоматизацией производственных процессов.

Несмотря на достигнутые успехи в области построения таких систем, проблема повышения качества автоматического контроля выпускаемой продукции по-прежнему остается важной и актуальной. Это обуславливается трудоемкостью устранения различных дестабилизирующих факторов, оказывающих влияние на процесс обработки изображений. Так, при решении задачи автоматического контроля хлебобулочных изделий в производственных условиях неравномерность освещения контролируемой сцены, не подчиняющаяся статистическим закономерностям спонтанная флуктуация освещенности в течение светового дня, появление в зоне анализа посторонних предметов, изменение чувствительности сенсора видеорегистратора, возможность слияния контролируемых объектов между собой, неравномерная скорость конвейера не позволяет обеспечить необходимую для практики достоверность контроля при использовании типовых программно-технических решений, что и послужило поводом для выполнения данной работы.

Цель работы заключается в разработке метода контроля изделий на базе систем технического зрения, предназначенных для работы в условиях нестационарности контролируемой сцены изображения, и в создании на его основе специализированных программно-технических средств автоматического контроля количества хлебобулочных изделий на конвейерных линиях в режиме реального времени.

Основные задачи исследования:

1. анализ существующих методов построения систем контроля и учета изделий, движущихся на конвейерных линиях;
2. создание экспериментальной установки для выявления наиболее значимых дестабилизирующих факторов и оценки эффективности применения разрабатываемых методов для компенсации их влияния;
3. оценка возможности применения существующих методов цифровой обработки изображений для устранения влияния дестабилизирующих факторов;

4. разработка новых алгоритмов цифровой обработки изображения для повышения эффективности метода контроля количества хлебобулочных изделий;
5. проведение натурного эксперимента для установления допустимых пределов изменения параметров преобразования информационных сигналов и оценки влияния на них дестабилизирующих факторов, связанных с условиями производства;
6. практическая реализация системы автоматического контроля количества хлебобулочных изделий, движущихся по конвейерной линии.

Научная новизна разработанного метода контроля заключается в следующем:

1. для повышения эффективности сглаживания шумов и выравнивания освещенности на изображении контролируемой сцены предложено применять комбинированную фильтрацию, состоящую из двух последовательных операций: 1 – сглаживание изображения с помощью локального сглаживающего медианного фильтра; 2 – выравнивание освещения изображения с помощью разработанного глобального фильтра, в основе которого лежит принцип работы пикового детектора;
2. разработан алгоритм локализации местоположений объектов, состоящий из операций первоначального определения местоположения объектов с помощью данных гистограмм столбцов изображения и итогового определения местоположения с помощью последовательного наращивания области до размера объекта, известного из априорной информации, позволяющий более точно определять местоположения объектов конкретного размера на изображении контролируемой сцены;
3. разработан алгоритм сегментации изображения на основе градиентного метода с использованием экстремальной рекуррентной эвристической процедуры, позволяющий более точно определить контуры объектов на изображении с различной текстурой и уровнем освещения (засветки, тени) для более полного восстановления контура объекта;
4. разработан алгоритм замыкания фрагментов контуров на основе морфологической операции замыкания, позволяющий замыкать разрывы между фрагментами контуров изображений выпуклых объектов;

Методы исследований.

При выполнении работы применялись как теоретические, так и экспериментальные методы исследования, которые способствовали решению поставленных задач. В теоретических исследованиях широко применялись методы математической статистики, математической морфологии и теории распознавания образов. На всех этапах работы производилось сопоставление теоретических и экспериментальных результатов.

Практическая ценность.

Разработанный метод оптического контроля количества хлебобулочных изделий на конвейерных линиях характеризуется более стабильной работой в «жестких» условиях производства, имеет высокое быстродействие и низкую ресурсоемкость. Практическая ценность заключается еще и в том, что предложенный метод контроля на базе новых способов цифровой обработки изображений, лежащий в основе работы созданного программно – технического комплекса, может быть использован не только для построения систем контроля хлебобулочных изделий, но и в других областях, в частности, для контроля выпускаемой продукции предприятий, специализирующихся на производстве изделий самого различного назначения.

Реализация научно-технических результатов.

Исследования и практические разработки, выполненные в диссертационной работе, являются частью научно – исследовательской работы, выполненной в рамках НИОКР на тему «Разработка программных модулей для идентификации изделий на конвейерных линиях методами нейросетевых технологий» по программе «У.М.Н.И.К.», договор №15 от 10.12.2008г. Результаты исследований и их практическая реализация были использованы при разработке системы контроля хлебобулочных изделий на предприятии ОАО «Русский Хлеб». Разработанный программно – технический комплекс используется для контроля хлебобулочных изделий в Республике Казахстан г. Усть – Каменогорск на предприятии ТОО «АЛТАЙ VA».

На защиту выносятся следующие положения:

1. Предложенный алгоритм комбинированной фильтрации позволяет более эффективно выполнить сглаживание шумов и выравнивание освещенности на изображении контролируемой сцены.
2. Разработанный алгоритм локализации местоположений объектов позволяет более точно определять местонахождение объектов конкретного размера на изображении контролируемой сцены.
3. Разработанные алгоритмы сегментации и замыкания позволяют более точно восстанавливать контуры выпуклых объектов на изображении с различной текстурой и уровнем освещения.
4. Оптический метод контроля хлебобулочных изделий, основанный на совокупном применении разработанных алгоритмов обработки информативного сигнала, позволяет создавать программно-технические комплексы, устойчивые к воздействию нестационарных дестабилизирующих факторов

Публикации.

По материалам выполненных в диссертации исследований опубликовано 13 печатных работ, из них 2 два свидетельства о государственной ре-

гистрации программы для ЭВМ, 3 статьи, 8 тезисов докладов, в том числе из перечня, рекомендованного ВАК – 2 работы.

Апробация работы.

Материалы работы обсуждались на следующих конференциях: III научно – практическая конференция «Виртуальные и интеллектуальные системы» - Барнаул, 2008; XVII международная научная конференция «Методы и алгоритмы принятия эффективных решений» - Таганрог, 2009; X всероссийская научная конференция «Современные исследовательские и образовательные технологии» - Таганрог, 2010; VII всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь - 2010» - Барнаул, 2010; XXIX всероссийская научно-техническая конференция «Информационные технологии в науке, проектировании и производстве» - Новгород, 2010; VII всероссийская научно – техническая конференция «Измерение, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях» - Бийск, 2010; всероссийская научно – техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР - 2011» - Томск, 2011; XII международная научно-техническая конференция «Измерение, контроль, информатизация-2011» - Барнаул, 2011; VIII всероссийская научно – практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии» - Томск, 2011.

Личный вклад.

Автору принадлежат основные научные результаты теоретических и экспериментальных исследований.

Структура и объем работы.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений, изложена на 132 страницах машинописного текста, содержит 68 рисунков, 23 таблицы, список литературы из 70 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность, научная и практическая значимость работы, сформулированы ее цель и научная новизна.

В первой главе диссертации приведена общая характеристика проблемы, произведен выбор направления исследований и намечены пути решения основных задач.

Приведен краткий обзор предлагаемых СТЗ, выделены требования, предъявляемые к СТЗ, принципы построения СТЗ, приведена классификация и сравнительные характеристики СТЗ и области их применения. Выделены общие и дополнительные требования к СТЗ.

На сегодняшний день практическое применение находят самые разнообразные типы СТЗ, имеющие широкий диапазон функциональных воз-

возможностей. Рост номенклатуры и вариантов комплектации СТЗ усложняет их эксплуатацию. В связи с этим на первый план выходят требования по простоте использования, настройки, ввода в эксплуатацию и эксплуатации систем. Следующим требованием является низкая ресурсоемкость, быстродействие, доступность используемого оборудования.

По принципу реализации аппаратного и программного обеспечения СТЗ разделяются на два класса – 1) ориентированные на аппаратное обеспечение (реализованы в одном моноблоке, обработка производится с помощью микроконтроллера, решение задачи зависит от аппаратного обеспечения) и 2) ориентированные на программное обеспечение (решение задачи зависит от оригинальности и сложности исполнения программного обеспечения). Для решения контроля изделий предлагается использовать СТЗ, ориентированные на обработку видеoinформации с помощью программного обеспечения. Данный выбор основан из следующих соображений: умеренные требования к оборудованию, гибкость настроек, большие функциональные возможности, возможность быстрой адаптации под разные задачи.

СТЗ второго класса широко применяются в различных областях промышленности. Однако, как показала практика, многие из них имеют как недостатки, так и достоинства. Рассмотрены предлагаемые на сегодняшний день системы технического зрения: «Hunter Count», «uvVideoCounter», «Система подсчета количества линейных объектов». Анализ вышеописанных систем технического зрения показал, что основными недостатками при их использовании является отсутствие идентификации разнородных объектов по форме и зависимость достоверности подсчета объектов от условий освещения контролируемой сцены, которая преодолевается применением дополнительных средств (например, применение источников освещения), что, в свою очередь, приводит к удорожанию и к усложнению системы в целом. В качестве достоинства таких систем можно выделить высокое быстродействие, которое является следствием отсутствия оптимальных средств для устранения вышеописанных недостатков.

Таким образом, основная цель исследований заключается в разработке системы, имеющей следующие особенности: использование недорого программно – аппаратного обеспечения, снижение требований к условиям освещения за счет использования методов цифровой обработки изображений, не используя при этом дополнительные средства, высокая степень достоверности идентификации разнородных объектов.

Как показывает практика, для достижения поставленной цели необходимо обрабатывать изображения контролируемой сцены по схеме последовательного применения следующих методов цифровой обработки изображений: фильтрация, сегментация, идентификация. Фильтрация необходима

для сглаживания шумов и выравнивания освещения. Для того, чтобы произвести идентификацию объектов, необходимо получить соответствующие дескрипторы изображения этих объектов, учитывая их форму. Основной информативный источник формы объекта – это контур его изображения. Выделение контура объектов на изображении входит в группу методов сегментации изображения. В качестве метода идентификации предлагается использовать нейросетевые методы, хорошо зарекомендовавшие себя при их использовании в смежных областях.

В конце главы сформулированы выводы по результатам рассмотрения проблемы, а также сформулированы задачи исследования.

Во второй главе приводится выбор экспериментальной базы и разработка методики исследований, а также описание разработанного исследовательского программно – технического комплекса.

В качестве экспериментальной базы было выбрано предприятие «ОАО «Русский хлеб»», ориентированное на выпечку хлебобулочных изделий, на котором необходимо производить автоматический контроль разнородных изделий в условиях производства.

Для того, чтобы производить автоматический контроль хлебобулочных изделий, необходимо исследовать следующие характеристики и особенности технологического процесса по выпечке хлеба: особенности и характеристики печей (местоположение, принцип действия, особенности конвейерной части: скорость, тип и т.д.), особенности движения и местоположения объектов на конвейерной линии, характеристики объектов исследования (тип, размер, цвет), условия производства (освещение, порядок работы цеха, уровень загрязненности), влияние персонала на ход процесса по выпечке хлебобулочных изделий.

При исследовании условий производства, характеристик и особенностей печей, процесса выпечки на предприятии «ОАО «Русский хлеб»» выявлены следующие дестабилизирующие факторы: неравномерность освещения контролируемой сцены, спонтанная флуктуация освещенности в течение светового дня, изменение чувствительности сенсора видеокамеры из-за оседания на объективе пыли, грязи и жировых отложений, неравномерная скорость движения конвейера, возможность залипания булок хлеба между собой, появление в зоне анализа посторонних объектов вследствие работы персонала. Для устранения влияния вышеперечисленных факторов на процесс контроля необходимо проанализировать работу методов цифровой обработки изображений. Производить исследование методов цифровой обработки изображения на самом предприятии нецелесообразно. Поэтому производилась запись видеоизображений в специальную базу данных, которая в дальнейшем анализировалась в лабораторных условиях.

Для исследования методов цифровой обработки изображений был разработан исследовательский программно – технический комплекс. В аппаратную часть комплекса входят следующие компоненты: видеокамера, ПК, программно – аппаратные интерфейсы, направленные на обмен информацией между видеокамерой и ПК, коммутатор. В программную часть входят следующие компоненты: операционная система, драйверы и библиотеки для взаимодействия видеокамеры, алгоритмические решения методов цифровой обработки изображений.

В третьей главе рассмотрены существующие методы цифровой обработки изображений и представлено описание новых разработанных методов.

Как показывает практика, изображения, сформированные различными информационными системами, искажаются действием помех. Это затрудняет автоматическую обработку изображения в целом. Ослабление действия помех достигается фильтрацией. Не смотря на большое многообразие существующих фильтров, следует констатировать, что в настоящее время отсутствуют методы двумерной фильтрации, в которых сочетаются высокое качество фильтрации с низкими требованиями к реализующим обработку вычислительным ресурсам. Также можно отметить, что фильтрация изображений, когда контролируемая сцена находится в условиях динамического освещения, является нетривиальной задачей и требует специфического подхода при рассмотрении конкретного случая.

Как показали исследования, при решении задачи обработки изображений в условиях динамического освещения нелинейные методы фильтрации, базирующиеся на методе локальной фильтрации скользящим окном (апертурой), не дают необходимого сглаживающего эффекта, а, наоборот, могут привести к ухудшению качества обрабатываемого изображения. Например, исчезновение мелких деталей, «размывание» границ объектов, и удаление недостаточно освещенных границ объектов может привести к отрицательному результату работы системы в целом. Поэтому было принято решение о разработке фильтра, позволяющего выполнить выравнивание освещенности изображения контролируемой сцены и сглаживание помех, связанные с появлением в области контроля различных артефактов. В связи с этим был произведен анализ методов фильтрации, основанных на ином принципе работы. В результате анализа было принято решение о разработке нелинейного фильтра, принцип работы которого основывается на глобальных методах фильтрации. Кроме того, можно отметить в качестве достоинства таких фильтров простоту их реализации и высокое быстродействие, которое необходимо для систем, работающих в режиме реального времени. Но, как показали исследования, сглаживающая способность таких фильтров невысока. Для того, чтобы достичь наибольшую эффек-

тивность фильтрации, предлагается использовать совместно сглаживающий усредняющий линейный фильтр, базирующийся на локальной фильтрации, и нелинейный фильтр, базирующийся на глобальной фильтрации, предварительно выполнив нормировку изображения.

Нормировка, согласно формуле, определяется как:

$$R_{\text{н\ddot{o}i}} = 255 \cdot (Y_{\text{i\ddot{e}e\ddot{n}\ddot{a}e\ddot{y}} - Y_{\text{i\ddot{e}i\ddot{e}i\ddot{o}i}}) / (Y_{\text{i\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{e}i\ddot{o}i} - Y_{\text{i\ddot{e}i\ddot{e}i\ddot{o}i}}), \quad (1)$$

$$G_{\text{н\ddot{o}i}} = 255 \cdot (Y_{\text{i\ddot{e}e\ddot{n}\ddot{a}e\ddot{y}} - Y_{\text{i\ddot{e}i\ddot{e}i\ddot{o}i}}) / (Y_{\text{i\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{e}i\ddot{o}i} - Y_{\text{i\ddot{e}i\ddot{e}i\ddot{o}i}}), \quad (2)$$

$$B_{\text{н\ddot{o}i}} = 255 \cdot (Y_{\text{i\ddot{e}e\ddot{n}\ddot{a}e\ddot{y}} - Y_{\text{i\ddot{e}i\ddot{e}i\ddot{o}i}}) / (Y_{\text{i\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{e}i\ddot{o}i} - Y_{\text{i\ddot{e}i\ddot{e}i\ddot{o}i}}), \quad (3)$$

где $Y_{\text{пикселя}}$ - значение яркости текущего пикселя, $Y_{\text{минимум}}$ - минимальное значение яркости пикселя, $Y_{\text{максимум}}$ - максимальное значение яркости пикселя, а $R_{\text{норм}}$, $G_{\text{норм}}$, $B_{\text{норм}}$ - цветовые составляющие компоненты пикселя. Нормировка позволяет увеличить яркость точек слабоосвещенных объектов, и уменьшить яркость точек фона. Для устранения влияния неравномерного освещения контролируемой сцены в качестве нелинейного фильтра, основанного на глобальном методе фильтрации, предложен специальный нелинейный PD - фильтр, сочетающий в себе преимущества нелинейных фильтров, базирующихся на методе локальной фильтрации и позволяющий выравнивать освещенность (яркость) сцены. При этом он сохраняет мелкие детали (небольшие перепады уровня освещенности (яркости) в местах потенциальных границ объектов).

Алгоритм работы предлагаемого фильтра эмулирует работу широко применяемого в радиотехнике пикового детектора (peak detector) с заданной постоянной времени, определяющей скорость экспоненциального перезаряда виртуальной емкости и, соответственно, перепада освещенности. При этом, в отличие от физически реализуемого устройства, его виртуальный аналог может перезаряжать емкость инверсно как по амплитуде, так и по времени, за счет чего, собственно, и удается формировать виртуальный слой. Процесс фильтрации PD – фильтром основан на построчном сканировании изображения. Результат фильтрации PD – фильтром это получение виртуального слоя, состоящего из двух границ: верхней и нижней. Верхняя граница слоя представляет собой уровни повышенной освещенности. Нижняя граница слоя представляет собой уровни фона. Для эффективного получения верхней границы слоя предлагается осуществить построчный проход изображения в двух направлениях: 1) слева направо и 2) справа налево. Аналогично принципам действия пикового детектора из радиотехники зададим математическое описание алгоритма работы предложенного нелинейного фильтра следующей системой уравнений: для построчного прохода слева направо:

$$\begin{cases} Y_{i+1}^{(0)} = Y_i \cdot (1 - \alpha), \alpha \ll 1 \\ Y_{i+1}^{(1)} = \begin{cases} Y_{i+1}, \hat{a}\hat{n}\hat{e}\hat{e} & Y_{i+1} \geq Y_{i+1}^{(0)} \\ Y_{i+1}^{(0)}, \hat{a}\hat{n}\hat{e}\hat{e} & Y_{i+1} < Y_{i+1}^{(0)} \end{cases} \end{cases}, \quad (4)$$

и для построчного прохода справа налево:

$$\begin{cases} Y_{i-1}^{(0)} = Y_i \cdot (1 - \alpha), \alpha \ll 1 \\ Y_{i-1}^{(2)} = \begin{cases} Y_{i-1}, \hat{a}\hat{n}\hat{e}\hat{e} & Y_{i-1} \geq Y_{i-1}^{(0)} \\ Y_{i-1}^{(0)}, \hat{a}\hat{n}\hat{e}\hat{e} & Y_{i-1} < Y_{i-1}^{(0)} \end{cases} \end{cases}, \quad (5)$$

где, Y_{i-1} и Y_{i+1} значение уровня освещенности (яркости) $i-1$ и $i+1$ пикселя в строке, а $Y_{i-1}^{(1)}$ и $Y_{i-1}^{(2)}$ - новые значения уровней освещенности (яркости), полученные в результате фильтрации.

Для получения нижней границы слоя, необходимо выполнить аналогичную процедуру, что и при получении верхней границы слоя, т.е. осуществить построчный проход изображения в двух направлениях: 1) слева направо и 2) справа налево. Зададим математическое описание алгоритма работы предложенного нелинейного фильтра для нижней границы слоя следующей системой уравнений, для построчного прохода слева направо:

$$\begin{cases} Y_{i+1}^{(0)} = Y_i \cdot (1 + \alpha), \alpha \ll 1 \\ Y_{i+1}^{(1)} = \begin{cases} Y_{i+1}, \hat{a}\hat{n}\hat{e}\hat{e} & Y_{i+1} \geq Y_{i+1}^{(0)} \\ Y_{i+1}^{(0)}, \hat{a}\hat{n}\hat{e}\hat{e} & Y_{i+1} < Y_{i+1}^{(0)} \end{cases} \end{cases}, \quad (6)$$

и для построчного прохода справа налево:

$$\begin{cases} Y_{i-1}^{(0)} = Y_i \cdot (1 + \alpha), \alpha \ll 1 \\ Y_{i-1}^{(2)} = \begin{cases} Y_{i-1}, \hat{a}\hat{n}\hat{e}\hat{e} & Y_{i-1} \geq Y_{i-1}^{(0)} \\ Y_{i-1}^{(0)}, \hat{a}\hat{n}\hat{e}\hat{e} & Y_{i-1} < Y_{i-1}^{(0)} \end{cases} \end{cases}, \quad (7)$$

где, Y_{i-1} и Y_{i+1} значение уровня освещенности (яркости) $i-1$ и $i+1$ пикселя в строке, а $Y_{i-1}^{(1)}$ и $Y_{i-1}^{(2)}$ - новые значения уровней освещенности (яркости), полученные в результате фильтрации.

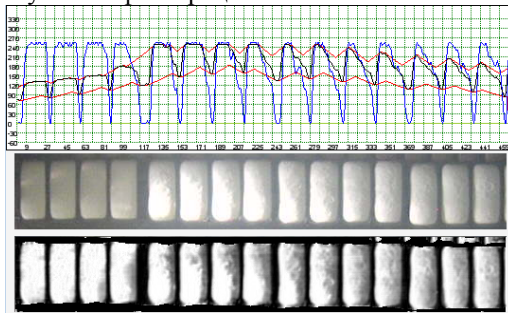


Рисунок 1. Результат работы комбинированного фильтра. Верхний снимок соответствует исходному изображению, нижний – этому же изображению после его прохождения через PD-фильтр, $\alpha = 0.0005$.

Результат работы предложенного комбинированного фильтра представлен на рисунке 1.

Далее необходимо выполнить сегментацию изображения объектов, чтобы получить контур объектов. Для получения контуров предлагается использовать методы сегментации, основанные на выделении границ. Одним из подходов выделения границ является пространственное дифференцирование или вычисление градиента с последующей бинаризацией по некоторому пороговому значению. Как известно, градиентом непрерывного изображения $F(x,y)$ называется вектор частных производных по переменным x и y :

$$\nabla F(x, y) = \left(\frac{\partial F(x, y)}{\partial x}, \frac{\partial F(x, y)}{\partial y} \right). \quad (8)$$

Модуль градиента вычисляется по формуле:

$$|\nabla F(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial F(x, y)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial F(x, y)}{\partial y} \right)^2}. \quad (9)$$

При обработке дискретных изображений вместо вычисления градиента часто используют дискретные оценки, определяемые через производные яркости изображения по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Обозначим эти производные (или их оценки) $d_1(x,y)$ и $d_2(x, y)$. В этом случае аналогом соотношения 9 является его упрощенный вычислительный вариант:

$$G(x, y) = |d_1(x, y)| + |d_2(x, y)|, \quad (10)$$

где $G(x,y)$ – оценка модуля градиента изображения.

Для вычисления $d_1(x, y)$ и $d_2(x, y)$ простейшим из методов является метод дискретных разностей. Существуют и другие способы нахождения $d_1(x, y)$ и $d_2(x, y)$ на основе метода дискретных разностей: оператор Роберта, оператор Превитта, оператор Собела, поиск контуров с помощью пересечения нулевого уровня, метод Канни, ЛГ (лапласиан гауссиана). У всех вышеперечисленных способов для итогового принятия решения об обнаружении потенциальной границы используется бинаризация по пороговому значению. Было проведено исследование данных способов на тестовом изображении. В качестве тестового образца использовалось изображение конвейерной линии в условиях неравномерного освещения. Как показали исследования, вышеуказанные методы выделения границ не способны качественно

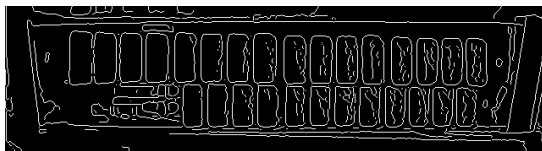


Рисунок 2. Результаты работы метода Канни.

получить контуры объектов в условиях неравномерного освещения контролируемой сцены. По резуль-

татам исследования метод Канни из всех рассмотренных методов наиболее достоверно показывает контуры реальных физических объектов (рисунок 2), но при этом появляются ложные контуры, что потребуются дополнительных процедур для их удаления.

Поэтому было принято решение о разработке нового метода выделения контуров объектов. Для того чтобы не производить обработку участков изображения, на которых имеются детали, не представляющих интерес для данного исследования, предлагается перед операцией выделения границ выполнить локализацию области каждого объекта в отдельности, т.е. определять местоположения объектов, где вероятность их обнаружения наиболее высока. Это позволяет не только повысить скорость работы процесса сегментации в целом, но и сэкономить вычислительные ресурсы, исключив лишние операции оконтуривания на участках изображения, где обнаружение искомым объектов менее вероятно.

Для получения локализованного участка необходимо выполнить бинаризацию всего изображения по плавающему порогу, значение которого зависит от освещенности каждого участка изображения. Исходя из априорной информации об объектах, для получения значения плавающего порога предлагается определять гистограмму каждого столбца дискретной сетки изображения по значениям интенсивности. В результате определения гистограмм столбцов была получена дискретная функция, описывающая изменение значений интенсивности вдоль строки изображения, соответствующих значением максимумов гистограмм интенсивности для каждого столбца изображения:

$$F(i) = \arg(\max N_i(I)), \quad (11)$$

где $N_i(I)$ – число элементов i – ого столбца, имеющих уровень интенсивности I .

Поскольку объект представляет собой некую выпуклость по интенсивности, то предполагаем, что выделяемый участок контролируемой сцены должен находиться между двумя столбцами, номера которых соответствуют двум минимумам функции $F(i)$. Таким образом, пороговое значение на каждом участке изображения считаем как:

$$T = \text{Max}(F(i)). \quad (12)$$

Однако, как показали исследования, бинаризация по пороговому значению T не всегда захватывает область объекта. Для решения данной проблемы предлагается выполнить наращивание области. Процесс наращивания области представляет собой итерационный процесс расширения прямоугольной области, полученной в результате бинаризации по плавающему пороговому значению, до тех пор, пока размер этой области не окажется равным размеру объекта, при этом на каждом шаге итерации пороговое



Рисунок 3. Результат локализации в условиях неравномерного освещения.

значение уменьшается на одно градационное значение. Результат работы метода локализации местоположения объектов представлен на рисунке 3.

После того как обнаружено предполагаемое местоположение объектов необходимо получить его контур. Для получения контуров объектов использовались значения градиента изображения, определяемых по формуле 10, после чего был выполнен анализ полученных данных. В результате анализа установлено, что на границах объектов значения градиента оказались «расплывчатыми», то есть не наблюдалось резкого перепада. Но при этом часть максимумов значений градиента (вершины «хребтов») на контролируемом изображении, или все они, как показали исследования, всегда находятся на действительном контуре объекта. Однако, при этом можно попасть на ложные «хребты», которые возникают из-за неравномерности освещения (на возникающих границах перепада освещенности), либо из-за появления в зоне контроля посторонних предметов. Также могут появиться разрывы контура из-за чрезмерной засветки объектов, затенения объектов или из-за их смыкания. На рисунке 4 представлен вид функции $G(x,y)$ при различных условиях освещения контролируемой сцены.

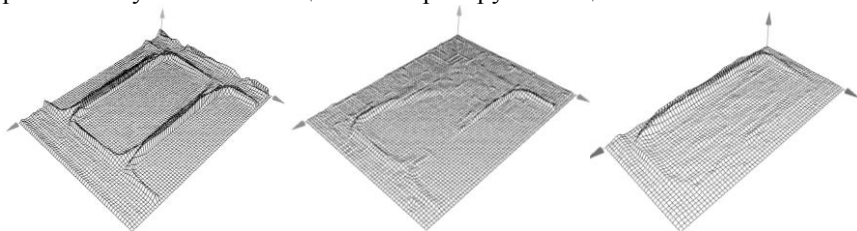


Рисунок 4. Вид функции $G(x,y)$ при равномерном освещении (слева), и при смыкании объектов (в центре), при затенении (справа),

Поэтому для получения достоверных контуров предлагается использовать метод последовательного обхода контура по вершинам «хребтов» с принятием решения на каждом шаге о принадлежности точки к границе (контуру) объекта. Таким образом, запишем общую форму получения контурной точки на j -ом шаге:

$$\bar{X}_{j+1} = \mathfrak{R}(\bar{X}_j, M_j, \bar{K}), \quad (13)$$

$$\bar{X}_j = \{(x_j, y_j)\}, j = 0..n, \quad (14)$$

где j – номер шага, n – количество точек контура или длина контура, M_j – некоторое локальное множество точек (потенциальных вершин продолжения хребта функции $G(x,y)$), из которого выбираем следующую точку контура, $\bar{K}$ – некоторый критерий, по которому определяем из множества M_j следующую точку контура, (x_j, y_j) – точка контура, полученная на j - шаге, $\mathfrak{R}$ – некоторый оператор.

Таким образом получается последовательная цепочка точек контура. При этом каждая следующая точка контура определяется в результате анализа смежных точек от уже пройденной точки по некоторому критерию $\bar{K}$ в ее окрестности (на некотором локальном множестве M_j).

Как показали исследования, чтобы выбрать одну искомую точку контура из множества анализируемых локальных точек (M_j), при последовательном обходе необходимо учитывать следующие факторы: направление обхода точек контура, «крутизну склона» в поперечном движении у анализируемой точки, степень совпадения значений градиента пройденной точки и анализируемой, максимумы значений градиента анализируемых точек (анализируемая точка должна быть максимальной). На рисунке 5 представлен результат работы метода получения контура объекта на изображении.

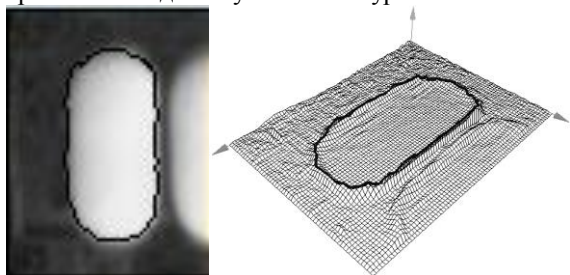


Рисунок 5. Результат работы метода получения контура объекта.

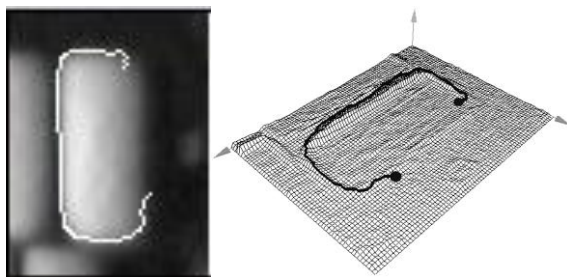


Рисунок 6. Результат работы метода получения контура объекта при неравномерном освещении объекта.

На рисунке 5 представлен идеальный случай, когда объект равномерно освещен и поэтому имеется резкий перепад яркости, то есть имеются резкие «хребты» на границах объекта. Однако, в реальных условиях производства контролируемая сцена может находиться при неравномерном освещении, тогда может возникнуть ситуация, при которой могут появиться разрывы контура объекта. На рисунке 6 представлена такая ситуация.

Для устранения разрывов предлагается дополнительно ввести в метод оконтуривания объектов процедуру замыкания. Предлагаемый метод замыкания работает следующим образом. Изначально на изображении находится любая произвольная точка, принадлежащая контуру объекта. Далее, в процессе выполнения замыкания примитив, скользя по линии контура, устраняет мелкие разрывы шириной 1 пиксель, сохраняя при этом все мелкие детали контура. Поскольку начальная точка может оказаться не конечной, для определенности положим, что «скольжение» будет выполняться по часовой стрелке. Если примитив дойдет до разрыва, размер которого не захватывается им, то нужно запомнить значение координаты концевой точки начала этого разрыва, например, в массиве памяти. Далее от сохраненной концевой точки фрагмента исходного контура начинаем производить локацию (поиск) путем увеличения размеров примитива до тех пор, пока не обнаружится попадающая в примитив концевая точка следующего фрагмента контура – предполагаемый конец разрыва. Форма увеличивающегося в размерах примитива может быть в общем случае произвольной, но для определенности будем считать, что он имеет вид сферы. После попадания в область локации точки другого фрагмента контура (при оговоренных выше свойствах контура эта точка может быть только концевой) концевая точка фрагмента исходного контура соединяется с найденной концевой точкой другого фрагмента контура отрезком прямой линии. Далее операция скольжения вдоль контура примитивом размером в один пиксель продолжается в том же направлении, начиная с найденной концевой точки другого фрагмента. Таким же образом устраняются все обнаруженные разрывы на каждом фрагменте исходного контура объекта на матрице полутонового растрового изображения. Процесс продолжается до тех пор, пока не останется ни одной не обработанной концевой точки, к которой бы не была применена операция замыкания.

Для получения входного вектора нейронной сети предлагается использовать суперпозицию методов цепного кода и сигнатуры. Для этого предлагается следующая схема правил: нахождение центроида объекта путем нахождения центра массы, расчет функции угла $r(\theta)$, нормирование полученных значений функции угла, линейная аппроксимация полученной функции с ограничением количества интервалов разбиения и дискретизацией полученных отрезков по углу наклона, реализация вектора входных

параметров нейросети путем кодирования полученных линейных участков аппроксимирующей функции цепным кодом. Такой алгоритм достаточно прост, и обеспечивает инвариантность к повороту и размерам объекта при существенном сокращении размерности входной выборки.

В качестве нейронной сети предлагается использовать многослойную нейронную сеть с тремя решающими слоями, способная выполнить с высокой степенью достоверности распознавание объектов. В качестве метода обучения использовалась процедура «back propagation».

В четвертой главе приводятся результаты натурного эксперимента и описание разработанного программно – технического комплекса.

Цель натурного эксперимента заключалась в исследовании синтезируемой системы в условиях, максимально приближенных к тем, в которых ее предполагается применять, а также в установлении допустимых пределов изменения параметров и оценки влияния на них дестабилизирующих факторов, связанных с внешними условиями производства, на котором осуществляется контроль и учет изделий. Также производилась оценка взаимодействия взаимосвязанных элементов и подсистем, и выявление отказов, вызванных особенностями исследуемой системы. В результате проведения натурного эксперимента были подобраны необходимые параметры системы при ее работе в условиях присутствия максимального числа дестабилизирующих факторов при их комплексном воздействии и в различных сочетаниях. В таблице 1 представлены значения параметров.

Таблица 1. Значения подобранных параметров системы.

Параметр	Описание параметра	Значение параметра
α	Коэффициент в PD - фильтре	0,0005
ξ	Оценка совпадения значений градиента пройденной контурной точки и следующей.	20%
E_{const}	«Крутизна склона»	20%
$L_{E_{const}}$	Размер расширяемой окрестности	5 пикселей
L_C	Минимальная длина контура	100 пикселей
L_F	Минимальная длина фрагмента	20 пикселей
N_{layer}	Количество слоев нейронной сети	3
N_a	Количество нейронов в первом слое	40
N_b	Количество нейронов во втором слое	21
N_o	Количество нейронов в выходном слое	2

Разработанная система успешно прошла натурный эксперимент и показала хорошие результаты. Вероятность «пропуска цели», то есть не включение в подсчет полноценных изделий, не превысила 0.1%, а вероятность

«ложной тревоги», то есть включение в подсчет различных артефактов, не превысила 0,01%.

Также была сделана оценка времени обработки изображений. В результате были получены следующие результаты: для «округлых» объектов время обработки составляет 0,32с., для «прямоугольных» объектов время обработки составляет 0,37с.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты работы, а также выделены задачи, требующие дальнейшего исследования и решения.

В приложения вынесены акты внедрения разработанного программно – технического комплекса.

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. Выполнен анализ существующих систем контроля на базе систем технического зрения и показано, что основными недостатками при их использовании являются сильная зависимость достоверности подсчета объектов от условий освещения контролируемой сцены.
2. Разработана экспериментальная установка для выявления наиболее значимых дестабилизирующих факторов, апробации и оценки эффективности методов компенсации их влияния.
3. Разработаны новые алгоритмические решения методов цифровой обработки изображений на всех стадиях преобразования информационного сигнала (фильтрация, сегментация, и идентификация) для повышения эффективности работы использованного в работе оптического метода контроля;
4. Проведен натурный эксперимент для установления допустимых пределов изменения параметров методов обработки информационных сигналов и оценки влияния на них дестабилизирующих факторов, связанных с условиями производства;
5. Разработан метод контроля на базе предложенных алгоритмических решений, реализованный в программно – техническом комплексе для автоматического контроля хлебобулочных изделий, движущихся по конвейерной линии жарочной печи и позволяющий выполнять достоверный контроль в условиях производства с вероятностью ошибки от 0,01% до 0,1%.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Ненашев А.Л., Якунин А.Г. Разработка программно – технического комплекса для идентификации псевдорегулярных объектов на конвейерной линии. //Ползуновский вестник. – Барнаул 2009. – №1-2. – С.288-292. (перечень ВАК)

2. Якунин А.Г., Жихарев И.М., Ненашев А.Л. Программно – техническое и алгоритмическое обеспечение телевизионных систем оперативного контроля изделий на конвейерных линиях. // Ползуновский вестник. – Барнаул 2010. - №2. – С. 93 – 98. (перечень ВАК)
3. Ненашев А.Л. Интеллектуальные системы контроля на конвейерных линиях на основе нейросетевых технологий. //Ползуновский альманах. – Барнаул 2008. – №2. – С.78.
4. Ненашев А.Л. Разработка алгоритма определения контуров объектов изображения с псевдорегулярной структурой на динамической сцене. // Материалы международной научной конференции «Методы и алгоритмы принятия эффективных решений» - часть 2 – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – С. 55 – 58.
5. Ненашев А.Л. Разработка алгоритма описания данных о форме объектах изображения для их реализации в качестве входного вектора нейронной сети. // Материалы Всероссийской научной конференции «Современные исследовательские и образовательные технологии» - часть 2 – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – С. 30 – 32.
6. Ненашев А.Л. Методы фильтрации и предобработки изображения. // Материалы Всероссийской научно – технической конференции. – Нижний Новгород. – 2010. – С. 5.
7. Ненашев А.Л. Модификация градиентного метода определения контуров объекта изображения. // Материалы Всероссийской научно - технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь – 2010». – Барнаул. – 2010 – С. 68 -71.
8. Ненашев А.Л. Разработка алгоритма обнаружения и «стирания» теней на объектах изображений // Материалы 7 – й Всероссийской научно – технической конференции 6 -7 октября 2010 года / Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – С. 156 – 158.
9. Ненашев А.Л. Программное обеспечение системы контроля и учета изделий на конвейерных линиях с использованием нейросетевых технологий. // Материалы 12 Международной научно – технической конференции «Измерение, контроль, информатизация – 2011». - Барнаул. – 2011 – с. 146 – 149.
10. Ненашев А.Л. Система контроля и учета изделий на конвейерных линиях в условиях неоднородного освещения контролируемой сцены с использованием нейросетевых технологий. // Материалы Всероссийской научно – технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР – 2011». – Томск: В – Спектр, 2011. – Ч. 4. – С.42-44.
11. Ненашев А.Л. Система идентификации псевдорегулярных объектов на конвейерных линиях методами нейросетевых технологий // Материалы

Всероссийской научно – практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». – Томск. – 2011.

12. Ненашев А.Л. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2010617870 «Поиск теней на объектах изображения», дата регистрации 30.11.2010 г.
13. Ненашев А.Л. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2010617869 «Поиск контуров объектов на изображении», дата регистрации 30.11.2010 г.

Подписано в печать 17.10.2011. Формат 60×84 1/16.

Печать - ризография. Усл.п.л.1,16, Уч.изд. л.0,875

Тираж 100 экз. Заказ 17/2011.

Издательство Алтайского государственного технического университета
им. И.И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46.

Лицензии: ЛР № 020822 от 21.09.98 года, ПЛД № 28-35 от 15.07.97

Отпечатано в ЦОП АлтГТУ 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46

