

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»
(наименование)

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»
(код и наименование направления подготовки)

Организация машиностроительных производств
(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему «Разработка автоматизированной системы распознавания
маркировки деталей»

Студент

Ю.М. Шуберт

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., доцент, А.А. Козлов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Содержание

Введение.....	3
1 Обзор методов маркирования деталей.....	5
2 Обзор систем считывания маркировок.....	19
3 Разработка алгоритмов работы и структуры системы распознавания маркировки.....	31
3.1 Разработка алгоритмов работы системы распознавания маркировки.....	31
3.2 Разработка структуры системы распознавания маркировки.....	36
4 Улучшение качества изображения.....	40
5 Распознавание маркировки.....	53
5.1 Постановка задачи.....	53
5.2 Признаки при распознавании изображений.....	57
6 Проектирование аппаратной части системы распознавания.....	65
Заключение.....	67
Список используемых источников.....	68

Введение

В условиях современного машиностроительного производства для обеспечения идентификации деталей и сборочных единиц широко используется их маркировка.

Маркировка позволяет обеспечить правильность применения деталей и узлов при сборке, облегчить автоматизацию технологических процессов сборки в условиях поточного производства, увеличить гибкость производства путем применения на сборочных процессах именно тех деталей, которые необходимы для той или иной модификации изделия.

Нанесение маркировки важно для организации системы контроля качества изделий, а также применения автоматизированной CAQ-системы. Маркировка позволяет определить исполнителей на протяжении всего технологического процесса, закодировать конкретные характеристики изделия, обеспечивать отслеживание изделия на протяжении всего их жизненного цикла.

Маркировка выполняется в виде цифровых, буквенных и иных знаков, однозначно идентифицирующих данное изделие и его производителя. В машиностроении чаще всего используются буквенные знаки, цифровые знаки, штрих коды и сочетание данных методов кодирования.

Существенно отличаются методы нанесения маркировок и результаты применения данных методов. Это объясняется не только особенностями различных технологий нанесения, но и материалами из которых изготовлены детали и их состоянием в момент нанесения. Также необходимо учитывать и изменение состояния маркировки в процессе транспортировки и эксплуатации деталей.

Системы, применяемые при считывании, должны обеспечивать безошибочное считывание маркировки нанесенной на деталь или узел независимо от метода ее нанесения и применяемых для идентификации символов и знаков. Следует учитывать и организационные ограничения,

накладываемые на процесс считывания, связанные с особенностями различных типов производств. В условиях поточного производства недопустимо, чтобы процесс идентификации маркировки влиял на продолжительность технологического процесса. Наилучшее решение в таком случае заключается в выполнении процесса считывания маркировки на стадии входного контроля или транспортировки на следующую операцию технологического процесса, что требует автоматизации процесса.

На основании всего вышесказанного можно сделать вывод о том, что выбранная для разработки тема является актуальной научной и прикладной задачей для современного поточного производства изделий машиностроения, решение которой позволит повысить его эффективность.

Сформулируем цель, которую необходимо достигнуть в ходе выполнения магистерской диссертации. Необходимо разработать систему распознавания маркировки деталей, которая позволит автоматизировать данный процесс независимо от используемых для этого символов и знаков для всех применяемых в машиностроении методов нанесения маркировки. При этом должно обеспечиваться заданное качество и скорость распознавания без участия человека.

Достижение поставленной цели возможно путем решения следующих задач:

- произвести обзор методов маркирования деталей применяемых в современном машиностроении,
- произвести обзор существующих систем считывания маркировок,
- разработать алгоритмы работы и структуру системы распознавания маркировки,
- разработать математический аппарат улучшения качества изображения маркировки,
- разработать математический аппарат распознавания маркировки,
- разработать аппаратную часть системы распознавания.

В следующих разделах диссертации решим данные задачи.

1 Обзор методов маркирования деталей

Рассмотрим различные методы нанесения маркировок, используемых в машиностроении для того чтобы понять принцип нанесения и выявить особенности полученных изображений. Эта информация позволит в дальнейшем подобрать оптимальные алгоритмы распознавания независимо от метода нанесения маркировки, то есть обеспечит универсальность проектируемой системе.

В машиностроении для маркировки деталей и узлов наиболее часто применяются следующие виды маркировки: лазерная маркировка, каплеструйная маркировка, маркировка ударным методом, электролитический метод маркировки, микрогравировка фрезой [15].

Рассмотрим каждый метод подробнее.

Лазерная маркировка – это метод получения любого изображения на изделии путем воздействия излучателя, который выжигает поверхностный слой предмета [15].

Лазерной маркировкой можно наносить на поверхности изделий буквенные изображения, цифровые изображения, различные знаки, штрих коды и различные комбинации данных изображений. Это обеспечивает лазерной маркировке гибкость применения.

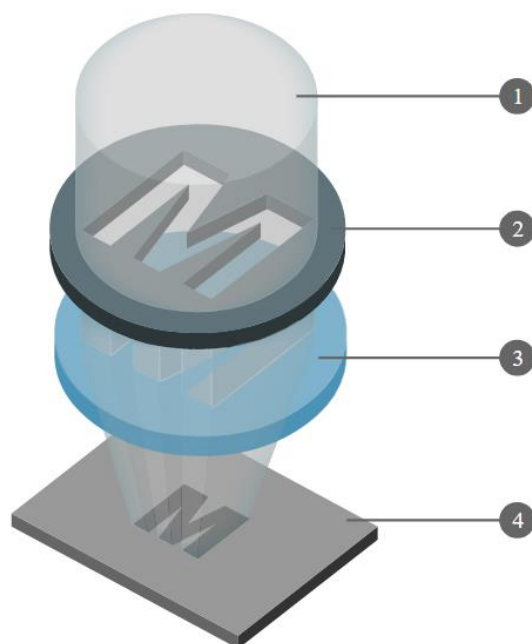
Лазерная маркировка физически, в зависимости от материала на который она наносится, представляет собой процессы обугливания, изменения структуры поверхности материала, изменение цвета, оплавления поверхности и испарение поверхностного слоя материала.

Как видно процесс лазерной маркировки основан на различных физических эффектах: испарение материала, плавление материала и поглощения в материале. При использовании эффекта испарения в материале образуются углубления соответствующего профиля. Такой эффект может быть реализован на металлических материалах. При использовании эффекта плавления происходит термохимическая реакция. Чаще всего данный эффект

используется при нанесении маркировки на пластики. Эффект поглощения материала выражается в проявлении различных цветовых эффектов на поверхности материалов, при этом видимого повреждения поверхности не происходит. Данный эффект используется в случае когда повреждение поверхности недопустимо и для нанесения маркировки на особо прочные материалы, где реализация других эффектов требует слишком большого количества энергии.

Реализация нанесения маркировки при помощи лазера осуществляется способом использования масок и способом перемещения зоны лазерного воздействия. Рассмотрим эти способы подробнее.

Нанесение маркировки при помощи масок схематично представлено на рисунке 1.

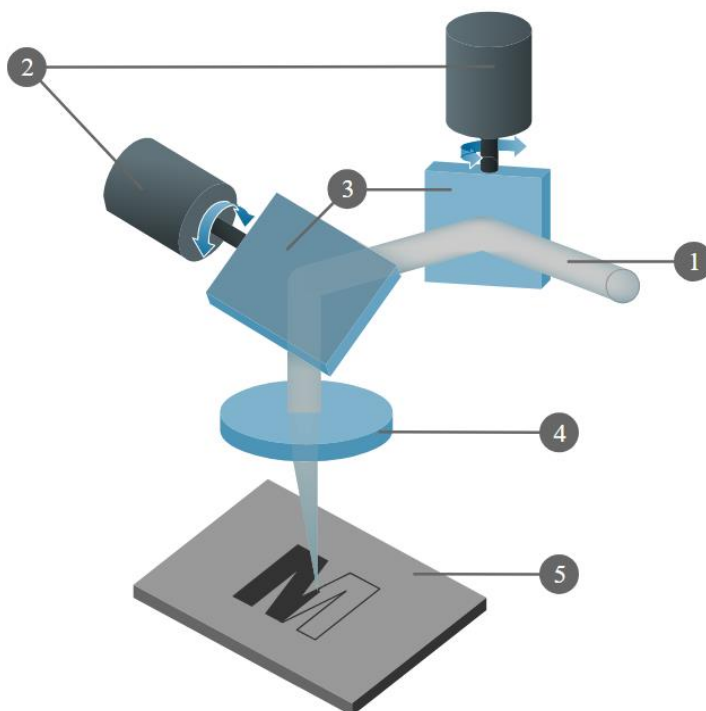


1 – лазерное излучение; 2 – маска; 3 – оптическая система; 4 – маркируемая поверхность.

Рисунок 1 – Нанесение маркировки при помощи масок

Процесс маркировки в этом случае производится следующим образом. Излучение 1 попадает на маску с необходимым изображением 2 и проходит

через оптическую систему 3 на маркируемую поверхность 4. Использование данного метода нанесения предусматривает использование импульсного лазерного источника. Получаемое изображение и его характеристики полностью зависят от используемого трафаретного изображения и энергии импульса излучения.



1 – лазерное излучение; 2 – сканаторы; 3 – зеркала; 4 – оптическая система; 5 – маркируемая поверхность

Рисунок 2 – Нанесение маркировки при помощи гальванометрических сканаторов

Процесс маркировки в этом случае производится следующим образом. Излучение 1 перемещается зеркалами 3, установленными на сканаторы 2 и через оптическую систему 4 формирует поточечно на маркируемой поверхности 5 изображение. Взаимодействие лазера и зеркал в данном случае осуществляется специальным программным обеспечением.

Первый способ лазерной маркировки имеет большую производительность, которая может достигать нескольких десятков

маркировок в секунду. Однако, второй способ обладает значительно большей рабочей зоной, так как в случае применения масок рабочая зона зависит от размеров пятна лазерного излучения и его энергии. Первый способ нанесения обладает меньшей гибкостью, так как требует применения отдельного трафарета для каждой маркировки. Изготовление трафарета является сложным и достаточно дорогостоящим процессом. Исходя из этого, каждый из способов имеет свою область применения. Способ нанесения лазерной маркировки при помощи масок наиболее удобен при больших объемах нанесения однотипных маркировок. Способ нанесения лазерной маркировки при помощи гальванометрических сканаторов удобен в случае, когда необходимо наносить часто изменяемые маркировки.

Тип лазера для нанесения маркировки выбирается в зависимости от типа маркируемого материала, требуемых качественных характеристик маркировки, требуемой скорости и производительности процесса маркировки. При решении практических задач выбор типа лазерного излучения используется показатель коэффициента отражения лазерного излучения от маркируемого материала. По данному показателю явное преимущество имеют твердотельные лазеры. Однако при маркировке органических материалов, например, дерево, бумага, пластмассы, лучшие показатели обеспечивают лазеры с длиной волны 10,6 мкм, обеспечиваемой газовыми лазерами. Применение твердотельных лазеров для органических материалов также возможно, но показатели будут несколько ниже. Другим недостатком твердотельных лазеров является их высокая стоимость. Это компенсируется их высокой надежностью, стабильностью работы, высоким ресурсом работы и отсутствием необходимости технического обслуживания.

В настоящий момент в связи с высокой степенью автоматизации современного производства и лазерная маркировка является одним из самых универсальных методов нанесения необходимой информации на детали, что обусловлено их гибкостью, простотой и большим эксплуатационным ресурсом установок для нанесения маркировок. Пример процесса нанесения

лазерной маркировки представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Пример процесса нанесения лазерной маркировки

Дальнейшее развитие технологии лазерной маркировки привело к появлению маркировки, часть символов которой становятся видимыми, только когда их подсвечивают [15]. Данный эффект достигается удалением верхнего слоя из двух слоев краски, нанесенных заранее на прозрачную или полупрозрачную подложку.

К преимуществам лазерного метода маркировки можно отнести долговечность наносимого рисунка, возможность нанесения на сложнопрофильные поверхности, высокая производительность процесса, бесконтактность процесса, отсутствие необходимости специальной подготовки поверхности перед нанесением, простота автоматизации процесса, высокая точность нанесения, компактность оборудования.

Основным недостатком данного метода нанесения является высокая стоимость, что объясняется необходимостью применения дорогостоящих лазеров. С развитием лазерной техники, электроники и программного обеспечения влияние данного недостатка несколько снижается.

Каплеструйная маркировка – наносится с применением специальных принтеров, которые в свою очередь интегрируются в конвейерную систему на производстве [15]. Возможные материалы для нанесения информации: картон, пластик, металл. Существует возможность нанесения различных видов информации: текст, графика, логотип, штрих-код, данные переменного характера. Нанесение на изделие производится с помощью специальных чернил, которые обладают рядом отличительных особенностей, например, мгновенное высыхание при воздействии ультрафиолетового излучения, это позволяет исключить затирания и размазывания информации на товаре или упаковке. Пример оборудования, в котором применяется каплеструйная (крупносимвольная) маркировка – это принтеры компании UBS, её принтеры серий APLINK UV и MR – широко известны и уже успели зарекомендовать себя на рынке как надежные, современные устройства, с широкими функциональными возможностями по доступным ценам. Пример каплеструйной маркировки приведен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Пример каплеструйной маркировки

К преимуществам каплеструйного маркирования можно отнести: более низкая стоимость (в сравнении с лазерным оборудованием), простота в использовании и техобслуживании, техника имеет высокий класс электрозащиты от проникновения воды и посторонних частиц, позволяет

получить контрастную маркировку на светлых поверхностях, подходит для бумажной или пластиковой упаковки, стекла, алюминия, пленки.

К недостаткам каплеструйного маркирования можно отнести: необходимо покупки растворителей для принтера и прочих расходных материалы, что повышает расходы, символы достаточно легко стереть, количество символов, наносимое принтером, ограничено, сложный процесс интеграции в действующие производственные линии.

Метод ударно-точечной маркировки (рисунок 5) [15], являясь самым распространённым способом механической маркировки, своей популярностью обязан неоспоримым преимуществам использования такого оборудования.

Это, прежде всего, простота процесса и универсальность, сочетающая широкий диапазон ввода данных и их оперативного изменения, высокие скорость и качество работ.



Рисунок 5 – Метод ударно-точечной маркировки

Потенциал маркировки ударным способом, известным также как виброударная, микроперкуссионная, иглоударная маркировки, очень большой и обеспечивает нанесение нестираемой и долговечной, стойкой к действию агрессивных сред, отлично читаемой информации на

металлические и пластиковые изделия. Успешно применяется для материалов твёрдостью до 63 HRC, таких как нержавеющая сталь, никель, магний, чугун, алюминий, многих сплавов и твёрдых пластмасс. Поверхности не требуют предварительной подготовки перед процессом маркировки, форма может быть как вогнутой, так и выпуклой; нанесённая надпись будет заметна и после окрашивания.

Принцип работы заключается в следующем: управление аппаратом производится с помощью контроллера, комплектуется ударным приводом в электрическом и пневматическом вариантах. Автоматизированное ударное нанесение точек (углублений от 0,1 до 1 мм) по заранее заданному, управляемому программно, алгоритму происходит за счёт высокой частоты движений маркировочной карбидной иглы, которая переносит изображаемую информацию на поверхность изделия.

При этом, регулируя глубину и плотность нанесения, изображение может состояться из отдельных точек (точечный режим) [15], представлен на рисунке 6, и обладать эффектом сплошных непрерывных линий (вибро режим), который достигается множеством мелких точек (рисунок 7).



Рисунок 6 – Точечный режим нанесения маркировки



Рисунок 7 – Вибро режим нанесения маркировки

Также возможна и маркировка методом прочерчивания, когда алмазная или твердосплавная игла как бы «процарапывает» поверхность материала, перемещаясь с некоторым вдавливанием.

Преимуществами иглоударной маркировки можно назвать: высокая скорость нанесения символов или рисунков на поверхности; не требуется специальная подготовка поверхности, маркировка может наноситься на окрашенные, влажные или пыльные изделия; нет необходимости в других расходных материалах, например, в красках; оборудование для нанесения иглоударной маркировки имеет сравнительно невысокую стоимость; такая маркировка обладает высокой износоустойчивостью; маркировка может наноситься на любые металлы, стали, сплавы – и даже на закаленную сталь твердостью до 70 HRC.

К минусам можно отнести: постепенный износ маркирующей иглы; в нанесенную маркировку невозможно внести изменения и вернуть её к первоначальному виду; нельзя маркировать дерево, стекло, бумагу и другие хрупкие материалы.

Электрохимическая маркировка основана на растворении металла при прохождении через электролит электрического тока. Ток пропускается от

электрода к изделию, на которое накладывается трафарет из диэлектрика.

Основное достоинство данного метода маркировки заключается в возможности нанесения маркировки на тонкостенные детали независимо от твердости материала. Недостатки данного метода заключаются в сложности получения четких границ маркировки и износе клеем.

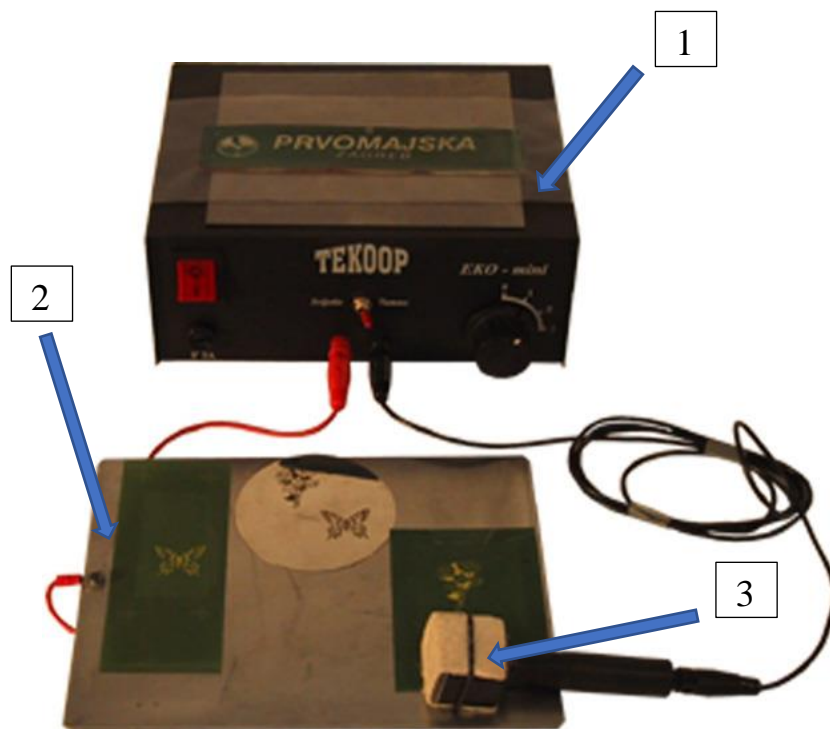
Дальнейшим развитием данного метода является применение для маркировки предварительно смоченной электролитом штемпельной подушки, которая накладывается на маркируемую поверхность. Электролиты чаще всего создаются на основе безвредных для человека однокомпонентных и многокомпонентных водных растворах нейтральных солей.

Преимущества данного метода заключаются в высокой производительности процесса, простоте оборудования и оснастки, хорошем качестве маркировки, отсутствие образования концентраторов напряжения.

Недостатки данного метода заключаются в необходимости периодической очистки клейма и необходимости применения специальных приборов.

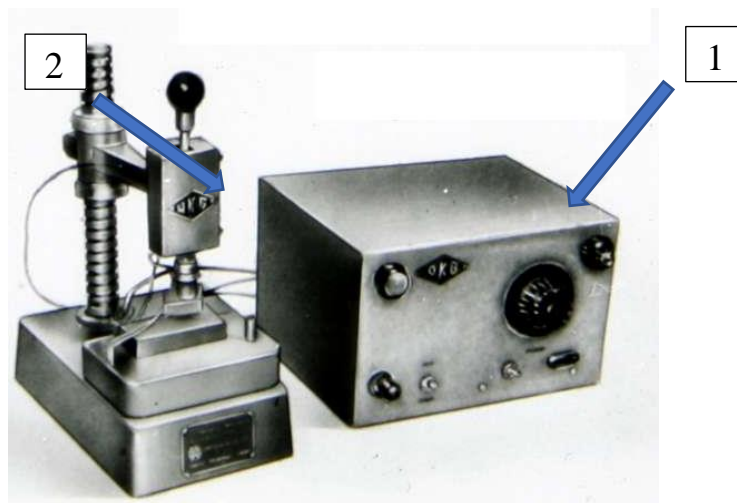
Установка для маркирования электрохимическим способом представлена на рисунке 8. Данный прибор состоит из панели с органами управления 1, пластины 2 и ручного штемпеля 3. Прибор устанавливается в двухсекционном корпусе. В одной секции монтируется электрическая часть прибора, а в другой пластины, штемпель, шнур и электролит. Панель содержит тумблеры включения и переключения напряжения, лампы индикации и предохранитель.

Общий вид другой установки для электрохимического маркирования ЭХМ-2 представлен на рисунке 9. В состав установки входит панель с органами управления 1 и ручной штемпель. Данная установка реализует полуавтоматический режим работы, позволяет маркировать изделия практически любых габаритов и различных металлов, включая цветные металлы и жаропрочные стали и сплавы.



1 – панель с органами управления; 2 – пластина; 3 – ручной штемпель

Рисунок 8 – Установка для маркирования электрохимическим способом



1 – панель с органами управления, 2 – ручной штемпель

Рисунок 9 – Установка для электрохимического маркирования ЭХМ-2

Пример нанесения маркировки электрохимическим методом на нержавеющую сталь представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Пример электрохимической маркировки

К преимуществам электрохимического метода маркировки следует отнести: отсутствие износа электрод-инструмента, высокую скорость обработки (до десятков тысяч миллиметров в минуту), возможность снижения шероховатости и повышения точности нанесения маркировки при одновременном повышении производительности, возможность изготовления сложных плоскостей или рельефных форм при одном лишь поступательном движении электрод-инструмента.

К недостаткам электрохимического метода маркировки следует отнести: габариты оборудования, сложность и высокая стоимость электрод-инструмента, низкая точность, большие энергозатраты, наличие отходов, требующих специальной утилизации.

Метод нанесения маркировки микрогравировкой фрезой представляет собой процесс механического удаления слоя материала с маркируемой поверхности посредством металлорежущего инструмента.

Процесс производится специальной фрезой на гравировальных станках оснащенных системами числового программного управления и при помощи ручного оборудования (пантограф). Пример нанесения маркировки фрезой представлен на рисунке 11.

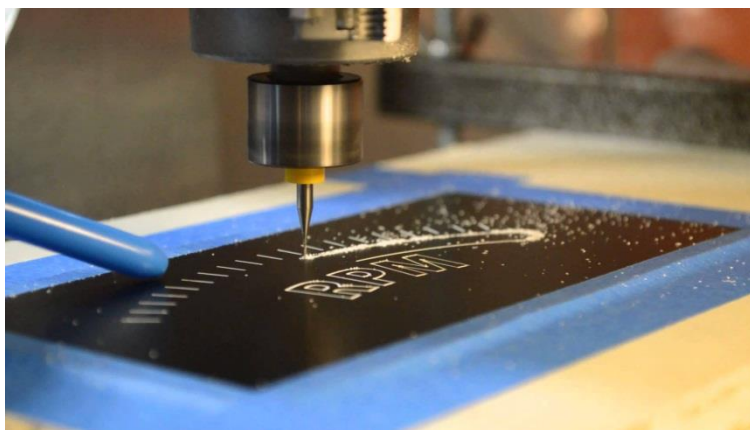


Рисунок 11 – Нанесение маркировки микрогравировкой фрезой

Ручное оборудование для нанесения маркировки микрогравировкой фрезой в машиностроении на данный момент практически не используется. Большая часть таких работ на данный момент производится на компьютеризированных станках различных габаритов, производительности и мощности.

Большую роль при использовании данного метода нанесения маркировки имеет режущий инструмент. Размеры фрезы и материал, из которого она изготовлена, влияют на скорость нанесения маркировки и минимальные размеры символов, которые могут быть нанесены. Чем меньше размер фрезы, тем меньшего размера символы могут быть нанесены, но при этом уменьшится скорость нанесения.

На процесс нанесения маркировки в данном случае оказывает влияние материал поверхности на который она наносится. Чем выше твердость материала маркируемой поверхности, тем более дорогостоящие материалы применяются для изготовления фрез. Например, для сверхтвердых и труднообрабатываемых материалов применяются фрезы с алмазным напылением.

Реализация данного метода нанесения маркировки требует применения специальной технологической оснастки для закрепления детали при фрезеровании. При фрезеровании некоторых материалов, например пластика,

требуется применение устройств по удалению образующейся пыли и мелкой стружки из зоны резания для того, чтобы избежать повреждения обработанных поверхностей и преждевременного износа инструмента.

Начальные капиталовложения в механическую гравировку обычно ниже, чем в другие методы нанесения маркировки. Приблизительно через год работы станок окупается. Однако работы на фрезере требуют знаний по выбору необходимых фрез, крепления обрабатываемого материала, настройки скоростей и подачи.

К достоинствам метода нанесения маркировки микрогравировкой фрезой можно отнести: возможность нанесения объемного изображения и необычных линий, которые могут быть не только разной глубины и толщины, но и конусообразными, квадратными или овальными; незначительные первоначальные вложения; возможность нанесения на различные материалы без потери качества нанесения.

К недостаткам метода нанесения маркировки микрогравировкой фрезой можно отнести: низкая производительность; сильный шум; больше отходов при обработке, чем при использовании других методов маркирования.

Исследование методов маркирования деталей в современном машиностроении позволило сделать следующие выводы. Применяемые методы позволяют получать достаточно качественные отображения маркировок на поверхностях, пригодные для автоматизированного распознавания. Однако, в случае неправильного подбора метода маркировки для того или иного материала изображение может быть нечетким или размытым, что необходимо учесть при проектировании системы распознавания. Практически каждый метод формирует изображение с определенными особенностями, поэтому проектируемая система должна распознавать все возможные варианты независимо от текстуры, цвета или каких-либо других особенностей изображения маркировки на поверхности.

2 Обзор систем считывания маркировок

Проведем обзор существующих систем считывания маркировок.

Наиболее распространенными системами считывания маркировок являются сканеры штрих-кодов [15]. Данные сканеры строятся на основе двух технологий. Первая технология основана на использовании светодиодных ПЗС-матриц, вторая на использовании лазерного излучения. Возможно создание как контактных, так и бесконтактных сканеров способных считывать различные форматы кодов. Сканеры могут выполняться ручными или стационарными. При этом ручные сканеры в процессе эксплуатации подносятся к детали для считывания штрих-кода, а стационарные требуют перемещения самой детали к сканеру.

В настоящее время используются следующие разновидности систем считывания штрих-кодов: ручные светодиодные сканеры, ручные лазерные сканеры, стационарные (многоплоскостные) сканеры, сканеры двухмерных штрих-кодов (2D сканеры), беспроводные сканеры, щелевые считыватели.

Принцип работы светодиодных ПЗС-матриц основан на засвечивании штрих-кода светодиодами и считывании полученной картинке ПЗС-матрицей.

Принцип работы лазерного сканера основан на засвечивании штрих-кода лазерным пучком, перемещение которого производится при помощи оптической системы зеркал.

Основным достоинством лазерных сканеров являются большая дальность действия по сравнению со сканерами на светодиодных ПЗС-матрицах. Преимуществом сканеров на светодиодных ПЗС-матрицах является высокая надежность, обеспечиваемая отсутствием подвижных частей и возможность распознавания поврежденных и плохо читаемых маркировок. Общими недостатками данных систем распознавания является ограниченная зона считывания и невозможность распознавания комбинаций различных методов кодирования.

Рассмотрим способ считывания машиносчитываемых люминесцентных маркировок и оптико-электронное устройство для его осуществления [18]. Результат применения данного устройства заключается в расширении функциональных возможностей полного считывания декодируемой информации в нескольких спектральных диапазонах. Заявлен способ проверки подлинности машиносчитываемой люминесцентной маркировки, имеющей вид контрастных фосфоресцентных, флуоресцентных или комбинированных символов или изображений, включающий освещение маркировки импульсами света, регистрацию, обработку и идентификацию маркировки. Процесс считывания производится следующим образом. Заранее задают, по меньшей мере, две длины волны излучаемого света и, по меньшей мере, два значения светового потока излучаемого света. Освещают маркировку импульсами света указанными длинами волн с указанными значениями светового потока. Регистрируют изображение, формируемое возбуждением элементов символов или изображений маркировки от освещения импульсами света от каждой из длин волн со значениями светового потока. Обработывают регистрируемое изображение, идентифицируют обработанное изображение, проверяя его подлинность сравнением с эталонным изображением.

Предлагаемое техническое решение относится к устройствам для считывания носителей информации с помощью электромагнитного излучения, в частности к средствам считывания информации в виде люминесцентных символов и изображений и может применяться во время контроля и учета изделий с использованием люминесцентных меток, изображений и штрих кодов.

Данное устройство расширяет функциональные возможности использования оптико-электронного устройства в виде съемной насадки с любой моделью портативного фотосканера для считывания нанесенных различных люминесцентных маркировок с возможностью получения полных и предельно точных информационных данных.

Применение данного устройства обеспечивает возможность полного считывания декодируемой информации в нескольких спектральных диапазонах при повышении точности считывания контрастных, фосфоресцентных, флуоресцентных или комбинированных маркировок.

Обработка изображения дополнительно включает в себя регистрацию задержанного по времени фосфоресцентного или флуоресцентного символов полученного в интервалах между импульсами или по окончании импульса, где каждый последующий импульс подается по команде процессора.

Освещение маркировки осуществляется в спектральных диапазонах из красной от 550 нм до 650 нм, голубой от 450 нм до 500 нм и ультрафиолетовой от 350 нм до 400 нм области спектра. Пакет импульсов составляет от 20 до 50 импульсов света длительностью от 10 до 30 миллисекунд подаваемых с интервалами равными длительности импульсов.

Оптико-электронное устройство, предназначенное для считывания указанным выше способом, представлено на рисунке 12. При помощи данного устройства можно считывать информацию, содержащуюся в машиносчитываемых маркировках, имеющих вид контрастных, фосфоресцентных, флуоресцентных или комбинированных символов, или изображений. Устройство состоит из вычислительного модуля, электронно-вычислительной машины, а также оптического сенсора, обеспечивающего спектральную селективность чувствительности к внешнему излучению и блока управления подсветкой светоизлучающих приборов, соединенного с вычислительным модулем, светоизлучающего прибора, соединенного с блоком управления подсветкой. Светоизлучающий прибор, выполнен с возможностью задания, по меньшей мере, двух длин волн излучаемого света и, по меньшей мере, двух значений светового потока излучаемого света, при этом блок управления подсветкой выполнен с возможностью задания упомянутых, по меньшей мере, двух значений светового потока на упомянутых, по меньшей мере, двух длин волн для, по меньшей мере, одного светоизлучающего прибора. Оптический сенсор обеспечивает пропускание в

спектральном диапазоне излучения фосфоресцентных или флуоресцентных символов. Одна из длин волн излучаемого света находится в спектральном диапазоне пропускания оптического сенсора, а остальные длины волн излучаемого света находятся в полосах поглощения фосфоресцентных или флуоресцентных символов.

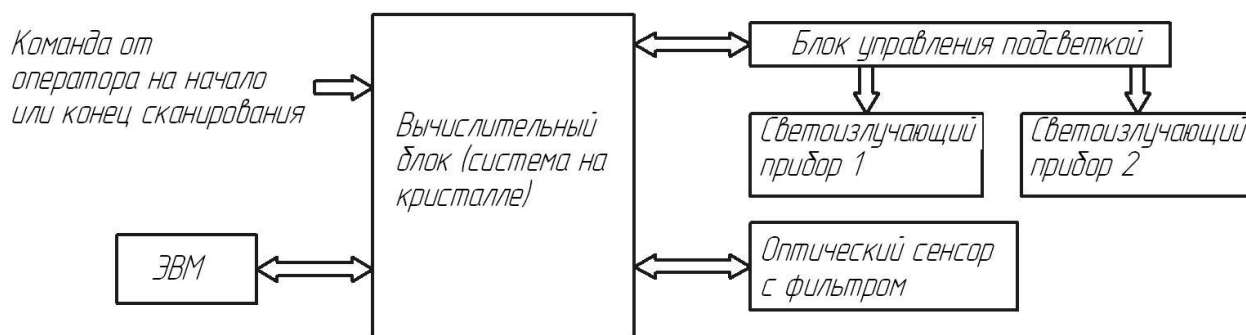


Рисунок 12 – Функциональная схема опико-электронного устройства

Таким образом, рассмотренный способ считывания машиносчитываемой маркировки и опико-электронное устройство для его осуществления дает возможность считывания декодируемой информации в нескольких спектральных диапазонах в ходе одной попытки считывания контрастных, фосфоресцентных, флуоресцентных или комбинированных маркировок.

Основным недостатком данного считывания маркировки является конструктивная сложность опико-электронного устройства и необходимость создания базы образцов.

Рассмотрим устройство для сканирования предметов, имеющих маркировку RFID-метками [16].

Устройство для сканирования предметов, имеющих маркировку RFID-метками, содержит камеру с отверстием для загрузки промаркированных RFID-метками предметов, дисплей, соединенный с внешним устройством, устройство считывания идентификатора пользователя, средство сканирования и устройство восприятия кодированных данных с RFID-меток,

расположенные в камере. Устройство восприятия кодированных данных с RFID–меток выполнено с возможностью передачи кодированных данных внешнему устройству, расположенному вне камеры. Камера оснащена дополнительным отверстием для выгрузки, платформой для размещения промаркированных RFID–метками предметов с возможностью перемещения относительно средства сканирования и устройства восприятия кодированных данных с RFID–меток, устройством взвешивания, соединенным с внешним устройством. Отверстие для загрузки и отверстие для выгрузки снабжены крышками с возможностью их закрытия и открытия соответственно по сигналу устройства взвешивания, а средство сканирования и устройство восприятия кодированных данных с RFID–меток выполнены с возможностью объемного сканирования камеры и считывания кодированных данных с RFID–меток соответственно. Крышки отверстия для загрузки и отверстия для выгрузки могут быть выполнены радионепроницаемыми.

Оснащение камеры дополнительным отверстием для выгрузки позволяет осуществлять поточный режим загрузки и выгрузки предметов, что повышает производительность устройства. Снабжение отверстия для выгрузки и отверстия для загрузки крышками обеспечивает ограничение зоны действия средства сканирования и устройства восприятия кодированных данных с RFID–меток пределами камеры, исключая при этом возможность нежелательного считывания RFID–меток, расположенных вне камеры, что увеличивает точность считывания RFID–меток, расположенных в камере.

Оборудование камеры платформой для размещения промаркированных RFID–метками предметов с возможностью перемещения относительно средства сканирования и устройства восприятия кодированных данных с RFID–меток, обеспечивает возможность позиционирования помещенных в камеру в произвольном порядке предметов относительно средства сканирования и устройства восприятия кодированных данных с RFID–меток, что повышает точность считывания RFID–меток устройства. А оснащение

устройством взвешивания, соединенным с внешним устройством, позволяет контролировать соответствие веса со считанной с RFID–меток информации и своевременно осуществлять запуск повторного сканирования, что также повышает точность считывания RFID–меток и увеличивает производительность устройства.

Выполнение средства сканирования и устройства восприятия кодированных данных с RFID–меток с возможностью объемного сканирования камеры и считывания кодированных данных с RFID–меток соответственно обеспечивают распространение зоны их действия по всему объему камеры и, следовательно, возможность сканирования и восприятия данных с предметов, расположенных хаотично и в произвольном порядке в камере.

Выполнение крышек отверстия для загрузки и отверстия для выгрузки радионепроницаемыми дополнительно повышает точность считывания RFID–меток и одновременно позволяет исключить нежелательное воздействие радиоизлучения на операторов.

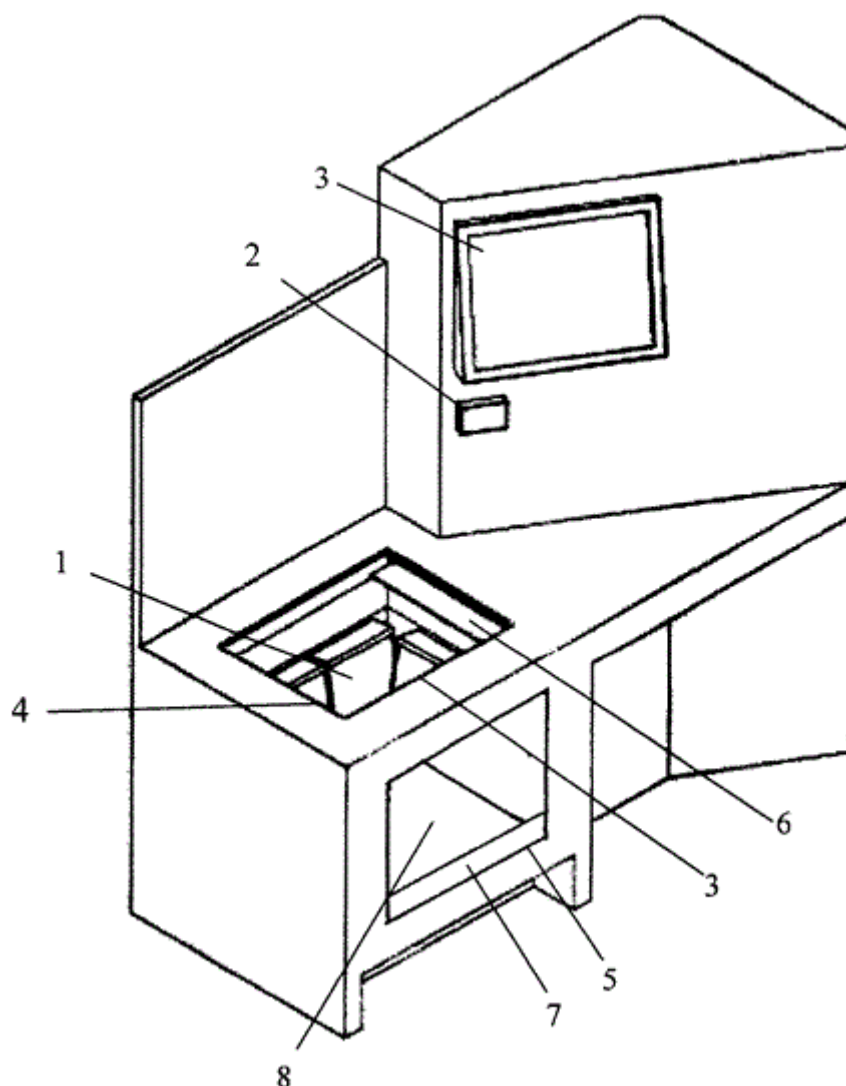
Схематично установка представлена на рисунке 13. Устройство для сканирования предметов, имеющих маркировку RFID–метками, содержит камеру 1, устройство 2 считывания идентификатора пользователя и дисплей 3, соединенный с внешним устройством (на фигуре не показано).

Камера 1 имеет отверстие 4 для загрузки промаркированных RFID–метками предметов и отверстие 5 для выгрузки промаркированных RFID–метками предметов, снабженные радионепроницаемыми крышками 6 и 7.

Также камера 1 оснащена подвижной относительно отверстий платформой 8 для размещения промаркированных RFID–метками предметов, средством сканирования (на рисунке не показано) и устройством восприятия кодированных данных с RFID–меток (на рисунке не показано).

Платформа 8 для размещения промаркированных RFID–метками предметов снабжена устройством взвешивания (на рисунке не показано), соединенным с внешним устройством. Устройство взвешивания может быть

выполнено пружинными, рычажными или тензометрическими весами.



1 – камера; 2 – устройство считывания идентификатора пользователя; 3 – дисплей; 4 – отверстие для загрузки; 5 – отверстие для выгрузки; 6 – радионепроницаемая крышка отверстия для загрузки; 7 – радионепроницаемая крышка отверстия для выгрузки; 8 – платформа для размещения промаркированных RFID-метками предметов

Рисунок 13 – Схема устройства для сканирования предметов, имеющих маркировку RFID-метками

Средство сканирования и устройство восприятия кодированных данных с RFID-меток выполнены с возможностью объемного сканирования камеры и считывания кодированных данных с RFID-меток соответственно, что достигается направлением антенн средства сканирования и устройства восприятия кодированных данных с RFID-меток под разными углами в

камере 1.

Устройство для сканирования предметов, имеющих маркировку RFID-метками, работает следующим образом.

Пользователь помещает предметы, имеющие маркировку RFID-метками, в произвольном порядке в камеру 1 через отверстие 4 для загрузки и запускает сеанс сканирования путем предоставления данных устройству 2 считывания идентификатора пользователя, например, карточки пользователя, биометрического датчика или введением специального идентификационного кода пользователя с клавиатуры (на рисунке не показаны). При этом устройство 9 взвешивания (при ненулевом весе) подает сигнал на закрытие радионепроницаемой крышки 6 отверстия 4 для загрузки. При отсутствии препятствия, которое детектируется, например, световой завесой, радионепроницаемая крышка 6 закрывается. В случае обнаружения световой завесой препятствия радионепроницаемая крышка 6 отверстия 4 для загрузки приостанавливается до устранения помехи. При загрузке предметов в камеру 1 отверстие 5 для выгрузки закрыто радионепроницаемой крышкой 7. При этом камера 1 вместе с радионепроницаемыми крышками 6 и 7 образует радионепроницаемую конструкцию.

После закрытия крышки 6 отверстия 4 для загрузки начинается сеанс сканирования: средство сканирования посредством антенн, расположенных под разными углами, сканирует камеру 1, а устройство восприятия кодированных данных с RFID-меток начинает опрос RFID-меток на предметах, расположенных в камере 1 в произвольном порядке. При этом платформа 8 для размещения промаркированных RFID-метками предметов перемещается в камере 1 относительно антенн средства сканирования и устройства восприятия кодированных данных с RFID-меток.

Перемещение платформы 8 для размещения промаркированных RFID-метками предметов может быть реализовано по-разному, например, использованием устройств механической передачи, преобразующих вращательное движение привода в поступательное движение. Так платформа

8 для размещения промаркированных RFID–метками предметов оснащена роликами (на рисунке не показаны), которые движутся по направляющим камеры (на рисунке не показаны). Вращение привода в соответствующем направлении передается механической передаче (зубчатой, ременной и так далее), которая поднимает или опускает платформу 8 для размещения промаркированных RFID–метками предметов.

По окончании опроса RFID–меток на предметах устройство восприятия кодированных данных с RFID–меток, отправляет информацию об измеренном весе, а также перечень просканированных предметов с их стоимостью для отображения на дисплей 3 или внешнему устройству (на рисунке не показано). При этом дисплей 3 имеет функции управления отображенной информацией.

При несовпадении фактического веса, измеренного устройством взвешивания, с информацией о весе, считанной с RFID–метки, на дисплей 3 выводится сообщение об ошибке. На дисплее 3 также появляются подсказки для дальнейших действий («повторное сканирование», «отмена», «сохранение результатов сканирования» и так далее).

В случае совпадения фактического веса, измеренного устройством взвешивания, с информацией о весе, считанной с RFID–метки, весовой контроль считается пройденным, а сеанс сканирования завершенным и крышка 7 отверстия 5 для выгрузки открывается, для того чтобы пользователь извлек из камеры предметы.

Таким образом, основными достоинствами рассматриваемого устройства считывания маркировки являются повышение точности считывания меток с одновременным повышением производительности.

Недостаток данной системы считывания заключается в возможности считывания только маркировок нанесенных методом RFID–меток.

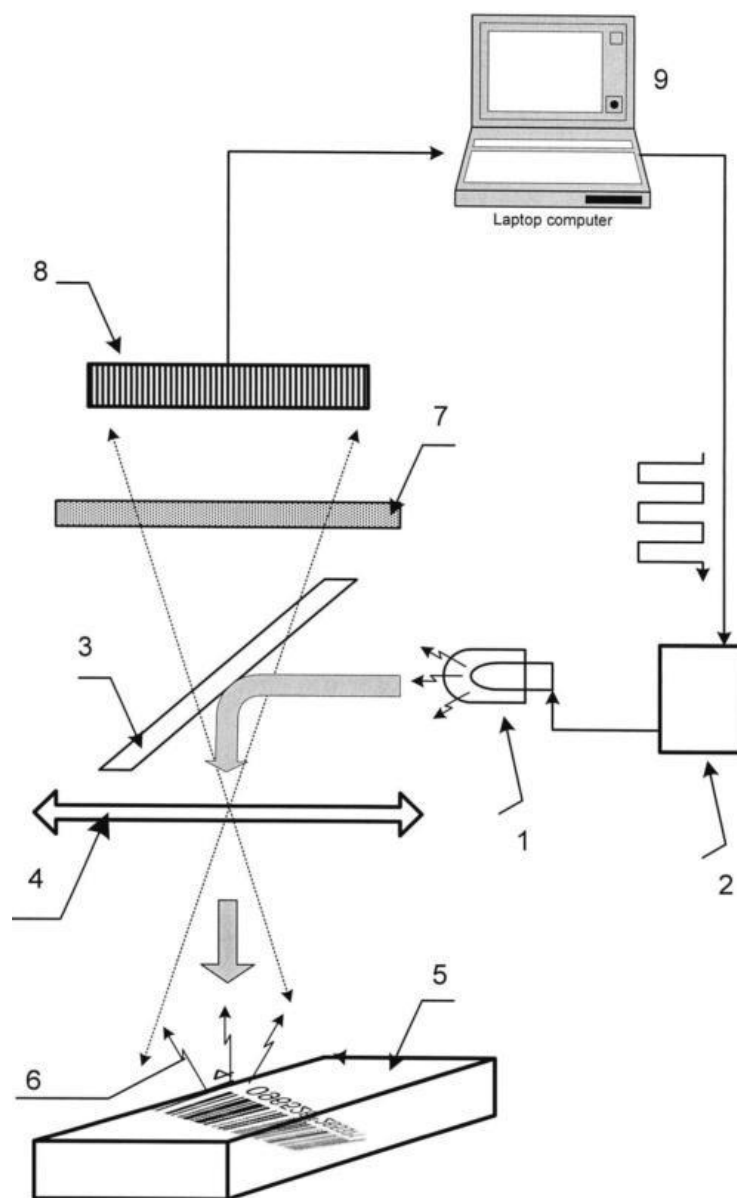
Далее рассмотрим устройство для считывания маркировочной информации нанесенной лазерным способом на поверхность полимеров [17]. Данное устройство предназначено для считывания нанесенных на полимер

скрытых в оптическом диапазоне света знаков маркировки в виде изображения или цифрового кода.

Устройство считывания лазерной маркировки полимеров содержит систему оптического возбуждения люминесценции знаков маркировки и систему ее регистрации, при этом система возбуждения включает в себя установленные по ходу луча лазерный ультрафиолетовый диод, дихроичный фильтр, объектив и полимерный образец с нанесенной маркировкой. Система регистрации люминесценции включает в себя установленные в обратном ходе луча объектив, дихроичный фильтр, полосовой фильтр, матричное фотоприемное устройство (ПЗС) и управляющий компьютер, программное обеспечение которого позволяет обрабатывать знаки маркировки, как в цифровом виде, так и в форме изображения.

На рисунке 14 представлена блок-схема предложенного устройства. Устройство содержит установленные последовательно по ходу луча ультрафиолетовый диод 1 с драйвером 2, дихроичный фильтр 3, объектив 4, полимерный образец с маркировкой 5, люминесценция знаков маркировки 6, установленные в обратном ходе луча объектив 4, дихроичный фильтр 3, полосовой фильтр 7, матричное фотоприемное устройство (ПЗС) 8, управляющий компьютер 9. Устройство может быть выполнено в одном корпусе.

Устройство работает следующим образом: лазерный диод 1 подключенный к драйверу 2, излучает импульсно-периодический сигнал в УФ области спектра, часть излучения которого, отразившись от дихроичного фильтра 3, через объектив 4 попадает на полимерный образец 5 и возбуждает люминесценцию 6 нанесенных знаков маркировки, излучение которой в обратном ходе луча через объектив 4, дихроичный фильтр 3, полосовой фильтр 7, попадает на матричное фотоприемное устройство (ПЗС) 8, сигнал с которого обрабатывается компьютером 9.



1 – ультрафиолетовый диод; 2 – драйвер; 3 – дихроичный фильтр; 4 – объектив; 5 – полимерный образец с маркировкой; 6 – люминесценция знаков маркировки; 7 – полосовой фильтр; 8 – матричное фотоприемное устройство (ПЗС); 9 – управляющий компьютер

Рисунок 14 – Схема устройства считывания лазерной маркировки полимеров

Основное преимущество устройства заключается в том, что процесс считывания и распознавания скрытых знаков маркировки может производиться в автоматическом режиме.

К недостаткам данного устройства можно отнести сложность конструкции.

В результате проведения обзора систем считывания маркировок можно сделать следующие выводы.

Существующие и перспективные системы считывания маркировок имеют ограниченную область применения. Чаще всего они нацелены на распознавание маркировки нанесенной каким-либо определенным методом и не обладают необходимой для использования в условиях массового производства гибкостью.

Большинство используемых систем не обладают достаточной устойчивостью к помехам и требовательны к качеству изображения, что в условиях поточного производства не всегда возможно.

Сканеры штрих-кодов достаточно простые в эксплуатации, надежные, но они требуют непосредственного участия человека в процессе считывания маркировки и способны работать только с определенным типом знаков и символов, что в производственных условиях не всегда удобно.

Остальные рассмотренные системы обладают одним общим существенным недостатком, который заключается в их конструктивной сложности. Кроме того, они не обеспечивают универсальности считывания, так как имеют определенную специализацию.

Проведенный анализ показал, что проектируемая система должна обладать рядом характеристик. Система должна быть бесконтактной, обеспечивать считывание любых маркировок вне зависимости от метода нанесения, иметь высокую степень автоматизации, обладать хорошим быстродействием, иметь возможность считывания незначительно поврежденных изображений маркировок, быть помехоустойчивой, обеспечивать быструю перенастройку на считывание нового типа маркировки, иметь простую конструкцию.

Проанализировав литературу [1, 8, 24, 28] приходим к выводу, что в современных условиях наиболее перспективным является создание автоматизированной системы распознавания маркировки на базе электронного оптического модуля и персонального компьютера.

3 Разработка алгоритмов работы и структуры системы распознавания маркировки

3.1 Разработка алгоритмов работы системы распознавания маркировки

Одно из основных требований к проектируемой системе заключается в обеспечении автоматизации процесса распознавания. Для этого необходимо разработать соответствующие алгоритмы функционирования различных подсистем. На основе анализа систем считывания было принято решение проектировать систему на базе электронного оптического модуля и персонального компьютера. Исходя из этого, следует, что распознавание будет производиться на основе цифрового изображения [4]. Обработка реального цифрового изображения с целью решения задачи обнаружения и распознавания на нем объекта требует как минимум решения двух задач. Во-первых, это оценка и улучшение качества изображения и во-вторых, это непосредственно распознавание объекта, которым в нашем случае является маркировка. Разработаем алгоритмы функционирования подсистем, направленных на решение данных задач.

Алгоритм функционирования подсистемы оценки и улучшение качества изображения представлен на рисунке 15. Основная задача данного алгоритма заключается в определении наличия годной для распознавания маркировки и улучшения качества полученного изображения.

Алгоритм функционирует следующим образом.

Изображение, полученное от цифровой камеры или другого устройства получения изображений, проходит первичную обработку, которая заключается в получении с изображения необходимых его характеристик для дальнейшей обработки [5, 31]. Далее производится поиск и выделение на изображении маркировки [11, 33]. После выполнения данного этапа система должна определить наличие маркировки на изображении.

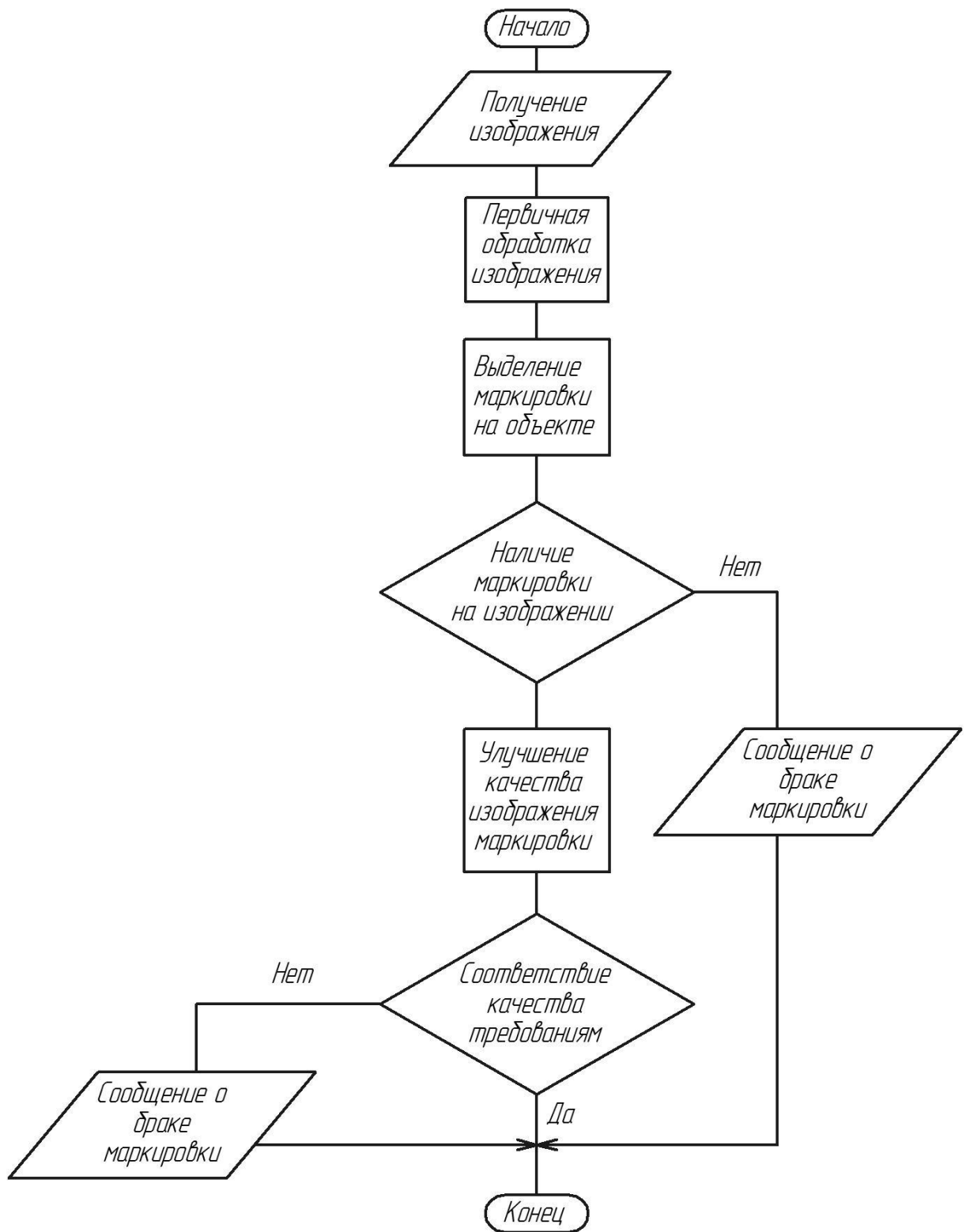


Рисунок 15 – Алгоритм функционирования подсистемы оценки и улучшения качества изображения

В случае если маркировка не выявлена, выдается сообщение о браке в маркировке. Если наличие маркировки зафиксировано выполняется

следующий этап, направленный на улучшение качества изображения маркировки.

Далее выполняется повторная проверка соответствия качества изображения маркировки требованиям. Если качество изображения маркировки не соответствует требованиям, то выводится сообщение о браке в маркировке. Если качество изображения маркировки соответствует требованиям, то такое изображение принимается для дальнейшей его обработки и распознавания маркировки.

Алгоритм распознавание маркировки представлен на рисунке 16. Основная задача данного алгоритма заключается в распознавании символов и обозначений, формирующих маркировку.

Алгоритм функционирует следующим образом.

Предварительно обработанное и улучшенное по алгоритму функционирования подсистемы оценки и улучшения качества изображение загружается в предлагаемый алгоритм обработки.

На следующем этапе производится первичная обработка изображения, аналогичная предыдущему алгоритму с целью получения его характеристик. Затем на изображении выделяется область нанесения маркировки и запускается аппарат распознавания символов и обозначений, формирующих маркировку.

На следующем этапе, если маркировка распознана, в зависимости от решаемой производственной задачи, система заносит данные о детали или узле в соответствующую базу данных или производит поиск информации о ней в САQ–системе предприятия. Если маркировка не распознана, то система должна выдать сообщение о браке в маркировке.

Из алгоритмов следует, что для обеспечения автоматизированного распознавания маркировки необходимо разработать процедуры первичной обработки изображений, выделения маркировки на объекте, улучшения качества изображения маркировки и распознавания символов маркировки.

Рассмотрим данные процедуры подробнее.

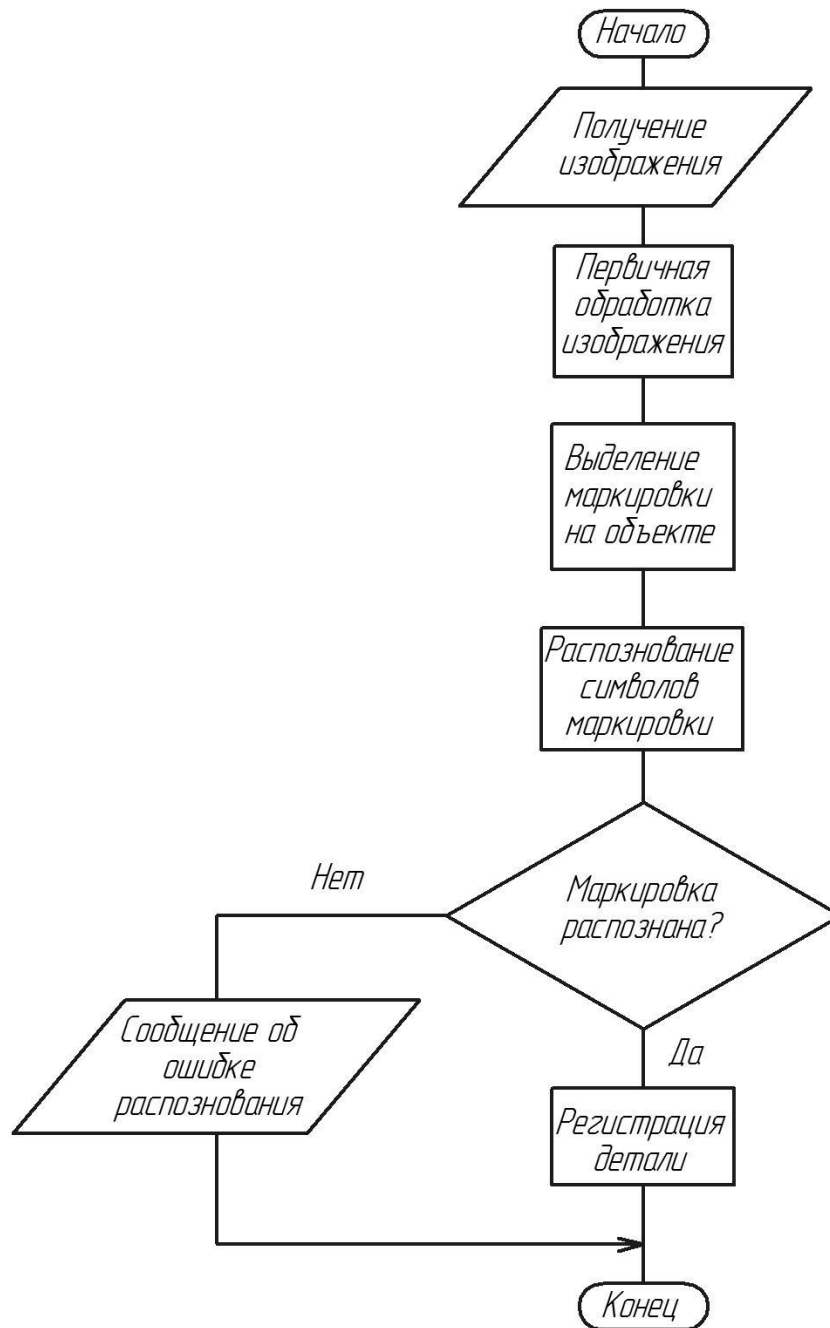


Рисунок 16 – Алгоритм распознавание маркировки

Процедура первичной обработки изображений подразумевает определение снижение шумов, возникающих под воздействием разнообразных факторов действующих в процессе получения цифрового изображения. Такие шумы могут возникать из-за плохих условий получения изображения, наличия фона изображения, процессов дискретизации и квантования изображения, несовершенства системы передачи и отображения

изображения. Решение этой задачи требует комплексного подхода. Снижение влияния шумов, возникающих из-за плохих условий получения изображения, может быть снижено применением дополнительной подсветки при получении изображения. Однако большая часть шумов может быть устранена путем применения известных алгоритмов обработки изображений более подробно рассмотренных в литературе [2, 9, 12, 29].

Процедура выделения маркировки на объекте заключается в поиске области нанесения маркировки, то есть нахождении ее координат. Алгоритм, реализующий данную процедуру, подробно рассмотрен в литературе [3, 19, 22, 40]. Пример исходного изображения маркировки представлен на рисунке 17, а результат работы алгоритма выделения маркировки на объекте представлен на рисунке 18.



Рисунок 17 – Пример исходного изображения маркировки



Рисунок 18 – Результат работы алгоритма выделения маркировки

Процедуры улучшения качества изображения маркировки и распознавания символов маркировки построены на реализации математического аппарата подробно рассмотренного в следующих пунктах данной магистерской диссертации.

3.2 Разработка структуры системы распознавания маркировки

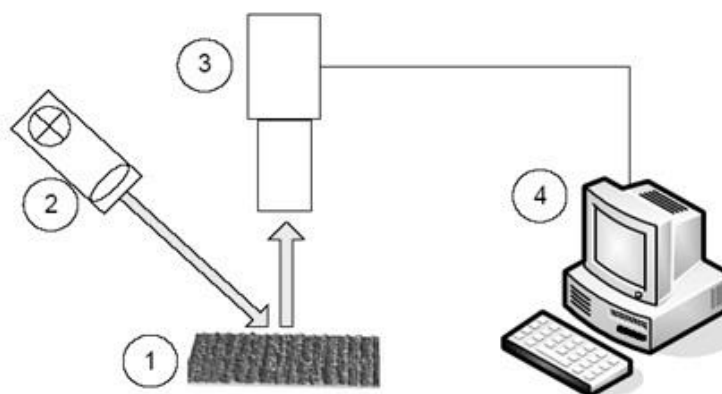
Структуру системы распознавания следует рассматривать с точки зрения структуры ее программного обеспечения и структуры аппаратной части системы. Формирование данных основных структурных составляющих системы распознавания маркировки следует вести на основе требований предъявляемых к системе.

Сформулируем данные требования, основываясь на проведенных ранее обзорах методов маркирования деталей и систем считывания маркировок:

- возможность распознавать нечеткие и размытые изображения,
- возможность распознавать все возможные варианты изображения не зависимо от текстуры, цвета или каких-либо других особенностей метода нанесения маркировки на поверхности,
- бесконтактность,
- высокая степень автоматизации,
- высокое быстродействие,
- возможность считывания незначительно поврежденных изображений маркировок,
- помехоустойчивость,
- быстрая перенастройка на считывание нового типа маркировки,
- простота конструкции.

Исходя из предъявляемых к системе требований, а также необходимости обеспечения бесконтактного процесса считывания маркировки система будет строиться на базе анализа цифрового изображения. Получение данного изображения предполагается при помощи цифровой камеры, а его обработка программным обеспечением, реализуемым при помощи персонального компьютера. Как отмечалось ранее для снижения вероятности появления внешних шумов необходимо обеспечить наиболее благоприятных условий получения изображения. Достижение этой цели возможно путем применения дополнительного

направленного источника света, который будет подсвечивать зону получения изображения маркировки. На рисунке 19 представлена структурная схема установки распознавания маркировки спроектированная исходя из данных соображений.



1 –поверхность с маркировкой; 2 – источник освещения; 3 – цифровая камера; 4 – персональный компьютер

Рисунок 19 – Структурная схема установки распознавания маркировки

Такая схема позволяет использовать различные периферийные и интерфейсные устройства, используемые для вывода и передачи информации с целью ее дальнейшего использования. При этом система остается открытой, то есть позволяет вносить структурные изменения.

Функционирование системы распознавания маркировки строится на базе определенного программного обеспечения, которое включает программы, выполняющее непосредственно распознавание, программы обеспечивающие взаимодействие оператора и системы, программы обеспечивающие взаимодействие с периферийными устройствами, диспетчерские программы, сервисные программы и ряд других программ. Структурная схема организации программного обеспечения обеспечивающего функционирование системы распознавания маркировок представлена на рисунке 20.

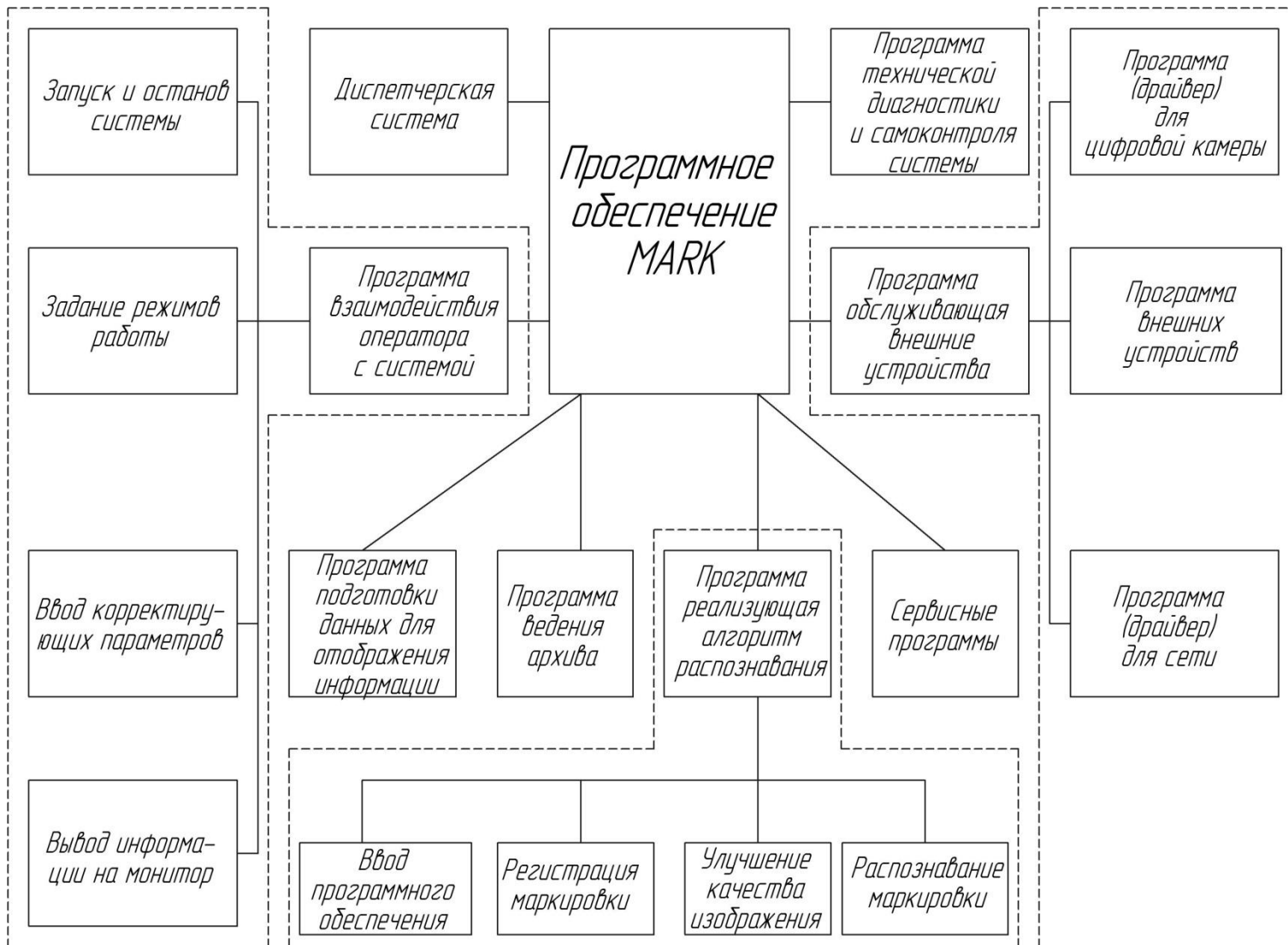


Рисунок 20 – Структурная схема организации программного обеспечения

Структурно программное обеспечение в соответствии с представленной схемой разделяется на блок специализированного программного обеспечения и блок стандартных программ. Специализированное программное обеспечение реализует все основные функции программы связанные непосредственно с процессом распознавания маркировки. Блок стандартных программ обеспечивает функционирование всей системы в целом и взаимодействие с другими устройствами.

Предлагаемые структурные схемы позволяют встроить систему в цифровую структуру производства, путем подключения к локальной сети. Это позволит использовать получаемые данные максимально быстро и эффективно, внося необходимые изменения, как в технологический процесс, так и в систему управления производством.

В качестве аппаратных средств предполагается использовать стандартные технические средства. Такое решение позволит снизить стоимость проектируемой системы при этом качество распознавания и другие технические характеристики не снизятся.

Результатом выполнения данного раздела стали алгоритм функционирования подсистемы оценки и улучшения качества изображения, алгоритм распознавание маркировки. Из алгоритмов были определены процедуры необходимые для обеспечения автоматизированного распознавания маркировки: первичной обработки изображений, выделения маркировки на объекте, улучшения качества изображения маркировки и распознавания символов маркировки. Определены средства реализации данных процедур, намечены те из них, которые требует дальнейшей более подробной проработки. В ходе выполнения данного раздела также разработаны структурная схема установки распознавания маркировки и структурная схема организации программного обеспечения, реализация которых позволит получить необходимый уровень автоматизации и интеграции в цифровую структуру производства.

4 Улучшение качества изображения

Улучшение качества изображения в случае распознавания маркировок одна из ключевых задач. Традиционно для ее решения используются разнообразные алгоритмы [6, 13, 25, 35]. Проведя анализ литературы, было принято решение использовать для улучшения изображения в данном случае процедуру обработки «скользящим окном» [7]. Данный метод обладает необходимой универсальностью и дает хорошие результаты независимо от текстуры и других особенностей изображений, что актуально при работе с маркировками, полученными различными способами нанесения. Рассмотрим данную процедуру обработки изображения подробнее [7, 12, 30].

«Скользящим окном» в данном случае называется ограниченная область, которая перемещается последовательно по всей области изображения. В каждом новом положении вычисляется значение выходного изображения. Общий вид такого рода обработки описывается выражением:

$$g(n_1, n_2) = G[\{f(n_1 - m_1, n_2 - m_2)\}, (n_1, n_2) \in D], \quad (1)$$

где $g(n_1, n_2)$, $f(n_1, n_2)$ – двумерные последовательности отсчетов входного и выходного изображения соответственно;

G – оператор преобразования;

D – конечное множество отсчетов, заданное относительно начала координат и определяющее форму и размеры окна обработки.

Схематично процесс обработки в скользящем окне представлен на рисунке 21.

Наилучшие результаты в случае применения процедуры скользящего окна дает применение преобразование дискретного сигнала системой с конечной импульсной характеристикой, которое получило название преобразование КИХ-фильтром [12, 20].

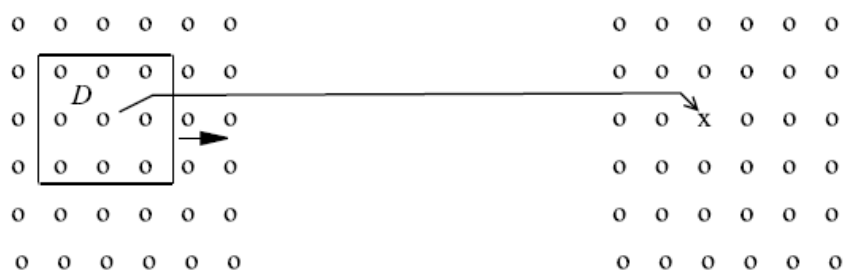


Рисунок 21 – Обработка изображения в скользящем окне

Нахождение значения выходного сигнала данного фильтра в пределах окна производится взвешенное суммирование входных отсчетов, то есть выполняется цифровая свертка входного сигнала с импульсной характеристикой фильтра.

Такой подход к реализации КИХ-фильтра на практике применим только для окон небольших размеров, когда импульсная характеристика достаточно короткая. Это объясняется необходимостью вычислений всех ненулевых отсчетов импульсной характеристики. В таком случае количество вычислений очень большое.

В нашем случае при решении задачи фильтрации требуется достаточно большой размер окна, что увеличивает объемы вычислений кратно, поэтому данный подход не применим. Традиционно данная проблема решается путем применения разнообразных алгоритмов быстрой свертки для КИХ-фильтров [7, 26]. Однако данный подход не всегда дает желаемый результат, и объем вычислений сокращается незначительно. Другим путем решения проблемы необходимости резкого снижения затрат на вычисления при обработке изображений являются алгоритмы параллельной рекурсивной реализации КИХ-фильтров [7, 12, 27, 32].

Суть рекурсивной обработки заключается в том, что при каждом шаге окна используются уже вычисленные на предыдущем шаге отсчеты изображения и отсчеты текущего шага. Область применения таких

алгоритмов достаточно широкая. С их помощью можно вычислять на изображении среднюю яркость, дисперсия, строить гистограммы изображения, проводить его фильтрацию и проводить другие операции по преобразованию изображения [10, 12].

Процесс линейной рекурсивной фильтрации строится на фильтрах с бесконечной импульсной характеристикой, которые имеют большие проблемы с устойчивостью [14, 39]. Решение этой проблемы возможно применением конечно импульсных фильтров, которые построение рекурсивной фильтрации и при этом являются устойчивыми [7, 36].

Из множества вариантов реализации КИХ-фильтров наибольшее применение нашли фильтры с разделимой по координатам импульсной характеристикой, что связано с простотой их структуры.

Реализация данного фильтра заключается в рекурсивной обработке отдельно столбцов изображения и обработке построчно полученных результатов фильтрации столбцов, то есть реализуется обработка одномерным рекурсивным КИХ-фильтром. Объем вычислений при применении данных фильтров зависит от рекурсий и не зависит от размера ненулевых отсчетов импульсной характеристики фильтра, определяемого размером окна D .

Трудность данного подхода заключается в невозможности организации рекурсивной фильтрации для произвольной области D , поэтому при решении практических задач чаще всего используются прямоугольные области описываемые выражением:

$$D: -M_1^- \leq m_1 \leq M_1^+; -M_2^- \leq m_2 \leq M_2^+ \quad (2)$$

где $M_1^-, M_1^+, M_2^-, M_2^+$ – параметры, задающие границы окна по координатам ($M_1^- + M_1^+ \geq 0, M_2^-, M_2^+ \geq 0$).

Часто находят применение симметричные относительно центрального элемента прямоугольные окна, которые описываются выражением:

$$D: -M_1 \leq m_1 \leq M_1; -M_2 \leq m_2 \leq M_2. \quad (3)$$

В ходе практической реализации параллельно-рекурсивного КИХ-фильтра необходимо определить размер скользящего окна, выделить из определенного класса базисных функций применяемые в разложении K функций и определить для фильтра коэффициент.

Размер скользящего окна определяется эвристическими методами [12]. Выделение из определенного класса базисных функций применяемых в разложении K функций и определение для фильтра коэффициента производится одновременно путем проведения численных расчетов перебором [7, 34].

Обеспечение эффективности обработки сигнала из K базисных функций необходимо выбрать соответствующее наилучшее подмножество. В общем случае для этого необходимо для всех сочетаний по K базисных функций определить показатель качества R и выбрать из них показатель с максимальным значением. На практике такой подход сложно реализуем, так как требует большого объема вычислений.

Другой подход к решению данной проблемы заключается в использовании упорядоченных базисных функций и использовании первых K функций. Чаще всего используется базис Фурье по возрастанию «частотного индекса». Однако такой подход имеет недостаток, который заключается в том, что выбранное таким образом подмножество может оказаться не оптимальным, так как может быть нарушен порядок следования функций.

Наиболее подходящим для выбора базисных функций является субоптимальный метод последовательного присоединения [12]. Суть данного метода заключается в выборе функции обеспечивающей максимум показателя качества и последующем присоединении к ней следующей функции. При этом максимум показателя качества обеспечивается уже двумя этими функциями. Данный процесс продолжается до получения искомого набора из K функций. Использование базиса Фурье позволяет упростить

процедуру за счет добавления на каждом шаге сразу по группе функций, которые связаны между собой одинаковыми индексами. Применение этого метода позволит существенно уменьшить объем необходимых вычислений по сравнению с методом полного перебора с незначительной потерей оптимальности подмножества базисных функций.

Для подмножеств базисных функций необходимо определить показатель качества обработки сигналов. Для окончательного подмножества необходимо определить коэффициенты разложения импульсной характеристики фильтра в ряд. Схема проведения данных расчетов для решения задач обработки сигналов фактически одинаковая [12].

Искомые коэффициенты представляются в виде вектор-столбца $A = \{a_k\}_{k=0}^{K-1}$, который представляется в виде матрицы:

$$A = B^{-1}C, \quad (4)$$

где $B = \{b_{lk}\}_{l,k=0}^{K-1}$ – невырожденная симметрическая матрица,

$C = \{c_k\}_{k=0}^{K-1}$ – вектор-столбец.

В процессе выбора базисных функций используется показатель качества, определяемый соотношением:

$$R = A^T C = C^T B^{-1} C, \quad (5)$$

где -1 – индекс, обозначающий обращение матрицы,

T – индекс, обозначающий транспонированные вектора.

При решении конкретной задачи изменяется только способ вычисления элементов матрицы B и вектора C .

Задача фильтрации изображения решается путем применения фильтра, который преобразует входной стационарный случайный процесс в выходной процесс с заданным энергетическим спектром. Решение данной задачи при

параллельной структуре фильтра является частным случаем рассмотренной ранее задачи.

Связь между входным сигналом фильтра и выходным сигналом описывается выражением:

$$\Phi_g(e^{i\omega}) = \Phi_f(e^{i\omega})|\bar{H}(e^{i\omega})|, \quad (6)$$

где $\Phi_f(e^{i\omega})$ – энергетический спектр входного сигнала фильтра,

$\Phi_g(e^{i\omega})$ – энергетический спектр выходного сигнала,

$\bar{H}(e^{i\omega})$ – частотная характеристика фильтра.

Из данного выражения следует:

$$\bar{H}(e^{i\omega}) = \sqrt{\frac{\Phi_g(e^{i\omega})}{\Phi_f(e^{i\omega})}}. \quad (7)$$

В данном случае для определения параллельного фильтра необходимо провести аппроксимацию частотной характеристики с весовой функцией. Тогда общие расчетные соотношения представляют собой следующие выражения:

$$b_{lk} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \Phi_f(e^{i\omega}) H_l(e^{i\omega}) H_k(e^{i\omega}) d\omega, \quad (8)$$

$$c_k = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \sqrt{\Phi_f(e^{i\omega}) \Phi_g(e^{i\omega})} H_k(e^{-i\omega}) d\omega, \quad (9)$$

$$b_{lk} = \frac{1}{2\pi} \sum_{m=-M^-}^{M^+} \sum_{n=-M^-}^{M^+} h_l(m) h_k(n) B_f(m-n), \quad (10)$$

где $B_f(m)$ – автокорреляционная функция входного процесса.

$$c_k = \sum_{m=-M^-}^{M^+} \bar{h}(m) h_k(m), \quad (11)$$

где $\bar{h}(m)$ – последовательность, вычисляемая через обратное преобразование Фурье.

Обратное преобразование Фурье вычисляется из выражения:

$$\bar{h}(m) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \sqrt{\Phi_f(e^{i\omega})\Phi_g(e^{i\omega})} e^{i\omega m} d\omega. \quad (12)$$

Значение минимальной ошибки при расчете коэффициента данного фильтра рассчитывается:

$$\varepsilon_{min}^2 = D_g - R, \quad (13)$$

где D_g – дисперсия выходного случайного процесса.

С целью оценки эффективности применения параллельно-рекурсивных КИХ-фильтров рассмотрим фильтры на основе полиномиальных базисов на примере изображения креста приведенного на рисунке 22. Данное изображение состоит из 9 элементов в каждом направлении и предварительно искажено двукратным усреднением окном размером 3 на 3 элемента и содержит аддитивный белый шум с дисперсией D_v .

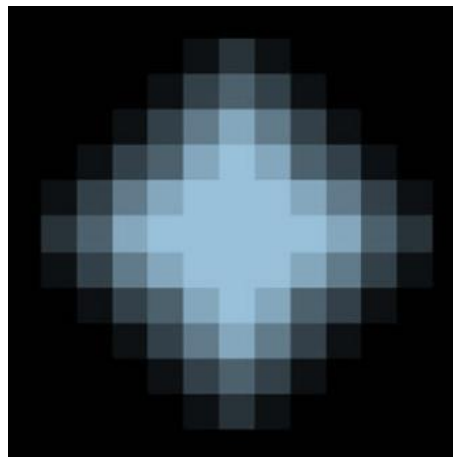


Рисунок 22 – Изображение креста

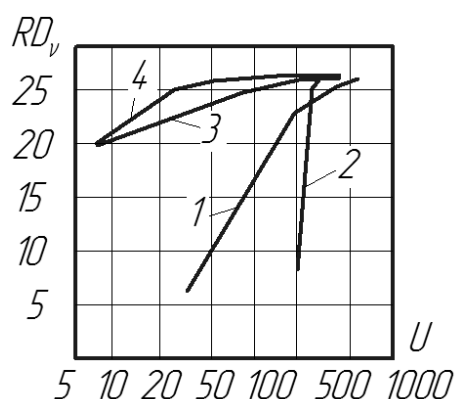
Оценка качества фильтрации производится зависимостью произведения расстояния Махаланобиса между классами объекта и фона на дисперсию от сложности проведенных вычислений определяемых по формуле:

$$U = U_+ + \eta U, \quad (14)$$

где η – коэффициент относительной сложности операции умножения.

В данном случае при построении зависимостей примем коэффициент относительной сложности операции умножения равное 3.

Полученная сравнительная оценка эффективности применения рекурсивных полиномиальных базисов представлена на рисунке 23.



1 – обычный КИХ-фильтр в форме прямой свертки; 2 – быстрая свертка по схеме Кули–Тьюки с основанием «2» и процедурой оптимального секционирования входного сигнала; 3 – параллельно-рекурсивный фильтр на основе полиномиального базиса с минимальной вычислительной сложностью; 4 – параллельно-рекурсивный фильтр на основе четного полиномиального базиса.

Рисунок 23 – Оценка эффективности применения рекурсивных полиномиальных базисов

Из представленных данных видно, что наибольшее расстояние Махаланобиса у фильтра на основе четного полиномиального базиса. Из

этого можно сделать вывод о том, что данный фильтр обладает лучшим качеством из всех сравниваемых.

При выполнении оценки эффективности для алгоритмов прямой и быстрой свертки изменялись размеры скользящего окна. При выполнении оценки эффективности для параллельно-рекурсивных фильтров перебирались подмножества базисных функций из множества с индексами:

$$0 \leq k \leq K, 0 \leq l \leq K. \quad (15)$$

Основное требование к алгоритмам автоматической обработки заключается в его способности подстраиваться к свойствам обрабатываемых данных, то есть адаптироваться в изменяющихся условиях.

В случае фильтрации изображения адаптация проходит следующим образом. На первом этапе фиксируется класс алгоритма обработки. Затем производится анализ изображения, то есть определяются его структурные, статистические и другие характеристики. Исходя из полученных характеристик, определяются параметры алгоритма. На заключительном этапе производится фильтрация изображения.

При реализации данного подхода важным моментом является то, что класса обрабатывающих алгоритмов, для которого адаптация обработки может быть практически реализована, описывается заранее. В случае необходимости преобразования объекта обработки в результате задача оптимизации ставится в некотором классе объектов. Тогда полученное оптимальное преобразование будет адаптировано для данного класса объектов, но при этом сам процесс адаптации перестанет быть таковым, так как он не будет укладываться в рамки предложенного ранее алгоритма.

В связи с большим разнообразием математических моделей формирования оптических сигналов, а также трудностью формализации решаемых задач и подбора критериев качества обработки для решения задач обработки и анализа изображений чаще всего используются подбор и

эвристический синтез разнообразных обрабатывающих процедур. Такой подход к созданию систем анализа изображений привел к появлению большого количества разнообразных алгоритмов, которые чаще всего решают какие-то отдельные прикладные задачи, обладают низкой эффективностью и не всегда обеспечивают необходимое качество обработки. Это приводит к усложнению программного обеспечения и конструкции систем. При решении практических задач нашел применение качественно иной подход. Суть данного подхода заключается в том, что системе заранее указывается желаемый результат обработки, то есть в данном случае используется принятие решения по прецеденту [7], при этом механизм преобразования неизвестен. Такой подход позволяет синтезировать алгоритм построения решающего правила. При этом задача обработки изображения будет заключаться в распознавании в данных входного изображения необходимого результата, что подтверждается различными работами по данному направлению [12, 21, 24].

Общая схема проведения преобразования данных выглядит следующим образом. Требуется получить результат преобразования G , близкий к результату эталонного преобразования идеального изображения к требуемому выходному G_0 , имея входное изображение F . При этом преобразование G_0 может иметь любой уровень сложности и формализуемости. В качестве обучающей выборки используются согласованные пары (F, G_0) . Это позволит создать классификатор, который будет по входному изображению F определять вектор признаков, которому должно соответствовать выходное изображение G . Исходя из разницы G и G_0 , то есть оценки качества изображения, могут быть изменены набор признаков и вид классификатора. Процедура обучения классификатора схематично представлена на рисунке 24. Настроенная в результате обучения процедура формирования и классификации признаков работает на изображениях того же класса. Процедура обработки изображения с применением классификатора схематично представлена на рисунке 25.

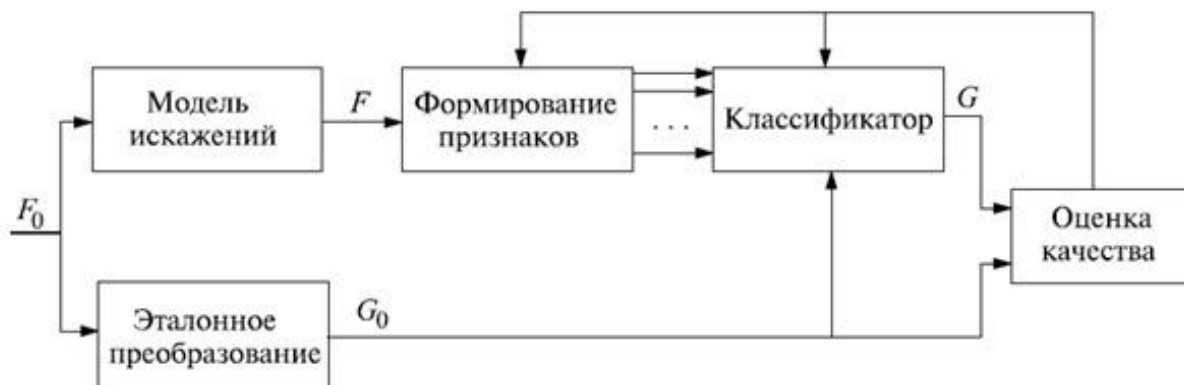


Рисунок 24 – Схема процедуры обучения классификатора

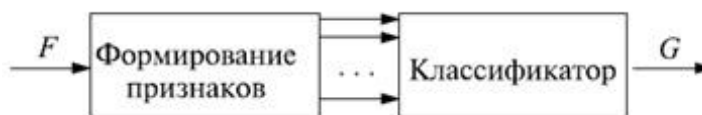


Рисунок 25 – Схема обработки изображения с применением классификатора

На практике применение данной процедуры напрямую представляется маловероятным, что связано с высокой размерностью необходимого вектора признаков и большим количеством классов выходного изображения. Это делает большую по объему обучающую выборку и слишком сложными вычисления необходимые для процедуры обработки. Решение этой проблемы применением процедуры скользящего окна для пространственно-инвариантной обработки изображения. В таком случае в процедуре классификации каждого выходного отсчета формируется K -мерный вектор признаков для каждого положения окна. Рассматриваемое окно имеет небольшие размеры, поэтому число локальных признаков изображения будет небольшим. Исходя из того, что для всех отсчетов решение принимается индивидуально, число классов будет незначительным. При этом для обучающей выборки объем равен всем положениям на изображении скользящего окна, что делает ее объем достаточно большим. В случае необходимости можно при помощи преобразований и искажений в видео

системе можно получить выборку большего объема. Примеры обработки изображений маркировок нанесенных различными методами с целью улучшения их качества представлены на рисунках 26 – 35.

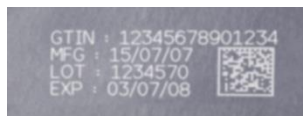


Рисунок 26 – Зашумленное изображение лазерной маркировки

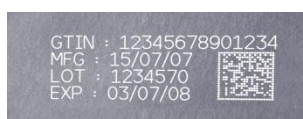


Рисунок 27 – Восстановленное изображение лазерной маркировки

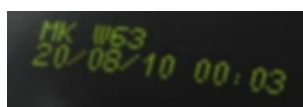


Рисунок 28 – Зашумленное изображение каплеструйной маркировки



Рисунок 29 – Восстановленное изображение каплеструйной маркировки



Рисунок 30 – Зашумленное изображение маркировки ударным методом



Рисунок 31 – Восстановленное изображение маркировки ударным методом

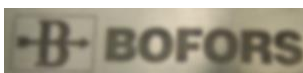


Рисунок 32 – Зашумленное изображение маркировки электролитическим методом



Рисунок 33 – Восстановленное изображение маркировки электролитическим методом



Рисунок 34 – Зашумленное изображение маркировки нанесенной фрезой



Рисунок 35 – Восстановленное изображение маркировки нанесенной фрезой

Результатом выполнения данного раздела стала разработка улучшения качества входного изображения на основе подхода, который заключается в том, что системе заранее указывается желаемый результат обработки, то есть используется принятие решения по прецеденту. Разработаны схемы процедуры обучения классификатора и обработки изображения с применением данного классификатора. С целью снижения объемов вычисления предложено применение процедуры скользящего окна для пространственно-инвариантной обработки изображения, построенного на основе рассмотренных математических моделей с использованием КИХ-фильтров. Оценена эффективность применения данного подхода.

5 Распознавание маркировки

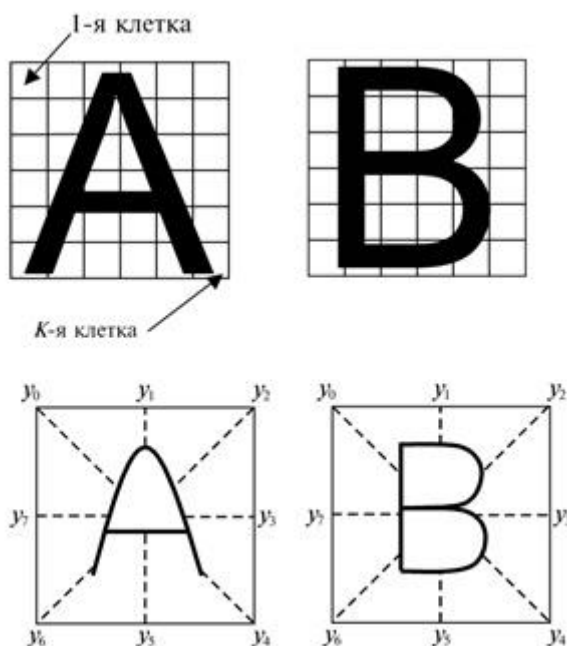
5.1 Постановка задачи

Изображение используется как источник информации при решении широкого спектра задач. Область применения изображений как источника информации очень широка. Решение задач по распознаванию образов актуально при создании разнообразных систем автоматизации и искусственного интеллекта. Сама задача распознавания заключается в классификации изображения в соответствии с определенными требованиями по определенным признакам. В общем случае процесс распознавания состоит из задачи отбора и упорядочивание классификационных признаков и задачи проведения процедуры классификации. Первая задача трудно поддается формализации, поэтому для ее решения используется определение важности признаков для характеристики образов. Вторая задача заключается в определении принадлежности образа тому или иному классу. Для ее решения можно использовать вычислительные признаки, следовательно, она имеет множество математических решений.

Случай распознавания маркировки рассмотрим на примере распознавания буквенных символов (рисунок 36). Для примера на рисунке 36 взяты изображения две первые буквы латинского алфавита и показаны их результаты скелетизации.

Далее необходимо выбрать признаки, по которым можно провести классификацию изображений. Для этого можно использовать различные подходы. Самый простой подход заключается в том, что в качестве признаков используется весь неупорядоченный набор пикселей. Трудность практической реализации такого подхода заключается в необходимости выполнения большого объема вычислений. Более продуктивными являются подходы, при которых в качестве признаков используются модули

дискретного преобразования Фурье (ДПФ) или модули коэффициентов одного из дискретных ортогональных преобразований.



где: y_0, y_1, \dots, y_{k-1} – признаки

Рисунок 36 – Отбор признаков в задаче распознавания буквенных СИМВОЛОВ

Независимо от выбранного подхода в качестве признаков используется совокупность числовых данных, которые формируют вектор признаков. Данный вектор можно представить как точку в K -мерном пространстве признаков D [23].

Геометрически задача классификации представляет собой процесс разбиения множества признаков D и L взаимно пересекающихся областей D_i , соответствующих классу образов Ω_i .

Для рассматриваемого примера $L = 26$, а классификация производится при помощи дискриминантной функции. Обозначим L возможных классов образов $\Omega_0, \Omega_1, \dots, \Omega_{L-1}$, а вектор признаков зададим выражением:

$$y = (y_0, y_1, \dots, y_{k-1})^T. \quad (16)$$

При условии принадлежности наблюдаемого и представленного вектором признаков «у» образа классу Ω_l ($l = 0, \overline{L-1}$) величина разделяющие функции $d_l(y)$ максимальная если:

$$d_l(y) \geq d_j(y), \quad l \neq j, l, j = 0, \overline{L-1}. \quad (17)$$

Тогда граница разбиений в пространстве D между классами Ω_l и Ω_j определяется выражением:

$$d_{lj} = (y) = d_l(y) - d_j(y) = 0. \quad (18)$$

На рисунке 37 приведен графический пример разбиения двумерного пространства с применением описанного выше подхода.

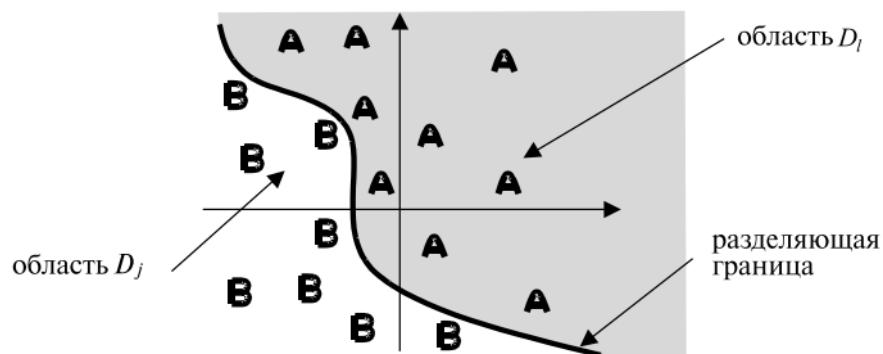


Рисунок 37 – Разбиение двумерного пространства

Задача построения разделяющей функции $d_l(y)$ может быть решена различными способами. Для рассматриваемого примера наиболее рациональным является применение линейной разделяющей функции:

$$d_l(y) = (W^l)^T y + W_k^l = \sum_{k=0}^{K-1} W_k^l y_k + W_k^l, \quad l = \overline{0, L-1}, \quad (19)$$

где $W^l = (W_0^l, W_1^l, \dots, W_{k-1}^l)^T$ – вектор весовых коэффициентов.

Уравнение разделяющей границы будет выглядеть следующим образом:

$$d_l(y) - d_j(y) = \sum_{k=0}^{K-1} W_k^{lj} y_k + W_k^{lj} = 0, \quad l, j = \overline{0, L-1}. \quad (20)$$

В уравнении (20) весовые коэффициенты определяются выражением:

$$W_k^{lj} = W_k^l - W_k^j, \quad l = \overline{0, L-1}, \quad k = \overline{0, K}. \quad (21)$$

Исходя из того, что уравнение (20) в пространстве D представляет собой гиперплоскость, то при $K = 2$ оно будет представлять собой уравнение прямой.

Качество классификации при построении уравнения разделяющей функции зависит от весовых коэффициентов W_k^{lj} [37]. Определение данных коэффициентов зависит от принятой процедуры обучения классификатора. Возможны два различных подхода. Первый подход заключается в применении до начала распознавания предварительного обучения, суть которого заключается в применении для обучения классификатора объектов известных классов. Полученный таким образом классификатор применяется системой для дальнейшего распознавания получаемых изображений. Второй подход построен на основе совмещения процедуры обучения и распознавания. Построение первоначального правила классификации производится на основе информации от первичной группы образов. Затем при помощи полученного правила обрабатывается следующая группа образов и оценивается полученный результат. В случае необходимости правило корректируется. Преимуществом второго подхода является получение более качественной классификации, так как для обучения используется большее количество образов. На практике при распознавании используется большое количество разнообразных процедур обучения [38].

5.2 Признаки при распознавании изображений

Ключевой задачей при создании системы распознавания является описание изображения на основе его признаков. Сам процесс классификации, как было показано выше, поддается математическому описанию и может быть реализован при помощи стандартного математического аппарата. Выбор признаков процедура более сложная и плохо поддающаяся математическому описанию. Во многом процесс выбора признаков зависит от разработчика и от области, в которой производится распознавание изображения. Наибольшее распространение получили три основные группы признаков. Это геометрические признаки, топологические признаки и вероятностные признаки. Рассмотрим их подробнее.

К геометрическим признакам относятся те, которые можно определить исходя из геометрических параметров объектов на изображении. К таким признакам относятся: размеры исследуемого объекта, периметр объекта, площадь объекта, расстояние между крайними точками объекта, характеристики описанных и вписанных в объект геометрических фигур, компактность.

Наиболее важными с точки зрения восприятия объекта пользователем системы являются геометрические признаки описывающие контур исследуемого объекта изображения. Рассмотрим несколько наиболее распространенных методов описания контура применяемые в системах распознавания [12, 21].

Метод цепного кода при решении задачи построения контура основывается на том, что граница объекта представлена набором элементарных отрезков на дискретной сетке. В этом случае в каждой точке граница может быть охарактеризована направлением отрезка. Чаще всего применяются четырехсвязные и восьмисвязные модели. Это означает, что отрезок откладывается в четырех или восьми направлениях соответственно.

$$k(s) = k(x_1(s), x_2(s)), \quad (22)$$

где $x_1(s)$, $x_2(s)$ – переменные.

Тогда контур можно представить в виде ряда с коэффициентом:

$$c_k = \frac{1}{L} \int_0^L k(s) \varphi_k(s) ds, \quad (23)$$

где $\{\varphi_k(s)\}_{k=1}^{K-1}$ – набор ортонормированных или ортогональных функций на $[0, L]$.

$$\frac{1}{L} \int_0^L \varphi_k(s) \varphi_j(s) ds = \lambda_k \delta(k - j), \quad (24)$$

где L – периметр объекта.

$\varphi_k(s)$ – комплексная экспоненциальная функция,

λ_k – фурье-дескрипторы контура.

Комплексная экспоненциальная функция определяется выражением:

$$\varphi_k(s) = \exp\left(-i \frac{2\pi}{L} sk\right). \quad (25)$$

Для использования выражения (23) необходимо описать контур в виде промежуточной функции $k(s)$. Наиболее подходящий способ представления такого описания с помощью ψ -кривых. В этом случае контур объекта описывается путем представления в виде ломаных отрезков прямолинейных участков границы и в виде дуг окружностей области изменения направления границы [1]. На рисунке 40 представлен пример представления описания контура с помощью ψ -кривых.

Как видно из рисунка после преобразований периодическая функция $k(s)$ состоит из прямолинейных горизонтальных участков и коротких кривых в областях изменения направления границы.

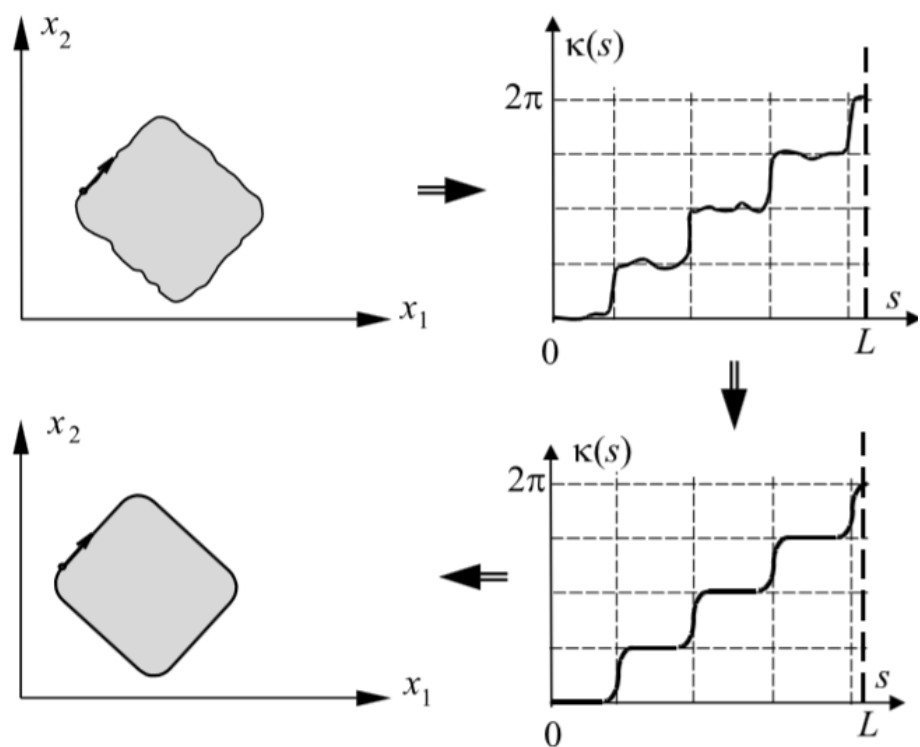


Рисунок 40 – Пример представления описания контура

Следующим распространенным методом описания границ контура является аппарат сплайнов. При применении данного метода границы объекта представляются как кусочно-полиномиальная функция с наложением ограничений на гладкость данной функции. Наиболее распространены в практических задачах сплайны третьего порядка. В данном случае полиномиальная функция менее всего меняет знак кривизны, что приводит к равенству первых производных в точках соединения сплайнов и как следствие в данных точках обеспечивается гладкость. Более простой подход заключается в задании $k(s)$ как горизонтальные прямые с разрывом в точках изменения направления границы. В таком случае контур будет сформирован полилиниями, которые представляют собой соединяющиеся отрезки прямых. Пример представления контура полилинией представлен на рисунке 41. При выборе точек разбиения полилиний руководствуются обеспечением наилучшего представления контура. Рассмотренные алгоритмы и методы представления контура наиболее часто находят практическое применение.

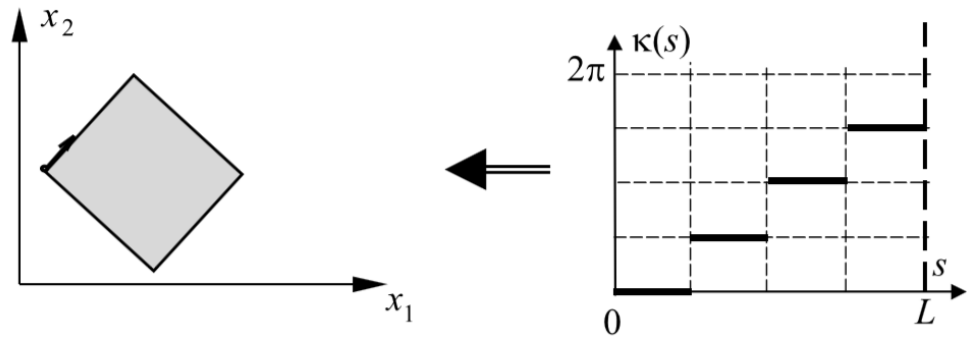


Рисунок 41 – Представление контура объекта полилинией

Группа геометрических признаков обеспечивает инвариантность к преобразованиям объекта, однако имеет плохие характеристики помехоустойчивости. Поэтому данная группа признаков используется для распознавания объектов имеющих четкую границу, при этом изображение должно обладать как можно меньшим уровнем шума и искажений.

Следующая группа признаков топологическая. Данная группа характеризует те свойства объекта, которые не изменяются относительно топологических или гомеоморфных отображений. Следовательно, данные признаки инвариантны к преобразованиям подобия, аффинным преобразованиям и другим геометрическим преобразованиям. С другой стороны данная особенность топологических признаков приводит к тому, что объекты, имеющие различную геометрию, не отличаются между собой. Пример топологически неразличимых объектов представлен на рисунке 42.

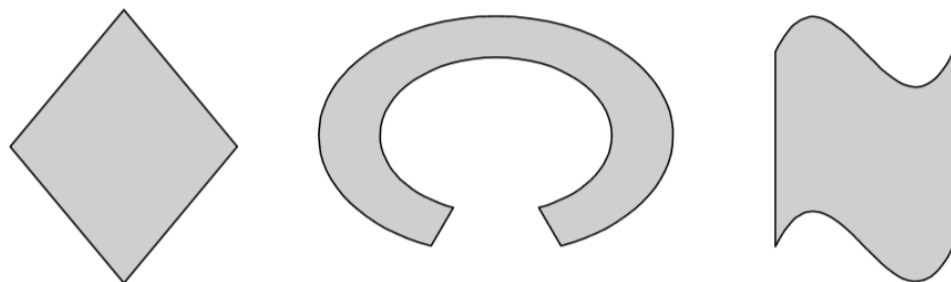


Рисунок 42 – Топологически неразличимые объекты

Другой особенностью является сложность расчета и незначительное количество топологических признаков. Один из часто используемых признаков количество компонентов, из которых состоит объект, в каждом из которых любые две точки могут быть соединены линией, полностью содержащейся в том же компоненте, так называемое число связных компонентов объекта. Примеры топологически различных объектов представлены на рисунках 43, 44, 45.

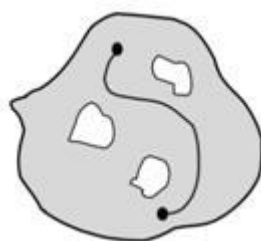


Рисунок 43 – Однокомпонентный объект

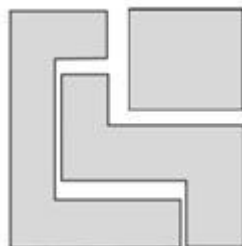


Рисунок 44 – Трехкомпонентный объект

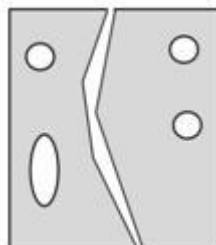


Рисунок 45 – Двухкомпонентный объект

На данных рисунках количество «дыр» в объекте характеризует число связных компонентов. На рисунке 43 три «дыры». Для вычисления числа Эйлера используется разность между числом связных компонентов объекта и числом «дыр» на нем. Например, для рисунка 45 оно равно минус 2.

Очевидно, что использование данной группы признаков имеет смысл только в случае исчезновения или появления частей объекта при условии незначительного искажения изображения [5].

Группа вероятностных признаков используется для описания функции яркости на изображении на основе стационарного случайного процесса. В качестве признаков тогда используются такие характеристики случайного процесса как: яркостные характеристики, текстурные характеристики, энергетические характеристики изображения и признаки стохастической геометрии.

К яркостным характеристикам относятся гистограмма распределения значений яркости, а также начальные μ_k и центральные η_k моменты функции яркости. Данные функции яркости определяются выражением:

$$\mu_k = E f^k(n), \quad \eta_k = E (f(n) - \mu_1)^k, \quad (26)$$

где $\mu_1 = \mu_f$ – среднее значение функции яркости на изображении.

Рассмотренные признаки характеризуют случайные величины наступления определенных геометрических событий. Для генерации данных событий чаще всего на плоскости изображения случайным образом проводится прямая линия, и вычисляются характеристики события пересечения объекта данной линией. В качестве событий могут быть использованы число пересечений объекта линией, максимальная или минимальная длина отрезка линии, содержащейся в объекте, суммарная длина отрезков линии, находящихся в области объекта. Данный подход проиллюстрирован на рисунке 46.

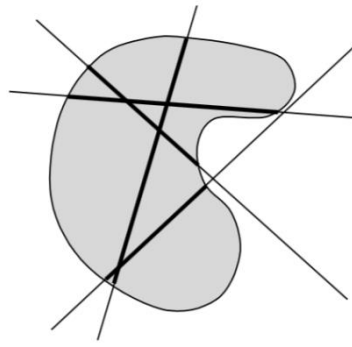


Рисунок 46 – Генерация признаков стохастической геометрии

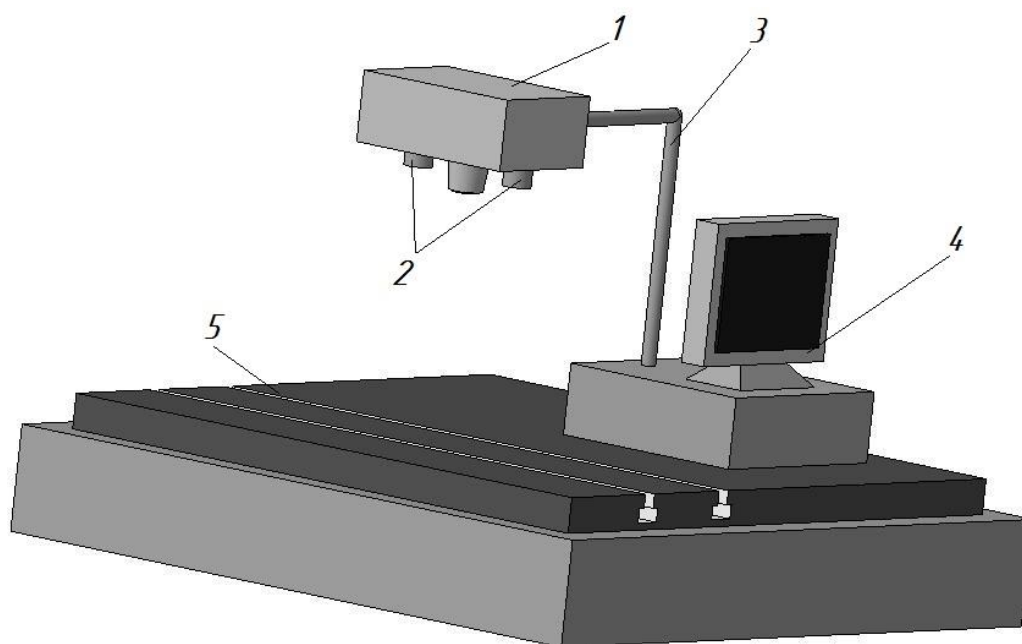
Таким образом, при помощи вероятностных характеристик случайных величин описывается форма объекта. Кроме того данный подход абсолютно инвариантен к смещениям и поворотам изображения, что объясняется случайностью выбора положения линии. В случае необходимости можно также обеспечить масштабную инвариантность путем соответствующего построения характеристик.

Использование стохастических признаков позволяет получить высокую помехоустойчивость и возможность автоматического получения большого числа данных признаков. В тоже время стохастические признаки обладают высокой сложностью проведения расчетов и отсутствием геометрической интерпретации [4], что ограничивает их практическое применение.

Результатом выполнения данного раздела стало подробное рассмотрение задачи распознавания объектов на изображении применительно к распознаванию маркировки. Для этого рассмотрен способ классификации объектов на изображении и определены признаки, применяемые для распознавания объектов на изображении. Результаты реализации предложенных математических моделей позволят распознавать маркировки по изображению в автоматическом режиме.

6 Проектирование аппаратной части системы распознавания

Аппаратная часть системы строится на основе структурной схемы установки распознавания маркировки разработанной ранее. В соответствии с данной схемой в основу установки положена цифровая камера и персональный компьютер. Общий вид системы распознавания маркировки деталей приведен на рисунке 47.



1 – цифровая камера; 2 – источники освещения; 3 – система крепления; 4 – персональный компьютер; 5 – стол

Рисунок 47 – Общий вид системы распознавания маркировки деталей

Установка работает следующим образом. Деталь или узел, с которого необходимо считать маркировку размещается на столе 5. При этом поверхность, на которую нанесена маркировка, размещается перпендикулярно объективу цифровой фотокамеры 1, размещенной в корпусе системы крепления 3. Зона считывания подсвечивается двумя источниками монохромного освещения 2, обеспечивающими равномерное освещение, что снижает вероятность появления внешних шумов. Полученное изображение маркировки обрабатывается в соответствии с алгоритмами и

математическими моделями, приведенными в пунктах 3, 4 и 5 данной работы при помощи персонального компьютера 4. Стоит отметить, что на столе 5 могут быть закреплены специальные ориентирующие устройства для установки деталей. Также данный стол может быть совсем демонтирован в случае встраивания системы в автоматическую линию. Результаты распознавания маркировки могут быть использованы для организации системы контроля качества изделий, а также применения автоматизированной CAQ-системы. Так же полученные результаты позволяют определить исполнителей и обеспечивать отслеживание изделия на протяжении всего технологического. Немаловажным фактором такой компоновки системы является возможность использования в качестве элементной базы стандартных технических средств. Такое решение снижает затраты на производство и эксплуатацию системы.

Тестирование спроектированной автоматизированной системы распознавания маркировки деталей производилось путем распознавания маркировок нанесенных методами лазерной маркировки, каплеструйной маркировки, ударным методом, электролитическим методом, микрогравировкой фрезой. Для распознавания было взято по 100 маркировок нанесенных каждым из методов, всего 500 маркировок. Нераспознанными и распознанными с ошибками оказались 4 маркировки, что составляет 0,08%. Стабильность работы была проверена распознаванием маркировки на одном образце. Операция распознавания была проведена 50 раз, маркировка распознана без ошибок. Также оценена устойчивость системы к шуму. Для этого на изображение маркировки искусственно ступенчато добавлялся шум. Система выдала ошибку при уровне шума 15%. Данные результаты тестирования работы системы можно считать удовлетворительными.

Спроектированная система автоматизированного распознавания маркировок отвечает всем предъявляемым к ней требованиям и позволяет с достаточной надежностью проводить распознавание маркировок изделий в производственных условиях.

Заключение

Результатом выполнения данной магистерской диссертации стала система распознавания маркировки деталей, которая позволяет автоматизировать данный процесс независимо от используемых для этого символов и знаков для всех применяемых в машиностроении методов нанесения маркировки. При этом обеспечивается заданное качество и скорость распознавания и исключается участие человека непосредственно в самом процессе распознавания. В ходе проектирования были рассмотрены методы маркирования деталей в современном машиностроении. Это позволило определить особенности формируемого каждым из них изображения. Произведен обзор существующих систем считывания маркировок. По результатам данного обзора определены преимущества и недостатки данных систем, а также определены требования, предъявляемые к проектируемой системе. Разработка алгоритмов работы и структуру системы распознавания маркировки, позволила определить процедуры необходимые для обеспечения автоматизированного распознавания маркировки и средства реализации данных процедур. Разработаны структурная схема установки распознавания маркировки и структурная схема организации программного обеспечения, реализация которых позволила получить необходимый уровень автоматизации и интеграции в цифровую структуру производства. Реализация разработанных алгоритмов и процедур основана на предложенном математическом аппарате улучшения качества изображения маркировки и математическом аппарате распознавания маркировки. В работе предложена реализация аппаратной части системы распознавания маркировок и проведена оценка работоспособности данной системы, которая показал, что спроектированная система автоматизированного распознавания маркировок отвечает всем предъявляемым к ней требованиям и позволяет с достаточной надежностью проводить распознавание маркировок изделий в производственных условиях.

Список используемых источников

1. Батура В.А. Методы цифрового маркирования неподвижных изображений. / В.А. Батура – М.: Электронный научно-технический журнал Инженерный вестник. – 2013. – №8. – 583-590 с.
2. Бериков В.Б. Методы кластерного анализа данных и сегментации изображений : учебное пособие / В.Б. Бериков ; М-во образования и науки РФ, Новосибирский гос. ун-т, Мех.-мат. фак. – Новосибирск : РИЦ НГУ, 2015. – 97 с.
3. Болотова Ю.А. Методы и алгоритмы интеллектуальной обработки цифровых изображений : учебное пособие / Ю. А. Болотова, А. А. Друки, В. Г. Спицын. – Томск : ТПУ, 2016. – 208 с.
4. Волков В.Г. Техническое зрение. Инновации / В.Г. Волков, П.Д. Гиндин. – Москва : Техносфера, 2014. – 836 с.
5. Гонсалес Р.С. Цифровая обработка изображений / Р.С. Гонсалес, Р.Е. Вудс ; пер. с англ. Л И. Рубанова, П.А. Чочиа ; науч. ред. П.А. Чочиа. – Третье изд., испр. и доп. – Москва : Техносфера, 2019. – 1103 с.
6. Гришенцев А.Ю. Методы и модели цифровой обработки изображений / А.Ю. Гришенцев, А. Г. Коробейников – СПб.: Политехн. Ун-т, 2014. – 190 с.
7. Грузман И.С. Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учеб. Пособие / И.С.Грузман, В.С.Киричук, В.П. Косых и др. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с.
8. Журавлев Ю.И. "Распознавание". Математические методы. Программная система. Практические применения / Ю. И. Журавлев, В. В. Рязанов, О. В. Сенько. – Москва : ФАЗИС, 2006 М. : Типография "Наука" РАН. – 176 с.
9. Кирьянов К.А. Устойчивые методы восстановления изображений во встроенных системах для повышения точности измерений механических величин на объектах : автореферат дис. ... кандидата технических наук :

05.11.01 / Кирьянов Константин Александрович. – Санкт-Петербург, 2013. – 23 с.

10. Лагунов Н.А. Нейросетевое моделирование распознавания многопараметрических объектов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.18 / Лагунов Никита Алексеевич. – Ставрополь, 2016. – 207 с.

11. Методы искусственного интеллекта в обработке данных и изображений : монография / А. Ю. Дёмин, А. К. Стоянов, В. Б. Немировский, В. А. Дорофеев. – Томск : ТПУ, 2016. – 130 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/106257> (дата обращения: 09.04.2021).

12. Методы компьютерной обработки изображений : учеб. пособие для вузов / М. В. Гашников [и др.] ; под ред. В. А. Сойфера. – 2-е изд., испр. ; Гриф МО. – Москва : Физматлит, 2003. – 780 с.

13. Можаров Г.А. Основы геометрической оптики : учеб. пособие / Г.А. Можаров. – Гриф УМО. – Москва : Логос, 2006. – 280 с.

14. Нгуен Т.Х. Математические методы моделирования и классификации объектов на основе технического зрения и машинного обучения : диссертация ... кандидата технических наук : защищена 05.13.18 / Нгуен Тху Хыонг. – Иркутск, 2019. – 133 с.

15. Неразрушающий контроль и диагностика : справочник / В.В. Ключев [и др.] ; под ред. В. В. Ключева. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 2005. – 656 с.

16. Пат. 149602 МПК G06K 7/00 Устройство для сканирования предметов, имеющих маркировку RFID-метками / Агеев С.Ю., Амелькин А.Ю., Караева О.В., Симошин С.В.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Магазин Будущего". – № 2014130815/08; заявл. 24.07.2014; опубл. 10.01.2015 Бюл. № 1. – 2 с.

17. Пат. 157471 МПК G06K 7/10 Устройство считывания лазерной маркировки полимеров / Бородуля В.М., Аврутин И.М., Маклаков В.В., Полтавский А.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем

управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук. – № 2015115409/28; заявл. 24.04.2015; опубл. 10.12.2015 Бюл. № 34. – 2 с.

18. Пат. 2743193 МПК G06K 7/12 Способ считывания машиносчитываемых люминесцентных маркировок и оптико-электронное устройство для его осуществления / Лежнев А.В., Жуков К.С., Кочетков А.И., Омаров О.А.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ВКО «Символ». – № 2020129585; заявл. 08.09.2020; опубл. 16.02.2021 Бюл. № 5. – 3 с.

19. Поройков А.Ю. Кросскорреляционная обработка изображений в оптических методах диагностики потоков и деформаций : учебное пособие по курсам "Компьютерная обработка изображений" для студентов, обучающихся по направлению "Электроника и наноэлектроника" / А.Ю. Поройков ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Национальный исследовательский университет "МЭИ". – Москва : Изд-во МЭИ, 2018. – 73 с.

20. Пролетарский А.В. Практикум по цифровой обработке изображений в компьютерных сетях : учебное пособие / А. В. Пролетарский, А. Н. Алфимцев, И. И. Лычков. – Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 72 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/103521> (дата обращения: 19.04.2021).

21. Савичева С.В. Система распознавания отдельных и наложенных плоских объектов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.01 / Савичева Светлана Владимировна. – Владимир, 2013. – 192 с.

22. Селянкин, В. В. Компьютерное зрение. Анализ и обработка изображений : учебное пособие / В. В. Селянкин. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 152 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/113938> (дата обращения: 15.04.2021).

23. Славин О.А., Федотов Г.О. Вопросы распознавания текста, оцифрованного с помощью видеокамер. Управление информационными потоками. / О.А Славин., Г.О. Федотов – М.: Сборник трудов Института

системного анализа Российской академии наук. Под ред. д. т. н., проф. В. Л. Арлазарова, д. т. н., проф. Н. Е. Емельянова. – 2002. – 124 с.

24. Федотов А. А. Введение в цифровую обработку биомедицинских изображений : учебное пособие / А. А. Федотов. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 108 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://e.lanbook.com/book/112697> (дата обращения: 19.04.2021).

25. Цаплин А.Е. Совершенствование методов контроля деталей механической части электроподвижного состава применением оптико-электронных средств : диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.07 / Цаплин Алексей Евгеньевич. – Санкт-Петербург, 2011. – 116 с.

26. Шапиро Л. Компьютерное зрение : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Прикладная информатика (по областям)" / Л. Шапиро, Дж. Стокман ; пер с англ. А. А. Богуславского под ред. С. М. Соколова. – 2-е изд. (электронное). – Москва : Бином. Лаб. знаний, 2013. – 752 с.

27. Шрёдер Г. Техническая оптика / Г. Шрёдер, Х. Трайбер ; пер. с нем. Р. Е. Ильинского. – Москва : Техносфера, 2006. – 423 с.

28. Bhunia A.K., Kumar G., Roy P.P., Balasubramanian R., Pal U. Text recognition in scene image and video frame using color channel selection / A.K. Bhunia, G. Kumar, P.P. Roy, R. Balasubramanian, U. // Pal Multimedia Tools and Applications – 2018. – Vol. 77, № 7. P. 8551-8578.

29. Chen H. An L0 regularized cartoon-texture decomposition model for restoring images corrupted by blur and impulse noise / H. Chen, Z. Xu, Q. Feng, Y. Fan, Z. Li // Signal Processing: Image Communication 82 – 2020. P. 57 – 62.

30. Fang F. Removing moiré patterns from single images / F. Fang, T. Wang, S. Wu, G. Zhang // Information Sciences 514 – 2020. P. 56 – 70.

31. Hall C., Blaisten-Barojas E., Ji W. The metropolis monte carlo method with cuda enabled graphic processing units / C. Hall, E. Blaisten-Barojas, W. Ji // Journal of Computational Physics – 2014. – Vol. 258. P. 871-879.

32. Kheirat R.A. Improved smoothness priors using bilinear transform / R.A.

Kheirati, C. Jutten // *Signal Processing* 169 – 2020. P. 107 – 118.

33. Laiho M., Poikonen J., Paasio A. Object segmentation and tracking with asynchronous grayscale and binary wave operations on the mipa4k / M. Laiho, J. Poikonen, A. Paasio // *12th International Workshop on Cellular Nanoscale Networks and their Applications, CNNA – 2010.* – P. 5430302.

34. Nakazawa T. Wafer map defect pattern classification and image retrieval using convolutional neural network / T. Nakazawa, D.V. Kulkarni // *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing.* – 2018. T. 31. №2. P. 309-314.

35. Ren Y. Review of convolutional neural network optimization and training in image processing / Y. Ren, X. Cheng // *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering* 10. Cep. "Tenth International Symposium on Precision Engineering Measurements and Instrumentation" – 2019. P. 110–123.

36. Wang H. Low-rank matrix recovery via smooth rank function and its application in image restoration / H. Wang, R. Zhao, Y. Cen, F. Zhang, Q. He, L. Liang, M. Zeng / *International Journal of Machine Learning and Cybernetics.* – 2018. T. 9. № 9. P. 1565–1576.

37. Weber L. Registration of phase-contrast images in propagation-based x-ray phase tomography / L. Weber, A. Hänsch, F. Peyrin, S. Rit, M.Langer, A. Pacureanu, P.Cloetens, U.Wolfram // *Journal of Microscopy.* Vol. 269 №1. – 2018. P. 36–47.

38. Wu Y. Analysis and reduction of the phase error caused by the non-impulse system psf in fringe projection profilometry / Y. Wu, X. Cai, J. Zhu, H. Yue, X. Shao, // *Optics and Lasers in Engineering* 127 – 2020. P. 105–118.

39. Xue F. Recursive sure for image recovery via total variation minimization / F. Xue, J. Liu, X. Ai // *Signal, Image and Video Processing.* – 2019. T. 13. № 4. P. 795–803.

40. Zhu X. Attention-aware perceptual enhancement nets for low-resolution image classification / X. Zhu, Z. Li, X. Li, S. Li, F. Dai // *Information Sciences* 515 – 2020, P. 233 – 247.