

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа: Информационных технологий и робототехники
Направление подготовки: 15.04.06 - Мехатроника и робототехника
Отделение школы (НОЦ): Автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Техническое зрение для системы управления сортировочного робота УДК 004.415.2:007.52-2:621.928.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ61	Надин Иван Сергеевич		

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сырянкин Владимир Иванович	д.т.н.		
15.04.06 - Мехатроника и робототехника	Мальшенко Александр Максимович	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Петухов Олег Николаевич	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бородин Юрий Викторович	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результаты обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Профессиональные		
P1	Применять глубокие естественно-научные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, в том числе их систем управления.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК- 3, ОПК-1, ОПК-4, ОК-1, ОК-9). Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно- техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и систем.	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-4, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОК-1, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-9). Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Применять и интегрировать полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных мехатронных и робототехнических устройств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.	Требования ФГОС (ПК-2, ПК- 3, ПК-4, ПК-5, ПК-15, ПК-18, ОПК-3, ОПК-6, ОК-1, ОК-5, ОК-6, ОК-7). Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации мехатронных и робототехнических модулей, устройств и систем.	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-18, ОПК-4, ОПК-6, ОК-1, ОК-4, ОК-6, ОК-8). Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических средств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК- 2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-13, ПК-17, ПК-18, ОПК-2, ОПК-3, ОК-1, ОК-3, ОК-4, ОК-6, ОК-7, ОК- 8, ОК-9). Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	Понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в мехатронике и робототехнике и	Требования ФГОС (ПК-1, ПК- 2 ПК-3, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-9, ОК-10). Критерий 5 АИОР (п. 2.1),

	знать области их применения, в том числе в автоматизированных производствах.	согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Универсальные		
P7	Эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-7, ПК-8, ПК-16, ПК17, ОК-1, ОК-2, ОК-4, ОК-6, ОК-9). Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социальноэкономических различий	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ОПК-4, ОК-5). Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	Проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-8, ПК-15, ПК-16, ПК-18, ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ОК-3, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-8, ОК-9). Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEAN
P10	Следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ПК-8, ПК-11, ПК16, ОПК-3, ОПК-6, ОК-4). Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ОПК3, ОПК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8). Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа: Информационных технологий и робототехники
Направление подготовки: 15.04.06 - Мехатроника и робототехника
Отделение школы (НОЦ): Автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Малышенко А.М.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8ЕМ61	Надин Иван Сергеевич

Тема работы:

Техническое зрение для системы управления сортировочного робота	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Интеграция системы технического зрения в систему управления сортировочным роботом. Осуществить калибровку камер с помощью библиотеки OpenCV. Выбрать подходящий метод технического зрения для осуществления сортировки по признакам.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных</i></p>	<p>Анализ основных функциональных аспектов технического зрения. Обзор готовых существующих решений по внедрению систем технического зрения в промышленную робототехнику. Разработать алгоритм работы системы управления сортировочным роботом. Программно реализовать алгоритм. Провести тестовые испытания для определения его работоспособности.</p>

<i>разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Петухов Олег Николаевич, доцент ОСГН ШБИП ТПУ
«Социальная ответственность»	Бородин Юрий Викторович, доцент ОКД ИШНКБ
«Иностранный язык»	Горбатова Татьяна Николаевна, старший преподаватель ОИЯ ШБИП
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2018
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сырямкин В.И.	д.т.н.		01.02.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ61	Надин Иван Сергеевич		01.02.2018

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ЕМ61	Надин Иван Сергеевич

Школа	ИШИТР	Отделение	Автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Мехатроника и робототехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Итоговая стоимость затрат на НИ составила 176867,57
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Тарифные ставки заработной платы рабочих, нормы амортизационных отчислений, нормы времени на выполнение операций и др
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные страховые фонды (30 %)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

--	--

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень,	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Петухов О.Н.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ61	Надин Иван Сергеевич		

Задание для раздела «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Группа		ФИО	
8ЕМ61		Надин Иван Сергеевич	
Школа	ИШИТР	Отделение	Автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Мехатроника и робототехника
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:			
<p>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p>		<p>Рабочим местом является аудитория № 109 в Научном парке Томского политехнического университета. В аудитории рабочей зоной является место за персональным компьютером, отведённое студенту для выполнения работы. Технологический процесс представляет собой разработку системы управления сортировочного робота с помощью технического зрения. Основным оборудованием, на котором производится работа, является персональный компьютер с периферийными устройствами. Вредными факторами производственной среды, которые могут возникнуть на рабочем месте, являются: недостаточная освещённость рабочей зоны, отсутствие или недостаток естественного света, повышенный уровень шума, повышенный уровень электромагнитных излучений, повышенная или пониженная влажность воздуха, повышенная напряжённость электрического поля. Опасными проявлениями факторов производственной среды, которые могут возникнуть на рабочем месте, являются: электрический ток. Чрезвычайной ситуацией, которая может возникнуть на рабочем</p>	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:			
<p>1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p>		<p>Анализ выявленных вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> • отсутствие или недостаток естественного света; • уровень шума; • уровень электромагнитных излучений; • напряжённость электрического поля; • микроклимат. <p>Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> • электрический ток 	
<p>2. Охрана окружающей среды:</p>		<p>Воздействие объекта на атмосферу, гидросферу не происходит. В работе проведён анализ воздействия на литосферу (образование отходов при поломке ПК, отходов при печати, при утилизации ламп).</p>	
<p>3. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p>		<p>В аудиторном помещении возможно ЧС техногенного характера – пожар (возгорание).</p>	

4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Рабочее место при выполнении работ в положении сидя должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78. Требования к организации оборудования рабочих мест с ПК регулируются в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД ИШНКБ	Бородин Ю.В.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ61	Надин Иван Сергеевич		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа: ИШИТР

Направление подготовки: Мехатроника и робототехника

Уровень образования: магистратура

Отделение школы (НОЦ): автоматизации и робототехники

Период выполнения: весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.02.2018 г.	Актуальность использования систем технического зрения в промышленных робототехнических комплексах	15
25.02.2018 г.	Интеграция технического зрения в систему управления промышленным роботом	15
10.03.2018 г.	Геометрические параметры камеры	20
12.04.2018 г.	Практическая реализация системы технического зрения	20
15.05.2018 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
18.05.2018 г.	Социальная ответственность	10
21.05.2018 г.	Английский язык	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сырямкин В. И.	д.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Малышенко А.М.	д.т.н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 115 страниц, 52 рисунка, 12 таблиц, список используемых источников содержит 37 наименований.

Ключевые слова: компьютерное зрение, промышленный манипулятор, калибровка камеры, распознавание QR, поиск контура.

Объектом исследования является определение положения изделия в пространстве и его принадлежность к определенному классу.

Предметом исследования является техническое зрение, использующее алгоритм поиска изделия по цвету.

Цель данной работы – разработка системы управления сортировочным роботом с применением технологии компьютерного зрения, способной без участия человек осуществлять сортировку изделий на конвейерной линии по заданным заранее признакам.

В процессе исследования были изучены основные функции и сферы применения технического зрения. Проведен анализ готовых решений от мировых производителей промышленной робототехники. Разработан алгоритм работы системы управления сортировочным роботом. Выбран способ размещения камер. Был протестирован метод поиска изделия по цвету и метод распознавания QR кода. Проводились определение социальной ответственности, расчет финансовой эффективности проекта.

В результате исследования была создана недорогостоящая и простая система управления с использованием методов технического зрения, способная находить изделие в пространстве и производить его классификацию по определенно заданным признакам.

Область применения: разработанная система технического зрения может использоваться, как основа, для внедрения в производственную систему управления сортировочным роботом.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

USB – Universal Serial Bus (универсальная последовательная шина).

СТЗ – Системы технического зрения

CCD – Charge Coupled Device (прибор с зарядовой связью)

CMOS – Complementary Metal-Oxide-Semiconductor (комплементарная структура металл-оксид-полупроводник)

АСУ ТП – Автоматизированная система управления технологическим процессом

MES – Manufacturing Execution System (система управления производственными процессами)

ПЗС – Прибор с зарядовой связью

ERP – Enterprise Resource Planning (планирование ресурсов предприятия)

MRP – Material Requirements Planning (планирование потребности в материалах)

IP 54 – Международный класс защиты, частичная защита от пыли и от брызг

ROS – Robot Operating System (операционная система для роботов)

ПК – Персональный Компьютер

QR – Quick Response Code (код быстрого реагирования)

HD – High Definition (Высокая чёткость)

OpenCV – Open Source Computer Vision Library (библиотека алгоритмов компьютерного зрения)

RGB – Red, Green, Blue (красный, зелёный, синий)

HSV – Hue, Saturation, Value (тон, насыщенность, значение)

БЖД – Безопасность Жизнедеятельности Человека

ЭВМ – Электронно-вычислительная машина

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	14
1. АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ	16
1.1 Основные функциональные аспекты технического зрения.....	16
1.2 Примеры использования технического зрения в различных отраслях	17
1.2.1 Автоматизация сортировки и отбраковки	18
1.2.2 Считывание и распознавание меток и маркировок	19
2. ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМ РОБОТОМ	22
2.1 Готовые решения использования СТЗ в производстве	22
2.1.1 Стерео сенсор KUKA _3D Perception.....	22
2.1.2 FANUC система iRVision	23
2.2 Постановка задачи разработки системы технического зрения для промышленного робототехнического комплекса.....	24
2.3 Используемое оборудование	27
2.4 Выбор инструментов программирования.....	30
2.4.1 Язык программирования Python	30
2.4.2 Библиотека OpenCV	31
3 ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КАМЕРЫ	35
3.1 Справочные система координат	35
3.1.1 Система координат пикселей	35
3.1.3 Система координат камеры	36
3.1.4 Однородные координаты.....	37
3.1.5 Внешняя система координат	38
3.2 Размещение камер.....	39
3.3 Калибровка камеры.....	42
4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ	55
4.1 Цветовые пространства	55
4.2 Поиск объекта по цвету	56
4.3 Контурный анализ.....	62
4.4 Алгоритм работы программы и её реализация	63
4.5 Преобразование координат изделия в координатную систему робота	66
4.6 Распознавание QR кода	68
4.7 Связь технического зрения и системы управления манипулятором	71
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	73
5.1 Техногенная безопасность.....	74

5.1.1 Микроклимат	74
5.1.2 Естественная освещенность.....	75
5.1.3 Уровень шума	76
5.1.4 Уровень электромагнитных излучений	77
5.1.5 Электробезопасность.....	78
5.2 Организационные мероприятия обеспечения безопасности	81
5.2.1 Эргономические требования к рабочему месту	81
5.3 Пожарная безопасность	82
5.4 Особенности законодательного регулирования проектных решений.....	84
6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	86
6.1 Организация и планирование работ	86
6.2 Продолжительность этапов работ.....	88
6.3 Расчет сметы затрат на выполнение проекта	93
6.3.1 Расчет затрат на материалы и покупные изделия.....	93
6.3.2 Расчет заработной платы	95
6.3.3 Расчет затрат на электроэнергию	96
6.3.4 Расчет затрат на социальный налог.....	97
6.3.5 Расчет амортизационных расходов.....	97
6.3.6 Расчет прочих (накладных) расходов	98
6.3.7 Расчет общей себестоимости разработки	98
Заключение.....	99
Список использованной литературы	100
Приложение А.....	104

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире широко распространено использование обработки изображений для решения различных задач автоматического контроля, управления и измерения.

Чтобы промышленные роботы и другие системы автоматизации производства целенаправленно взаимодействовали с объектами и спокойно двигались в пространстве, окружающем производственные линии, они должны иметь возможность видеть и анализировать окружающую среду.

Это именно то, с чем компьютерные системы зрения могут помочь. Машинное зрение включает в себя анализ визуальной информации для дальнейшего принятия решений. Это помогает принять какое-либо действие в отношении объекта, который находится в фокусе. Самый простой пример использования технологии: проверка состояния продукта на конвейерной ленте или перед отправкой посылки по почте.

Исторически алгоритмы машинного зрения внедрялись в небольшом количестве в производство, так как это было очень затратно. Однако стоимость, производительность и потребление энергии в электронных системах, которые были достигнуты сегодня, проложили путь для широкого распространения машинного зрения в различных отраслях. Конечно, их реализация все еще сложна, но это уже стало намного проще - и дешевле, чем когда-либо

В данной работе технология машинного зрения была внедрена в систему управления сортировочным роботом.

Технология состоит в получении двумерного изображения изделия, благодаря USB-камерам. Далее происходит компьютерная обработка изображения и анализ, в ходе которой определяется: принадлежность объекта тому или иному классу исходя из заданных признаков (форма, геометрические размеры, наличие надписей, цвет, маркировок, и др.)

Задача сортировки похожа на задачу распознавания образов и заключается в измерении координат и ориентации объектов. Объекты,

которые имеют относительно простую форму, в данном случае прямоугольную, однозначно характеризуются контуром регистрируемого изображения. Для решения задач оценки параметров и распознавания, характеризующих ориентацию и координаты таких объектов, используют алгоритмы, основанные на анализе контуров изображений.

Сейчас на рынке представлены решения на различных принципах определения положения, например, на базе анализа структурированного света, на основе времяпролетных принципов, стереоскопические решения с выделением особых точек изображения. Но основной популярностью по-прежнему пользуются классические решения на основе цифровых видеокамер, так как они позволяют за небольшие вложения получить легко настраиваемый вариант системы определения координат и класс объекта высокой надежностью и простотой установки. [1]

1. АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

1.1 Основные функциональные аспекты технического зрения

Техническое (машинное) зрение - это сфера применения компьютерного зрения в промышленности или производстве. В то время как компьютерное зрение является общим набором методов, позволяющих компьютерам видеть.

Хотя методы технического зрения были изначально разработаны для видимой части спектра, те же самые технологии обработки могут быть применены к изображениям, полученным в других частях спектра, таким как инфракрасный свет или рентгеновские излучения.

Применение технического зрения в данных областях помогает заменить людей, работающих на сборочных линиях, которые занимаются осмотром продукции, делая выводы о качестве исполнения. СТЗ используют цифровые камеры, на данный момент всё чаще интеллектуальные камеры, а также прилагаемое к ним программное обеспечение, которое занимается обработкой полученного изображения. В большинстве случаев, в СТЗ используются последовательные сочетания различных методов обработки для выполнения полного и точного анализа. К примеру, система, которая считывает штрихкод, также занимается проверкой поверхности на наличие царапин или каких-то других повреждений и может измерить длину и ширину обрабатываемых компонентов.

СТЗ заточены на выполнение задач узкого и специализированного направления, таких как подсчет различных объектов на ленте конвейере, чтение штрих-кодов, серийных номеров или поиск различных поверхностных дефектов. Выгода использования системы визуального контроля на основе технического зрения заключается в возможности увеличения производственного оборота, за счет 24-часового режима работы и повышенной

точности повторяемых измерений. Кроме того, преимущество использования, данного рода систем перед людьми заключается в отсутствии различных человеческих факторов таких как утомляемость, невнимательность. Но люди обладают более чутким восприятием и большей адаптацией к распознаванию новых дефектов.

Машины не «видят» так же, как это делают люди. Камеры не равнозначны системе человеческого зрения, так как каждый человек может опираться на свои собственные догадки и предположения, а системы технического зрения «видят» путем изучения полученного изображения. Изображения разбивается отдельные пиксели, предварительно происходит их обработка и система пытается сделать выводы с помощью базы знаний или же с помощью распознавания образов. Хотя некоторые алгоритмы и методы технического зрения были созданы, чтобы соответствовать зрительному восприятию человека, большое количество методов были созданы именно для обработки получаемых изображений и определения их свойств.

Системы технического и компьютерного зрения могут обрабатывать изображений на равных с людьми, но системы обработки изображений обычно проектируются, чтобы выполнить одиночные, периодически повторяющиеся задачи, и, несмотря на значительный прогресс в этой области, никакая система технического или компьютерного зрения на данный момент еще не может соревноваться на равных с некоторыми возможностями человеческого зрения такими как терпимости к изменению освещения и ухудшению изображения, изменению частей и т.д.

1.2 Примеры использования технического зрения в различных отраслях

На сегодняшний день большую популярность обретают СТЗ в качестве устройств определения положения координат полезного груза при работе с манипуляционными роботами.

1.2.1 Автоматизация сортировки и отбраковки

Методика технического зрения дает возможность сменить человека в действиях сортировки и отбраковки продукта (рисунок 1.1). Изъяв «человеческий фактор», гарантируется значительное усовершенствование качества продукта, увеличение производительности и сокращение брака. [2]

Технология заключается в получении фотографии предмета изделия (объекта, заготовки, детали) благодаря CCD/CMOS-на камеры в комбинации с оптическими компонентами и приборами освещения. С поддержкой специального программного обеспечения выполняется компьютерный анализ и обработка изображения, в дальнейшем автоматически происходит заключение о принадлежности продукта какому-либо классу, годности/негодности продукта либо создается отчет о итогах изучения изделия в форме удобной для восприятия человеком.

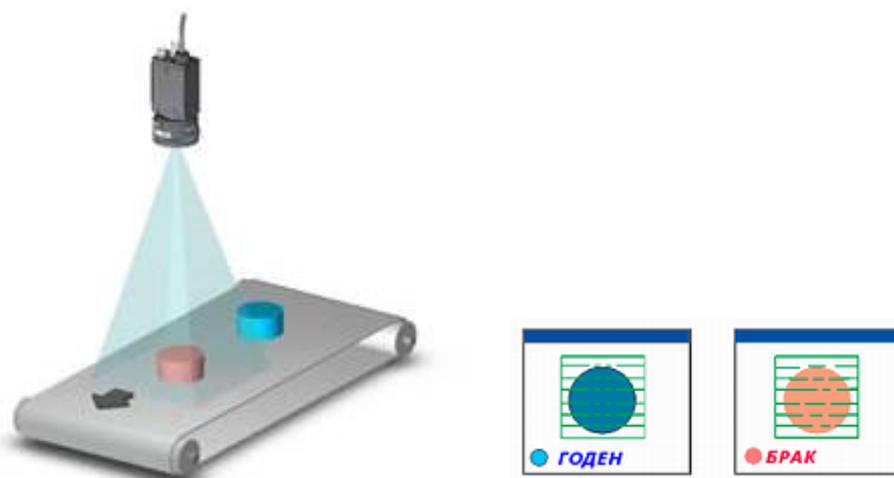


Рисунок 1.1 – Автоматическая сортировка на конвейере с помощью видеокамеры

В ходе отбраковки с поддержкой промышленных видеокамер автоматически формируются следующие признаки: целостность упаковки продуктов, комплектация упаковки продукта, присутствие требуемых надписей и маркировок, точность наклейки этикеток.

В ходе сортировки формируются следующие признаки: отношение продукта к какому-либо классу в согласовании с установленными свойствами (форма, цвет, геометрические размеры, присутствие маркировок, надписей, и др.)

Достоинства:

- гарантируется стопроцентный контроль за правильностью сборки каждой единицы продукции;
- отпадает «человеческий фактор» в действиях сортировки и отбраковки;
- техническое зрение управляет исполнительными механизмами сортировки и отбраковки в режиме реального времени;
- объединение в имеющиеся производственные линии, АСУ ТП и MES.

Дополнительные возможности: вероятность осуществить, с поддержкой одной системы, контроль качества по нескольким признакам: отсутствия внешних повреждений, присутствия маркировки и точности упаковки, проверка сборки изделия, присутствия маркировки и точности упаковки.

Область применения: сортировка в фармацевтической промышленности, сортировка в пищевой промышленности и др.

1.2.2 Считывание и распознавание меток и маркировок

СТЗ и видеодатчики считаются одними из более результативных инструментов в задачах автоматизации и идентификации учета продукции в производственном процессе (рисунок 1.2).

В зависимости от специализации какой-нибудь области, перед или уже после любой технологической процедуры с помощью промышленных современных видеокамер способна проводится конкретная принадлежность продукции к типу изделия, с занесением в базу данных считываемой информации. [3]

Технология: СТЗ при идентификации способна считывать и различать цифробуквенные и символьные данные различных размеров, логотипы, 1-d и 2-d штрихкоды, товарные знаки или любую комбинацию данных компонентов.



Рисунок 1.2 – Автоматическое считывание 2D-кода и цифровой маркировки

В качестве устройств ввода идентификационных данных в системах этого класса применяются лазерные сканеры и ПЗС-камеры. Специальное программное обеспечение приспособляется под вид и параметры идентификационной надписи, а кроме того под качество поверхности изделия заказчика.

Достоинства:

- стопроцентная надежность идентификации;
- почти отсутствует ограничения согласно виду распознаваемой маркировки и методу её нанесения;
- отсутствует ограничения на конфигурацию применяемых шрифтов
- вероятность определения отчасти загрязненной либо поврежденной надписи;
- простая переналадка дает возможность различать маркировку иного вида и конфигурации;
- возможность обновления программного и аппаратного обеспечения;
- системы дают возможность гарантировать обеспечение достоверных сведений для систем планирования и учета производства верхнего уровня (ERP /MRP).

Дополнительные возможности:

Организация синхронного контроля считывания маркировки и качества продукта.

Возможность применять СТЗ и видеодатчики с целью верификации маркировки.

Область применения: контроль кодировки/маркировки/ этикетки, контроль упаковки в пищевой индустрии, определение стандартизированного кода на этикетках, пластиковых картах, /контроль даты производства/ срока годности в фармацевтике и др.

2. ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМ РОБОТОМ

2.1 Готовые решения использования СТЗ в производстве

2.1.1 Стереосенсор KUKA _3D Perception

Сенсор со встроенной системой 3D-стереокамер позволяет осуществлять 3D-восприятие в режиме реального времени и обеспечивает 3D-измерение и позиционирование в пространстве. Таким образом, ориентация в пространстве и техническое зрение становятся реальностью (рисунок 2.1). [4]



Рисунок 2.1 – Стереосенсор KUKA _3D Perception

Стереосенсор KUKA_3D Perception распознает точно неструктурированное окружение в режиме реального времени и точно позиционирует объекты с разной кинематикой в пространстве. Это первый 3D-сенсор в мире, который наделяет роботов такими способностями. Результат этого прогрессивного решения: робот может фиксировать свое положение в пространстве с точностью до миллиметра и решать задачи еще быстрее и эффективнее.

Благодаря интегрированной технологии KUKA_3D Perception обрабатывает данные изображения непосредственно в сенсоре и фиксирует текущее положение объекта с точностью до миллиметра. Массивы точек создаются очень просто. 3D-сенсор может распознавать свое окружение как в условиях естественного света, так и при недостаточном освещении. Даже при быстрых перемещениях обеспечивается надежная точность. Кроме того, в

небольшом пространстве без затруднений и сбоев могут работать несколько сенсоров.

Интегрированная графическая карта позволяет обрабатывать изображения глубины непосредственно в сенсоре. Внешних расчетов не требуется — идеально подходит для мобильных робототехнических систем. Высокопроизводительное аппаратное обеспечение разработано для использования в роботизированной среде, рассчитано на температуру до 50 °С и соответствует классу защиты IP 54 – хорошее условие для параллельных кинематик.

Можно легко настроить KUKA _3D Perception через веб-браузер, используя удобный интерфейс. 3D-сенсор также может быть подключен через стандартные интерфейсы, к стандартным библиотекам обработки изображений и другим программным средам, таким как ROS.

Он имеется в двух исполнениях с различными базовыми расстояниями: 65 мм или 160 мм. Они позволяют вычислять изображения глубины для использования в ближнем или дальнем диапазоне. Представление изображения может быть одноцветным или цветным.

2.1.2 FANUC система iRVision

iRVision — это разработанная компанией FANUC система визуального обнаружения по технологии plug & play. Она полностью интегрирована с контроллером R-30iB, быстро устанавливается, отличается простотой использования и высочайшей гибкостью. Благодаря системе распознавания двух- или трехмерных деталей она может определять местоположение произвольно расположенных изделий любой формы и размера. Она также может считывать штрихкоды, выполнять сортировку по цвету, гибкую подачу деталей, высокоскоростное визуальное линейное отслеживание (iRPickTool) и взятие коробов/панелей. Система iRVision играет ключевую роль в увеличении производительности и обеспечивает дополнительную экономию средств, поскольку снимает необходимость в технологической оснастке (рисунок 2.2). [5]



Рисунок 2.2 - Система iRVision

Одним из решений использующих данную технологию является FANUC 3D Area Sensor.

Высокоскоростной пространственный барьерный датчик FANUC 3D Area Sensor полностью интегрирован с контроллером робота и служит для мгновенного создания пространственных карт с использованием технологии технического зрения. Она позволяет роботу идентифицировать и брать отдельные детали, достигая продолжительности цикла от 8 до 12 секунд, даже если они покрыты грязью, ржавчиной, маслом или, если речь о пакетах, не имеют четко распознаваемых характеристик. Датчик легко настраивается с помощью ПК.

2.2 Постановка задачи разработки системы технического зрения для промышленного роботехнического комплекса

На сегодняшний день большую популярность обретают СТЗ в качестве устройств определения положения координат полезного груза при работе с манипуляционными роботами. Простые представители подобных систем позволяют определять декартовы координаты x и y , а также угол ориентации R полезных грузов, находящихся в одной плоскости рабочего пространства манипуляционного робота, причем параметры этой плоскости должны быть заранее известны. Более сложные решения позволяют определить три координаты x , y и z в рабочем пространства. Комплексные решения позволяют определить все шесть координат x , y , z , φ , θ , ψ , но такие решения требуют

особых функционирования, поэтому их область применения сильно ограничена; кроме того, во многих технологических процессах отсутствует необходимость определения полного набора координат полезных грузов, поэтому стоимость и используемый функционал для таких систем будут неоправданными.

СТЗ позволяют без значительных затрат переконфигурировать рабочее место, так как система определения положения в значительной части настраивается на программном уровне. Как правило, одной камеры, входящей в состав СТЗ, достаточно для получения данных о рабочем пространстве большой площади [7, 8]. В случае изменения технологического процесса эту же камеру можно использовать для определения положения полезных грузов в новых условиях без необходимости вмешиваться в ее конструкцию или электрическую схему.

Функциональные задачи СТЗ, характерные для роботехнических комплексов, условно подразделяются по уровню их относительной сложности. К простым задачам можно отнести: обнаружение наличия какого-либо объекта, измерение расстояния до него, вычисление его линейных и угловых перемещений, скорости; измерение геометрических параметров объекта (линейные и угловые размеры, площадь), определение физических характеристик излучения от объекта, подсчет числа объектов в кадре. [6]

Более сложные задачи выполняет система, которая предоставляет манипулятору информацию, необходимую для захватывания неупорядоченных объектов. К этим задачам относят: обзор рабочего пространства для поиска интересующего объекта, который может быть одиночным или одним из нескольких или его месторасположение может быть изолировано, перекрываться другими объектами. При этом наблюдаемые объекты могут отличаться не только формой и размером, но и цветом, текстурой и т.д., находится в движении или покоится на месте.

В данной работе было решено внедрить СТЗ в систему управления сортировочным роботом. (рисунок 2.3) Сортировка осуществляется по двум признакам: цвет изделия и QR код наклеенный на изделие.

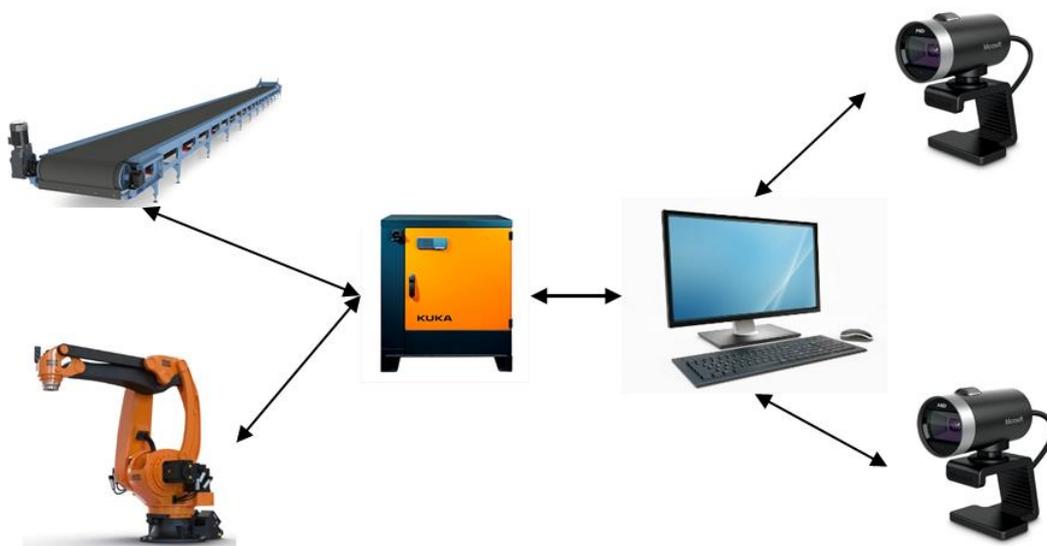


Рисунок 2.3 Функциональная схема системы управления сортировочным роботом

Основными задачами технического зрения в данной системе являются:

– Определение положение изделия на ленте конвейера. Необходимо определения только двух координат, так как конвейер находится на постоянной высоте.

– Определение ориентации изделия на ленте конвейера. На какой угол оно повернута, чтобы манипулятор мог выровнять её при осуществлении сортировки.

– Определение цвета изделия. Для наглядности их будет три: красный, синий и зеленый

– Распознавание QR кода.

Как видно из представленных выше целей технического зрения в данной работе функциональные задачи технического зрения скорее можно отнести к простым.

Постановка задачи сортировки почти сходится с постановкой проблемы распознавания образов в обстоятельствах предшествующей неопределённости, а определение местоположение и ориентации предметов

возможно расценивать равно как оценки изображений предметов, фиксируемых на фоне помех. Создание результативных алгоритмов и программ, которые обеспечат автоматический анализ и обработку изображений для оценки параметров изображений и распознавания образов объектов, считается значимым направлением улучшения СТЗ в промышленных роботехнических комплексах.

К методам обработки изображений в СТЗ предъявляются следующие требования [9]:

- Обеспечение высокой эффективности по заданным критериям.
- Минимальные затраты по времени для обработки информации в режиме реального времени;
- Минимальные затраты на вычислительные ресурсы.

Поэтому для решения поставленных задач оценки параметров и распознавания будут использованы алгоритмы, основанные на анализе регистрируемых контуров изображений. Чтобы упростить метод описаний изображений предметов, фиксируемых в СТЗ было принято следующее допущение: предметы обладают сравнительно элементарной формой, при которой контур заданного объекта легко сможет охарактеризовать эту форму.

2.3 Используемое оборудование

Была разработана система управления сортировочным роботом. Эта система включает следующие компоненты:

- Манипулятор, показанный на рисунке 2.4 (Роботизированная ячейка для палетизации KR 40PA);



Рисунок 2.4 – KR 40PA

KR 40 PA является самым маленьким и легким роботом для палетизации. Достигает высочайших уровней скорости и точности, специально разработан для задач, связанных с паллетизацией - идеально подходит для укладки европоддонов. KR 40 PA выбирает и упаковывает товары в рекордные сроки. Он может паллетизировать продукты весом до 40 килограммов и достигать чистой высоты штабелирования до 1,8 м; все в очень маленьком пространстве. Время цикла значительно сокращается благодаря его малой массе. [10]

- Система управления KUKA KR C4 показанная на рисунке 2.5



Рисунок 2.5 – KUKA KR C4

Система управления KR C4 от KUKA является инновационной для автоматизации производства сегодняшнего и завтрашнего дня. Она позволяет сократить расходы на интеграцию, техническое обслуживание и уход.

Одновременно повышается эффективность и гибкость систем – благодаря распространенным открытым промышленным стандартам. Концепция KR C4 считается революционной. Впервые в ней Robot/Motion органично и интерактивно соединены с системами управления для ПЛК, ЧПУ и обеспечения безопасности. Благодаря простому и гибкому программированию робота посредством встроенных формуляров и новому программированию перемещений Spline решения автоматизации на базе KR C4 по всем аспектам являются непревзойденными. Кроме того, KR C4 обеспечивает возможности интеллектуального, гибкого и расширяемого использования.

KR C4 интегрирует в архитектуру вашего программного обеспечения Robot Control, PLC Control, Motion Control (например, KUKA.CNC) и Safety Control. Все системы управления имеют одну базу данных и инфраструктуру. Это позволяет упростить автоматизацию и сделать ее эффективней. [11]

– устройство видеозахвата, показанное на рисунке 2.6 (Microsoft Lifecam Cinema);



Рисунок 2.6 – Microsoft Lifecam Cinema

Веб-камера LifeCam Cinema предоставляет широкоформатное HD-видео с разрешением 720 пикселей. Камера автоматически увеличивает резкость изображения, Для того чтобы видео было еще более четким, прецизионный стеклянный объектив повышает качество изображения даже при недостаточной освещенности.[12]

- Промышленный конвейер;
- Персональный компьютер.

2.4 Выбор инструментов программирования

2.4.1 Язык программирования Python

Python (в русском языке распространено название питон) — высокоуровневый язык программирования общего назначения, ориентированный на повышение производительности разработчика и читаемости кода. [13] Синтаксис ядра Python минималистичен. В то же время стандартная библиотека включает большой объём полезных функций.

Разработка языка Python была начата в конце 1980-х годов сотрудником голландского института Гвидо ван Россумом. Для распределённой ОС Amoeba требовался расширяемый скриптовый язык, и Гвидо начал писать Python на досуге, позаимствовав некоторые наработки для языка ABC (Гвидо участвовал в разработке этого языка, ориентированного на обучение программированию). В феврале 1991 года Гвидо опубликовал исходный текст в группе новостей alt.sources. С самого начала Python проектировался как объектно-ориентированный язык.

3 декабря 2008 года, после длительного тестирования, вышла первая версия Python 3000 (или Python 3.0, также используется сокращение Py3k). В Python 3000 устранены многие недостатки архитектуры с максимально возможным (но не полным) сохранением совместимости со старыми версиями Python. На сегодня поддерживаются обе ветви развития (Python 3.x и 2.x).

Python поддерживает несколько парадигм программирования, в том числе структурное, объектно-ориентированное, функциональное, императивное и аспектно-ориентированное. Основные архитектурные черты — динамическая типизация, автоматическое управление памятью, полная интроспекция, механизм обработки исключений, поддержка многопоточных вычислений и удобные высокоуровневые структуры данных. Код в Python организовывается в функции и классы, которые могут объединяться в модули (они в свою очередь могут быть объединены в пакеты).

Эталонной реализацией Python является интерпретатор CPython, поддерживающий большинство активно используемых платформ. Он распространяется под свободной лицензией Python Software Foundation License, позволяющей использовать его без ограничений в любых приложениях, включая проприетарные. Есть реализации интерпретаторов для JVM (с возможностью компиляции), MSIL (с возможностью компиляции), LLVM и других. Проект PyPy предлагает реализацию Python с использованием JIT-компиляции, которая значительно увеличивает скорость выполнения Python-программ.

Python — активно развивающийся язык программирования, новые версии (с добавлением/изменением языковых свойств) выходят примерно раз в два с половиной года. Вследствие этого и некоторых других причин на Python отсутствуют стандарт ANSI, ISO или другие официальные стандарты, их роль выполняет CPython.

Обоснованием выбора данного языка программирования является его простота, низкий порог вхождения, большое количество обучающего материала в интернете и возможность работать с библиотекой OpenCV

2.4.2 Библиотека OpenCV

Одним из наиболее распространённых программных обеспечений для реализации компьютерного зрения является OpenCV.

OpenCV — библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым кодом.[14] Реализована на C/C++, также существуют версии для Python, Java, Ruby, Matlab, Lua и других языков. Она разрабатывается с 1998 г., сначала в компании Intel, затем в Itseez при активном участии сообщества.

Библиотека распространяется по открытой лицензии, что означает, что ее можно свободно и бесплатно использовать как в открытых проектах с открытым кодом, так и в закрытых, коммерческих проектах. Библиотеку не обязательно копировать целиком в свой проект, можно использовать куски

кода. Единственное требование лицензии – наличие в сопровождающих материалах копии лицензии OpenCV.

Из-за либеральной лицензии библиотека используется многими компаниями, организациями, университетами, например, NVidia, Willow Garage, Intel, Google, Stanford University. Компании NVidia и WillowGarage частично спонсируют ее разработку.

Многомерная архитектура проекта представлена на рисунке 2.7. Библиотека состоит из 16 модулей, реализовано около 1000 алгоритмов. Поддерживаются основные операционные системы: MS Windows, Linux, Mac, Android, iOS. Есть возможность использования сторонних библиотек, например, для работы с устройством Kinect (OpenNI), разработки параллельных программ (TBB) и др.

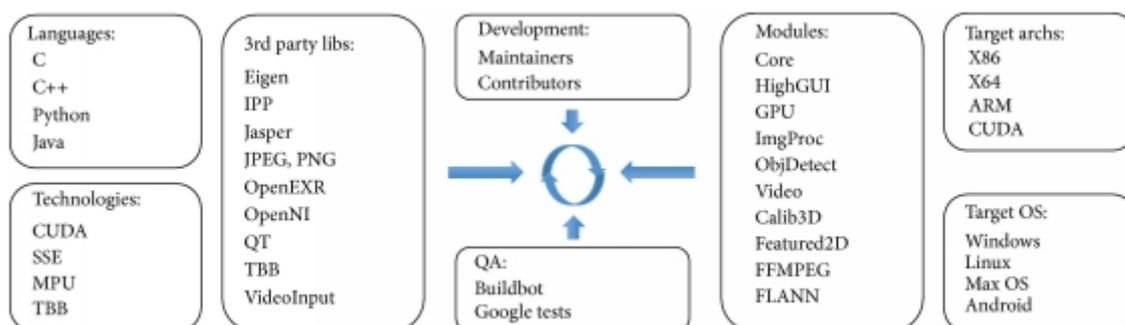


Рисунок 2.7 - Архитектура OpenCV

Основные модули библиотеки можно отнести к 4 группам (разделам):

– Модули Core, HighGUI, реализующие базовую функциональность (базовые структуры, математические функции, генераторы случайных чисел, линейная алгебра, быстрое преобразование Фурье, ввод/вывод изображений и видео, ввод/вывод в форматах XML, YAML и др.).

– Модули ImgProc, Features2D для обработки изображений (фильтрация, геометрические преобразования, преобразование цветовых пространств, сегментация, обнаружение особых точек и ребер, контурный анализ и др.).

– Модули Video, ObjDetect, Calib3D (калибровка камеры, анализ движения и отслеживание объектов, вычисление положения в пространстве, построение карты глубины, детектирование объектов, оптический поток).

– Модуль ML, реализующий алгоритмы машинного обучения (метод ближайших соседей, наивный байесовский классификатор, деревья решений, бустинг, градиентный бустинг деревьев решений, случайный лес, машина опорных векторов, нейронные сети и др.). На рисунке 2.8 представлена общая схема типичного приложения, предназначенного для решения той или иной задачи компьютерного зрения.

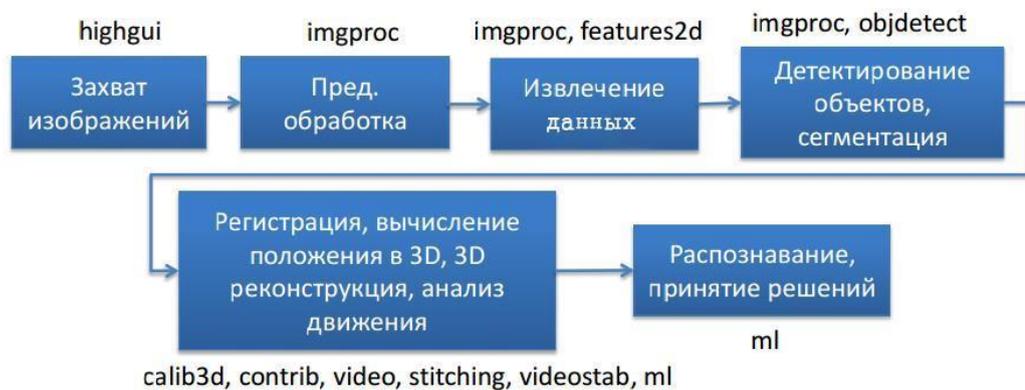


Рисунок 2.8 - Общая структурная схема приложения на OpenCV

Все начинается с захвата изображений (модуль HighGUI). Читается изображение из файла или видео с сетевой камеры через сетевой протокол.

Далее осуществляется предварительная обработка (модуль ImgProc), такая, как устранение шума, выравнивание яркости, контраста, выделение и удаление бликов, теней. Например, один и тот же объект при разном освещении выглядит по-разному. В ярком свете красная машина, движение которой необходимо отслеживать, будет ярко-оранжевой. В пасмурную погоду та же машина будет выглядеть красно-розовой. В этом случае на изображении необходимо выполнить выравнивание цветов. Предобработка может быть, как простой, так и может заключать в себе целую сложную технологию.

Следующий этап – выделение особенностей (модули ImgProc, Features2D). Например, в задаче слежения за объектом это может быть поиск

специальных точек на объекте, за которыми легко наблюдать; для задачи детектирования (т. е. обнаружения на изображении) лица – вычисления описания каждого пиксела.

Далее происходит детектирование интересующих нас объектов, выделение значимых частей, сегментация изображения (модули `ImgProc`, `ObjDetect`). Если, например, камера неподвижна, а изображение подвижное, можно использовать алгоритмы вычитания фона.

После этого решается основная задача, такая, как вычисление расположения объекта в 3d, реконструкция 3d структуры, анализ структуры, регистрация и т. п. (модули `Calib3D`, `Contrib`, `Video`, `Stitching`, `Videostab`, `ML`). Например, в задаче склейки панорам изображений – это сопоставление частей разных кадров, определение нужного преобразования. В задаче видеонаблюдения это восстановление траекторий объектов и т. д.

В конце происходит распознавание и принятие конкретных решений (модуль `ML`). Например, в системе видеонаблюдения: обнаружен ли нежелательный объект в кадре или нет. В задаче детектирования текста – детектирован ли текст, что именно за текст и т. д.

3 ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КАМЕРЫ

3.1 Справочные система координат

Чтобы количественно описать процесс формирования изображения с камеры, сначала определите следующие четыре опорные системы координат.

3.1.1 Система координат пикселей

Цифровое изображение, полученное камерой, может быть сохранено в виде массива в компьютере. Значение каждого элемента массива (так называемый пиксель) - это яркость точки изображения (или шкала серого, если цветное изображение, яркость пикселя изображения будут красного, зеленого и синего цветов трех цветов). Координаты (u, v) каждого пикселя определяются декартовой системой координат $u - v$, то есть количеством столбцов и числом строк пикселя в массиве. (U, v) - координаты системы координат изображения в пикселях, как показано на рисунке 3.1.

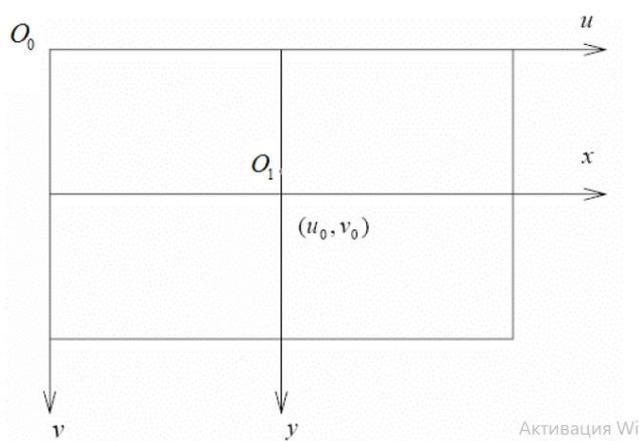


Рисунок 3.1–Изображение системы координат и плоскости изображения системы координат

3.1.2 Система координат сетчатки

Поскольку система координат изображения представляет только количество столбцов и количество строк в цифровом изображении, физическое положение пикселя на изображении не выражается в физических единицах и, следовательно, координаты плоскости изображения, выраженные

в физических единицах (например, Миллиметры) должны быть установлены, как показано на рисунке 3.1.

В системе координат x-y начало координат O_1 определено на пересечении оптической оси камеры и плоскости изображения, называемой главной точкой изображения, которая обычно расположена в центре изображения. Однако, из-за причины процесса производства камеры, будет некоторое отклонение от общего. Если координаты O_1 в u-v системе координат (u_0, v_0) , физические размеры каждого пикселя в направлениях оси x и y - это dx, dy, то связь между двумя системами координат выглядит следующим образом :

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/dx & y' & u_0 \\ 0 & 1/dy & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Где y' представляет коэффициент перекоса, полученный из двух координатных осей системы координат изображения из-за того, что они не пересекаются друг с другом.

3.1.3 Система координат камеры

Параметры данной системы представлены на рисунке 3.2

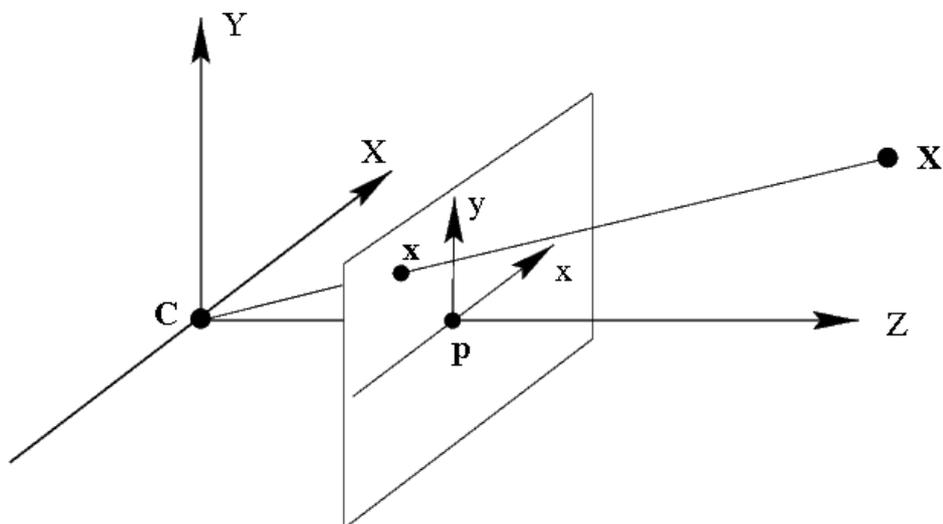


Рисунок 3.2–Схема системы координат камеры

C — центр камеры, C_p — главная ось камеры. Точка X , которая принадлежит трехмерному пространству проецируется на плоскость изображения в точку x . Проективная камера определяется такими параметрами как:

- центр камеры;
- главная ось — это луч, который начинается в центре камеры и направлен в сторону, в которую камера смотрит;
- плоскость изображения, на которую выполняется проецирование точек;
- система координат, находящаяся этой плоскости.

В такой модели, любая взятая произвольная точка в пространстве X будет проецироваться на плоскость изображения в точку x лежащую на отрезке CX , соединяющий центр камеры C с исходной точкой X .

3.1.4 Однородные координаты

Поскольку трехмерная система координат не несет информации о поступательном перемещении и используемом масштабе, вектор координат $P = (p_x, p_y, p_z)^T$ в трехмерном пространстве дополняют четвертой координатой (или компонентой) так, что он принимает вид $P = (\omega p_x, \omega p_y, \omega p_z)^T$. В этом случае говорят, что вектор P выражен в однородных координатах. Описание точек трехмерного пространства однородными координатами позволяет ввести в рассмотрение матричные преобразования, содержащие одновременно поворот, параллельный перенос, изменение масштаба и преобразование перспективы.

В общем случае изображение N -мерного вектора вектором размерностью $N + 1$ называется представлением в однородных координатах. При таком представлении преобразование N -мерного вектора производится в $(N+1)$ -мерном пространстве, а физический N -мерный вектор получается делением однородных координат на $(N+1)$ -ю компоненту w . Так, вектор $P = (p_x, p_y, p_z)^T$ положения в трехмерном пространстве в однородных

координатах представляется расширенным вектором $(\omega p_x, \omega p_y, \omega p_z)^T$. Физические координаты связаны с однородными следующим образом:

$$p_x = \frac{\omega p_x}{w}, p_y = \frac{\omega p_y}{w}, p_z = \frac{\omega p_z}{w}.$$

Представление трехмерного вектора положения в однородных координатах не единственно. Например, $P_1 = (\omega_1 p_x, \omega_1 p_y, \omega_1 p_z)^T$ и $P_2 = (\omega_2 p_x, \omega_2 p_y, \omega_2 p_z)^T$ являются различными однородными представлениями одного и того же вектора положения $P = (p_x, p_y, p_z)^T$. Таким образом, четвертую компоненту w вектора однородных координат можно рассматривать как масштабирующий множитель. Если эта компонента равна 1 ($w=1$), то однородные координаты вектора положения совпадают с его физическими координатами. В робототехнике масштабирующий множитель всегда выбирают равным 1, а в задачах машинной графики он принимает любое положительное значение.

3.1.5 Внешняя система координат

Мы также выбираем систему отсчета координат в реальном мире для описания положения камеры и объекта, который называется мировой системой координат. Связь между системой координат камеры и мировой системой координат может быть описана матрицей вращения R и вектором трансляции t . Таким образом, однородные координаты $(X_w, Y_w, Z_w, 1)^T$ пространственной точки M в мировой системе координат и системе координат камеры связаны с $(X_c, Y_c, Z_c, 1)^T$:

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & t \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix}$$

R - матрица вращения 3×3 , t - трехмерный вектор трансляции, $0=(0,0,0)^T$, P - матрица преобразования между двумя системами координат.

3.2 Размещение камер

Камеру можно закрепить разными способами. Самый простой это закрепить неподвижно на специальное основание рядом с возможным движением полезных объектов в рабочей области. На рисунке 3.3 показан пример такого крепления.



Рисунок 3.3– Пример крепления камеры на неподвижное основание

Если камера находится в рабочей области движения манипулятора, то в программе управления роботом необходимо дополнительно наложить ограничения, чтобы не допустить возможность столкновения подвижных элементов с датчиком. Кроме того, желательно обеспечить внешнюю механическую защиту. Нельзя забывать, что при работе манипуляционный робот будет своими частями закрывать различные области рабочей зоны, поэтому для камеры либо необходимо обеспечить максимально возможный обзор поверхности, либо программно исключать из обработки кадры, когда видимость недостаточная. При жестком креплении камеры, координаты ее установки должны быть известны и привязаны к системе координат основания манипулятора для корректного определения положения полезных объектов относительно робота и успешного выполнения алгоритма управления.

Другим вариантом установки СТЗ является крепления на схват манипулятора (рисунок 3.4). Конструкция многих камер предусматривает

установку на специальный фланец, который позволяет схвату полноценно функционировать с работающей камерой.



Рисунок 3.4 – Пример крепления камеры на схват манипулятора

В данном случае, элементы манипуляционного робота не будут мешать при работе обзору СТЗ. Для определения положения полезных объектов в рабочем пространстве необходимо связать координаты, полученные от камеры, с положением схвата в пространстве относительно основания манипулятора. Для этого необходимо для каждой итерации считать прямую задачу кинематики. Кроме того, если стоит задача по камере определить скорость движения объектов, то необходимо учитывать и скорость движения схвата в том числе. Для предотвращения удара камеры о части манипуляционного робота, необходимо для последнего программно наложить ограничения на возможные движения.

Также важным свойством будет отсутствие или возможность отключения системы автоматической фокусировки. Из-за данной системы затруднительно использование многих современных камер, так как они рассчитаны на съемку неподвижного объекта, а в случае с постоянно перемещающимися манипуляционными роботами и полезным грузом будет часто теряться фокусировка изображения. Объектив закрепляется над рабочей поверхностью и охватывает углом обзора все рабочее пространство. Точка закрепления камеры должна быть известна.

Исходя из положения конвейера, манипулятора и отсутствия подходящей камеры для расположения её на манипуляторе, самым практичным и удобным способом в данном случае было размещение двух

камер статически, сбоку и в конце конвейера. Камера, которая находится в конце конвейера будет в дальнейшем нумероваться как №1, а та что сбоку №2 (рисунок 3.5)



Рисунок 3.5 – Размещение камер на конвейере

Для более быстрого выполнения программы и отсеечения ненужной информации кадры. Кадр каждой камеры был обрезан до определенной априорной области, в которой и происходит поиск объекта. (рисунок 3.6 и 3.7)



Рисунок 3.6 – Исходный и обрезанный кадр с камеры №1

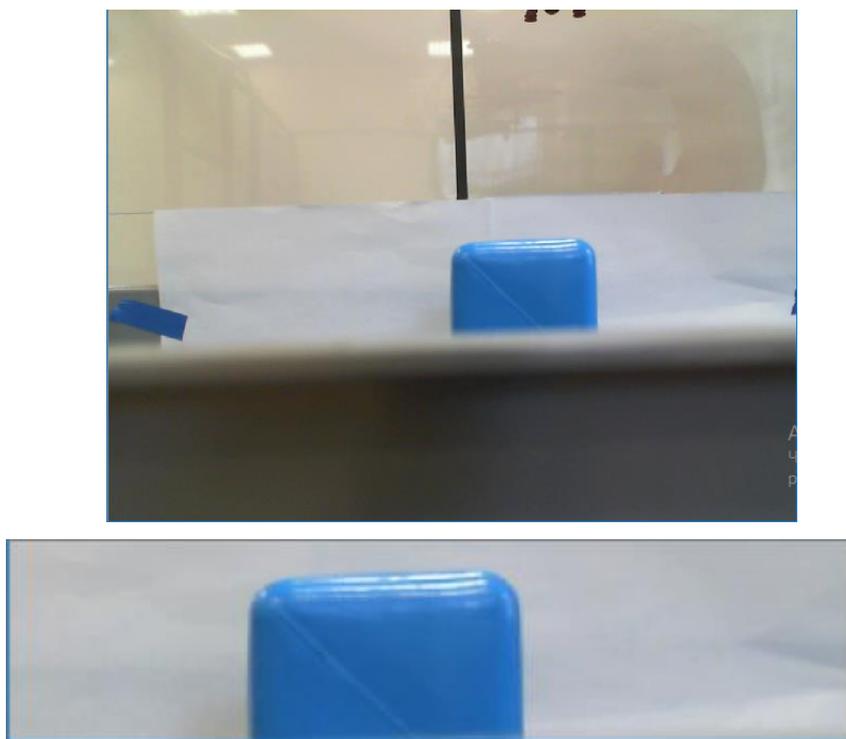


Рисунок 3.7 – Исходный и обрезанный кадр с камеры №2

Две камеры необходимы для получения трехмерных координат объекта изделия. Одна камера получает информацию об изделии с изображения в координатах (X, Z) вторая (Y, Z) . При склеивании двух полученных изображений вычисляется трехмерная координата (X, Y, Z) положения центра изделия. В качестве изделий были использованы три вида кубиков: красный, зеленый и синий.

3.3 Калибровка камеры

Перед началом использования, камера должна быть откалибрована. Калибровка позволяет учесть искажения, вносимые оптической системой.

Калибровка камеры сводится к получению внутренних и внешних параметров камеры по имеющимся фотографиям или видео, полученным с ее помощью. Калибровка камеры обычно производится на начальном этапе решения многих задач компьютерного зрения. Кроме того, данная процедура позволяет исправить дисторсию на фотографиях и видео.

Как правило, для представления 2D-координат точки на плоскости используется вектор-столбец вида $[u \ v \ 1]^T$, а для задания положения 3D-

точки во внешних координатах – $[x_w \ y_w \ z_w \ 1]^T$. Следует отметить, что эти выражения записаны в расширенной нотации однородных координат. В частности, в модели камеры-обскуры матрица камеры используется для проецирования точек трёхмерного пространства на плоскость изображения[15]

$$z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} R & T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix}$$

где Z_c - произвольный масштабный коэффициент

Параметры внутренней калибровки[15]

$$A = \begin{bmatrix} \alpha_x & \gamma & u_0 \\ 0 & \alpha_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Матрица внутренней калибровки A содержит 5 значимых параметров. Эти параметры соответствуют фокусному расстоянию, углу наклона пикселей и принципиальной точке. В частности, α_x и α_y соответствуют фокусному расстоянию, измеренному в ширине и высоте пикселя, u_0 и v_0 – координатам принципиальной точки, а, $\gamma = \alpha_y \cdot \tan\varphi$ где φ - угол наклона пикселя. Нелинейные параметры внутренней калибровки, такие как коэффициенты дисторсии, также имеют важное значение, хотя и не могут быть включены в линейную модель, описываемую матрицей внутренней калибровки. Большинство современных алгоритмов калибровки камеры определяет их вместе с параметрами линейной части модели. Параметры внутренней калибровки относятся только к камере, но не к сцене, поэтому они изменяются только в том случае, когда меняются соответствующие настройки камеры.

Параметры внешней калибровки R, T (где R - вектор 3×1 или матрица 3×3 поворота, T - вектор 3×1 переноса) определяют преобразование координат точек сцены из мировой в систему координат камеры. Параметры внешней калибровки связаны непосредственно с фотографируемой сценой, поэтому (в отличие от параметров внутренней калибровки) каждой

фотографии соответствует свой набор этих параметров. В данной работе будет реализована только калибровка внутренних параметров камеры.

При съемке свет со сцены фокусируется и захватывается камерой. Этот процесс уменьшает число измерений у данных, получаемых камерой, с трёх до двух (свет из трёхмерной сцены преобразуется в двумерное изображение). Поэтому каждый пиксель на полученном изображении соответствует лучу света исходной сцены, соответственно во время калибровки камеры происходит поиск соответствия между трёхмерными точками сцены и пикселями изображения.

В случае идеальной камеры-обскуры для задания такого соответствия достаточно одной матрицы проекции. Однако в случае более сложных камер искажения, вносимые линзами, могут сильно повлиять на результат. Таким образом, функция проецирования принимает более сложный вид и часто записывается как последовательность преобразований, например:

$$x = I \cdot \text{Dist}(E \cdot X),$$

где $X = [x_w \quad y_w \quad z_w \quad 1]^T$ – координаты исходной точки сцены;

$x = [u \quad v \quad 1]$ – координаты пикселя на изображении;

$E = \begin{bmatrix} R & T \\ 0_3^T & 1 \end{bmatrix}$ – матрица внешней калибровки (где R – матрица

поворота 3×3 , T -вектор переноса 3×1 ;

Dist – функция применения дисторсии;

$I = \begin{bmatrix} \alpha_x & \gamma & u_0 \\ 0 & \alpha_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ – матрица внутренней калибровки.

Существует несколько различных подходов к решению задачи калибровки.

1. Классический подход — алгоритм Roger Y. Tsai[16], состоящий из двух этапов, на первом определяются параметры внешней калибровки, на втором — внутренней калибровки и дисторсии.

2. «Гибкая калибровка», предложена в работе [17] и основана на использовании плоского калибровочного объекта в виде шахматной доски (рисунок 3.8).

3. Автоматическая калибровка — получение калибровочных данных непосредственно по изображениям, без использования специальных калибровочных объектов[18].

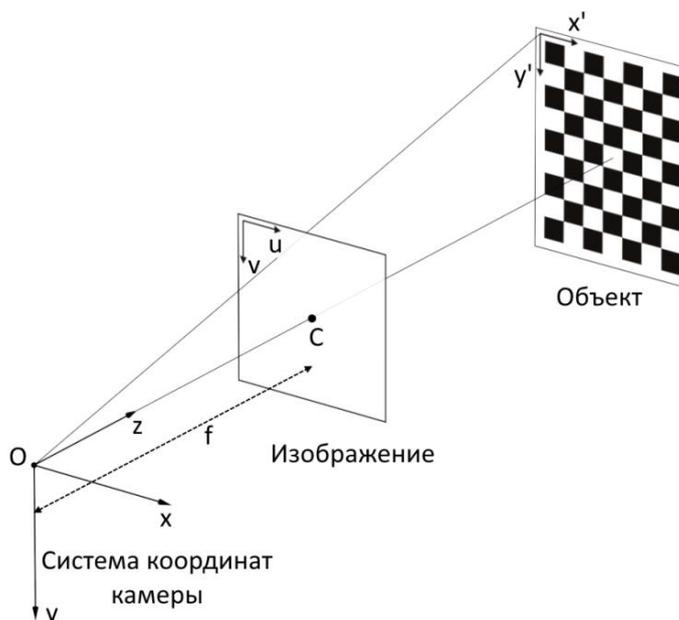


Рисунок 3.8 – Калибровка на основе шахматной доски

В данной работе используется «гибкая калибровка», в силу простоты реализации. Использование шахматной доски возможно благодаря тому, что известно, какие именно у нее точки – можно посмотреть, в какие точки они перешли на изображении.

Если много раз показать этот шаблон камере, то можно увидеть, куда проецируются точки, следовательно, можно установить эти параметры.

В результате возникает задача оптимизации. Известны трехмерные координаты углов (можно измерить размеры квадрата и записать трехмерные координаты шахматной доски), можно протектировать эти уголки на изображении – это стандартная задача. Таким образом, будет соответствие между трехмерной точкой и двухмерной точкой. И нужно будет найти такие параметры, чтобы трехмерные точки переходили именно в эти двухмерные точки. То есть нужно оптимизировать параметры камеры так, чтобы получалась правильная проекция. Для калибровки нужно показывать доску под разными углами (рисунок 3.9) ее можно поворачивать, ее нужно показать во всех частях камеры для того, чтобы надежно установить ее параметры.

Потому что если показывать шаблон в одной и той же позиции в одном углу, то хорошо будет известно, как камера проецирует этот угол, но во всей остальной части изображения все может быть очень плохо.

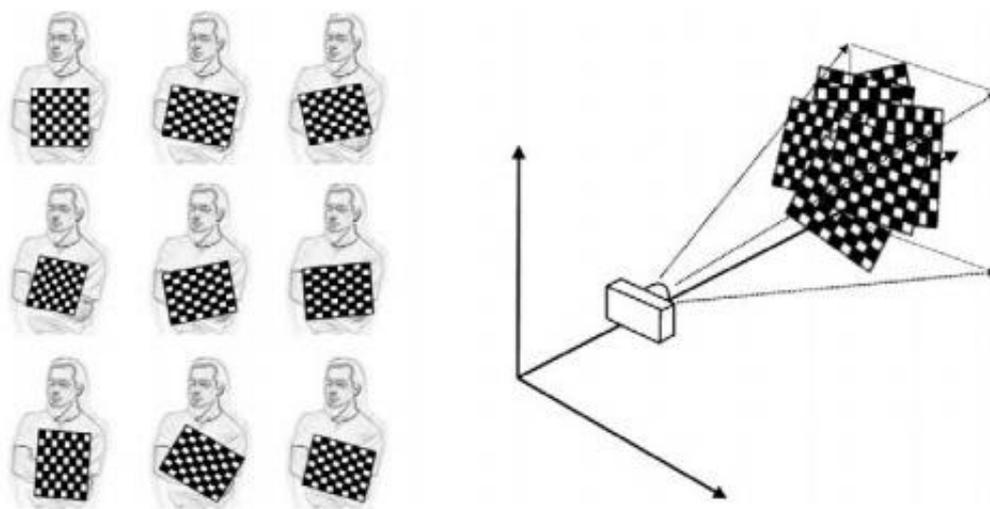


Рисунок 3.9 – Процесс калибровки камеры

Помимо шахматной доски можно использовать и другие шаблоны – например, шаблон из нарисованных кружков, он показывает более точные результаты, потому что центра круга можно найти с большей точностью, чем угол шахматной доски. Соответственно, калибрация получается более точной. Можно использовать более сложные шаблоны, например, трехмерные.

В обычных условиях достаточно одной калибровки для одной камеры. Производители камер предоставляют технические данные. Проблема в том, что для одной модели эти параметры будут немножко отличаться. Можно предоставить какие-то параметры по умолчанию и такие камеры существуют, для которых они посчитаны – для модели. Но для конкретной камеры данной модели они могут немного отличаться. Потому что если бы они не отличались, это означало бы, что матрица расположена абсолютно на одном и том же месте, абсолютно такие же линзы. На практике такое невозможно. Всегда будут небольшие отклонения, следовательно, параметры калибрации тоже будут немного другими. Поэтому для более точных параметров необходимо делать калибровку самому. Можно пытаться делать автокалибрацию – снимать камерой обычное изображение – без шаблонов шахматной доски, и при этом пытаться понять, какие у нее внутренние параметры. Автоматически,

без шаблонов, пытаться понять, как она искажает. Но на практике получается, что иногда это работает, иногда это не работает. В алгоритме автокалибровки есть несколько параметров – эти параметры нужно подбирать для того, чтобы запустить алгоритм, потому что при одних параметрах алгоритм работает хорошо, при других работает плохо. В ситуации же с использованием шаблонов с гораздо большей надежностью можно получить хорошую калибровку камеры.

Как было сказано ранее камеры-обскуры приводят к большим искажениям изображений. Двумя основными искажениями являются радиальные искажения(а) и тангенциальные искажения(в) (рисунок 3.10).

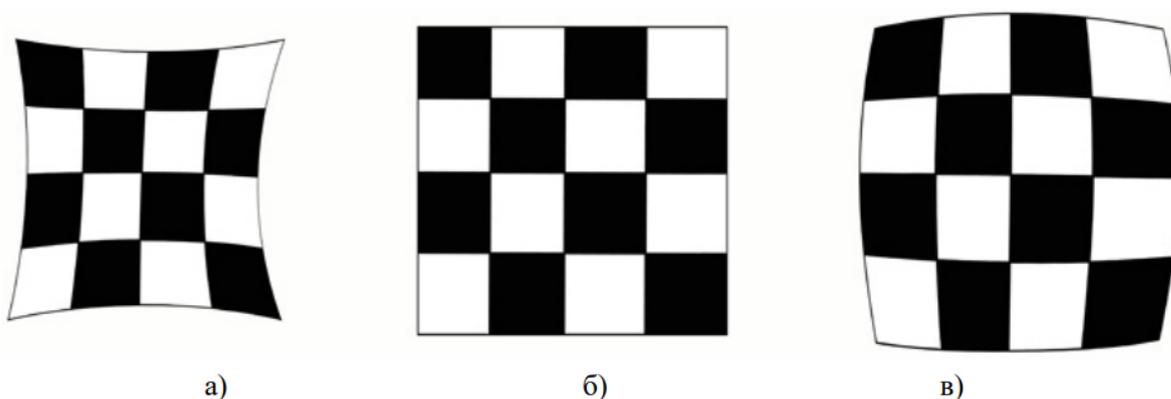


Рисунок 3.10 – Изображение шахматной доски а) тангенциальное искажение
б) неискаженное в) радиальное искажение

Из-за радиального искажения прямые линии будут изогнутыми. Этот эффект будет увеличиваться с удалением от центра изображения. Например, на рисунке 3.11, где два края шахматной доски отмечены красными линиями. Но можно увидеть, что граница не является прямой и не соответствует красной строке. Все ожидаемо прямые линии изогнуты. [19]

Это искажение решается следующим образом:

$$X_{corrected} = x(1 + k_1 \cdot r^2 + k_2 \cdot r^4 + k_3 \cdot r^6)$$

$$Y_{corrected} = y(1 + k_1 \cdot r^2 + k_2 \cdot r^4 + k_3 \cdot r^6)$$

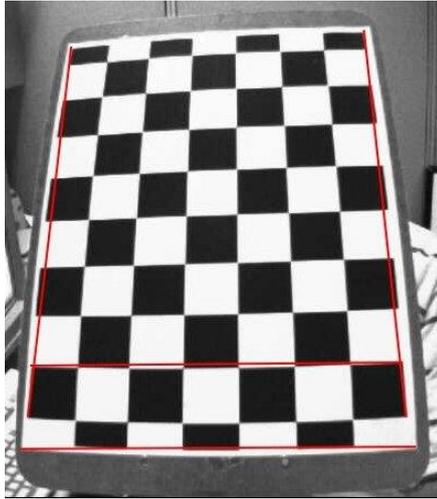


Рисунок 3.11 - Радиальное искажение на шахматной доске

Другим искажением является тангенциальное искажение, которое происходит, потому что съемка изображения не выравнивается идеально параллельно плоскости изображения. Поэтому некоторые области изображения могут выглядеть ближе, чем ожидалось. Оно решается следующим образом:

$$X_{corrected} = x + [2p_1 \cdot x \cdot y + p_2 \cdot (r^2 + 2x^2)]$$

$$Y_{corrected} = yx + [2p_2 \cdot x \cdot y + p_1 \cdot (r^2 + 2y^2)]$$

В итоге, нужно найти пять параметров, известных как коэффициенты искажения, определяемые:

$$Distortion\ coefficients = (k_1, k_2, p_1, p_2, k_3)$$

В дополнение к этому нам нужно найти еще некоторую информацию, например, внутренние и внешние параметры камеры. Внутренние параметры специфичны для камеры. Они включают информацию, такую как фокусное расстояние f_x, f_y , оптические центры c_x, c_y и т. д. Их также называют матрицей камеры. Это зависит только от камеры, поэтому после вычисления она может храниться для будущих целей. Она выражается как матрица 3x3:

$$I = \begin{bmatrix} \alpha_x & \gamma & u_0 \\ 0 & \alpha_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Внешние параметры соответствуют векторам вращения и трансляции, которые переводят координаты трехмерной точки в систему координат.

Для того чтобы корректно производить измерения эти искажения необходимо сначала скорректировать. Чтобы найти все эти параметры, нужно предоставить несколько образцовых изображений четко определенного шаблона (например, шахматной доски).

Как упомянуто выше, нам нужно как минимум несколько тестовых шаблонов для калибровки камеры. Для достижения лучших результатов, как советует сайт разработчиков библиотеки OpenCV необходимо сделать 10 тестовых шаблонов. В результате для камеры №1 было сделано пятнадцать шаблонов (рисунок 3.12), а для камеры №2 десять (рисунок 3.13).

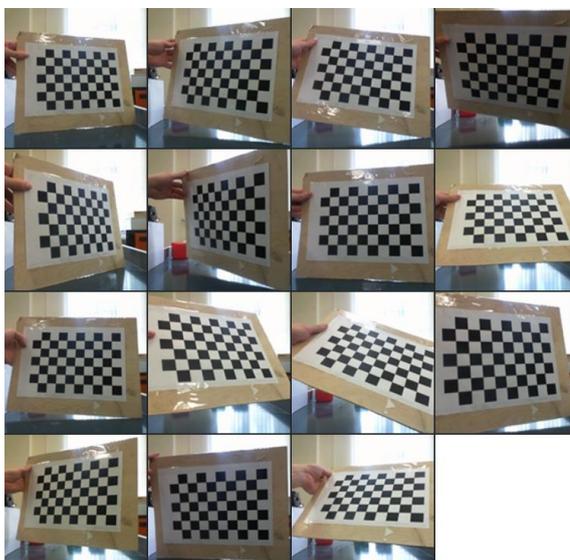


Рисунок 3.12 – Тестовые шаблоны для камеры №1

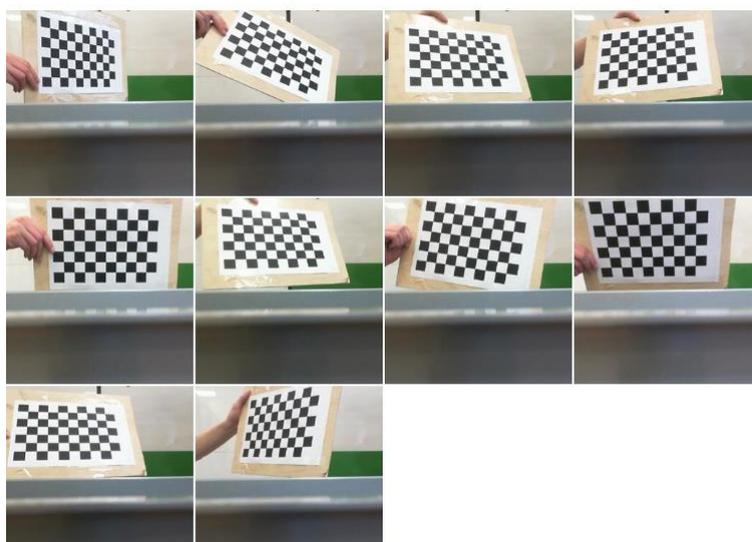


Рисунок 3.13 – Тестовые шаблоны для камеры №2

Важными входными данными, необходимыми для калибровки камеры, являются набор трехмерных точек реального мира и соответствующие им

точки 2D-изображения. 3D-точки называются объектными точками, а точки 2D-изображения называются точками изображения.

Итак, чтобы найти шаблон на шахматной доске, мы используем функцию `cv2.findChessboardCorners()`. Нам также нужно задать, какой тип шахматной сетки используется, в данной работе используется сетка размерностью 6×9 . (обычно шахматная доска имеет 8×8 квадратов и 7×7 внутренних углов). Данная функция возвращает угловые точки, если шаблон был успешно найден. Эти углы будут размещены в порядке (слева направо, сверху вниз). Эта функция может оказаться не в состоянии найти требуемый шаблон во всех изображениях. Поэтому необходимо поочередно проверять каждый шаблон. Как только углы найдены, можно повысить точность их отображения, используя `cv2.cornerSubPix()`. После этого можем нарисовать их на шаблоне, используя `cv2.drawChessboardCorners()`. Все эти шаги включены в код ниже:

```
import numpy as np
import cv2
import glob

# критерий завершения
criteria = (cv2.TERM_CRITERIA_EPS + cv2.TERM_CRITERIA_MAX_ITER, 30, 0.001)

# подготовка точек объекта, к примеру (0,0,0), (1,0,0), (2,0,0) ..., (6,5,0)
objp = np.zeros((6*7,3), np.float32)
objp[:, :2] = np.mgrid[0:7, 0:6].T.reshape(-1,2)

# Массивы для хранения точек объектов и точек изображения со всех изображений.
objpoints = [] # 3d-точки в пространстве реального мира
imgpoints = [] # 2d точки в плоскости изображения.

images = glob.glob('*.jpg')

for fname in images:
    img = cv2.imread(fname)
    gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

    # нахождение углов шахматной доски
    ret, corners = cv2.findChessboardCorners(gray, (6,9), None)

    # добавление точек объектов и изображений (после их уточнения)
    if ret == True:
        objpoints.append(objp)

        cv2.cornerSubPix(gray, corners, (11,11), (-1,-1), criteria)
        imgpoints.append(corners)

    # отрисовка и отображены углов
```

```
cv2.drawChessboardCorners(img, (6,9), corners2,ret)
cv2.imshow('img',img)
cv2.waitKey(500)
```

```
cv2.destroyAllWindows()
```

Один из используемых шаблонов, с успешно найденными углами показан на рисунке 3.14

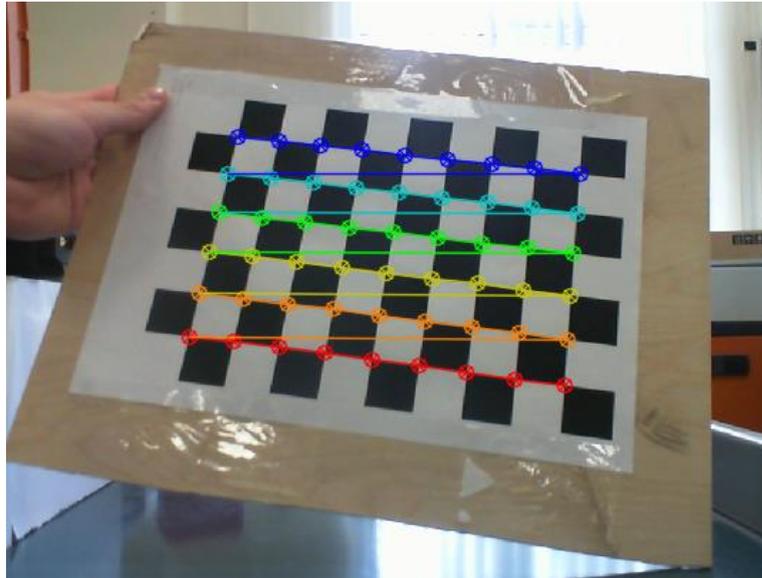


Рисунок 3.14 – Калибровочный шаблон с найденными углами

Итак, теперь у нас есть точки объекта и точки изображения, которые были необходимы для калибровки камеры. В библиотеке OpenCV для калибровки используется функция `cv2.calibrateCamera()`. Она возвращает матрицу камеры, коэффициенты искажения, векторы вращения и трансляции и т. д.

```
ret, mtx, dist, rvecs, tvecs = cv2.calibrateCamera(objpoints, imgpoints,
gray.shape[:-1],None,None)
```

После получение параметров калибровки, можно получить неискаженное изображение. Но до этого сначала нужно уточнить матрицу камеры на основе свободного параметра масштабирования, используя `cv2.getOptimalNewCameraMatrix()`.

Функция вычисляет и возвращает оптимальную новую матрицу камеры на основе параметра свободного масштабирования(α). Изменяя этот параметр, можно получить только чувствительные пиксели $\alpha = 0$, сохранить все исходные пиксели изображения, если есть ценная информация

в углах $\alpha = 1$ или получить что-то среднее между ними. Когда $\alpha > 0$, неискаженный результат, вероятно, будет иметь некоторые черные пиксели, соответствующие «виртуальным» пикселям за пределами захваченного искаженного изображения.

Для примера возьмем одно изображение калибровочного шаблона.

```
img = cv2.imread('left12.jpg')
h, w = img.shape[:2]
newcameramtx, roi=cv2.getOptimalNewCameraMatrix(mtx,dist,(w,h),1,(w,h))
```

В дальнейшем можно получить неискаженное изображение двумя способами, с использованием двух разных функций: `cv2.undistort()` и `remapping`. Первый способ более короткий, так как не требует никаких предварительных подготовок. Во втором случае сначала находится функция отображения из искаженного изображения в неискаженное. Поэтому воспользуемся первым способом.

```
# undistort
dst = cv2.undistort(img, mtx, dist, None, newcameramtx)

# crop the image
x,y,w,h = roi
dst = dst[y:y+h, x:x+w]
cv2.imwrite('calibresult.png',dst)
```

Сравнение искаженного и неискаженного изображения представлено на рисунке 3.15.

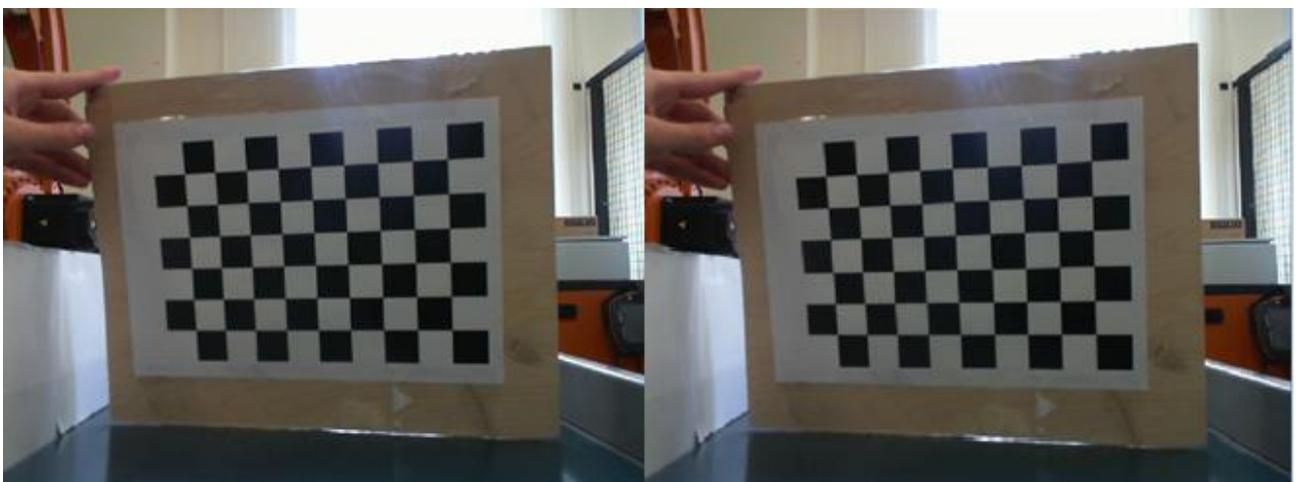


Рисунок 3.15 – Сравнение искаженного(слева) и неискаженного изображений(справа)

На рисунке выше можно заметить, что изображение слегка выровнялось.

Точность измерения параметров камеры (коэффициенты дисторсии, матрица камеры) определяется средней величиной ошибки перепроецирования (ReEr, Reprojection Error). [20] Она изображена на рисунке 3.16 и представляет собой расстояние (в пикселях) между проекцией P' на плоскость изображения точки P на поверхности объекта, и проекцией P'' этой же точки P , построенной после устранения дисторсии с использованием параметров камеры.

Данная ошибка должно быть как можно ближе к нулю. Учитывая матрицы внутреннего, искажения, вращения и трансляции, сначала нужно преобразовать точку объекта в точку изображения, используя `cv2.projectPoints()`. Затем мы вычисляем абсолютную норму между тем, что мы получили с нашим преобразованием и алгоритмом поиска углов.

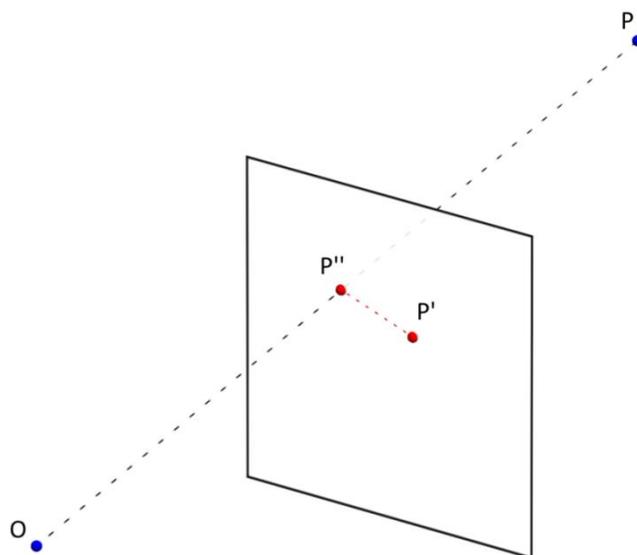


Рисунок 3.16 – Наглядное изображение ошибки перепроецирования

Чтобы найти среднюю ошибку, мы вычисляем среднее арифметическое ошибок для всех калибровочных изображений.

```
mean_error = 0
for i in xrange(len(objpoints)):
    imgpoints2, _ = cv2.projectPoints(objpoints[i], rvecs[i], tvecs[i], mtx, dist)
    error = cv2.norm(imgpoints[i],imgpoints2, cv2.NORM_L2)/len(imgpoints2)
    tot_error += error

print "total error: ", mean_error/len(objpoints)
```

Теперь можно хранить матрицу камеры и коэффициенты искажения, используя функции записи в Numpy (`np.savez`, `np.savetxt` и т. Д.) Для использования их в дальнейшем. Это означает что внутренние параметры камеры не нужно каждый раз заново пересчитывать, для определенной модели они постоянны.

4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

4.1 Цветовые пространства

Цветовое пространство – модель представления цвета, основанная на использовании цветовых координат. Цветовое пространство строится таким образом, чтобы любой цвет был представлен точкой, имеющей определённые координаты. [21]

Чаще всего для хранения цифровых изображений используется цветовое пространство RGB. В нем каждой из трех осей (каналов) присваивается свой цвет: красный, зеленый и синий. На каждый канал выделяется по 8 бит информации, соответственно, интенсивность цвета на каждой оси может принимать значения в диапазоне от 0 до 255. Все цвета в цифровом пространстве RGB получаются путем смешивания трех основных цветов.

К сожалению, RGB не всегда хорошо подходит для анализа информации. Эксперименты показывают, что геометрическая близость цветов достаточно далека от того, как человек воспринимает близость тех или иных цветов друг к другу.

Но существуют и другие цветовые пространства. Весьма интересно в нашем контексте пространство HSV.

В нем присутствует:

- ось *Value*, обозначающая количество света. На него выделен отдельный канал, в отличие от RGB, где это значение нужно вычислять каждый раз. Фактически, это черно-белая версия изображения, с которой уже можно работать;
- ось *Hue* представляется в виде угла и отвечает за основной тон;
- ось *Saturation* (расстояние от центра к краю) зависит насыщенность цвета.

HSV гораздо ближе к тому, как мы представляем себе цвета. Если показать человеку в темноте красный и зеленый объект, он не сможет

различить цвета. В HSV происходит то же самое. Чем ниже по оси V мы продвигаемся, тем меньше становится разница между оттенками, так как снижается диапазон значений насыщенности. На схеме это выглядит как конус, на вершине которого предельно черная точка, как показано на рисунке 4.1.

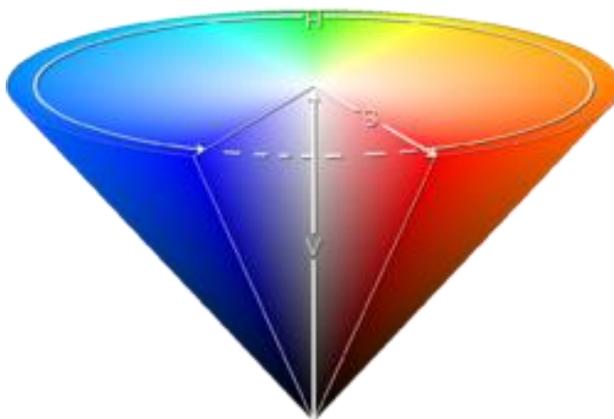


Рисунок 4.1 – Коническое представление модели HSV

Формулы перевода из RGB в HSV представлена на рисунке 4.2

$$\begin{aligned} & \hat{H} \in [0, 360); \quad S, V, R, G, B \in [0, 1]; \quad \text{MAX} = \text{MAX}(R, G, B); \quad \text{MIN} = \text{MIN}(R, G, B); \\ & H = \begin{cases} 0, & \text{если } \text{MAX} = \text{MIN}; \\ 60 \times \frac{G - B}{\text{MAX} - \text{MIN}} + 0, & \text{если } \text{MAX} = R \text{ и } G \geq B; \\ 60 \times \frac{G - B}{\text{MAX} - \text{MIN}} + 360, & \text{если } \text{MAX} = R \text{ и } G < B; \\ 60 \times \frac{B - R}{\text{MAX} - \text{MIN}} + 120, & \text{если } \text{MAX} = G; \\ 60 \times \frac{R - G}{\text{MAX} - \text{MIN}} + 240, & \text{если } \text{MAX} = B; \end{cases} \\ & S = \begin{cases} 0, & \text{если } \text{MAX} = 0; \\ 1 - \frac{\text{MIN}}{\text{MAX}}, & \end{cases} \\ & V = \text{MAX}. \end{aligned}$$

Рисунок 4.2 – Формулы перевода в HSV

4.2 Поиск объекта по цвету

Самый распространённый способ выделить объект — это цвет.

Цвет — это свойство тел отражать или испускать видимое излучение определенного спектрального состава и интенсивности. [22] Везде и всюду нас окружают цветовые индикаторы. Светофоры, белые и жёлтые линии дорожной разметки, корпоративные цвета продуктов, дорожные указатели и

различные индикаторы. Например, для слабовидящих людей приклеивают жёлтые круги на дверях магазинов (жёлтый – последний цвет, которые они видят), чтобы не перепутать, например, стеклянную витрину со стеклянной дверью.

Так же появляются жёлтые полосы на ступеньках пешеходных переходов. Покрываются жёлтой краской бордюры. Этот цвет один из самых ярких и людям с плохим зрением становится легче ориентироваться в городе. Одной из важных проблем поиска по цвету — это влияние множества факторов. Например, освещённость. Нельзя также забывать, что видимый цвет — это результат взаимодействия спектра излучаемого света и поверхности. Т.е. если белый лист освещать светом красной лампочки, то и лист будет казаться красным.

Выбор цвета для последующего поиска объекта с таким цветом сводится к задаче выделения некоторой целевой области в цветовом пространстве. Предполагается, что искомый объект должен обладать цветами, соответствующими точкам из этой целевой области. Здесь возможны две ситуации:

- целевая область заранее выделяется в цветовом пространстве;
- целевая область определяется указаниями пользователя, например, описывается цветовыми терминами естественного языка человека: “Синий”, “Красный”, “Ярко-желтый”, “Темно-зеленый” и т.п.

Первая ситуация реализуется в случае поиска объектов заранее известных цветов, например, в задачах следования за дорогой, слежения за жестами людей и т.д. Вторая ситуация возникает при взаимодействии с человеком, когда он, например, дает команду роботу в виде фразы «принеси красную кружку». Другой пример – это поиск по базе изображений с указанием цвета объекта или особенностей его цветовой композиции.

Задача построения соответствий между цветовыми терминами естественного языка и областями цветового пространства известна давно. Существует множество методик решения этой задачи.

Одна точка на шкале H определяет двухмерную область с разными значениями S и V (насыщенность и значение). Но подходят не все точки этой области. Например, если выбрано значение H для красного тона, то при $S = 0$ и любом V получаем оттенки, относящиеся к градациям серого, а при малых V и любых S мы получаем очень темные оттенки, близкие к черному цвету. Поэтому для заданного H целевую область в этой двухмерной области определяем условием: $V > V_{\min}$ и $S > S_{\min}$, где V_{\min} , S_{\min} – некоторые константы.

Если ограничиваться только одним значением H , то целевая область будет двухмерной областью, и любые, даже незначительные изменения цветового тона выводят за пределы этой области. Поэтому в общем случае человек выбирает целевой диапазон на шкале H , указывая два значения: H_{\min} и H_{\max} .

При этом для каждого H из диапазона $[H_{\min}, H_{\max}]$ формируется двухмерная область, подобная вышеупомянутой. Таким образом, в качестве целевой области формируется трехмерная область в пространстве HSV. И эта область однозначно определяется выбором только двух значений по шкале H , а именно H_{\min} и H_{\max} .



Рисунок 4.3 – Шкала цветных тонов H модели HSV

Почему было решено выбирать два значения H_{\min} и H_{\max} , а не одно значение H , автоматически определяющее некоторый диапазон допустимых отклонений от этого значения? Глядя на шкалу цветных тонов (H) модели HSV (рисунок 4.3), становится понятным, что величина такого диапазона допустимых отклонений должна быть переменной в зависимости от значения H . Например, диапазон тонов, воспринимаемых в качестве зеленого цвета, шире диапазона тонов, воспринимаемых, как желтый цвет. Кроме того, для разных людей длины этих диапазонов будут отличаться из-за индивидуальных особенностей понимания цветных терминов.

Для определения данных параметров была написана программа, помогающая выделить определенный цвет в кадре.

```
import cv2
import numpy as np

if __name__ == '__main__':
    def nothing(*arg):    pass

cv2.namedWindow( "result" ) # создаем главное окно
cv2.namedWindow( "settings" ) # создаем окно настроек

cap = cv2.VideoCapture(1)
# создаем 6 бегунков для настройки начального и конечного цвета фильтра
cv2.createTrackbar('h1', 'settings', 0, 255, nothing)
cv2.createTrackbar('s1', 'settings', 0, 255, nothing)
cv2.createTrackbar('v1', 'settings', 0, 255, nothing)
cv2.createTrackbar('h2', 'settings', 255, 255, nothing)
cv2.createTrackbar('s2', 'settings', 255, 255, nothing)
cv2.createTrackbar('v2', 'settings', 255, 255, nothing)
crange = [0,0,0, 0,0,0]

while True:
    flag, image = cap.read()
    img=image[320:450, 0:640]
    #боковая камера
    #img=image[120:290, 70:590]
    #img=image[0:480,0:640]
    hsv = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2HSV )

    # считываем значения бегунков
    h1 = cv2.getTrackbarPos('h1', 'settings')
    s1 = cv2.getTrackbarPos('s1', 'settings')
    v1 = cv2.getTrackbarPos('v1', 'settings')
    h2 = cv2.getTrackbarPos('h2', 'settings')
    s2 = cv2.getTrackbarPos('s2', 'settings')
    v2 = cv2.getTrackbarPos('v2', 'settings')

    # формируем начальный и конечный цвет фильтра
    h_min = np.array((h1, s1, v1), np.uint8)
    h_max = np.array((h2, s2, v2), np.uint8)

    # накладываем фильтр на кадр в модели HSV
    thresh = cv2.inRange(hsv, h_min, h_max)
    #edges = cv2.Canny(thresh,100,200)

    cv2.imshow('result',thresh)
    cv2.imshow('original',image)

    cv2.imshow('result1', img)

    ch = cv2.waitKey(5)
    if ch == 27:
        break
```

Благодаря написанной программе была найдена маска для каждого цвета изделия по изображения с камеры №1. Результатом работы данной программы представлен на рисунках 4.4 -4.7.



Рисунок 4.4 – Исходное изображение сцены

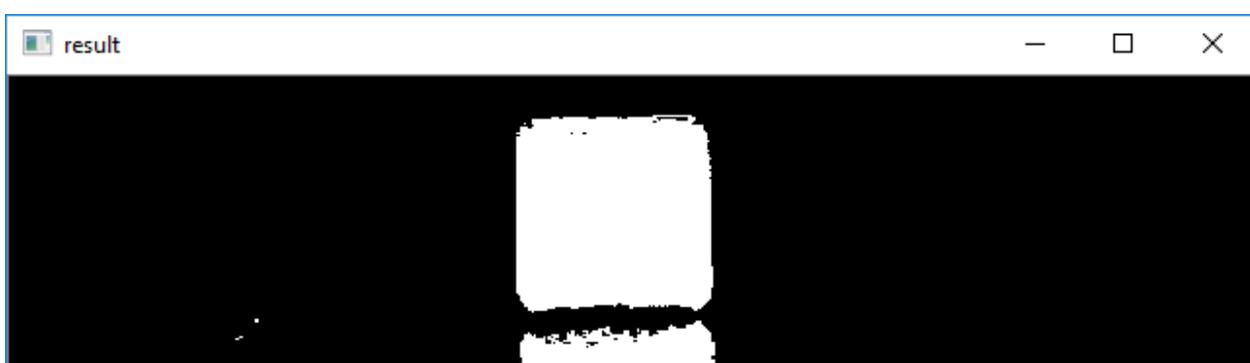


Рисунок 4.5 – Полученная маска для синнего цвета

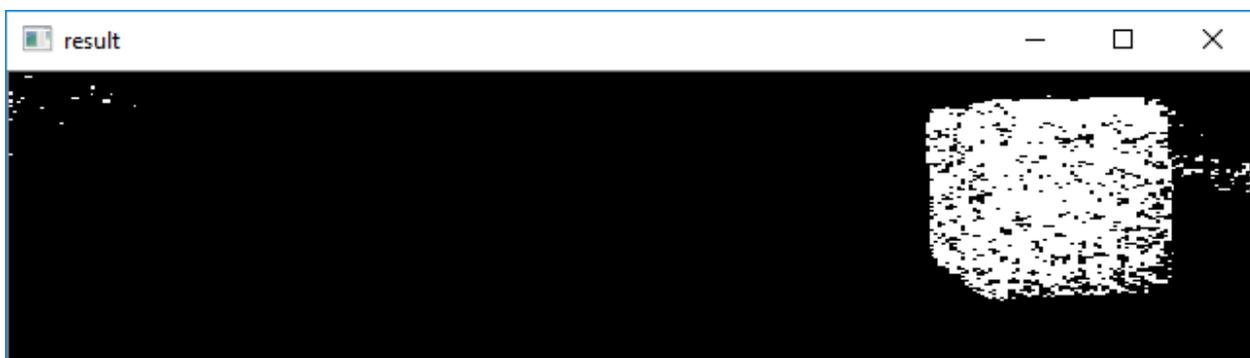


Рисунок 4.6 – Полученная маска для красного цвета

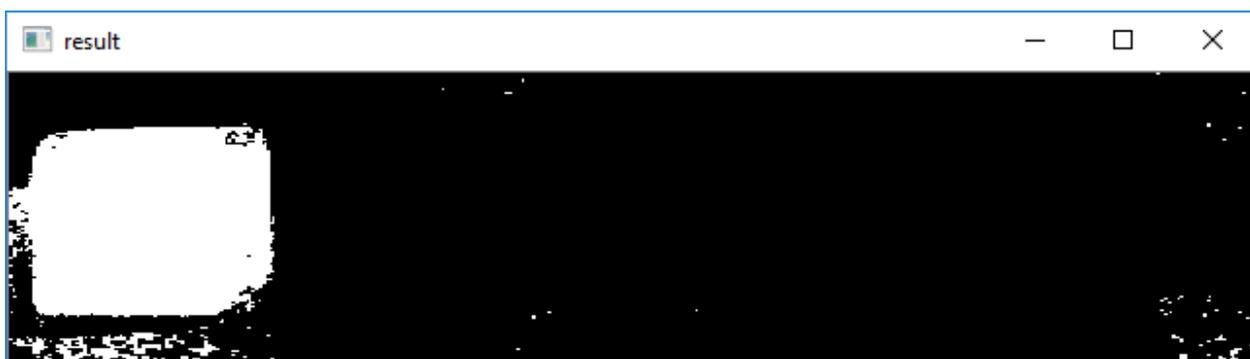


Рисунок 4.7 – Полученная маска для зеленого цвета

Камера №2 служит для определения цвета изделия, которое достигается за счет белого заднего фона поэтому для нее была вычислена маска всех трех цветов. (рисунок 4.8)

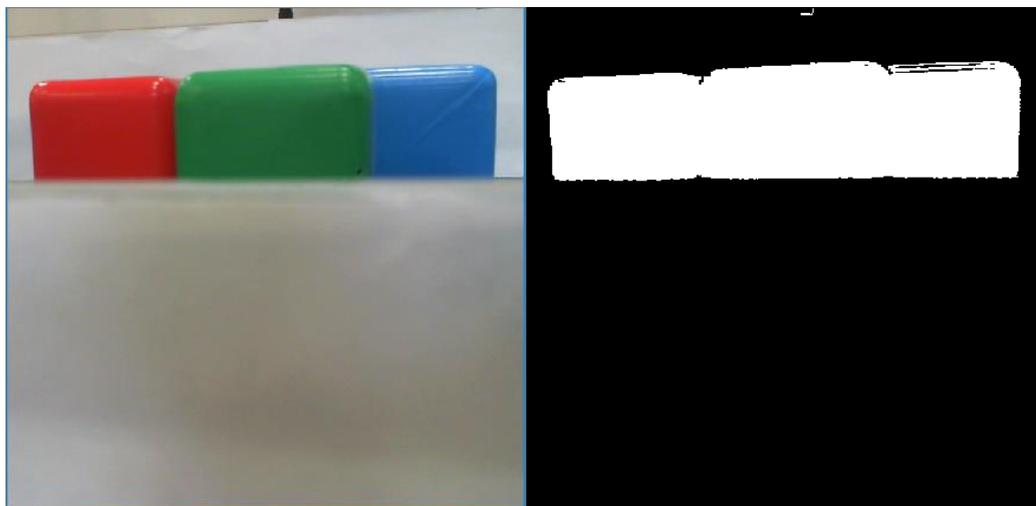


Рисунок 4.8 – Маска для вычета белого фона с изображения камеры №2

По полученным значениям можно программно выделить объект нужного цвета, используя функцию для выборки тех пикселей изображения, которые лежат в заданном интервале значений. Это функция `inRange` (`Mat src`, `Mat/Scalar lower`, `Mat/Scalar upper`, `Mat dst`), она проводит поэлементную проверку элементов массива (пикселей) и проверяет, лежат ли значения массива между значениями элементов двух других массивов или скаляров.

Формула:

$$dst(idx) = lower(idx) \leq src(idx) < upper(idx)$$

Где: 1. `src` – исходный массив

2. `lower` – массив или скаляр с нижней границей (включая), если это скаляр (`Scalar (x, y, z)`), то пиксели, значения которых ниже, чем `x`, `y` и `z` для `HUE`, `SATURATION` и `VALUE` считаются черными пикселями в результирующем изображении `dst`;

3. `upper` – массив или скаляр с верхней границей (не включая), если это скаляр (`Scalar (x, y, z)`), то пиксели, значения которых выше или равны `x`, `y` и `z` для `HUE`, `SATURATION` и `VALUE` считаются черными пикселями в результирующем изображении `dst`;

4. dst – массив для хранения результата

Результат этого преобразования такой же, как и в предыдущей программе, черно-белое изображение с выделенными объектами, которые подходят под заданные в аргументах условия.

4.3 Контурный анализ

Контурный анализ – это один из важных и очень полезных методов описания, распознавания, сравнения и поиска графических образов (объектов). [23] Контур – это внешние очертания объекта. При проведении контурного анализа:

- полагается, что контур содержит достаточную информацию о форме объекта;

- внутренние точки объекта во внимание не принимаются. Поэтому накладывается ряд ограничений на область применения контурного анализа, которые, в основном, связаны с проблемами выделения контура на изображениях:

- из-за одинаковой яркости с фоном объект может не иметь чёткой границы, или может быть зашумлён помехами, что приводит к невозможности выделения контура (успешное применение только при чётко выраженном объекте на контрастном фоне и отсутствии помех);

- перекрытие объектов или их группировка приводит к тому, что контур выделяется неправильно и не соответствует границе объекта.

Среди методов получения двоичного изображения можно выделить, например, пороговое преобразование или выделение объекта по цвету, которые были описаны ранее.

После любого из преобразований получается бинарное изображение, которое однозначно задаёт границы объекта. Совокупность пикселей, составляющих границу объекта и есть контур объекта.

Чтобы оперировать полученным контуром, его необходимо как-то представить (закодировать). Например, указывать вершины отрезков, составляющих контур.

Библиотека OpenCV реализует удобные методы для детектирования и манипуляции с контурами изображения. Для поиска контуров на двоичном изображении используется функция `findContours`. Данная функция может находить внешние и вложенные контуры и определять их иерархию вложения. Отобразить найденные контуры можно с помощью функции `drawContours`.

Дополнительные полезные функции: `boundingRect` – возвращает прямоугольник, которым можно обвести контур. Функция возвращает прямоугольник, у которого стороны строго вертикальны и горизонтальны. Существуют также и другие функции, которые часто используются, например, `minAreaRect2()`, которая возвращает минимально возможный прямоугольник, которым можно обвести контур, но который может быть повернут относительно системы координат изображения на определенный угол.

4.4 Алгоритм работы программы и её реализация

Для определения центра изделия с двух камер был разработан алгоритм работы программы. Суть заключается в следующем:

1. Кубик движется по конвейеру и при попадании в кадр камеры №2, благодаря вычитанию белого фона находится его контур. Как только центр изделия попадает в центр кадра, конвейер останавливается и определяется цвет преобладающий в полученном контуре.

2. После этого начинается работа с изображением камеры №1. Так как цвет изделия определен, то применяется конкретная маска цвета для определения контура кубика и нахождения его центра.

Его программная реализация представлена ниже:

```
import numpy as np
import imutils
import cv2
from matplotlib import pyplot as plt
cap = cv2.VideoCapture(0)
```

```

#листбумаги
cap1 = cv2.VideoCapture(2)
color_blue = (255,0,0)
color_yellow = (0,255,255)
min_val, max_val = 232.75, 257.25
lower_paper = np.array([0,66,0])
upper_paper = np.array([255,255,229])
lower_conv = np.array([0,0,0])
upper_conv = np.array([0,0,0])

def contour(image,mincolor,maxcolor,title):
    hsv = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2HSV)
    thresh= cv2.inRange(hsv, mincolor, maxcolor)
    blur = cv2.blur(thresh,(5,5))
    _, contours, hierarchy = cv2.findContours( blur.copy(),
                                              cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_NONE)
    c = max(contours, key=cv2.contourArea)
    rect = cv2.minAreaRect(c) # пытаемся вписать прямоугольник
    box = cv2.boxPoints(rect) # поиск четырех вершин прямоугольника
    box = np.int0(box) # округление координат
    cv2.drawContours(image,[box],0,(255,0,0),2)
    imggray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    mask = np.zeros(imggray.shape,np.uint8)
    cv2.drawContours(mask,[c],0,255,-1)
    mean_val = cv2.mean(image,mask = mask)
    M = cv2.moments(c)
    cx = int(M['m10']/M['m00'])
    cy = int(M['m01']/M['m00'])
    cv2.imshow(title, image)
    return cx,mean_val

# load the image, convert it to grayscale, and blur it slightly
while (1):
    ret,image = cap.read()
    img=image[120:290, 70:590]
    #cv2.imshow('test', img)
    X,mean_val=contour(img,lower_paper,upper_paper,'camera1')

    if min_val <= X <= max_val:
        cv2.putText(img, "Hello world!", (X,155),
                   cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1, color_yellow, 2)

        if mean_val[2]>120:
            lower_conv = np.array([0,93,45])
            upper_conv = np.array([5,255,255])
        elif mean_val[0]>120:
            lower_conv = np.array([89,122,44])
            upper_conv = np.array([140,255,255])

        elif mean_val[1]>90:
            lower_conv = np.array([51,87,7])
            upper_conv = np.array([72,255,255])

        _,img1 = cap1.read()
        frame=img1[320:450, 0:640]
        Y,_=contour(frame,lower_conv,upper_conv,'camera2')
        #print(X,Y)

    k = cv2.waitKey(5) & 0xFF
    if k == 27:
        break

```

```
cap.release()  
cap1.release()  
cv2.destroyAllWindows()
```

Результатом работы данной программы представлен на рисунках 4.9 -4.11.

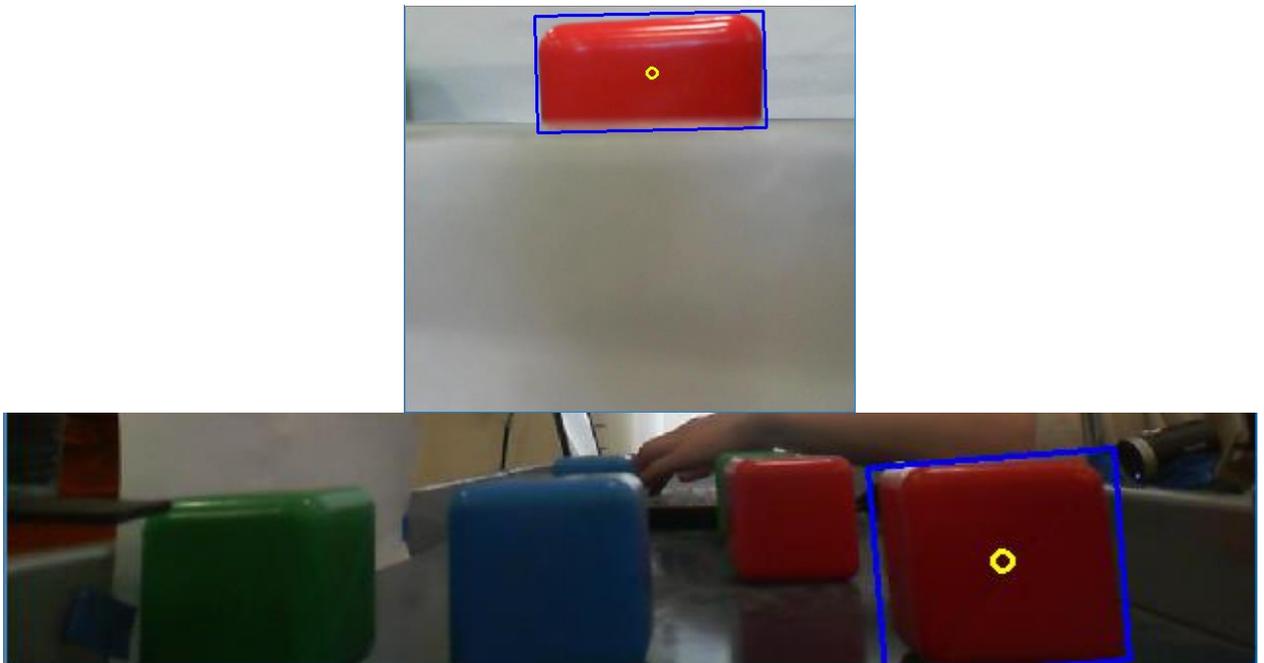


Рисунок 4.9 – Нахождение двух центров красного кубика

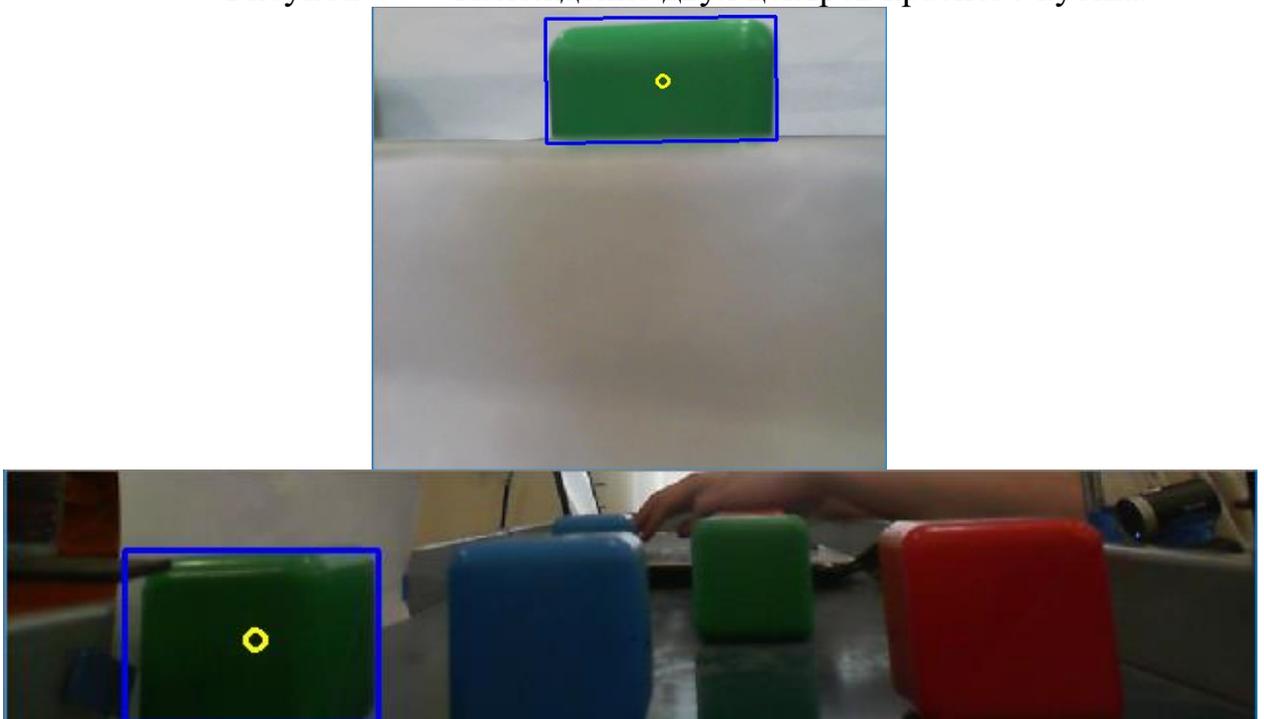


Рисунок 4.10 – Нахождение двух центров зеленого кубика

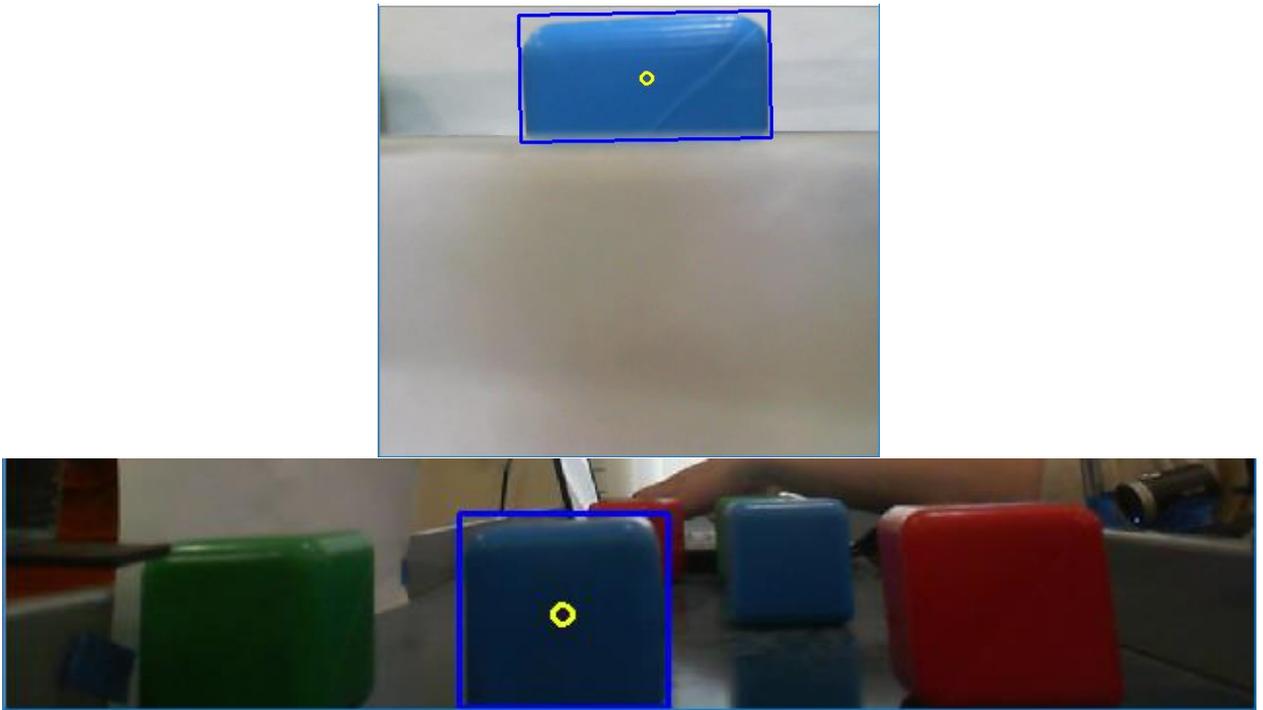


Рисунок 4.11 – Нахождение двух центров синего кубика

4.5 Преобразование координат изделия в координатную систему работа

Рассмотрим две системы координат: систему координат $OXYZ$ (манипулятор) с осями OX , OY , OZ и систему $OUVW$ (камера) с осями OU , OV , OW . (рисунок 4.12)

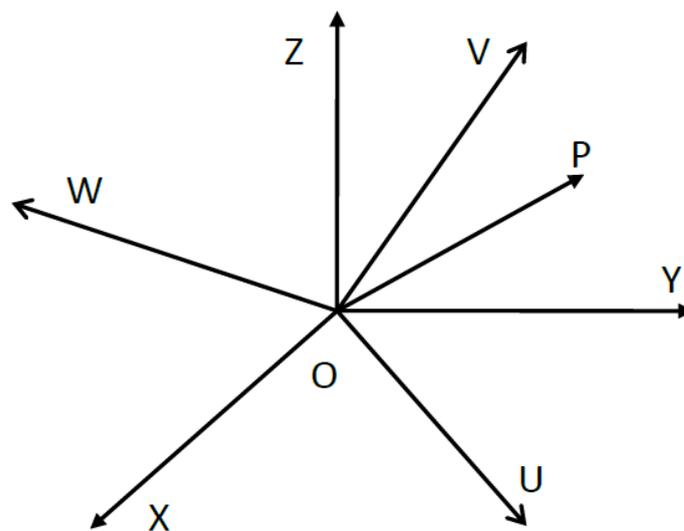


Рисунок 4.12 – Системы координат камеры и манипулятора

Однородная матрица преобразования представляет собой матрицу размерностью 4x4, которая преобразует вектор, выраженный в однородных координатах, из одной системы отсчета в другую. [24] Однородная матрица преобразования может быть разбита на четыре подматрицы:

$$T = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & P_{3 \times 3} \\ f_{3 \times 3} & s_{3 \times 3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Поворот} & \text{Сдвиг} \\ \text{Преобразование перспективы} & \text{Масштабирование} \end{bmatrix}$$

Верхняя левая подматрица размерностью 3x3 представляет собой матрицу поворота; верхняя правая подматрица размерностью 3x1 представляет собой вектор положения начала координат повернутой системы отсчета относительно абсолютной; нижняя левая матрица размерностью 1x3 задает преобразование перспективы; четвертый диагональный элемент является глобальным масштабирующим множителем. Однородная матрица преобразования позволяет выявить геометрическую связь между связанной системой отсчета OUVW и абсолютной системой OXYZ.

Если вектор P трехмерного пространства выражен в однородных координатах (т.е. $P = (p_x, p_y, p_z)^T$), то, используя понятие матрицы преобразования, можно сформировать однородную матрицу преобразования задающую преобразование поворота вокруг вектора k на угол Q и имеющую размерность 4x4. Однородная матрица поворота получается соответствующим расширением обычной матрицы поворота, имеющей размерность 3x3.

Так однородное преобразование, описывающее поворот вокруг оси X на угол β будет иметь вид:

$$ROT(k, Q) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\beta & -\sin\beta & 0 \\ 0 & \sin\beta & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Поворот вокруг оси Y на угол β будет иметь вид:

$$ROT(k, Q) = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\beta & \sin\beta & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Поворот вокруг оси Z на угол β будет иметь вид:

$$ROT(k, Q) = \begin{bmatrix} \cos\beta & -\sin\beta & 0 & 0 \\ \sin\beta & \cos\beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Верхняя правая подматрица однородной матрицы преобразование, имеющая размерность 3×1 , задает параллельный перенос системы координат $OUVW$ относительно абсолютной системы $OXYZ$ на вектор $(dx, dy, dz)^T$.

$$TRANS = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & dx \\ 0 & 1 & 0 & dy \\ 0 & 0 & 1 & dz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Эта матрица размерностью 4×4 называется однородной матрицей элементарного сдвига.

Правая нижняя подматрица однородной матрицы преобразования размерностью 1×1 определяет глобальное преобразование масштаба

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ s \end{bmatrix},$$

где $s > 0$. Таким образом, четвертый диагональный элемент однородной матрицы преобразования определяет глобальное сжатие координат, если $s > 1$, и растяжение, если $0 < s < 1$.

Левая нижняя подматрица однородной матрицы преобразования размерностью 1×3 определяет преобразование перспективы. Действие ее эквивалентно эффекту линзы.

4.6 Распознавание QR кода

Понятие “QR код” (Quick Response code) возникло впервые в 1994 году в Японии [25].

Этот стандарт штрих-кодов был разработан и представлен компанией “Denso-Wave” для отслеживания разных стадий производства продукции Toyota на своих предприятиях. В скором времени этот стандарт получил большую популярность среди рекламных и маркетинговых компаний, так как QR коды сделали процесс взаимодействия человека с объектом интерактивнее.

Простота и популярность QR кодов сделали возможным использование этих двухмерных штрихкодов во всех сферах человеческой жизни, а также промышленности.

QR код представляет из себя матричный (двухмерный) штрихкод, который позволяет зашифровать гораздо больше информации, по сравнению с обычными одномерными штрих-кодами (например, “EAN/UPC”, “Code 128”), а также позволяют хранить различные типы данных (числа, символы, иероглифы, а так же смешанные типы данных). Этот стандарт штрих-кодов получил большую популярность благодаря тому, что процесс распознавания не требует специального сканирующего оборудования такого, как специальный сканирующий луч, и может быть распознан при помощи любой камеры и установленного декодирующего программного обеспечения на устройстве

Ниже приведен алгоритм обнаружения QR кода, реализованный с помощью библиотек Pyzbar[26] и OpenCV. Алгоритм распознавания представляет из себя[27]:

- 1) Получение изображение с веб-камеры или из файла
- 2) Перевод изображения из цветного в изображение, состоящее из оттенков серого
- 3) Бинаризация изображения, состоящего из оттенков серого цвета
- 4) Разметка изображения на обособленные области (блобы)
- 5) Обработка получившихся областей (вычисление числовых и геометрических характеристик)
- 6) Фильтрация полученных областей
- 7) Поиск областей, которые по характеристикам с большей вероятностью похожи на обязательные метки позиционирования на QR коде
Метка позиционирования - область QR кода, образованная тремя вложенными квадратами с отношением сторон 7:5:3 (рисунок 4.13).

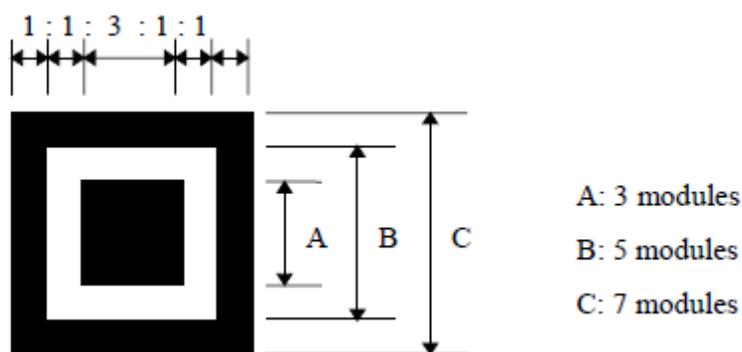


Рисунок 4.13 – Метка позиционирования QR кода

- 8) Выбор трех наиболее вероятных областей.
- 9) Анализ расположения QR кода на изображении
- 10) Выделение QR кода из всего изображения, для последующей обработки
- 11) Определение необходимых преобразований
- 12) Применение необходимых преобразований к QR коду
- 13) Декодирование QR кода с помощью алгоритма, описанного в спецификации ISO/IEC 18004 Информационная технология - Автоматическая идентификация и сбор данных - Символика штрихового кода – QR Код [28].
- 14) При удачном завершении этапа декодирования, вывод на экран закодированной информации

Листинг программы по разнованию QR кода представлен ниже:

```

from pyzbar.pyzbar import decode
import numpy as np
import cv2
color_yellow = (0,255,255)
img=cv2.imread('1.jpg')
a=decode(img)
cv2.rectangle(img,(a[0].rect[0],a[0].rect[1]),
(a[0].rect[0]+a[0].rect[2],a[0].rect[1]+a[0].rect[3]),(0,255,0),3)
qrcode=a[0].data.decode('utf-8')
cv2.circle(img, (a[0].rect[0],a[0].rect[1]), 5, color_yellow, 2)
cv2.circle(img, (a[0].rect[0]+a[0].rect[2],a[0].rect[1]+a[0].rect[3]), 5,
color_yellow, 2)
cv2.putText(img, qrcode, (a[0].rect[0],a[0].rect[1]-25),
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1, color_yellow, 2),
print(a)
cv2.imshow('code',img)
cv2.waitKey()
cv2.destroyAllWindows()

```

Наглядное представление работы программы показано на рисунке 4.14, выводится надпись зашифрованной фразы в QR коде.



Рисунок 4.14 – Детектирование QR кода

4.7 Связь технического зрения и системы управления манипулятором

Полученная с помощью технического зрения информация используется для управления роботом в соответствии с одним из двух следующих принципов. Первый базируется на непрерывном (или квазинепрерывном) поступлении видеосигнала обратной связи для коррекции траектории движения рабочего органа робота. По этому принципу действуют сервосистемы, минимизирующие отклонения текущего состояния рабочего органа от желаемого, которое определяется по данным визуального наблюдения за целевым объектом. Второй принцип основан на вводе информации в устройство управления робота дискретными порциями. Каждая такая порция служит для выработки программных движений на очередной интервал времени, в течение которого робот перемещается в следующее целевое положение «вслепую», т. е. без непрерывной визуальной обратной связи.

Каждый из указанных принципов использования видеоинформации для управления роботами имеет свою сферу применения. Так, адаптивные сварочные роботы, визуально определяя стык свариваемых деталей, корректируют движение головки вдоль шва при непрерывном поступлении сигнала обратной связи. Такой способ находит применение при взятии движущихся деталей с конвейера, слежении за полосой, направляющей

движения мобильного робота и т. п. Хотя такие системы несомненно, перспективны, до сих пор намного шире распространены СТЗ, основанные на втором из описанных выше принципов «целуказания». Рассмотрим несколько подробнее методы использования зрительной информации в таких системах. В простейшем случае по результатам работы СТЗ на основании априорно указанных условий принимается решение только о запуске или останове (прерывании) заранее заданной программы действий робота, уходе на ту или иную жесткую подпрограмму, изменении последовательности выполнения команд управляющей программы, полная информация о каждой из которых должна быть внесена в управляющее устройство еще до начала работы робота.

В работе используется передача данных, основанная на втором принципе (рисунок 4.15).

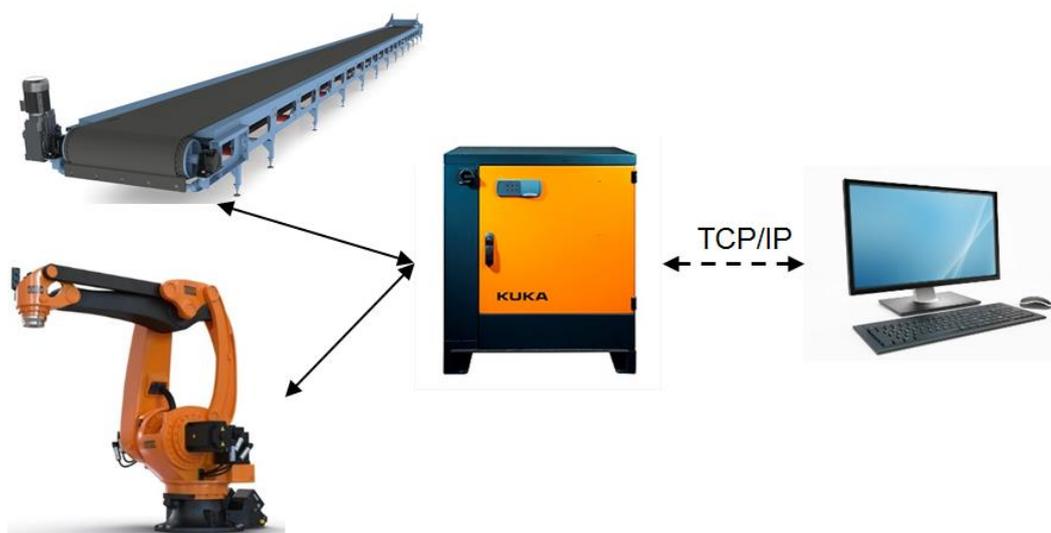


Рисунок 4.15 –Функциональная схема передачи данных

Сотрудниками научного парка было написано приложение клиент-сервер на протоколе TCP/IP связывающее компьютер и контроллер Kuka.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

С развитием научного прогресса безопасность жизнедеятельности человека играет огромную роль на производстве. В соответствии с требованиями безопасности была создана наука, которая помогает обеспечить БЖД. БЖД – это комплекс мероприятий, направленных на обеспечение безопасности человека в окружающей его среде обитания, сохранение его здоровья, разработку методов и средств защиты путём снижения влияния вредных и опасных факторов до допустимых значений, выработку мер по ограничению ущерба в ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций мирного и военного времени.

Социальная ответственность [29] – это ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этическое поведение, которое содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества; учитывает ожидания заинтересованных сторон; соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения; интегрировано в деятельность всей организации и применяется в ее взаимоотношениях.

С каждым годом возрастает интенсивность применения компьютерной техники в сферах жизнедеятельности человека. При работе с компьютером человек подвергается воздействию ряда опасных и вредных производственных факторов: электромагнитных полей, радиочастотному (высоких, ультравысоких и средних частот), инфракрасному излучению, шуму и вибрации, статическому электричеству. Работа с компьютером характеризуется значительным умственным напряжением, высокой напряженностью зрительной работы и большой нагрузкой на кисти рук при работе с периферийными устройствами ЭВМ.

5.1 Техногенная безопасность

5.1.1 Микроклимат

Благоприятные (комфортные) метеорологические условия на производстве являются важным фактором в обеспечении высокой производительности труда и в профилактике заболеваний. При несоблюдении гигиенических норм микроклимата снижается работоспособность человека, возрастает опасность возникновения травм и ряда заболеваний, в том числе профессиональных.

По степени физической тяжести работа инженера-программиста относится к категории лёгких работ. В соответствии с временем года и категорией тяжести работ определены параметры микроклимата согласно требованиям [30] и приведены в Таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Оптимальные параметры микроклимата рабочего места

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °C	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Категория 1а	23-25	40-60	0,1
Теплый	Категория 1а	20-22	40-60	0,1

В зимнее время в помещении предусмотрена система отопления. Она обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В соответствии с характеристикой помещения определен расход свежего воздуха согласно [30] и приведен в Таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Нормы подачи свежего воздуха в помещения, где расположены компьютеры

Характеристика помещения	Объемный расход подаваемого в помещение свежего воздуха
Объем до 20 м ³ на человека	Не менее 30
20...40 м ³ на человека	Не менее 20

5.1.2 Естественная освещенность

Правильное освещение помещений и рабочих зон одно из главных условий создания безопасных и благоприятных условий труда. При недостаточной освещенности развивается утомление зрения, понижается общая работоспособность и производительность труда, возрастает количество брака, повышается опасность производственного травматизма, низкая освещенность способствует развитию близорукости.

Рабочая зона или рабочее место разработчика освещается таким образом, чтобы можно было отчетливо видеть процесс работы, не напрягая зрения, а также исключается прямое попадание лучей источника света в глаза. Кроме того, уровень необходимого освещения определяется степенью точности зрительных работ. Наименьший размер объекта различения составляет 0,5 - 1 мм. В помещении отсутствует естественное освещение. По нормам освещенности [31] и отраслевым нормам, работа за ПК относится к зрительным работам высокой точности для любого типа помещений

Таблица 5.3 – Нормирование освещённости для работы за ПК [31]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Высокой точности	От 0,3	Б	1	Более 70	300	100	40	15	3,0	1,0
	От 0,5		2	Менее 70	200	75	60	20	2,5	0,7

Где:

- 1 - характеристика зрительных работ;
- 2 - наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм;
- 3 - разряд зрительной работы;
- 4 - подразряд зрительной работы;
- 5 - относительная продолжительность зрительной работы, %;
- 6 - освещенность на рабочей поверхности от системы общего искусственного освещения, лк;

- 7 -цилиндрическая освещенность, лк;
- 8-показатель дискомфорта;
- 9-коэффициент пульсации освещенности,
%;
- 10-КЕО при верхнем освещении, %;
- 11-КЕО при боковом освещении, %

Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПК, представлены в таблице 5.4. [32]

Таблица 5.4 – Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПК [32]

Освещенность на рабочем столе	300-500 лк
Освещенность на экране ПК	не выше 300 лк
Блики на экране	не выше 40 кд/м ²
Прямая блесккость источника света	200 кд/м ²
Показатель ослеплённости	не более 20
Показатель дискомфорта	не более 15
Отношение яркости:	
– между рабочими поверхностями	3:1–5:1
– между поверхностями стен и оборудования	10:1
Коэффициент пульсации:	не более 5%

Освещаемая площадь помещения составляет 160 м², количество ламп 24, каждая 2500 люмен. Тогда $E=60000/160=375$ лк. Это является достаточным для выполнения условий, приведенных в таблице 5.4.

5.1.3 Уровень шума

Одним из важных факторов, влияющих на качество выполняемой работы, является шум. Шум ухудшает условия труда, оказывая вредное действие на организм человека. Работающие в условиях длительного шумового воздействия испытывают раздражительность, головные боли, головокружение, снижение памяти, повышенную утомляемость, понижение

аппетита, боли в ушах и т. д. Такие нарушения в работе ряда органов и систем организма человека могут вызвать негативные изменения в эмоциональном состоянии человека вплоть до стрессовых. Под воздействием шума снижается концентрация внимания, нарушаются физиологические функции, появляется усталость в связи с повышенными энергетическими затратами и нервно-психическим напряжением, ухудшается речевая коммутация. Все это снижает работоспособность человека и его производительность, качество и безопасность труда. Длительное воздействие интенсивного шума (выше 80 дБ(А)) на слух человека приводит к его частичной или полной потере.

При выполнении основной работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ. Допустимые уровни звукового давления в помещениях для персонала, осуществляющего эксплуатацию ЭВМ при разных значениях частот, приведены в [33].

Для устранения шума необходимо прочистить вентилятор от пыли или заменить полностью.

5.1.4 Уровень электромагнитных излучений

Энергетическое влияние электромагнитного излучения может быть различной степени и силы. От неощутимого человеком (что наблюдается наиболее часто) до теплового ощущения при излучении высокой мощности, но подобный эффект проявляет себя только при превышении допустимого уровня. Помимо электромагнитного излучения, при работе компьютера образуется электростатическое поле, оно способно деионизировать окружающий воздух. Компьютер, при долгой работе, нагревается, что делает воздух не только слабо ионизированным, но и сухим. Такой воздух является очень вредным, он тяжелый для дыхания и способствует, при благоприятной среде, развитию многих аллергических заболеваний и, соответственно болезней органов дыхания.

В данной выпускной работе будет рассматриваться такой источник электромагнитного поля как персональный компьютер.

По [34] энергетическая экспозиция за рабочий день не должна превышать значений, указанных в таблице 5.5.

Таблица 5.5 –Предельно допустимые значения энергетической экспозиции

Диапазоны частот	Предельно допустимая энергетическая экспозиция		
	По электрической составляющей,	По магнитной составляющей,	По плотности потока энергии
30 кГц - 3 МГц	20000,0	200,0	x
3 - 30 МГц	7000,0	Не разработаны	x
30 - 50 МГц	800,0	0,72	x
50 - 300 МГц	800,0	Не разработаны	x
300 МГц - 300 ГГц	x	x	200,0

Для обеспечения меньшего электромагнитного излучения использован жидкокристаллический монитор. Необходимо учитывать расстояние до монитора, так как при большем расстоянии от человека оказывается меньшее влияние. В связи с тем, что электромагнитное излучение от стенок монитора намного больше, необходимо ограничивать его стенами, т.е. ставить в углу. Необходимо чтобы компьютер был заземлен, а также необходимо по возможности сокращать время работы за компьютером.

5.1.5 Электробезопасность

Даже самая надежная изоляция теряет свои свойства при длительной эксплуатации в сложных производственных условиях. Опасность поражения электрическим током существенно возрастает, если человек находится в помещении с металлическим полом или контактирует с оборудованием, находящимся вблизи заземленных металлических предметов. Согласно разделу 1.1.13 правил устройства электроустановок производственные цеха, торговые и бытовые помещения принято делить на три отдельных класса, характеризующих степень опасности. Рассмотрим каждый из них в отдельности.

Первый класс - "помещения без повышенной опасности"

В данную категорию входят помещения, характеризующиеся пониженной влажностью воздуха (до 75%), оборудованные при необходимости вентиляционной системой и отоплением.

Кроме того, полы в таких помещениях должны быть не токопроводящими. Под понятием токопроводящие полы подразумевают металлические, железобетонные, земляные и т.д. Для причисления производственного цеха в разряд безопасных, его пол следует покрыть диэлектрическим материалом. К наглядным примерам безопасных объектов можно отнести обычные жилые и офисные помещения, кладовые для хранения инструментов, лаборатории, а также производственные цеха приборостроительных предприятий, проект которых изначально предусматривал наличие изолированного пола, мощные воздушные фильтры для устранения пыли и систему регулирования температуры воздуха.

Второй класс - "помещения с повышенной опасностью"

Действующая классификация помещений по опасности поражения электрическим током определяет объект к категории повышенной опасности при наличии в них одного из следующих условий:

- сырость (помещения, с относительной влажностью больше 75 %);
- токопроводящая пыль (постоянное образование пыли с токопроводящими свойствами);
- помещения с токопроводящими полами (наличие железобетонных, металлических, кирпичных и иных типов токопроводящих напольных покрытий);
- высокий уровень температуры (помещения в которых температура постоянно превышает +35⁰С);
- условия (возможность), когда человек может одновременно прикоснуться к металлическим корпусам электрооборудования и к заземленным металлоконструкциям зданий (из примеров можно привести случай, когда человек может взяться одной рукой за батарею отопления - второй за корпус станка).

Третий класс - "особо опасные помещения"

К наиболее опасной категории относятся помещения с высоким уровнем влажности, концентрированной взвесью химически активных веществ в воздухе, а также не менее двух дополнительных факторов из категории помещений повышенной опасности.

- помещения с «особой сыростью» (относительная влажность близка к 100 %). Не путать с пунктом выше;
- помещения, в которых присутствует химическая активность и органическая среда (в следствии отложений приводят к разрушению изоляции электрооборудования);
- два и больше условий из пункта №2 (для помещений с повышенной опасностью).

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

При работе с компьютером существует опасность электропоражения:

- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ПЭВМ);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- имеется опасность короткого замыкания в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развертки.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. По [35] помещение, в котором находится рабочее место, относится к категории помещений без повышенной опасности. Его можно охарактеризовать, как сухое, непыльное, с токонепроводящими полами и нормальной температурой воздуха. Температурный режим, влажность воздуха, химическая среда не способствуют разрушению изоляции электрооборудования.

Безопасность при работе с электроустановками обеспечивается

применением различных технических и организационных мер. Основные технические средства защиты от поражения электрическим током:

- изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль;
- установка оградительных устройств;
- отдельные помещения для манипуляторов;
- предупредительная сигнализация и блокировки;
- защитное заземление;
- зануление;
- защитное отключение по [35].

5.1.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В процессе работы в помещении осуществляется водоснабжение и образование бытовых сточных вод (помещения гигиены и водопотребления) Сточные воды передаются в сточные системы. Для утилизации макулатуры рядом с принтером установлена специальная урна, предназначенная для накопления всех ненужных печатных материалов. После наполнения урны, работник предприятия обязан изыскивать средства для того, чтобы отправить данные накопители бумажного мусора на станцию вторсырья. Далее вся эта бумага идет на переработку как вторичное сырье.

5.2 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

5.2.1 Эргономические требования к рабочему месту

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости(рисунок 5.1):

- дисплей размещается в зоне *a* (в центре);
- системный блок размещается в предусмотренной нише стола;
- клавиатура – в зоне *г/д*;
- «мышь» – в зоне *в* справа;
- сканер в зоне *а/б* (слева);
- принтер находится в зоне *a* (справа);
- документация, необходимая при работе – в зоне легкой досягаемости ладони – *в*, а в выдвижных ящиках стола – литература,

неиспользуемая постоянно.

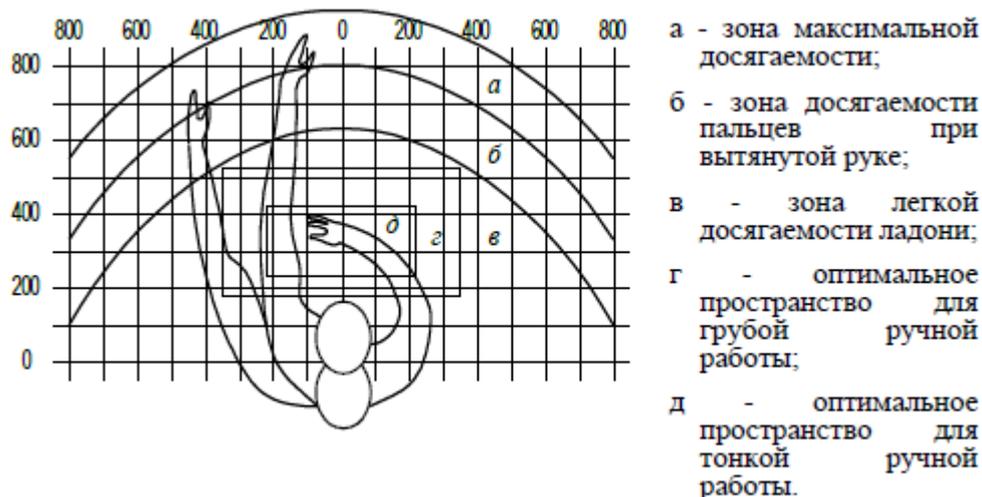


Рисунок 5.1 – зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

На рисунке 5.2 показан пример размещения основных и периферийных составляющих ПК на рабочем столе программиста.

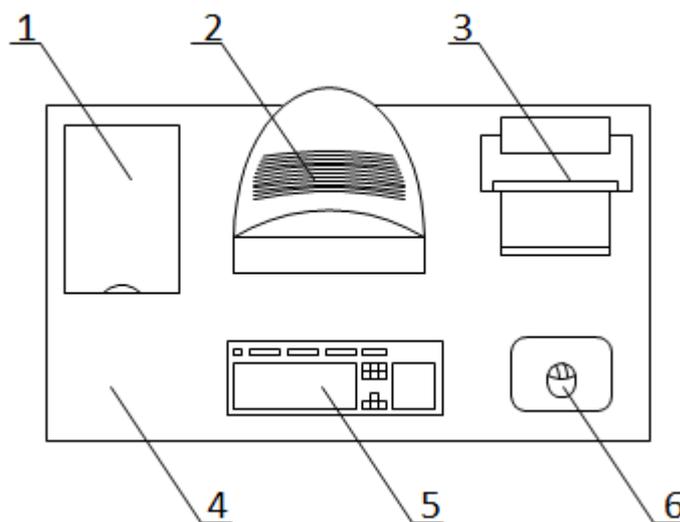


Рисунок 5.2 – Размещение основных и периферийных составляющих ПК.

1 – сканер, 2 – монитор, 3 – принтер, 4 – поверхность рабочего стола,
5 – клавиатура, 6 – манипулятор типа «мышь».

В помещениях, где находится компьютер, необходимо обеспечить следующие величины коэффициента отражения для потолка 60-70, для стен 40-50, для пола около 30.

5.3 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность может быть обеспечена мерами пожарной

профилактики и активной пожарной защиты. Пожарная профилактика включает комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожара или уменьшение его последствий. Активная пожарная защита – меры, обеспечивающие успешную борьбу с пожарами или взрывоопасной ситуацией.

Возникновение пожара в помещении, где установлена вычислительная и оргтехника, приводит к большим материальным потерям и возникновению чрезвычайной ситуации. Чрезвычайные ситуации приводят к полной потере информации и большим трудностям восстановления всей информации в полном объёме.

Согласно нормам технологического проектирования [36], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д.

Данное помещение относится к категории В [29], производства, связанные с обработкой или применением твердых сгораемых веществ и материалов.

Для исключения возникновения пожара необходимо:

- вовремя выявлять и устранять неисправности;
- не использовать открытые обогревательные приборы, приборы кустарного производства в помещении лаборатории;
- определить порядок и сроки прохождения противопожарного инструктажа и занятий по пожарно-техническому минимуму, а также назначить ответственного за их проведения.

В случае возникновения пожара необходимо отключить электропитание, вызвать по телефону пожарную команду, произвести эвакуацию и приступить к ликвидации пожара огнетушителями. При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами с целью прекращения доступа воздуха к объекту возгорания.

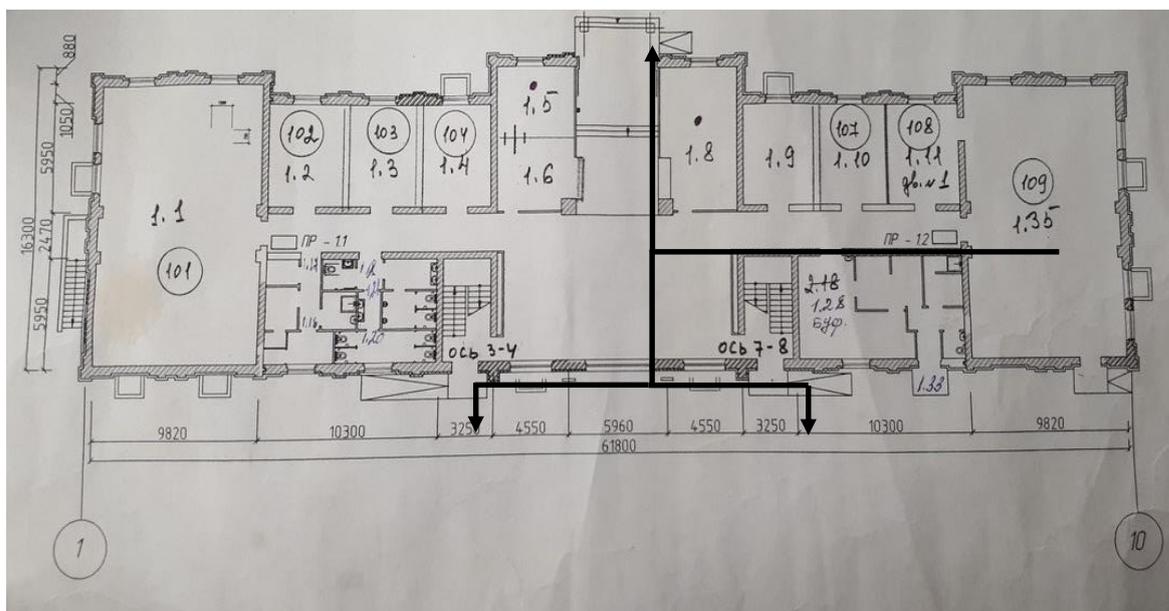


Рисунок 5. 3 – План эвакуации при пожаре и других ЧС из помещений учебного корпуса

Для тушения пожаров в помещении необходимо установить углекислотный огнетушитель типа ОУ-5.

Покидать помещение необходимо согласно плану эвакуации. На рисунке 5.3 изображен план первого этажа Научного парка ТПУ. На первом этаже имеются запасные выходы у лестниц с каждой стороны.

5.4 Особенности законодательного регулирования проектных решений

Государственный надзор и контроль в организациях независимо от организационно-правовых форм и форм собственности осуществляют специально уполномоченные на то государственные органы и инспекции в соответствии с федеральными законами.

К таким органам относятся Федеральная инспекция труда, Государственная экспертиза условий труда Федеральная служба по труду и занятости населения (Минтруда России Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Госгортехнадзор, Госэнергонадзор, Госатомнадзор России) Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Госсанэпиднадзор России) и др.

Так же в стране функционирует Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), положение о которой утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации [37], в соответствии с которым, система объединяет органы управления, силы и средства.

- Продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю.

- не рекомендуется работать за компьютером более 6 часов за смену; рекомендуется делать перерывы в работе за ПК продолжительностью 10 минут через каждые 50 минут работы;

- продолжительность непрерывной работы за компьютером без регламентированного перерыва не должна превышать 2 часов;

- во время регламентированных перерывов целесообразно выполнять комплексы упражнений.

- при нерегламентированной работе повышенной интенсивности возможны головные боли, нервные срывы и др.

6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

6.1 Организация и планирование работ

Для оценки процесса реализации проекта необходимо составить линейный график, исполнителями являются научный руководитель (НР) и студент (С). Для каждого из выделенных этапов определим его исполнителей и долю участия каждого из исполнителей в его выполнении. Полученные результаты сведем в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Перечень выполняемых работ с указанием доли участия исполнителей

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
1. Постановка целей и задач исследования	НР, С	НР – 70% С – 30%
2. Анализ готовых технических решений	НР, С	НР – 30% С – 70%
3 Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, С	НР – 30% С – 70%
4. Изучение основ проектирования и программирования систем компьютерного зрения	С	С – 100%
5. Подбор используемого оборудования	С	С – 100%
6. Разработка календарного плана выполнения работ	НР, С	НР – 20% С – 80%
7. Составление алгоритма работы системы управления	НР, С	НР – 30% С – 70%

8.Выбор методов технического зрения	С	С – 100%
9. Оформление расчетно-пояснительной записки	С	С – 100%
10. Подведение итогов	НР	НР – 100%

Дадим краткое описание каждому из этапов работ с указанием результатов.

Первым этапом является анализ предметной области, с последующими выводами о том, какие цели и задачи нужно поставить. Так же производится четкое распределение нагрузки и обязанностей между научным руководителем и студентом. По окончании изучения всех предложенных материалов, необходимых для достижения поставленной цели, студент просматривает дополнительные источники и предлагает максимально детальный план работ. Данный план корректируется и подтверждается в последствие научным руководителем. Основными пунктами данного плана являются задачи, прописанные предварительно студентом.

Второй этап подразумевает просмотр уже реализованных проектов, в данной области. Сравнение реализованных решений помогает более взвешенно подобрать оборудование, программное обеспечение и выбрать алгоритмы работы системы.

Результатом третьего этапа станут технические требования к разрабатываемой системе управления, в частности к её функционалу. Так же обоснование целесообразности и актуальности разработки.

Результатом выполнения четвертого этапа является глубокое понимание вопроса по изучаемой тематике, подбор нужного материала для исследования, выбор необходимого программного обеспечения и определение направления последующей работы.

Результатом выполнения пятого этапа является подбор необходимого оборудования. В данном случае осуществляется выбор камеры по таким

параметрам, как фокусировка и разрешение объектива.

Результатом выполнения шестого этапа будет календарный план, в котором содержится расписание выполнения всех видов деятельности по достижению цели - разработки технического зрения для системы управления сортировочным роботом.

В седьмом этапе происходит формирование основных концепций и идей, закладываемых в создаваемую систему управления. Результатом выполнения является готовый алгоритм работы системы, который показывает, как происходит взаимодействие методов технического зрения с работой манипулятора.

В восьмом этапе происходит подбор методов технического зрения и связывание их воедино. Результатом выполнения является программная реализация выбранных методов и отладка готовой программы.

Девятый этап направлен на оформление всего изученного, смоделированного и изготовленного материала в текстовом формате для защиты и так же для продолжения исследований в данном направлении.

На десятом этапе студент предоставляет свои результаты на оценку руководителю и получает обратную связь о проделанной им работе.

6.2 Продолжительность этапов работ

Так как отсутствует нормативная база по проводимым работам, а также достоверная информация о процессе выполнения подобных работ иными исполнителями, воспользуемся экспертным способом оценки продолжительности выполнения запланированных работ.

Для этого, полагаясь на собственный опыт, произведем оценку минимального и максимального времени выполнения каждого из этапов. Рассчитаем ожидаемое время выполнения работ, воспользовавшись формулой

$$t_{ожi} = \frac{2 \cdot t_{max} + 3 \cdot t_{min}}{5}$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемое время выполнения i -го этапа работ в чел.-дн.,
 t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.; t_{max} – максимальная

продолжительность работы, дн.

Ожидаемое, минимальное и максимальное время исполнения в предложенной выше формуле, оцениваются в рабочих днях на человека. Произведем перевод этих величин в календарные дни, воспользовавшись следующей формулой:

$$T_{\text{кд}} = T_{\text{к}} \cdot T_{\text{рд}}$$

где $T_{\text{кд}}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях; $T_{\text{к}}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле

$$T_{\text{к}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}}$$

где $T_{\text{кал}}$ – календарные дни ($T_{\text{кал}} = 365$); $T_{\text{вд}}$ – выходные дни ($T_{\text{вд}} = 52$); $T_{\text{пд}}$ –

праздничные дни ($T_{\text{пд}} = 10$).

$$T_{\text{к}} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,48$$

В свою очередь рабочие дни рассчитываются по следующей формуле:

$$T_{\text{рд}} = \frac{t_{\text{ож}}}{K_{\text{вн}}} \cdot K_{\text{д}}$$

$K_{\text{вн}}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних

факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{\text{вн}} = 1$; $K_{\text{д}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{\text{д}} = 1 - 1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Для простоты расчетов примем $K_{\text{д}}$ и $K_{\text{вн}}$, равными единице. Тогда формула для расчета календарных дней преобразуется в следующую:

$$T_{\text{кд}} = T_{\text{к}} \cdot T_{\text{рд}} = t_{\text{ож}} \cdot T_{\text{к}} = \frac{3t_{\text{min}} + 2t_{\text{max}}}{5} \cdot 1.48$$

Воспользовавшись данными из таблицы 4, приведенными выше формулами, произведем расчет продолжительности выполнения работ научным руководителем и студентом в календарных днях. Результаты расчетов представлены в таблице 6.2. На основе данной таблицы составим линейный график работ, представленный в таблице 6.3.

Таблица 6.2 – Расчет трудозатрат на выполнение проекта

Этап	Исполнитель	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	С	НР	С
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Постановка целей и задач исследования	НР, С	2	4	2,8	1,96	0,84	2,9008	1,2432
2. Анализ готовых технических решений (ТЗ)	НР, С	2	4	2,8	0,84	1,96	1,2432	2,9008
3. Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	С	4	7	5,2	1,56	3,64	2,3088	5,3872
4. Изучение основ проектирования и программирования систем	НР, С	40	50	44	0	44	0	65,12
5. Подбор используемого оборудования	НР, С	2	3	2,4	0	2,4	0	3,552
6. Разработка календарного плана выполнения работ	НР, С	2	4	2,8	0,56	2,24	0,8288	3,3152
7. Составление алгоритма работы системы управления	НР, С	10	15	12	3,6	8,4	5,328	12,432
8. Выбор методов технического	НР, С	14	20	16,4	0	16,4	0	24,272
9. Оформление расчетно-пояснительной	С	12	18	14,4	0	14,4	0	21,312
10. Подведение итогов	НР, С	3	5	3,8	3,8	0	5,624	0
Итого:				106,6	12,32	94,28	18,2336	139,5344

Таблица 6.3 – Линейный график работ

Этап	НР	С	Январь			Февраль			Март			Апрель			Май		
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	1120	130	140	150
1	2,91	1,24	■														
2	1,24	2,9	■	■													
3	2,31	5,39	■	■	■												
4	0	65,12		■													
5	0	3,55								■							
6	0,83	3,31								■	■						
7	5,33	12,43									■	■					
8	0	24,27										■					
9	0	21,31												■			
10	5,62	0															■

НР –



С –



6.3 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

Расчет затрат для выполнения комплекса работ по проекту

производится по следующим статьям:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию;
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные) расходы.

В процессе выполнения работ по проекту исполнителям не требуется производить оплату услуг сторонних организаций, так как они являются подразделениями и/или подрядными организациями ТПУ, а также нет необходимости производить оплату за аренду имущества. Исполнители также не производят оплату командировок, услуг связи. Таким образом, касательно проекта, необходимо произвести расчет материалов и покупных изделий, заработную плату исполнителей, социальный налог, расходы на электроэнергию, амортизацию и накладные расходы.

6.3.1 Расчет затрат на материалы и покупные изделия

Работа над проектом заключается в проведении теоретических исследований в своем начале и практических – в конце. Для теоретических исследований необходимо наличие программной среды Python 3.6, библиотеки компьютерного зрения OpenCV, MS Office. Первые два продукта распространяются бесплатно, а лицензия на MS Office приобретена ТПУ и доступна в открытом доступе для студентов, следовательно, затраты на использование данных программ не учитываются. Так как затрат на все

программное обеспечение удалось избежать, то материальные затраты в данной части состоят только из расходов на канцелярские принадлежности и расходные материалы для принтера.

При проведении практических исследований необходимо было произвести закупку такого оборудования, как манипулятор и цифровая камеры.

Данное оборудование уже было в стенах ТПУ, и было предоставлено для использования, поэтому материальных затрат на закупку оборудования тоже удалось избежать. Единственной тратой была покупка изделий для сортировки, а конкретно детских кубиков.

В материальные затраты также входят транспортно-заготовительные расходы (ТЗР), которые обуславливаются затратами на совершение сделок купли-продажи материалов, их доставку к месту использования. Обычно ТЗР составляют от 5% до 20% от общей цены материалов. Положим норму ТЗР равной 10%.

С учетом вышесказанного, составим таблицу 6.4, в которой учтены затраты на первый и второй этапы работы.

Таблица 6.4 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма
Затраты на этапе теоретических исследований			
Бумага для принтера, упак. 500 листов	257	2	514
Тетрадь общая, формат А4	93	3	279
Мультифоры, упак. 100 шт.	100	2	200
Скобы для степлера, упак. 500 шт.	84	1	84
Итого			1077
Итого (с учетом ТЗР)			1184,7
Затраты на этапе практических исследований			
Набор детских кубиков, шт.	600	1	600
Итого			600
Итого (с учетом ТЗР)			660
Общие затраты			
Итого			1677
Итого (с учетом ТЗР)			1844,7

6.3.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает в себя заработную плату студента (исполнитель проекта) и научного руководителя, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Величина месячных окладов (MO) для сотрудников ТПУ находится в общем доступе и её можно найти на портале. Оклад студента принимается равным окладу соответствующего специалиста низшей квалификации в организации, в которой выполняются подобные виды работ или же там, где студент проходил преддипломную практику.

Для расчета заработной платы студента примем величину месячного оклада, равную окладу младшего научного сотрудника на полставки, т.е. $MO_C = 7437,225$ руб.; а величина заработной платы руководителя – величина месячного оклада доцента, д.т.н. $MO_{HP} = 27484,86$.

Для дальнейшего расчета зарплаты необходимо вычислить среднедневную ставку с учетом среднего количества рабочих дней в месяце. В 2018 году 247 рабочих дней, следовательно, количество рабочих дней в месяце равно 20,6. Таким образом, среднедневная тарифная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн}} = MO/20,6$$

Для студента эта величина составит примерно 361 рубль, а для научного руководителя 1334,22 рубля в день. Зная среднедневную оплату труда, на можно произвести расчет основной заработной платы за период выполнения работ. Затем, учитывая премии, дополнительную заработную плату и районный коэффициент, можно рассчитать полную заработную плату по следующей формуле:

$$ЗП_{\text{полн}} = ЗП_{\text{дн}} * T_{RD} * K_{ПР} * K_{ДОП} * K_R$$

где T_{RD} – трудоемкость проекта для сотрудника в рабочих днях; $K_{ПР} = 1,1$

– коэффициент премирования; $K_{дон} = 1,13$ – коэффициент дополнительной заработной платы для пятидневной рабочей недели; $K_p = 1,3$ – районный (северный) коэффициент. Выполнив расчеты по приведенным формулам, результаты приведены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, раб. т	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	27484,8	1334,22	18	1,62	38905,9
С	7437,22	361	140		81874,8
Итого					120780,

6.3.3 Расчет затрат на электроэнергию

Данная статья учитывает затраты на электроэнергию, которая потребляется всем оборудованием в течение работы над проектом. Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{эл.об.} = P_{об} \cdot t_{об} \cdot ЦЭ,$$

где $P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт; $ЦЭ$ – тариф на 1 кВт·час ($ЦЭ = 5,782$ руб/кВт·ч); $t_{об}$ – время работы оборудования, час. Время работы оборудования определяется по формуле:

$$t_{об} = T_{рд} * K_t,$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{рд}$, определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение $t_{об}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Для выполнения работ студентом использовался персональный компьютер, принтер. Определим затраты на потребленную оборудованием электроэнергию и сведем результаты расчетов в таблицу 6.6.

Таблица 6.6 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Мощность оборудования, кВт	Kt	Время работы оборудования, ч	Затраты на электроэнергию
Персональный компьютер	0,35	0,9	1054,3	1920,23
Принтер	0,25	0,005	1240	8,96
Итого				1929,19

6.3.4 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), который включает в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30% от полной заработной платы по проекту и рассчитывается по формуле $C_{соц} = C_{эл} * 0,3$. Итак, для проведения исследования затраты на социальный налог составляют $C_{соц} = 155490,6 * 0,3 = 36234,21$ руб.

6.3.5 Расчет амортизационных расходов

Расчет амортизационных расходов производится по следующей формуле:

$$C_{AM} = \frac{N_A \cdot Ц_{об} \cdot t_{рф} \cdot n}{F_d},$$

где N_A – годовая норма амортизации единицы оборудования; $Ц_{об}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР, F_d – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году, $t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта; n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

При работе над проектом использовались по 1 единице оборудования: персональный компьютер, принтер. Эти два типа оборудования входят в одну группу – вычислительная техника, следовательно, они имеют одинаковый срок полезного использования, равный 2-3 годам. Так как компьютер эксплуатировался более 3 лет уже к

началу работ, то срок его полезного использования истек, следовательно, амортизационные расходы на данный вид оборудования равны нулю. Принтер эксплуатировался к началу проведения работ более 5 лет, следовательно, амортизационные расходы на него тоже нулевые.

6.3.6 Расчет прочих (накладных) расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зн}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}}) \cdot 0,1 = (1844,7 + 120780,6 + 36234,21 + 1929,19) \cdot 0,1 = 160788,7 \cdot 0,1 = \mathbf{16078,87 \text{ руб.}}$$

6.3.7 Расчет общей себестоимости разработки

Рассчитав сумму всех расходов на выполнение запланированных работ, произведем расчет общей себестоимости проекта. Результаты расчетов представлены в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Расчет общей себестоимости проекта

Статья затрат	Обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	1844,7
Заработная плата	$C_{\text{зн}}$	120780,6
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	36234,21
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	1929,19
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	16078,87
ИТОГО:		176867,57

Таким образом, затраты на разработку составили $C = \mathbf{176867,57}$ руб.

Заключение

В магистерской диссертации рассмотрены основы технического зрения и проведено обоснование актуальности и целесообразности применения данной технологии в промышленной робототехнике.

Проведен анализ готовых решений от мировых производителей промышленной робототехники. Разработан алгоритм работы СТЗ. Суть этого алгоритма заключается в том, что положение изделия на конвейерной ленте определяется путем обработки изображения с видеокамеры, закрепленной над рабочей областью. Определяются координаты положения объекта на картинке, затем они приводятся к системе координат, связанной с базой манипуляционного робота. Принцип определения координат изделия основан на выделении из видеопотока, поступающего с камеры, точек, соответствующих характерному цвету груза. Принцип сортировки основан на определении цвета изделия и распознавании наклеенного на него QR кода.

В результате исследования была создана недорогостоящая и простая система управления с использованием методов технического зрения, способная находить изделие в пространстве и производить его классификацию по определенно заданным признакам.

Список использованной литературы

1. Борисов О.И., Громов В.С., Пыркин А.А., Методы управления робототехническими приложениями. Учебное пособие. — СПб.: Университет ИТМО, 2016. — 108 с.
2. Автоматизация сортировки и отбраковки [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.mko1.org/366/367/373/> (дата обращения 25.04.18)
3. Считывание и распознавание меток и маркировок [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.mko1.org/366/367/376/> (дата обращения 25.04.18)
4. KUKA _3D Perception sensor [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.kuka.com/en-us/products/robotics-systems/robot-periphery/kuka-3d-sensoren> (дата обращения 29.04.18)
5. Техническое зрение FANUC iRVision [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.robotosvarka.ru/tehicheskoe-zrenie-fanuc-irvision> (дата обращения 29.04.18)
6. Техническое зрение роботов/В. И. Мошкин, А. А. Петров, В. С. Титов, Ю. Г. Якушенков; Под общ. ред. Ю. Г. Якушенкова. —М.: Машиностроение, 1990. —272 с.: ил.
7. Borisov O.I., Gromov V.S., Pyrkin A.A., Bobtsov A.A., Nikolaev N.A., Robotic Boat Setup for Control Research and Education // IFAC PapersOnLine.2016, V. 49, N. 6, P. 256–261.
8. Borisov O.I., Gromov V.S., Pyrkin A.A., Vedyakov A.A., Petranevsky I.V., Bobtsov A.A., Salikhov V.I., Manipulation Tasks in Robotics Education // IFAC-PapersOnLine. 2016, V. 49, N. 6, P. 22–27.
9. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / А.Н. Писаревский [и др.]; Под общ. ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского. Л.: Машиностроение. (Ленингр.отд-ние), 1988. 424 с.: ил.

10. KR 40 PA [Электронный ресурс]. - Режим доступа:<https://www.kuka.com/ru-ru/продукция-услуги/промышленная-робототехника/промышленные-роботы/kr-40-ра> (дата обращения 5.05.18)
11. KUKA KR C4 [Электронный ресурс]. - Режим доступа:<https://www.kuka.com/ru-ru/продукция-услуги/промышленная-робототехника/системы-управления-роботом/kr-c4> (дата обращения 5.05.18)
12. LifeCam Cinema [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.microsoft.com/accessories/ru-ru/products/webcams/lifecam-cinema/h5d-00015> (дата обращения 5.05.18)
13. Python [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Python> (дата обращения 5.05.18)
14. OpenCV [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/OpenCV> (дата обращения 5.05.18)
15. Hartley R., Zisserman A. Multiple View Geometry in Computer Vision // Cambridge University Press, 2004.
16. Roger Y. Tsai A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses // IEEE Journal of Robotics and Automation, RA-3(4), 1987. – P. 323–344.
17. Zhang B., Li Y. F. Automatic Calibration and Reconstruction for Active Vision Systems, Intelligent Systems, Control, and Automation // Science and Engineering. V. 57, Springer, 2012. – P. 175.
18. Svoboda T., Martinec D., Pajdla T. A convenient multicamera self-calibration for virtual environments // PRESENCE: Teleoperators and Virtual Environments 14, 4, 2005. – P. 407-422.
19. Camera Calibration [Электронный ресурс].- Режим доступа: https://docs.opencv.org/3.0-beta/doc/py_tutorials/py_calib3d/py_calibration/py_calibration.html#calibration (дата обращения 10.05.18)

20. Калибровка Kinect v2 с помощью OpenCV на Python
[Электронный ресурс].-Режим доступа: <https://habr.com/post/272629/> (дата обращения 15.05.18)
21. Компьютерное зрение. Лекция для Малого ШАДа Яндекса
[Электронный ресурс].-Режим доступа: <https://habr.com/company/yandex/blog/203136/> (дата обращения 15.05.18)
22. OpenCV шаг за шагом. Поиск объекта по цвету - RGB
[Электронный ресурс].-Режим доступа: <http://robocraft.ru/blog/computervision/365.html> (дата обращения 20.05.18)
23. OpenCV шаг за шагом. Нахождение контуров и операции с ними
[Электронный ресурс].-Режим доступа: <http://robocraft.ru/blog/computervision/640.html> (дата обращения 20.05.18)
24. Математическое обеспечение промышленных роботов: учебно-методический комплекс для студентов специальности 1-53 01 06 «Промышленные роботы и робототехнические комплексы»: в 2ч. /А.Р. Околов, Е.Р. Новичихина, Г.С. Свидерский – Минск: БНТУ, 2012 – Ч1:Лабораторные работы – 80 с.
25. DENSO WAVE. (-). About QR.com [Электронный ресурс].-Режим доступа <http://www.qrcode.com/en/index.html> (дата обращения 20.05.18)
26. Pyzbar [Электронный ресурс].-Режим доступа <https://github.com/NaturalHistoryMuseum/pyzbar/tree/8e3e87da17ddd794842b2fcbbe0dd86c692d7511> (дата обращения 20.05.18)
27. Детектирование QR Code с помощью средств OpenCV [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://recog.ru/blog/barcode/3.html>. – (Дата обращения: 20.05.2018).
28. ISO/IEC 18 004 Information technology — Automatic identification and data capture techniques — Bar code symbology — QR Code. — 122с.
29. ГОСТ Р ИСО 26000-2012 Руководство по социальной ответственности
30. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату

производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.

31. СП 52.13330.2016 Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95

32. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.

33. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. М.: Минздрав России, 2003.

34. ГОСТ Р 50377-92 (МЭК 950-86) Безопасность оборудования информационной технологии, включая электрическое конторское оборудование.

35. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно- вычислительным машинам и организации работы». – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.

36. Постановление Правительства РФ от 25.04.2012 N 390 (ред. От 30.12.2017) "О противопожарном режиме" (вместе с "Правилами противопожарного режима в Российской Федерации").

37. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

Приложение А

COMPUTER VISION

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ61	Надин Иван Сергеевич		

Консультант кафедры отделения АйР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Горбатова Татьяна Николаевна		

What is machine vision?

Computer vision is mainly focused on machine-based image processing. In contrast to it, machine vision integrates image capture systems with digital in-put/output devices and computer networks. It provides real time quality control and for general control of such manufacturing equipment as robots. Manufacturers prefer to use machine vision systems for visual inspections that require high-speed, high-magnification, 24-hour operation, and/or repeatability of measurements.(figure 1)[1]



Figure1 – Checking of printed circuit boards

A typical machine vision system will be a part of an automated production process consisting of the following components:

- One or more digital cameras (monochrome or color) with suitable optics for acquiring images. It can be lenses to focus the desired field of view onto the image sensor.
- A synchronizing sensor for part detection (often an optical or magnetic sensor). It is necessary for trigger image acquiring and processing for some types of sorting out, routing and rejecting of parts.
- A computer program to process images, detect, measure, compare etc. The program is necessary to confirm a quality criteria or to provide type verification or to control a robot in another control system.
- Input/Output hardware (e.g. digital I/O) or communication links (e.g. Industrial Ethernet, ProfiBUS etc) reports the results and rejects the components automatically.

– “Intelligent” or “smart” cameras combine the above functionality into a single unit providing a self-contained vision system solution, but with less power and functionality of a PC based vision system solution.

Machine vision and industrial automation: an effective combination

In order for industrial robots and other production automation systems to interact purposefully with objects and to move gently in the space surrounding production lines, they must be able to see and analyze the environment.

Effective and affordable processors for processing video information, video sensors with depth discrimination function, and well-developed software algorithms. At full speed make the dream of industrial automation a reality.

In comparison to people automated systems in a production environment can work tirelessly, accurately and quickly. However, their effectiveness is traditionally dependent on the parts with a fixed orientation in space and at fixed locations. This phenomenon is greatly complicates the complexity of the assembly process.

Any deviation in the location of the part can lead to assembly problems. People have different channels of perception, as well as a highly developed brain, that allow to interact with the world around them effectively . Robots, and other industrial automation systems should be able to do the same. This is exactly what computer vision systems should help with.

Machine vision involves the analysis of visual information for further decision making. It helps to take action in relation to the object that is in focus. The simplest example of using the technology is checking the state of the product on the conveyor belt or before sending the parcel by mail. Also machine vision is often used to evaluate the quality of printed circuit boards. It immediately compares each new product with the reference board before automatically transferring to the next stage of assembly. These technologies are a valuable resource for assessing quality and reducing the level of defects. They are used in area the human eye and brain simply can not give an objective assessment because of the need to view the same objects hundreds or thousands of times a day.[2]

As the resolving power of optical systems increases, the potential of machine vision also increases, because together with the resolution, the number of details for evaluation rises. More and more small objects can be processed according to the template principle. It increases the workload of the processor, which must analyze a large amount of data and quickly take decisions on the next step (corresponding / inconsistent, delay, return to the beginning, etc).

Historically, machine vision algorithms were introduced in small quantities in production, as it was very expensive. However, the cost, performance and energy consumption in the electronics systems that have been achieved today have paved the way for a wide spread of machine vision in various industries. Of course, their implementation is still a challenge, but it has already become much easier and cheaper than ever.

In standard visual inspection systems, the quality and safety of products are often determined by external physical characteristics, such as texture and color.

For example, as it is shown in figure 2, when sorting vegetables, simple decisions about compliance and size are no longer appropriate.

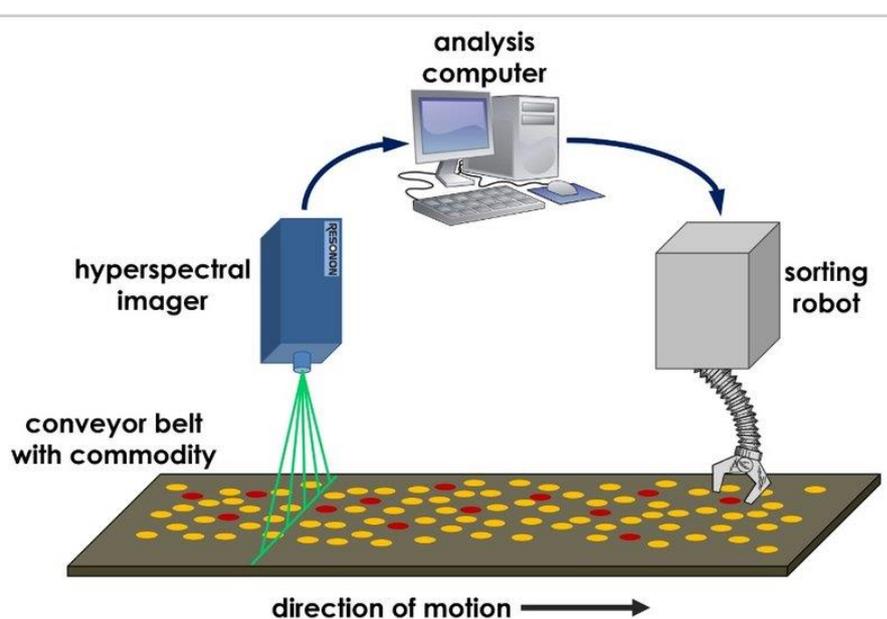


Figure 2 – Sorting tomatoes on a conveyor

It happens because the standards of different countries differ, and the quality of products varies according to the season. To minimize the amount of reject for the manufacturer and at the same time to provide the desired quality for the consumer.

More detailed algorithms and categories are needed for this purpose. But it is practically impossible for human eyes and brain.[3]

In the United States, Japan, South Korea, Germany and other European countries, the industry plays a major role in the manufacturing sector. The industry is characterized by highly automated production, strict quality requirements and a high degree of cost sensitivity. Consequently, large manufacturers focus on having a close and trust-based collaborative relationship with technology providers, who can support high degree of automation in the production processes.[4]

Control system of a manipulator with machine vision.

The control system for the sorting robot was developed in this master's work (figure 3). The manipulator makes sorting of objects from the conveyor by QR code.

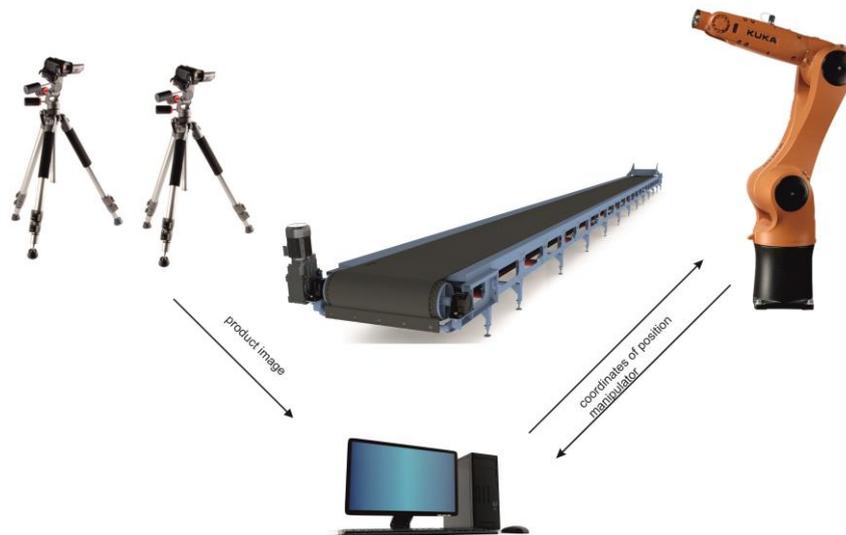


Figure 3 – Functional scheme of the sorting system

The product on the conveyor approaches at a certain distance to cameras. Then the control program stops the conveyor, processes the photos received from the camera. After that it transfers the coordinates of the product to the manipulator and determines the type of the product, recognizing the QR code. The manipulator will put the product in a certain cell corresponding to the type of this product and the movement on the conveyor will resume until the next operation.

This system includes the following components:

- Actuating mechanism, shown on the figure 4 (Robotic cell for palleting KR 40PA);



Figure 4 – KR 40PA

The KR 40 PA is the smallest and lightest palletizing robot. It achieves the highest levels of speed and accuracy. This industrial robot designed especially for palletizing tasks, it is ideal for stacking Euro pallets. The KR 40 PA picks and packs goods in record time. It can palletize products with a weight of up to 40 kilograms and reach net stacking heights of up to 1.8 meters; all in a very small space. Cycle time is shortened significantly thanks to its low weight.[5]

- capture device, is shown in the figure 5 (Microsoft Lifecam Cinema);



Figure 5 – Microsoft Lifecam Cinema

- Industrial conveyor;
- Personal computer.

Reading all sorts of codes is a very common category of tasks for vision systems (figure 6).



Figure 6 – Bar code reading system with technical vision

The systems of technical vision have gone far ahead of the usual laser scanners (they are installed on the cash register of any supermarket). Unlike laser scanners, the camera analyzes not the light of the reflected laser, but directly the video image of the code. This gives a lot of advantages:

- higher performance and longevity (without rotating mirror),
- the ability to read randomly oriented codes, the ability to read two-dimensional matrix codes (2D codes), as well as several codes simultaneously,
- the ability to store a picture of the code (for example, the code is unreadable, and you need to understand why),
- the ability to read damaged and poorly printed codes,
- visualization and much more.

The implementation of this control system took place in several stages:

- camera calibration;
- finding the contours of an object;
- QR code reading and recognition.

Camera calibration

Today's cheap pinhole cameras lead to a lot of distortion of images. Two major distortions are radial distortion and tangential distortion.

Due to radial distortion, straight lines will appear curved, this effect increases together with moving away from the center of image. For example, in the figure 7, where two edges of a chess board are marked with red lines, we can see that border is not a straight line and doesn't match with the red line. All the expected straight lines are curved.[6]

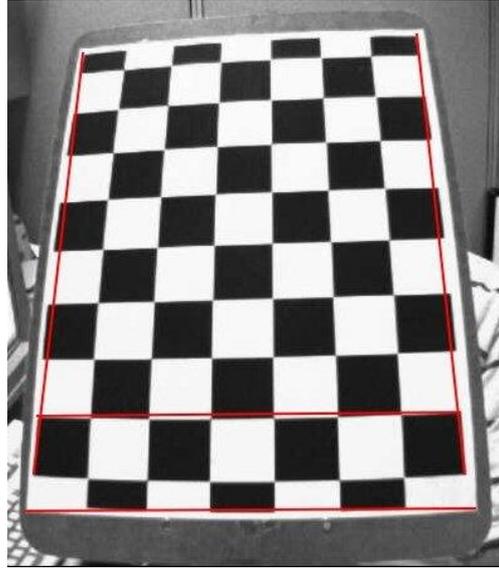


Figure 7 – Radial distortion on chessboard

This distortion is solved as follows:

$$X_{corrected} = x(1 + k_1 \cdot r^2 + k_2 \cdot r^4 + k_3 \cdot r^6)$$

$$Y_{corrected} = y(1 + k_1 \cdot r^2 + k_2 \cdot r^4 + k_3 \cdot r^6)$$

Another distortion is the tangential distortion which occurs because image taking lense is not aligned perfectly parallel to the imaging plane. So some areas in image can look nearer than expected. It is solved as below:

$$X_{corrected} = x + [2p_1 \cdot x \cdot y + p_2 \cdot (r^2 + 2x^2)]$$

$$Y_{corrected} = yx + [2p_2 \cdot x \cdot y + p_1 \cdot (r^2 + 2y^2)]$$

We need to find five parameters, known as distortion coefficients given by:

$$istortion\ coefficients = (k_1, k_2, p_1, p_2, k_3)$$

In addition to this, we need to find some more information, like intrinsic and extrinsic parameters of a camera. Intrinsic parameters are specific to a camera. It includes information like focal length (f_x, f_y), optical centers (c_x, c_y) etc. It is also called camera matrix. It depends on the camera only, so once calculated, it can be stored for future purposes. It is expressed as a 3x3 matrix:

$$I = \begin{bmatrix} \alpha_x & \gamma & u_0 \\ 0 & \alpha_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Extrinsic parameters corresponds to rotation and translation vectors which transfer a coordinates of a 3D point to a coordinate system.

For stereo applications, these distortions need to be corrected first. To find all these parameters, it is necessary to provide some sample images of a well defined pattern (eg, chess board), find some specific points in it (square corners on chess board), know your its coordinates in real world space and its coordinates in image. These data are used to do a mathematical problem in order to get the distortion coefficient. For better results, it is necessary to have at least 10 test patterns

Finding the contours of an object

Contours can be explained as a curve joining all the continuous points (along the boundary), having the same color or intensity. The contours are a useful tool for shape analysis and object detection and recognition.

For accuracy, use binary images. So before finding contours, use canny edge detection. [7]

Before applying the detector, the image is usually converted to grayscale in order to reduce computational costs.

Canny Edge Detection is a popular edge detection algorithm. It was developed by John F. Canny in 1986. It is a multi-stage algorithm. The stages are the following:

- *Smoothing*. Blur image to remove noise;
- *Search for gradients*. Borders are marked when the image gradient acquires the maximum value. They can have a different direction, so the Canni algorithm uses four filters to detect horizontal, vertical and diagonal edges in a blurred image;
- *Suppression of non-maxima*. Only local maxima are marked as boundaries;
- *Double threshold filtering*. Potential boundaries are defined by thresholds;

– *Tracing the ambiguity area.* The resulting boundaries are determined by suppressing all edges that are not related to certain (strong) boundaries.

QR code reading and recognition.

This stage is final in the entire operation of the control system. It also consists of successive transformations:

– search areas on the image, which by their characteristics are more likely to resemble mandatory positioning tags on the QR code (figure 8);

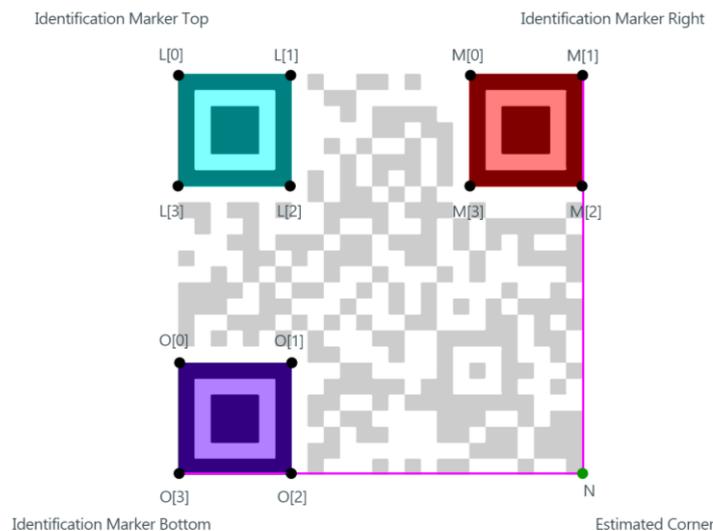


Figure 8 – Mandatory positioning tags on the QR code

- the choice of the three most probable areas;
- analysis of the location of the QR code on the image;
- extraction of QR code from the whole image, for further processing;
- applying the necessary transformations to the QR code;
- QR Code Decoding.

In conclusion, I would like to note that technical vision comes to replace visual control and laser bar code scanners. The advantages of cameras are obvious: high performance, accuracy and flexibility of the solution. But to minimize the error, it is necessary to consider the following factors:

- the lighting should not only be bright, but also it shouldn't distort the colors;
- the camera should be correctly selected and calibrated to the size of the object and distance to it ;

- software settings;
- integration with the rest of the management system;
- testing.

In many cases, the accuracy of inspection of products with all these parameters is high.

REFERENCES

1. What is Machine Vision?. Retrieved May 1, 2018, from website: <https://machinevision.co.uk/machine-vision-products/vision-hardware/>

2. Глазами робота: что такое «машинное зрение». Retrieved May 1, 2018, from website: <https://www.popmech.ru/technologies/238704-glazami-robota-chto-takoe-mashinnoe-zrenie/>

3. Robots: a new kind of manufacturing workforce. Retrieved May 1, 2018, from website: <https://www.manufacturingtomorrow.com/article/2016/03/robots-a-new-kind-of-manufacturing-workforce/7797>

4. The Role of Machine Vision in the Automotive Industry. Retrieved May 1, 2018, from website: https://www.photonics.com/a58196/The_Role_of_Machine_Vision_in_the_Automotive

5. KR 40 PA. Retrieved May 1, 2018, from website: <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots/kr-40-pa>

6. Camera Calibration. Retrieved May 1, 2018, from website: https://docs.opencv.org/3.0-beta/doc/py_tutorials/py_calib3d/py_calibration/py_calibration.html#calibration

7. Contours in OpenCV. Retrieved May 1, 2018, from website: https://docs.opencv.org/3.0-beta/doc/py_tutorials/py_imgproc/py_contours/py_contours_begin/py_contours_begin.html#contours-getting-started