

Школа **Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**
 Отделение **электронной инженерии**

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка устройства детектирование движения и фильтрации изображения на ПЛИС УДК 004.932.2.031.43:629.072.086

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А7Б	Ахметжанов Равиль Дамирович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Торгаев С.Н	к. ф-м. н		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Гасанов М.А	д. э. н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Авдеева И.И			

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Арышева Г.В	к. т. н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Иванова В.С.	к.т.н.		

Планируемые результаты освоения ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики;
ОПК(У)-2	Способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;
ОПК(У)-3	Способность решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей;
ОПК(У)-4	Готовность применять современные средства выполнения и редактирования изображений и чертежей и подготовки конструкторско-технологической документации;
ОПК(У)-5	Способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных;
ОПК(У)-6	Способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий;
ОПК(У)-7	Способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности;
ОПК(У)-8	Способность использовать нормативные документы в своей деятельности;
ОПК(У)-9	Способность использовать навыки работы с компьютером, владеть методами информационных технологий, соблюдать основные требования информационной безопасности.
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники

	различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования
ПК(У)-2	Способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения
ПК(У)-3	Готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций
ПК(У)-4	Способность проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектов
ПК(У)-5	Готовность выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования
ПК(У)-6	Способность разрабатывать проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы
ПК(У)-7	Способность осуществлять контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа **Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**
 Отделение **электронной инженерии**

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ В.С. Иванова
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
1А7Б	Ахметжанов Равиль Дамирович

Тема работы:

Разработка устройства детектирование движения и фильтрации изображения на ПЛИС	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	25.01.2021, 25-15/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2021
--	------------

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>Объектом проектирования является система детектирования движущихся объектов на ПЛИС.</p> <p>Наименование ПЛИС: Xilinx ZYNQ XC7Z020-1CLG400C.</p> <p>Тип фильтрации: свёртка изображения с фильтром Собеля.</p> <p>Камера: Logitech C270</p>
---	--

	<p>Языки программирования: Verilog HDL, Python.</p> <p>Скорость обработки одного кадра: не более 50 мс.</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 разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор литературы по методам обработки изображения. 2. Разработка структурной схемы устройства. 3. Разработка программы на языке описания и верификации аппаратуры 4. Реализация макета устройства. 5. Проведение эксперимента.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент. Ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	Гасанов М.А
Социальная ответственность	Авдеева И.И

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2021
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Торгаев С.Н.	к. ф-м. н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А7Б	Ахметжанов Равиль Дамирович		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа **Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности**

Направление подготовки **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**

Уровень образования **бакалавриат**

Отделение **электронной инженерии**

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2020 /2021 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

(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)
1.03.2021	<i>Раздел 1. Обзор литературы по обработке изображений</i>	17
23.03.2021	<i>Раздел 2. Объект и методы исследования</i>	17
15.04.2021	<i>Раздел 3. Результаты полученной разработки</i>	17
12.05.2021	<i>Раздел 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	17
14.05.2021	<i>Раздел 5. Социальная ответственность</i>	16
11.06.2021	<i>Оформление ВКР</i>	16

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Торгаев С.Н	к.ф-м.н		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Иванова В.С.	к.т.н.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1А7Б	Ахметжанову Равилу Дамировичу

Школа	ИШПР	Отделение	ОХИ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электроника и наноэлектроника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Бюджет проекта не более 500 000 рублей.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Премияльный коэффициент руководителя 30%; Премияльный коэффициент инженера 30%; Дополнительной заработной платы 12%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30%.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30,2 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Потенциальные потребители результатов НТИ. Анализ конкурентных технических решений. Выполнение SWOT-анализа проекта</i>
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий</i>
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Сравнительная оценка вариантов исполнения проекта</i>

Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей):

<p>1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i></p> <p>2. <i>Матрица SWOT</i></p> <p>3. <i>График проведения НТИ</i></p> <p>4. <i>Определение бюджета НТИ</i></p> <p>5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i></p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	27.02.2021
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гасанов М.А.	Доктор экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А7Б	Ахметжанов Равиль Дамирович		27.02.2021

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1А7Б	Ахметжанову Равилю Дамировичу

Школа	Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности	Отделение (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Тема ВКР:

<i>Разработка устройства детектирование движения и фильтрации изображения на ПЛИС</i>	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования и области его применения	<p>Объект исследования – система обработки видеопотока на ПЛИС</p> <p>Рабочая зона – в рабочем помещении присутствует местная вытяжная вентиляция. Площадь отапливаемого помещения 16 м², высота помещения 4 м, объем 64 м³. Освещение смешанное, наличие ПК и рабочего стола оператора.</p> <p>Область применения – промышленная. Данное устройство может применяться, например, в системах безопасности различных промышленных объектов для отслеживания движения различных объектов.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<p><i>Правовое обеспечение и организационные мероприятия согласно ГОСТ 12.4.299-2015 и ТК РФ от 29.12.2020 N477-ФЗ</i></p> <p><i>Законодательные и нормативные документы по теме:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Федеральный закон от 30.12.2020 г. №503 – ФЗ; 2. СанПиН 2.2.4.548-96; 3. СанПиН 1.2.3685-21; 4. СН 2.2.4/2.1.8.562-96; 5. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ; 6. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ; 7. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ; 8. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ; 9. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ; 10. ГОСТ 12.2.032-78; 11. СП 52.13330.2016; 12. НПБ 105-03; 13. СОУТ ТПУ 2019; 14. Конституция Российской Федерации. 15. ГОСТ 12.4.011-89

2. Производственная безопасность:	<p><i>Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды.</i></p> <p>Вредные:</p> <ol style="list-style-type: none"> <i>1. повышенный уровень шума на рабочем месте;</i> <i>2. недостаточная освещенность рабочей зоны;</i> <i>3. неудовлетворительный микроклимат;</i> <p>Психофизические факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <i>1. Монотонность труда;</i> <i>2. Умственное перенапряжение;</i> <p>Опасные:</p> <ol style="list-style-type: none"> <i>1. повышенный уровень напряженности электростатического поля;</i> <i>2. короткое замыкание;</i> <i>3. электрический ток;</i>
3. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> <i>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы, утилизация компьютерной техники и периферийных устройств, люминесцентных ламп и макулатуры);</i> <i>– решение по обеспечению экологической безопасности.</i>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> <i>– Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации: пожар</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Авдеева Ирина Ивановна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А7Б	Ахметжанов Равиль Дамирович		01.03.2021

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит: 90 страниц, 31 рисунок, 24 таблицы, 34 источника, 7 приложений.

Ключевые слова: компьютерное зрение, обработка изображений, ПЛИС, Verilog, свёртка, фильтр Собеля, выделение границ.

Объектом исследования является разработка устройства детектирование движения и фильтрации изображения на ПЛИС.

Цель работы – разработка устройства детектирования движения и фильтрации изображения в видеопотоке на ПЛИС; разработка структурной схемы и программного кода.

В процессе исследования проводилось изучение методов фильтрации изображения, выделения границ и детектирования движения, изучение программной сред Xilinx Vivado 2018.2, платформы Jupyter Notebook и библиотеки OpenCV. Тестирование Verilog-кода проводилось в ModelSim 10.3d.

В результате исследования было реализовано устройство фильтрации видео фильтром Собеля на отладочной плате PYNQ-Z2. Реализовано 2 варианта работы устройства – используя ресурсы серии ПЛИС Xilinx Zynq-7000 и используя встроенный процессор Cortex-A9. Было проведено сравнение результатов и производительности.

В будущем планируется реализация детектирования движения методом разницы кадров и дальнейшая оптимизация программного кода.

Термины и сокращения

GPU (Graphics Processing Unit) – графический процессор.

CPU (Central Processing Unit) – центральный процессор.

ПЛИС - Программируемая Логическая Интегральная Схема.

SRAM (Static Random Access Memory) – статическая память с произвольным доступом.

HDMI (High Definition Multimedia Interface) – интерфейс для мультимедиа высокой чёткости.

UART (Universal Asynchronous Receiver - Transmitter) – универсальный асинхронный приёмопередатчик.

USB (Universal Serial Bus) – универсальная последовательная шина.

GPIO (General-Purpose input/output) – интерфейс ввода/вывода общего назначения.

SoC (System on a Chip) – однокристальная система.

СБИС – Сверх Большая Интегральная Схема.

САПР – Система Автоматического Проектирования.

Оглавление

Введение.....	15
1 Обзор литературы по обработке изображений.....	17
1.1 Математические основы обработки изображений.....	17
1.2 Алгоритмы выделения границ объектов и детектирование движения в видеопотоке.	22
1.3 Использование возможностей ПЛИС для параллельной обработки изображений.	28
2 Объект и методы исследования.....	31
2.1 Разработка структурной схемы устройства.....	31
2.2 Реализация устройства на отладочной плате Cyclone V GX Starter Kit..	32
2.3 Реализация устройства на отладочной плате TUL PYNQ Z2	42
3 Результаты полученной разработки.....	48
3.1 Результаты обработки видео на отладочной плате PYNQ-Z2.....	48
3.2 Детектирование движения	50
3.3 Документ Jupyter Notebook.	52
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	54
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	54
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	54
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	56
4.1.3 SWOT-анализ.....	58
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	61
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	61

4.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ	63
4.2.3	Разработка графика проведения научного исследования	64
4.2.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	65
4.2.4.1	Расчет материальных затрат НТИ	66
4.2.4.2	Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ	67
4.2.4.3	Основная заработная плата исполнителей темы	68
4.2.4.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	71
4.2.4.5	Накладные расходы	72
4.2.4.6	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	72
4.3	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	73
4.4	Вывод	76
5	Социальная ответственность	77
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	77
5.1.1	Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	77
5.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	78
5.2	Производственная безопасность	78
5.2.1	Анализ опасных и вредных производственных факторов	78
5.2.2	Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)	80
5.3	Экологическая безопасность.....	83
5.3.1	Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	83
5.3.2	Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	83
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	84

5.5 Выводы по разделу.....	85
Заключение	87
Список используемых источников.....	88
Приложение А Результаты работы фильтра Собеля	92
Приложение Б Детектирование движения на белом фоне	94
Приложение В Детектирование движения на чёрном фоне	100
Приложение Г Документ Jupyter Notebook	106
Приложение Д Код оператора Собеля на Verilog.....	109
Приложение Е Временные показатели научного исследования	110
Приложение Ж Календарный план-график НИОКР	112

Введение

Компьютерное зрение является одним из важных направлений науки в наше время. Уже сегодня оно нашло множество применений, например:

- Системы управления процессами (промышленные роботы, автономные транспортные средства).
- Системы видеонаблюдения.
- Системы организации информации (например, для индексации баз данных изображений).
- Системы моделирования объектов или окружающей среды (анализ медицинских изображений, топографическое моделирование).
- Системы взаимодействия (например, устройства ввода для системы человеко-машинного взаимодействия).
- Системы дополненной реальности.
- Вычислительная фотография, например, для мобильных устройств с камерами.

Область применения данных технологий только растёт. Также растёт применение компьютерного зрения во встраиваемых системах.

Устройства автомобильной и промышленной безопасности, системы управления беспилотными летательными аппаратами – все эти устройства являются встраиваемыми и в них применяются алгоритмы компьютерного зрения [1].

Так как обработка видео требует больших вычислительных мощностей и хорошо поддаётся распараллеливанию, то во встраиваемых системах зачастую применяются специализированные вычислительные блоки, например, графические процессоры GPU. GPU справляется с параллельными вычислениями гораздо лучше, чем CPU, так как:

Архитектура графических процессоров максимально нацелена на увеличение скорости расчёта текстур и сложных графических объектов.

В GPU имеется большое количество процессорных ядер, в современных моделях заметно > 100.

Основные средства разработки, использующие графические процессоры – фреймворк OpenCL и программно-аппаратная архитектура CUDA от Nvidia. Эти средства либо используют популярные языки программирования высокого уровня, например, C++ или Python, либо представляют собой “диалекты” языка C++.

Также для реализации компьютерного зрения во встраиваемых системах используются ПЛИС (FPGA). Системы на основе ПЛИС также обеспечивают высокую скорость работы и параллельную обработку данных. Классическими средствами разработки по ПЛИС является языки описания аппаратуры Verilog HDL и VHDL [2].

Графические процессоры и ПЛИС имеют свои особенности, поэтому прямое их сравнение является нецелесообразным. Исследования показывают, что в некоторых задачах эффективнее GPU, а в других – ПЛИС.

Основные преимущества графических процессоров – инструменты разработки, которые позволяют работать с ними даже программистам, не имеющим подготовки в области электроники.

Основные преимущества ПЛИС – энергопотребление заметно ниже, чем у графических процессоров, что очень важно для встраиваемых систем.

Учитывая всё растущую область внедрения встраиваемых систем с применением компьютерного зрения и преимущества ПЛИС, в виде высокой производительности и относительно низкого энергопотребления, разработка устройства детектирование движения и фильтрации изображения на ПЛИС является очень актуальной на данный момент.

1 Обзор литературы по обработке изображений

1.1 Математические основы обработки изображений

Алгоритмы обработки изображений, как правило, включают повторение некоторых вычислений над большими объемами данных. При этом можно выделить методы пространственной фильтрации, свертки и корреляции, которые очень часто используются во многих приложениях обработки изображений.

Пространственная фильтрация, свертка и корреляция являются тесно связанными понятиями. Они определяются суммой произведений, и могут быть реализованы в прямой форме посредством МАС операций [3].

МАС (Multiply – accumulate operation) – операция умножения двух чисел и сложения их с аккумулятором, она определяется формулой:

$$A = A + B * C. \quad (1)$$

При фильтрации изображения очень часто применяется математическая операция свёртка (convolution), Данная операция имеет следующий вид:

$$O(x, y) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} I(x-i, y-j) * H(i, j), \quad (2)$$

где $O(x, y)$ – пиксели выходного изображения, имеющие координаты (x, y) ;

$I(x, y)$ - пиксели входного изображения, имеющие координаты (x, y) ;

$H(i, j)$ – ядро свёртки, представляющее собой матрицу размером i на j .

В случае работы с изображениями — свёртка — это операция вычисления нового значения заданного пикселя, при которой учитываются значения окружающих его соседних пикселей [4].

Принцип работы свёрток заключается в следующем:

При вычислении нового значения выбранного пикселя изображения, ядро свёртки прикладывается своим центром к этому пикселю. Соседние пиксели так же накрываются ядром.

Далее, вычисляется сумма произведений значений пикселей изображения на значения, накрывшего данный пиксель элемента ядра.

Полученная сумма и является новым значением выбранного пикселя. Теперь, если применить свёртку к каждому пикселю изображения, то получится

некий эффект, зависящий от выбранного ядра свертки. На рисунке 1 показано, как вычисляется свёртка одного конкретного пикселя.

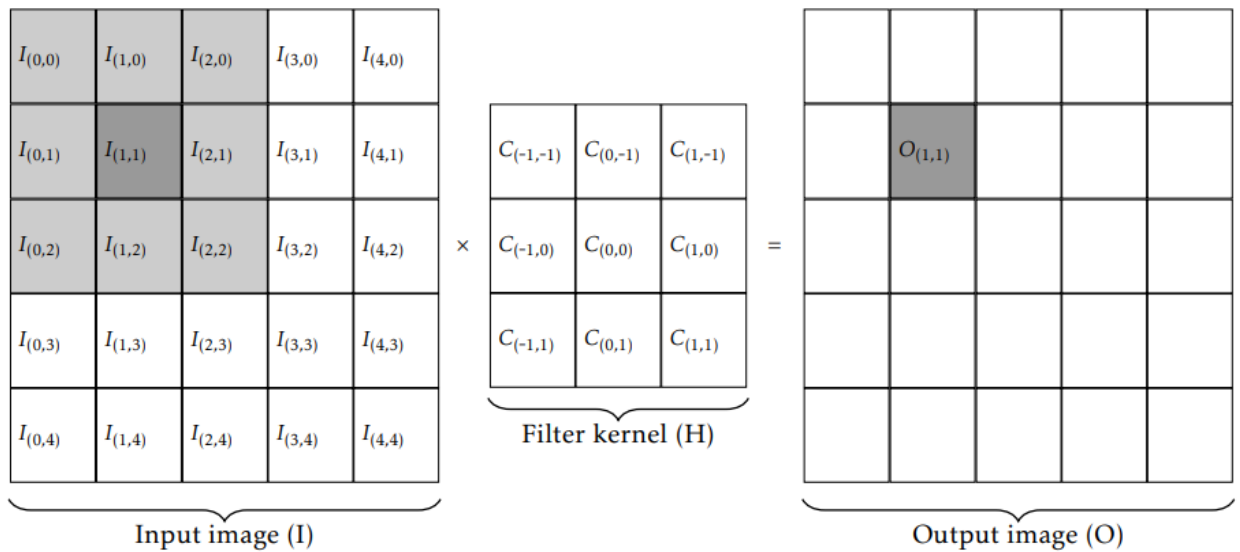


Рисунок 1 - Результат свёртки 1 пикселя изображения разрешением 5*5 с ядром свёртки 3*3 [4]

Формула 3 показывает необходимые вычисления для получения значения выходного пикселя:

$$O_{(1,1)} = (I_{(0,0)} * C_{(-1,-1)}) + (I_{(1,0)} * C_{(0,-1)}) + \dots + (I_{(2,2)} * C_{(1,1)}). \quad (3)$$

В зависимости от ядра свёртки можно получить абсолютно разные эффекты на изображении.

Как видно на рисунке 2, центральный пиксель умножен на 5, а соседние пиксели по направлению осей X и Y вычитаются. Это делает границы объектов более чёткими и повышает резкость изображения.

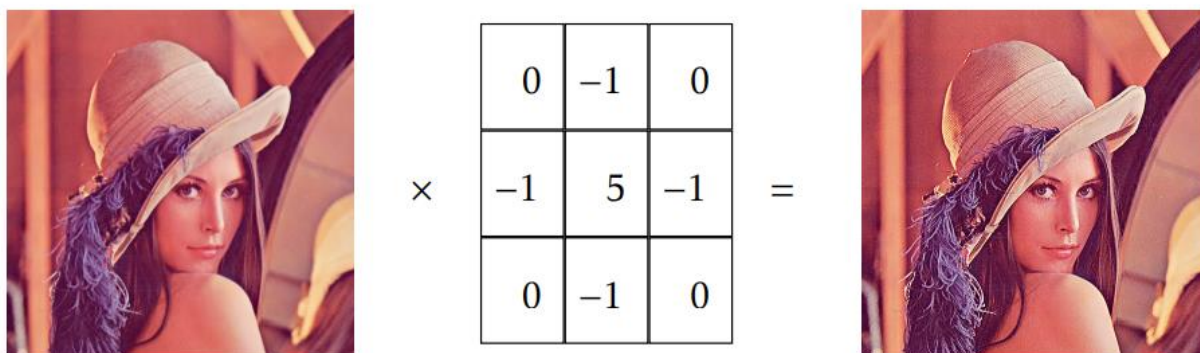


Рисунок 2 - Использование ядра увеличения резкости [4]

Если посмотреть на коэффициенты ядра на рисунке 3 станет видно, что выходной пиксель есть сумма всех соседних пикселей, имеющих различные весовые коэффициенты. Это делает границы более сглаженными, что даёт легкий эффект размытия.

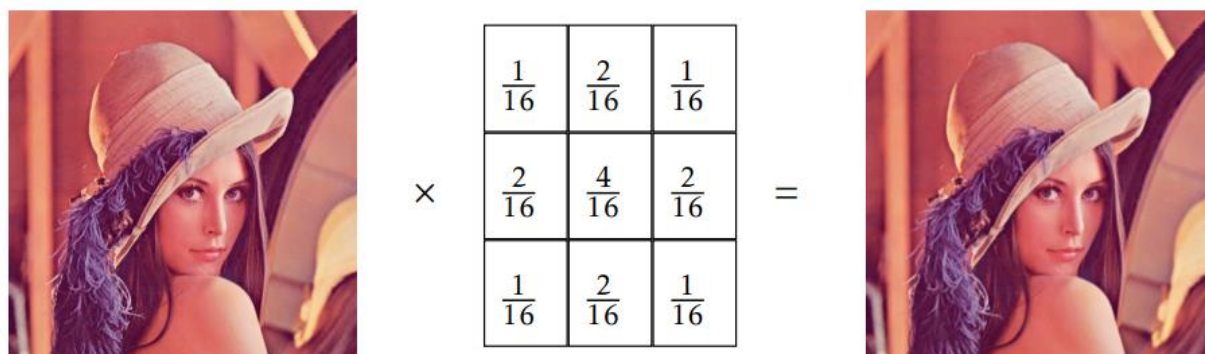


Рисунок 3 - Использование ядра Гауссового размытия [4]

Ядро поиска границ объекта похож на ядро увеличения резкости, но в ядре на рисунке 4 центральный пиксель сильно усилен и вычитаются все соседние пиксели.

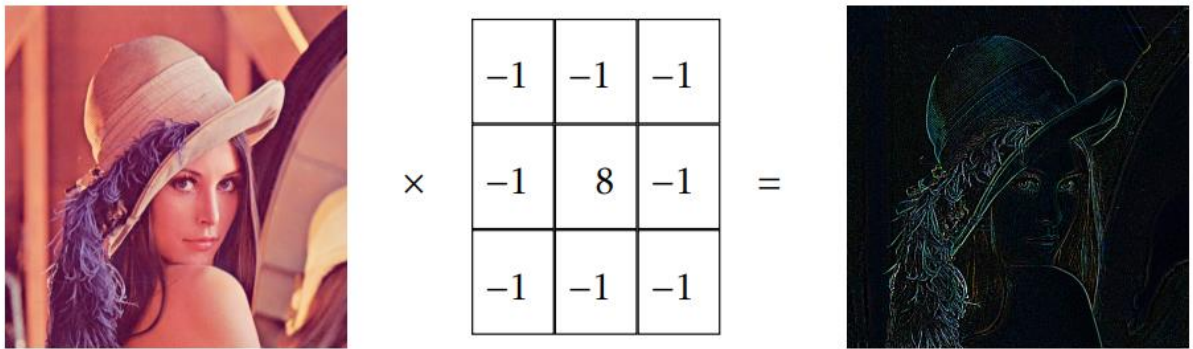


Рисунок 4 - Использование ядра выделения границ объекта [4]

На рисунке 5 показан результат обработки изображения фильтром увеличения яркости. Ядро увеличения яркости (4) имеет вид:

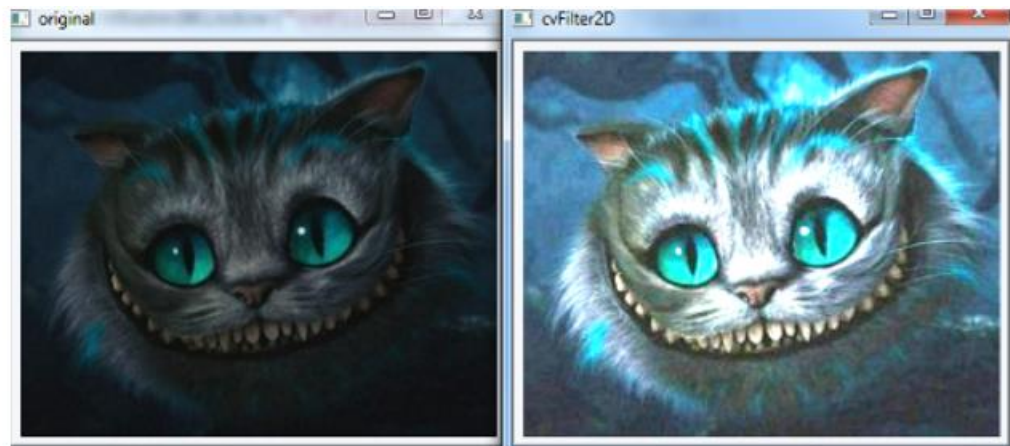


Рисунок 5 - Использование ядра увеличения яркости [5]

$$H = \begin{bmatrix} -\frac{1}{10} & \frac{1}{5} & -\frac{1}{10} \\ \frac{1}{5} & 3 & \frac{1}{5} \\ -\frac{1}{10} & \frac{1}{5} & -\frac{1}{10} \end{bmatrix} \quad (4)$$

На рисунке 6 показан результат обработки изображения фильтром затемнения. Ядро затемнения (5) имеет вид:

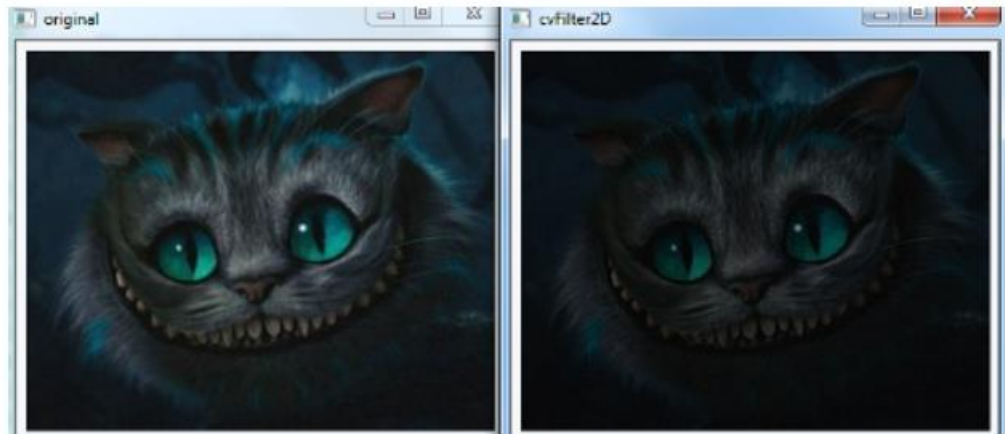


Рисунок 6 - Использование ядра затемнения [5]

$$H = \begin{bmatrix} -\frac{1}{10} & \frac{1}{10} & -\frac{1}{10} \\ \frac{1}{10} & \frac{1}{5} & \frac{1}{10} \\ -\frac{1}{10} & \frac{1}{10} & -\frac{1}{10} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Для того, чтобы обработать все пиксели на изображении часто используется алгоритм “скользящее окно”. Данный алгоритм позволяет перебрать и обработать все пиксели в строгой последовательности. Графическое представление алгоритма “скользящее окно” изображено на рисунке 7.



Рисунок 7 – Скользящее окно 3*3 [6]

Скользящее окно представляет собой:

1. Перебор всех пикселей в окне 3×3 ;
2. Изменение координат окна, чтобы оно “проскользило” по всей длине направо.
3. Изменение координат окна, чтобы оно опустилось на j пикселей вниз. И так до конца изображения

1.2 Алгоритмы выделения границ объектов и детектирование движения в видеопотоке.

Рассмотрим задачу выделения границ объектов на изображении. Для таких целей используются различные алгоритмы, но к самым популярным и широко – используемым можно отнести алгоритмы с использованием операторов Собеля и Кэнни [7].

Оператор Собеля – дискретный дифференциальный оператор, вычисляющий приближённое значение градиента яркости изображения. Строго говоря, оператор использует ядра 3×3 , с которыми сворачивают исходное изображение для вычисления приближённых значений производных по горизонтали и по вертикали. Математическое описание оператора представлено в выражения 6-8:

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} * A \quad (6)$$

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * A, \quad (7)$$

где A – исходное изображение;

G_y – изображение, содержащее приближенные производные по оси Y ;

G_x – изображение, содержащее приближенные производные по оси X .

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}, \quad (8)$$

где G – выходное изображение.

Оператор Собеля относительно легко вычислять. С другой стороны, используемая им аппроксимация градиента достаточно грубая, особенно это сказывается на высокочастотных колебаниях изображения [8]. На рисунках 8 и 9 изображены результаты обработки изображения фильтром Собеля.

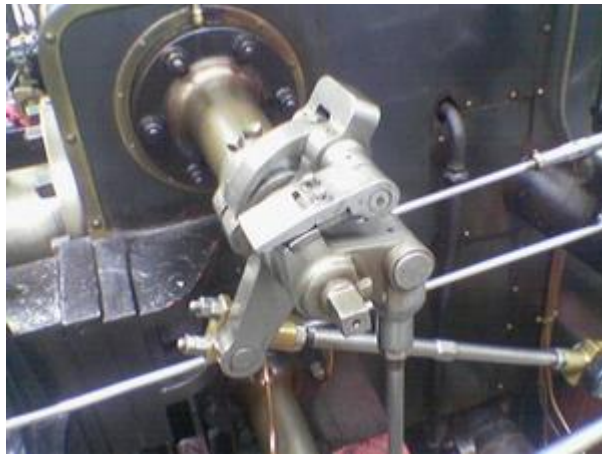


Рисунок 8 - Оригинальное изображение [8]



Рисунок 9 - Границы, выделенные оператором Собеля [8]

Оператор Кэнни сложнее оператора Собеля, но он является одним из лучших детекторов границ объектов. Кроме особенных частных случаев трудно найти детектор, который бы работал существенно лучше, чем детектор Кэнни.

На рисунке 10 изображён алгоритм работы детектора на основе оператора Кэнни.

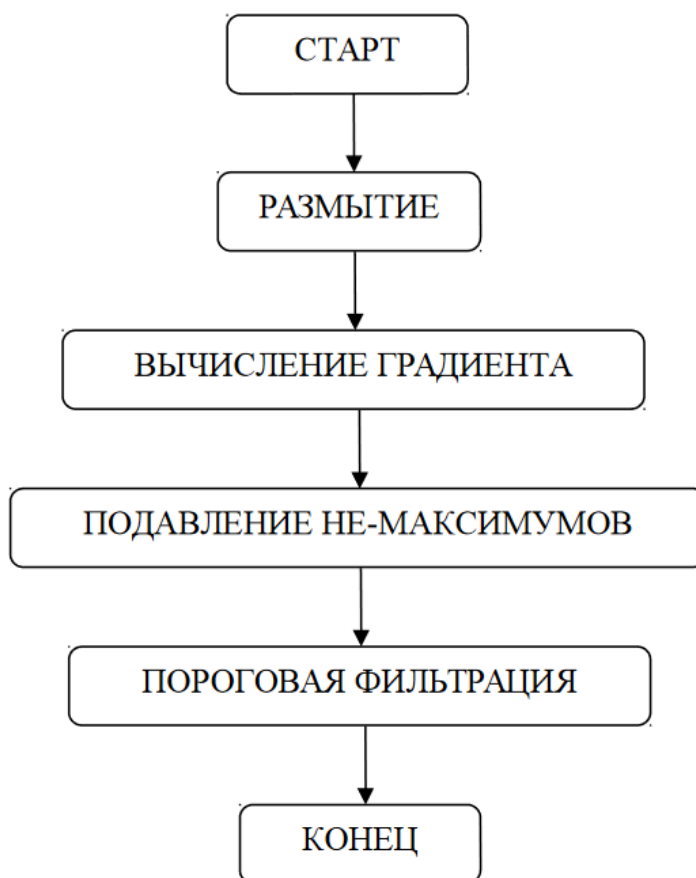


Рисунок 10 - Алгоритм детектора на операторе Кэнни

Рассмотрим этапы работы оператора Кэнни:

1) **Размытие.** Оно применяется для ослабления шумов. Шум на изображении сглаживается путём свёртки самого входного изображения $I(i,j)$ с фильтром Гаусса G . Математически результат сглаживания представляется формулой 9:

$$F(i,j) = G * I(i,j) \quad (9)$$

2) **Нахождение градиента.** На этом этапе края обнаруживаются там, где изменение интенсивности оттенков серого максимально. Требуемые зоны определяются с помощью градиента изображения. В действительности вычисляются два результата – градиент в направлении i и градиент в направлении j . Наиболее удобен для применения в алгоритме Кэнни и устойчив

к шумам оператор Собеля, поэтому градиент в направлении i и j определяется формулами:

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} * F(i, j) \quad (10)$$

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * F(i, j) \quad (11)$$

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (12)$$

3) **Подавление не-максимумов.** Границы изображения будут происходить в точках, в которых градиент находится на максимальном уровне. Таким образом, все точки не в максимуме должны быть подавлены. Для того чтобы сделать это, величина и направление градиента вычисляется в каждом пикселе. Сохранение всех локальных максимумов градиентного изображения и удаление не-максимумов позволяет добиться тонких краёв.

4) **Пороговая фильтрация.** Выходной сигнал после подавления не-максимумов по-прежнему содержит локальные максимумы, созданные шумом. Для улучшения качества фильтрации используют не один, а два порога t_{high} и t_{low} .

Для пикселя $M(i, j)$ имеющего величину градиента G есть следующие правила для детектирования его как границы:

- Если $G < t_{low}$ пиксель не является границей;
- Если $G > t_{high}$ пиксель является границей;
- Если $t_{low} < G < t_{high}$ и любой из соседних пикселей в зоне 3×3 имеет градиент выше, чем t_{high} , то пиксель является границей.

По сравнению с результатом работы оператора Собеля, оператор Кэнни (рисунок 11) выделяет границы гораздо тоньше и оставляет меньше посторонних объектов на изображении.



Рисунок 11 - Границы, выделенные оператором Кэнни [8]

Существуют десятки различных способов детектирования движения в видеопотоке. Так как задача математически определить движущийся объект на видео далеко не тривиальная, не существует самого лучшего и универсального метода. Были рассмотрены самые простые и менее вычислительно затратные методы. Первый способ называется **вычитание фона** (background subtraction) и может быть описан следующей формулой:

$$P[F(t)] = P[I(t)] - P[B], \quad (13)$$

где $P[F(t)]$ - результирующая разность;

$P[I(t)]$ – текущий кадр с камеры;

$P[B]$ – фоновый кадр.

Референсный кадр или background обычно делается, когда нет никакого движения. Например, если стоит задача детектировать движение в одном углу комнаты, то перед этим мы должны сделать и запомнить снимок этого угла, когда там нет никакого движения, а потом из всех последующих снимков попиксельно вычитать этот самый референсный кадр (фон). Однако, из-за шумов в изображении, автоматического баланса белого в камере и других факторов необходимо применить порог срабатывания детектора. Этот порог применяется к разности кадров. Если разность больше порога, то движение есть, иначе — нет (формула 14).

$$P[F(t)] > Threshold \quad (14)$$

Недостатков у этого метода больше чем достоинств, однако его применяют для детектирования движения из-за простоты реализации. Недостатками являются:

- Зависимость от освещённости
- Зависимость от смещения камеры
- Зависимость от погодных условий
- Влияние автоматического баланса белого

Любое изменение внешних факторов приведёт к обнаружению движения и ложному срабатыванию детектора. Поэтому единственная сфера его применения – статичная камера слежения, при условии, что она всегда будет направлена на один и тот же фон в одном и том же положении [9]. Схема детектирования движения методом вычитания фона представлена на рисунке 12.

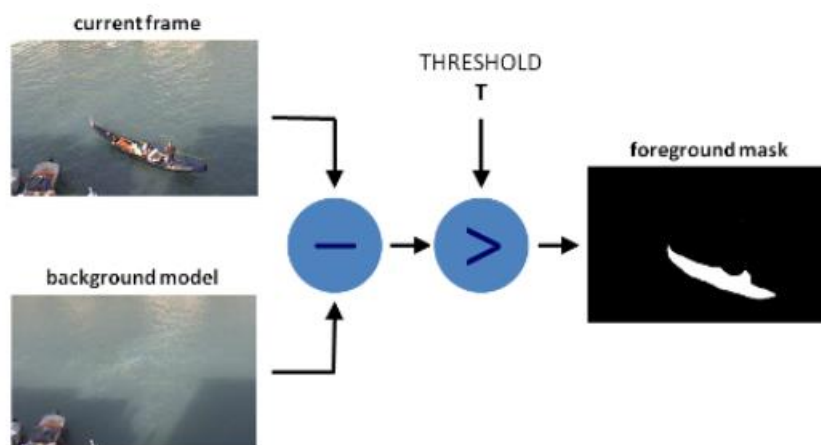


Рисунок 12 - Схема детектирования движения методом background subtraction [6]

Второй способ мало чем отличается от предыдущего. Он носит название **разница кадров** (frame difference). Все отличия заключаются в том, что вместо фона из текущего фрейма вычитается предыдущий и разность сравнивается с пороговым значением (Threshold).

Математическое представление алгоритма определяется формулой:

$$P[F(t)] = P[I(t)] - P[I(t - 1)] > Threshold \quad (15)$$

Достоинством данного метода является относительная устойчивость к внешним факторам. Даже при изменении положения камеры или освещённости это не вызовет долговременного ложного срабатывания, а только кратковременное в пределах двух последовательных кадров. Недостатками являются:

- Зависимость от частоты кадров
- Слабое детектирование объектов, имеющих малую скорость [7].
- Метод разницы кадров является более универсальным, и следовательно – более предпочтительным.

1.3 Использование возможностей ПЛИС для параллельной обработки изображений.

ПЛИС известны своей возможностью производить параллельных вычислений. Одна из возможностей дополнительно оптимизировать фильтрацию изображения под ПЛИС – разделение изображения на сегменты. Обычно применяются 3 способа разделения изображений для параллельной обработки.

Разделение по рядам: самый простой метод. Этот метод позволяет равномерно (по количеству пикселей) распараллелить вычисления, но тогда каждому вычислительному модулю ПЛИС придётся вычислять относительно большое количество пограничных пикселей. А вычисление свёртки для пограничных пикселей – немного более трудоёмкая задача, ведь такие пиксели нужно дополнить дополнительными значениями (это могут быть 0 или копии пограничных пикселей). Если изображение разделено на n рядов, то потребует n вычислительных модулей ПЛИС (рисунок 13).



Рисунок 13 - Разделение изображения на 4 ряда

Перекрёстное разделение: метод перекрёстного разделения делит изображения ровно по горизонтали и по вертикали, создавая n^2 частей (рисунок 14). Этот метод лишён недостатка предыдущего. Но для него потребуется n^2 вычислительных модулей ПЛИС, что может повлечь снижение рабочей тактовой частоты. А что будет сильнее влиять на производительность для свёртки изображений (в данном методе разделения), увеличение количество параллельных вычислений или снижение тактовой частоты – можно будет определить только на практике.

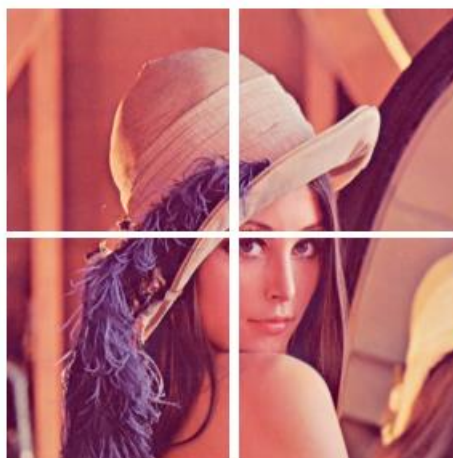


Рисунок 14 - Перекрёстное разделение при $n = 2$

Эвристическое разделение: этот метод похож на перекрёстное разделение, но позволяет разбить изображение на произвольное количество частей.

В данном разделе детально была рассмотрена математическая операция свёртки – основная операция при обработке изображений. Кроме того, были рассмотрены основные способы выделения границ на изображении – операторы Собеля и Кэнни, основные методы детектирования движения – вычитание фона и разница кадров и основные методы разбиения изображения для параллельной обработки на ПЛИС – разделение по рядам, перекрёстное разделение и эвристическое разделение.

2 Объект и методы исследования

2.1 Разработка структурной схемы устройства

После изучения теории, приведённой в предыдущем разделе, была начата разработка устройства. Задача состояла в создании HDL-дизайна для уже существующих плат. В ходе разработки рассматривались разные отладочные платы – научный руководитель предоставил разнообразие и гибкость в данном вопросе.

На основании изученного материала была создана структурная схема системы выделения границ и детектирования движения на ПЛИС (рисунок 15).

Данная систему работает по принципу конвейера, т.е. второй входной кадр придёт раньше, чем система обработает первый выходной кадр.

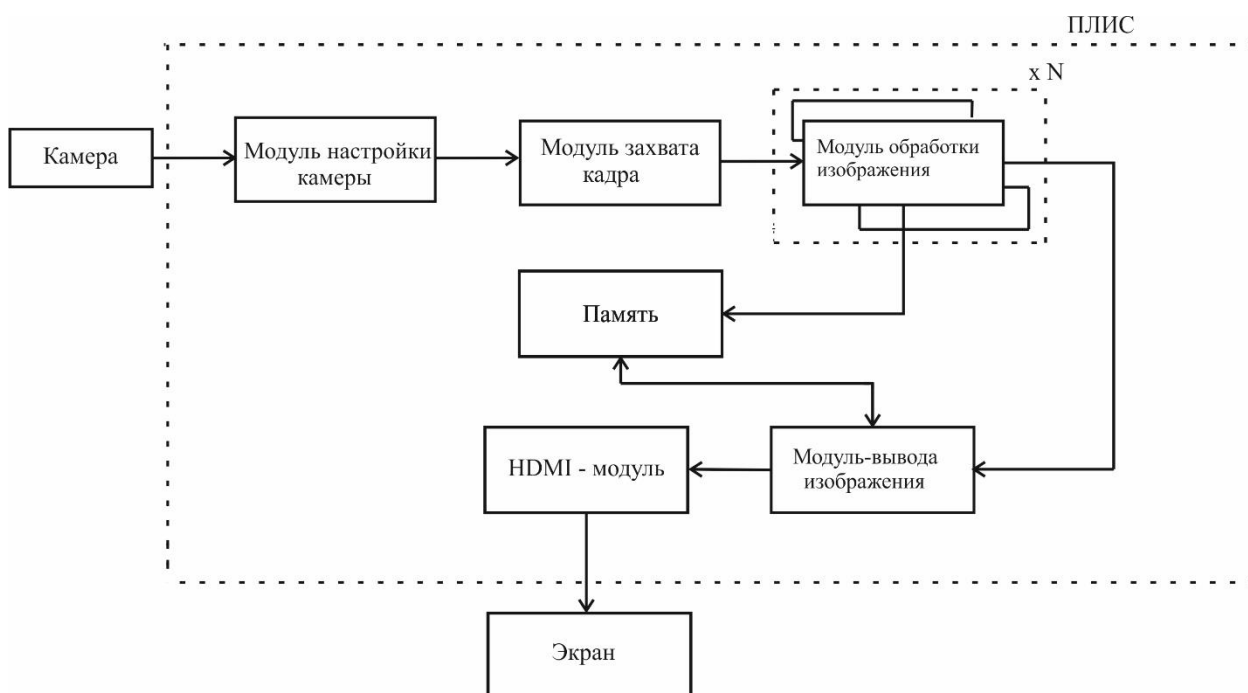


Рисунок 15 - Структурная схема системы выделения границ и детектирования движения на ПЛИС

Схема на рисунке 15 состоит из следующих модулей:

- Камера – планируется использовать камеру с минимальным разрешением 640*480 и частотой кадров 30 кадров в секунду;

- Модуль настройки камеры – отвечает за настройку камеры (включение, выбор разрешения съёмки и выбор цветового пространства) ;
- Модуль захвата кадра – данный модуль принимает данные от камеры попиксельно и передаёт модуль обработки изображения;
- Модуль обработки изображения – в данном модуле планируется реализация:
 - Метода детектирования движения разница кадров (frame difference), так как данный метод более универсален, чем вычитание фона (background subtraction).
 - Параллельная обработка будет достигнута путём разделения изображения по рядам.
- Память – важнейший модуль, так как многие из модулей к системе будут обращаться к памяти. Например, для детектирования движения нужно вычитать 2 кадра друг из друга, и как минимум один будет записан в памяти;
- Модуль вывода изображения – данный модуль считывает готовые к выводу изображения и передаёт их HDMI – модулю;
- HDMI – модуль – данный модуль будет выполнять функции HDMI – передатчика.
- Экран – будет выбран обычный монитор с HDMI – интерфейсом.

В качестве интерфейса вывода изображения был выбран именно HDMI, так как данный цифровой интерфейс очень широко распространён.

2.2 Реализация устройства на отладочной плате Cyclone V GX Starter Kit

Изначально устройство разрабатывалось под отладочную плату Cyclone V GX Starter Kit (рисунок 16). На данной плате расположены:

- ПЛИС Altera Cyclone V серии GX
- Память SRAM 4 Мбайт
- ОЗУ LPDDR2 4 Гбайт
- Разъём для Micro SD карты
- Разъём HDMI TX (передатчик)
- Разъём UART-to-USB
- 7-ми сегментный индикатор
- 40 пинов GPIO
- 18 светодиодов
- 10 переключателей
- 4 кнопки
- Кварцевые генераторы [10]

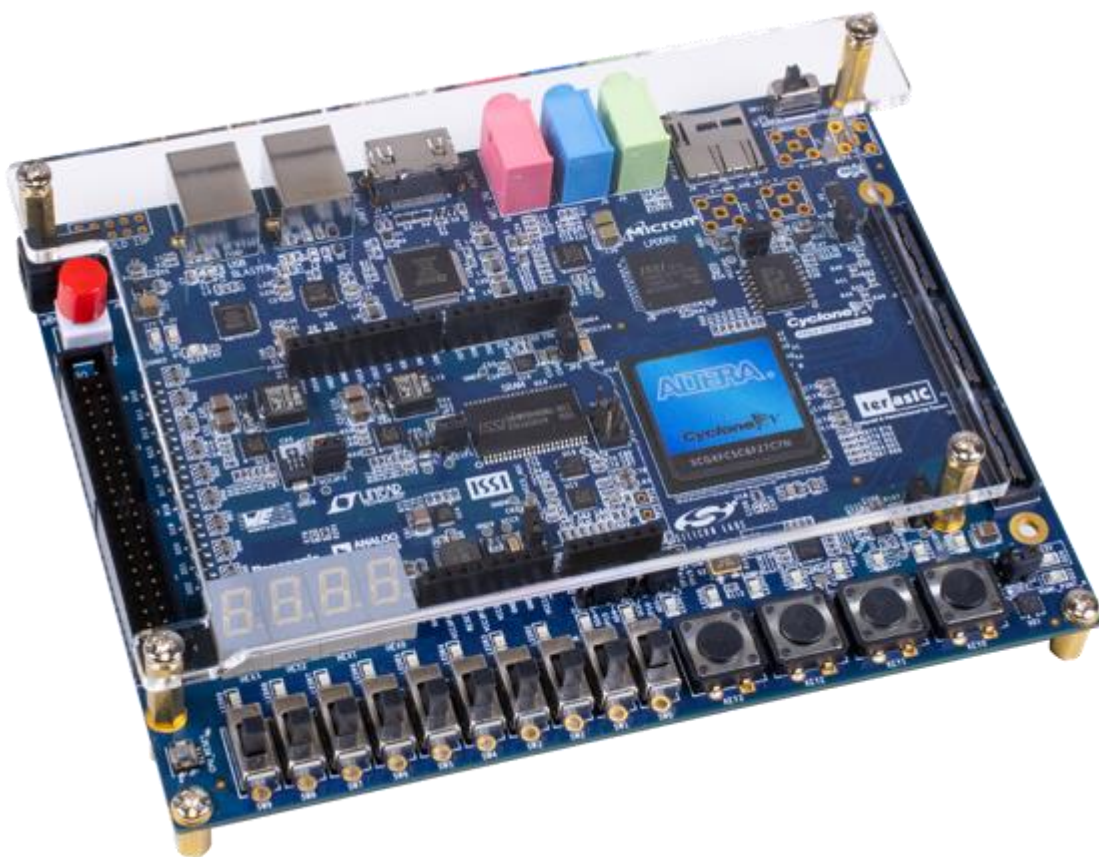


Рисунок 16 - Отладочная плата Altera Cyclone 5 GX Starter Kit

В качестве модуля камеры был выбран OV7670 (рисунок 17). Выбор был сделан именно в пользу данной микросхемы по ряду причин:

- ✓ Большое количество руководств по настройке как от производителя, так и от пользователей.
- ✓ Небольшое разрешение изображения (всего 640x480), что позволит упростить программную часть по обработке видео.
- ✓ Доступность и популярность. Данную камеру предоставил научный руководитель.

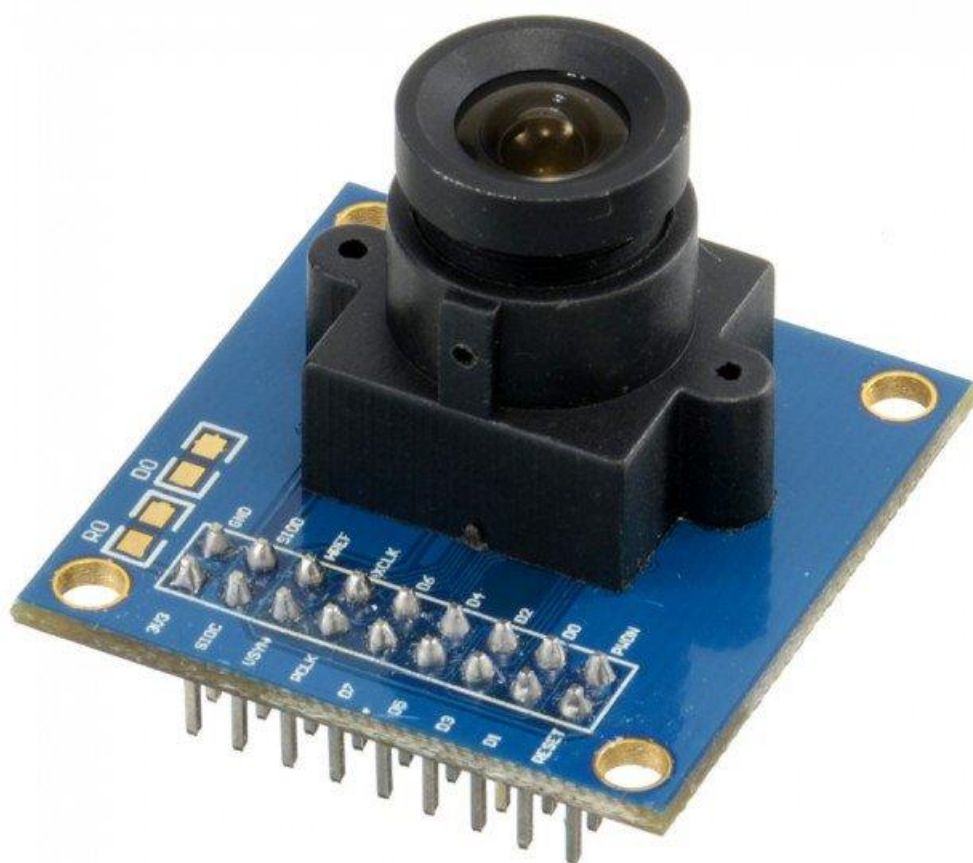


Рисунок 17 – Модуль камеры OV7670

В таблице 1 приведены технические характеристики модуля камеры OV7670.

Таблица 1 – Технические характеристики OV7670 [11]

Размер матрицы	640x480
Напряжение питания	3В
Рабочий диапазон температуры	-30 ⁰ С - 70 ⁰ С
Выходной формат изображения	<ul style="list-style-type: none"> ➤ YUV/YCbCr 4:2:2 ➤ RGB 565/555/444 ➤ GRB 4:2:2 ➤ Raw RGB Data
Размер линзы	1/6 дюйма
Частота кадров	30
Отношение Сигнал/Шум	46 Дб

Камера OV7670 имеет 18 выводов. Их названия и функции описаны в таблице

2. Соединение камеры с отладочной платой производится проводами ВВJ-FF.

Таблица 2 – Список пинов OV7670

Название вывода	Направление	Назначение
3V3	Питание	Напряжение питания, 3,3 В
GND	Питание	Земля
SIOC	Вход	Тактовый импульс последовательного интерфейса настройки SCCB
SIOD	Вход/выход	Вывод данных последовательного интерфейса настройки SCCB
VSYNC	Выход	Выход сигнала вертикальной синхронизации
HREF	Выход	Выход сигнала горизонтальной синхронизации
PCLK	Выход	Выход кадровой частоты

Продолжение таблицы 2

Название выхода	Направление	Назначение
XCLK	Вход	Вход системной частоты
D7	Выход	Вывод данных
D6	Выход	Вывод данных
D5	Выход	Вывод данных
D4	Выход	Вывод данных
D3	Выход	Вывод данных
D2	Выход	Вывод данных
D1	Выход	Вывод данных
D0	Выход	Вывод данных
RESET	Вход	Сброс
PWDN	Вход	Настройка режима понижения питания (PowerDown) 0: Нормальный режим 1: Режим понижения питания

Принципиальная схема подключения устройства обработки видео на ПЛИС представлена на рисунке 18.

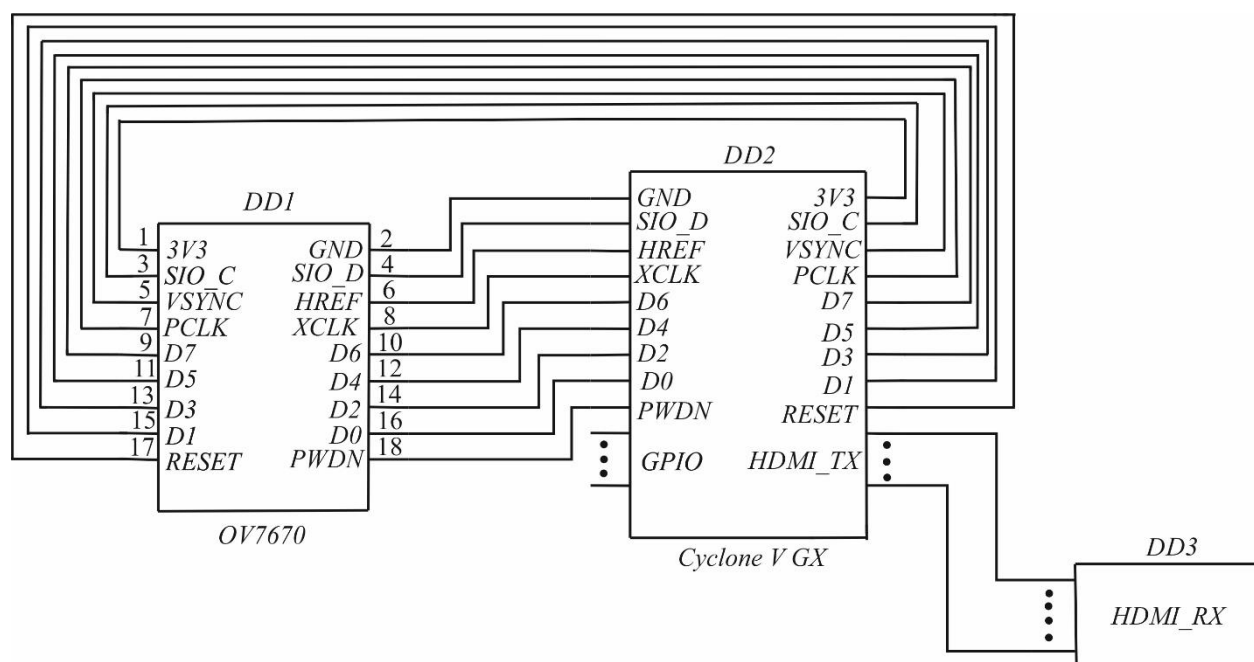


Рисунок 18 - Схема подключения устройства обработки видео на ПЛИС

Подключение выводов камеры производилось к GPIO выводам отладочной платы, в соответствии с технической документацией.

Код разрабатывался на языке описания аппаратуры Verilog HDL. В качестве инструмента для тестирования использовался симулятор ModelSim от компании Altera. Далее компиляция, отладка проекта и прошивка ПЛИС осуществлялась через САПР Altera Quartus II. При помощи функции RTL-viewer в Quartus II была создана схема устройства на уровне регистровых передач (рисунок 19).

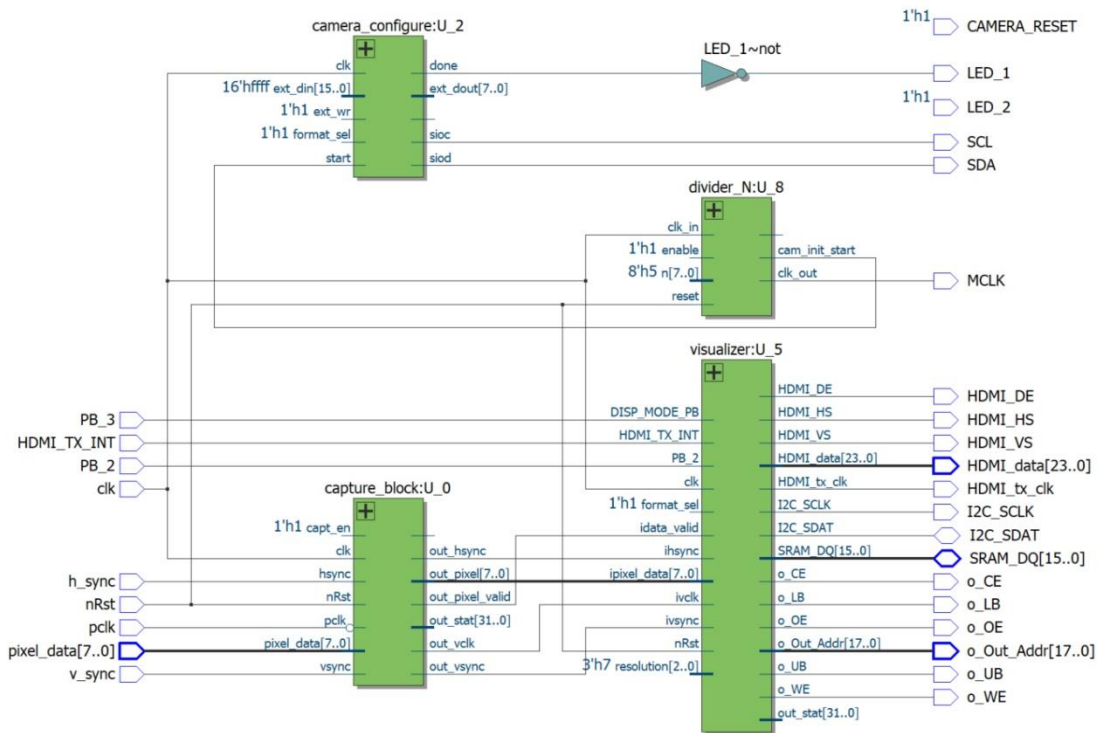


Рисунок 19 – Схема устройства из режима RTL-viewer. Схема из Quatus II

В качестве системной частоты проекта была выбрана 50 МГц (clk) с генератора, установленного на отладочной плате.

Остановимся на каждом из основных модулей более подробно:

1) Модуль Divider (рисунок 20)

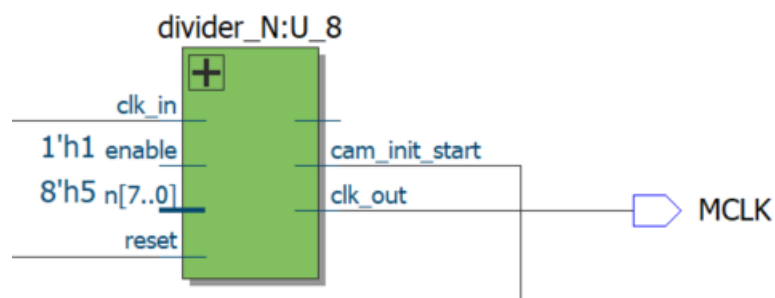


Рисунок 20 - Модуль Divider. Схема из Quatus II

Данный модуль генерирует сигнал cam_init_start для инициализации камеры, а также делит системную частоту на 2 и подаёт на HDMI_TX интерфейс, так как он требует тактирования в 25 МГц.

2) Модуль Camera_configure (рисунок 21)

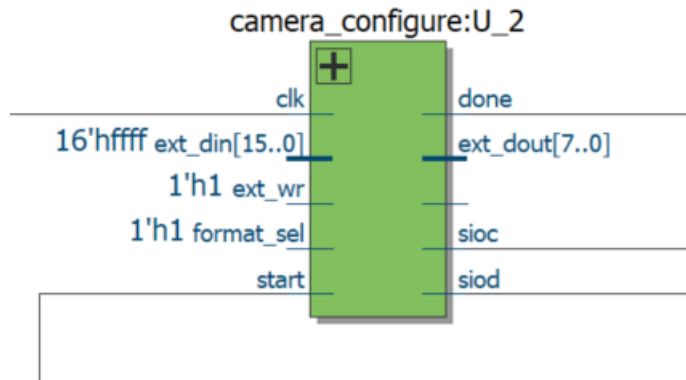


Рисунок 21 - Модуль Camera_configure. Схема из Quartus II

Данный модуль генерирует сигналы для первоначальной настройки камеры OV7670.

3) Capture block (рисунок 22)

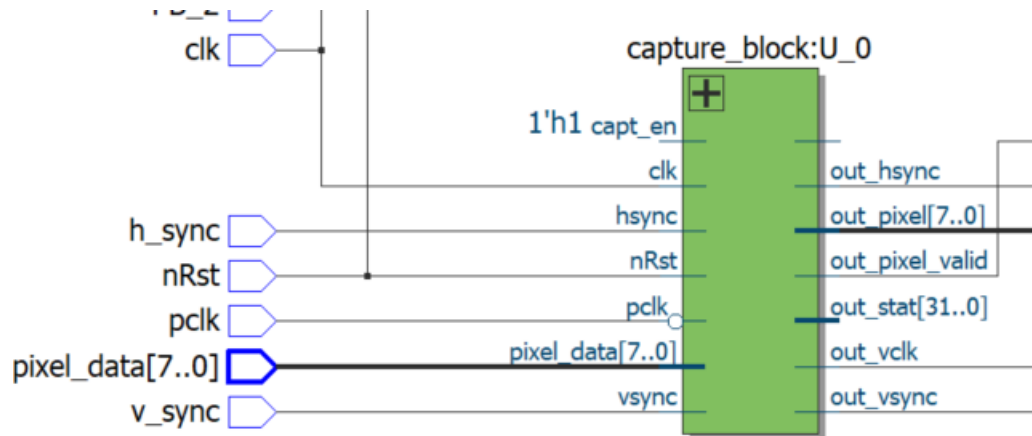


Рисунок 22 - Модуль Capture_block. Схема из Quartus II

Данный модуль принимает на вход данные от камеры pixel_data в формате YCbCr 4:2:2 или RGB:565 и управляющие сигналы синхронизации кадровой и строчной развертки hsync, vsync, переводит их в тактовый домен clk (50 МГц), формирует управляющий сигнал out_pixel_valid и out_vclk и передает их в модуль преобразования формата данных.

4) Visualizer (рисунок 23)

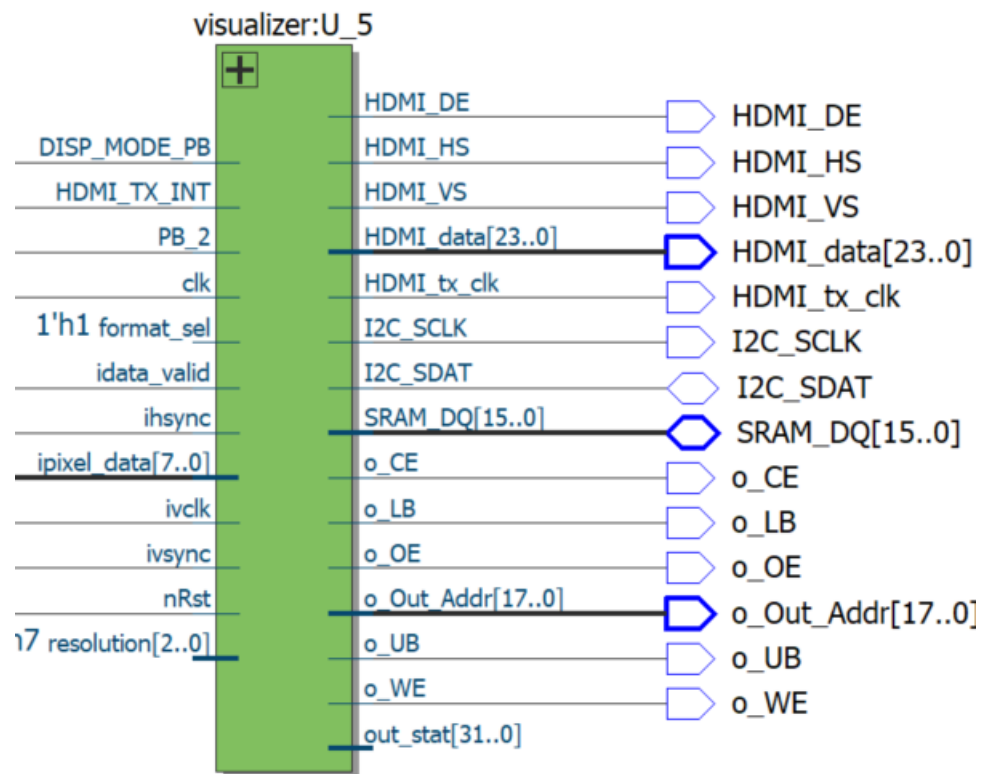


Рисунок 23 - Модуль Visualizer. Схема из Quatus II

Данный блок выполняет работу по обработке видеопотоке и выводу изображений по интерфейсу HDMI. Внутри него реализованы следующие функции:

- **Преобразование из цветового пространства из YCbCr 4:2:2 в RGB:565.**

По умолчанию камера выводит изображение в формате YCbCr 4:2:2. Данный формат не очень удобен, поэтому добавлена функция преобразования из YCbCr 4:2:2 в RGB:565. Вначале YCbCr 4:2:2 преобразуется в YCbCr 4:4:4. Затем YCbCr 4:4:4 преобразуется в RGB:565. Это делается на основе формул 16-18 из технической документации [12]:

$$R = Y + 1.402 * (Cr - 128) \quad (16)$$

$$G = Y - 0.714 * (Cr - 128) - 0.344 * (Cb - 128) \quad (17)$$

$$B = Y + 1.772 * (Cb - 128) \quad (18)$$

Выполнение вычислений данным модулем не является обязательным. Данный модуль будет работать, если данные с камеры подаются в формате YCbCr 4:2:2. Если изначально на камере выбран формат RGB:565, то данные с камеры сразу идут на запись в память.

➤ **Буфферы ФИФО.**

Нужны для выравнивания и синхронизации линий данных. Была использована стандартная модуль FIFO от Altera.

➤ **Контроллер записи в SRAM память.**

Для того, чтобы отфильтровать изображение, его нужно полностью записать в память. На ПЛИС Cyclone 5 GX есть только 610Кбайт встроенной памяти, следовательно, туда можно записать только 2 кадра с разрешением 640*480 (каждый будет весить по 300КБайт). Поэтому для предварительной записи кадров будет использована микросхема SRAM памяти IS61WV25616 на 4МБайта [13].

➤ **Контроллер чтения из SRAM памяти.**

Данный модуль отвечает за правильное считывание кадров из памяти для последующей фильтрации. Для корректной обработки движения нужно работать с соседних кадров, чтобы их вычесть.

➤ **Модуль фильтрации изображения.**

В данном модуле реализовано:

- Обработка фильтром Собеля (для выделения границ).
- Определение движения на видео методом frame difference.

➤ **Модуль вывода изображения**

Данный модуль выводит отфильтрованные данные на HDMI-контроллер.

➤ **HDMI – контроллер**

Последний модуль системы подаёт данные на HDMI- передатчик, расположенный на отладочной плате для дальнейшего вывода на монитор.

Однако на этапе отладки возникла проблема – некорректно работал модуль HDMI. Особенность отладочной платы Cyclone V GX Starter Kit в том, что помимо самого разъёма HDMI, на ней установлена микросхема HDMI-

передатчика Analog Devices ADV7513. Выходы ПЛИС припаяны не к самому разъёму, а к выводам данной микросхемы. Написанный драйвер для ADV7513 работал некорректно и вывести изображение на экран не удалось. Так как безуспешный поиск ошибки занял большое количество времени, было принято решение о смене платформы для реализации устройства. Научный руководитель предоставил отладочную плату TUL PYNQ Z2 и по сравнению с Cyclone V GX Starter Kit она имеет ряд преимуществ:

- 1 На плате PYNQ Z2 выводы ПЛИС припаяны напрямую к разъёму HDMI, что позволяет использовать готовое IP-ядро от Xilinx по реализации HDMI-передатчика.
- 2 На плате PYNQ Z2 имеется USB-разъём, что позволяет заменить камеру OV7670, подключаемую по 18 проводам, на камеру с подключением по USB.
- 3 На данной плате установлен SoC-кристалл Xilinx ZYNQ XC7Z020-1CLG400C, на котором помимо ПЛИС имеется двухъядерный процессор ARM Cortex A-9. Это позволит запустить на данном устройстве аналогичную систему по обработке видеопотока с использованием только ресурсов CPU, а затем сравнить с сделать вывод о эффективности использования ПЛИС для решения поставленной задачи.

2.3 Реализация устройства на отладочной плате TUL PYNQ Z2

На отладочной плате TUL PYNQ Z2 (рисунок 24) имеется SoC Xilinx ZYNQ XC7Z020-1CLG400C, который включается в себя:

- Двухъядерный процессор ARM Cortex A-9 с частотой 650 МГц;
- Программируемая логика, эквивалентная серии Artix-7;
- Встроенный АЦП.

Также на плате имеется:

- Ethernet-разъём;
- USB-JTAG программатор;

- USB-UART разъём;
- Разъём USB 2.0;
- разъёма HDMI;
- 3.5-мм аудио-разъём;
- кнопки;
- переключателя;
- 6 светодиодов;
- 512 Мбайт ОЗУ DDR3;
- 16 Мбайт flash-памяти;
- Слот для карты MicroSD;



Рисунок 24 - Отладочная плата TUL PYNQ Z-2

Наличие на плате USB разъёма позволило использовать более удобную камеру Logitech C270 (рисунок 25). Данная веб-камера обеспечивает изображение в формате 720p (1280*720) с частотой до 30 кадров в секунду. Но

можно программно снизить разрешение до 640*480. Камера подключается по USB, что делает её чрезвычайно лёгкой в использовании.

Так как на плате стоит кристалл от Xilinx, то и прошивка производилась в САПР Xilinx Vivado.



Рисунок 25 - Камера OV7670

После изменения аппаратной части проекта изменилась и программная его часть. Наличие интерфейсов USB и HDMI на отладочной плате позволило использовать готовые IP-ядра от Xilinx. IP (Intellectual property) ядра – готовые блоки для проектирования микросхем. Они делятся на 3 основных класса:

Программные IP-ядра – блоки, написанные на языке описания аппаратуры (HDL).

Схемотехнические ядра – блоки, специфицированные на схемотехническом уровне, без привязки к конкретной топологической реализации.

Физические (топологические) ядра – блоки, специфицированные на физическом уровне реализации СБИС.

В проекте были использованы AXI_USB2_DEVICE – IP для настройки интерфейса USB 2.0 [14] на ПЛИС Xilinx и HDMI 1.4 Transmitter Subsystem v3.1 для реализации передатчика HDMI 1.4 на ПЛИС Xilinx [15].

Кроме IP-ядер для реализации внешних интерфейсов использованы IP-ядра памяти-FIFO и PLL. PLL – фазовая автоподстройка частоты, система автоматического регулирования, подстраивающая фазу управляемого генератора так, чтобы она была равна фазе опорного сигнала, либо отличалась на известную функцию от времени [16]. Но при работе над поставленной в ВКР задаче можно было абстрагироваться от теоретического обоснования фазовой автоподстройки частоты, ведь её задача – умножение или деление частоты сигнала. В проекте требовалась умножение частоты, так как USB 2.0 требует тактовый сигнал с частотой в 480 МГц, а контроллер работы с памятью – 100 МГц. На рисунке 26 представлено изображение IP-ядра AXI USB2 Device из Vivado.

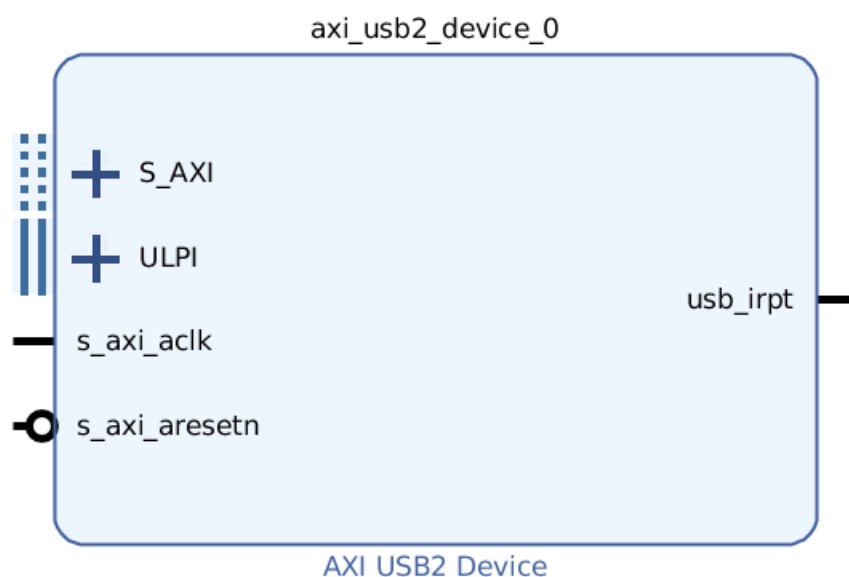


Рисунок 26 – IP-ядро AXI USB2 Device из Vivado

На рисунке 27 представлено изображение IP-ядра HDMI 1.4/2.0 Transmitter из Vivado.

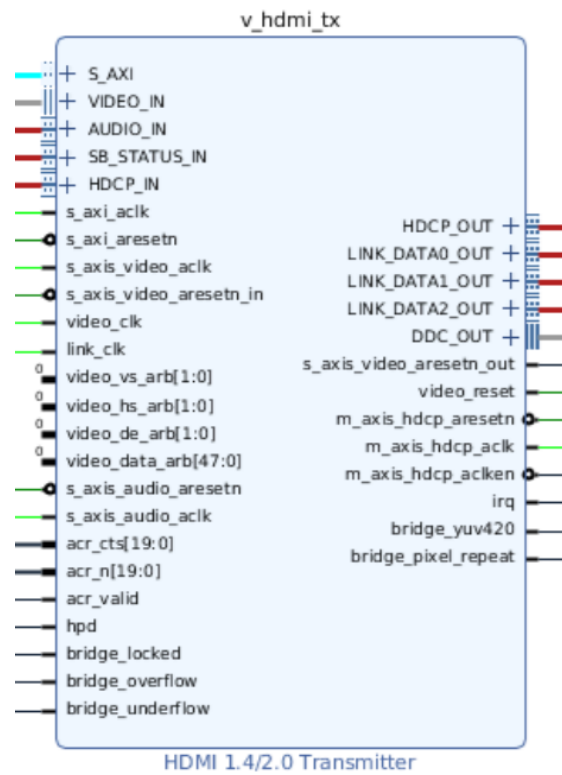


Рисунок 27 – IP-ядро HDMI 1.4/2.0 Transmitter из Vivado

Использование IP-ядер упростило схему устройства (рисунок 28), сгенерированную после компиляции программного кода САПР Xilinx Vivado. По сравнению с на рисунке 19, полученной в Altera Quartus II, нет необходимости в отдельном модуле camera_configure. Его функции выполняет доработанный модуль capture_block, так как настройка камеры упрощена, из-за использования стандартного интерфейса подключения USB.

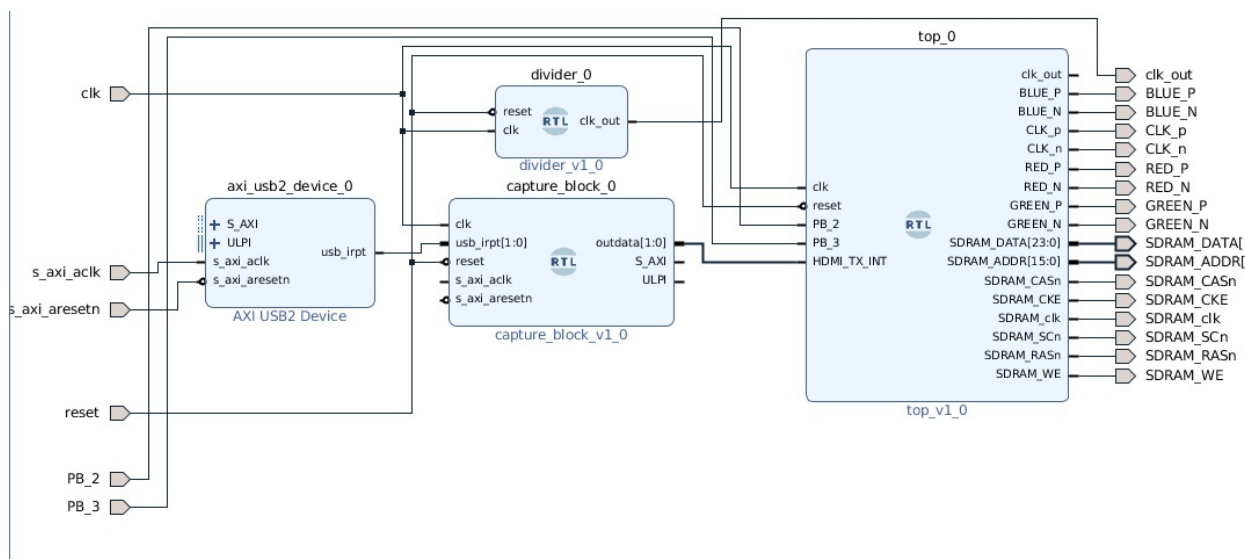


Рисунок 28 – Схема устройства из Vivado

В данном разделе был рассмотрен процесс разработки устройства обработки видеопотока на ПЛИС. Результаты работы устройства рассмотрены в следующей, экспериментальной части ВКР.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Темой выпускной квалификационной работы является разработка системы обработки видеопотока на ПЛИС. Данное устройство можно отнести к системам технического зрения: оно обрабатывает видео с камеры в реальном времени, выделяя границы объектов и детектирует движение в кадре.

В рамках ВКР разрабатывается программная часть на языке описания аппаратуры Verilog HDL. Код может быть адаптирован под разные аппаратные модули.

Для анализа потребителей результата работы необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определённый товар (услуга).

У систем технического зрения огромное количество применений, основные из них:

- Промышленные компании: системы технического зрения позволяют проводить визуальный контроль качества продукции во многих отраслях промышленности;
- Оборонный комплекс: для различных систем наведения и распознавания целей;
- Городские муниципалитеты: во многих крупных городах камеры, считывающие номера автомобиля нарушившего правила, стали обыденностью. И используя данные с камеры современные системы могут автоматически выписывать штрафы нарушителям;

- Сфера беспилотного транспорта – системы обработки и анализа видео являются важнейшими частями для беспилотных автомобилей или современных высокотехнологичных квадрокоптеров.

Таблица 3 – Сегментация рынка при использовании систем технического зрения

		Область применения			
		Промышлен-ные компании	Оборон-ный комплекс	Городские муниципалитеты	Сфера беспилотного транспорта
Размер компании	Крупные	//////////	+++++++	////////// *****	////////// *****
	Мелкие	////////// *****		*****	*****

+++++++ - Рифтэк Россия («Рифтэк»);

////////// - Omron («Япония»);

***** - Выпускная квалификационная работа.

Как видно из таблицы 3, проникнуть в оборонный комплекс разрабатываемому устройству будет крайне сложно, ведь у армии России уже есть сформировавшийся список поставщиков. Кроме того, в этой сфере повышенные требования к безопасности и надёжности системы, ведь она может работать в боевых условиях. Также практически невозможно конкурировать с международной компанией Omron среди крупных промышленных компаний.

Но разрабатываемое устройство более конкурентоспособно в глазах муниципалитетов небольших городов, так как города с относительно маленьким не смогут приобрести дорогостоящее оборудование от Omron. Аналогичная ситуация с небольшими компаниями, занимающимися решениями в области беспилотного транспорта.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

При ведении собственного производства необходим систематический анализ конкурирующих разработок во избежание потери занимаемой ниши рынка. Периодический анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности позволяет оценить эффективность научной разработки по сравнению с конкурирующими предприятиями.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (19)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

В качестве конкурентов взяты как компания из ближнего зарубежья, основным рынком сбыта которой является Россия, так и мировой лидер в области промышленных решений технического зрения.

Компания OMRON, штаб-квартира которой находится в Киото (Япония), является мировым лидером по производству средств автоматизации. Она имеет заказчиков из 120 стран мира в различных областях, включая промышленную автоматику, производство электронных компонентов и системы для здравоохранения. Кроме того, компания имеет большую линейку контроллеров технического зрения. Компания разделена на пять отделений с административными центрами в Киото (Япония), Сингапуре (Азиатско-Тихоокеанский регион), Гонконге (Китай), Амстердаме (Европа) и Чикаго (США). Европейское отделение имеет собственные проектные и производственные подразделения и предоставляет техническую поддержку заказчикам во всех европейских странах.

Компания Рифтэк Россия - официальное представительство в РФ головной компании, научно-производственного предприятия "РИФТЭК", основанного в Беларуси. Основной профиль деятельности - разработка и производство оптоэлектронных приборов для измерения геометрических величин, а также разработка систем аналитической обработки видео. Кроме этого компания осуществляет заказную разработку алгоритмов аналитической обработки видео для систем вооружения. Алгоритмы могут быть реализованы в виде программных библиотек или IP ядер для проектов FPGA. Программные библиотеки разрабатываются на языке C++ (стандарта C++11). IP ядра разрабатываются для FPGA производства компаний Xilinx или Altera.

В таблице 4 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки в области технического зрения.

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии обогащаемого материала							
1. Помехоустойчивость	0,05	4	5	4	0,2	0,25	0,2
2. Энергоэкономичность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
3. Надёжность	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
4. Функциональность	0,15	4	4	5	0,6	0,6	0,75
5. Простота эксплуатации	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
6. Цена	0,15	5	4	3	0,75	0,6	0,45
7. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
8. Финансирование научной разработки	0,05	4	5	5	0,2	0,25	0,25

Продолжение таблицы 4

9. Уровень проникновения на рынок	0.15	4	5	5	0,6	0,75	0,75
10. Срок выхода на рынок	0.05	4	5	5	0,2	0,25	0,25
Итого:	1				4,35	4,3	4,35

Б_ф - Выпускная квалификационная работа

Б_{к1} - Рифтэк Россия («Рифтэк»);

Б_{к2} - Ormon («Япония»);

Главные преимущества разрабатываемой системы обработки видеопотока на ПЛИС – относительно недорогая стоимость реализации, энергоэкономичность и простота эксплуатации. Преимущества конкурентов – в более широкой функциональности, лучшем финансировании и в более глубоком проникновении на рынок.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Первый этап SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Высокая скорость работы из-за применения ПЛИС.</p> <p>С2. Возможности для масштабирования и улучшения проекта.</p> <p>С3. Новые методы решения задачи.</p> <p>С4. Большая актуальность разработки.</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Зависимость от иностранного производителя элементной базы.</p> <p>Сл2. Необходимо время на доработку и улучшение программного кода.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p> <p>В2. Проникновение на новые рынки с меньшей конкуренцией.</p> <p>В3. Увеличение спроса на систему из-за перспективности технического зрения.</p>		
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Подорожание элементов вследствие экономической политики.</p> <p>У2. Большой срок транспортировки элементной базы.</p> <p>У3. Изменение в таможенной политике.</p>		

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком

«+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрицы представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта.

		Сильные стороны				Слабые стороны	
		С1	С2	С3	С4	Сл1	Сл2
Возможности проекта	В1	-	+	+	+	-	-
	В2	+	+	-	+	-	-
	В3	+	+	+	+	-	-
Угрозы проекта	У1	-	-	-	-	+	-
	У2	-	-	+	+	+	+
	У3	-	-	+	-	+	-

Таким образом, в рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 7).

Таблица 7 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Высокая скорость работы из-за применения ПЛИС.</p> <p>С2. Возможности для масштабирования и улучшения проекта.</p> <p>С3. Новые методы решения задачи.</p> <p>С4. Большая актуальность разработки.</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Зависимость от иностранного производителя элементной базы.</p> <p>Сл2. Необходимо время на доработку и улучшение программного кода.</p>
--	--	---

Продолжение таблицы 7

Возможности: В1. Повышение стоимости конкурентных разработок. В2. Проникновение на новые рынки с меньшей конкуренцией. В3. Увеличение спроса на систему из-за перспективности технического зрения.	Данное устройство имеет преимущества как технического характера, так и экономического. Повышение спроса на решения в области технического зрения будут способствовать закреплению устройства на рынке.	Данные проблемы присущи многим подобным устройствам, производимым в России. Высокий спрос на системы технического зрения, низкая конкуренция на некоторых рынках и использование информационных ресурсов ТПУ позволит прибору найти свою рыночную нишу.
Угрозы: У1. Подорожание элементов вследствие экономической политики. У2. Большой срок транспортировки элементной базы. У3. Изменение в таможенной политике.	Высокая скорость работы из-за использования ПЛИС и перспективность данной разработки вполне способны ослабить влияние перечисленных угроз.	Необходимость в программируемой логической схеме (ПЛИС) делает прибор зависимым от курса валют, что может сказаться на его стоимости и конкурентоспособности. Из-за особенностей работы с ПЛИС понадобится обучающий материал по работе с прибором.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в чей состав входят: бакалавр, научный руководитель, консультант по части

социальной ответственности (СО) и консультант по экономической части (ЭЧ) выпускной квалификационной работы. Составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и проведем распределение исполнителей по видам работ (таблица 8).

Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1	2	3	4
Разработка технического задания	1	Постановка целей и задач, получение исходных данных	Научный руководитель
	2	Составление и утверждение ТЗ	Научный руководитель, консультант ЭЧ, СО, студент
Теоретическая подготовка к выполнению работы	3	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель, студент
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, студент
Теоретическое обоснование работы	5	Разработка структурной схемы устройства	Научный руководитель, студент
	6	Составление требований к каждому блоку	Научный руководитель, студент

Продолжение таблицы 8

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1	2	3	4
Практическая работы над проектов	7	Изучение отладочной платы Cyclone 5 GX и камеры OV7670	Студент
	8	Написание программы	Студент
	9	Отладка программы, тестирование и поиск ошибок	Студент
Оформление отчёта по НИР	10	Оформление расчётно-пояснительной записки	Студент
	11	Оформление материала	Студент
	12	Подведение итогов	Научный руководитель, студент

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула (20):

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (20)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (21)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел. – дн;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ки} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (22)$$

где $T_{ки}$ – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле (5):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (23)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году (365);

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году (96);

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году (14).

Таким образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 96 - 14} = 1,48.$$

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу Е.1 в приложении Е.

На основе таблиц Е.1 строится календарный план-график (таблица Ж.1). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 8 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

4.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на основное оборудование для научно-экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);

- накладные расходы.

4.2.4.1 Расчет материальных затрат НИИ

Для выполнения данной ВКР требуются материальные затраты на:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований).

Расчёт материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) * \sum_{i=1}^m C_i + N_{расхi}, \quad (24)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт, кг, м, м² и т.д);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной

удалённости поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25 % от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносим в таблицу.

Материальные затраты данного НТИ представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер		Количество	Цена за ед., руб.		Затраты на материалы, (З _м), руб.	
	Исп. 1	Исп.2		Исп. 1	Исп.2	Исп. 1	Исп.2
Кабель	DEXP HDMI-HDMI, 1 м		1	400		400	
Шлейф с разъёмами МАМА-МАМА	BBJ-FF, 20 см		20	12		240	
Отладочная плата	Cyclone 5 GX Starter Kit	TUL Pynq-Z2	1	25000	11500	25000	11500
Камера	OV7670	OV3660	1	220	1620	220	1620
Всего за материалы						25860	12960
Транспортно – заготовительные расходы (15-25%)						6465	3240
Итого по статье С _м						32325	16200

4.2.4.2 Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ

Для оборудования нужно рассчитать величину годовой амортизации по следующей формуле (25):

$$A_{\text{год}} = \frac{C_{\text{перв}}}{T_{\text{пи}}}, \quad (25)$$

где $C_{\text{перв}}$ – первоначальная стоимость, руб;

$T_{\text{пи}}$ – время полезного использования, год.

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблицу 10.

Таблица 10 – Затраты на оборудование для научно-экспериментальных работ.

Наименование оборуд.	Кол-во единиц оборуд.	Цена единицы оборуд., руб	Стоимость оборуд., руб.	Срок службы оборуд., год	Норма амортизации, %	Амортизация ежемесячная, руб/мес.
Ноутбук	1	50000	50000	5	20	833
Монитор	1	10000	10000	10	10	83
Всего:						916
Доставка и монтаж (15 %)						138
Итого в месяц						1054
Итого за период исследования (4 месяца)						4216

4.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии и доплаты) и дополнительную заработную плату. Также включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (26)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (27)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 8);

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (28)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб.дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб.дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 11).

В таблице 11 приведен баланс рабочего времени каждого работника НИИ.

Таблица 11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Студент	Консультант ЭЧ	Консультант СО
Календарное число дней	365	365	365	365
Количество нерабочих дней				
• выходные дни:	52	52	52	52
• праздничные дни:	14	14	14	14
Потери рабочего времени				
• отпуск:	48	48	48	48
невыходы по болезни:	7	7	7	7
Действительный годовой фонд рабочего времени	245	245	245	245

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (29)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $Z_{тс}$);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $Z_{тс}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{с1} = 600$ руб. на тарифный коэффициент k_t и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет основной заработной платы

Категория	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель (К.Т.Н)	15000	0,3	0,2	1,3	29250	1241,6	34,85	43269,76
Студент	8600	0,3	0,2	1,3	16770	711,8	71,92	51192,66
Консультант ЭЧ	20080	0,3	0,2	1,3	39156	1662,1	7	11634,7
Консультант СО	20080	0,3	0,2	1,3	39156	1662,1	7	11634,7
Итого	117731,82							

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (30)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Общая заработная исполнителей работы представлена в таблице 13.

Таблица 13 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{осн}$, руб.	$Z_{доп}$, руб.	$Z_{зн}$, руб.
Руководитель	43269,76	6490,464	49760,224
Бакалавр	51192,66	7678,899	58871,559
Консультант ЭЧ	11634,7	1745,21	13379,91
Консультант СО	11634,7	1745,21	13379,91
Итого	117731,82	17659,783	135391,603

4.2.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (31)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30 %. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 30,2% .

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	43269,76	6490,464
Студент	51192,66	7678,899

Продолжение таблицы 14

Консультант ЭЧ	11634,7	1745,21
Консультант СО	11634,7	1745,21
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого:	36691,12	

4.2.4.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 5), \quad (32)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16 %.

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (32325 \text{ или } 16200 + 60000 + 117731,82 + 17659,783 + 36691,12) = 42305,26 \text{ или } 39725,24.$$

4.2.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп. 1	Исп. 2	
1. Материальные затраты НТИ	32325	16200	таблица 12
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	60000		таблица 13
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	117731,82		таблица 15
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	17659,783		таблица 16
5. Отчисления во внебюджетные фонды	36691,12		таблица 17
6. Накладные расходы	42305,26	39725,24	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	306712,983	288007,963	Сумма ст. 1-6

Как видно из таблицы 15 основные затраты НТИ приходятся на заработную плату исполнителям.

4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (33)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (34)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки; устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблице 16.

Таблица 16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Способствует росту производительности труда	0,25	4	5
2. Удобство в эксплуатации	0,25	5	3
3. Удобство при разработке	0,25	5	3
4. Помехоустойчивость	0,05	5	5
5. Энергосбережение	0,05	5	5
6. Надёжность	0,15	5	5
ИТОГО	1	4,75	4

Сравнив значения интегральных показателей ресурсоэффективностим можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом для проектирования с позиции ресурсосбережения.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}}, I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}} \text{ и т.д.} \quad (35)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. таблицу 19) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} . \quad (36)$$

Таблица 17 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,94
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	4
3	Интегральный показатель эффективности	4,7	4,25
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,9

4.4 Вывод

Сравнительный анализ интегральных показателей эффективности показывает, что ресурсоэффективность первого исполнения выше, несмотря на несколько большую стоимость разработки.

В ходе выполнения работы по разделу “Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение” была получена сформированная концепция проекта, SWOT – анализ, показывающий сильные и слабые стороны, а также угрозы и возможности, на основании которого были выдвинуты предложения для снижения угроз и минимизации влияния слабых сторон. Также оценена конкурентоспособность проекта.

Создаваемый проект имеет высокую актуальность и конкурентоспособность. Планирование работы позволило выделить основные этапы, календарные сроки и отразить их на диаграмме Ганта. В ходе планирования бюджета оказалось, что большая часть финансовых средства тратится на заработную плату работникам.