

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка программы определения эмоционального состояния группы людей по цифровому изображению

УДК 004.93'1:316.354:159.942

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E51	Колобов Ростислав Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Курганов В.В.	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Цавнин А.В.			

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов А.В..	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Фадеева Вера Николаевна	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова О.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Мамонова Т.Е.	К.Т.Н.		
Руководитель ОАР	Леонов С.В.	К.Т.Н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	применять глубокие естественнонаучные, 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.
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.
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.
P4	определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации мехатронных и робототехнических модулей, устройств и систем
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.
P6	понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в мехатронике и робототехнике и знать области их применения, в том числе в автоматизированных производствах.
P7	применять глубокие естественнонаучные, 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.
Универсальные компетенции	
P8	эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды
P9	владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий
P10	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
P11	следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности

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

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки (специальность) 15.03.06 Мехатроника и робототехника
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Мамонова Т.Е.
 (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
8Е51	Колобов Ростислав Сергеевич

Тема работы:

Разработка программы определения эмоционального состояния группы людей по цифровому изображению

Утверждена приказом директора (дата, номер)

06.05.2019 №3492/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(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.).

Работа направлена на разработку программы определения эмоционального состояния группы людей на основе цифрового изображения.

<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. Разработка обобщенного алгоритма программы 2. Анализ существующих методов детектирования и классификации лиц на изображении 3. Разработка детализированного алгоритма программы 4. Проектирование архитектуры и обучение сверточной нейронной сети 5. Анализ обученной нейронной сети и тестирование программы.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Блок-схемы алгоритмов 2. Таблицы
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Фадеева Вера Николаевна, доцент ОСГН, к.ф.н.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Немцова Ольга Александровна, ассистент ООД ШБИП</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Заключение</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал руководитель / консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Курганов В.В.	к.т.н.		
Ассистент ОАР ИШИТР	Цавнин А.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E51	Колобов Ростислав Сергеевич		

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

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки (специальность) 15.03.06 Мехатроника и робототехника
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2018 /2019 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)
01.06.2019	Основная часть	75
10.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
25.05.2019	Социальная ответственность	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Курганов В.В.	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Цавнин А.В.			

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Т.Е.	К.Т.Н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Е51	Колобову Ростиславу Сергеевичу

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.06.03 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	Оклад инженера – 21760 руб., Оклад руководителя – 33664 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Премимальный коэффициент 30 %; Коэффициент доплат и надбавок 20 %; Районный коэффициент 30 %; Коэффициент дополнительной заработной платы 12 %; Накладные расходы 16 %.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ, - определение трудоемкости работ, - создание диаграммы Ганта. Формирование бюджета затрат на разработку: - затраты на специальное оборудование; - заработная плата (основная и дополнительная), - социальные отчисления, - накладные расходы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности разработки	Определение потенциального эффекта разработки.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Ганта
2. Таблицы

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Фадеева В.Н.	Кандидат наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е51	Колобов Ростислав Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Е51	Колобову Ростиславу Сергеевичу

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	221000 Мехатроника и робототехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объектом исследования является программа определения эмоционального состояния группы людей на основе цифрового изображения. Оборудованием, на котором осуществляется работа является персональный компьютер. Разработанная программа может применяться охранными предприятиями, а также для различных социологических исследований.</i>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	<i>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - специальные правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. Используемая нормативно-техническая документация: - ГОСТ 12.2.032-78 [35] - СанПиН 2.2.4.548-96 [36]</i>
2. Производственная безопасность	<i>Анализ выявленных вредных факторов: - Недостаточная освещенность рабочей зоны - Отклонение параметров микроклимата - Превышение уровня шума - Психофизические факторы Анализ выявленных опасных факторов: - Электрический ток - Короткое замыкание - Статическое электричество</i>
3. Экологическая безопасность	<i>Воздействие объекта на атмосферу, гидросферу отсутствует. Воздействие на литосферу происходит при утилизации ПК, используемого для разработки, а также утилизации ламп освещения</i>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	<i>Возможной чрезвычайной ситуацией при разработке программы является возникновение пожара на рабочем месте</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова О.А.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е51	Колобов Ростислав Сергеевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа выполнена на 85 с., содержит 28 рис., 18 табл., 37 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: сверточная нейронная сеть, распознавание эмоций на уровне группы, алгоритм программы, глубокое обучение, выравнивание изображения.

Целью данной работы является разработка программы определения эмоционального состояния группы людей на основе цифрового изображения.

В выпускной квалификационной работе представлена разработка программы определения эмоционального состояния группы людей по цифровому изображению. В работе приведены результаты разработки обобщенного и детализированного алгоритма программы. Рассмотрены существующие методы детектирования лиц на изображениях, а также методы их последующей классификации на классы эмоций. После выбора методов детектирования и классификации изображений лиц была разработана функция выравнивания лица на изображении, разработана архитектура и обучена сверточная нейронная сеть. В завершении работы были объединены разработанные этапы алгоритма программы и проанализировано ее быстродействие.

Оглавление	
Введение.....	11
1 Обзор литературы	12
2 Обобщенный алгоритм работы программы	14
3 Категории способов обнаружения лиц	16
3.1 Эмпирический подход	16
3.2 Методы инвариантных признаков	17
3.3 Распознавание с помощью шаблонов, заданных разработчиком	18
3.4 Методы обнаружения лица по внешним признакам	20
4 Способы определения эмоций по изображению	24
4.1 Классификация на основе ключевых точек	24
4.2 Классификация эмоций с применением глубокого обучения.....	24
5 Наборы данных выражений лица для обучения искусственной нейронной сети	26
5.1 Fer2013.	26
5.2 Cohn-Kanade.	27
5.3 Yale Face	27
5.4 The Japanese Female Facial Expression (JAFFE).....	28
5.5 Senthilkumar Face Database.....	29
5.6 Nott faces originals	29
5.7 The Karolinska Directed Emotional Faces (KDEF)	29
6 Функция выравнивания лица на изображении. Обучение каскадного классификатора.....	31
7 Детализированный алгоритм программы	37
8 Проектирование архитектуры и обучение сверточной нейронной сети	39
9 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	46
9.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	46
9.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	46
9.1.2 Анализ конкурентных технических решений	46
9.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	49
9.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	49
9.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	50
9.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	51

9.2.4 Бюджет научно-технической разработки	55
9.3 Определение потенциального эффекта разработки	60
9.4 Заключение по разделу	63
10 Социальная ответственность	64
10.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	64
10.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	64
10.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	65
10.2 Производственная безопасность	66
10.2.1 Недостаточная освещенность рабочей зоны	68
10.2.2 Превышение уровня шума	69
10.2.3 Отклонение параметров микроклимата	69
10.2.4 Статическое электричество	70
10.2.5 Психофизиологические факторы	71
10.2.6 Электрический ток	72
10.3 Экологическая безопасность	74
10.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	74
10.5 Заключение по разделу	75
Заключение	77
Conclusion.....	78
Список источников	79
Приложение А Блок-схема обобщенного алгоритма	83
Приложение Б Блок-схема алгоритма функции выравнивания	84
Приложение В Блок-схема детализированного алгоритма программы	85

Введение

Распознавание эмоций с течением времени становится все более актуальной темой разработки. Наиболее перспективными областями применения данной технологии являются:

- системы видеоаналитики,
- социальные исследования,
- мониторинг учащихся,
- человек-машинное взаимодействие и т.д.

Однако в некоторых случаях существует необходимость определения эмоции не одного человека, а общего эмоционального состояния группы лиц. Анализ существующих статей по данной тематике говорит об актуальности данной темы. Несмотря на большое количество публикаций на текущий момент не обнаружено не одной программы определения эмоционального состояния группы людей, отсюда появляется необходимость разработки подобной программы.

В данной работе будут разработаны обобщенный и детализированный алгоритм программы определения эмоционального состояния группы людей на основе цифрового изображения. Разработана функция выравнивания лица на изображении, а также разработана и обучена сверточная нейронная сеть, осуществляющая классификацию изображений лиц на семь основных видов эмоций.

1 Обзор литературы

В ходе исследования литературы не было обнаружено публикаций, напрямую связанных с разработкой программ определения эмоционального состояния группы людей, однако имеется ряд статей и программ, тем или иным образом относящихся к теме работы.

В статье [1] рассматривается применение переноса обучения при классификации изображений на классы эмоций. В данном случае применяются предобученные сверточные нейронные сети, обученные на идентификации лиц на изображениях, при этом при этом извлекаются векторы признаков, обнаруженных на предыдущих слоях, после чего извлеченные признаки подавались на различные классификаторы, в результате чего была достигнута точность 75,4 %

Использование всего изображения, помимо изображения лиц, находящихся на нем, является особенностью статьи [2]. В данной статье, используется два классификатора на основе сверточных нейронных сетей, первый классификатор определяет эмоции по изображениям лиц, присутствующих на всем изображении, второй классификатор классифицирует все изображение целиком, после чего полученные результаты объединяются для получения конечного классификатора. Результатом работы является точность классификации эмоции, равная 64,83 %.

Также стоит рассмотреть программное обеспечение EmoDetect от компании Нейроботикс (Россия) [3]. Данная программа позволяет определять шесть эмоций по изображению лица. Классификация эмоций осуществляется расчетом двигательных единиц по системе кодирования лицевых движений П. Экмана (Facial Action Coding System (FACS)) и их дальнейшим анализом тремя независимыми классификаторами: искусственной нейронной сетью, системой решающих правил, классификатором по взвешенной сумме признаков. Однако стоит отметить, что данная программа не имеет возможности определения

эмоционального состояния группы людей. Пример работы программы представлен на рисунке 1.

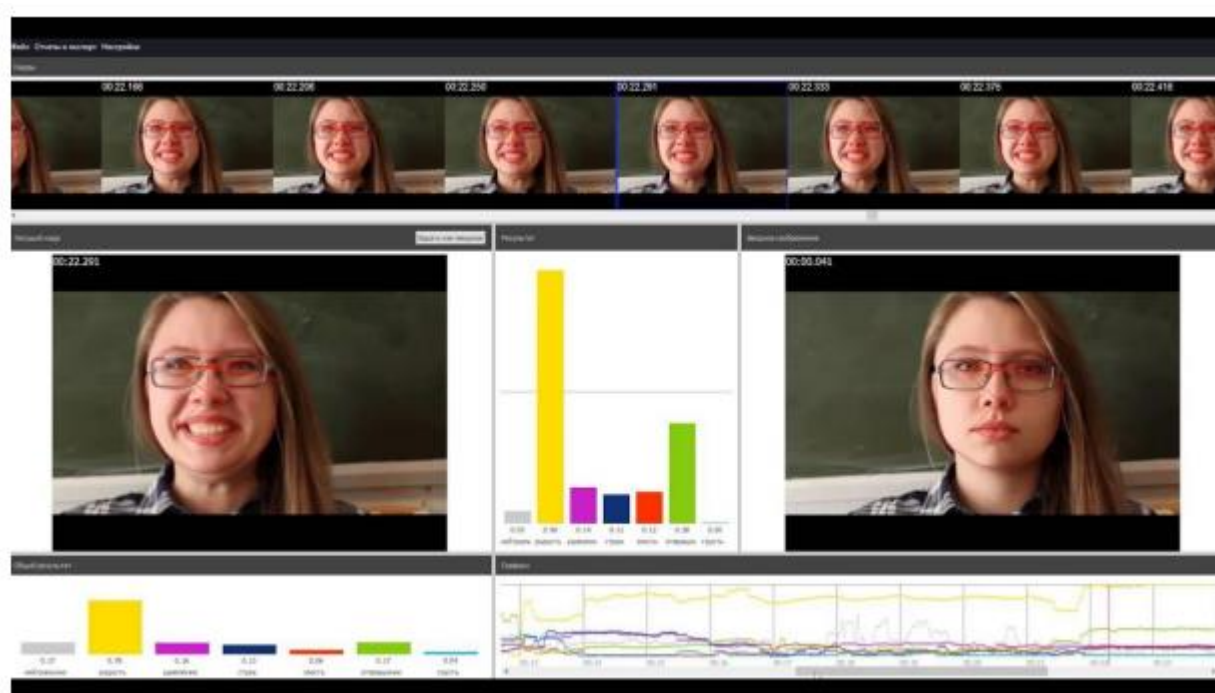


Рисунок 1 – Пример работы EmoDetect

2 Обобщенный алгоритм работы программы

Входными данными для программы являются цветные цифровые изображения размеров 640 на 480 пикселей полученные с веб-камеры.

Выполнения программы начинается с инициализации необходимых переменных, списков массивов, библиотек и методов, а также соответствующей команды пользователя, которая запускает основной цикл. Завершение программы осуществляется также, посредством соответствующей команды пользователя.

Первым шагом программы является захват изображения с веб-камеры исполняющего устройства (ноутбук) с записью массива изображения в соответствующую переменную. Далее производится проверка размера полученного массива. В случае, если размер массива равен нулю, программа пропускает остальные шаги и возвращается к шагу захвата изображения с камеры. Если размер массива не равен нулю, то изображения передается в функцию поиска лица на изображении, результатом работы которой является массив массивов найденных изображений лиц. При условии, что размер массива лиц равен нулю, программа пропускает последующие шаги и возвращается к шагу захвата изображения с камеры. В противном случае данный массив передается в функцию определения эмоций, выходом которой является вспомогательный список массивов вероятностей наличия каждой из семи эмоций на изображении лица. Далее происходит суммирование элементов вспомогательного списка с последующим делением полученного массива на количество элементов вспомогательного списка, результатом чего является массив средних значений эмоций на изображении.

Следующим шагом является проверка количества элементов главного списка. В случае, если количество элементов главного списка равно десяти, то полученный ранее массив средних значений добавляется в его конец, при этом удаляется первый элемент списка. Иначе полученный ранее массив добавляется в конец списка. Далее происходит суммирование элементов главного списка, с

последующим делением полученного массива на количество элементов главного списка, результатом чего является массив средних значений эмоций за период нескольких (до десяти) изображений. После получения массивов средних значений эмоций на изображении и на нескольких изображениях производится поиск максимальных элементов массивов, а также вывод их значений и названий соответствующих эмоций на экран, после чего программа возвращается к шагу захвата кадра с камеры. Блок-схема алгоритма представлена в приложении А.

Исходя из требуемых шагов алгоритма, необходимо определить способ поиска лица на изображении, а также способ классификации найденных изображений лиц на классы эмоций.

3 Категории способов обнаружения лиц

3.1 Эмпирический подход

Данный подход основывается на создании алгоритма, реализующего набор правил, которым должен соответствовать фрагмент изображения, содержащий лицо. В данном подходе осуществляется попытка формализовать эмпирические знания о том, как может быть представлено лицо на изображении, а также чем руководствуется человек, при выносе решения о том, присутствует лицо или нет.

Правила, на которых основывается подход [4]:

- центральная часть лица имеет однородную яркость и цвет,
- разница в яркости между центральной и верхней частью лица значительна,
- лицо содержит симметрично расположенные глаза, а также рот и нос, которые отличаются по яркости от остальных частей лица.

Как пример можно привести метод построения гистограмм для определения областей изображения, путем построения вертикальной и горизонтальной гистограмм, и на их основе осуществляет поиск черт лица, приведенный на рисунке 2.

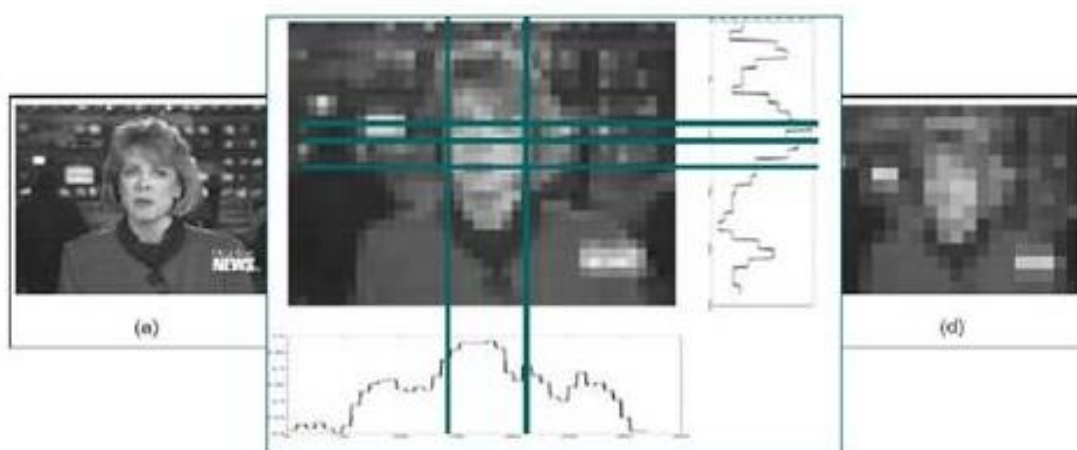


Рисунок 2 – Поиск лица методом гистограмм

Данный подход обладает малыми требованиями к вычислительным мощностям, но при этом не подходит для изображений, содержащих больше

количество лиц или сложный фон, поэтому для использования в поставленной задаче он не подходит.

3.2 Методы инвариантных признаков

В данных методах по сравнению с предыдущими отсутствует попытка формализовать процессы, происходящие в человеческом мозге явным образом. Основной целью является выявление закономерностей и свойств изображений лица, путем поиска инвариантных особенностей, независимо от угла наклона и положения [4].

Алгоритмы данной группы методов можно разделить на следующие этапы:

1. Поиск на изображении явных частей лица;
2. Обнаружение таких признаков, как границы лица, форма, яркость;
3. Объединение признаков с последующей верификацией.

Как пример рассмотрим метод обнаружения лиц в сложных условиях. Он заключается в поиске правильных геометрических расположений черт лица. Инструментом в данном случае является гауссовский производный фильтр, использующий множество различных масштабов и ориентаций. После фильтрации, путем случайного перебора производится поиск соответствия выделенных черт. Пример фильтрации представлен на рисунке 3.

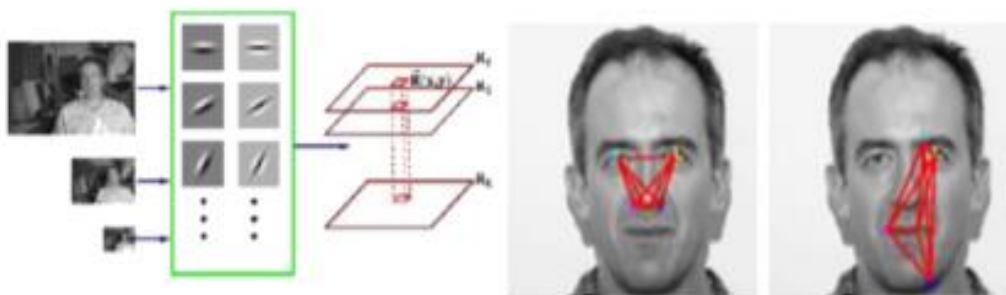


Рисунок 3 – Пример фильтрации

Достоинством данной группы методов можно считать возможность распознавания лица в различных положениях, однако для методов данной

группы являются проблематичными изображения, имеющие сложный фон, а также даже небольшие загромождения объекта поиска. На основе этого можно сделать вывод, что методы данной группы также не подходят я решения поставленной задачи.

3.3 Распознавание с помощью шаблонов, заданных разработчиком

Работа методов данной группы основывается на использовании эталонных изображениях, помощью которых производится описание отдельных областей лица, а также их взаимного расположения. Обнаружение лица производится проверкой каждой из областей изображения на соответствие заданному шаблону [5].

Шаблоны можно разделить на 2 вида:

- недеформируемые,
- деформируемые, в данном случае шаблоны заранее запрограммированы, необучаемы, а также используется корреляция для нахождения лица на изображении.

Для примера рассмотрим метод гибкого сравнения на графах. Данный метод основывается на эластичном сопоставлении графов, описывающих изображения лиц. Каждое лицо представляется в виде графа со взвешенными вершинами и ребрами. В первую очередь создается эталонный граф, который в ходе сопоставления остается неизменным. Графы исследуемых изображений деформируются в целях наилучшей подгонки к эталонному. Графы могут быть представлены как прямоугольной решеткой, так и структурой, образованной антропометрическими точками, примеры которых представлены на рисунке 4.

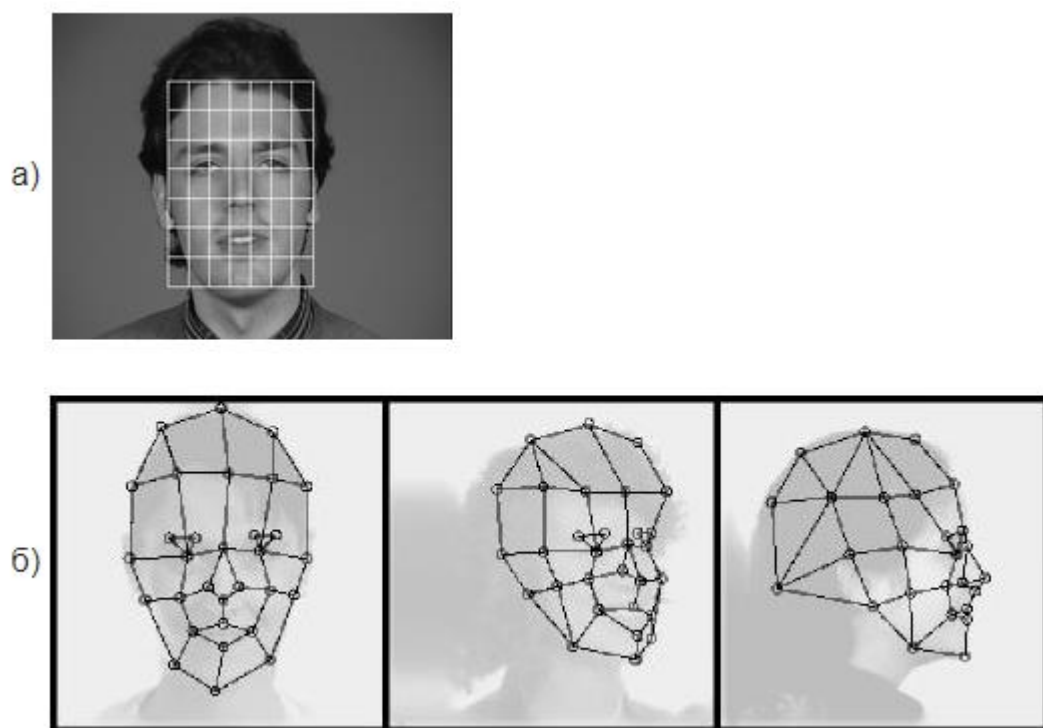


Рисунок 4 – а) регулярная решетка б) граф на основе антропометрических точек лица

В каждой вершине графа определяются значения признаков, в качестве которых возможно использовать комплексные значения фильтров Габора или Габоровский вейвлет. Вычисления производятся в локальных областях вершин графа путем свертки значений яркости пикселей с фильтрами Габора.

Ребра графа определяются как расстояние между смежными вершинами. Различие между двумя графами вычисляется с помощью ценовой функции деформации, которая учитывает различия между значениями признаков в вершинах и степень деформации ребер графа.

Деформация графа производится путем поочередного смещения каждой из его вершин в определенных направлениях относительно ее начального положения. Смещения продолжаются до тех пор, пока не будет получена суммарная минимальная разница признаков между вершинами исследуемого графа и вершинами эталонного. Значение ценовой функции деформации при полученном положении графа является мерой различия, между входным изображением и эталонным [5].

Подобная процедура будет выполняться для всех лиц, заложенных в базу данных системы, в связи с этим можно выделить следующие достоинства и недостатки данного метода:

Достоинства:

- высокая точность распознавания (до 90%),
- устойчивость к смене ракурса (до 30 градусов),
- низкое влияние мимики на точность распознавания.

Недостатки:

- большая вычислительная сложность, так как присутствует необходимость сравнения с каждым лицом из базы данных,
- линейная зависимость времени работы от размера базы данных лиц.

Использование данного метода проблематично в системах реально времени, по причине большой вычислительной сложности и времени работы, поэтому для решения поставленной задачи он не подходит.

3.4 Методы обнаружения лица по внешним признакам

В данной категории методов используется некоторым образом вычисленный вектор признаков, который ставят в соответствие изображению. На основе значений вектора происходит классификация изображения на 2 класса – наличие лица, или его отсутствие.

В общем случае поиск лица на изображении заключается в полном переборе прямоугольных областей изображения, различных по размеру, при этом каждый фрагмент проверяется на наличие лица.

Основными принципами методов являются:

- сканирование изображение окном и представление его в виде вектора ценности,
- разделение изображения на различные участки, которые быть пересекающимися или непересекающимися.

Для обучения подобных алгоритмов необходима размеченная вручную выборка изображений, как содержащих лицо, так и тех, на которых лицо отсутствует.

Основные методики используемые в данной категории [4]:

- искусственные нейронные сети,
- метод главных компонент,
- метод факторного анализа,
- метод опорных векторов,
- наивный байесовский классификатор,
- скрытые Марковские модели,
- разреженная сеть окон,
- адаптивное улучшение и основанный на нем метод Виолы-Джонса и другие.

Рассмотрим основные идеи некоторых вышеназванных методов.

Метод опорных векторов [6]. Данный метод относится к группе граничных методов. Она определяет классы при помощи границ областей. При помощи данного метода решаются задачи бинарной классификации. В основе метода лежит понятие плоскостей решений. Целью метода является нахождение плоскости, разделяющей два множества объектов. Возможность линейного разделения столь сложных классов, как изображения лиц и «не-лиц» представляется маловероятной. Однако, классификация с помощью опорных векторов позволяет использовать аппарат ядерных функций для неявного проецирования векторов-признаков в пространство потенциально намного более высокой размерности (еще выше, чем пространство изображений), в котором классы могут оказаться линейно разделимы.

Скрытые Марковские модели [4]. Используют статистические свойства сигналов и учитывают непосредственно их пространственные характеристики. Элементами модели являются: множество скрытых состояний, множество наблюдаемых состояний, матрица переходных вероятностей, начальная вероятность состояний. Каждому соответствует своя Марковская модель. При

распознавании объекта проверяются сгенерированные для заданной базы объектов Марковские модели и ищется максимальная из наблюдаемых вероятность того, что последовательность наблюдений для данного объекта сгенерирована соответствующей моделью.

Метод Виолы-Джонса [7]. В основу метода положены: интегральное представление изображения по признакам Хаара, построение классификатора на основе алгоритма адаптивного бустинга и способ комбинирования классификаторов в каскадную структуру. Данный метод демонстрирует высокую эффективность при решении задачи поиска объектов на изображениях и видеопоследовательностях в режиме реального времени. Алгоритм Виолы-Джонса обладает низкой вероятностью ложного обнаружения лица. Метод позволяет обнаруживать лицо при наблюдении его под углом до 30° . Точность идентификации может достигать значений свыше 90%. Стоит отметить, что преимуществами данного метода являются:

- низкий процент ложных срабатываний,
- высокая скорость обнаружения,
- простота программной реализации (библиотека OpenCV).

Искусственные нейронные сети [8]. На текущий момент является наиболее распространенным методом распознавания лиц на изображениях, в основном данной задачи используются сверточные нейронные сети. Они также построены на основе нейронов, которые обладают различным весом и смещениями. Работа сверточной нейронной сети обеспечивается двумя основными элементами:

- фильтры,
- карты признаков.

Непосредственно процесс определения основан на операции свертки фильтром оригинального изображения. Результаты свертки, которые определяют местоположение признаков исходного изображения, и являются картами признаков.

Нейронные сети обладают несколько меньшим быстродействием сравнительно с методом Виолы-Джонса, но при этом менее чувствительны к повороту лица. В задаче поиска и распознавания лица обнаружение лиц под различными углами обладает большим приоритетом, чем быстродействие. Основываясь на этом, а также возможности использования нейронных сетей в задачах обнаружения тела человека, выбрана категория обнаружения лица по внешним признакам, а именно нейронные сети. В данном проекте для поиска лица на изображении используется предобученная нейронная сеть библиотеки OpenCV.

4 Способы определения эмоций по изображению

4.1 Классификация на основе ключевых точек

Данный способ основан на классификации ключевых точек (facial landmarks), координаты которых можно получить, используя различные алгоритмы. Обычно размечают от 5 до 68 точек, привязывая их к положению бровей, глаз, губ, носа, челюсти, что позволяет частично захватить мимику (рисунок 5). Нормализованные координаты точек можно непосредственно подать в классификатор и получить базовое решение.



Рисунок 5 – ключевые точки

Простое использование координат без визуальной компоненты приводит к существенной потере полезной информации, поэтому для улучшения системы в этих точках вычисляют различные дескрипторы. После объединения дескрипторов и уменьшении размерности с помощью метода главных компонент полученный вектор признаков можно использовать для классификации эмоций [9].

4.2 Классификация эмоций с применением глубокого обучения

В настоящее время существует около десятка разновидностей нейронных сетей (НС). Одним из самых широко используемых вариантов является сеть, построенная на многослойном перцептроне, которая позволяет классифицировать поданное на вход изображение/сигнал в соответствии с предварительной настройкой/обучением сети.

Обучаются нейронные сети на наборе обучающих примеров. Суть обучения сводится к настройке весов межнейронных связей в процессе решения оптимизационной задачи методом градиентного спуска. В процессе обучения НС происходит автоматическое извлечение ключевых признаков, определение их важности и построение взаимосвязей между ними. Предполагается, что обученная НС сможет применить опыт, полученный в процессе обучения, на неизвестные образы за счет обобщающих способностей.

Отличительными особенностями сверточных нейронных сетей (рисунок б) являются локальные рецепторные поля (обеспечивают локальную двумерную связность нейронов), общие веса (обеспечивают детектирование некоторых черт в любом месте изображения) и иерархическая организация с пространственным сэмпингом (spatial subsampling). Благодаря этим нововведениям СНС обеспечивает частичную устойчивость к изменениям масштаба, смещениям, поворотам, смене ракурса и прочим искажениям [9].

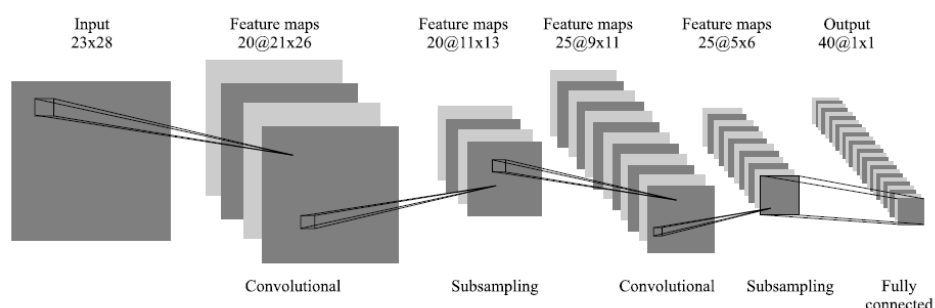


Рисунок б – Пример архитектуры сверточной нейронной сети

В данной работе лучшим способом классификации изображений являются нейронные сети по нескольким причинам:

- подход на основе ключевых точек на текущий момент является устаревшим,
- наличие большого количества удобных и легкодоступных инструментов проектирования и тестирования архитектур нейронных сетей,
- сверточные нейронные сети являются одним из лучших инструментов для анализа визуальных данных.

5 Наборы данных выражений лица для обучения искусственной нейронной сети

Для обучения сверточных нейронных сетей необходимы большие объемы данных. Чем более разнообразными будут изображения в наборах, тем больше будет способность сети к обобщению и изменению условий, рассмотрим. Открытые наборы данных, которые могут использоваться для обучения сверточной нейронной сети на классификацию эмоций.

5.1 Fer2013.

Fer2013 [10] является набором данных, состоящим из 35887 изображений лица в градациях серого, размером 48x48 пикселей. Пример изображений из набора представлен на рисунке 7. Данный набор содержит:

- 4593 изображения с меткой «злость»,
- 547 изображений с меткой «отвращение»,
- 5121 изображение с меткой «страх»,
- 8989 изображений с меткой «радость»,
- 6077 изображений с меткой «грусть»,
- 4002 изображения с меткой «удивление»,
- 6198 изображений с меткой «нейтральный».

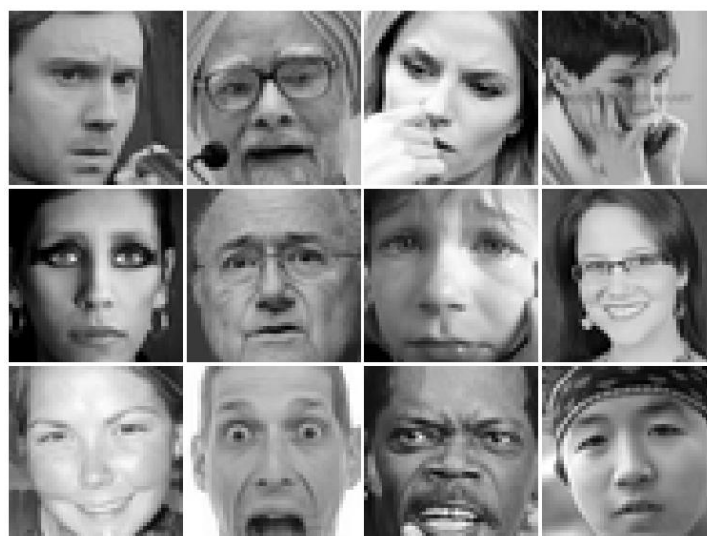


Рисунок 7 – Пример изображений из набора данных

5.2 Cohn-Kanade.

Набор данных Cohn-Kanade [11] состоит из изображений выражений лица ста студентов, возраст которых варьируется от восемнадцати до тридцати лет (рисунок 8). Изображения представляют последовательности изменения эмоции студента от нейтральной до целевой (радость, грусть, злость, презрение, отвращение, удивление). В наборе данных представлены изображения размером 640x480 или 490 пикселей.



Рисунок 8 – Пример изображений из набора данных

5.3 Yale Face

Набор данных Yale Face [12] содержит 165 изображений 15 человек в градациях серого, размером 320x243 пикселя (рисунок 9). Каждый субъект представлен одиннадцатью изображениями, среди которых присутствуют изображения с метками:

- грусть,
- радость,

- удивление,
- нейтральный.



Рисунок 9 – Пример изображений из набора данных

5.4 The Japanese Female Facial Expression (JAFFE)

Набор данных JAFFE [13] содержит 213 изображений семи выражений лица, представленных десятью японскими моделями, набор содержит следующие метки:

- радость,
- злость,
- удивление,
- отвращение,
- страх,
- нейтральный,
- грусть.

Пример изображений из набора представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Пример изображений из набора данных

5.5 Senthilkumar Face Database

Набор данных Senthilkumar Face Database [14] содержит 80 изображений лиц с различными эмоциональными выражениями пяти человек в оттенках серого, размер изображений равен 140x188 пикселей (рисунок 11).



Рисунок 11 – Пример изображений из набора данных

5.6 Nott faces originals

Набор Nott faces originals [15] состоит из 495 изображений лиц 71 человека, размером 288x384 пикселя, в градациях серого (рисунок 12). Лицо каждого человека представлено с трех различных ракурсов, а также четырьмя эмоциями (радость, удивление, злость, презрение).



Рисунок 12 – Пример изображений из набора данных

5.7 The Karolinska Directed Emotional Faces (KDEF)

Набор KDEF [16] включает в себя 4900 изображений 70 человек, каждый из которых мимически изображает 7 различных эмоций с пяти различных ракурсов (рисунок 13). Изображения являются цветными, размером 562x762 пикселя.



Рисунок 13 – Пример изображений из набора данных

Так как Fer2013 является самым большим набором данных из представленных (35887 изображений), имеет смысл привести изображения остальных наборов к виду данного набора, а именно представить изображения в оттенках серого, разрешением 48x48 пикселей.

По причине того, что большая часть лиц, представленных на изображениях являются выровненными или имеют небольшой наклон (не более 5 градусов), появляется необходимость добавить в программу функцию выравнивания лица. В противном случае, точность работы нейронной сети, обученной на представленных наборах данных будет низкой в условиях классификации изображений лиц, которые не являются выровненными.

6 Функция выравнивания лица на изображении. Обучение каскадного классификатора

При разработке функции выравнивания лица были обнаружены две проблемы:

1. В изначальном алгоритме изображения лиц сохранялись в массив, однако использование подобного массива не целесообразно по следующей причине: так как разрешение изображения ограничено, то при его вращении будут возникать свободные зоны, заполняемые пикселями черного цвета. Учитывая, что подобные зоны будут возникать на всех изображениях, на которых будет применено выравнивание, это может создать проблемы при классификации выражений лиц, так как обучающие наборы не содержат изображений с подобными зонами. Пример возникающих при повороте изображения зон представлен на рисунке 14;



Рисунок 14 – Первичный результат выравнивания изображения

2. Стандартный каскадный классификатор предоставляемый OpenCV показывает неудовлетворительные результаты на получаемых изображениях, большое количество ложных срабатываний и при этом пропуск областей, содержащих глаза.

Выходом из первой ситуации является передача в функцию выравнивания не массива изображений лиц, а массива координат областей, содержащих лица, а также исходного изображения, тогда при условии, что лицо находится не в краевых областях изображения, появляется возможность избежать возникновения свободных зон, путем поворота всего изображения и последующего сохранения в массив изображений лиц. Вторая проблема решается обучением собственного каскадного классификатора, который имел бы значительно меньшее количество ложных срабатываний и при этом достаточно хорошо определял области, содержащие глаза. Рассмотрим решение второй проблемы подробнее.

Для обучения каскада был собран собственный набор данных, содержащий два типа изображений:

1. Позитивные – изображения на которых присутствует объект (глаза);
2. Негативные – изображения без объекта.

При обучении использовано 2842 изображения, из которых путем ручной разметки были получены 4500 позитивных изображений, 5523 негативных, в качестве которых были использованы исходные изображения с замещением областей глаз, подобное действие позволяет использовать при обучении каскада изображения в том виде, в котором они будут при реальном использовании программы.

Примеры изображений представлены на рисунках 15, 16 и 17 соответственно.



Рисунок 15 – Пример изображений, использованных для создания позитивных примеров



Рисунок 16 – Пример позитивных изображений



Рисунок 17 – пример негативных изображений

Обучение каскада производилось с помощью специализированной программы `Opencv_traincascade`, входящей в состав OpenCV [17]. Для запуска программы необходимо указать некоторые обязательные и дополнительные аргументы [18]:

1. `-data`. Адрес сохранения и название обученного каскада;
2. `-vec`. Адрес расположения вектора положительных примеров;
3. `-bg`. Адрес расположения файла описания отрицательных примеров;
4. `-numStages`. Количество уровней каскада, которые программа обучает;
5. `-minhitrate`. Процент правильных обнаружений;
6. `-maxFalseAlarmRate`. Уровень ложной тревоги;
7. `-numPos`. Количество позитивных примеров;
8. `-numNeg`. Количество негативных примеров;
9. `-w`; `-h`. Минимальные размеры объекта в пикселях;
10. `-Mode`. Флаг выбора мода используемых при обучении признаков;
11. `-precalcValBufSize`; `-precalcIdxBufSize`. Выделяемая память для процесса обучения.

При использовании данной программы были использованы следующие аргументы: `-data A:\train -vec A:\opencv\build\x64\vc15\bin\samples2020.vec -bg A:\train\neg2.txt -numStages 15 -numPos 4500 -numNeg 5523 -w 20 -h 20 -mode ALL`, параметры остальных аргументов оставлены по умолчанию, обучение

классификатора заняло один день, три часа и двадцать четыре минуты. Результаты работы обученного каскада представлены на рисунке 18.



Рисунок 18- Результат применения каскадного классификатора

После решения основных проблем появляется возможность перейти к алгоритму функции выравнивания.

Входными данными для функции является массив координат областей, содержащих лицо, полученный на предыдущем шаге работы основного алгоритма программы, а также исходный кадр.

Функция запускает цикл, для каждого элемента массива, и завершает свою работу, когда обработан последний элемент массива. Выходом функции является массив изображений выровненных лиц.

Рассмотрим работу функции на примере одних координат области изображения, содержащей лицо. Из исходного изображения, на основе имеющихся координат копируется область, содержащая лицо, при этом полученное изображение сохраняется в переменную. Изображение переводится в градации серого, при этом его разрешение меняется до 150x150 пикселей. Учитывая, что даже при повороте лица на 45 градусов глаза будут находиться в верхней половине изображения, имеет смысл производить поиск областей глаз только на части изображения, а именно верхней части, размером 150x95 пикселей. Подобное действие позволяет исключить нижнюю область изображения, заведомо не содержащую глаза. Далее, на полученном изображении применяется ранее обученный каскадный классификатор, результатом работы которого являются координаты областей, содержащих глаза. В случае, если обнаружено меньше двух областей, содержащих глаза, функция добавляет область, содержащую лицо в массив изображений лиц и переходит к следующим координатам, содержащим лицо. Если найдено две области, функция переходит к следующему шагу. На основе полученных координат

рассчитывается центр областей, содержащих глаза и происходит поиск угла наклона прямой, проходящей через найденные центры, а также рассчитываются координаты точки, находящейся на этой прямой, при этом равноудаленной от центров областей. После этого, необходимо рассчитать координаты точки, равноудаленной от глаз, относительно исходного изображения. Для этого определяется отношение координат найденной точки к размеру изображения лица (150x150 пикселей). Следующим шагом является умножение полученных отношений на длину и ширину исходного изображения лица соответственно, таким образом мы получаем координаты точки, расположенной между глазами, относительно нулевой точки исходного изображения лица. Чтобы рассчитать координаты необходимой точки относительно исходного кадра достаточно прибавить найденные на предыдущем шагу координаты к нулевым координатам изображения лица, массив которых передан в функцию как аргумент. Далее производится расчет матрицы вращения, который осуществляется вызовом функции OpenCV `cv2.getRotationMatrix2D(imgCenter, angle, 1)` [19], аргументами которой являются координаты найденной точки, относительно которой будет осуществляться вращение изображения, угол поворота изображения и масштаб. На основе полученной матрицы вращения происходит поворот изображения, путем применения аффинных преобразований, которые осуществляются вызовом функции OpenCV `cv2.warpAffine(image, M, (w, h))` [19], аргументами которой являются исходное изображение, матрица вращения и желаемое разрешение результирующего изображения. Учитывая, что поворот исходного изображения происходит относительно точки расположенной между глазами выравниваемого лица – координаты области, содержащей лицо, остались теми же, однако опытным путем было установлено, что для избежания потери информации о мимике лица необходимо увеличить область на двадцать пикселей по высоте, тогда, последним шагом функции является добавление в массив изображений лиц области, содержащей лицо. Данный массив в последствии будет передан для классификации в нейронную сеть. Этапы и результаты работы

функции можно увидеть на рисунке 19. Алгоритм работы функции выравнивания представлен в приложении Б.



Рисунок 19 – Работа функции

7 Детализированный алгоритм программы

В детализированный алгоритм входят все начальные шаги обобщенного, до шага проверки размера массива изображения включительно. Далее разрешение изображения изменяется до 300x300 пикселей для последующей передачи в сверточную нейронную сеть, результатом работы которой является массив координат областей-кандидатов, содержащих лица, после чего происходит отбор областей по критерию точности, а именно областей достоверность которых составляет более 90%, и сохранения координат данных областей в массив координат. Следующим шагом является проверка размера массива координат. В случае если размер массива равен нулю – программа пропускает остальные шаги и возвращается к шагу захвата изображения с камеры. Если размер массива координат не равен нулю, то массив координат и исходное изображение передается в функцию выравнивания, результатом работы которой является массив изображений выровненных лиц. Далее для каждого изображения в массиве выполняются следующие операции:

1. Разрешение изображения изменяется до 48x48 пикселей и изображение переводится в оттенки серого;
2. Изображение передается в нейронную сеть, результатом работы которой является массив вероятности каждой из семи эмоций;
3. Полученный массив добавляется в вспомогательный список.

Далее все элементы вспомогательного списка суммируются и производится расчет среднего значения по каждому элементу результирующего (вспомогательного) массива. В случае, если количество элементов главного массива меньше десяти, то полученный на предыдущем этапе вспомогательный массив добавляется в главный список, в противном случае вспомогательный массив добавляется в главный список и из списка удаляется первый элемент. Производится суммирование элементов главного списка и рассчитывается среднее значение по каждому элементу результирующего (главного) массива. Далее происходит поиск максимальных элементов вспомогательного и главного

массивов, вывод на экран значений этих элементов и соответствующих им эмоциям. Далее программа снова переходит к шагу захвата изображения с камеры.

После разработки детализированного алгоритма необходимо спроектировать и обучить сверточную нейронную сеть на классификацию эмоций.

8 Проектирование архитектуры и обучение сверточной нейронной сети

В ходе выполнения работы было проведено более сорока шести экспериментов по подбору архитектуры нейронной сети, подбор заключался в применении различных комбинаций и параметров сверточных слоев [20], Dropout [21], пакетной нормализации [22] и слоев подвыборки [23], примеры архитектур и результаты обучения можно увидеть в таблице 1.

Таблица 1 – Примеры архитектуры нейронной сети

Номер эксперимента	Архитектура сети	Доля правильных ответов/значение функции потерь на обучающей выборке	Доля правильных ответов/значение функции потерь на тестовой выборке
1	Сверточный слой (32, (3x3)) Слой активации Полносвязный слой(7) Функция активаци	0,982/0,156	0,441/1,497
...
5	Сверточный слой(32,(3x3)) Слой активации Слой подвыборки(2x2) Dropout(0,25) Полносвязный слой(7) Функция активации	0,625/1,050	0,521/1,405
...
30	Сверточный слой(32,(3x3)) Слой активации Слой подвыборки(2x2) Dropout(0,25) Сверточный слой(32,(3x3)) Слой активации Dropout(0,25) Сверточный слой(32,(3x3))	0,667/0,954	0,627/1,091

Продолжение таблицы 1:

30	Слой активации Dropout(0,25) Сверточный слой(32,(3x3)) Пакетная нормализация Dropout(0,25) Полносвязный слой(7) Функция активации	0,667/0,954	0,627/1,091
...
46	Сверточный слой(32,(3x3)) Слой активации Слой подвыборки(2x2) Dropout(0,25) Сверточный слой(32,(3x3)) Слой активации Dropout(0,25) Сверточный слой(32,(3x3)) Слой активации Dropout(0,25) Сверточный слой(32,(3x3)) Dropout(0,25) Сверточный слой(32,(3x3)) Слой активации Слой подвыборки(2x2) Dropout(0,25) Сверточный слой(32,(3x3)) Слой активации Пакетная нормализация Полносвязный слой(7) Функция активации	0,623/0,978	0,654/0,921

Таблица имеет ознакомительный характер и представлена в неполном объеме.
Графическое представление конечной архитектуры представлено на рисунке 20.

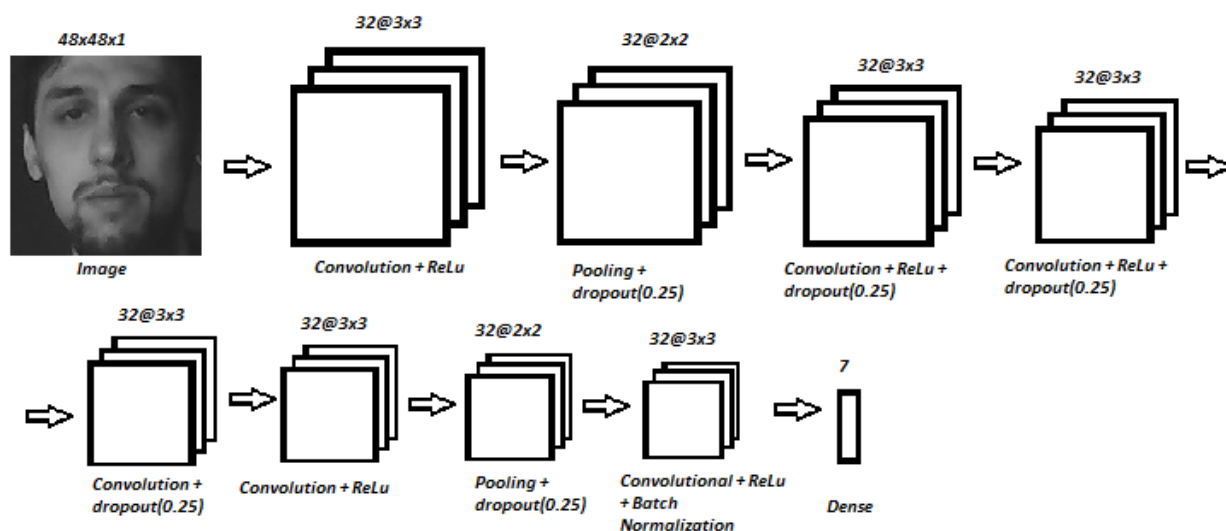


Рисунок 20 – Графическое представление архитектуры сверточной нейронной сети

При проведении экспериментов в качестве функции активации на скрытых слоях использовалась функция активации ReLu [24], а также оптимизатор Adam [25]. После сорок шестого эксперимента изменение архитектуры сети не приводило к улучшению результатов классификации, а именно изменение архитектуры сети не приводило к повышению точности классификации или уменьшению значения функции потерь, относительно архитектуры сорок шестого эксперимента, поэтому было принято решение остановиться на данной архитектуре. На рисунке 21 можно увидеть зависимости доли правильных ответов и значения функции потерь от номера опыта.

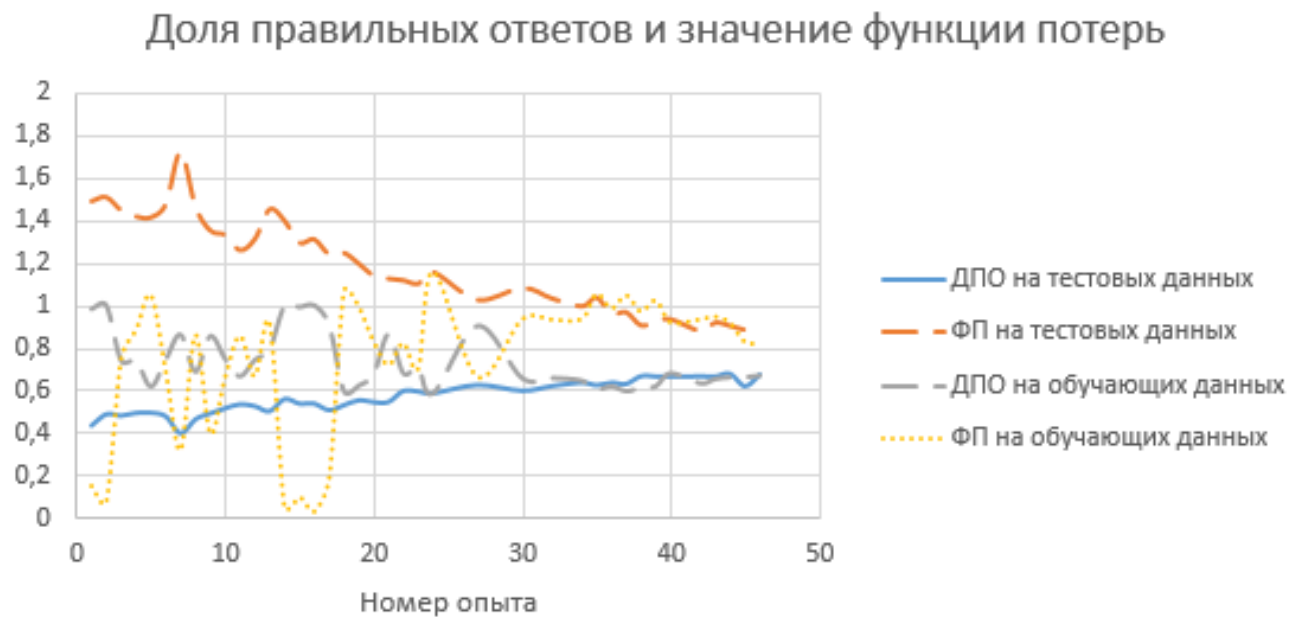


Рисунок 21 – Результаты опытов

В целях повышения точности было исследовано влияние выбора оптимизатора и функции активации на значение функции потерь и доли правильных ответов применительно к тестовой выборке. Результаты исследований представлены на рисунках 22 и 23.

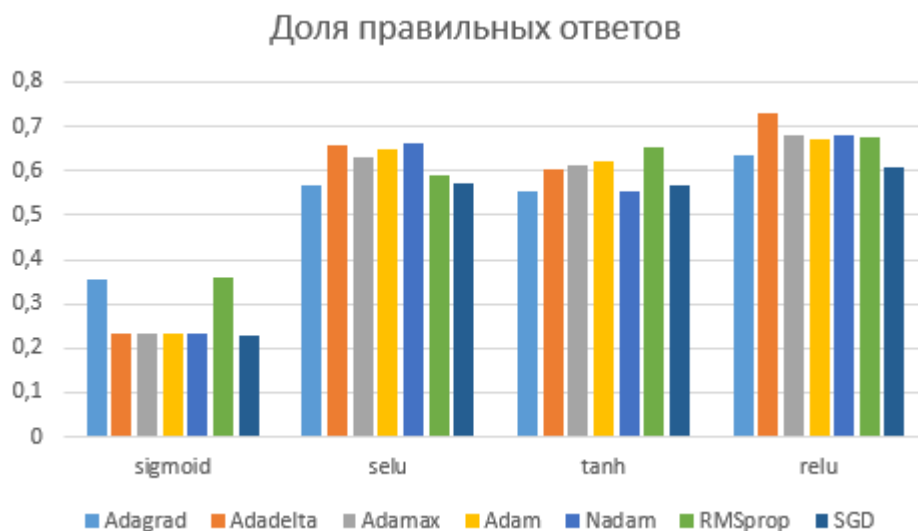


Рисунок 22 – Зависимость доли правильных ответов от функции активации и оптимизатора

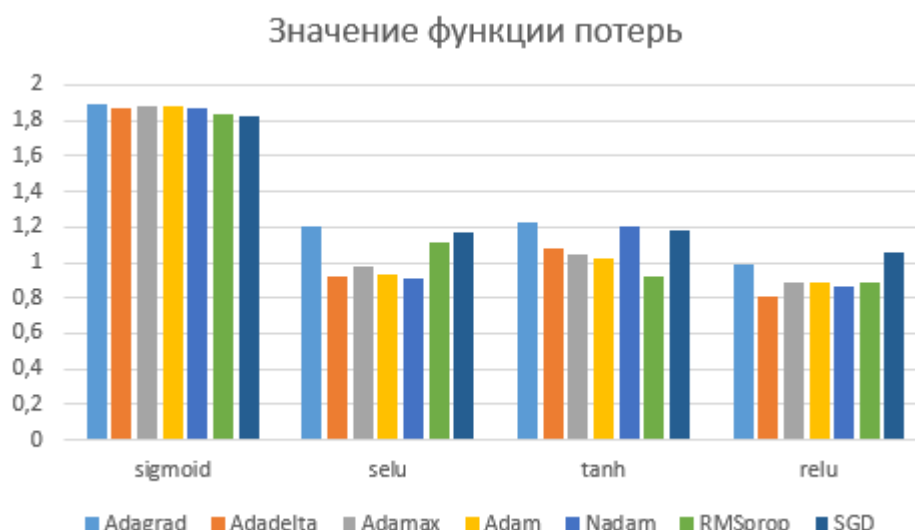


Рисунок 23 – Зависимость значения функции потерь от функции активации и оптимизатора

Как видно из рисунков наилучшими результатами обладает сочетание функции активации ReLu и оптимизатора Adadelata. При это функция активации sigmoid показала худшие результаты со всеми оптимизаторами.

Таким образом спроектированная и обученная сверточная нейронная сеть обладает следующими характеристиками:

- доля правильных ответов: 72,38 %,
- значение функции потерь: 0,8092.

Данный результат был получен на 397 эпохе обучения. При обучении был использован облачный сервис Google Colaboratory [26], предоставляющий 12.72 Гбайт оперативной памяти, 358 Гбайт дискового пространства и 13 Гбайт видеопамяти. При этом было использовано 2.39 Гбайта оперативной памяти, 22.92 Гбайта дискового пространства и 910 Мбайт видеопамяти. Обучение сети составило 1 час 22 минуты.

Пример классификации изображений с помощью обученной нейронной сети можно увидеть на рисунке 24.

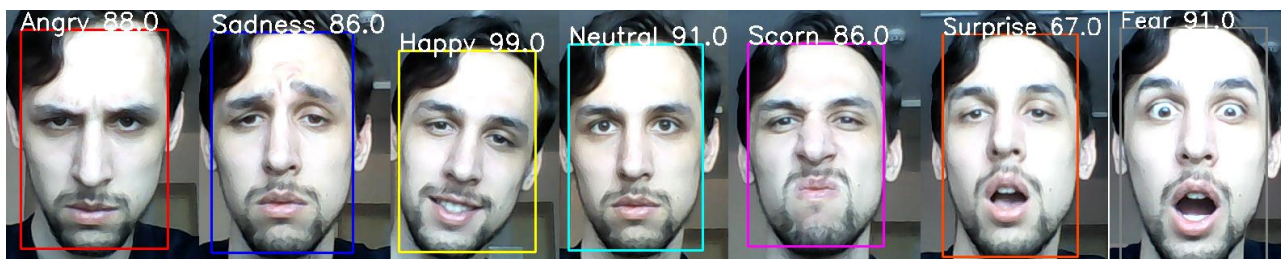


Рисунок 24 – Пример классификации изображений лица

После проверки работоспособности нейронной сети была проведена сборка всех шагов алгоритма, в результате чего была получена окончательная программа определения эмоционального состояния группы людей на основе цифрового изображения, пример работы которой представлен на рисунке 25.

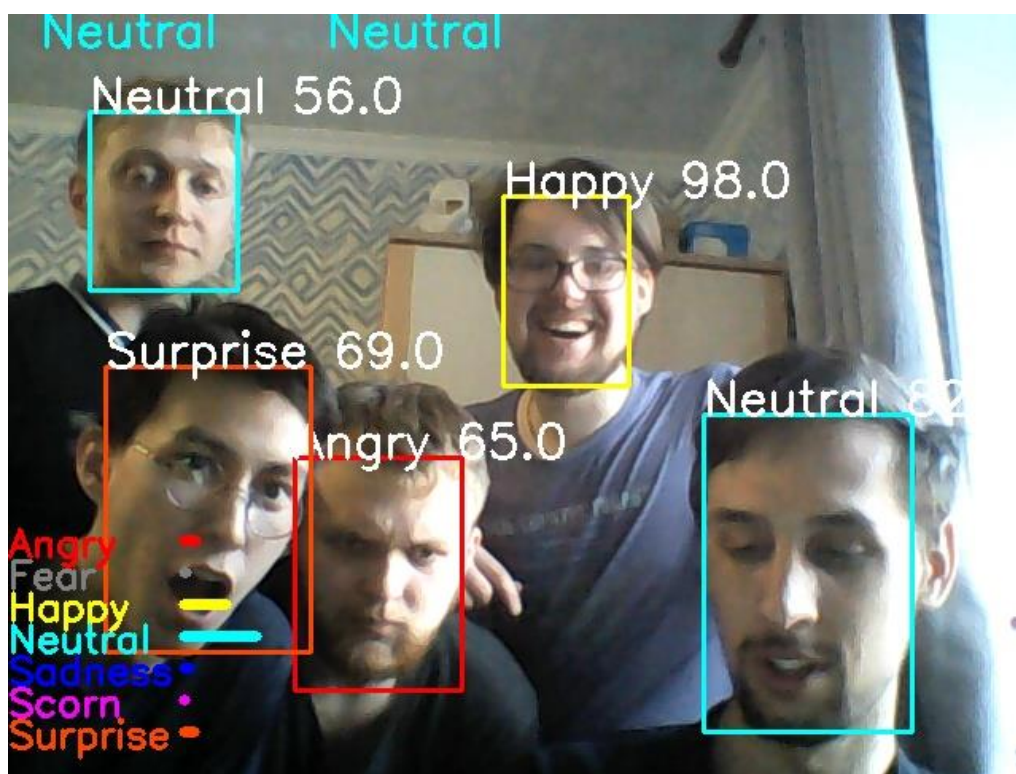


Рисунок 25 – Пример работы программы

Тестирование программы производилось на персональном компьютере со следующими характеристиками:

- операционная система: Windows 10,
- видеокарта: Nvidia Geforce 840m 2020 Мбайт,
- процессор: Intel core i3-4010U CPU 170 ГГц,
- оперативная память: 4 Гбайт.

В таблице 2 и рисунке 26 представлена зависимость быстродействия программы, выраженного в кадр/сек от количества лиц на изображении.

Таблица 2 – Быстродействие программы

Количество лиц на изображении, ед	Быстродействие, кадр/сек
1	7,1124
2	5,8207
3	4,5725
4	4,0016
5	3,5562
6	3,1397
7	2,9095
8	2,6539

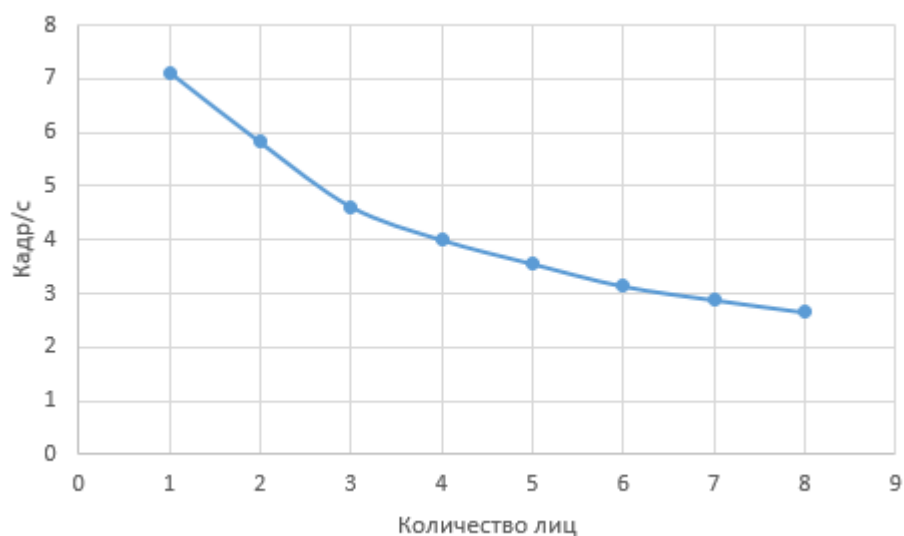


Рисунок 26 – Зависимость быстродействия программы от количества лиц на изображении

На основе приведенных таблице и рисунка можно сделать вывод о линейном уменьшении быстродействия программы с увеличением числа лиц, присутствующих на изображении.

9 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

9.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Разработанная программа определения эмоционального состояния группы людей на основе цифрового изображения обеспечивает непрерывный процесс детектирования лиц людей на изображениях в реальном времени, их классификацию на основные типы эмоций и последующее определение эмоций на групповом уровне.

Существующие программы определения эмоций людей по изображениям лиц не предоставляют функций определения эмоций на групповом уровне. Решение указанной проблемы – создание программы, проектирование и реализация которой описаны в предыдущих разделах.

Разработанная программа может быть внедрена в охранные предприятия или использована независимыми исследователями, чтобы удовлетворить их требования в области мониторинга эмоционального состояния групп лиц для анализа влияний и проведения научных исследований в области социологии.

9.1.2 Анализ конкурентных технических решений

В процессе поиска конкурентных технических решений не выявлено прямых аналогов программ, позволяющих определять эмоции группы людей на основе цифрового изображения. Однако приведенные ниже программные

продукты, позволяют определять эмоции одного человека, и в случае их доработки могут стать прямыми конкурентами разработанной программы.

В качестве основных конкурентных технических решений были выбраны следующие разработки:

1. Face Reader (Noldus Information Technology) [27];
2. Emo Detect (Нейроботикс) [28];
3. Project Oxford (Microsoft) [29].

В качестве факторов конкурентоспособности были выбраны: «Удобство использования», «Работа с потоком изображений в реальном времени», «Возможность настройки», «Независимость от сетевого подключения» и «Потребность в вычислительных ресурсах», «Определение эмоции группы людей», «Точность классификации», «Вывод результатов в реальном времени» которым были присвоены соответствующие значения важности фактора путем осуществления экспертной оценки. Все программы, взятые для сравнения, были оценены по выбранным факторам, на основании чего были рассчитаны итоговые оценки конкурентоспособности.

В таблице 3 представлена оценочная карта конкурентных технических решений. Анализируя данные таблицы можно сделать вывод о перспективности разработки.

Таблица 3 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
		Б _Р	Б _{FR}	Б _{ED}	Б _{PO}				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технические оценки ресурсоэффективности									
1. Удобство использования	0,05	2	5	5	3	0,1	0,25	0,25	0,15
2. Работа с потоком изображений в реальном времени	0,2	5	5	0	0	1	1	0	0
3. Возможность настройки	0,05	1	3	4	0	0,05	0,15	0,2	0

Продолжение таблицы 3:

4. Независимость от сетевого подключения	0,05	5	5	5	0	0,25	0,25	0,25	0
5. Потребность в вычислительных ресурсах	0,1	1	2	2	5	0,1	0,2	0,2	0,5
6. Определение эмоции группы людей	0,3	5	0	0	0	1,5	0	0	0
7. Точность классификации	0,2	3	4	4	5	0,6	0,8	0,8	1
8. Вывод результатов в реальном времени	0,05	3	1	1	0	0,15	0,05	0,05	0
ИТОГО	1	25	25	21	13	3,75	2,7	1,75	1,65

На основании данных таблицы можно сделать вывод о конкурентоспособности разрабатываемой программы, наибольший вклад в которую дает возможность программы определять эмоции группы людей.

9.2 Планирование научно-исследовательских работ

9.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для организации и систематизации работы выпускника был сформирован план работ. Данный этап обеспечил своевременное и эффективное выполнение задания выпускной квалификационной работы. Для осуществления разработки, был сформирован ряд работ и назначены исполнители для каждого этапа работы (таблица 4).

Таблица 4 – Перечень работ по проекту

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	4	Календарное планирование работ	Руководитель, инженер
	5	Проведение патентных исследований	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Разработка обобщенного алгоритма программы	Инженер
	7	Выбор метода детектирования лиц на изображении	Инженер
	8	Выбор метода классификации изображений лиц на классы эмоций	Инженер
	9	Разработка функции выравнивания лиц на изображении	Руководитель, инженер
	10	Разработка детализированного алгоритма программы	Инженер
	11	Проектирование архитектуры и обучение искусственной сверточной нейронной сети	Инженер
	12	Объединение разработанных этапов алгоритма	Инженер

Продолжение таблицы 4:

Теоретические и экспериментальные исследования	13	Технико-экономические расчеты	Инженер
	14	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер
Обобщение и оценка результатов	15	Тестирование программы и анализ полученных результатов	Руководитель, инженер
	16	Согласование выполненной работы с научным руководителем	Руководитель, инженер
Проведение ОКР			
Оформление отчета по НИР	17	Составление пояснительной записки	Инженер

9.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для того чтобы определить трудоемкость работ, используются следующие показатели:

- ожидаемое значение трудоемкости,
- продолжительность каждой работы,
- продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях,
- коэффициент календарности.

Расчет ожидаемого значения продолжительности работ $t_{ож}$ осуществляется согласно формуле:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (1)$$

где t_{min} – минимально возможная трудоемкость i -ой работы, чел.-дни,
 t_{max} – максимально возможная трудоемкость i -ой работы, чел.-дни.

Далее определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , которая учитывает параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дни,
 $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дни,
 $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

9.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для построения графика, осуществляется перевод длительности каждого из этапов работ из рабочих дней в календарные дни по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях,
 T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях,
 $k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (4)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году,
 $T_{вых}$ – количество выходных дней в году,
 $T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Согласно производственному календарю (для 6-дневной рабочей недели) в 2019 году 365 календарных дней, из них 66 выходных или праздничных дней, следовательно, $k_{кал} = 1,22$.

Расчеты по трудоемкости выполнения работ представлены в таблице 5. Диаграмма Ганта, построенная по рассчитанным показателям, представлена на рисунке 27.

Таблица 5 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях Т _Р		Длительность работ в календарных днях Т _К	
	t _{MIN} , чел-дни		t _{MAX} , чел-дни		t _{ож} , чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	1		3		1,8		2		2	
Подбор и изучение материалов по теме		3		7		5		5		6
Выбор направления исследований	2	2	4	4	2,8	3	1	1	1	1
Календарное планирование работ	2	2	4	4	2,8	3	1	1	1	1
Проведение патентных исследований		2		3		2		2		2
Разработка обобщенного алгоритма программы		3		10		6		6		7
Выбор метода детектирования лиц на изображении		4		7		5		5		6
Выбор метода классификации изображений лиц на классы эмоций		1		3		2		2		2
Разработка функции выравнивания лиц на изображении	15	15	25	25	19	19	19	19	23	23
Разработка детализированного алгоритма программы		9		14		11		11		13

Продолжение таблицы 5:

Проектирование архитектуры и обучение искусственной сверточной нейронной сети		25		40		31		31		38
Объединение разработанных этапов алгоритма		5		7		6		6		7
Технико-экономические расчеты		5		7		6		6		7
Вопросы безопасности и экологичности проекта		5		7		6		6		7
Тестирование программы и анализ полученных результатов	4	4	6	6	4,8	5	2	2	2	2
Согласование выполненной работы с научным руководителем	1	1	2	2	1,4	1	1	1	1	1
Составление пояснительной записки		1		3		2		2		2

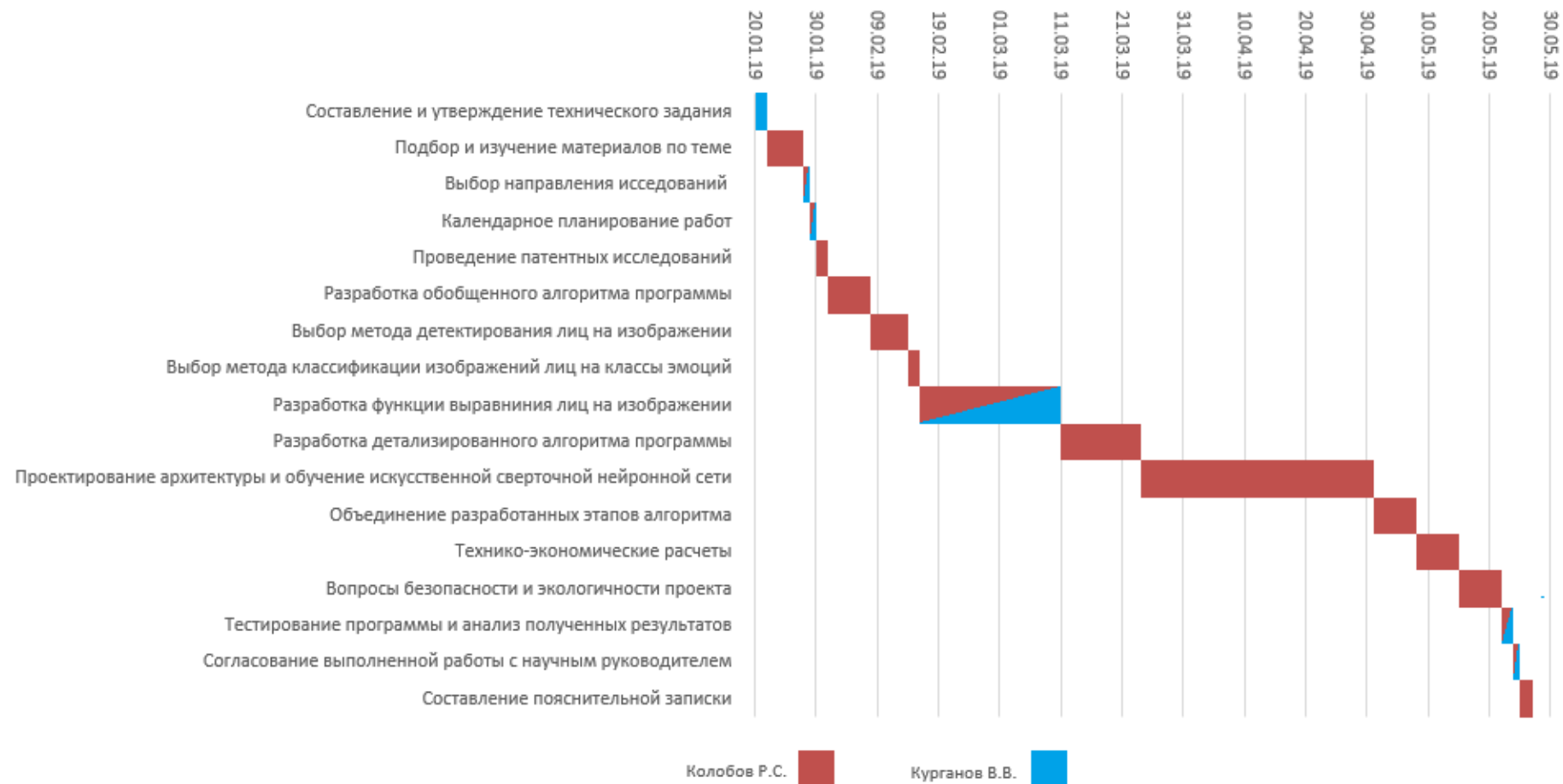


Рисунок 17 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

9.2.4 Бюджет научно-технической разработки

9.2.4.1 Расчет затрат на специальное оборудование

В данную статью затрат входят суммы, необходимые на обеспечение амортизации используемого оборудования.

Расчет амортизации персонального компьютера, используемого при написании работы: первоначальная стоимость персонального компьютера составляет 27500 рублей; срок полезного использования для офисных машин – 3 года; планируется использовать персональный компьютер для написания ВКР в течение 4 месяцев. Тогда:

- норма амортизации:

$$A_n = \frac{1}{n} \cdot 100\% = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33,33 \%, \quad (5)$$

- годовые амортизационные отчисления:

$$A_g = 27500 \cdot 0,33 = 9166 \text{ руб.}, \quad (6)$$

- ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_m = \frac{9166}{12} = 764 \text{ руб.}, \quad (7)$$

- итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = 764 \cdot 4 = 3055 \text{ руб.} \quad (8)$$

Итоговая сумма затрат на амортизацию составила 3055 руб.

9.2.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы

Данная статья расходов включает основную заработную плату с учетом премий и доплат для исполнителей проекта: студента и научного руководителя.

Месячный оклад руководителя ТПУ с должностью доцента и степенью кандидата наук составляет 33664 рубля (без учета районного коэффициента, но с учетом премиальных и надбавок), для студента был взят оклад ассистента без научной степени – 21760 рублей.

В таблице 6 показаны количества календарных, нерабочих и праздничных дней, дней, пришедшихся на потерю рабочего времени и действительный годовой фонд рабочего времени.

Таблица 6 – Баланс рабочего времени (для 6-дневной недели)

Показатели рабочего времени	Дни
Календарные дни	365
Нерабочие дни (праздники/выходные)	66
Потери рабочего времени (отпуск/невыходы по болезни)	56
Действительный годовой фонд рабочего времени	243

Количество месяцев работы без отпуска принимается за 10,4 (с учетом длительности отпуска в 48 дней). Тогда, зная месячную заработную плату, можно рассчитать среднедневную заработную плату:

$$З_{\text{дн}}^{\text{рук}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot \text{М}}{F_{\text{д}}} = \frac{33664 \cdot 10,4}{243} = 1441,76 \text{ руб.}, \quad (9)$$

$$З_{\text{дн}}^{\text{студ}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot \text{М}}{F_{\text{д}}} = \frac{21760 \cdot 10,4}{243} = 931,29 \text{ руб.} \quad (10)$$

Расчет основной заработной платы с учетом рассчитанных значений представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Расчет основной заработной платы

№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы	2	1441,76	2883,52
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	6	931,29	5587,74
3	Выбор направления исследований	Руководитель	1	1441,76	1441,76
		Инженер	1	931,29	931,29
4	Календарное планирование работ	Руководитель	1	1441,76	1441,76
		Инженер	1	931,29	931,29
5	Проведение патентных исследований	Инженер	2	931,29	1862,58
6	Разработка обобщенного алгоритма программы	Инженер	7	931,29	6519,03

Продолжение таблицы 7:

7	Выбор метода детектирования лиц на изображении	Инженер	6	931,29	5587,74
8	Выбор метода классификации изображений лиц на классы эмоций	Инженер	2	931,29	1862,58
9	Разработка функции выравнивания лиц на изображении	Руководитель	23	1441,76	33160,48
		Инженер	23	931,29	21419,67
10	Разработка детализированного алгоритма программы	Инженер	13	931,29	12106,77
11	Проектирование архитектуры и обучение искусственной сверточной нейронной сети	Инженер	38	931,29	35389,02
12	Объединение разработанных этапов алгоритма	Инженер	7	931,29	6519,03
13	Технико-экономические расчеты	Инженер	7	931,29	6519,03
14	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер	7	931,29	6519,03
15	Тестирование программы и анализ полученных результатов	Руководитель	2	1441,76	2883,52
		Инженер	2	931,29	1862,58
16	Согласование выполненной работы с научным руководителем	Руководитель	1	1441,76	1441,76
		Инженер	1	931,29	931,29
17	Составление пояснительной записки	Инженер	2	931,29	1862,58
Итого					159664,05

Расчет основной заработной платы осуществляется по формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p \cdot (1 + K_{пр} + K_d) \cdot K_p, \quad (11)$$

где $З_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.,

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дни,

$K_{пр}$ – премиальный коэффициент,

K_d – коэффициент доплат и надбавок,

K_p – районный коэффициент.

Результаты соответствующих расчетов приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_{дн}$, руб.	$K_{пр}$	K_d	K_p	T_p	$З_{осн}$, руб.
Студент	931,29	0,3	0,2	1,3	106	192467,64
Научный руководитель	1441,76	0,3	0,2	1,3	26	73097,23
Итого						265594,88

9.2.4.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

В данную статью расходов входит заработная плата, начисленная рабочим и служащим не за фактически выполненные работы или проработанное время, а в соответствии с действующим законодательством, в том числе оплата очередных отпусков рабочих, времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей.

Зная основную заработную плату, можно рассчитать дополнительную заработную плату в размере 12 % от основной:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}, \quad (12)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительная заработная плата,

$З_{осн}$ – основная заработная плата.

Таблица 9 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнители	$k_{доп}$	$З_{осн}$, руб.	$З_{доп}$, руб.
Студент	0,12	192467,64	23099,72
Научный руководитель	0,12	73097,23	8771,67
Итого			31871,39

9.2.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данную статью затрат включаются отчисления в органы социального страхования, пенсионные фонды и отчисления медицинского страхования.

Отчисления во внебюджетные фонды рассчитываются как:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (13)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент внебюджетные фонды; в 2019 г., в соответствии с Федеральным законом для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, используется пониженная ставка – 30%,

$З_{осн}$ – основная заработная плата,

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Таблица 10 – Расчет страховых отчислений

Исполнитель	$k_{внеб}$	$З_{доп}$	$З_{осн}$	$З_{внеб}$
Студент	0,30	23099,72	192497,64	64679,21
Научный руководитель	0,30	8771,67	73097,23	24560,67
Итого				89239,88

9.2.4.5 Накладные расходы

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

$$З_{накл} = k_{накл} \cdot (\text{сумма статей расходов}), \quad (14)$$

где $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов, принятый за 16 %.

Таблица 11 – Расчет накладных расходов

Статьи затрат	Сумма, руб.
Материальные затраты	100
Затраты на амортизацию	3055
Затраты на основную заработную плату	265594,88
Затраты на дополнительную заработную плату	31871,39
Затраты на отчисления во внебюджетные фонды	89239,88
Накладные расходы	62377,78

9.2.4.6 Формирование бюджета затрат проекта разработки

Рассчитанные величины затрат научно-исследовательской работы являются основой для формирования бюджета затрат проекта. Результаты составления итогового бюджета разработки представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Бюджет затрат на разработку

Наименование	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Затраты на амортизацию	3055	0,68
Затраты на основную заработную плату	265594,88	58,74
Затраты на дополнительную заработную плату	31871,39	7,05
Затраты на отчисления во внебюджетные фонды	89239,88	19,74
Накладные расходы	62377,78	13,8
Общий бюджет	452138,92	100

9.3 Определение потенциального эффекта разработки

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

$$I_{pi} = \sum a_i b_i \quad , \quad (15)$$

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

a_i – весовой коэффициент i-го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Результат расчета интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии оценки	Весовой коэффициент параметра	Баллы			
		Б _Р	Б _{FR}	Б _{ED}	Б _{PO}
1. Удобство использования	0,05	2	5	5	3
2. Работа с потоком изображений в реальном времени	0,2	5	5	0	0
3. Возможность настройки	0,05	1	3	4	0
4. Независимость от сетевого подключения	0,05	5	5	5	0
5. Потребность в вычислительных ресурсах	0,1	1	2	2	5
6. Определение эмоции группы людей	0,3	5	0	0	0
7. Точность классификации	0,2	3	4	4	5
8. Вывод результатов в реальном времени	0,05	3	1	1	0
ИТОГО	1	25	25	21	13
Значение интегрального показателя	-	3,75	2,7	1,75	1,65

$$I_{p-разработки} = 2 * 0,05 + 5 * 0,2 + 1 * 0,05 + 5 * 0,05 + 1 * 0,1 + 5 * 0,3 + 3 * 0,2 + 3 * 0,05 = 3,75$$

$$I_{p-FR} = 5 * 0,05 + 5 * 0,2 + 3 * 0,05 + 5 * 0,05 + 2 * 0,1 + 0 * 0,3 + 4 * 0,2 + 1 * 0,05 = 2,7$$

$$I_{p-ED} = 5 * 0,05 + 0 * 0,2 + 4 * 0,05 + 5 * 0,05 + 2 * 0,1 + 0 * 0,3 + 4 * 0,2 + 1 * 0,05 = 1,75$$

$$I_{p-PO} = 3 * 0,05 + 0 * 0,2 + 0 * 0,05 + 0 * 0,05 + 5 * 0,1 + 0 * 0,3 + 5 * 0,2 + 0 * 0,05 = 1,6$$

В качестве аналогов использовались следующие разработки:

1. Face Reader (Noldus Information Technology);
2. Emo Detect (Нейроботикс);
3. Project Oxford (Microsoft).

Из значений интегрального показателя ресурсоэффективности разработанной программы и ее существующих аналогов можно сделать вывод о ее высокой конкурентоспособности.

9.4 Заключение по разделу

В ходе осуществления оценки конкурентоспособности разработки было установлено, что разработанная программа обладает большим уровнем конкурентоспособности, чем существующие аналоги и имеет большое количество возможностей для совершенствования и повышения конкурентоспособности. Общая длительность разработки составляет 127 календарных дней (период с 20.01.2019 по 27.05.2019), при этом общий бюджет был оценен в 452138,92 рублей.

Разработанная программа может использоваться охранными предприятиями для выявления нежелательной групповой активности, а также в различных социальных исследованиях. При этом разработанная программа значительно упростит и ускорит процесс сбора данных, уменьшит необходимость в человеческом наблюдении за интересующими явлениями.

10 Социальная ответственность

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка программы определения эмоционального состояния группы людей на основе цифрового изображения

В данном разделе ВКР исследованы меры по защите работника от возможного негативного воздействия среды, а также вредные и опасные факторы среды, а также рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации и необходимые действия, которые разработчик должен выполнить в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

Разработанная система может использоваться охранными предприятиями для выявления нежелательной активности, а также для проведения различных социологических исследований.

Были выделены и рассмотрены следующие факторы, воздействующие на разработчика программы:

1. Недостаточная освещенность рабочей зоны;
2. Отклонение параметров микроклимата;
3. Превышения уровня шума;
4. нервно-психические перегрузки.

К опасным факторам при работе с персональным компьютером относятся высокое напряжение и возможность короткого замыкания, влекущего за собой опасность поражения разработчика электрическим током. Рассмотрены вопросы правового регулирования трудовых отношений, связанных с использованием разработанной системы.

10.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

10.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

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. Согласно трудовому кодексу РФ:

- продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю,
- во время регламентированных перерывов целесообразно выполнять комплексы упражнений и осуществлять проветривание помещения.

Существуют также специализированные органы, осуществляющие государственный контроль и надзор в организациях на предмет соблюдения существующих правил и норм.

К таким органам относятся:

- федеральная инспекция труда,
- государственная экспертиза условий труда Федеральной службы по труду и занятости населения,
- федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека и др.

10.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место для выполнения работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающего, а также при работе средней тяжести в случаях, обусловленных особенностями технологического процесса.

Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.

Очень часто используемые средства отображения информации, требующие точного и быстрого считывания показаний, следует располагать в

вертикальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от сагиттальной плоскости, которые представлены на рисунке 28.

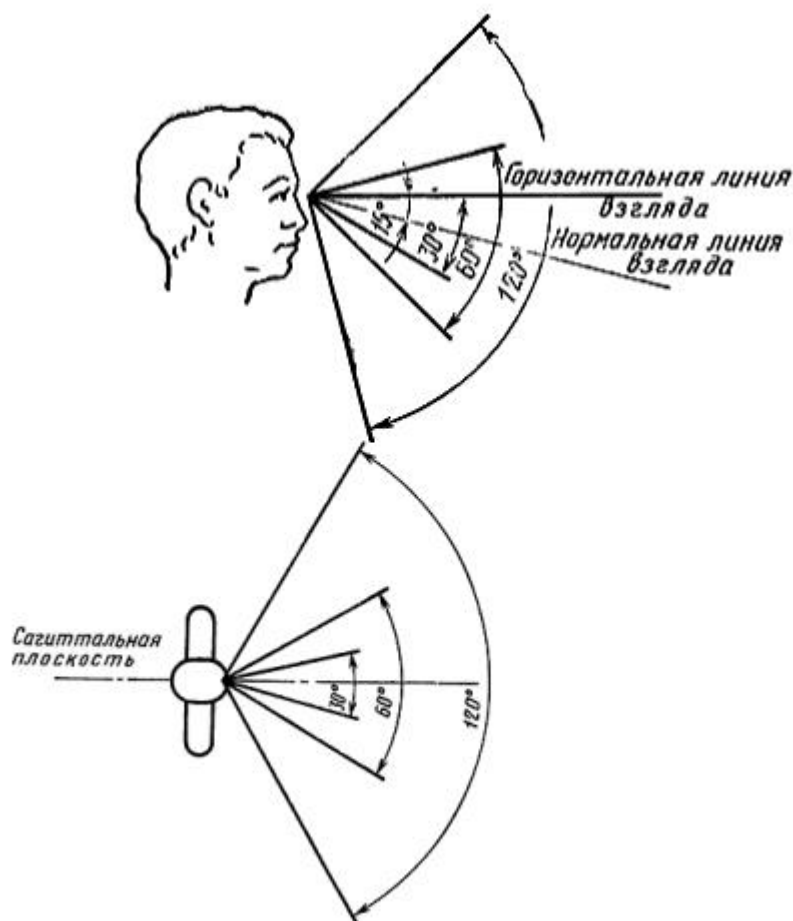


Рисунок 28 - Зоны зрительного наблюдения в горизонтальной плоскости и в вертикальной плоскости.

10.2 Производственная безопасность

Вредные и опасные факторы, воздействующие на сотрудника, устанавливаются согласно ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке программы представлены в таблице 14:

Таблица 14. Вредные и опасные факторы

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Разработка программы определения эмоционального состояния группы людей на ПК	<p>1. Недостаточная освещенность рабочей зоны</p> <p>2. Превышение уровня шума на рабочем месте</p> <p>3. Отклонение параметров микроклимата на рабочем месте.</p> <p>4. Психофизиологические факторы: нервно-психические нагрузки.</p>	<p>1. Электрический ток (использование ПК)</p> <p>2. Возможность короткого замыкания.</p> <p>3. Повышенный уровень статического электричества.</p>	<p>Освещение, шум, статическое электричество, психофизиологические факторы: СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [30] ТОИ П-45-084-01 [31] Микроклимат: СанПиН 2.2.4.548-96 [32] СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Электрический ток, короткое замыкание: «Правила устройства электроустановок» утвержденные Главтехуправлением, Госэнергонадзором Миннерго СССР 05.10.1979 г. [33] ГОСТ 12.1.033-81 [34] «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей», утвержденные приказом</p>

Продолжение таблицы 14:

			Минэнерго России от 13.01.2003 г. «Межотраслевые правила охраны труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок» (ПОТ РМ 016-2001), утвержденные Постановлением Минтруда России от 05.01.2001 г №3
--	--	--	--

10.2.1 Недостаточная освещенность рабочей зоны

При разработке программы к негативным факторам можно отнести повышенные урони излучения, а также увеличенную нагрузку на зрительные органы.

Требования к освещению установлены в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 (таблица 15).

Таблица 15 - Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ

Освещенность на рабочем месте	300-500 лк
Освещенность на экране ПЭВМ	Не выше 300 лк
Блики на экране	Не выше 40 кд/м ²
Прямая блескость источника света	200 кд/м ²
Показатель ослепленности	Не более 20
Показатель дискомфорта	Не более 15
Отношение яркости между рабочими поверхностями	3:1-5:1 10:1

Коэффициент пульсации	Не более 5%
-----------------------	-------------

10.2.2 Превышение уровня шума

В производственных помещениях при выполнении основных или вспомогательных работ с использованием ПЭВМ уровни шума на рабочих местах не должны превышать предельно допустимых значений, установленных для данных видов работ в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 установлены допустимые значения уровней звукового давления, создаваемого ПЭВМ (таблица 16).

Таблица 16. Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, дБ									Уровни звука в дБА
31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

10.2.3 Отклонение параметров микроклимата

В производственных помещениях, в которых работа с использованием ПЭВМ является основной (диспетчерские, операторские, расчетные, кабины и посты управления, залы вычислительной техники и др.) и связана с нервно-эмоциональным напряжением, должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата для категории работ 1а и 1б в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами микроклимата производственных помещений.

Содержание вредных химических веществ в производственных помещениях, в которых работа с использованием ПЭВМ является основной (диспетчерские, операторские, расчетные, кабины и посты управления, залы вычислительной техники и др.), не должно превышать предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест в соответствии с действующими гигиеническими нормативами.

Также указывается, что в помещениях с ПЭВМ должна ежедневно проводиться влажная уборка.

Уставленные гигиенические нормативы для помещений с ВДТ и ПЭВМ для категории работы 1б приведены в таблице 17.

Таблица 17. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений (СанПиН 2.2.4.548-96).

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	1б (140-174 Вт)	21-23	20-24	60-40	0,1
Теплый		22-24	21-25	60-40	0,1

10.2.4 Статическое электричество

В помещениях, оборудованных ПЭВМ, токи статического электричества чаще всего возникают при прикосновении персонала к любому из элементов ПЭВМ. Такие разряды опасности для человека не представляют, однако кроме неприятных ощущений могут привести к выходу оборудования из строя.

Для предотвращения образования и защиты от статического электричества в помещении используются нейтрализаторы и увлажнители, а полы имеют антистатическое покрытие в виде поливинилхлоридного антистатического линолеума.

Также в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 установлен максимальный допустимый электростатический потенциал экрана видеомонитора – 500 В.

В качестве мер уменьшения влияния вредных факторов на пользователя используются защитные фильтры для мониторов, увлажнители воздуха. Должны использоваться розетки с заземлением. Требуется проводить регулярную влажную уборку.

10.2.5 Психофизиологические факторы

Работа с ПК сопряжена с воздействием вредных психофизиологических факторов, в частности, нервно-психических перегрузок. Для снижения воздействия вредных факторов, устанавливаются перерывы в работе для отдыха сотрудников. Суммарное время регламентированных перерывов при работе с ПК зависит от категории трудовой деятельности и уровня нагрузки за рабочую смену. В таблице 18 приведено суммарное время отдыха для каждой категории работ.

Таблица 18. Суммарное время перерывов в зависимости от категории работы и нагрузки

Категория работы с ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПЭВМ			Суммарное время регламентированных перерывов при 8-часовой смене, мин
	Группа А, количество знаков	Группа Б, количество знаков	Группа В, часов	
I	До 20000	До 15000	До 2	50
II	До 40000	До 30000	До 4	70
III	До 60000	До 40000	До 6	90

При разработке программы уровень нагрузки относился к группе В, категория работы III. Согласно таблице, суммарное время перерывов необходимо установить не менее 90 минут. По типовой инструкции по охране труда при работе на персональном компьютере ТОО Р-45-084-01 для данной категории работ требуется установить перерывы по 15 минут каждый трудовой час.

10.2.6 Электрический ток

К опасностям использования электрического тока относятся возможность поражения электрическим током, а также воспламенения электронных устройств из-за воздействия различных условий – попадания влаги или нарушения изоляции. Поражение электрическим током может привести к ожогам, судорогам, повреждению нервной системы, а также смерти. Возникновение пожара может привести к последствиям, описанным в ГОСТ 12.1.033-81.

Во избежание негативных эффектов необходимо соблюдать правила пожарной и электрической безопасности. Подготовка к возникновению данных ситуаций должна производиться до начала работы.

Требования безопасности при эксплуатации электрооборудования регламентируются следующими нормативными актами:

1. Правилами устройства электроустановок (издание шестое с отдельными разделами и главами в издании седьмом), утвержденными Главтехуправлением, Госэнергонадзором Минэнерго СССР 05.10.19 г.
2. Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей, утверждёнными Приказом Минэнерго России от 13.01.2003 г. №6;
3. Межотраслевыми правилами охраны труда (правилами безопасности) при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ 016-2001), утвержденными Постановлением Минтруда России от 05.01.2001 г. №3.

Согласно им:

1. Электрооборудование, имеющее контакты для подключения заземления, должно быть заземлено, а помещения, где размещаются рабочие места с ПЭВМ, должны быть оборудованы защитным заземлением (занулением) в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации оборудования;

2. Все крышки и защитные панели должны находиться на своих местах (при отсутствии крышки или защитной панели эксплуатация электрооборудования не допускается);
3. При работе с электрооборудованием не допускать попадания влаги на поверхность электрооборудования, а также запрещается работать на электрооборудовании влажными руками;
4. Вентиляционные отверстия электрооборудования не должны быть перекрыты находящимися вплотную стенами, мебелью, посторонними предметами;
5. Выдергивание штепсельной вилки электроприбора необходимо осуществлять за корпус штепсельной вилки, при необходимости придерживая другой рукой корпус штепсельной розетки;
6. подключение и отключение разъемов компьютеров и оргтехники должно производиться при отключенном питании (за исключением подключения и отключения USB-устройств);
7. Удаление пыли с электрооборудования должно производиться в отключенном от электрической цепи состоянии
8. Перед использованием электроприборов необходимо проверить надёжность крепления электророзетки, свериться с номиналом используемого напряжения;
9. Корпуса штепсельных розеток и выключателей не должны содержать трещин, оплавлений и других дефектов, способных снизить защитные свойства или нарушить надёжность контакта;
10. Кабели (шнуры) электропитания не должны содержать повреждений изоляции, сильных изгибов и скручиваний.

10.3 Экологическая безопасность

Для разработки программы определения эмоционального состояния группы людей необходим компьютер, потому воздействие на литосферу происходит исключительно при утилизации компьютера. В ходе разработке возможно повышение температуры ПК, при этом он является источником электромагнитного и ионизирующего излучения, а также шума. Для защиты здоровья сотрудников, работающих с программным обеспечением, рекомендуется соблюдать необходимую дистанцию при работе с компьютером (от 0.5 до 1 м), а также использовать эффективные охлаждающие системы и наиболее современное и эффективное оборудование.

Федеральный закон № 89 от 1998г. «Об отходах производства и потребления» [35] запрещает юридическим лицам самовольно избавляться от опасных отходов. Этим видом деятельности, согласно постановлению Правительства РФ № 340 от 2002 г. [36], могут заниматься только специализированные структуры. В их число входят и фирмы, которые занимаются утилизацией электронных отходов.

Обращение с отходами регламентируется ГОСТ Р 53692-2009 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами.» [37]

Поэтому, при необходимости утилизировать вышедшую из употребления электронику наиболее безопасным для окружающей среды способом необходимо обращаться в специализированную компанию по утилизации. Такие компании действуют на всей территории Российской Федерации, в том числе и в Томской области.

10.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией при разработке алгоритма является пожар на рабочем месте. В качестве противопожарных мероприятий должны быть применены следующие меры:

1. В помещении должны находиться средства тушения пожара, средства связи;
2. Электрическая проводка электрооборудования и осветительных приборов должна быть исправна;
3. Все сотрудники должны знать место нахождения средств пожаротушения и уметь ими воспользоваться, средств связи и номера экстренных служб.

Связи с возможностью возникновения пожара разработан следующий план действий:

1. В случае возникновения пожара сообщить о нем руководителю, постараться устранить очаг возгорания имеющимися силами при помощи первичных средств пожаротушения (огнетушитель порошковый, углекислотный О-1П0 (з)-АВСЕ);
2. Привести в действие ручной пожарный извещатель, если очаг возгорания потушить не удастся;
3. Сообщить о возгорании в службу пожарной охраны по телефону 01 или 101, сообщить адрес, место и причину возникновения пожара;
4. Принять меры по эвакуации людей и материальных ценностей;
5. Встретить пожарную охрану, при необходимости сообщить всю необходимую информацию и оказать помощь при выборе наилучшего подхода к очагу возгорания.
6. Рабочее помещение оборудовано в соответствии с требованиями пожарной безопасности. Имеется порошковый огнетушитель, а также пожарная сигнализация и средства связи.

10.5 Заключение по разделу

В ходе выполнения работы над разделом «Социальная ответственность» были выявлены опасные и вредные факторы, воздействию которых может

подвергнуться человек, разрабатывающий программу определения эмоционального состояния группы людей, а также проведен анализ нормативной документации.

Установлено, что рабочее место удовлетворяет требованиям безопасности. Выполняемая работа не сопряжена с высоким риском травматизма. Освещение на рабочем месте соответствует нормам – используются энергосберегающие лампы. Уровни шума находятся в допустимых пределах – источником шума при эксплуатации ПК являются системы охлаждения. Микроклиматические условия соблюдаются за счет использования систем отопления и кондиционирования. В виду того, что корпус ПК является токонепроводящим, необходимость в мерах против статического электричества отсутствует. Во время работы осуществляются перерывы для снижения нагрузки и предотвращения нервно-психических перегрузок. Помещение оборудовано согласно требованиям электробезопасности. Рабочее помещение оборудовано в соответствии с требованиями пожарной безопасности. Имеется порошковый огнетушитель, а также пожарная сигнализация.

Заключение

В ходе проделанной работы была разработана программа определения эмоционального состояния группы людей на основе цифрового изображения. Для достижения выбранной цели были разработаны основной и детализированный алгоритмы программы, рассмотрены способы обнаружения лиц на изображениях, а также способы их дальнейшей классификации на классы эмоций, разработана функция выравнивания лица на изображении, проанализированы существующие наборы данных для обучения нейронных сетей на классификацию эмоций, спроектирована архитектура сверточной нейронной сети, результатом последующего обучения которой является точность классификации изображений лиц, равная 72,38 процента, при этом было рассмотрено влияние выбора оптимизатора и функций активации на долю правильных ответов и значение функции потерь сверточной нейронной сети. Лучший результат (72,38 процента) был получен при использовании функции активации ReLu и оптимизатора Adadelata. Произведена сборка и рефакторинг программных реализаций шагов детализированного алгоритма. Также было рассмотрено быстроедействие программы, опытным путем было установлено, что с увеличением количества лиц, находящихся в кадре быстроедействие программы линейно уменьшается. Несмотря на объем проведенной работы, в реализации программы остаются места, которые возможно оптимизировать, а также добавить дополнительный функционал, в зависимости от предпочтений пользователей.

Conclusion

In the course of the work done, a program was developed to determine the emotional state of a group of people based on a digital image. To achieve the chosen goal, the main and detailed algorithms of the program were developed, ways of detecting faces in images, as well as ways of further classifying them into classes of emotions were considered, the function of aligning faces in an image was developed, existing data sets for learning neural networks were analyzed to classify emotions, architecture was designed convolutional neural network, the result of subsequent training which is the accuracy of the classification of facial images, equal to 72.38 percent, with this We considered the influence of the choice of optimizer and activation functions on the proportion of correct answers and the value of the loss function of a convolutional neural network. The best result (72.38 percent) was obtained using the ReLu activation function and the Adadelta optimizer. The software implementations of the steps of the detailed algorithm were assembled and refactored. It was also considered the speed of the program, empirically it was found that with an increase in the number of persons in the frame the speed of the program decreases linearly. Despite the amount of work done, there are places in the implementation of the program that can be optimized, as well as add additional functionality, depending on user preferences.

Список источников

1. Alexandr Rassadin, Alexey Gruzdev, Andrey Savchenko. Group-Level Emotion Recognition Using Transfer Learning From Face Identification // Computer Vision and Pattern Recognition. cs.CV. Cornell University Library. 2017.
2. An Attention Model for group-level emotion recognition // arxiv.org URL: <https://arxiv.org/pdf/1807.03380.pdf> (дата обращения: 05.01.2019).
3. EMODETECT // emodetect URL: <http://emodetect.ru/> (дата обращения: 05.01.2019).
4. Анализ существующих подходов к распознаванию лиц // habr URL: <https://habr.com/ru/company/synesis/blog/238129/> (дата обращения: 05.01.2019).
5. Татаренков Д. А. Анализ методов обнаружения лиц на изображении // Молодой ученый. — 2015. — №4. — С. 270-276. — URL <https://moluch.ru/archive/84/15524/> (дата обращения: 07.06.2019).
6. Классификация данных методом опорных векторов // habr URL: <https://habr.com/ru/post/105220/> (дата обращения: 05.01.2019).
7. Метод Виолы-Джонса (Viola-Jones) как основа для распознавания лиц // habr URL: <https://habr.com/ru/post/133826/> (дата обращения: 05.01.2019).
8. Степанов П. П. Искусственные нейронные сети // Молодой ученый. — 2017. — №4. — С. 185-187. — URL <https://moluch.ru/archive/138/38781/> (дата обращения: 07.06.2019).
9. Введение в задачу распознавания эмоций // habr URL: <https://habr.com/ru/company/speechpro/blog/418151/> (дата обращения: 05.01.2019).
10. Challenges in Representation Learning: Facial Expression Recognition Challenge // kaggle URL: <https://www.kaggle.com/c/challenges-in->

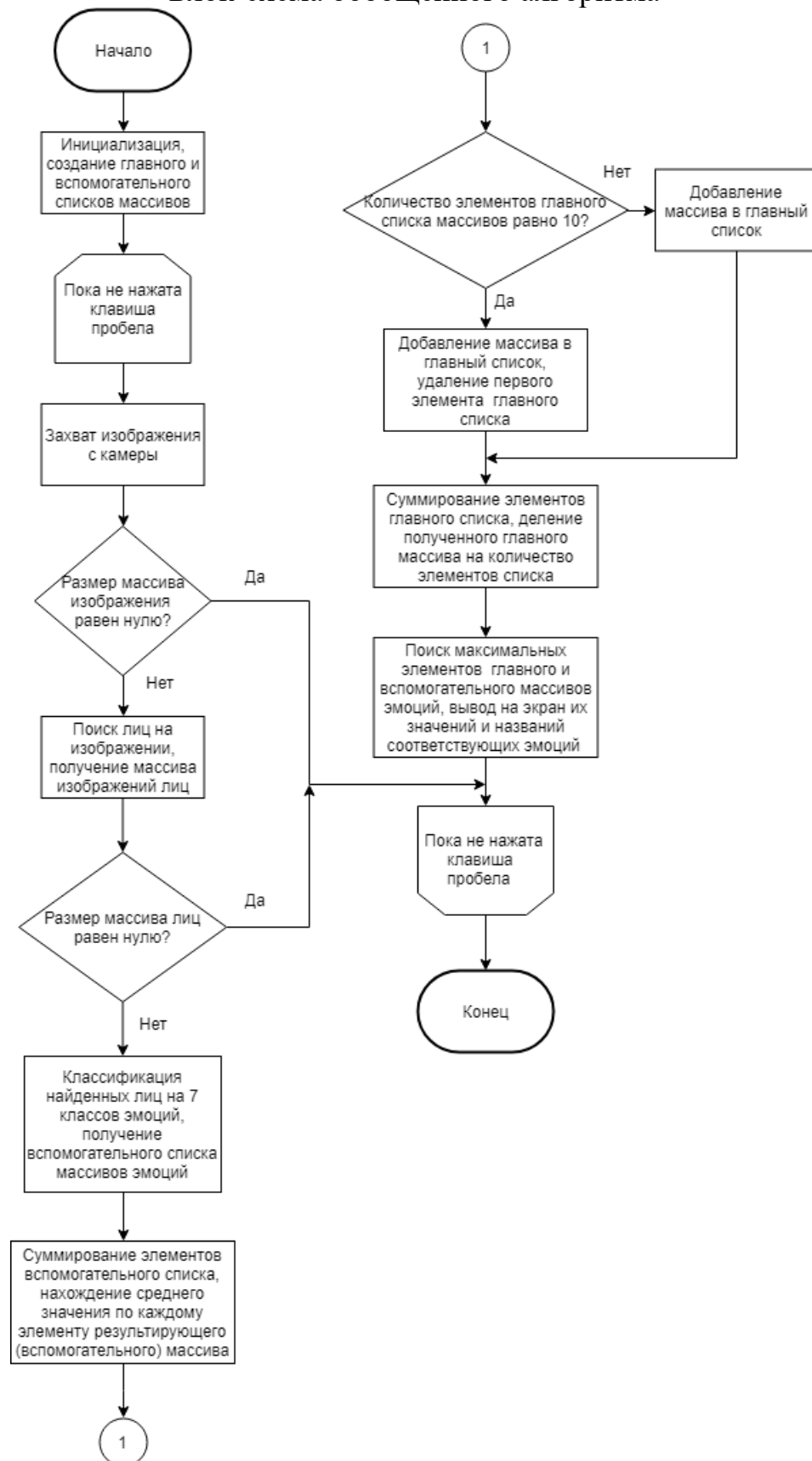
representation-learning-facial-expression-recognition-challenge/data (дата обращения: 05.01.2019).

- 11.Cohn-Kanade AU-Coded Expression Database // pitt URL: <https://www.pitt.edu/~emotion/ck-spread.htm> (дата обращения: 05.01.2019).
- 12.Yale Face Database // vision.ucsd URL: vision.ucsd.edu/content/yale-face-database (дата обращения: 05.01.2019).
- 13.Michael J. Lyons, Shigeru Akemastu, Miyuki Kamachi, Jiro Gyoba. Coding Facial Expressions with Gabor Wavelets, 3rd IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, pp. 200-205 (1998).
- 14.DATABASES // FACE RECOGNITION HOMEPAGE URL: <http://www.face-rec.org/databases/> (дата обращения: 05.01.2019).
- 15.2D face sets // pics.psych URL: http://pics.psych.stir.ac.uk/2D_face_sets.htm (дата обращения: 05.01.2019).
- 16.The Karolinska Directed Emotional Faces (KDEF) // Emotion Lab at Karolinska Institutet Emotion Lab at Karolinska Institutet URL: <http://www.emotionlab.se/kdef/> (дата обращения: 05.01.2019).
- 17.About // opencv.org URL: <https://opencv.org/about/> (дата обращения: 05.01.2019).
- 18.Белых Е. А. Обучение каскадов Хаара // Вестник Сыктывкарского университета. Сер. 1: Математика. Механика. Информатика. 2017. Вып. 1 (22). С. 41–53.
- 19.Geometric Image Transformations // docs.opencv.org URL: https://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/geometric_transformations.html (дата обращения: 05.01.2019)

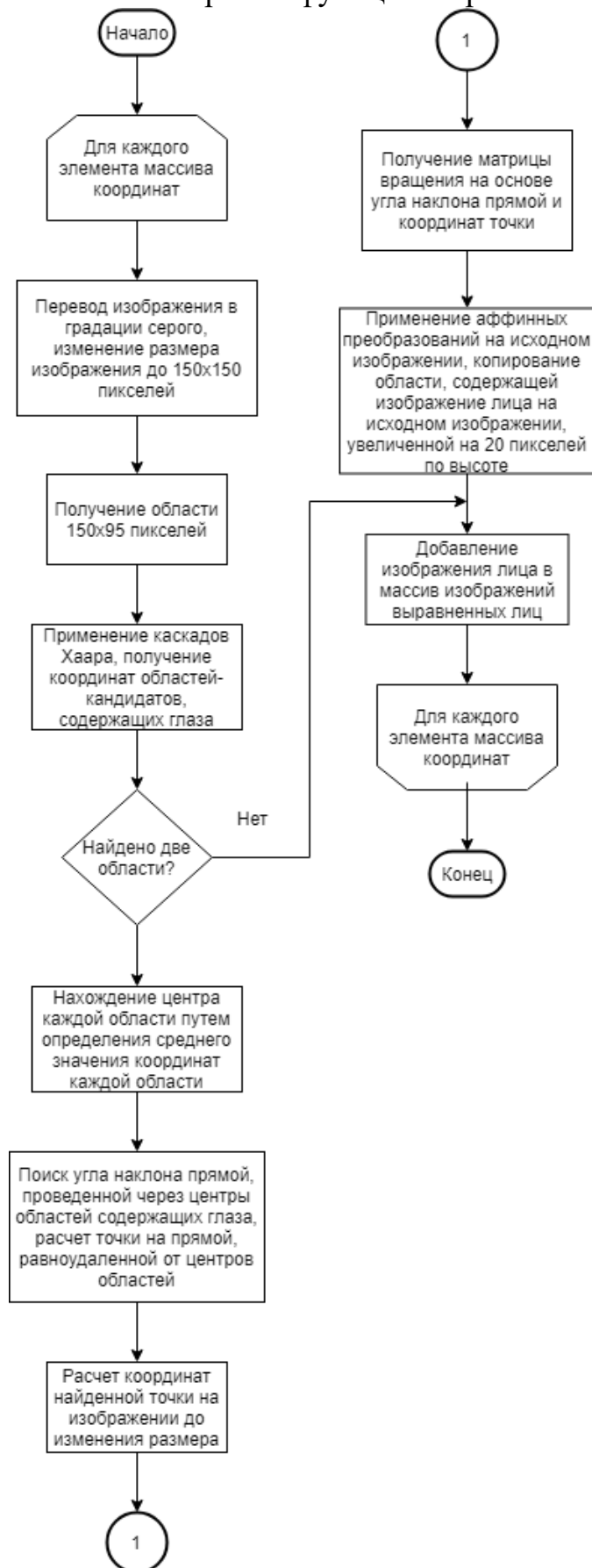
- 20.Сверточная нейронная сеть, часть 1: структура, топология, функции активации и обучающее множество // habr URL: <https://habr.com/ru/post/348000/> (дата обращения: 05.01.2019).
- 21.Analysis of Dropout // pgaleone.eu URL: <https://pgaleone.eu/deep-learning/regularization/2017/01/10/anaysis-of-dropout/#fnref:1> (дата обращения: 05.01.2019).
- 22.Batch Normalization для ускорения обучения нейронных сетей // habr URL: <https://habr.com/ru/post/309302/> (дата обращения: 05.01.2019).
- 23.Сверточная нейронная сеть, часть 1: структура, топология, функции активации и обучающее множество // habr URL: <https://habr.com/ru/post/348000/> (дата обращения: 05.01.2019).
- 24.Функции активации нейросети: сигмоида, линейная, ступенчатая, ReLu, tahn // neurohive.io URL: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/activation-functions/> (дата обращения: 05.01.2019).
- 25.Мальцев В.А. Оптимизаторы нейронных сетей // Научный форум: Инновационная наука: сб. ст. по материалам XXII междунар. науч.-практ. конф. — № 4(22). — М., Изд. «МЦНО», 2019. — С. 61-65.
- 26.Keras и TensorFlow в облаке с GPU бесплатно от Google Colaboratory // asozykin URL: https://www.asozykin.ru/deep_learning/2018/04/04/Google-Colaboratory-for-Deep-Learning.html (дата обращения: 05.01.2019).
- 27.FaceReader // noldus URL: <https://www.noldus.com/human-behavior-research/products/facereader> (дата обращения: 05.01.2019).
- 28.EMODETECT // <http://emodetect.ru/> URL: <https://www.noldus.com/human-behavior-research/products/facereader> (дата обращения: 05.01.2019).
- 29.Как Microsoft Project Oxford может сделать ваши приложения умнее // habr.com URL: <https://habr.com/ru/company/microsoft/blog/263635/> (дата обращения: 05.01.2019)

30. СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах" // Техноэксперт URL: <http://docs.cntd.ru/document/420362948> (дата обращения: 22.04.2019).
31. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений // Техноэксперт URL: <http://docs.cntd.ru/document/901704046> (дата обращения: 22.04.2019).
32. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования // Техноэксперт URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003913> (дата обращения: 22.04.2019).
33. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 // Техноэксперт URL: <http://docs.cntd.ru/document/901865498> (дата обращения: 24.04.2019).
34. ТОИ Р-45-084-01 Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере // Техноэксперт URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200030047/> (дата обращения: 24.04.2019).
35. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" (с изменениями на 21 июня 2016 года) // Техноэксперт URL: <http://docs.cntd.ru/document/901865498> (дата обращения: 24.04.2019).
36. ГОСТ 12.1.033-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Термины и определения (с Изменением N 1) // Техноэксперт URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003841/> (дата обращения: 24.04.2019).
37. Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей // Техноэксперт URL: <http://docs.cntd.ru/document/901839683> (дата обращения: 24.04.2019).

Приложение А
(обязательное)
Блок-схема обобщенного алгоритма



Приложение Б
Блок-схема алгоритма функции выравнивания



Приложение В

Блок-схема детализированного алгоритма программы

