

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки – 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»  
Отделение школы (НОЦ) – Отделение информационных технологий

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Применение методов искусственного интеллекта для разработки алгоритма онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени</b>

УДК 004.8:004.932.72:004.7.032.26

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ВМ93	Чурсина Е.А.		

Руководитель

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Друки А.А.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент»

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООГН ШБИП	Верховская М.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Федоренко О.Ю.	д.т.н.		

По разделу на английском языке

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Розанова Я.В.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Спицын В.Г.	д.т.н.		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен самостоятельно приобретать, развивать и применять математические, естественно-научные, социально-экономические и профессиональные знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте
ОПК(У)-2	Способен разрабатывать оригинальные алгоритмы и программные средства, в том числе с использованием современных интеллектуальных технологий, для решения профессиональных задач
ОПК(У)-3	Способен анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями
ОПК(У)-4	Способен применять на практике новые научные принципы и методы исследований
ОПК(У)-5	Способен разрабатывать и модернизировать программное и аппаратное обеспечение информационных и автоматизированных систем
ОПК(У)-6	Способен разрабатывать компоненты программно-аппаратных комплексов обработки информации и автоматизированного проектирования
ОПК(У)-7	Способен адаптировать зарубежные комплексы обработки информации и автоматизированного проектирования к нуждам отечественных предприятий
ОПК(У)-8	Способен осуществлять эффективное управление разработкой программных средств и проектов
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способен разрабатывать и администрировать системы управления базами данных
ПК(У)-2	Способен проектировать сложные пользовательские интерфейсы
ПК(У)-3	Способен управлять процессами и проектами по созданию (модификации) информационных ресурсов
ПК(У)-4	Способен осуществлять руководство разработкой комплексных проектов на всех стадиях и этапах выполнения работ
ПК(У)-5	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки – 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»  
Отделение школы (НОЦ) – Отделение информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ВМ93	Чурсиной Елене Андреевны

Тема работы:

Применение методов искусственного интеллекта для разработки алгоритма онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Предмет исследования: трекинг множества объектов на кадрах видеопотока с использованием методов искусственного интеллекта
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	– Аналитический обзор предметной области; – Разработка алгоритма онлайн трекинга множества объектов с применением методов искусственного интеллекта; – Разработка программных средств для онлайн трекинга множества объектов; – Исследование применения методов искусственного интеллекта на работы алгоритма онлайн трекинга множества объектов; – Социальная ответственность; – Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

<b>Перечень графического материала</b>		
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>		
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>	
<b>Основная часть</b>	Доцент ОИТ ИШИТР, к.т.н., Друки А.А.	
<b>Финансовый менеджмент, Ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	Доцент ОСГН ШБИП к.э.н., Верховская М.В	
<b>Социальная ответственность</b>	Профессор ООД ШБИП д.м.н., Федоренко О.Ю	
<b>Английский язык</b>	Старший преподаватель Розанова Я.В.	
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>		
Аналитический обзор предметной области		
Разработка алгоритма онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени		
Разработка программных средств для онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени		
Исследования алгоритма онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени с использованием разработанных программных средств		
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение		
Социальная ответственность		
Literature Review		

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

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Друки А.А.,	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8ВМ93	Чурсина Е.А.		

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

Студенту:

<b>Группа</b> 8ВМ93	<b>ФИО</b> Чурсина Елена Андреевна
------------------------	---------------------------------------

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОИТ</b>
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оклад инженера – 22 695,68 руб. Оклад руководителя – 35111,5 руб.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Районный коэффициент 30%; Коэффициент дополнительной заработной платы 12%; Накладные расходы 16%.
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30%

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Разработка графика Гантта.
<i>2. Разработка устава научно-технического проекта</i>	Анализ конкурентных технических решений
<i>3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график поведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Накладные расходы.
<i>4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Определение потенциального эффекта исследования

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. «Портрет» потребителя результатов НТИ</li> <li>2. Сегментирование рынка</li> <li>3. Оценочная карта конкурентных технических решений</li> <li>4. Диаграмма FAST</li> <li>5. Матрица SWOT</li> <li>6. График проведения и бюджет НТИ</li> <li>7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</li> <li>8. Потенциальные риски</li> </ol>	
---	--

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская М.В	к.э.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8ВМ93	Чурсина Е.А.		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ВМ93	Чурсина Елена Андреевна

<b>Школа</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Уровень образования</b>	<b>Направление/специальность</b>
		Магистратура	09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»

Тема ВКР:

<b>Применение методов искусственного интеллекта для разработки алгоритма онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования: алгоритм и программные средства онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени. Область применения: анализ трафика на кадрах видеопотока. Рабочее место: рабочее место оператора ПЭВМ в помещении офисного типа площадью 12 м<sup>2</sup>, оснащённым системой отопления и кондиционирования воздуха, искусственными источниками света и двумя рабочими местами оператора ПЭВМ; в помещении присутствует окно.</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197ФЗ;</li> <li>– ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;</li> <li>– ТОИ Р-45-084-01 Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере;</li> <li>– ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;</li> <li>– СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;</li> <li>– СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению</li> </ul>

	<p>безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95;</li> <li>– ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности;</li> <li>– СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки;</li> <li>– ТОИ Р-45-084-01 Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере;</li> <li>– ГОСТ 22269-76. Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования;</li> <li>– ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения;</li> <li>– ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление;</li> <li>– ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ); Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов;</li> <li>– ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования;</li> <li>– ГОСТ 17.4.3.04-85 Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения.</li> </ul>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b>  2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов  2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– отклонение показателей микроклимата;</li> <li>– превышение уровня шума на рабочем месте;</li> <li>– недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>– психофизиологические факторы (монотонность труда, нервно-психические перегрузки, перенапряжение зрительных анализаторов).</li> </ul>

	<p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– нарушение предельно допустимых значений напряжений прикосновения и токов;</li> <li>– короткое замыкание;</li> <li>– статическое электричество.</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Негативное влияние на литосферу происходит при утилизации компьютера и периферийных устройств (принтеры, МФУ, веб-камеры, наушники, колонки, телефоны); люминесцентных ламп; макулатуры.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные ЧС: ураганы, ливни, оползни, пожары. Наиболее типичная ЧС: пожар.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	<b>01.03.2021</b>
--	-------------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор, ООД ШБИП	Федоренко Ольга Юрьевна	Доктор медицинских наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ВМ93	Чурсина Елена Андреевна		



## **РЕФЕРАТ**

Выпускная квалификационная работа 120 с., 22 рис., 28 табл., 45 источник, 5 прил.

**ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ, ТРЕКИНГ ОБЪЕКТОВ, НЕЙРОННЫЕ СЕТИ, КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ, МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ**

Объект исследования: кадры видеопотока.

Предмет исследования: трекинг множества объектов на кадрах видеопотока с использованием методов искусственного интеллекта.

Цель работы: разработка алгоритма онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени на кадрах видеопоследовательности с применением методов искусственного интеллекта, а также внедрение разработанного алгоритма в ядро платформы для оценки трафика на видеозаписях и видеопотоках, снятых с помощью камер статического видеонаблюдения.

Задачи:

- провести анализ существующих методов решения задачи трекинга;
- разработать собственный алгоритм онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени на основе применения методов искусственного интеллекта;
- разработать программные средства для онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени;
- провести исследования и настройку алгоритма онлайн трекинга множества объектов с помощью разработанных программных средств;
- выполнить внедрение и тестирование разработанного алгоритма онлайн трекинга множества объектов в состав ядра платформы для оценки трафика на кадрах статического видеонаблюдения.

Область применения: анализ трафика на кадрах видеопотока.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

**Ограничивающее окно (bounding box)** – простая фигура (прямоугольник), ограничивающая форму более сложной геометрической фигуры.

**Траектория (track)** – набор положений объекта на каждом кадре видеопоследовательности.

**Трекинг (tracking)** – процесс отслеживания объекта на видеопоследовательности, определение траектории объекта.

**Детектирование (detecting)** – процесс локализации объектов определённых классов на изображении.

**Разметка данных (data annotation)** – процесс или результат описания данных, используемых для обучения и оценки моделей машинного обучения.

**Аугментация данных (data augmentation)** – процесс расширения набора данных с помощью уже имеющихся данных.

**ЗП** – заработная плата.

**ПР** – прибыль.

**РФ** — Российская Федерация.

**ГОСТ** — Государственный стандарт.

**СНиП** – строительные нормы и правила.

**СН** – строительные нормы.

**СП** – строительные правила.

**СанПиН** – Санитарные правила, нормы, правила и нормы, гигиенические нормативы.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	14
1 Аналитический обзор предметной области.....	16
1.1 Задача трекинга множества объектов.....	16
1.2 Существующие методы трекинга множества объектов.....	17
1.3 Методы оценки качества работы алгоритма трекинга множества объектов .....	21
2 Разработка алгоритма онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени .....	24
2.1 Разработка архитектуры алгоритма трекинга множества объектов.....	24
2.2 Разработка методов детектирования для алгоритма трекинга множества объектов .....	27
2.3 Разработка методов предсказания движения для алгоритма трекинга множества объектов.....	29
2.4 Разработка методов извлечения графических признаков для алгоритма трекинга множества объектов.....	36
2.5 Разработка методов вычисления метрик схожести для алгоритма трекинга множества объектов.....	37
2.6 Разработка методов ассоциации.....	41
2.7 Конфигурация разработанного алгоритма трекинга множества объектов	41
2.8 Разработка методов оценки трафика на основе результатов алгоритма трекинга множества объектов.....	42
3 Разработка программных средств для онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени .....	46
3.1 Программные инструменты .....	46
3.2 Программная архитектура.....	46
4 Исследования алгоритма онлайн трекинга множества объектов в режиме	

реального времени с использованием разработанных программных средств ...	50
4.1 Условия проведения исследований.....	50
4.2 Выбор метода детектирования для разработанного алгоритма трекинга множества .....	50
4.3 Выбор методов искусственного интеллекта, применяющихся на разных этапах, алгоритма трекинга множества объектов.....	52
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	58
5.1 Предпроектный анализ.....	58
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	58
5.1.2 Анализ конкурентных решений .....	60
5.1.3 SWOT-анализ .....	62
5.1.4 Цели и результаты проекта.....	66
5.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	66
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	66
5.2.2 План проекта .....	67
5.2.3 Бюджет научного исследования.....	70
5.3 Вывод.....	78
6 Социальная ответственность .....	80
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	80
6.2 Производственная безопасность.....	81
6.2.1 Отклонение показателей микроклимата.....	81
6.2.2 Превышение уровня шума .....	82
6.2.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	83
6.2.4 Нарушение предельно допустимых значений напряжений прикосновения и токов.....	86

6.3 Обоснование мероприятий по снижению воздействия вредных производственных факторов.....	87
6.4 Экологическая безопасность.....	87
6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	88
6.6 Выводы по разделу .....	89
6.7 Законодательные акты .....	90
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	92
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ.....	94
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	99
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	117
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	118
ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....	119
ПРИЛОЖЕНИЕ Д .....	120

## **ВВЕДЕНИЕ**

Сегодня всё чаще для автоматизирования решения задач, обычно выполнимых только человеком, применяются методы искусственного интеллекта, основанные на использовании алгоритмов компьютерного зрения и принципов глубокого обучения. Задача трекинга объектов на кадрах видеопоследовательности (видеофайла или видеопотока) относится к таким задачам. Решения задачи трекинга объектов находят применение в различных прикладных областях: охране, робототехнике, подсчёте пешеходного и автомобильного трафика, разработке интеллектуальных систем видеонаблюдения, создании интерфейсов человек-компьютер и многих других.

[1]

Современные разработки в области трекинга объектов успешно применяют методы искусственного интеллекта для достижения высоких метрик качества работы. Тем не менее, далеко не все решения, показывающие хорошие результаты трекинга, способны работать онлайн и в режиме реального времени, что затрудняет их применение для практических задач. [2]

Целью данной работы является разработка алгоритма онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени на кадрах видеопоследовательности с применением методов искусственного интеллекта. Разработанный алгоритм должен быть внедрён в ядро платформы для оценки трафика на видеозаписях и видеопотоках, снятых с помощью камер статического видеонаблюдения, для параллельной обработки от двух потоков.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- провести анализ существующих методов решения задачи трекинга;
- разработать собственный алгоритм онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени на основе применения методов искусственного интеллекта;
- разработать программные средства для онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени;

- провести исследования и настройку алгоритма онлайн трекинга множества объектов с помощью разработанных программных средств;
- выполнить внедрение и тестирование разработанного алгоритма онлайн трекинга множества объектов в состав ядра платформы для оценки трафика на кадрах статического видеонаблюдения.

Практическая значимость данной работы состоит в разработке решения для автоматизации подсчёта пешеходного и автомобильного трафика для задач оценки пассажиропотока и выбора локаций для открытия новых торговых точек на основе сравнительного анализа.

# 1 Аналитический обзор предметной области

## 1.1 Задача трекинга множества объектов

Задача трекинга объекта определяется как задача автоматического распознавания и дальнейшего отслеживания объекта на последовательности кадров видеопотока [3]. С помощью алгоритма трекинга определяется траектория объекта во времени путём определения положения объекта на каждом кадре видеопоследовательности. Положение объекта на кадре может быть представлено в виде точки или набора точек, простой геометрической фигуры; силуэта или контура и других форм [4]. Представление положения объекта в виде ограничивающего окна (bounding box) подходит для объектов любых размеров и форм и является одной из наиболее часто используемых форм представления объекта на кадре в существующих решениях и наборах данных для обучения и валидации алгоритмов трекинга.

Различают трекинг одного (Visual Object Tracking) и множества объектов (Multiple Object Tracking). Задача трекинга множества объектов заключается в одновременном детектировании и трекинге множества объектов на последовательности кадров видеопотока [3]. Работа алгоритма трекинга множества объектов на примере алгоритма SORT в виде двух последовательных кадров видеопотока, на которых локализованы объекты с указанными идентификаторами, представлена на рисунке 1. [5]

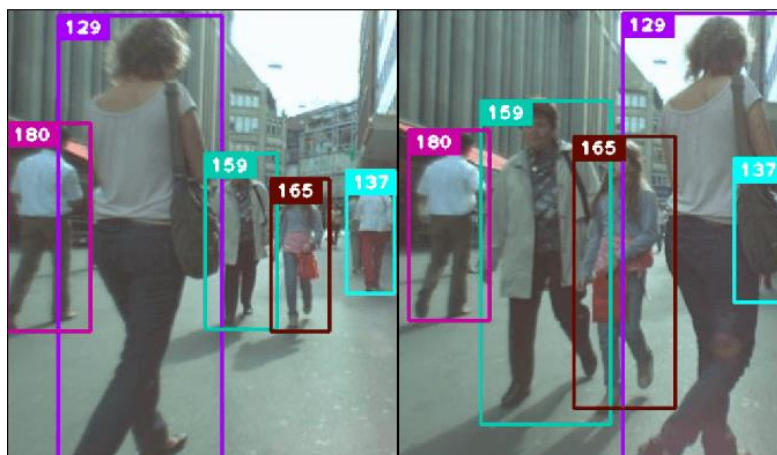


Рисунок 1. Пример работы алгоритма трекинга SORT

Существуют оффлайн и онлайн алгоритмы трекинга. Оффлайн трекеры



используют в том числе последующие кадры видеопотока при расчёте положения объекта на текущем кадре. Алгоритмы онлайн трекинга работают только с предыдущими и текущим кадрами видеопотока. Если алгоритм онлайн трекинга позволяет обрабатывать кадры видеопотока с высокой частотой кадров в секунду, можно говорить о работе алгоритма в режиме реального времени. [5]

## **1.2 Существующие методы трекинга множества объектов**

На сегодняшний день предложено множество алгоритмов и методов, применяемых в решении задачи трекинга множества объектов, не все из которых подходят для онлайн трекинга в режиме реального времени. Существуют алгоритмы, реализующие мультиагентный подход, применяя методы трекинга одного объекта для каждого отслеживаемого объекта [4], а также методы, реализующие модели для выполнения всех этапов обработки кадра и получения результатов трекинга множества объектов целиком (end-to-end) [6]. Применение данных подходов для решения задачи онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени возможно, но затруднительно [7].

Стандартным подходом для решения задачи онлайн трекинга в режиме реального времени является трекинг с помощью детекций [3]. При использовании данного подхода для каждого кадра видеопоследовательности с помощью алгоритма детектирования определяется набор ограничивающих окон объектов – набор детекций, и задачей алгоритма трекинга является ассоциация детекций траекториям отслеживаемых объектов [8].

Несмотря на огромное различие, для большего числа алгоритмов можно выделить основные этапы решения задачи трекинга множества объектов с помощью детекций [9]:

– этап детектирования объектов (detection): на данном этапе происходит анализ текущего входного кадра для локализации объектов определенных классов; полученный набор ограничивающих окон, для каждого из которых указаны степени принадлежности классам, называется детекциями;

– этап предсказания движения (motion prediction): на данном этапе для каждого отслеживаемого объекта по собранной на предыдущих кадрах информации (траектория, изображения и пр.) предсказывается движение, т.е. находится предполагаемое ограничивающее окно отслеживаемого объекта на текущем входном кадре;

– этап извлечения признаков (feature extraction): данный этап не всегда является частью алгоритма трекинга; на данном этапе происходит извлечение признаков из детекций и предсказанных ограничивающих окон отслеживаемых объектов; эти признаки далее применяются для расчёта метрик схожести;

– этап расчёта метрик схожести (affinity estimation): на данном этапе рассчитываются метрики схожести для каждой пары предсказанного ограничивающего окна отслеживаемого объекта и детекции;

– этап ассоциации (association): на данном этапе происходит ассоциация отслеживаемых объектов и детекций; для этого используются метрики схожести между предсказанными ограничивающими окнами отслеживаемых объектов и детекциями; траектории объектов, для которых детекция не была найдена, могут быть продолжены с помощью предсказанных ранее ограничивающих окон; для детекций, которые не были назначены объектам, создаются новые объекты.

Далее приведён обзор существующих методов, применяемых на каждом этапе трекинга множества объектов.

### **Методы детектирования объектов**

Задача детектирования объектов определяется как задача автоматической локализации объектов определённых классов на изображении. Метод детектирования получает на вход изображение, выполняет его анализ и возвращает набор ограничивающих окон (детекций) и значений вероятности принадлежности классам для всех локализованных объектов [10]. Работа метода детектирования на примере алгоритма CenterNet представлена на рисунке 2.

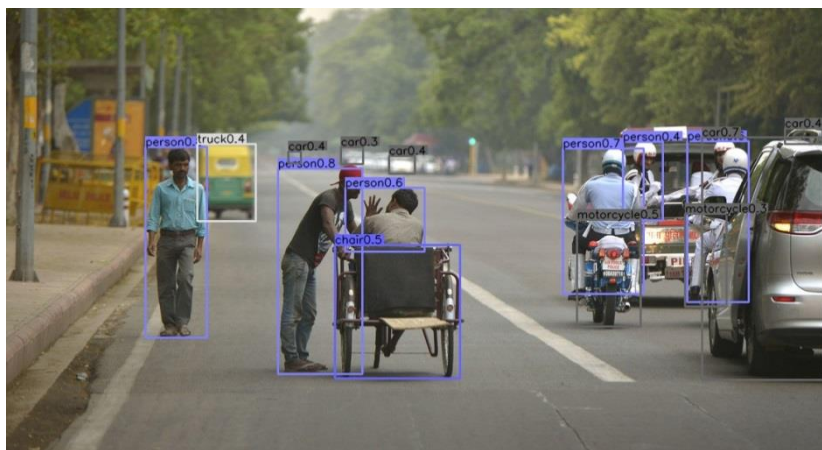


Рисунок 2 – Пример работы алгоритма детектирования объектов CenterNet

Современные решения задачи детектирования объектов, показывающие удовлетворительные метрики качества, используют нейронные сети [10]. Различают два вида методов детектирования: двухэтапные (two-stage) и одноэтапные (one-stage). Двухэтапные методы разделяют процесс локализации и классификации объектов и показывают наивысшие значения метрик качества детектирования. Одноэтапные одновременно предсказывают ограничивающие окна и значения степеней принадлежности классам для объектов, поэтому работают с наибольшей скоростью. К методам детектирования, показывающим наивысшие метрики качества, на данный момент можно отнести: Faster R-CNN (двухэтапный), Mask R-CNN (двухэтапный), YOLOv3 (одноэтапный), YOLOv4 (одноэтапный), RefineDet (одноэтапный), NAS-FPN (одноэтапный), CenterNet (одноэтапный) и другие. [9]

В алгоритмах трекинга объектов часто используются такие одноэтапные и двухэтапные нейросетевые методы детектирования как Faster R-CNN [11], SSD [12], детекторы серии YOLO [13, 14, 15] и другие.

### **Методы предсказания движения**

Методы предсказания движения используются для предсказания ограничивающего окна отслеживаемого объекта на текущем кадре по информации, собранной на предыдущем кадре. Одни из наиболее часто встречающихся в литературе методов, применяющихся на данном этапе работы алгоритма трекинга множества объектов, – это оптический поток [16, 17], нейросетевые модели долгой краткосрочной памяти (Long Short Term Memory,

LSTM) [18, 19], и фильтр Калмана [18, 20, 21].

### **Методы извлечения признаков**

Методы извлечения признаков применяются для получения признаков из ограничивающих окон детекций и предсказанных ограничивающих окон отслеживаемых объектов. В алгоритмах трекинга применяются два основных подхода для извлечения векторов графических признаков из ограничивающих окон:

- Извлечение векторов признаков из изображения, соответствующего каждому ограничивающему окну, с помощью модели свёрточной нейронной сети (Convolutional Neural Network, CNN) [18, 22];
- Извлечение карты признаков из изображения с последующим сопоставлением поднаборов этих признаков каждому ограничивающему окну [23, 24].

Извлечение карты графических признаков изображения или ограничивающих окон детекций возможно на этапе работы алгоритма детектирования [21, 25]. В таком случае этап детектирования объектов служит не только для локализации ограничивающих окон, но и для извлечения признаков. Другой часто используемый подход к извлечению графических признаков – использование для этого отдельной модели свёрточной нейронной сети [25].

### **Методы расчёта метрик схожести**

Метрики схожести, вычисляемые для каждой пары предсказанного ограничивающего окна отслеживаемого объекта и ограничивающего окна детекции, характеризуют вероятность того, что оба ограничивающих окна принадлежат одному объекту. В алгоритмах трекинга множества объектов часто применяются такие метрики схожести как IOU (Intersection Over Union) [20], косинусное сходство между векторами графических признаков [10], признаки движения (motion features) [20, 26] или формы (shape features) [26]. Также возможно применение модели сиамских нейронных сетей для вычисления метрики схожести между двумя изображениями ограничивающих

окон [27].

### **Методы ассоциации**

Методы ассоциации используются для сопоставления отслеживаемых объектов и детекций с помощью рассчитанных ранее метрик схожести. Детекции, которые не были назначены существующим отслеживаемым объектам, становятся первыми детекциями новых объектов. Траектории объектов, для которых детекция не была найдена, могут быть продолжены с помощью предсказанных ранее ограничивающих окон. Это позволяет восстановить слежение за объектом после ошибок алгоритма детектирования (отсутствия детекции) [6]. Для уменьшения влияния этого способа на неверные объединения треков разных объектов, ассоциация может быть проведена в несколько этапов, учитывая возраст или метод обновления траектории объектов на предыдущих кадрах. [20]

Стандартным методом для ассоциации объектов и детекций является решение задачи о назначениях [6, 28]. Для решения данной задачи применяются Венгерский алгоритм или построение двудольного графа для объектов и детекций и нахождение взвешенных паросочетаний в графе с помощью алгоритма нахождения потока минимальной стоимости, а также жадные методы [28, 29].

### **1.3 Методы оценки качества работы алгоритма трекинга множества объектов**

#### **Методы оценки качества работы метода детектирования**

Далее перечислены метрики, используемые для оценки качества работы метода детектирования.

#### **Class Recall**

Метрика Class Recall характеризует способность метода детектирования обнаруживать объекты определённого класса. Данная метрика может быть рассчитана по формуле (1).

$$\text{Class Recall} = \frac{\text{TP}}{\text{Ground truths}} \quad (1)$$

где TP – число верных детекций определённого класса, Ground truths – число истинных детекций для данного класса. Чем выше значение Class Recall, тем лучше способность идентифицировать все объекты определённого класса. [8]

### **Class Precision**

Метрика Class Precision описывает долю объектов верно определённых как принадлежащих определённому классу относительно всех объектов, которые метод детектирования отнёс к данному классу. Данная метрика может быть рассчитана по формуле (2).

$$\text{Class Precision} = \frac{\text{TP}}{\text{Detections}} \quad (2)$$

где TP – число верных детекций определённого класса, Detections – число всех детекций для данного класса. Чем выше значение Class Precision, тем лучше способность отличать объекты определённого класса от других. [8]

### **Class AP и MAP**

Метрика AP (Average Precision) определяется как площадь области под precision-recall кривой для объектов определённого класса. Чем выше значение AP, тем лучше баланс между Class Precision и Class Recall, и, следовательно, выше степень доверия к результатам работы детектора.

Метрика MAP (Mean Average Precision) – это среднее значение AP для всех классов [8].

### **Class AR и MAR**

Метрика AR (Average Recall) определяется как удвоенная площадь области под recall-IOU кривой для объектов определённого класса.

Метрика MAR (Mean Average Recall) – это среднее значение AR для всех классов [30].

### **Методы оценки качества работы алгоритма трекинга**

Для оценки качества работы алгоритма трекинга множества объектов используются следующие метрики, рассчитываемые на размеченных наборах данных для обучения и тестирования алгоритмов трекинга с помощью

детекций.

Метрики, характеризующие число правильно или ошибочно предсказанных траекторий:

- IDsw (ID switches), общее число случаев, когда траектория объекта, полученная с помощью алгоритма трекинга, верна, но соответствующий идентификатор объекта ошибочно изменяется;
- FP (False Positives, False Alarms, False Trajectories), общее число ложных объектов;
- FN (False Negatives, Misses), общее число объектов, которые не были отслежены алгоритмом трекинга;
- MT (Mostly tracked), общее число объектов, для которых было найдено не менее 80% траектории;
- PT (Partially Tracker) – общее число объектов, для которых было найдено 20-80% траектории;
- ML (Mostly Lost) – общее число объектов, для которых было найдено менее 20% траектории;
- Frag (Fragments) – общее количество потерь траекторий объектов.

### **MOTA (Multiple Object Tracking Accuracy)**

Данная метрика позволяет учесть все ошибки траекторий, которые совершает алгоритм трекинга. Она характеризует способность трекера поддерживать траектории объектов, независимо от их точности. Для расчёта MOTA применяется формула (3) [31].

$$MOTA = 1 - \frac{(FN + FP + IDsw)}{Ground\ truths} \quad (3)$$

где Ground truths – количество истинных объектов. Чем выше MOTA, тем выше качество работы алгоритма трекинга. Следует обратить внимание, что MOTA может принимать отрицательные значения, так как число ошибок алгоритма может превышать число истинных объектов [31].

## **2 Разработка алгоритма онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени**

### **2.1 Разработка архитектуры алгоритма трекинга множества объектов**

Разработанный алгоритм онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени основан на подходе трекинга с помощью детекций. Работа алгоритма была разделена на блоки, каждый из которых решает определённую задачу. Методы, используемые в блоках, разрабатываются и реализуются отдельно друг от друга. Такой подход обеспечивает возможность исследования влияния использования разных методов искусственного интеллекта на результат работы алгоритма трекинга, а также позволяет гибкую настройку алгоритма для соответствия различным аппаратным требованиям и пользовательским запросам.

Алгоритм работает итерационно. Блок-схема работы одной итерации алгоритма трекинга представлена на рисунке 3.



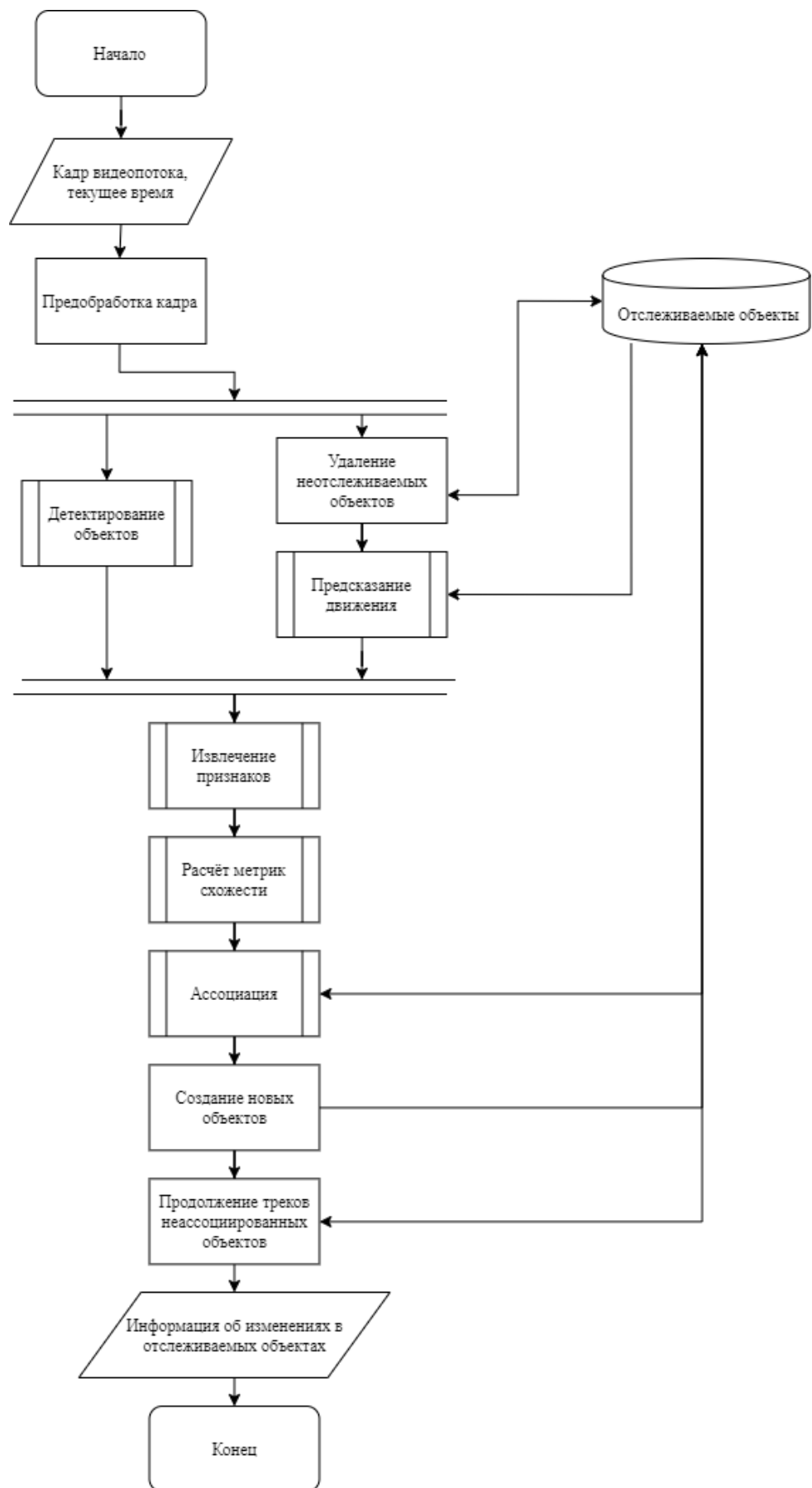


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма трекинга

На каждой итерации на вход алгоритму поступает один кадр

видеопоследовательности и текущее время (время захвата кадра). В блоке «Предобработка кадра» происходит подготовка кадра видеопоследовательности к использованию в алгоритме трекинга (масштабирование кадра). В блоке «Детектирование объектов» происходит локализация и предсказание значений вероятностей классов объектов, что в итоге формирует детекции. Независимо от этого определяется, какие отслеживаемые объекты не обновлялись дольше заранее заданного промежутка времени – такие объекты удаляются. Для всех остальных отслеживаемых объектов в блоке «Предсказание движения» рассчитываются предполагаемые ограничивающие окна для текущего кадра видеопотока.

Далее для каждого ограничивающего окна, в блоке «Извлечение признаков» вычисляются векторы графических признаков. В блоке «Расчёт метрик схожести» для каждой пары отслеживаемого объекта и детекции рассчитывается взвешенная сумма заранее определенных метрик схожести.

В блоке «Ассоциация» происходит сопоставление детекций отслеживаемым объектам. Создаются новые объекты для детекций, которые не были сопоставлены существующим отслеживаемым объектам. Траектории объектов, для которых не были найдены соответствующие детекции на этапе ассоциации, продолжают с помощью ограничивающих окон, полученных в блоке «Предсказание движения», некоторое заранее заданное число кадров. Информация об обновлении и создании объектов сохраняется.

Результатом работы алгоритма трекинга для кадра видеопотока являются данные об удалённых объектах, ограничивающие окна, вероятности принадлежности классам и соответствующие идентификаторы всех не удалённых объектов, кроме тех, которые не были обновлены на текущем кадре – такие объекты сохраняются некоторое время для того, чтобы была возможность продолжить их треки, если появится ассоциированная детекция.

Таким образом, жизненный цикл объекта может быть описан представленной на рисунке 4 диаграммой состояний. При запросе выходной информации алгоритма трекинга на каждом обработанном кадре видеопотока

можно получить полную информацию о всех объектах, которые были отслежены алгоритмом на данном видеопотоке.



Рисунок 4 – Диаграмма состояний отслеживаемого объекта

Далее рассматривается разработка методов для каждого блока алгоритма трекинга.

## 2.2 Разработка методов детектирования для алгоритма трекинга множества объектов

Для локализации объектов на кадрах видеопотока в режиме реального времени было решено применять одноэтапные нейросетевые методы детектирования, показывающие высокие метрики качества и производительности. Исходя из этого для разработки алгоритма трекинга были выбраны следующие методы детектирования, имеющие реализацию с открытым исходным кодом:

- метод детектирования YOLOv3;
- метод детектирования YOLOv4;
- метод детектирования CenterNet.

Для всех алгоритмов детектирования были выбраны модели, обученные на наборе данных COCO [32] в котором содержится 330 тысяч изображений, отнесённых к 80 классам, в том числе классам «человек» («person»), «машина», («car»), «велосипед» («bicycle»).

Далее подробнее рассмотрены выбранные методы детектирования.

### Алгоритмы детектирования множества объектов YOLO

YOLO (You Only Look Once) – популярная архитектура свёрточной нейронной сети для одноэтапного решения задачи детектирования множества

объектов на изображении. Быстрая скорость работы данного алгоритма обеспечивается необходимостью применения операции свёртки к изображению только один раз. [33]

В ходе работы алгоритма изображение делится на сетку. Для каждой ячейки сетки с помощью нейронной сети предсказывается следующее: определённое число ограничивающих окон; вероятности того, что в ограничивающем окне есть искомый объект; значения вероятности того, что объекты, центры которых находятся в ячейке, принадлежат определённому классу. Результатом работы нейронной сети является набор детекций. Схема работы алгоритма детектирования объектов YOLO представлена на рисунке 4. [33]

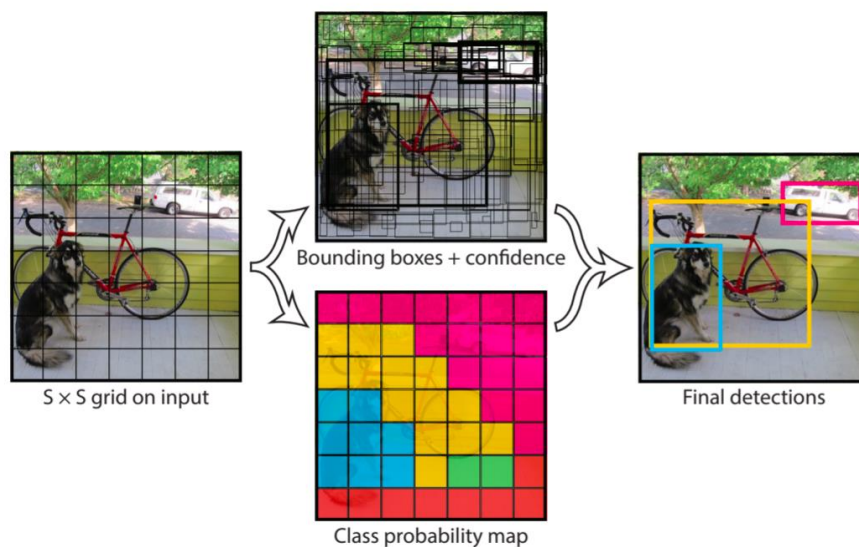


Рисунок 4 – Схема работы детектора объектов YOLO

Версия 3 (YOLOv3) – одна из последних версий архитектуры YOLO. По сравнению с предыдущими версиями, YOLOv3 лучше справляется с локализацией небольших объектов, при этом оставаясь одним из самых быстрых алгоритмов детектирования объектов [34].

Версия 4 (YOLOv4) – последняя версия архитектуры YOLO. Данная версия модели несёт в себе ряд модификаций, направленных на поиск оптимального соотношения качества детектирования и производительности [35].

## Алгоритм детектирования множества объектов CenterNet

CenterNet – архитектура нейронной сети для одноэтапного решения задачи детектирования объектов на изображении, показавшая одни из лучших результатов тестов производительности при сохранении высоких значений метрик качества [36].

CenterNet использует следующий подход к нейросетевому детектированию объектов: Объекты представляются в виде точек – центров ограничивающих окон. Значения признаков в точке описывают вероятность того, что локализован искомый объект (objectiveness confidence score), размеры ограничивающих окон, вероятности принадлежности классам и другие характеристики объекта. Модель обучается по кадру определять набор точек и значения их признаков, с помощью которых получают детекции. Пример представления объектов в виде точек показан на рисунке 5. [36]

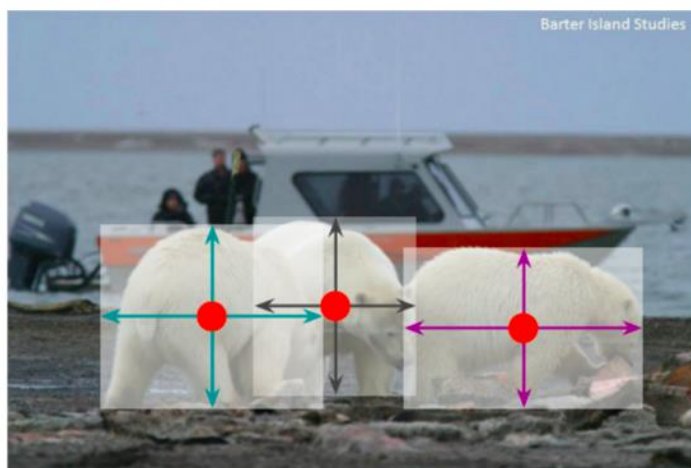


Рисунок 5 – Пример представления объектов в виде точек для алгоритма детектирования объектов CenterNet

### 2.3 Разработка методов предсказания движения для алгоритма трекинга множества объектов

Для разработки собственного алгоритма трекинга множества объектов в режиме реального времени были отобраны следующие методы предсказания движения:

- использование оптического потока;
- использование вектора скорости;

- использование фильтра Калмана;
- использование модели долгой краткосрочной памяти.

В разрабатываемом алгоритме трекинга на этапе предсказания движения была предусмотрена возможность инициализации нескольких методов одновременно таким образом, что ограничивающее окно рассчитывается единожды первым методом, который выполняется без возникновения исключений и для которого достаточно собранной информации, из списка методов, расположенных в порядке уменьшения приоритета. Дополнительно была добавлена возможность отключения предсказания движения путём использования последнего ограничивающего окна объекта.

Описание разработанных методов предсказания движения приведено далее.

### **Использование оптического потока**

Оптический поток характеризует изменения, произошедшие в сцене, в виде векторов скорости для каждого пикселя изображения. Для предсказания движения объекта на изображении с помощью данных векторов рассчитывается скорость объекта и, используя информацию о положении объекта на предыдущем кадре, находится новое положение объекта.

В разрабатываемом алгоритме трекинга для расчёта оптического потока используется алгоритм Фарнебека, который позволяет определить передвижение частей изображения, используя только два последовательных кадра [37]. Данный алгоритм был выбран благодаря своей производительности, сравнительно высокому качеству предсказания движения и необходимости хранить только один предыдущий кадр для расчёта оптического потока относительно текущего кадра видеопоследовательности. Пример результата работы алгоритма Фарнебека в виде векторов скорости для каждого пикселя изображения, представлены на рисунке 6.

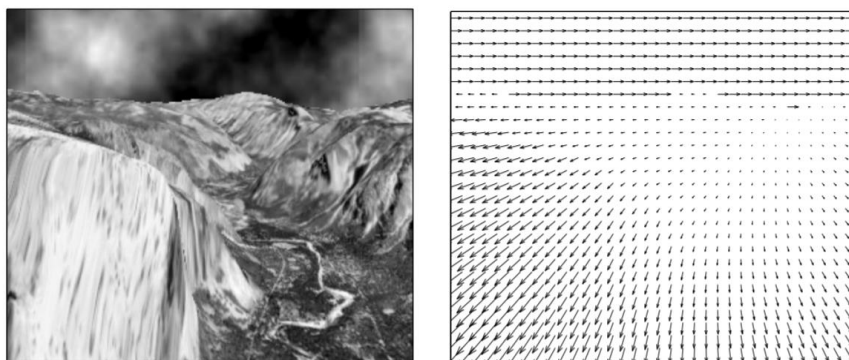


Рисунок 6 – Результаты работы алгоритма Фарнебека для расчёта оптического потока

### **Использование вектора скорости**

Был предложен алгоритм расчёта следующего ограничивающего окна объекта с помощью вектор скорости: Для каждого объекта дополнительно сохраняются временные промежутки между обновлениями траектории. Используя информацию о перемещениях и временных промежутках за последнее заранее заданное количество секунд, для отслеживаемого объекта рассчитывается вектор скорости на предыдущем кадре. По вектору скорости объекта на предыдущем кадре и временному промежутку между получением предыдущего и текущего кадра, определяется текущее положение объекта.

### **Использование фильтра Калмана**

Фильтр Калмана позволяет оценить состояние динамической системы, используя неполные и неточные измерения. При использовании фильтра Калмана для предсказания движения в качестве динамической системы выступает модель движения отслеживаемого объекта, в качестве измерений – детекции объекта на последовательности кадров.

Для моделирования движения каждого отслеживаемого объекта с помощью фильтра Калмана в разрабатываемом алгоритме трекинга используется следующий набор параметров:

- x координата объекта на кадре;
- y координата объекта на кадре;
- x компонента скорости объекта;
- y компонента скорости объекта;

- высота объекта;
- ширина объекта;
- скорость изменения высоты объекта;
- скорость изменения ширины объекта.

Таким образом, с помощью фильтра Калмана моделируется равномерное движение ограничивающего окна объекта с равномерно изменяющимся размером ограничивающего окна.

Экспериментальным путём было определено, что при использовании фильтра Калмана в качестве метода предсказания движения в алгоритме трекинга множества объектов, наивысшие значения метрик качества предсказания достигаются при использовании в качестве матриц ковариации для случайного процесса (для модели движения) и шума измерений (детекций) диагональные матрицы, содержащие дисперсии каждого параметра вектора состояния или измерения на соответствующих позициях. Таким образом, предполагается, что параметры состояния и измерений линейно независимые или их зависимости не учитываются.

Использование фильтра Калмана на этапе предсказания движения в разрабатываемом алгоритме трекинга множества объектов происходит следующим образом:

1. Для каждого отслеживаемого объекта при появлении его первой детекции создаётся экземпляр фильтра Калмана.

2. На каждом кадре для каждого отслеживаемого объекта с помощью соответствующего фильтра Калмана предсказывается положение и размеры ограничивающего окна объекта на текущем кадре, которые могут быть использованы на этапе ассоциации или продолжения траекторий для неассоциированных объектов.

3. После завершения этапа ассоциации и продолжения траекторий для неассоциированных объектов для каждого объекта, траектория которого была дополнена новым ограничивающим окном, происходит коррекция соответствующего фильтра Калмана с помощью полученных измерений



положения и размеров объекта на текущем кадре.

На рисунках 7 и 8 приведены примеры работы фильтра Калмана. На рисунках отображено предсказание пятого ограничивающего окна в траектории объекта после корректировки фильтра Калмана четырьмя истинными ограничивающими окнами. Зелёным цветом обозначаются истинные ограничивающие окна, красным – предсказанные фильтром Калмана.



Рисунок 7 – Пример работы фильтра Калмана



Рисунок 8 – Пример работы фильтра Калмана

Была добавлена возможность использования состояния фильтра Калмана после добавления нового ограничивающего окна объекта для коррекции

(фильтрации) характеристик данного ограничивающего окна. Таким образом, фильтр Калмана может быть использован для коррекции ошибок метода детектирования объектов.

### Использование модели долгой краткосрочной памяти

Для предсказания движения на соответствующем этапе алгоритма трекинга была разработана модель долгой краткосрочной памяти. Принцип работы модели представлен на рисунке 9.

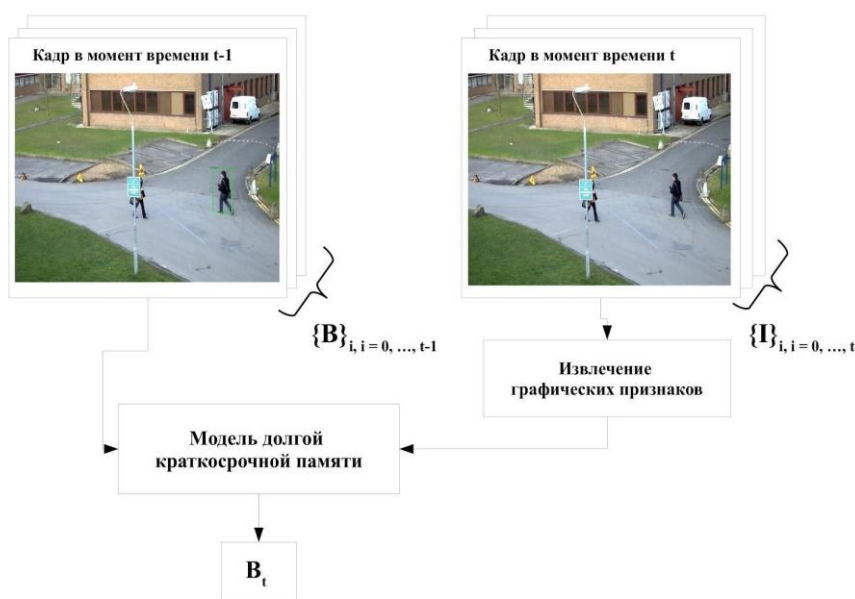


Рисунок 9 – Принцип работы модели долгой краткосрочной памяти для задачи предсказания движения объекта

Модель принимает на вход вектор визуальных признаков текущего кадра и координаты ограничивающих окон объекта. На выходе сеть выдает значения – координаты ограничивающего окна объекта для текущего момента времени.

Особенностью архитектуры модели, приведённой на рисунке 10, является наличие двух входов: один для координат ограничивающего окна в предыдущий момент времени и второй для векторов графических признаков кадра, соответствующего текущему моменту времени. Исследования показали, что данный подход позволяет сократить время обучения модели в четыре раза по сравнению с использованием модели с одним входом. Это объясняется тем, что при объединении векторов координат ограничивающего окна и

графических признаков, информация о местоположении объекта теряется из-за использования случайных методов регуляризации выходных сигналов слоёв модели (dropout).

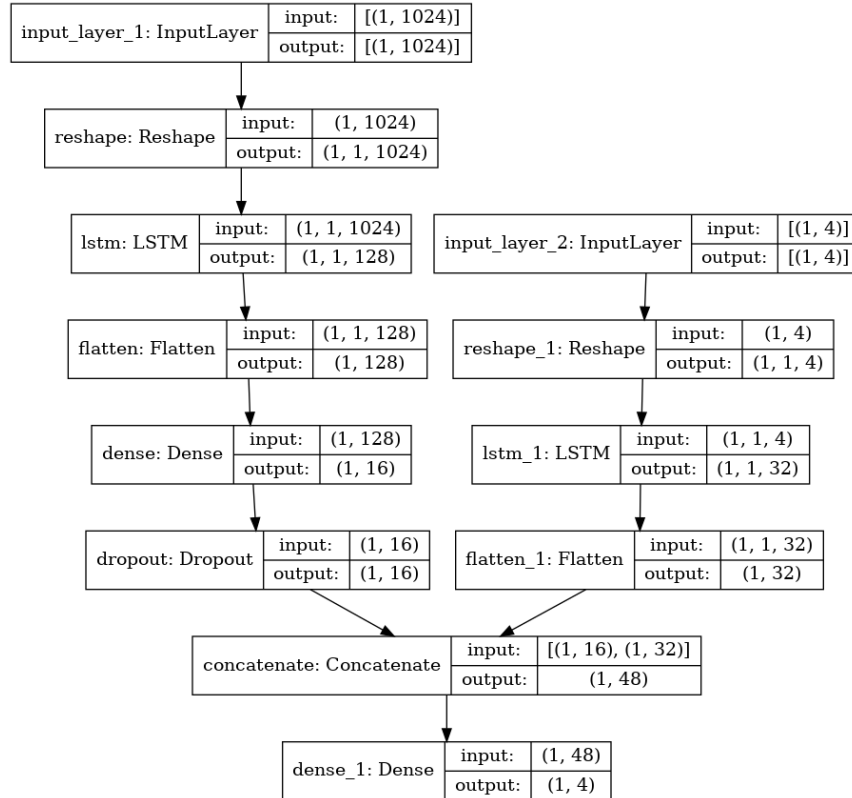


Рисунок 10 – Архитектура модели долгой краткосрочной памяти

В алгоритме трекинга для предсказания движения используется модель, хранящая промежуточные состояния (stetefull), обученная на наборах данных MOT17 [38], PETS2009 [39] и UA-Detrac [40]. При подготовке данных применялось три типа аугментации:

- имитация перекрытие объекта на изображении другим объектом, которого не было на исходном изображении;
- смещение положения ограничивающего окна объекта;
- деформация ограничивающее окно объекта.

На рисунках 11-12 приведены примеры работы модели долгой краткосрочной памяти. На рисунках отображено предсказание пятого ограничивающего окна после совершения четырёх итерации предсказания. Зелёным цветом обозначаются истинные ограничивающие окна, красным –

предсказанные моделью долгой краткосрочной памяти.

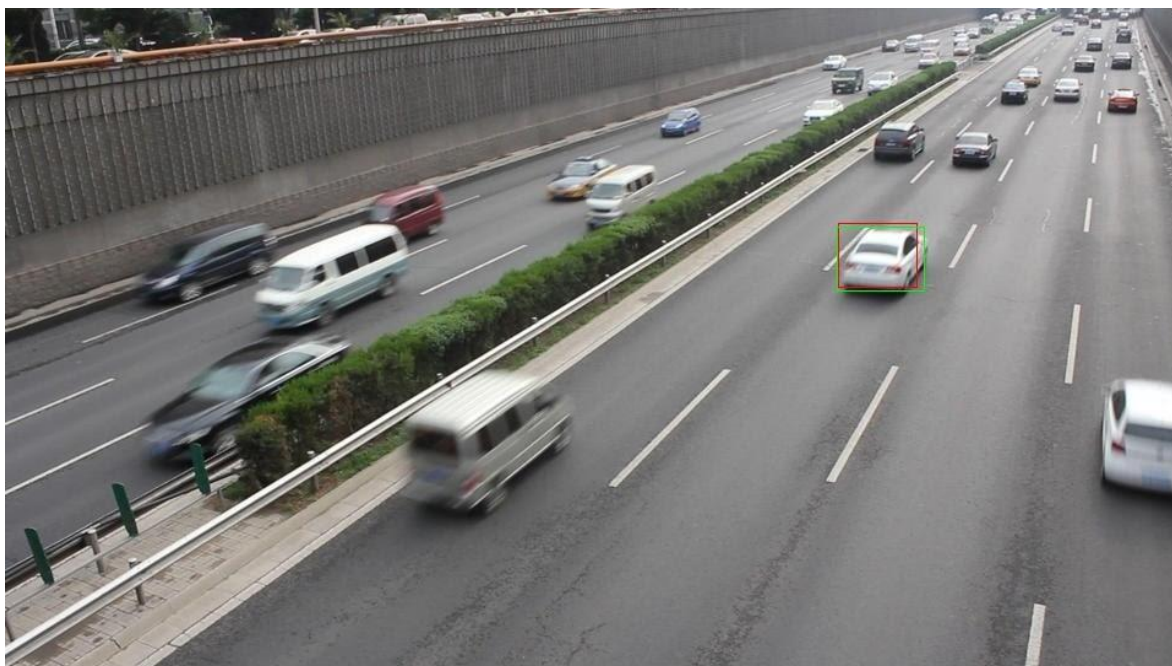


Рисунок 11 – Пример работы модели долгой краткосрочной памяти



Рисунок 12 – Пример работы модели долгой краткосрочной памяти

## **2.4 Разработка методов извлечения графических признаков для алгоритма трекинга множества объектов**

В разрабатываемом алгоритме трекинга используются два метода извлечения графических признаков:

- использование модели свёрточной нейронной сети MobileNetV2,

обученной на наборе данных ImageNet [42], для извлечения графических признаков из каждого ограничивающего окна;

– использование свёрточных слоёв детектора YOLOv4 (сети darknet) для извлечения графических признаков кадра.

## **2.5 Разработка методов вычисления метрик схожести для алгоритма трекинга множества объектов**

Были отобраны следующие методы расчёта метрик схожести, применяемые для разработки собственного алгоритма трекинга:

- IOU;
- косинусное сходство;
- сиамская нейронная сеть.

При расчёте итогового значения схожести в алгоритме трекинга предусмотрена возможность использования взвешенной суммы метрик схожести с предварительно заданными весами.

Далее подробнее рассмотрены используемые методы вычисления метрик схожести.

### **IOU**

IOU (Intersection Over Union) рассчитывается как частное площади пересечения двух ограничивающих окон и площади их объединения. Графическая схема расчёта IOU представлена на рисунке 13 [43].

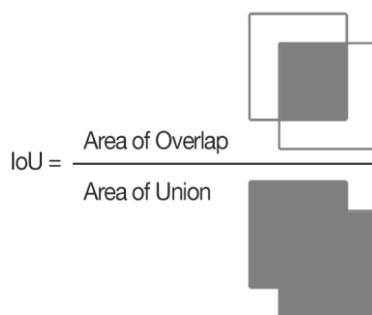


Рисунок 13 – Графическая схема расчёта IOU

Область значений данной метрики: [0, 1]. Чем ближе значение IOU к единице, тем больше вероятность того, что два ограничивающих окна принадлежат одному объекту.

### **Косинусное сходство**

Косинусное сходство (cosine similarity) характеризует сходство между двумя векторами графических признаков, извлечённых из соответствующих ограничивающих окон. Оно измеряется косинусом угла между векторами и определяет, имеют ли данные два вектора примерно схожее направление [44]. Для расчёта значения метрики косинусного сходства используется формула (4).

$$\text{sim}(u, v) = \frac{u \cdot v}{|u|_2 \cdot |v|_2}, \quad (4)$$

где  $u, v$  – векторы.

Область значений данной метрики:  $[0, 1]$ . Чем ближе значение косинусного сходства между векторами графических признаков, соответствующих двум сравниваемым ограничивающим окнам, к единице, тем больше вероятность того, что эти ограничивающие окна принадлежат одному объекту.

### **Сиамская нейронная сеть**

Сиамская сеть – тип нейронной сети, который обучается дифференцированию входных данных, а именно учится различать изображения [3]. Сиамские сети состоят из двух идентичных нейронных сетей, выходные сигналы которых сливаются в один. Выходной сигнал сети показывает меру схожести двух объектов, которые подаются на вход. Область значений данной метрики:  $[0, 1]$ . Чем ближе значение выхода сиамской нейронной сети к единице, тем больше вероятность того, что эти ограничивающие окна принадлежат одному объекту.

Принцип работы сиамской нейронной сети на этапе расчёта метрик схожести алгоритма трекинга представлен на рисунке 14. Сиамская нейронная сеть использует графические признаки, извлечённые на предыдущем этапе работы алгоритма трекинга, и рассчитывает значение метрики схожести между двумя ограничивающими окнами.



Рисунок 14 – Принцип работы модели сямской нейронной сети  
Архитектура модели представлена на рисунке 15.

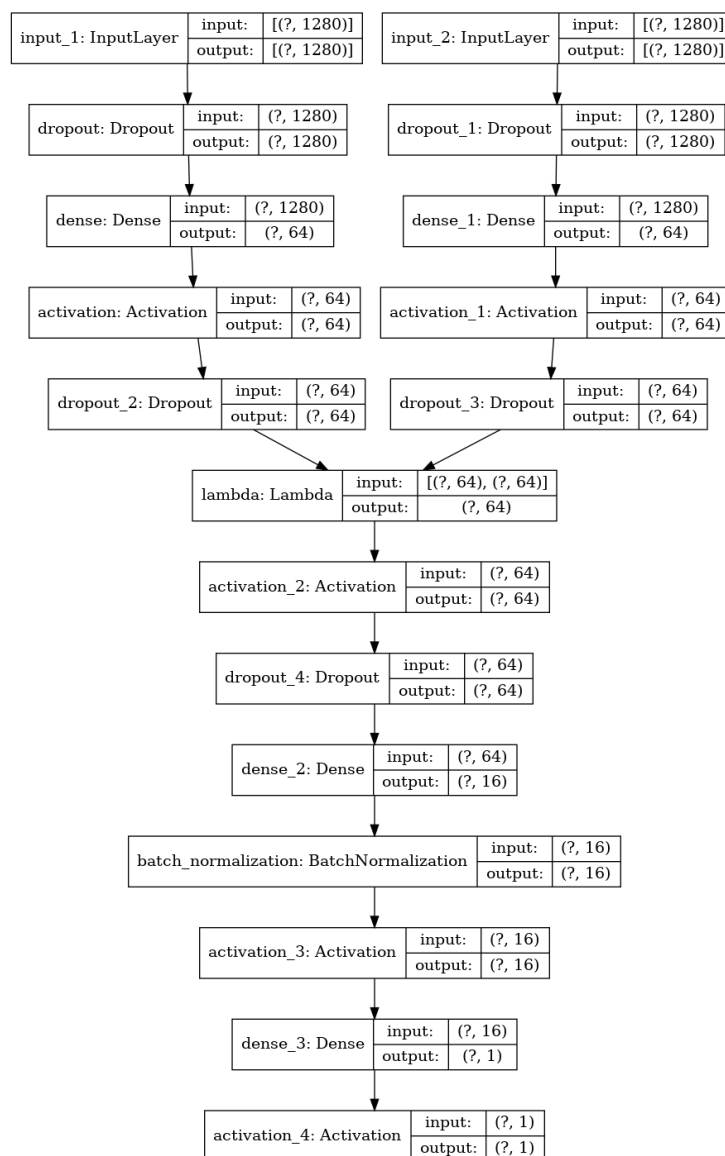


Рисунок 15 – Архитектура модели сиамской нейронной сети

Для расчёта метрики схожести используется модель сиамской нейронной сети, обученная на данных из наборов изображений для задачи ре-идентификации людей. В процессе подготовки данных применялись разные типы аугментации: случайный поворот, случайное ухудшение качества изображения, случайное вырезание пикселей, случайное добавление гауссова шума, случайное размытие изображения. В качестве функции ошибки использовалась функция бинарной кросс-энтропии, как одна из наиболее подходящих для задачи бинарной классификации. Обученная модель достигла значения метрики точности на валидационной выборке, равной 0,85 при значении ошибки равной 0,3.



## 2.6 Разработка методов ассоциации

В разрабатываемом алгоритме трекинга используется подход проведения ассоциации между отслеживаемыми объектами и детекциями с помощью алгоритма нахождения потока минимальной стоимости.

Для решения задачи о назначениях (ассоциации объектов и детекций) с помощью поиска потока минимальной стоимости строится двудольный граф таким образом, что вершины одной доли соответствуют отслеживаемым объектам, вершины второй доли – детекциям. Пример двудольного графа представлен на рисунке 16.

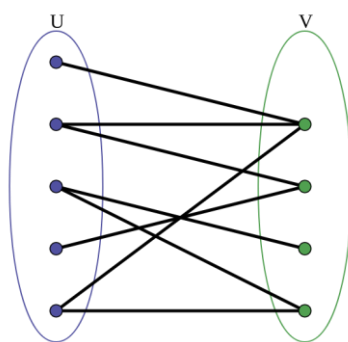


Рисунок 16 – Пример двудольного графа

В качестве веса (стоимости) рёбер используется отрицательное значение метрики схожести или взвешенной суммы нескольких метрик схожести. Пропускная способность каждого ребра имеет величину один. Вершины одной доли соединяются с дополнительной вершиной – истоком, вершины второй доли – с дополнительной вершиной – стоком. [29] В полученном графе находится поток минимальной стоимости. С его помощью находится взаимно однозначное соответствие между вершинами первой доли и вершинами второй доли графа, которое является искомой ассоциацией. [28]

Результаты решения задачи о назначениях используются для сопоставления детекций и отслеживаемых объектов.

## 2.7 Конфигурация разработанного алгоритма трекинга множества объектов

Разработанный алгоритм трекинга позволяет осуществлять гибкую настройку используемых методов искусственного интеллекта. Описание

допустимых изменений конфигурации алгоритма представлены в таблице 1.

Таблица 1. Возможные настройки конфигурации алгоритма трекинга множества объектов

Настройка	Возможное значение
выбор метода детектирования	YOLOv3
	YOLOv4
	CenterNet
выбор метода расчёта графических признаков ограничивающих окон	отсутствие извлечения графических признаков
	извлечение векторов признаков из изображений ограничивающих окон с помощью MobileNetV2
	извлечение графических признаков на этапе детектирования с помощью свёрточных слоёв YOLOv4
настройка приоритета методов предсказания	использование последнего ограничивающего окна, т.е. отсутствие предсказания движения
	расчёт по оптическому потоку
	расчёт по вектору скорости
	расчёт с помощью фильтра Калмана
	расчёт с помощью нейронной сети долгой краткосрочной памяти
расчёт взвешенной суммы метрик схожести	расчёт IOU
	расчёт косинусного сходства
	расчёт с помощью сиамской нейронной сети

## 2.8 Разработка методов оценки трафика на основе результатов алгоритма трекинга множества объектов

Для решения задачи оценки трафика на кадрах видеопоследовательности на основе результатов работы алгоритма трекинга используется подход подсчёта количества объектов определённых классов, пересекающих заранее заданные для данной видеопоследовательности линии, с расчётом направления пересечения за определённые промежутки времени. Такой подход был выбран для возможности точно определить область подсчёта трафика. Пример кадра видеопоследовательности, на котором обозначены линии подсчёта, а также результаты работы алгоритма трекинга для данного кадра, представлен на

рисунке 17.



Рисунок 17 – Пример расположения линий подсчёта для оценки трафика с помощью алгоритма трекинга

Для уменьшения влияния ошибок работы алгоритма трекинга перед участием в подсчёте объекты фильтруются по продолжительности времени жизни и максимальному относительному размеру – если объект не существовал достаточно долго или занимал очень большую площадь кадра, предполагается, что данный объект был порождён ложной детекцией.

Таким образом, для подсчёта трафика с помощью разработанного алгоритма трекинга требуется выполнить шаги, представленные на блок-схеме на рисунке 18.

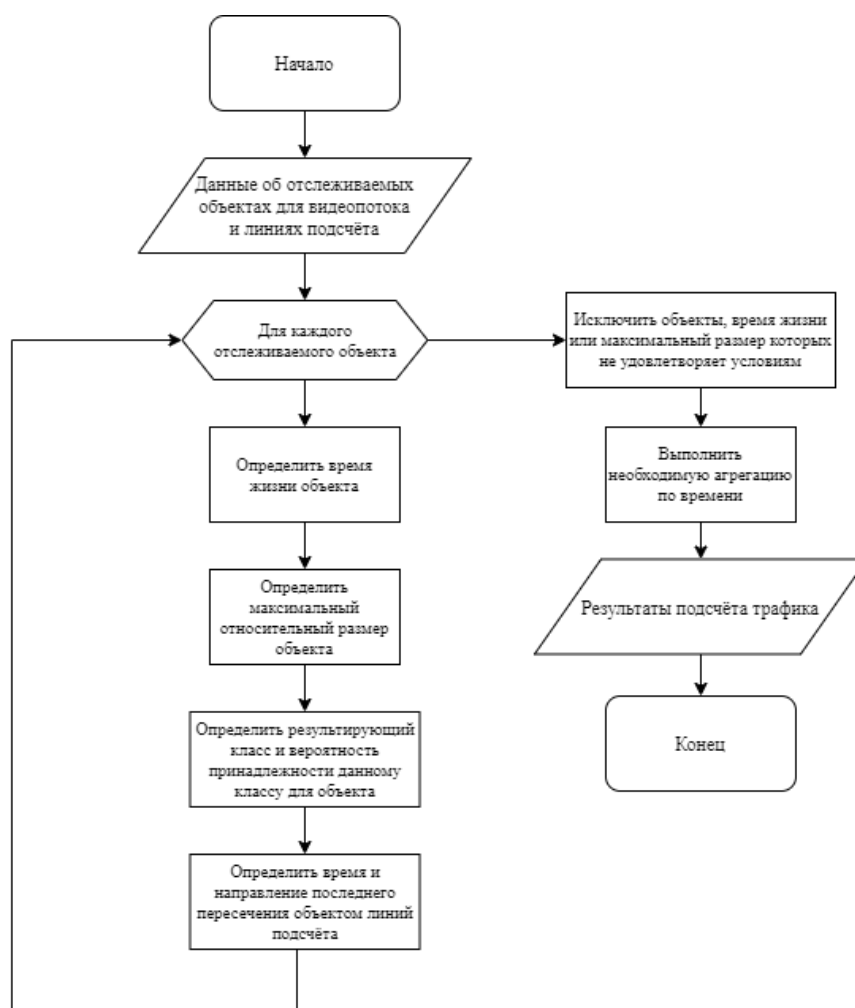


Рисунок 18 – Блок-схема алгоритма подсчёта трафика на основе результатов работы алгоритма трекинга

Для определения времени жизни объекта используется формула (5).

$$\text{lifetime} = \text{delete\_time} - \text{creation\_time}, \quad (5)$$

где  $\text{lifetime}$  – время жизни объекта,  $\text{delete\_time}$  и  $\text{creation\_time}$  – время последней и первой детекции объекта соответственно.

Для определения максимального относительного размера объекта используется формула (6).

$$\text{max\_size} = \max\left(\frac{\text{bbox\_size}}{\text{frame\_size}}\right), \quad (6)$$

где  $\text{max\_size}$  – максимальный относительный размер объекта,  $\text{bbox\_size}$  и  $\text{frame\_size}$  – площади ограничивающего окна объекта и кадра соответственно.

Для определения результирующего значения идентификатора и вероятности принадлежности классу для объекта используются средние значения вероятностей принадлежности классам за последнее заранее заданное

число кадров.

Для определения последнего времени и направления пересечения траектории с линиями подсчёта проверяются возможные пересечения всех отрезков траектории объекта, соединяющих середины нижних границ ограничивающих окон. Непосредственно для определения факта пересечения и расчёта направления пересечения используется метод расчёта ориентированной площади [45].

### **3 Разработка программных средств для онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени**

#### **3.1 Программные инструменты**

Для реализации программных средств онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени используются следующие программные инструменты:

1. язык программирования Python версии 3.6 в качестве основного языка программирования; выбор данного языка объясняется существованием множества фреймворков и библиотек для разработки в сферах искусственного интеллекта;

a) OpenCV для обработки кадров видеопоследовательности, работы с оптическим потоком и фильтром Калмана;

b) NumPy для оптимизации манипуляций с данными;

c) NetworkX для работы с алгоритмами на графах;

d) PyTorch для работы с моделью нейросетевого детектора CenterNet;

e) TensorFlow и Keras для реализации извлечения графических признаков, разработки моделей сиамской нейронной сети и модели долгой краткосрочной памяти;

2. языки программирования C и C++ для повышения производительность работы отдельных компонентов;

a) библиотека Darknet с открытым исходным кодом для работы с методами детектирования YOLOv3 и YOLOv4.

#### **3.2 Программная архитектура**

При разработке программных средств для трекинга множества объектов на кадрах видеопотока учитывалась необходимость одновременной работы с минимум двумя потоками в режиме реального времени. Была разработана многопроцессорная архитектура программного модуля трекинга множества объектов.

Модуль трекинга позволяют обработку нескольких видеопотоков,

параллельно считывая кадры каждого видеопотока и последовательно их обрабатывая. В случае появления некорректных кадров видеопотока, происходит обработка исключений, не вызывающая остановку работы или потерю данных. Модуль работает в нескольких процессах, выполняющихся на отдельных ядрах CPU:

1. основной процесс, в котором происходит обработка кадров: работа метода детектирования, извлечение графических признаков из ограничивающих окон, предсказание движения, расчёт метрик схожести и работа алгоритма трекинга;

2. процессы для каждого видеопотока:

- a. процесс для непрерывного чтения кадров;

- b. процесс для предобработки кадров;

- c. процесс для извлечения графических признаков кадра и/или оптического потока.

Таким образом, работа модуля трекинга происходит минимум в четырёх процессах. В случае обработки более одного видеопотока, для каждого нового потока создаются отдельные процессы чтения, предобработки и извлечения признаков кадра.

На рисунке 19 представлена диаграмма классов разработанного модуля трекинга объектов.

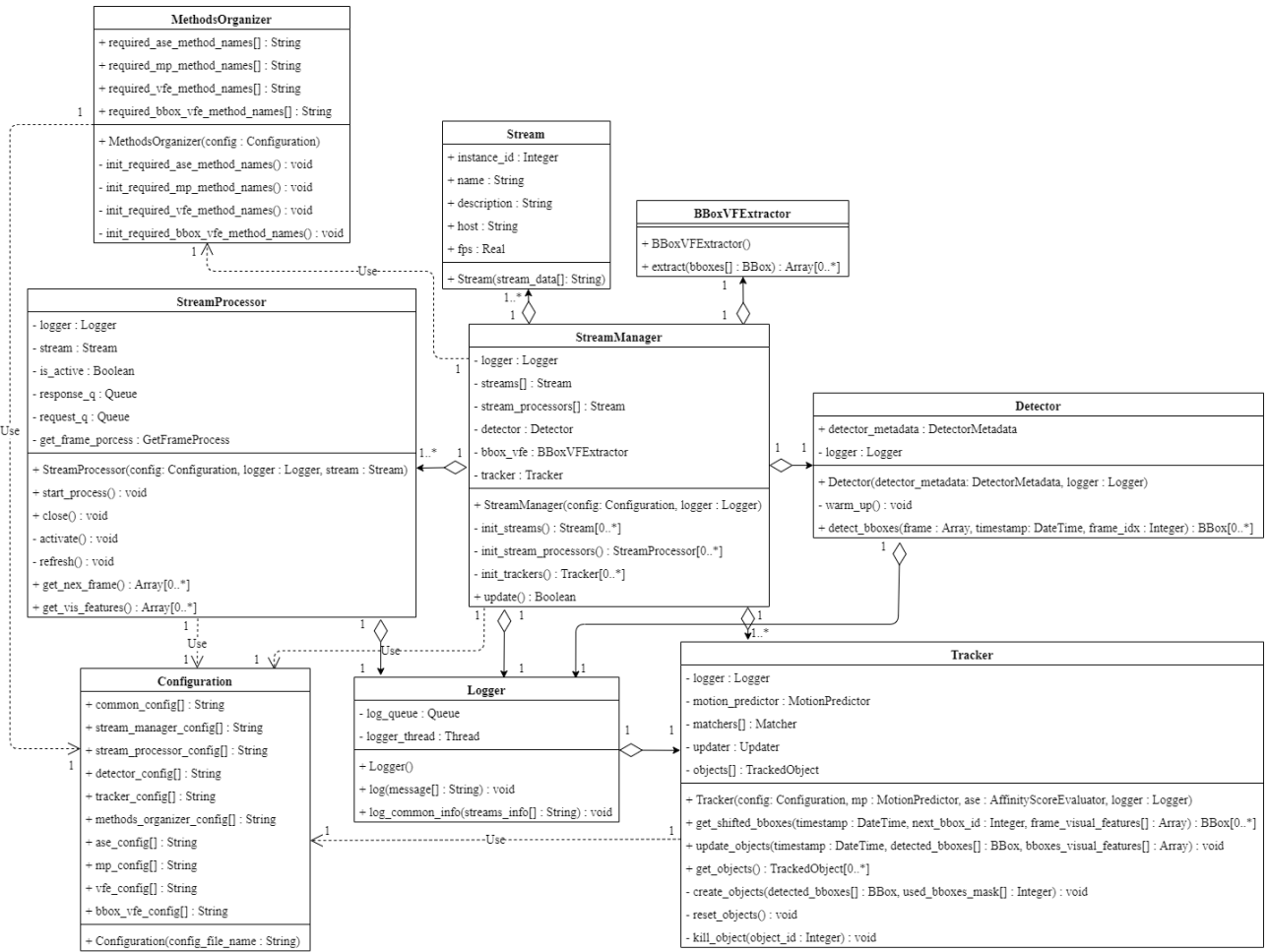


Рисунок 19 – Диаграмма классов модуля трекинга множества объектов на кадрах видеопотока

На диаграмме отображены только наиболее важные с точки зрения логики работы модуля классы, их поля и методы. Некоторые наборы классов упрощены и представлены в виде одного класса (Configuration, Detector, BBoxVFEExtractor, StreamProcessor).

Описание классов, представленных на диаграмме, приведено в таблице 2. Серым цветом выделены компоненты, экземпляры которых являются общими для всех обрабатываемых видеопотоков.

Таблица 2. Описание основных программных компонентов

Класс на диаграмме	Класс модуля	Роль	Реализуемые методы алгоритма трекинга объектов
<b>StreamManager</b>	<b>StreamManager</b>	Обработка видеопотока, управление другими компонентами	–
<b>StreamProcessor</b>	<b>FrameDataProvider</b>	Предобработка кадра видеопотока	–



	<b>FrameVFExtractor</b>	Извлечение графических признаков кадра и расчёт оптического потока	Расчёт оптического потока (алгоритм Фарнебека), извлечение карты графических признаков кадра (YOLOv4)
	<b>FrameCapturer</b>	Чтение кадра видеопотока	–
<b>Detector</b>	<b>Detector</b>	Локализация объектов на кадре видеопотока	Детектирование объектов: YOLOv3, YOLOv4, CenterNet
<b>BBoxVFExtractor</b>	<b>BBoxVFExtractor</b>	Извлечение графических признаков ограничивающих окон	Извлечение графических признаков из ограничивающих окон с помощью MobileNetv2
<b>Tracker</b>	<b>Tracker</b>	Трекинг объектов	Каскадная ассоциация с помощью алгоритма нахождения максимального потока минимальной стоимости; создание, обновление, удаление отслеживаемых объектов
	<b>AffinityScoreEvaluator</b>	Расчёт метрик схожести для ограничивающих окон	Расчёт метрик схожести: IOU, косинусное сходство, Сиамская нейронная сеть
	<b>MotionPredictor</b>	Предсказание следующего ограничивающего окна для отслеживаемого объекта	Предсказание движения: расчёт по оптическому потоку, расчёт по вектору скорости, расчёт с помощью фильтра Калмана, расчёт с помощью модели долгой краткосрочной памяти

Для описания многопроцессорного подхода к обработке кадров разработанным модулем трекинга объектов в приложении Б представлена диаграмма последовательности вызова функции обновления, которая выполняет одну итерацию работы алгоритма трекинга. Для данной диаграммы были сделаны следующие допущения:

- ядро обрабатывает один видеопоток;
- кадры видеопотока не теряются, все кадры являются корректными.

Таким образом, были разработаны программные средства, реализующие ранее представленный алгоритм онлайн трекинга множества объектов и методы искусственного интеллекта, применение которых возможно на разных этапах работы алгоритма. Разработанный программный модуль способен одновременно обрабатывать несколько видеопотоков в режиме реального времени.

## **4 Исследования алгоритма онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени с использованием разработанных программных средств**

### **4.1 Условия проведения исследований**

Разработанный алгоритм онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени позволяет гибкую настройку используемых на различных этапах работы методов искусственного интеллекта. Возможные конфигурации методов были представлены в подразделе 2.7. Для исследования результатов работы разработанного алгоритма трекинга, определения направления дальнейшей разработки, а также получения финальной конфигурации применяемых методов был проведён ряд экспериментов.

Все эксперименты осуществлялись на виртуальной машине Azure Standard NC8as\_T4\_v3 со следующими характеристиками:

- процессор (CPU) AMD EPYC 7V12, 8 x 2.45 ГГц;
- графический ускоритель (GPU) Nvidia Tesla T4;
- оперативная память (RAM) 32 (DDR4) Гб;
- операционная система Ubuntu Server 18.04 (64 bit).

### **4.2 Выбор метода детектирования для разработанного алгоритма трекинга множества**

Выбор метода детектирования множества объектов для соответствующего этапа алгоритма трекинга осуществлялся путём проведения экспериментов для сравнения качества, производительности и ресурсоэффективности методов.

Для этапа детектирования алгоритма трекинга множества объектов было реализовано использование следующих методов (описаны в подразделе 2.2):

- YOLOv3;
- CenterNet;
- YOLOv4.

Конфигурации метода детектирования для проведённых экспериментов, проведённых в рамках доводочных испытаний метода детектирования,

представлены в таблице 3. Для исключения влияния методов, используемых на других этапах алгоритма трекинга, их настройки для всех экспериментов фиксировались.

Таблица 3. Конфигурации методов детектирования для Экспериментов 0-2

Настройка	Эксперимент 0	Эксперимент 1	Эксперимент 2
Детектор	YOLOv3	CenterNet	YOLOv4

Для оценки качества работы метода детектирования используются метрики, описанные в подразделе 1.3: Recall, Precision, AP, AR. Данные метрики рассчитывались для классов «человек» («person»), «машина», («car»), «велосипед» («bicycle»). Значения метрик были получены на наборе данных СОСО, из которого были отобраны изображения, наиболее подходящие для задачи оценки трафика на камерах статического наблюдения. Значения метрик качества методов детектирования представлены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты расчёта метрик качества методов детектирования для Экспериментов 0-2

	person				car				bicycle			
	recall	prec.	ap	ar	recall	prec.	ap	ar	recall	prec.	ap	ar
Эксперимент 0	<b>0,65</b>	0,67	<b>0,46</b>	0,43	<b>0,63</b>	<b>0,89</b>	<b>0,56</b>	0,82	<b>0,02</b>	<b>0,08</b>	<b>0,01</b>	0,15
Эксперимент 1	0,63	0,66	0,44	<b>0,46</b>	0,64	0,68	0,51	<b>0,85</b>	0,01	0,03	<b>0,01</b>	<b>0,16</b>
Эксперимент 2	0,61	<b>0,70</b>	0,44	<b>0,46</b>	0,46	0,86	0,40	0,58	<b>0,02</b>	<b>0,08</b>	<b>0,01</b>	0,12

Можно заметить, что наилучшие показатели качества в большинстве случаев показывает метод YOLOv3, но метод YOLOv4 в некоторых случаях показывает схожие или опережающие значения метрик.

Для оценки производительности и используемых методом детектирования ресурсов (изолированно от других этапов работы алгоритма трекинга) использовались значения среднего времени обработки одного кадра в секундах, средней загрузки CPU в процентах и среднего количество используемой GPU памяти.

Эксперименты были проведены на одинаковом наборе кадров с

разрешением 1280 на 720 пикселей. Среднее число объектов на кадре в секунду составляло 19.5 объектов. Продолжительность теста для каждого эксперимента – 15 минут. Результаты, полученные в ходе проведения экспериментов, представлены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5. Среднее время обработки кадра методом детектирования для Экспериментов 0-2

	Среднее время обработки кадра, с
Эксперимент 0	0,041
Эксперимент 1	0,050
Эксперимент 2	<b>0,024</b>

Таблица 6. Результаты оценки загрузки CPU и GPU методом детектирования для Экспериментов 0-2

	Средняя загрузка CPU, %	Среднее количество используемой GPU памяти, МБ
Эксперимент 0	161	7600
Эксперимент 1	180	950
Эксперимент 2	<b>102</b>	<b>1507</b>

По результатам проведения экспериментов можно отметить, что метод детектирования YOLOv4 значительно превосходит остальные алгоритмы детектирования в метриках производительности и ресурсоэффективности.

На сегодняшний день метод детектирования YOLOv4 является последней версией метода детектирования серии YOLO. Данный метод был выбран в качестве финального метода детектирования при разработке алгоритма трекинга множества объектов, так как в ходе проведения экспериментов было определено, что среди используемых методов, показавших наивысшие метрики качества, YOLOv4 демонстрирует наивысшие метрики производительности и ресурсоэффективности.

### 4.3 Выбор методов искусственного интеллекта, применяющихся на разных этапах, алгоритма трекинга множества объектов

Для исследования применения методов искусственного интеллекта на

разных этапах работы алгоритма трекинга, а также определения дальнейшего направления разработки методов и финальной конфигурации алгоритма трекинга был проведён ряд экспериментов для сравнения качества, производительности и ресурсоэффективности различных наборов методов.

Конфигурации алгоритма трекинга для экспериментов приведены в приложении Г. Конфигурации Экспериментов 3-10 направлены на исследования влияния применения методов предсказания движения и их комбинаций на работу алгоритма трекинга при фиксированных настройках методов на других этапах. Аналогично конфигурации Экспериментов 11-12 направлены исследования методов извлечения признаков и расчёта метрик схожести при неизменной конфигурации методов предсказания движения.

Для оценки качества работы алгоритма трекинга используется метрика МОТА, описанная в подразделе 1.3. Значения данной метрики для конфигураций проводимых экспериментов были рассчитаны на наборах данных MOT17, UA-Detrac и PETS2009, из которых были отобраны данные, наиболее подходящие для задачи оценки трафика на камерах статического наблюдения. В качестве детекций используются детекции, предоставленные в наборах данных.

Значения метрики МОТА для каждой из рассматриваемых конфигураций алгоритма трекинга представлены в таблице 7.

Таблица 7. Результаты расчёта метрики качества алгоритма трекинга для Экспериментов 3-12

Набор данных	Детекции	MOTA									
		Эксперимент 3	Эксперимент 4	Эксперимент 5	Эксперимент 6	Эксперимент 7	Эксперимент 8	Эксперимент 9	Эксперимент 10	Эксперимент 11	Эксперимент 12
MOT17	DPM	0,176	0,165	0,177	0,179	0,177	0,043	0,176	<b>0,179</b>	<b>0,179</b>	0,176
	FRCNN	0,265	0,255	0,264	0,269	0,266	0,143	0,264	<b>0,269</b>	<b>0,271</b>	0,268
	SDP	0,374	0,373	0,375	0,379	0,375	0,254	0,374	<b>0,379</b>	<b>0,381</b>	0,372
UA-Detrac	DPM	0,299	0,288	0,463	0,466	0,463	0,009	0,297	<b>0,466</b>	<b>0,467</b>	0,459
	R-CNN	0,119	0,118	0,118	0,123	0,117	-0,281	0,120	<b>0,123</b>	<b>0,123</b>	0,111
	ACF	0,719	0,716	0,717	0,721	0,718	0,051	0,719	<b>0,721</b>	<b>0,722</b>	0,716
	CompACT	0,730	0,730	0,728	0,731	0,730	0,054	0,730	<b>0,731</b>	<b>0,732</b>	0,729
PETS2009	Детекции	0,171	0,159	0,171	0,173	0,183	-0,182	0,170	<b>0,173</b>	<b>0,177</b>	0,171

По результатам расчёта метрик качества можно сделать следующие выводы:

- среди отдельно используемых методов предсказания движения наиболее высокие метрики качества трекинга показывает метод расчёта с использованием фильтра Калмана (Эксперимент 5);

- коррекция детекций с помощью фильтра Калмана позволяет значительно увеличить значения метрики качества алгоритма трекинга (Эксперимент 6); это связано с тем, что существующие на текущий момент методы детектирования склоны ошибаться при работе с реальными данными;

- использование метода извлечения графических признаков на этапе детектирования и нейросетевой модели долгой краткосрочной памяти для предсказания движения не улучшает значения метрик качества трекинга, несмотря на низкие значения ошибки предсказания движения при разработке модели; основной причиной таких результатов является недостаточность обучающих данных, которая не позволяет модели обучиться одинаково хорошо работать в разных условиях – на тестовых данных и в составе алгоритма трекинга;

- использование модели сиюминутной нейронной сети не оказывает

положительного влияния на работу алгоритма трекинга, несмотря на высокое значение точности определения схожести изображений на этапе разработки модели, по аналогичной причине;

– наивысшие метрики качества алгоритма трекинга достигаются при использовании на этапе предсказания движения комбинации из расчётов с помощью фильтра Калмана, по сдвигу скорости, из последнего ограничивающего окна (Эксперимент 10), а также при дополнительном использовании графических признаков, извлечённых из ограничивающих окон, для расчёта косинусного сходства (Эксперимент 11).

Для конфигураций Экспериментов 10, 11, были проведены оценки производительности и ресурсоэффективности. Для этого были получены значения среднего времени обработки одного кадра в секундах, средней загрузки CPU в процентах и среднего количество используемой GPU памяти.

Эксперименты были проведены на одинаковом наборе кадров с разрешением 1280 на 720 пикселей. Среднее число объектов на кадре в секунду составляло 19.5 объектов. Продолжительность теста для каждого эксперимента – 15 минут. Для исключения влияния этапа детектирования, метод детектирования был фиксирован, его работа не учитывались при проведении экспериментов. Полученные результаты представлены в таблицах 8 и 9.

Таблица 8. Среднее время обработки кадра алгоритмом трекинга для Экспериментов 10 и 11

	<b>Среднее время обработки кадра, с</b>
Эксперимент 10	0,011
Эксперимент 11	0,192

Таблица 9. Результаты оценки загрузки CPU и GPU алгоритмом трекинга для Экспериментов 10 и 11

	<b>Средняя загрузка CPU, %</b>	<b>Среднее количество используемой GPU памяти, МБ</b>
Эксперимент 10	186	0
Эксперимент 11	356	842

По результатам, приведённым в таблицах 8 и 9, можно сделать вывод, что наилучшие метрики производительности и экономии ресурсов показывает алгоритм трекинга, не использующий нейросетевые методы (Эксперимент 10). Тем не менее, использование модели MobileNetV2 и расчёта косинусного в качестве метрики схожести расстояния в алгоритме трекинга (Эксперимент 11), показывает высокое значение скорости обработки видеопотока равное 5,2 кадрам в секунду.

Таким образом, в результате проведения экспериментов в рамках исследования работы алгоритма трекинга было определено следующее:

- положительное влияние на качество работы алгоритма трекинга оказывают методы предсказания, способные справляться с разнородными данными и корректировать ошибки методов детектирования;
- положительное влияние на качество работы алгоритма трекинга оказывает использование графических признаков, извлечённых из ограничивающих окон объектов для расчёта метрик схожести;
- при дальнейшей разработке методов искусственного интеллекта для применения на разных этапах работы алгоритма трекинга стоит уделить внимание подготовке обучающих данных для используемых моделей нейронных сетей с целью повышения их обобщающей способности, а также оптимизации использования данных методов в составе алгоритма трекинга (например, использование методов параллельного программирования при извлечении графических признаков из ограничивающих окон);
- в качестве финальной конфигурации была выбрана конфигурация, показавшая наилучшее соотношение метрик качества, производительности и ресурсоэффективности: конфигурация, совместно использующая фильтр Калмана с коррекцией детекций и сдвиг по скорости на этапе предсказания движения (среднее значение MOTA – 0,3808, обработка до 90 кадров в секунду, степень загрузки CPU 186%)

Для расчёта итоговых метрик производительности и ресурсоэффективности онлайн алгоритма трекинга Эксперимент 10 был



проведён с учётом работы метода детектирования YOLOv4. Были получены следующие результаты: алгоритм онлайн трекинга способен обрабатывать до 40 кадров в секунду, степень загрузки CPU составляет 200%, расходуется 1507 МБ GPU памяти, что позволяет говорить о высокой производительности разработанных программных средств онлайн трекинга множества объектов.

## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **5.1 Предпроектный анализ**

#### **5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Разработанный алгоритм и программные средства для онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени после внедрения в состав платформы видеоаналитики Visius используется для автоматизации подсчёта пешеходного и автомобильного трафика в задачах оценки пассажиропотока и выбора локаций для открытия новых торговых точек на основе сравнительного анализа.

Исходя из особенностей разработанного решения, можно судить о круге компаний, которые потенциально будут заинтересованы в разработке. Целевым рынком является сфера ритейла, в которой результаты могут быть применены для исследования объёма трафика людей в местах, где предполагается открытие или существуют предприятия, а также сфера систем видеобезопасности, в которой результаты могут быть применены для определения пересечения объектами определённых классов границ.

Сегментировать рынок услуг можно по степени потребности использования описываемой разработки. Результат сегментирования представлен в таблице 10.

Таблица 10. Карта сегментирования рынка

		Вид сферы применения разработки			
		Ритейл	Системы охранного видеонаблюдения	Системы мониторинга дорожного трафика	Системы домашней автоматизации
Размер компании	Крупные				
	Средние				
	Мелкие				

	Фирма А		Фирма Б		Фирма В
--	---------	--	---------	--	---------

### 5.1.2 Анализ конкурентных решений

В настоящий момент на рынке существует несколько продуктов-конкурентов и компаний, которые занимаются созданием решений с использованием технологии машинного обучения и компьютерного зрения, среди которых были рассмотрены следующие решения:

1. Orwell 2k – система видеонаблюдения с компьютерным зрением Orwell 2k, предназначенная для автоматического обнаружения и классификации целей и ситуаций и передачи в реальном времени видеоинформации оператору;
2. Macroscop Basic – решение для создания интеллектуальных систем видеонаблюдения;
3. GoodVision – платформа для анализа трафика на камерах видеонаблюдения.

Также были выделены следующие критерии оценки продуктов:

1. Технические критерии оценки ресурсоэффективности
  - a. облачный сервис, доступный для быстрого подключения;
  - b. автоматизация трекинга пешеходов и автомобилей;
  - c. автоматизация трекинга объектов других классов;
  - d. детектор пересечения линии;
  - e. распознавание лиц;
2. Экономические критерии оценки эффективности:
  - a. обслуживание;
  - b. цена.

Экспертная оценка основных технических характеристик данных продуктов представлена в таблице 11.

Таблица 11. Оценочная карта сравнения технических решений

№	Критерии оценки	Вес	Баллы				Конкурентоспособность			
			Бф	Бк1	Бк2	Бк3	Кф	К1	К2	К3
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>										
1	облачный сервис, доступный для быстрого подключения	0,25	5	1	1	5	1,25	0,25	0,25	1,25
2	автоматизация трекинга пешеходов и автомобилей	0,25	5	5	4	5	1,25	1,25	1	1,25
3	автоматизация трекинга объектов других классов	0,05	3	2	1	1	0,15	0,1	0,05	0,05
4	детектор пересечения линии	0,1	5	1	3	5	0,5	0,1	0,3	0,5
5	распознавание лиц	0,05	1	3	2	1	0,05	0,15	0,1	0,05
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>										
6	обслуживание	0,1	4	2	3	4	0,4	0,2	0,3	0,4
7	цена	0,2	4	3	4	3	0,8	0,6	0,8	0,6
	<b>Итого</b>	1	27	17	18	24	4,4	2,65	2,8	4,1

Особенностью работы компаний-конкурентов является обязательное условие по размещению собственных систем видеонаблюдения с модулями видеоаналитики (кроме платформы GoodVision) на пользовательской стороне. Данный подход является затратным по времени и стоимости.

Наиболее сильным конкурентом можно считать решение GoodVision, которое служит для решения схожих задач, но оно не ориентировано на российский рынок.

### 5.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ – метод планирования, который заключается в выявлении внутренних и внешних факторов среды объекта планирования, которые разделяются на следующие категории:

- Strength (сильные стороны);
- Weaknesses (слабые стороны);
- Opportunities (возможности);
- Threats (угрозы).

Для исследуемой разработки SWOT-анализ выполняется в три этапа. приведён в таблице 12.

Таблица 12 – SWOT-анализ

	<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
	Си1. Высокая скорость и качество оценки трафика алгоритмом трекинга (в реальном времени, ошибка составляет 0-20%)	Сл1. Сильная зависимость качества оценки трафика от качества предоставляемых пользователем данных
	Си2. Универсальный облачный подход – отсутствие необходимости модификаций для отдельного пользователя, отсутствие необходимости размещения данных на стороне пользователя	Сл2. Неспособность справляться со всеми проблемами, связанными с нестабильностью работы на отдельных облачных решениях
	Си3. Гибкая архитектура разработанных программных средств	Сл3. Отсутствие большого количества собственных размеченных данных для обучения моделей интеллектуальной видеоаналитики
<b>Возможности</b>		
В1. Доработка функционала (распознавание лиц, определение пола и возраста на этапе детектирования и т.д.)	В1Си3. Гибкая архитектура позволит сократить расходы на внедрение дополнительных функций интеллектуальной видеоаналитики	В1Сл3. Потребуется больше траты на добычу и разметку данных для обучения моделей

<p>В2. Улучшение качества оценки трафика алгоритмом трекинга</p>	<p>В2Си1. Исследованная зависимость точности работы алгоритма от условий поможет оценить направление дальнейшей разработки В2Си3. Гибкая архитектура позволит сократить расходы на внедрение модификаций</p>	<p>В2Сл1. Появится возможность улучшить качество работы в произвольных условиях В2Сл3. Потребуется больше траты на добычу и разметку данных для дополнительного обучения моделей</p>
<p>В3. Улучшение производительности работы алгоритма трекинга в целях уменьшения стоимости</p>	<p>В3Си2. Использование облачного подхода оставляет много возможностей для изменения конфигураций используемых машин В3Си3. Гибкая архитектура позволит сократить расходы на внедрение модификаций</p>	<p>В3.Сл2. Сложность в рассмотрении всех проблем, возникающих при работе платформы в облаках, из-за их частой недетерминированности</p>
<p><b>Угрозы</b></p>		
<p>У1. Проблемы в работе с использованием облачных решений</p>	<p>У1Си3. Гибкая архитектура позволит сократить расходы на внедрение модификаций, направленных на устранение влияния проблем облачных решений</p>	<p>У1Сл2. Сложность в рассмотрении всех проблем, возникающих при работе платформы в облаках, из-за их частой недетерминированности</p>
<p>У2. Появление более качественных аналогов</p>	<p>У2Си1. Высокая скорость работы алгоритма, напрямую влияющая на ценообразование, может помочь в конкурентной борьбе У2Си2. Универсальный облачный подход может помочь в конкурентной борьбе У2Си3. Гибкая архитектура позволит сократить расходы на внедрение дополнительных функций и модификаций</p>	<p>У2Сл3. Потребуется больше траты на добычу и разметку данных для обучения моделей при необходимости повышения качества работы разработки</p>
<p>У3. Появление более</p>	<p>У3Си1. Высокое качество</p>	<p>У3Сл1. Недостаток</p>

дешёвых аналогов	оценки трафика алгоритмом трекинга, может помочь в конкурентной борьбе УЗСи2. Универсальный подход, удобный для всех пользователей, может помочь в конкурентной борьбе	алгоритма, проявляющиеся при работе в определённых условиях, могут быть решены конкурентными решениями
------------------	--	--

В ходе SWOT-анализа были определены приоритетные направления развития разработки, а также способы для нивелирования слабых сторон разработки и противодействия возможным угрозам. Это позволяет перейти ко второму этапу анализа.

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

Для второго этапа необходима интерактивная матрица проекта, которая представлена в таблице 13.

Таблица 13 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта				
Возможности		Си1	Си2	Си3
	В1	-	0	+
	В2	+	-	+
Слабые стороны проекта				
Возможности		Сл1	Сл2	Сл3
	В1	+	-	+
	В2	+	-	+
Сильные стороны проекта				
Угрозы		Си1	Си2	Си3
	У1	0	0	+
	У2	+	+	+
Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	-	+	-
	У2	-	0	+



Самым большим преимуществом данной разработки является её гибкая архитектура, а недостатком – сильная зависимость от предоставляемых пользователем данных для корректной работы.

### 5.1.4 Цели и результаты проекта

Перед определением целей необходимо перечислить заинтересованные стороны проекта. Информация по заинтересованным сторонам представлена в таблице 14:

Таблица 14. Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны</b>	<b>Ожидания</b>
Компания-пользователь	Облегчение процесса анализа трафика и/или обеспечения безопасности
Разработчик	Получение заработной платы
Компания разработчика	Получение прибыли с полноценного комплекса продукта
Научный руководитель, студент	Выполненная выпускная квалификационная работа

Цели и результат проекта представлены в таблице 15.

Таблица 15. Цели и результат проекта

Цели проекта	<ul style="list-style-type: none"><li>– Изучить предметную область.</li><li>– Разработать алгоритм трекинга.</li><li>– Разработать программные средства алгоритма трекинга.</li><li>– Провести настройку и тестирование разработанных программных средств.</li><li>– Внедрить разработанные программные средства в ядро платформы для подсчёта трафика.</li></ul>
Ожидаемые результаты	<ul style="list-style-type: none"><li>– Успешное внедрение разработки в ядро платформы.</li><li>– Сдана выпускная квалификационная работа.</li></ul>
Критерии приёмки	<ul style="list-style-type: none"><li>– Успешное тестирование функционала в соответствии с функциональным требованием.</li></ul>
Требования к результату проекта	<ul style="list-style-type: none"><li>– Выполненные все пункты функционального требования и требования к пользовательскому интерфейсу.</li><li>– Разработанный функционал полностью соответствует</li></ul>

## 5.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ имеет следующий вид:

- определение работ в разработки;
- определение участников и исполнителей каждой работы;
- определение продолжительности работ;

– построение планируемого графика разработки.

В таблице 16 приведен порядок работ, выполняемых в ходе разработки, и исполнитель каждой работы.

Таблица 16. Перечень работ и исполнителей при разработке модуля

№	Наименование работы	Исполнители работы
1	Выбор научного руководителя работы	Чурсина Елена Андреевна
2	Составление и утверждение темы работы	Друки Алексей Алексеевич, Чурсина Елена Андреевна
3	Составление календарного плана-графика выполнения работы	Друки Алексей Алексеевич, Чурсина Елена Андреевна
4	Подбор и изучение литературы по теме работы	Чурсина Елена Андреевна
5	Анализ предметной области	Чурсина Елена Андреевна
6	Разработка алгоритма трекинга	Чурсина Елена Андреевна
7	Разработка программных средств	Чурсина Елена Андреевна
8	Внедрение программных средств в ядро платформы для анализа трафика	Чурсина Елена Андреевна
9	Согласование выполненной работы с научным руководителем	Друки Алексей Алексеевич
10	Выполнение других частей работы (финансовый менеджмент, социальная ответственность)	Чурсина Елена Андреевна
11	Подведение итогов, оформление работы	Друки Алексей Алексеевич, Чурсина Елена Андреевна

### 5.2.2 План проекта

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы с разбивкой по декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различным цветом, в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 17. Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид	Исп	Т раб, дн.	Продолжительность																
				Янв.			Февр.			Март			Апр.			Май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Выбор научного руководителя работы	С	8	■																
2	Составление и утверждение темы работы	С	4		■															
		Р	2		■															
3	Составление календарного плана-графика выполнения работы	С	5			■														
		Р	1			■														
4	Подбор и изучение литературы по теме работы	С	18				■	■												
5	Анализ предметной области	С	14					■	■											
6	Разработка алгоритма трекинга	С	18							■	■									
7	Разработка программных средств	С	16									■								
8	Внедрение программных средств в ядро платформы для анализа трафика	С	15										■							
9	Согласование выполненной работы с научным руководителе м	Р	1														■			
10	Выполнение других частей работы	С	7															■		

	(финансовый менеджмент, социальная ответственность)																		
11	Подведение итогов, оформление работы	С	5																
		Р	1																

■ – Руководитель(Р)

■ – Студент (С)

Итого руководитель потратит на проект около 5 дней, а студент – 112 дня.

### **5.2.3 Бюджет научного исследования**

#### **5.2.3.1 Расчет материальных затрат на научное исследование**

В материальные затраты научного исследования вошли затраты на канцелярские принадлежности в сумме 2000 рублей. Таким образом, общая сумма материальных затрат составляет 2000 рублей.

### 5.2.3.2 Специальное оборудование для научных работ

Поскольку необходимые лицензии на программное обеспечение, которое было использовано при реализации разработки, уже были приобретены компанией, затраты на оборудование включают в себя только затраты на амортизацию оборудования студента.

Норма амортизации для использованного оборудования составляет

$$A_n = \frac{1}{n} * 100\% = \frac{1}{3} \times 100\% = 33.33\%, \quad (7)$$

где  $n$  – срок полезного использования оборудования.

Тогда, с учетом того, что продолжительность работы составляет четыре месяца, формула для расчета итоговой суммы амортизации основных средств выглядит следующим образом:

$$A = \frac{C \cdot A_n \cdot 4}{12 \cdot 100\%}, \quad (8)$$

где  $C$  – стоимость оборудования.

Во время проведения научного исследования использовался ПК стоимостью 65000 рублей и свободное ПО стоимостью 0 рублей. Расчёт затрат на амортизацию представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет затрат на амортизацию

Наименование	Стоимость, руб	Затраты, руб.
Амортизация ПК	76000	8444.44
Итого:	76000	8444.44

### 5.2.3.3 Основная заработная плата

В данном разделе рассчитывается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, участвующих в выполнении работ по данной теме.

Должность руководителя – доцент, к.т.н. – 36620,77 рублей в месяц.

Должность инженера – студент – 22695,68 рублей в месяц.

Расчет основной заработной платы сводится в таблице 9.

Месячная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (9)$$

где  $Z_{\text{дн}}$  – среднедневная зарплата, руб.;

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

Среднемесячная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (10)$$

где  $Z_m$  – месячный оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: (10.4);

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени персонала (представлен в таблице 19).

Таблица 19. Баланс рабочего времени участников разработки

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	82
- праздничные дни	11	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	56	24
- невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	254	217

Среднемесячная зарплата руководителя составляет:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{36620.77 \cdot 10.4}{254} \approx 1949.26 \text{ рублей.} \quad (11)$$

Среднемесячная зарплата студента составляет:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{22695.68 \cdot 10.4}{217} \approx 1414.03 \text{ рублей.} \quad (12)$$

Расчет основной заработной платы исполнителей представлен в таблице 20.

Таблица 20. Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{ок}}$ , руб.	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	36620.77	1.3	47607	1949.26	5	9746.32



Инженер	22695.68	1.3	29504.38	1414.03	112	158371.92
Итого по статье $Z_{\text{осн}}$						168188.24

#### 5.2.3.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (13)$$

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты ( $k_{\text{доп}} = 0,1$ );

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

1. В таблице 21 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 21. Заработная плата исполнителей ВКР, руб

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	9746.32	158371.92
Дополнительная зарплата	974.63	15837.19
Зарплата исполнителя	10720.95	174209.11
Итого	184930.06	

#### 5.2.3.5 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (14)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.): 0.3.

Расчёт отчислений на социальные нужды представлен в таблице 22.

Таблица 22 – Отчисления на социальные нужды, руб

<b>Зарботная плата</b>	<b>Руководитель</b>	<b>Инженер</b>
Зарплата исполнителя	10720.95	174209.11
Отчисления на социальные нужды	3216.28	52262.73
Итого	55479.01	

### 5.2.3.6 Накладные расходы

В эту статью относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 16% от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (15)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов: 0.16.

Расчёт накладных расходов представлен в таблице 23.

Таблица 23. Накладные расходы, руб

<b>Зарботная плата</b>	<b>Руководитель</b>	<b>Инженер</b>
Зарплата исполнителя	10720.95	174209.11
Накладные расходы	1559.41	25339.51
Итого	26898.92	

### 5.2.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Все категории трат сведены в таблице 24.

Таблица 24. Бюджет затрат НИИ

Наименование	Сумма, руб.
Материальные затраты	2000
Оборудование	8444.00
Основная заработная плата	168188.24
Дополнительная заработная плата	16811.82
Отчисления на социальные нужды	55479.01
Накладные расходы	26898.92
Общий бюджет	269307.99

В результате было получено, что бюджет на разработку НИИ составит 269307.99 руб.

### 5.3 Оценка сравнительной эффективности исследования

#### 5.3.1 Интегральный показатель финансовой эффективности

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех или более вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета как знаменатель, с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} \quad (14)$$

где  $I_{\Phi}^p$  – интегральный финансовый показатель разработки,

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения,

$\Phi_{\max}$  – максимальная стоимость исполнения разработки (в т.ч. аналоги).

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_i^p}{\Phi_{\max}} = \frac{269308}{300000} = 0.9,$$

$$I_{\Phi}^a = \frac{\Phi_i^a}{\Phi_{\max}} = \frac{295465}{300000} = 0.98,$$

$$I_{\Phi}^b = \frac{\Phi_i^b}{\Phi_{\max}} = \frac{233789}{300000} = 0.78.$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

### 5.3.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i^p, \quad (15)$$

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

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

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

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет приведен в таблице 15.

Таблица 15. Сравнение характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Вес	Текущий	Аналог 1	Аналог 2
Удобство использования	0.25	5	5	3
Масштабируемость	0.17	4	4	3
Требуемые ресурсы	0.12	4	5	4
Функциональность	0.14	4	5	4
Удобство обслуживания	0.2	5	4	3
Срок разработки	0.12	3	5	5
Надёжность	0.25	5	5	3
ИТОГО	1	25	28	22
$I_T^x$		4.33	4.63	3.5
$I_\Phi^x$		0.9	0.98	0.78
$I_{фин.р}^x$		4.81	4.72	4.49

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_\Phi^p}{I_\Phi^a} \quad (16)$$

Таблица 22. Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0.9	0.98	0.78

2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4.33	4.63	3.5
3	Интегральный показатель эффективности	0.9	0.98	0.78
4	Сравнительная эффективность аналогов и разработки		1.02	1.07

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости существующего варианта решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Таким образом, мы определили максимальную сравнительную эффективность проекта равную 1.07. Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости существующего варианта решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

#### **5.4 Вывод**

В ходе данной работе были рассмотрены потенциальные потребители результатов исследования, так же для анализа конкурентных технических решений. С позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения была составлена оценочная карта сравнения конкурентных технических решений, по результату которой разрабатываемая система имеет лучшие качества.

Далее был сформирован SWOT-анализ, в котором балы описаны сильные и слабые стороны проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, для выявления соответствия и несоответствия была составлена интерактивная матрица проекта.

Проведена оценка готовности проекта к коммерциализации, которая показала, что перспективность разработки средняя.

В рамках процессов инициации определены внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта с их ожиданиями от проекта, цели и результат проекта.

План проекта представлен на диаграмме Ганта, из которого видно какой исполнитель (студент или руководитель) какой вид работ осуществлял и в течении какого количества дней.

В бюджет инженерно-технического проекта занесены материальные затраты в размере 2000 рублей. Также добавлена стоимость оборудования, которая составила 8444 рублей. Была рассчитана основная и дополнительная заработная плата исполнителей проекта, сумма которых составила 184930 рублей. Вместе с отчислениями на социальные нужды и накладными расходами бюджет проекта получился равным 269308 рублей.

Был рассчитан интегральный финансовый показатель в ходе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения. Интегральный показатель реализации разработки равен 0.9. Значение меньше единицы, что говорит о численном удешевлении стоимости в размах. Рассчитан интегральный показатель ресурсоэффективности для трех вариантов исполнения: 4.33, 4.63, 3.5. Расчет интегрального показателя эффективности для разработки и аналога позволил рассчитать сравнительную эффективность разработки, которая говорит о приемлемости существующего варианта решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

## **6 Социальная ответственность**

Результатом дипломной работы является алгоритм онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени. Разработанные в результате выполнения дипломной работы программные средства после внедрения являются частью ядра распределённой платформы для детектирования, трекинга и описания объектов на кадрах видеопотока. Использование данной платформы позволяет автоматизировать задачи анализа видеоданных, обычно выполнимые только человеком, в частности задачу оценки трафика людей, машин и велосипедистов на камере видеонаблюдения.

В данном разделе рассматриваются опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на производственную деятельность разработчика, воздействие объекта исследования на окружающую среду, правовые и организационные вопросы и мероприятия в чрезвычайных ситуациях.

Разработка программных средств и эксплуатация платформы, в состав которой они входят, осуществляется на ПЭВМ.

### **6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Регулирование отношений между организацией и сотрудниками, в том числе требований к продолжительности рабочего времени и оплаты труда осуществляется законодательством РФ, а именно трудовым кодексом РФ [1].

Нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю. Продолжительность рабочего времени и размер оплаты труда для конкретного работника устанавливается трудовым договором.

Так как разработка и эксплуатация её результатов происходит на ПЭВМ, требуется соблюдение правовых норм к ПЭВМ и организации рабочего места [2, 3, 4]. При организации рабочего места должны быть соблюдены следующие требования:

- Требования к ПЭВМ;
- Требования к помещениям для работы с ПЭВМ;
- Требования к микроклимату, содержанию аэроионов и вредных химических веществ в воздухе на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ;



- Требования к уровням шума и вибрации на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ;
- Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ;
- Требования к уровням электромагнитных полей на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ;
- Общие требования к организации рабочих мест пользователей ПЭВМ;
- Требования к организации медицинского обслуживания пользователей ПЭВМ;
- Требования к проведению государственного санитарноэпидемиологического надзора и производственного контроля.

Разработка и эксплуатация программных средств, осуществляется на ПЭВМ с соблюдением всех вышеперечисленных требований.

## 6.2 Производственная безопасность

Во время разработки и эксплуатации программных средств могут возникать вредные и опасные факторы. Выявленные согласно ГОСТ 12.0.003-2015 факторы представлены в таблице 25 [5].

Таблица 25. Возможные вредные и опасные факторы при выполнении работ

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работы		Нормативные документы
	Разр.	Эксп.	
Отклонение показателей микроклимата	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 [6], ГОСТ 22269-76 [7], СанПиН 1.2.3685-21 [8]
Превышение уровня шума на рабочем месте	+	+	СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 [9], ГОСТ 12.1.029-80 [10]
Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	ГОСТ Р 55710-2013 [11], СП 52.13330.2016 [12]
Нарушение предельно допустимых значений напряжений прикосновения и токов	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ [13]

### 6.2.1 Отклонение показателей микроклимата

Комфортные условия для работы создаются оптимальным сочетанием температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха. На рабочих местах пользователей ПЭВМ должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата в соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96 [6].

Согласно этому документу должны быть соблюдены требования, описанные в таблице 26.

Таблица 26. Оптимальные параметры микроклимата в производственных помещениях пользователя ПК

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	23-25	22-26	60-60	0,1

Для поддержания оптимальных значений микроклимата используется системы отопления и кондиционирования воздуха, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования. При исследовании микроклимата в естественных условиях было выявлено, что в кабинетах, где выполнялась разработка, параметры микроклимата соответствуют требованиям СанПиН.

### 6.2.2 Превышение уровня шума

Шум является одним из распространенных в производстве вредных факторов. Его создают работающее оборудование, преобразователи напряжения, работающие осветительные приборы дневного света и другие источники шума. Шум может стать причиной снижения работоспособности и повышенной утомляемости. Значительные превышения уровня шума на рабочем месте вызывают необратимые изменения в органах слуха человека, также оказывают неблагоприятное влияние на весь организм человека через нервную систему. В результате ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, что вызывает увеличение числа ошибок при работе.

Требования к допустимому уровню шума описаны в СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 [9]. Согласно данному документу допустимый уровень шума составляет не более 50 дБА.

Допустимый уровень шума на рабочем месте не превышает установленного значения. Источники шума (АЦПУ, принтеры и т.п.), уровни шума которого превышают нормированные, находятся вне помещения с ПЭВМ.

### **6.2.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны**

Естественное и искусственное освещение рабочего места оказывает влияние на физическое и психологическое состояние пользователя, что неблагоприятно сказывается на его работе. Не надлежащего качество освещения может привести к ухудшению зрения.

Согласно СП 52.13330.2016 [12] при работах III зрительного разряда и подразряда г (работы высокой точности) освещённость при системе общего освещения должна быть не ниже  $E = 200$  Лк.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента использования светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения  $A = 6$  м, ширина  $B = 3$  м, высота  $H = 3$  м. Высота рабочей поверхности над полом  $h_p = 0,8$  м.

Площадь помещения:

$$S = A \cdot B = 6 \cdot 3 = 18 \text{ м}^2 \quad (16)$$

Коэффициент отражения стен оклеенных светлыми обоями с окнами, без штор  $\rho_c = 30\%$ , потолка светлой поверхности  $\rho_{\Pi} = 50\%$ . Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен  $K_3 = 1,5$ . Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп  $Z = 1,1$ .

Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен  $\Phi_{\Pi} = 2300$  Лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна  $A_{\text{св}} = 1227$  мм, ширина  $B_{\text{св}} = 265$  мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем  $\lambda = 1,2$ .

Расстояние светильников от перекрытия (свес):  $h_c = 0,4$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3 - 0,8 - 0,4 = 1,8 \text{ м} \quad (17)$$

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{6 \cdot 3}{1,8 \cdot (6 + 3)} = 1,11 \quad (18)$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при  $\rho_c = 30\%$ ,  $\rho_{\Pi} = 50\%$ . и индексе помещения  $i = 1,49$  равен  $\eta = 0,43$ .

Потребные группы люминесцентных ламп светильника рассчитываются по формуле:

$$N = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{\Phi_{\Pi} \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2300 \cdot 0,46} \approx 5,6 = 6 \quad (19)$$

Количество рядов светильников  $N_A$ , и количество светильников в ряду  $N_B$  рассчитывается согласно формулам (20) и (21). Общее число светильников:  $N_{\text{св}} = 3$ .

$$N_A = \frac{(B - x)}{L_2} = \frac{3000 - 709}{2128} \approx 1 \quad (20)$$

$$N_B = \frac{(A - y)}{L_2} = \frac{6000 - 630}{1892} \approx 3 \quad (21)$$

План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами представлен на рисунке 1.

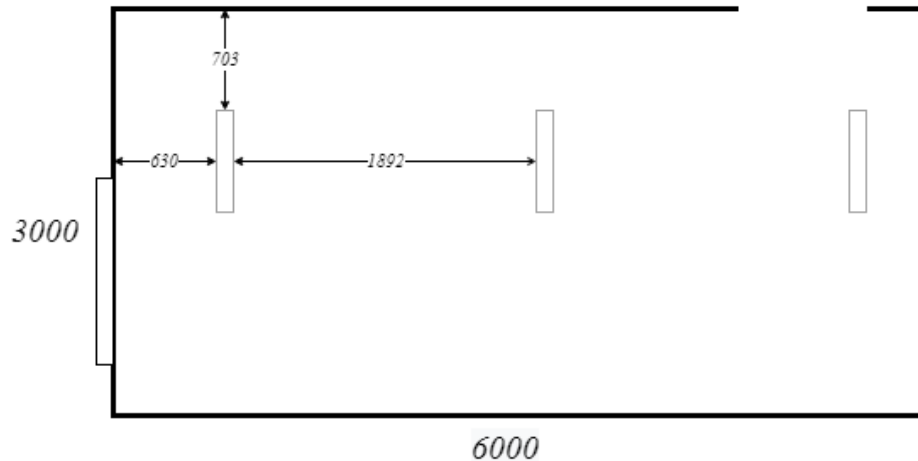


Рисунок 20 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Расчёт светового потока группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{рас}} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{6 \cdot 0,46} = 2152 \text{ лм} \quad (22)$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{П}} - \Phi_{\text{рас}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% \leq 20\% \quad (23)$$

$$\frac{\Phi_{\text{П}} - \Phi_{\text{рас}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{2300 - 2152}{2300} \cdot 100\% = 6,4\% \quad (24)$$

Таким образом:  $-10\% \leq 6,4\% \leq 20\%$ , необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Далее перечислены общие требования и рекомендации к организации освещения на рабочем месте.

- рабочие места следует размещать таким образом, чтобы естественный свет падал преимущественно слева, а дисплеи мониторов были ориентированы боковой стороной к световым проемам;

- система общего равномерного освещения должна регулировать искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ.

Вышеперечисленные меры полностью соблюдаются, что позволяет сохранить зрение и избежать пагубного воздействия на глаза во время разработки и эксплуатации результатов выпускной квалификационной работы.

#### **6.2.4 Нарушение предельно допустимых значений напряжений прикосновения и токов**

Напряжение прикосновения – напряжение, появляющееся на теле человека при одновременном прикосновении к двум точкам проводников или проводящих частей, в том числе при повреждении изоляции. Напряжение может возникнуть на корпусах и каркасах оборудования, в частности ПЭВМ, в случае полного или частичного повреждения электрической изоляции оборудования или питающих оборудование кабелей.

Воздействие напряжения отрицательно влияет на здоровье человека. Стандарт ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ [13] устанавливает предельно допустимые значения напряжений прикосновений и токов, протекающих через тело человека.

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека, при нормальном (неаварийном) режиме работы, не должны превышать значений, указанных в таблице 27.

Таблица 27. Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека, при нормальном режиме работы

Род тока	U, В	I, мА
	Не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Для контроля предельно допустимых значений напряжений прикосновения и токов измеряют напряжения и токи в местах, где может произойти замыкание электрической цепи через тело человека.

В кабинетах, где происходила разработка и происходит эксплуатация программных средств, осуществляется регулярный контроль предельно допустимых значений напряжений прикосновения и токов на корпусах ПЭВМ и питающих их кабельных линиях. Все значения напряжений и токов удовлетворяют требованиям.

### **6.3 Обоснование мероприятий по снижению воздействия вредных производственных факторов**

При организации рабочего места и режима труда следует учитывать перечисленные требования безопасности и промышленной санитарии, а также рекомендации для предотвращения и уменьшения воздействия опасных и вредных факторов.

Рабочие места рекомендуется оснащать системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Шумящее оборудование (АЦПУ, принтеры и т.п.) рекомендуется располагать вне помещения с ПЭВМ. Рабочее место должно иметь естественное и искусственное освещение. Для защиты пользователей ПК от негативного воздействия электромагнитных полей необходимо, чтобы используемая техника удовлетворяла нормам и правилам сертификации.

Невыполнение вышеперечисленных рекомендаций может привести к повышению уровня воздействия опасных и вредных факторов на работающего.

### **6.4 Экологическая безопасность**

Непосредственно разработка и эксплуатация платформы, в состав которого входит модуль, не оказывают воздействие на окружающую среду. Негативное влияние на атмосферу, гидросферу и литосферу могут оказывать используемые для разработки и эксплуатации вещества. Требования к обращению с отходами описаны в ГОСТ Р 53692-2009 [14].

ПЭВМ, батарейки, оргтехнику в случае выхода из строя, либо по причине морального износа необходимо утилизировать через специализированные организации, имеющие лицензию на данную деятельность.

Отходы от канцелярских товаров, продуктов питания и личной гигиены и другие твердые отходы в случае их неправильной утилизации могут оказывать негативное воздействие на почвенный покров. Защита почвенного покрова от данного воздействия реализуется за счет сбора, сортировки и утилизации отходов и их организованного захоронения.

Все отходы, образующиеся в ходе разработки и эксплуатации результатов выпускной квалификационной работы, утилизируются без оказания негативного влияния на окружающую среду.

### **6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

К чрезвычайным ситуациям, которые могут возникнуть во время разработки или эксплуатации, можно отнести возможность возникновения и распространения пожара, так как работа происходит на ПЭВМ. В современных ПЭВМ очень высокая плотность размещения элементов электронных схем, также в непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода и кабели. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество теплоты, при этом возможно оплавление изоляции и возникновение возгорания. Возникновение других видов чрезвычайных ситуаций маловероятно.

Необходимо соблюдение техники пожарной безопасности для предотвращения возникновения и распространения пожара. Общие требования к пожарной безопасности описаны в ГОСТ 12.1.004-91 [15].

Далее перечислены правила поведения в случае возникновения данной чрезвычайной ситуации.

– В случае возникновения пожара люди должны покинуть помещение в течение минимального времени согласно плану эвакуации (рисунок 2).



- В помещениях с компьютерной техникой, недопустимо применение воды и пены ввиду опасности повреждения или полного выхода из строя дорогостоящего электронного оборудования.

- Для тушения пожаров необходимо применять углекислотные и порошковые огнетушители, которые обладают высокой скоростью тушения, большим временем действия, возможностью тушения электроустановок, высокой эффективностью борьбы с огнем. Воду разрешено применять только во вспомогательных помещениях.

- Помещение должно быть оборудовано пожарными извещателями, которые позволяют оповестить дежурный персонал о пожаре.

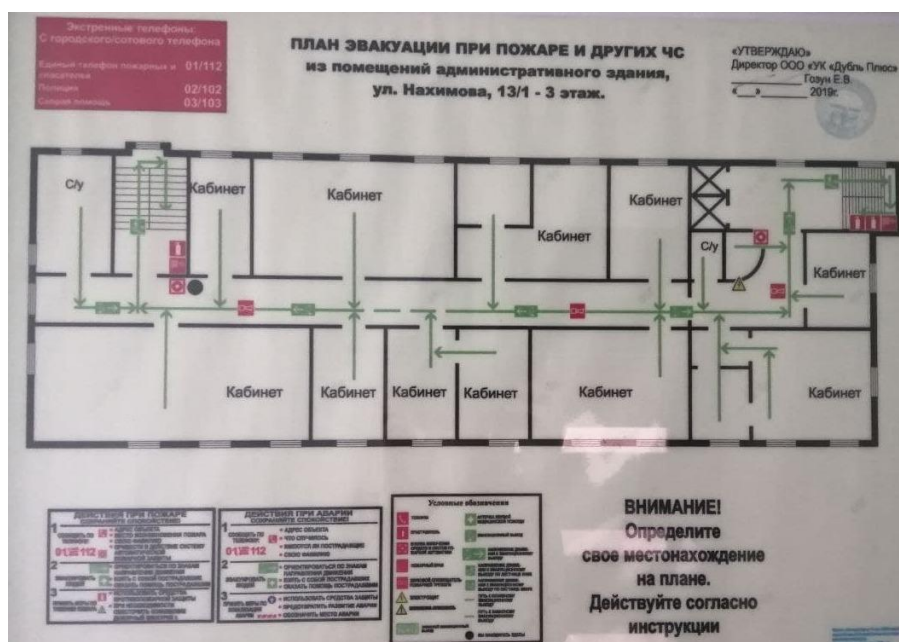


Рисунок 21 – План эвакуации

В помещении, где происходила разработка и происходит эксплуатация программных средств, были соблюдены все правила техники безопасности. Сотрудникам были объяснены правила поведения в случае возникновения и распространения пожара.

### 6.6 Выводы по разделу

В рамках раздела «Социальная ответственность» процесс выполнения и результаты дипломной работы были рассмотрены с точки зрения социальной ответственности за моральные, общественные, экономические, экологические последствия и ущерб здоровью человека. Дополнительно был выполнен анализ

на предмет выявления основных опасных и вредных факторов и оценена степень их воздействия на человека, общество и природную среду. Были предложены методы для защиты и минимизации воздействий выявленных факторов, а также методы предотвращения и устранения возможных чрезвычайных ситуаций.

#### **6.7 Законодательные акты**

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 30.12.2015).
2. ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.
3. ТОИ Р-45-084-01 Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере.
4. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
5. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. Перечень опасных и вредных факторов.
6. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений: Санитарные правила и нормы: – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2001. – 20 с.
7. ГОСТ 22269-76. Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
8. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
9. СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997.

10. ГОСТ 12.1.029-80. Средства и методы защиты от шума. М.: Система стандартов безопасности труда: Сб. ГОСТов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
11. ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий. – М.: Официальное издание. М.: Стандартиформ, 2016.
12. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
13. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
14. ГОСТ Р 53692-2009. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001 год.
15. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы были получены следующие результаты:

- изучены существующие методы, применяющиеся при решении задачи трекинга;
- разработана собственная архитектура алгоритма онлайн трекинга множества объектов на кадрах видеопоследовательностей на основе подхода трекинга с помощью детекций; особенностью разработанного алгоритма является возможность гибкой настройки применяемых на разных этапах работы методов искусственного интеллекта;
- разработаны программные средства для онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени на основе межпроцессорной архитектуры;
- в результате проведения экспериментов была выбрана конфигурация методов искусственного интеллекта для применения на разных этапах онлайн алгоритма трекинга в режиме реального времени (МОТА 0,3808, обработка до 40 кадров в секунду, степень загрузки CPU – 200%, расход GPU – 1507 МБ), включающая такие методы, как нейросетевой метод детектирования YOLOv4 для локализации и классификации объектов, использование фильтра Калмана и вектора скорости для предсказания движения, использование IOU в качестве метрики схожести и алгоритма поиска потока минимальной стоимости для ассоциации детекций и отслеживаемых объектов;
- исследования применения методов искусственного интеллекта на разных этапах работы алгоритма трекинга множества объектов показали, что в дальнейшей разработке следует уделять внимание способности методов работать в разных условиях с зашумлёнными данными, а также оптимизации использования методов в составе алгоритма трекинга;
- разработанный алгоритм онлайн трекинга множества объектов в режиме реального времени был внедрён в состав ядра платформы для оценки трафика на видеозаписях и видеопотоках, снятых с помощью камер

статического видеонаблюдения, Visius, где демонстрирует погрешность подсчёта количества объектов, пересекающих линии, от 0 до 23,21 % по сравнению с человеком, решающим аналогичную задачу, и способность обрабатывать одновременно четыре видеопотока со скоростью от 5 до 12 кадров в секунду (свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и акт внедрения программы представлены в приложениях Г и Д соответственно);

– результаты по теме работы были представлены на Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых учёных «МСИТ-2021». Доклад был отмечен дипломом.

Таким образом, цель работы была достигнута.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Орлов С. Развитие систем видеоаналитики [Электронный ресурс] / С. Орлов // Журнал сетевых решений/LAN. – 2012. – № 03. – URL: <https://www.osp.ru/lan/2012/03/13014175/> (дата обращения 26.05.2020).
2. Tan M. EfficientDet: Scalable and Efficient Object Detection / M. Tan, R. Pang, Q. V. Le // ArXiv. – 2019. – 1911.09070.
3. Ciaparrone G. Deep learning in video multi-object tracking: A survey / G. Ciaparrone, F. L. Sánchez, S. Tabik [at al.] // Neurocomputing. – 2020. – Vol. 381. – Pp. 61-88
4. Зайцева Е. В., Степанова А. Л. Классификация современных методов трекинга объектов в интеллектуальных системах видеонаблюдения / Е. В. Зайцева, А. Л. Степанова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 5. – С. 56-62.
5. Object Tracking in Deep Learning [Electronic resource] // MissingLink.ai. – 2020. – URL: <https://missinglink.ai/guides/computer-vision/object-tracking-deep-learning/> (дата обращения 26.05.2020)
6. Schuler, S., Vernaza, P., Choi, W., et al.: ‘Deep network flow for multi-objecttracking’. Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, Honolulu, HI, USA, 2017, pp. 2730–2739 - construct an end-to-end deep learning min-cost network flow
7. Qi Chu1. Online Multi-Object Tracking Using CNN-based Single Object Tracker with Spatial-Temporal Attention Mechanism / Qi Chu1, Wanli Ouyang, Hongsheng Li, Xiaogang Wang, Bin Liu1, Nenghai Yu // // ArXiv. – 2017. – 1708.02843
8. Jiang M. Multiobject Tracking in Videos Based on LSTM and Deep Reinforcement Learning / M. Jiang, C. Deng , Z. Pan [at al.] // Complexity. – 2018. – ID 4695890.
9. Jiao L. A Survey of Deep Learning-based Object Detection / L. Jiao, F. Zhang, F. Liu [at al.] // IEEE Access. – 2019. – Vol. 7. – Pp. 128837-128868.
10. Zou Z. Object Detection in 20 Years: A Survey / Z. Zou, Z. Shi, Y. Guo,

J. Ye. // ArXiv. – 2019. – 1905.05055.

11. Wojke N. Simple online and realtime tracking with a deep association metric / N. Wojke, A. Bewley, D. Paulus // 2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). – 2017. – Pp. 3645-3649.

12. Kieritz H. Joint detection and online multi-object tracking / H. Kieritz, W. Hübner, M. Arens. // 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW). – 2018. – Pp. 1540-1548.

13. Минаев Е. Ю. Трекинг объектов в видеопотоке на основе сверточных нейронных сетей и фрактального анализа / Е. Ю. Минаев, В. В. Кутикова, А. В. Никоноров // Сборник трудов IV международной конференции и молодежной школы «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ-2018). – 2018. – С. 2792-2798.

14. Alvar S. R. MV-YOLO: Motion Vector-Aided Tracking by Semantic Object Detection / S. R. Alvar, I. V. Bajić // 2018 IEEE 20th International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP). – 2018. – Pp. 1-5.

15. Hossain S. Deep Learning-Based Real-Time Multiple-Object Detection and Tracking from Aerial Imagery via a Flying Robot with GPU-Based Embedded Devices / S. Hossain, D.-J. Lee // Sensors. – 2019. – Vol. 19(15). – Pp. 3371.

16. Bullinger S. Instance flow based online multiple object tracking / S. Bullinger, C. Bodensteiner, M. Arens. // 2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). – 2017. – Pp. 785–789.

17. Sheng H. Heterogeneous association graph fusion for target association in multiple object tracking / H. Sheng Y. Zhang, J. Chen [et al.] // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. – 2019. – Vol. 29(11). – Pp. 3269-3280.

18. Chen J. Enhancing detection model for multiple hypothesis tracking / J. Chen, H. Sheng, Y. Zhang, Z. Xiong. // 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW). – 2017. – Pp. 2143-2152.

19. Bullinger S. Instance flow based online multiple object tracking / S. Bullinger, C. Bodensteiner, M. Arens. // 2017 IEEE International Conference on

Image Processing (ICIP). – 2017. – Pp. 785–789.

20. Bewley A. Simple online and realtime tracking / A. Bewley, Z. Ge, L. Ott [at al.] // 2016 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). – 2016. – Pp. 3464–3468.

21. Kim S. J. Online tracker optimization for multi-pedestrian tracking using a moving vehicle camera / S. J. Kim, J. Nam, B. C. Ko. // IEEE Access. – 2018. – Vol. 6. – Pp. 48675-48687.

22. Fang K. Recurrent Autoregressive Networks for Online Multi-object Tracking / K. Fang, Y. Xiang, X. Li, S. Savarese. // 2018 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV). – 2018. – Pp. 466–475.

23. Ren S. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks / S. Ren, K. He, R. Girshick

24. J. Sun. // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2017. – Vol. 39(6). – Pp. 1137-1149.

25. Lu Y. Online Video Object Detection Using Association LSTM / Y. Lu, C. Lu, C. Tang. // 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). – 2017. – Pp. 2363-2371.

26. Sharma S. Beyond Pixels: Leveraging Geometry and Shape Cues for Online Multi-Object Tracking / S. Sharma, J. A. Ansari, J. K. Murthy, K. M. Krishna. // 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). – 2018. – Pp. 3508–3515.

27. Ma C. Trajectory Factory: Tracklet Cleaving and Re-Connection by Deep Siamese Bi-GRU for Multiple Object Tracking / C. Ma, C. Yang, F. Yang [at al.] // 2018 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME). – 2018. – Pp. 1–6.

28. Венгерский алгоритм решения задачи о назначениях // MAXimal. 2012. URL: [https://e-maxx.ru/algo/assignment\\_hungary](https://e-maxx.ru/algo/assignment_hungary) (дата обращения 26.05.2021).

29. Задача о назначениях. Решение с помощью min-cost-flow // MAXimal. 2011. URL: [https://e-maxx.ru/algo/assignment\\_mincostflow](https://e-maxx.ru/algo/assignment_mincostflow) (дата



обращения 26.05.2021).

30. Hosang J. What Makes for Effective Detection Proposals? / J. Hosang, R. Benenson, P. Dollár, B. Schiele. // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2016. – Vol. 38(4). – Pp. 814-830.

31. Bernardin K. Multiple object tracking performance metrics and evaluation in a smart Room environment / K. Bernardin, A. Elbs, R. Stiefelhagen. // IEEE International Workshop on Visual Surveillance. – 2006.

32. Lin T. Microsoft COCO: Common Objects in Context / T. Lin, M. Maire, S. Belongie [at al.] // European Conference on Computer Vision. ECCV 2014. Lecture Notes in Computer Science. – 2014. – Vol. 8693. – Pp. 740-755.

33. Redmon J. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection / J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, A. Farhadi. // 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2016. – Pp. 779-788.

34. Redmon J. YOLOv3: An Incremental Improvement / J. Redmon, A. Farhadi. // ArXiv. – 2018. – 1804.02767.

35. Bochkovskiy A. YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection / A. Bochkovskiy, C. Wang, H. M. Liao // ArXiv. – 2020. – 2004.10934.

36. Zhou X. Objects as Points / X. Zhou, D. Wang, P. Krähenbühl // ArXiv. – 2019. – 1904.07850.

37. Farneback G. Two-Frame Motion Estimation Based on Polynomial Expansion / G. Farneback. // Image Analysis: 13th Scandinavian Conference (SCIA). – 2003. – Pp. 363-370.

38. Milan A. MOT16: A Benchmark for Multi-Object Tracking / A. Milan, L. Leal-Taixe, I. Reid [at al.] // ArXiv. – 2016. – 1603.00831.

39. Ferryman J. PETS2009: Dataset and challenge / J. Ferryman, A. Shahrokni // Twelfth IEEE International Workshop on Performance Evaluation of Tracking and Surveillance. – 2009. – Pp. 1-6.

40. Lyu S. UA-DETRAC 2018: Report of AVSS2018 & IWT4S Challenge on Advanced Traffic Monitoring / S. Lyu [at al.] // 15th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS). – 2018. –

Рр. 1-6.

41. Zheng Z. Distance-IoU Loss: Faster and Better Learning for Bounding Box Regression / Z. Zheng, P. Wang, W. Liu [at al.] // ArXiv. – 2019. – 1911.08287.

42. ImageNet // ImageNet. 2016. URL: <http://www.image-net.org/> (дата обращения: 07.06.2021).

43. Rosebrock A. Intersection over Union (IoU) for object detection [Electronic resource] / A. Rosebrock. // PyImageSearch. 2016. URL: <https://www.pyimagesearch.com/2016/11/07/intersection-over-union-iou-for-object-detection/> (дата обращения 07.06.2021).

44. Hosang J. What Makes for Effective Detection Proposals? / J. Hosang, R. Benenson, P. Dollár, B. Schiele. // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2016. – Vol. 38(4). – Pp. 814-830.

45. Проверка двух отрезков на пересечение // MAXimal. 2011. URL: [https://e-maxx.ru/alg/oriented\\_area](https://e-maxx.ru/alg/oriented_area) (дата обращения 26.05.2021).

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Application of artificial intelligence methods for real-time online multiple object tracking algorithm development

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ВМ93	Чурсина Елена Андреевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Друки Алексей Алексеевич	К.Т.Н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков, школы ИШИТР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Розанова Яна Викторовна			

## 1 Literature Review

### 1.1 Multiple Object Tracking

Object Tracking problem consists of object localization and tracking in a video sequence [1]. Object Tracking algorithm task is to follow the trajectory of an object by tracing its position on each video frame. Object's position can be represented in a form of a point or a set of points, a basic geometry figure, body joints, a contour, etc [2]. This work is focused on the bounding box form of an object's representation as it is a suitable form for objects of any size and shape and it is one of the most commonly used object representation forms in current research papers and datasets for tracking algorithms' training and validation.

There are single Object Tracking (Visual Object Tracking, VOT) and Multiple Object Tracking (MOT) tasks. Multiple Object Tracking task aims to identify and track several objects belonging to one or more categories simultaneously. An example of multiple object tracking algorithm SORT in the form of tracked objects with corresponding identifiers on two sequential frames is presented in figure 1. [3]

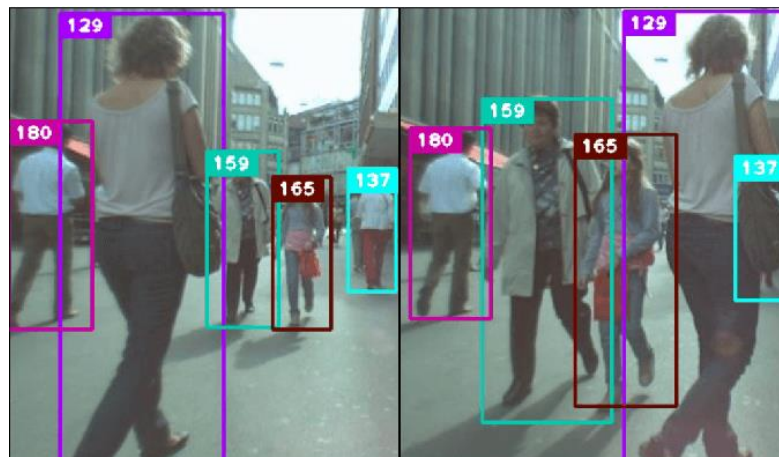


Fig. 1 An example of multiple object tracking with SORT algorithm

Multiple Object Tracking tasks can be categorized into offline and online tracking. Offline trackers consider all frames of a sequence, including future frames, in a decision-making process. Online tracking algorithms only use the current and previous frames. If the online tracking algorithm allows frames processing at a high frame rate per second, it is said that this algorithm is real-time. [3]

## 1.2 Existing Multiple Object Tracking methods

Recently, more and more Multiple Object Tracking algorithms and methods have been proposed. Not all of them are suitable for real-time online tracking. There are algorithms that implement a multi-agent approach, applying Visual Object Tracking methods for each tracked object [2], as well as methods that implement end-to-end neural network models to solve Multiple Object Tracking task [4]. Using these approaches for real-time online tracking is possible, but difficult [5].

The standard approach employed in real-time online Multiple Object Tracking algorithms is tracking-by-detection [1]. In this approach a set of detections (i.e. bounding boxes) is extracted from a frame, and Multiple Object Tracking algorithm task is defined as a task to assign these detections to trajectories of tracked objects. [6].

Despite the huge variety of approaches presented in the literature, the vast majority of Multiple Object Tracking algorithms that use tracking-by-detection approach share part or all of the following steps [7]:

- detection step: an object detection algorithms performs input frame analysis to localize and classify objects of predefined target classes; the result of this step is a set of bounding boxes with classes' probabilities that are called detections;
- motion prediction step: motion prediction method predicts the next position of each tracked object using information collected on previous frames (trajectory, images etc.) i.e. object bounding box on the current input frame is estimated;
- feature extraction step: this step is optional; appearance, motion, shape other features are extracted from the detected and estimated bounding boxes to be later used for affinity estimation;
- affinity estimation step: in this step affinity metrics are estimated for each pair of detected and estimated bounding boxes;
- association step: in this step detections are associated with tracked objects using affinity metrics, new objects are created for not associated detections

and trajectories of not updated tracked objects are continued with bounding boxes estimated on motion prediction step.

A survey of methods used in each Multiple Object Tracking algorithm step is as follows.

### Object Detection Methods

Object detection task is defined as automatic localization and class identification in digital images. Object detection method takes an image as an input, analyses it and returns a set of bounding boxes (detections) with classes' probabilities values for all detected objects [8]. An example of Object detection method output is presented in Figure 2.

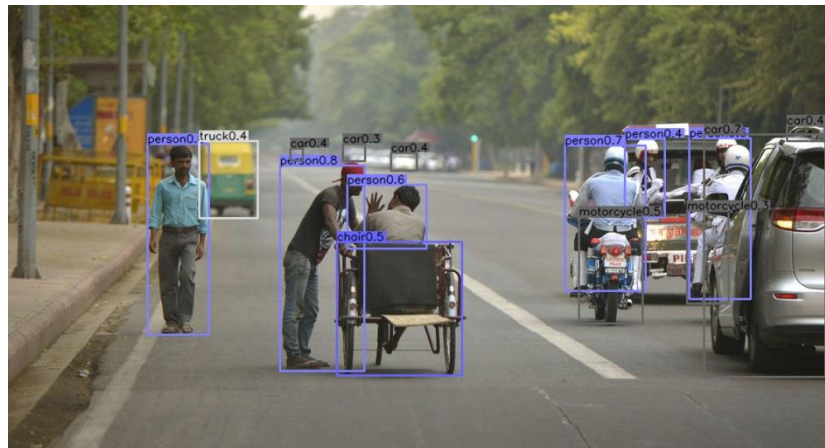


Fig. 2 An example of Object Detection Method output

Modern object detection task solutions with satisfying quality metrics use neural networks [8]. Object detection methods can be divided into two categories: two-stage and one-stage. Two-stage detectors separate object's localization and classification stages and show the best object detection quality metrics. One-stage detectors predict bounding boxes and classes' probabilities values simultaneously thus obtain the best speed. [7] Object detection methods showing the best quality metrics include: Faster R-CNN (two-stage), Mask R-CNN (two-stage), YOLOv3 (one-stage), YOLOv4 (one-stage), RefineDet (one-stage), NAS-FPN (one-stage), CenterNet (one-stage) and many others. [7]

In Multiple Object Tracking algorithms the following one-stage and two-stage neural network based object detection methods are often used: Faster R-CNN [9], SSD [10], YOLO [11, 12, 13] and others.

### **Motion Prediction methods**

Motion Prediction methods are used to predict a bounding box of a tracked object in the current frame using the information obtained in the previous frame. Some of the most frequently mentioned in the literature methods that are used in Multiple Object Tracking algorithms are optical flow [14, 15], Long Short Term Memory neural networks (LSTM) [16, 17], and Kalman filter [16, 18, 19].

### **Feature extraction methods**

Feature extraction methods are applied to extract features from detected bounding boxes and bounding boxes estimated for tracked objects in the current frame.

There are two main approaches for bounding boxes visual feature extraction in tracking algorithms:

- extracting feature vectors from the image corresponding to the bounding box using convolutional neural network models (CNN) [16, 20];
- extracting feature map from a whole frame before matching subsets of these features to each bounding box [21, 22].

Frame or bounding boxes' images visual feature extraction is possible during object detection [22, 28]. In this case, the detection step of tracking algorithm serves not only to localize bounding boxes, but also to extract features. Another frequently used approach to visual feature extraction is the use of a separate convolutional neural network model [29].

### **Affinity Metrics Estimation Methods**

Affinity metrics estimated for each pair of the detected bounding box and bounding box estimated for tracked objects in the current frame define the probability that both bounding boxes belong to the same tracked object. Multiple Objects Tracking algorithms often use such metrics as IOU (Intersection Over Union) [18], cosine similarity between visual feature vectors [8], motion [18, 24] or shape features [24]. It is also possible to use Siamese neural network models to estimate the affinity metric between two bounding box images [25].

### **Association methods**

Association methods are used to assign detected bounding boxes to tracked objects using previously calculated affinity metrics. Detections that have not been assigned to a tracked object become the first detections of new objects. Objects' trajectories for which no detections were found can be continued using previously estimated bounding boxes. This allows restoring object tracking after the detection method's errors [6]. To reduce the influence of this factor on the incorrect trajectories merging, association may be carried in several stages based on object age or other characteristics.

The standard method for associating detections with tracked objects is solving the assignment problem [6, 28]. To tackle solve this problem, the Hungarian algorithm may be used. Another method is performing weighted matching on the bipartite graph constructed from objects and detections using minimum cost flow searching algorithms or greedy methods [28, 29].

### **1.3 Multiple Object Tracking algorithm quality metrics**

#### **Object Detection methods quality metrics**

The following are the metrics used to assess the quality of the detection algorithm.

#### **Class Recall**

The Class Recall metric describes the ability of the detection algorithm to detect objects of a certain class. This metric can be calculated using the formula (1).

$$\text{Class Recall} = \frac{\text{TP}}{\text{Ground truths}} \quad (1)$$

where TP is the number of correct predictions of a certain class, Ground truths is the number of true detections for a certain class. The higher the Class Recall value, the better the algorithm's ability to identify all objects of a certain class. [6]

#### **Class Precision**

The Class Precision metric describes the proportion of objects correctly identified as belonging to a certain class relative to all objects that the detection algorithm attributed to this class. This metric can be calculated using the formula (2).



$$\text{Class Precision} = \frac{\text{TP}}{\text{Detections}} \quad (2)$$

where TP is the number of correct predictions of a certain class, Detections is the number of all detections for this class. The higher the Class Precision value, the better the detector's ability to distinguish objects of a certain class from others. [6]

### **Class AP и MAP**

The AP (Average Precision) metric is defined as the area of the area under the precision-recall curve for objects of a certain class. The higher the AP value, the better the balance between Class Precision and Class Recall, and therefore the more confidence in the detector's performance.

The MAP (Mean Average Precision) metric is the average AP value for all classes [6].

### **Class AR и MAR**

The AR (Average Recall) metric is defined as the doubled area of the area under the recall-IOU curve for objects of a certain class. The MAR (Mean Average Recall) metric is the average AR for all classes [28].

### **Multiple Object Tracking algorithm quality metrics**

To assess the quality of a Multiple Object Tracking algorithm for a set of objects, the following metrics are used, calculated on labeled datasets for training and testing tracking algorithms. .

Metrics characterizing the number of correctly or incorrectly predicted trajectories:

1. IDsw (ID switches), the total number of cases where the trajectory of an object obtained using the tracking algorithm is correct, but the corresponding object identifier is erroneously changed;
2. FP (False Positives, False Alarms, False Trajectories), the total number of false objects;
3. FN (False Negatives, Misses), the total number of objects that were not tracked by the tracking algorithm;

4. MT (Mostly tracked), the total number of objects for which at least 80% of the trajectory was found;
5. PT (Partially Tracker) - the total number of objects for which 20-80% of the trajectory was found;
6. ML (Mostly Lost) - the total number of objects for which less than 20% of the trajectory was found.
7. Frag (Fragments) - total number of object trajectory losses.

### **MOTA (Multiple Object Tracking Accuracy)**

This metric allows you to take into account all the trajectory errors that the tracking algorithm makes. It characterizes the ability of the tracker to maintain the trajectories of objects, regardless of their accuracy. To calculate the MOTA, formula (3) is used. [29]

$$\text{MOTA} = 1 - \frac{(\text{FN} + \text{FP} + \text{IDsw})}{\text{Ground truths}} \quad (3)$$

where Ground truths are the number of true objects. The higher the MOTA, the higher the quality of the tracking algorithm. Note that MOTA can take negative values, since the number of algorithm errors can exceed the number of true objects. [29]

### **MOTP (Multiple Object Tracking Precision)**

This metric is used to assess the ability of the tracking algorithm to accurately find the positions of objects, regardless of its ability to recognize classes of objects, maintain constant trajectories of objects, etc. To calculate the MOTP, the formula (5) is used [29].

$$\text{MOTP} = \frac{\sum_t \sum_i d_{t,i}}{\sum_t c_t}, \quad (4)$$

where  $c_t$  is the number of matches of predicted and true objects on the frame  $t$ ,  $d_{t,i}$  is the area of intersection of the corresponding predicted and true bounding windows. The higher the MOTP, the higher the positioning accuracy of the tracking algorithm.

## **2 Real-time Online Multiple Object Tracking Algorithm Development**

## **2.1 Multiple Object Tracking Algorithm Architecture Development**

The developed Real-time Online Multiple Object Tracking is based on the tracking-by-detection approach. The algorithm was divided into blocks, each solves a specific problem. Methods used in blocks are developed and implemented separately from each other. This approach makes it possible to study the impact of using different artificial intelligence methods on the result of the tracking algorithm, and also allows flexible adjustment of the algorithm to meet various hardware requirements and user requests.

The algorithm works iteratively. A tracking algorithm iteration block diagram is presented in Figure 3.

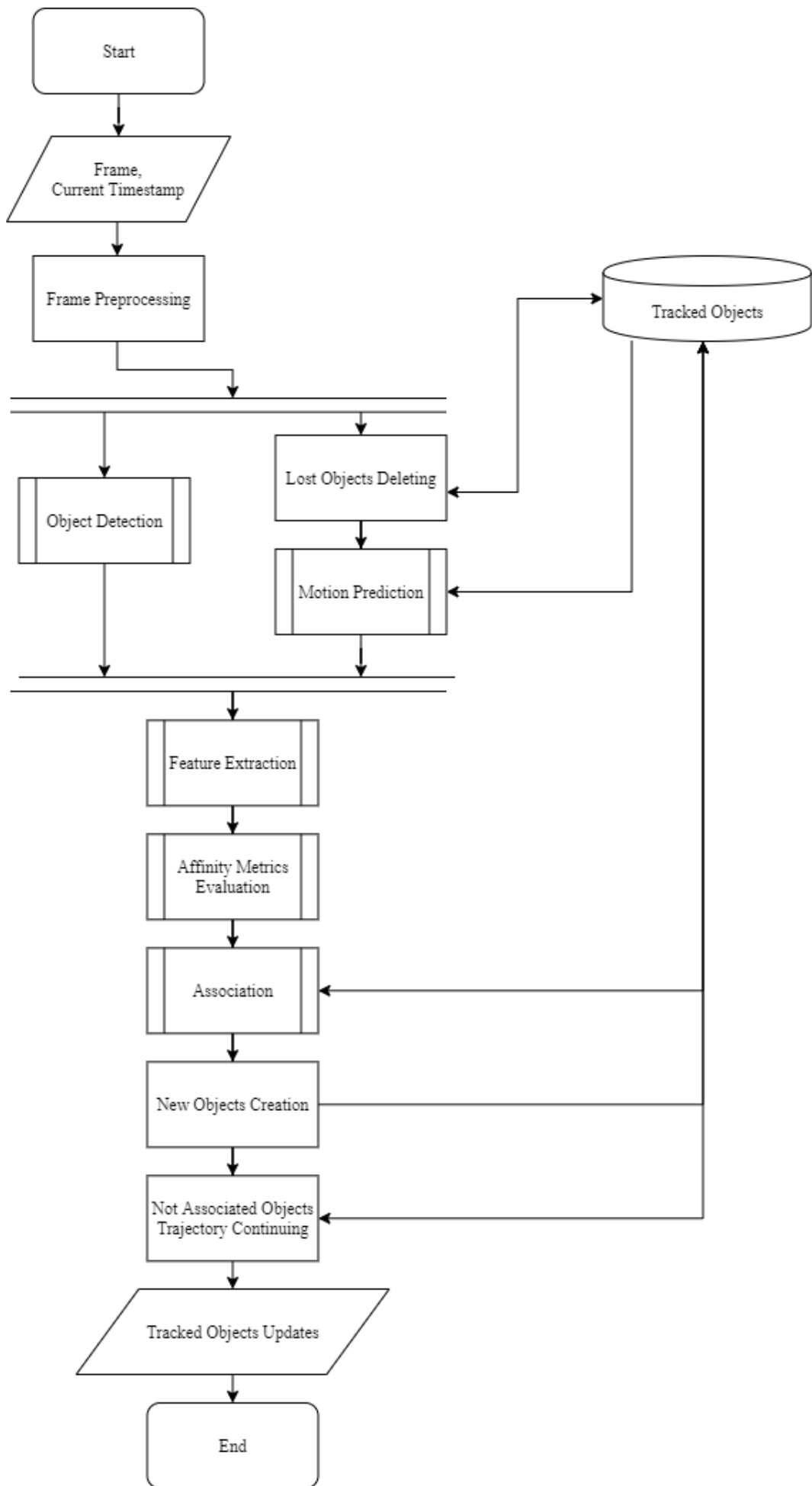


Fig. 3 Tracking algorithm block diagram

At each iteration, the algorithm receives one frame of the video sequence and the current time (frame capturing time) as input. In the "Frame Preprocessing" block, the input frame is prepared for use in the tracking algorithm (frame scaling). In the "Object Detection" block, localization and prediction of classes' probabilities occurs, which ultimately forms detections. Independently lost tracked objects (objects not updated with detections for a predetermined period of time) are deleted, for all other tracked objects current frame's bounding boxes are estimated in the "Motion Prediction" block.

Further visual feature vectors are extracted for each bounding box in the "Feature Extraction" block. In the block "Affinity Metrics Calculation" block for each pair of tracked object and detection, a weighted sum of predefined affinity metrics is calculated.

Detections are matched with tracked objects in the "Association" block. New objects are created for detections that have not been associated with any tracked object. The trajectories of objects for which no corresponding detections were found are continued with the help of bounding boxes estimated in the "Motion prediction" block for a predefined number of frames. Information about tracked objects' updates is saved.

The tracking algorithm result for a frame is deleted objects' data; bounding boxes, classes' probabilities values, and identifiers of all tracked objects, except for those that have not been updated in the current frame. Such objects are stored for some time in order to be able to continue their tracks if associated detection appears.

Thus, the life cycle of an object can be described by the state diagram presented in Figure 4. Requesting the output information of the tracking algorithm for each processed frame of the video sequence can get complete information about all objects that were tracked by the algorithm on this video sequence.

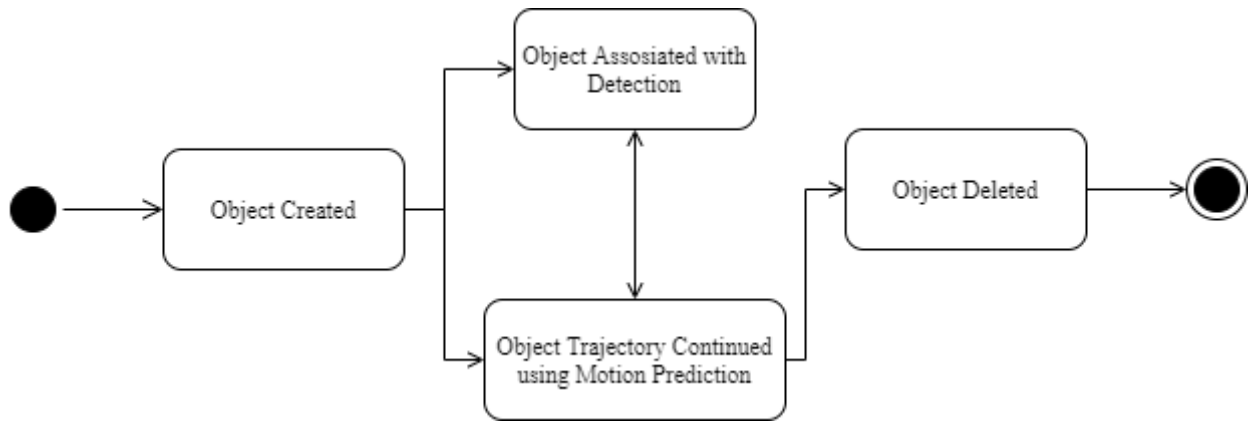


Fig. 4 Tracked object's state diagram

The development of methods for each block is described below.

## 2.2 Detection Methods Development

It was decided to use one-stage object network detection methods that show high quality and performance metrics to localize objects in a video sequence. Based on this decision the following open source detection methods were chosen for the tracking algorithm development:

- YOLOv3;
- YOLOv4;
- CenterNet.

For all detection methods, models trained on the COCO dataset [32], which contains 330 thousand images assigned to 80 classes, including the classes “man” (“human”), “car”, (“car”), "Bicycle" ("bicycle"), were chosen.

The selected detection methods are discussed in more detail below.

### Object Detection Algorithms YOLO

YOLOV (You Only Look Once) is a popular convolutional neural network architecture for one-stage multiple object detection in image. The fast speed of this algorithm is ensured by the need to apply the convolution operation to the image only once. [31]

In this algorithm the image is divided into a grid. For each grid cell, the neural network predicts the following: a certain number of bounding boxes; objectiveness confidence and class probabilities values. The output of the neural network is a set of

detections. The scheme of the YOLO object detection algorithm is shown in Figure 5. [31]

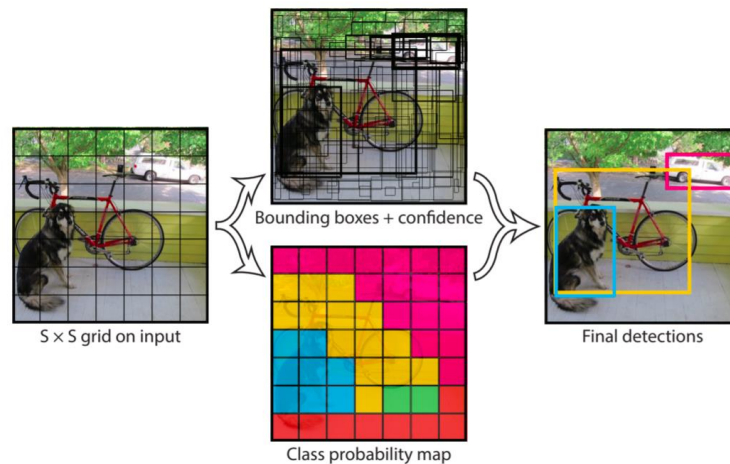


Fig. 5 The YOLO object detection algorithm scheme

The third version of the YOLO algorithm (YOLOv3) is one of the latest YOLO architecture versions. Compared to previous versions, YOLOv3 is better at localizing small objects while remaining one of the fastest object detection algorithms [32].

The fourth version of the YOLO algorithm (YOLOv4) is the latest YOLO architecture version. This version of the model has a number of modifications aimed at finding the optimal ratio of detection quality and performance. [33].

### Object Detection Algorithm CenterNet

CenterNet is a one-stage object tracking neural network architecture that shows one the best performance results while maintaining high quality metrics values [34].

CenterNet uses the following approach for object detection: Objects are modeled as points – the center points of their bounding boxes. Point features values describe objectiveness confidence value, bounding box size, class probabilities and other object properties. The Neural Network model is trained to predict a set of points and their corresponding features values from a frame. An example of objects modeled as points is presented in Figure 6. [34]

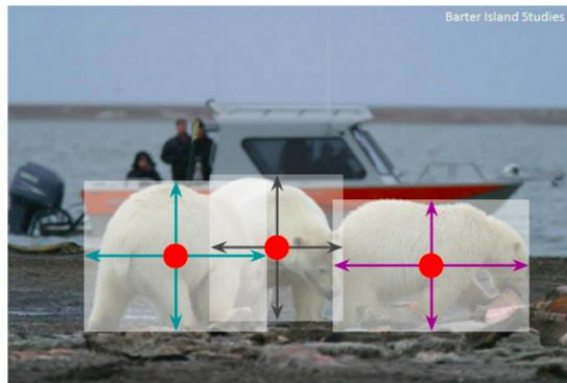


Fig. 6 An example of objects models as points in object detection algorithm  
CenterNet



### 3 References

1. Ciaparrone G. Deep learning in video multi-object tracking: A survey / G. Ciaparrone, F. L. Sánchez, S. Tabik [at al.] // *Neurocomputing*. – 2020. – Vol. 381. – Pp. 61-88
2. Zajceva E. V., Stepanova A. L. Klassifikaciya sovremennyh metodov trekinga ob"ektov v intellektual'nyh sistemah videonablyudeniya / E. V. Zajceva, A. L. Stepanova // *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal)*. – 2013. – № 5. – С. 56-62.
3. Object Tracking in Deep Learning [Electronic resource] // *MissingLink.ai*. – 2020. – URL: <https://missinglink.ai/guides/computer-vision/object-tracking-deep-learning/> (дата обращения 26.05.2020)
4. Schulter, S., Vernaza, P., Choi, W., et al.: 'Deep network flow for multi-objecttracking'. *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, Honolulu, HI, USA, 2017*, pp. 2730–2739 - construct an end-to-end deep learning min-cost network flow
5. Qi Chu1. Online Multi-Object Tracking Using CNN-based Single Object Tracker with Spatial-Temporal Attention Mechanism / Qi Chu1, Wanli Ouyang, Hongsheng Li, Xiaogang Wang, Bin Liu1, Nenghai Yu // // *ArXiv*. – 2017. – 1708.02843
6. Jiang M. Multiobject Tracking in Videos Based on LSTM and Deep Reinforcement Learning / M. Jiang, C. Deng , Z. Pan [at al.] // *Complexity*. – 2018. – ID 4695890.
7. Jiao L. A Survey of Deep Learning-based Object Detection / L. Jiao, F. Zhang, F. Liu [at al.] // *IEEE Access*. – 2019. – Vol. 7. – Pp. 128837-128868.
8. Zou Z. Object Detection in 20 Years: A Survey / Z. Zou, Z. Shi, Y. Guo, J. Ye. // *ArXiv*. – 2019. – 1905.05055.
9. Wojke N. Simple online and realtime tracking with a deep association metric / N. Wojke, A. Bewley, D. Paulus // *2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. – 2017. – Pp. 3645-3649.
10. Kieritz H. Joint detection and online multi-object tracking / H. Kieritz,

W. Hübner, M. Arens. // 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW). – 2018. – Pp. 1540-1548.

11. Minaev E. Yu. Treking ob"ektov v videopotoke na osnove svertochnyh nejronnyh setej i fraktal'nogo analiza / E. Yu. Minaev, V. V. Kutikova, A. V. Nikonorov // Sbornik trudov IV mezhdunarodnoj konferencii i molodezhnoj shkoly «Informacionnye tekhnologii i nanotekhnologii» (ITNT-2018). – 2018. – S. 2792-2798.

12. Alvar S. R. MV-YOLO: Motion Vector-Aided Tracking by Semantic Object Detection / S. R. Alvar, I. V. Bajić // 2018 IEEE 20th International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP). – 2018. – Pp. 1-5.

13. Hossain S. Deep Learning-Based Real-Time Multiple-Object Detection and Tracking from Aerial Imagery via a Flying Robot with GPU-Based Embedded Devices / S. Hossain, D.-J. Lee // Sensors. – 2019. – Vol. 19(15). – Pp. 3371.

14. Bullinger S. Instance flow based online multiple object tracking / S. Bullinger, C. Bodensteiner, M. Arens. // 2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). – 2017. – Pp. 785–789.

15. Sheng H. Heterogeneous association graph fusion for target association in multiple object tracking / H. Sheng Y. Zhang, J. Chen [at al.] // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. – 2019. – Vol. 29(11). – Pp. 3269-3280.

16. Chen J. Enhancing detection model for multiple hypothesis tracking / J. Chen, H. Sheng, Y. Zhang, Z. Xiong. // 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW). – 2017. – Pp. 2143-2152.

17. Bullinger S. Instance flow based online multiple object tracking / S. Bullinger, C. Bodensteiner, M. Arens. // 2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). – 2017. – Pp. 785–789.

18. Bewley A. Simple online and realtime tracking / A. Bewley, Z. Ge, L. Ott [at al.] // 2016 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). – 2016. – Pp. 3464–3468.

19. Kim S. J. Online tracker optimization for multi-pedestrian tracking using

a moving vehicle camera / S. J. Kim, J. Nam, B. C. Ko. // IEEE Access. – 2018. – Vol. 6. – Pp. 48675-48687.

20. Fang K. Recurrent Autoregressive Networks for Online Multi-object Tracking / K. Fang, Y. Xiang, X. Li, S. Savarese. // 2018 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV). – 2018. – Pp. 466–475.

21. Ren S. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks / S. Ren, K. He, R. Girshick

22. J. Sun. // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2017. – Vol. 39(6). – Pp. 1137-1149.

23. Lu Y. Online Video Object Detection Using Association LSTM / Y. Lu, C. Lu, C. Tang. // 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). – 2017. – Pp. 2363-2371.

24. Sharma S. Beyond Pixels: Leveraging Geometry and Shape Cues for Online Multi-Object Tracking / S. Sharma, J. A. Ansari, J. K. Murthy, K. M. Krishna. // 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). – 2018. – Pp. 3508–3515.

25. Ma C. Trajectory Factory: Tracklet Cleaving and Re-Connection by Deep Siamese Bi-GRU for Multiple Object Tracking / C. Ma, C. Yang, F. Yang [et al.] // 2018 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME). – 2018. – Pp. 1–6.

26. Vengerskij algoritm resheniya zadachi o naznacheniyah // MAXimal. 2012. URL: [https://e-maxx.ru/algo/assignment\\_hungary](https://e-maxx.ru/algo/assignment_hungary) (data obrashcheniya 26.05.2020).

27. Zadacha o naznacheniyah. Reshenie s pomoshch'yu min-cost-flow // MAXimal. 2011. URL: [https://e-maxx.ru/algo/assignment\\_mincostflow](https://e-maxx.ru/algo/assignment_mincostflow) (data obrashcheniya 26.05.2020).

28. Hosang J. What Makes for Effective Detection Proposals? / J. Hosang, R. Benenson, P. Dollár, B. Schiele. // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2016. – Vol. 38(4). – Pp. 814-830.

29. Bernardin K. Multiple object tracking performance metrics and

evaluation in a smart Room environment / K. Bernardin, A. Elbs, R. Stiefelhagen. // IEEE International Workshop on Visual Surveillance. – 2006.

30. Lin T. Microsoft COCO: Common Objects in Context / T. Lin, M. Maire, S. Belongie [at al.] // European Conference on Computer Vision. ECCV 2014. Lecture Notes in Computer Science. – 2014. – Vol. 8693. – Pp. 740-755.

31. Redmon J. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection / J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, A. Farhadi. // 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2016. – Pp. 779-788.

32. Redmon J. YOLOv3: An Incremental Improvement / J. Redmon, A. Farhadi. // ArXiv. – 2018. – 1804.02767.

33. Bochkovskiy A. YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection / A. Bochkovskiy, C. Wang, H. M. Liao // ArXiv. – 2020. – 2004.10934.

34. Zhou X. Objects as Points / X. Zhou, D. Wang, P. Krähenbühl // ArXiv. – 2019. – 1904.07850.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

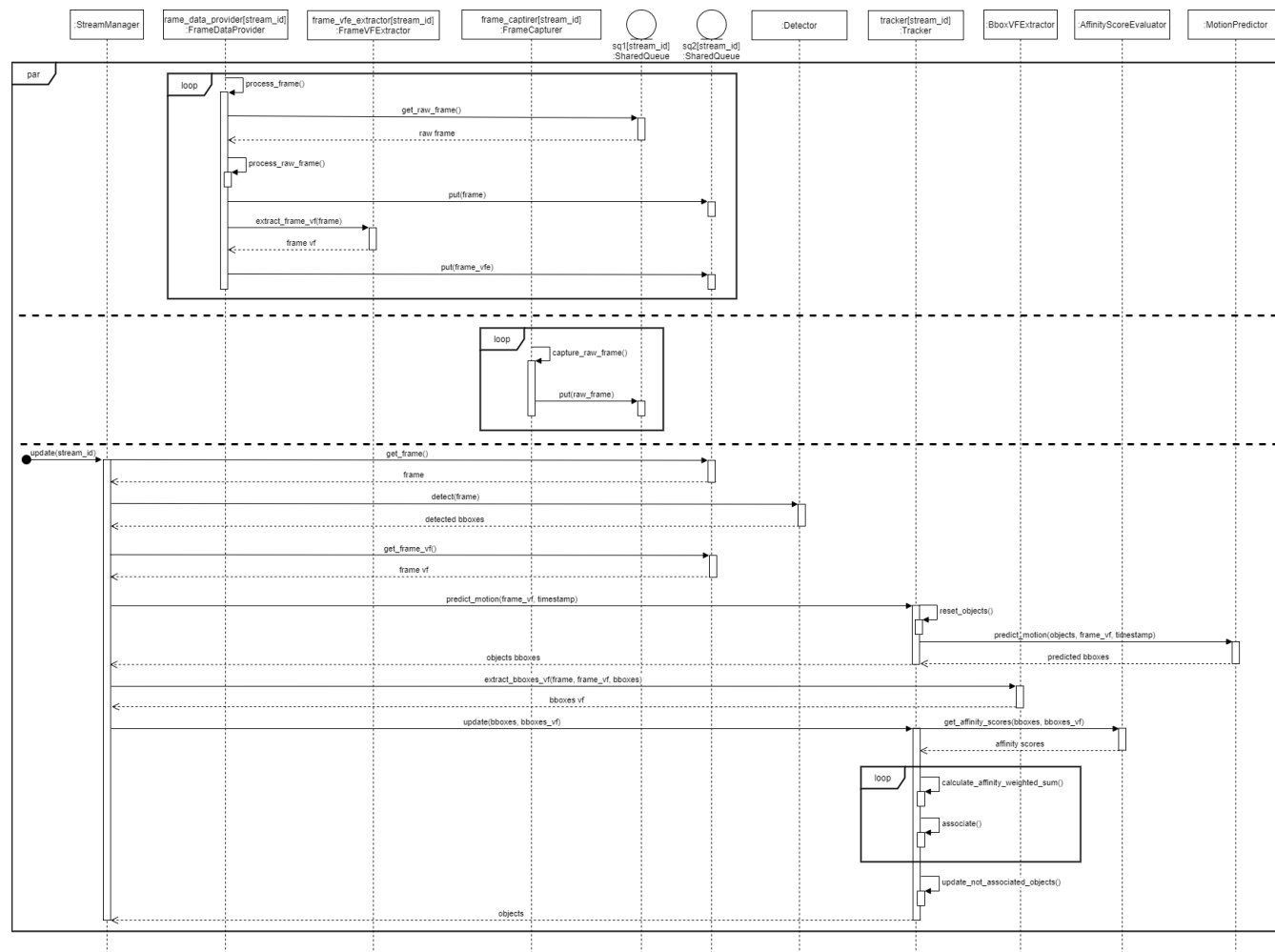


Рисунок 22 – Диаграмма последовательности вызова функции обновления информации для видеопотока (выполнение одной итерации работы алгоритма трекинга)

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица 28 – Конфигурации алгоритма трекинга для Экспериментов 3-12

Настройка		Исследование методов предсказания движения								Исследование методов извлечения признаков и расчёта метрик схожести	
		Отдельные методы предсказания движения					Комбинации методов			Эксперимент 11	Эксперимент 12
		Эксперимент 3	Эксперимент 4	Эксперимент 5	Эксперимент 6	Эксперимент 7	Эксперимент 8	Эксперимент 9	Эксперимент 10		
<b>метод расчёта графических признаков ограничивающих окон</b>		нет	нет	нет	нет	нет	извлечение графических признаков на этапе детектирования с помощью свёрточных слоёв YOLOv4	нет	нет	извлечение векторов признаков из изображений ограничивающих окон с помощью MobileNetv2	извлечение векторов признаков из изображений ограничивающих окон с помощью MobileNetv2
<b>Ассоциация</b>	<b>приоритет методов предсказания движения</b>	расчёт по вектору скорости	оптический поток, расчёт по вектору скорости	фильтр Калмана	фильтр Калмана с коррекцией детекций и с задержкой 4 кадра, последнее ограничивающее окно объекта	расчёт по вектору скорости с задержкой в 4 кадра, последнее ограничивающее окно объекта	модель долгой краткосрочной памяти, последнее ограничивающее окно объекта, время ожидания для модели долгой краткосрочной памяти = 4	расчёт по вектору скорости, оптический поток	фильтр Калмана (модель 2) с коррекцией детекций и с задержкой 4 кадра, расчёт по вектору скорости, последнее ограничивающее окно объекта	фильтр Калмана (модель 2) с коррекцией детекций и с задержкой 4 кадра, расчёт по вектору скорости, последнее ограничивающее окно объекта	фильтр Калмана (модель 2) с коррекцией детекций и с задержкой 4 кадра, расчёт по вектору скорости, последнее ограничивающее окно объекта
	<b>взвешенная сумма метрик схожести</b>	IOU с коэффициентом 1.0	IOU с коэффициентом 1.0	IOU с коэффициентом 1.0	IOU с коэффициентом 1.0	IOU с коэффициентом 1.0	IOU с коэффициентом 1.0	IOU с коэффициентом 1.0	IOU с коэффициентом 1.0	IOU с коэффициентом 0.75, косинусное сходство с коэффициентом 0.25	IOU с коэффициентом 0.75, сиамская нейронная сеть для расчёта метрики схожести с коэффициентом 0.25

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Скан свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020663821 «Распределённая платформа нейросетевого детектирования, трекинга, описания объектов в видеопотоке и их последующего анализа Visius Core»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**СВИДЕТЕЛЬСТВО**  
о государственной регистрации программы для ЭВМ  
**№ 2020663821**

**Распределённая платформа нейросетевого детектирования,  
трекинга, описания объектов в видеопотоке и их  
последующего анализа Visius Core**

Правообладатель: *Общество с ограниченной ответственностью  
"Рубиус Групп" (RU)*

Авторы: *Костин Кирилл Александрович (RU), Кудинов Антон  
Викторович (RU), Чурсина Елена Андреевна (RU), Мнацаканян  
Рафаэль Эдуардович (RU), Медведев Евгений Александрович (RU)*

Заявка № **2020662695**  
Дата поступления **22 октября 2020 г.**  
Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ **02 ноября 2020 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 **Г.П. Ивлиев**



## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Скан акта № 1 внедрения программы для ЭВМ «Распределённая платформа нейросетевого детектирования, трекинга, описания объектов в видеопотоке и их последующего анализа Visius Core»



### Акт N 1 внедрения программы для ЭВМ

(изобретения, полезной модели, промышленного образца, программы для ЭВМ, базы данных)  
в ООО «Рубиус Групп» от «01» декабря 2020 г.

Настоящий Акт составлен в том, что нижеуказанное(ая) программа для ЭВМ

(изобретение, полезная модель, промышленный образец, программа для ЭВМ, база данных)

Распределённая платформа нейросетевого детектирования, трекинга, описания объектов в видеопотоке и их последующего анализа Visius Core

(название объекта интеллектуальной собственности)

Автор(ы):

1. Костин Кирилл Александрович
2. Кудинов Антон Викторович
3. Чурсина Елена Андреевна
4. Мнацаканян Рафазль Эдуардович
5. Медведев Евгений Александрович

(указывается фамилия, имя, отчество каждого автора)

Свидетельство о государственной регистрации № 2020663821 от 02.11.2020 г. (дата регистрации в Государственном реестре программ для ЭВМ и баз данных)

Патентообладатель(ли)/правообладатель (и): ООО «Рубиус Групп»

внедрено(а) с «01» декабря 2020 г.

при разработке web-сервиса Visius для подсчёта пешеходного трафика по видео, который помогает быстрее подбирать помещения при открытии новых торговых точек.

Руководитель Административного отдела  
Управляющей организации «Рубиус»  
(по Доверенности № 26 от 25.11.2021)

А.Е. Туманова