

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Электронные вычислительные машины»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ЭВМ
_____ Д.В. Топольский
«__» _____ 2024 г.

Программно-аппаратный комплекс системы машинного зрения
для обеспечения безопасности персонала при работе на крупной
строительной технике

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУРГУ-090401.2024.406 ПЗ ВКР

Руководитель работы,
к.т.н., доцент каф. ЭВМ
_____ Д.В. Топольский
«__» _____ 2024 г.

Автор работы,
студент группы КЭ-406
_____ А.Ю. Сафронов
«__» _____ 2024 г.

Нормоконтролёр,
ст. преподаватель каф. ЭВМ
_____ С.В. Сяськов
«__» _____ 2024 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Электронные вычислительные машины»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ЭВМ

_____ Д.В. Топольский

«___» _____ 2023 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу бакалавра

студенту группы КЭ-406

Сафронову Александру Юрьевичу

обучающемуся по направлению

09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

1. **Тема работы:** «Программно-аппаратный комплекс системы машинного зрения для обеспечения безопасности персонала при работе на крупной строительной технике»
2. **Срок сдачи студентом законченной работы:** 1 июня 2024 г.
3. **Исходные данные к работе:**
 1. Одноплатные компьютеры NVidia Jetson, Raspberry Pi.
 2. Нейроакселератор Intel NCS 2.
 3. Модуль CAN-шины SPI – CAN MCP2515.
 4. Инструменты для создания деталей (3D принтер) и сборки прототипа.

4. Перечень подлежащих разработке вопросов:

Введение.

1. Теоретическая часть.

1.1. Назначение и цели создания системы.

1.2. Обзор научно-технической литературы по теме ВКР.

1.3. Обзор аналогов разрабатываемого в рамках ВКР устройства, сопоставление характеристик аналогов с характеристиками разрабатываемого устройства.

1.4. Разработка требований к системе в целом.

1.5. Разработка требований к функциям, выполняемым системой.

2. Проектная часть.

2.1. Разработка архитектуры системы, согласно разработанным ранее требованиям.

2.2. Реализация системы, согласно разработанной ранее архитектуре.

2.3. Тестирование системы по разработанному в соответствии со стандартом сценарию.

Заключение.

Список использованных библиографических источников.

5. Дата выдачи задания: 1 декабря 2023 г.

Руководитель работы _____ / Д.В. Топольский/

Студент _____ / А.Ю. Сафронов/

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Этап	Срок сдачи	Подпись руководителя
Введение и формулирование назначения и целей создания системы. Обзор научно-технической литературы, обзор аналогов, сопоставление характеристик аналогов с характеристиками разрабатываемого устройства	14.01.2024	
Разработка требований к системе и к функциям системы, разработка архитектуры на основе требований	03.03.2024	
Реализация работающего прототипа системы, первичная проверка работоспособности, подготовка к финальному тестированию	24.03.2024	
Составление сценария тестирования, организация поездки на место проведения тестирования, проведения необходимых экспериментов, формирование вывода по результатам тестирования	07.04.2024	
Компоновка текста работы и сдача на нормоконтроль	15.06.2024	
Подготовка презентации и доклада	18.06.2024	

Руководитель работы _____ / Д.В. Топольский/

Студент _____ / А.Ю. Сафронов/

Аннотация

А.Ю. Сафронов. Программно-аппаратный комплекс системы машинного зрения для обеспечения безопасности персонала при работе на крупной строительной технике. – Челябинск: ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», ВШ ЭКН; 2023, 56 с., 27 ил., библиогр. список – 28 наим.

После аналитического обзора современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, разработаны технические решения по созданию программно-аппаратного комплекса решающего задачи мониторинга и предупреждения опасных ситуаций, возникающих при работе на крупной строительной технике.

В ходе выполнения практической работы решены задачи автоматической классификации объектов, задачи обнаружения, сопровождения объектов, проработана логика действий в случае возникновения опасной ситуации. Приведены примеры аналогичного оборудования от зарубежных производителей. Дана оценка аналогичным средствам мониторинга, выявлены их недостатки и на основе этих данных разработано новое устройство.

Данная работа соответствует приоритетным направлениям научно-технического развития страны, включающим комплексный и непрерывный контроль за соблюдением техники безопасности.

Ключевые слова. *машинное зрение, система безопасности, строительная техника, нейронные сети, визуализация, перцептрон, функция активации, датасет, протокол CAN.*

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
Аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей исследуемую научно-техническую проблему	8
Выводы по первой главе	25
Архитектура системы безопасности персонала с применением технологии машинного зрения, реализованной в ходе работы	26
Выводы по второй главе.....	31
Реализация системы безопасности персонала с применением технологии машинного зрения, реализованной в ходе работы	32
Выводы по третьей главе.....	44
Тестирование и анализ результатов работы при первых запусках системы безопасности персонала с применением технологии машинного зрения.....	45
Выводы по четвёртой главе.....	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	51
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	54

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире строительство является одной из наиболее активно развивающихся отраслей. В связи с этим возрастает потребность в обеспечении безопасности персонала, работающего на крупной строительной технике. Инновационные технологии, такие как машинное зрение, играют ключевую роль в создании эффективных систем безопасности, способных обеспечить защиту работников от потенциальных угроз.

Важность систем безопасности при работе на строительной технике сложно переоценить. Они направлены на предотвращение несчастных случаев, связанных с эксплуатацией крупногабаритной техники, и обеспечение безопасности персонала. Обеспечение безопасности на рабочих местах становится особенно актуальным в свете постоянного развития технологий, в частности, искусственного интеллекта.

Новаторские решения, привнесенные искусственным интеллектом в отрасль строительства, открывают новые возможности для создания более эффективных систем безопасности. Машинное зрение позволяет автоматизировать процесс мониторинга рабочей зоны и оперативно реагировать на возникающие угрозы. Искусственный интеллект также способен анализировать данные, поступающие с различных датчиков, и на основе этого принимать решения о необходимости вмешательства в работу техники.

Таким образом, системы безопасности персонала при работе на крупной строительной технике, основанные на технологиях машинного зрения и искусственном интеллекте, являются ключевым элементом обеспечения безопасности на строительных площадках. В данной ВКР будут рассмотрены основные аспекты разработки таких систем, а также разработана и протестирована система безопасности на основе анализа имеющихся аналогов и программно-аппаратной базы.

Аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей исследуемую научно-техническую проблему

Согласно данным Роструда [1] за 2021 – 22 года общее количество несчастных случаев на производстве с тяжелыми последствиями составило порядка 11 240 инцидентов, из них 3281 со смертельным исходом. В организациях осуществляющих свою деятельность в строительстве зафиксировано 5 236 случаев. Наиболее распространённые причины несчастных случаев:

- падения с высоты – 42%;
- падения предметов с высоты – 15%;
- движущиеся предметы, механизмы – 14%;
- транспортные происшествия – 11%.

Первые 2 причины несчастных случаев, к сожалению, не поддаются методам автоматизированных решений. Эти проблемы требуют комплексного подхода к подготовке персонала и соблюдению требований безопасности. Вторая и третья причины, могут и должны быть частично или полностью устранены методами автоматизированных систем безопасности. Целью данной выпускной квалификационной работы ставится разработка программно – аппаратного решения для мониторинга и автоматического предотвращения опасных ситуациях, связанных с движущимися предметами и механизмами, а также транспортных происшествий.

Что подразумевается под такой системой? Автоматизированная система безопасности должна в режиме реального времени оценивать обстановку вокруг отслеживаемых объектов, и при обнаружении небезопасного поведения отслеживаемых объектов, реагировать соответствующим образом. Реакция такой системы может быть разной. Это может быть резкий звуковой сигнал предупреждающий о возникновении

опасности или при соответствующей реализации система может самостоятельно без участия оператора предотвратить опасную ситуацию, совершив заранее запрограммированное, контролируемое действие. В учебнике [2] подробно разложено понятие СЧМС – система человек – машина – среда, согласно учебнику, «Чтобы анализировать опасности нужно иметь идеальную модель системы ЧМС, с которой можно было бы сравнивать реально существующие системы. Также далее приведены идеальные свойства такой системы.

В идеале система ЧМС должна иметь следующие свойства:

- автономность – иметь автономные подсистемы;
- иерархичность – иметь пространственно - временную структуру организации;
- система должна быть доминантна – иметь возможность функционирования по главной цели;
- целостность – иметь в пространстве свою конфигурацию;
- эволюция – стремиться в развитии к совершенству.

Итак, задачей которая ставится к умной системе безопасности на основе алгоритмов машинного зрения это – отслеживание в реальном времени заранее оговоренных объектов и при возникновении опасных ситуаций (столкновений, попаданий в опасную зону), отправка соответствующего сигнала для оповещения или для автоматического предотвращения опасности. Необходимо также внести ясность в понимание термина «машинное зрение» для понимания сути. В пособии [3] вводится понятие: Цифровое или машинное зрение - это использование электронных систем для автоматического сбора, изучения и понимания данных из картинок и различных видов многомерных сведений. Для получения более ёмкого понятия необходимо обратиться в учебные пособия [4,5] – в нём говорится о тесной связи терминов *Обработка изображений* и *Машинное зрение*, и в частности речь идёт о операциях попиксельного преобразования с целью

увеличения контрастности изображения и устранения шумов. Особое внимание в тексте учебного пособия уделено Аффинным преобразованиям. Указанные выше операции применяются при решении задач компьютерного зрения, с их помощью из одного или двух двумерных изображений можно получить информацию о трёхмерной сцене.

Не стоит обходить стороной область исследований, именуемой визуализацией, из названия которого, несложно догадаться что речь идёт о создании изображений. Визуализация также включает в себя методы обработки и анализа изображений. Примером визуализации является тепловизионная камера. Тепловизор способен по недоступным невооруженному глазу человека данным – (инфракрасному излучению от хоть сколько-то ни было нагретого объекта) создавать изображение на экране, понятное человеку. Таким образом машинное зрение – это тандем алгоритмов обработки и представления (визуализации) изображения. Имея «на руках» изображения поднимается вопрос о автоматическом распознавании образов на нём. Работа по распознаванию образов включает в себя задачи кластеризации и классификации. Эти задачи уже долгое время решаются преимущественно методами статистического подхода.

Но необходимо понимать суть процесса классификации и кластеризации. Так из источников [6-10] можно взять исчерпывающие знания для понимания процесса работы компьютерного зрения. Рассмотрение вопроса необходимо начать с предисловия о том, что для выделения абстрактной целой части её необходимо разбить на такие же (пока) абстрактные составные части. Эти составные части, в свою очередь рассматриваются только в составе целого и никак иначе. Таким образом после того как есть предположение о воспринимаемом объекте, выделяются и интерпретируются его части. Затем следует попытка собрать из них «целое», дабы проверить правильность предположения о воспринимаемом объекте. Так человек понимает, что смотрит в лицо собеседнику воспринимая его по таким частям как глаза, губы, нос, морщины на лбу, овал лица в целом. Что касается

технических систем, то любое распознавание будь то лицо или текст принимается неоднозначно, а путём последовательного выдвижения и проверки гипотез и привлечения информации об искомом объекте. Для технических систем существуют два вида целостного описания: шаблонное и структурное. Для шаблонного характерно представления изображений в растровом или векторном формате, и заданы классы преобразований (например, поворот, масштабирование, и.т.д). Для структурного описание представлено в виде графа, узлами которого являются те самые части (элементы) входного объекта, а дугами – отношения между частями. Так, например, шаблонное описание может распознать автомобиль в кадре, а структурное может определить марку и модель. Таким образом целостность восприятия предполагает несколько важных архитектурных решения. Во-первых, все знания об объекте должны работать по возможности одновременно. Во-вторых, исследуемый объект опять же, по возможности должен подаваться и обрабатываться целиком. Обрабатывать параллельно большие объёмы данных призваны искусственные нейронные сети. Для знакомства с искусственными нейронными сетями стоит рассмотреть подробнее понятие «базовая искусственная модель» и «искусственный нейрон». В 1943 году профессор Дж. Маккалок и его талантливый коллега У. Питт предложили модель искусственного нейрона и описали основные принципы создания нейронных сетей, впоследствии получивших название – **Персептрон**.

На рисунке 1 представлена схематичная визуализация персептрона.

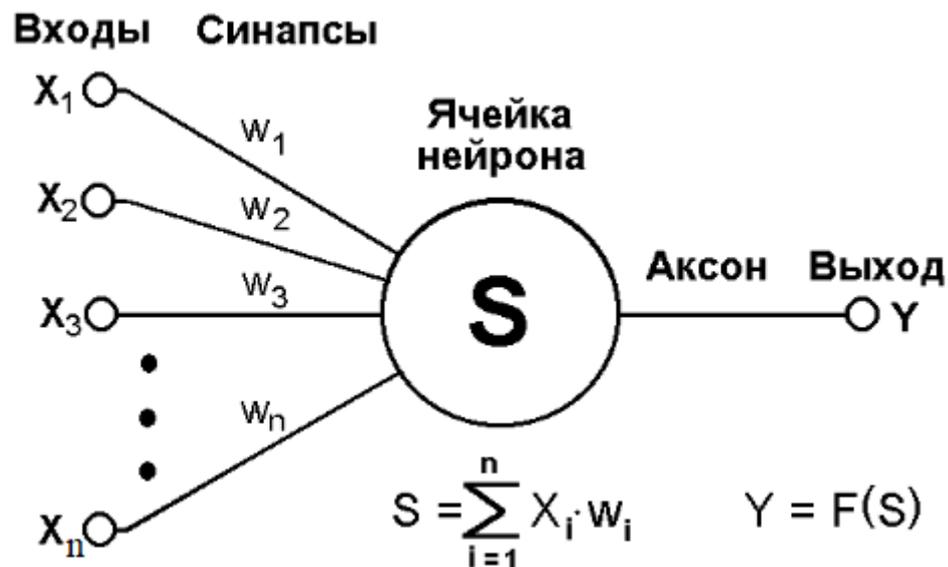


Рисунок 1 – Схема перцептрона [11]

Искусственный нейрон (формальный нейрон) – Моделирующий некоторую функцию биологического нейрона элемент искусственных нейронных сетей.

Его главная задача – формировать выходной сигнал в зависимости от входных сигналов. Нейрон имеет группу синапсов – однонаправленных входных связей, соединённых с выходами других нейронов. Выходной связью нейрона является Аксон – с которой сигнал поступает на другие нейроны или на выход модели. Каждый синапс характеризуется его весом W_i .

Активационная функция – функция вычисляющая выходной сигнал нейрона.

Часто используемые активационные функции [12]:

- жесткая пороговая функция – Если входное значение меньше порогового, то значение функции равно минимальному допустимому, иначе равно максимальному;
- линейный порог – имеет два линейных участка, где функция активации тождественно равна минимально и максимально допустимому значению и есть участок где функция монотонно возрастает;

- сигмоидальная функция – Функция конвертирует входные значения в вероятности, которые могут быть интерпретированы как принадлежность объекта в определённом классе.

Нелинейный преобразователь – Элемент нейрона, который преобразует текущее состояние нейрона в выходной сигнал по закону функции активации.

Точка ветвления (она же выход) – элемент, посылающий выходной сигнал нейрона по нескольким адресам и имеющий один вход.

Искусственный нейрон через синапсы получает выходные данные, это могут быть исходные данные или сигналы с других нейронов. Каждый входной сигнал проходит через канал имеющий определённый вес, этот вес можно соотнести с синаптической активностью биологического нейрона. У каждого нейрона есть собственное пороговое значение. Вычисляется взвешенная сумма входов, из неё вычитается пороговое значение, таким образом получается величина активации (PSP). Далее сигнал активации подаётся на функцию активации (т.е. выход нейрона равен 0, если вход отрицательный и равен единице, если вход нулевой или больше 0). В этом и есть основной принцип работы персептронов, они состоят из одного слоя искусственных нейронов, хотя на деле так описываются и более сложные системы. Стоит учесть, что веса могут быть отрицательными, в таком случае синапс оказывает на нейрон тормозящее воздействие, это вполне естественно в живом мозге также присутствуют тормозящие нейроны.

Если нам нужна полезная нейронная сеть и мы хотим использовать её для решения тех или иных задач, то у неё должны быть входы для приёма значений из вне и выходы для формирования полезных нам прогнозов или управляющих сигналов. В таком случае в сети может быть ещё много слоёв скрытых нейронов, выполняющих основные вычислительные функции. Входные, скрытые и выходные нейроны в таком случае должны быть связаны между собой и основной вопрос здесь – обратная связь. В самом простом случае сеть имеет прямую передачу сигнала: данные проходят от входов через скрытые нейроны и попадают на выходные элементы. Эта структура очень

устойчива. Напротив, есть *рекуррентная* [13] (содержащая связи от дальних нейронов к ближним), такая сеть неустойчива и имеет очень сложное поведение. Однако она пользуется большим интересом со стороны исследователей в области нейронных сетей.

Для получения от нейронных сетей достойного результата их необходимо обучить. На заре своего появления нейронные сети были просты и понятны, на них возлагались большие надежды. В 1960-е персептроны вызвали большой интерес. Ф.Розенблатт доказал теорему об обучении персептронов [14]. Б.Уидроу разработал алгоритм адаптации Уидроу-Хоффа [15] введя дополнительную сигмоидальную функцию активации. Их модели «Адлин» (с одним нейроном на выходе) и «Мадалин» (несколько нейронов на выходе), получили широкое распространение, и исследователи во всём мире стремились изучить возможности этих систем.

В 1969 году появилась книга «Персептроны» под авторством М.Минского и С. Паперта [16]. Работа Минского охладила бы энтузиазм вокруг персептрона, но дала время для необходимой консолидации и развития лежащей в основе теории. В 1986 году Д.Румельхард совместно с другими учёными представил научному миру алгоритм обратного распространения ошибки. Это стало одним из основополагающих факторов, отголоски которого мы наблюдаем сегодня. Алгоритм обратного распространения ошибки [17] стал очень эффективным способом обучения нейронных сетей произвольной структуры. Если не вдаваться в математику метода обратного распространения ошибки, а математики в методе очень и очень много. То для интуитивного понимания метода достаточно объяснить его работу на примере трехслойной нейронной сети, состоящей из входного слоя, скрытого слоя и выходного слоя.

В начале процесса обучения сеть получает на вход образец данных и пропускает его через сеть, в результате получается выходная активация (значение) для каждого нейрона. Сравнивая полученные значения с желаемыми выходами, на основе выбранной функции ошибки, вычисляется

значение ошибки для каждого выходного нейрона. Далее эта ошибка обратно распространяется через сеть, учитывая веса связей между нейронами. Это означает, что для каждой связи между нейронами вычисляется вклад этой связи в ошибку. Для этого используется метод дифференцирования функции активации каждого нейрона по своему входу. Это позволяет нам узнать, в каком направлении изменить веса связей, чтобы уменьшить ошибку. Для обновления весов используется алгоритм градиентного спуска, который определяет направление наискорейшего убывания значения функции ошибки. Используя эту информацию, веса связей между нейронами обновляются в соответствии с найденным направлением. Процесс обратного распространения ошибки повторяется для каждого образца данных в обучающей выборке. Сеть постепенно улучшается, так как ошибки уменьшаются и веса настраиваются для получения более точного предсказания. Итак, метод обратного распространения ошибки состоит из следующих шагов:

- прямое распространение сигнала через сеть для получения выходных активаций;
- вычисление ошибки для каждого выходного нейрона;
- обратное распространение ошибки через сеть, вычисление вклада каждой связи в ошибку;
- обновление весов связей с помощью алгоритма градиентного спуска;
- повторение шагов 1-4 для каждого образца данных в обучающей выборке.

Таким образом, метод обратного распространения ошибки позволяет нейронной сети учиться на основе сравнения выходов с желаемыми результатами и корректировки весов связей для минимизации ошибки. На рисунке 2 изображена схема метода обратного распространения ошибки.

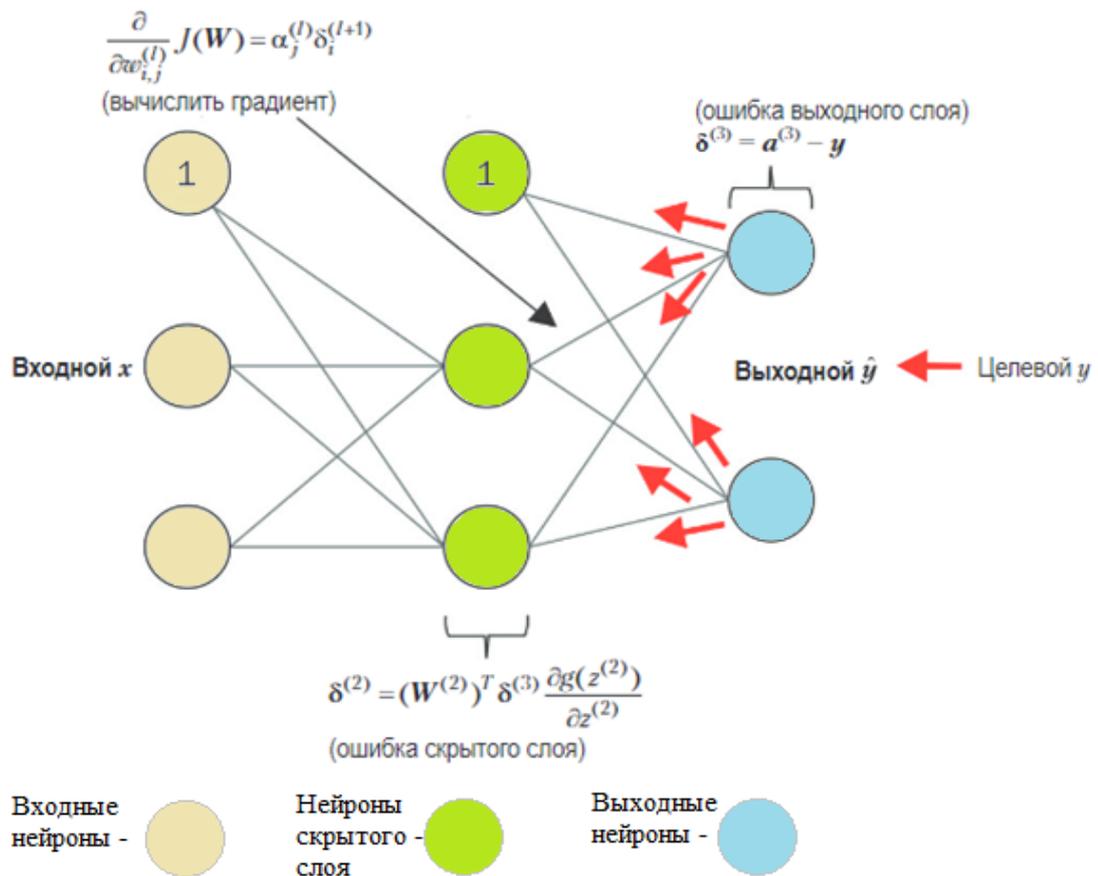


Рисунок 2 – Метод обратного распространения ошибки [18]

Но рассмотрим другую архитектуру нейронных сетей – свёрточные нейронные сети [19,20]. Именно свёрточные нейронные сети лучше всего применять для обработки изображений. Это связано с тем, что, взявшись за обработку изображений мы столкнулись бы с огромным числом весов и параметров, которые не позволят нам обрабатывать быстро и эффективно изображения сколь бы то ни было высокого разрешения. Помимо этого, мы будем терять информацию о топологии объектов из-за того, что полносвязной нейросети мы подаём одномерный вектор входной информации. Свёрточная нейросеть, за счёт использования разреженных связей и принципа общих фильтров, существенно снижает число параметров. Стоит внести ясность, принцип общих фильтров заключается в том, что один и тот же фильтр применяется ко всему входному изображению или слою, чтобы извлечь определенные признаки. Это позволяет нейронной сети сократить количество параметров и улучшить обобщающую способность модели. Вместо того чтобы

иметь отдельный уникальный фильтр для каждого пикселя входного изображения, можно использовать один и тот же фильтр для всего изображения, что упрощает вычисления и уменьшает количество параметров сети. Это делает модель более эффективной для обучения на больших объемах данных и повышает ее способность к обобщению на новые примеры. Когда речь идет о нейронных сетях для определения объектов на изображении, в рамках литературного обзора будет достаточно понимать принцип работы, состоящих из череды определенных действий. Сначала изображение подается на вход сети, а затем проходит через несколько слоев свертки и пулинга [21,22]. В слоях свертки нейронные сети обнаруживают различные признаки и особенности на изображении, такие как границы, текстуры, цвета и формы.

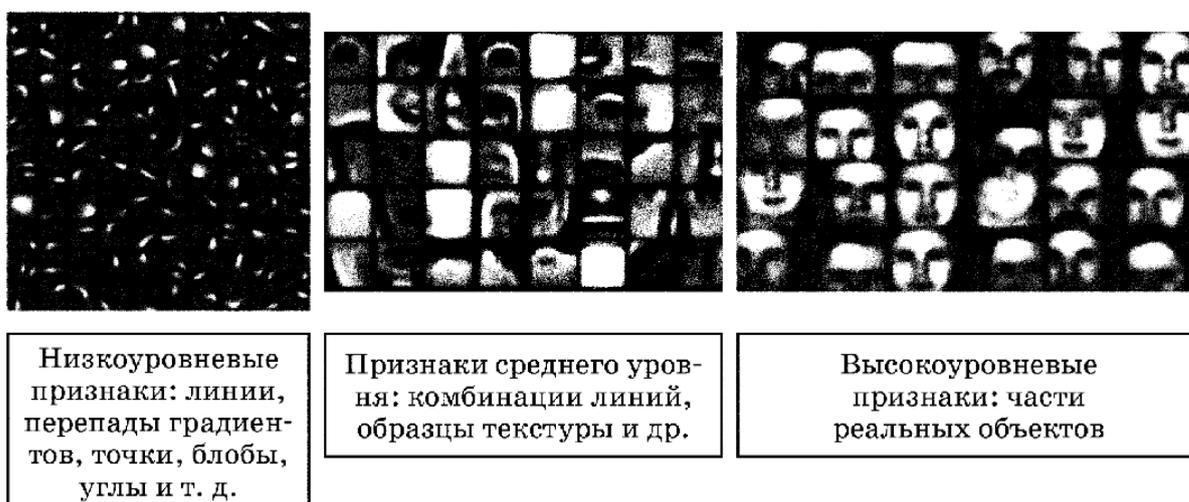


Рисунок 3 – Визуализация признаков на слоях свёртки

На рисунке 3 изображены слои свёртки нейронной сети. Каждый слой свертки состоит из набора фильтров, которые сканируют изображение и выделяют информацию о наличии или отсутствии конкретных признаков. Затем следует слой пулинга, который сжимает пространственное представление изображения путем уменьшения его размера. Это позволяет нейросети сосредоточиться на более важных признаках изображения, в то время как менее значимые детали игнорируются.

После выполнения вышеописанных операций, изображение проходит через полносвязные слои, которые анализируют предыдущую информацию и

доступные признаки, чтобы классифицировать объекты на изображении. Полносвязные слои объединяют информацию из предыдущих слоев и генерируют выходные значения для каждого класса, указывая, насколько вероятно принадлежащие объекта к каждому классу.

Тренировка сверточной нейронной сети происходит путем подачи большого количества размеченных данных об изображениях. Нейросеть обучается на основе этой информации, алгоритмы глубокого обучения (например, обратное распространение ошибки) позволяют оптимизировать веса и параметры сети, чтобы минимизировать ошибку классификации. В результате, нейронная сеть "обучается" распознавать объекты на изображении, создавая функцию плотности вероятности для каждого класса. Выходы сети можно интерпретировать как вероятности принадлежности объектов к различным классам, в то время как обученные параметры позволяют нейросети принимать более точные решения о классификации объектов на новых изображениях. Таким образом, нейронные сети, созданные для определения объектов на изображении, используют принцип анализа состава изображения, выявляя различные признаки и особенности, чтобы классифицировать объекты и оценивать их вероятности принадлежности к различным классам.

В итоге исследователь, разработчик, студент или просто заинтересованных любитель имеет возможность в автоматическом режиме обрабатывать изображения и получать поток обратной связи от нейронной сети. На основе этой обратной связи создаются системы ЧМС для автоматического мониторинга окружающей среды и обязательно своевременного и соответствующего реагирования на её изменения. Подобный подход становится все более популярным в сферах, где требуется регулярное проведение анализов изображений, например, в распознавании лиц для обеспечения безопасности в аэропорту и соцсетях. Внедрение технологий машинного зрения позволяет компаниям получить значительные преимущества. Сегодня для проверки важных объектов часто привлекают

людей. Это требует больших временных и финансовых затрат, а также может приводить к ошибкам из-за зависимости от человеческого фактора. В свою очередь, применение технологий машинного зрения для регистрации детальных сведений о состоянии объектов повышает безопасность и снижает общие издержки. Такие методы, как линейное и тепловое сканирование, а также идентификация цветов, можно использовать вместе для обнаружения неисправностей и повышения уровня безопасности, надежности и технического обслуживания. Обобщая вышесказанное, технология машинного зрения позволяет автоматизировать регулярный визуальный контроль за тем или иным процессом, что понижает трудозатраты и издержки и повышает безопасность и качество.

Далее будут рассмотрены устройства в том или ином виде реализующие технологии машинного зрения для мониторинга процессов производства.

Интересное, но работающее по несколько другому принципу устройство от компании SICK (ЗИК) – лазерный датчик расстояния DT50-P1113 [23]. DT50 - это лазерный датчик расстояния, который используется для измерения расстояния до объектов в промышленных и автоматизированных системах. Он может быть установлен на различных типах оборудования, таких как конвейеры, роботы или автоматические машины, для контроля положения и перемещения объектов. DT50 обладает множеством возможностей, которые делают его удобным и эффективным инструментом для промышленного применения. Он имеет высокую точность измерений с разрешением до 0,1 мм и дальностью измерений до 10 метров. Благодаря высокой скорости измерений и надежной работе, этот датчик позволяет эффективно контролировать процессы производства и улучшить качество продукции. DT50 также оснащен различными функциями, такими как фильтры для подавления помех, возможность программирования различных параметров и возможность передачи данных через различные протоколы связи. Это делает его очень гибким и удобным для интеграции с другими устройствами и системами управления. На рисунке 4 изображен внешний вид устройства DT50-P1113.



Рисунок 4 – Лазерный датчик расстояния DT50-P1113

Стоит заметить, что DT50 работает по принципу лидарного сканера, поэтому последний недостаток, представленный в таблице №1, справедлив только в рамках этой работы.

Первыми и единственными найденными прямыми аналогами является линейка устройств от немецкой компании IFM, O3M151 - O3M171. Исходя из официальных источников на сайте компании [24-26] эта линейка устройств предназначена для визуального мониторинга в режиме реального времени и реагирования на опасные ситуации (столкновения и попаданий в опасную зону).



Рисунок 5 – Внешний вид устройства ОЗМ171

Устройства линейки похожи визуально (рисунок 5) и отличаются только некоторыми характеристиками такими как: угол обзора сенсора, диапазон измерения объектов, точность измерения в зависимости от погодных условий. Эти характеристики улучшаются от младшей модели к старшей. Система представляет собой единый блок, защищенный по стандарту IP67 внутри которого расположена камера, вычислительный блок и оборудование обеспечения связи с техникой. На официальном сайте приведено описание работы устройства и показан короткий видеоролик из которого становится понятна суть. Устройство крепится в слепых зонах той или иной крупной техники и в автоматическом режиме следит за тем, чтобы человек не попал в установленную опасную зону. В случае срабатывания системы на опасность она способна не только уведомить персонал, но и в автоматическом режиме остановить машину. Связь с техникой осуществляется по популярному и надёжному интерфейсу CAN, система имеет доступ к контроллеру движения машины, он, в свою очередь, управляет узлами и агрегатами машины. Рассмотрение преимуществ и недостатков системы будет производиться на основе старшей модели в линейке – ОЗМ171.

Таблица 1 – Сравнительный анализ аналогов и разрабатываемого в рамках ВКР устройства

Устройство	Преимущества	Недостатки
DT50-P1113	<ul style="list-style-type: none"> • система обеспечивает высокую точность измерения расстояния до ± 1 мм; • система имеет высокую частоту обновления до 1000 Гц; • DT50 проста в установке и настройке; • имеет распространённый интерфейс передачи сигнала. 	<ul style="list-style-type: none"> • у DT50 относительно узкий угол обзора; • максимальный диапазон измерения составляет 10м; • система не способна различать класс угрозы, а только факт её наличия.

Продолжение таблицы 1

Устройство	Преимущества	Недостатки
ОЗМ171	<ul style="list-style-type: none"> • возможность реагировать на людей и транспортные средства; • автоматическая реакция на возникновение опасной ситуации; • всепогодность системы; • распространённый интерфейс передачи сигнала; • высокая производительность. 	<ul style="list-style-type: none"> • система не реагирует на животных; • система нуждается в отдельном устройстве инфракрасной подсветки; • высокая цена за 1 комплект, который покрывает только одну слепую зону, а таких зон может быть около десятка.

Продолжение таблицы 1

Устройство	Преимущества	Недостатки
<p>Разрабатываемая в ходе ВКР система</p>	<ul style="list-style-type: none"> • возможность реагировать на людей и транспортные средства и животных; • автоматическая реакция на возникновение опасной ситуации; • всепогодность системы; • распространённый интерфейс передачи сигнала; • высокая производительность; • одна система покрывает не одну, а несколько (до 8ми) слепых зон. 	<ul style="list-style-type: none"> • система не проста в установке и настройке; • система может нуждаться в инфракрасной подсветке в тёмное время суток.

Выводы по первой главе

В ходе обзора современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей исследуемую научно-техническую проблему, кратко была рассмотрена история появления искусственных нейронных сетей, их эволюция и постепенная метаморфоза из предмета любопытства исследователей в незаменимый и эффективный инструмент для решения задач параллельной обработки и мониторинга больших объёмов данных.

Сформулированы начальные требования к реализуемой в рамках ВКР системе безопасности. Перед разработчиком ставятся задачи создания компактного, недорогого, универсального и самодостаточного устройства. Подразумевается создать автоматизированную систему ЧМС с возможностью функционирования по главной цели - предотвращение столкновений, влекущих травмы и материальные потери. Разрабатываемая в рамках ВКР система должна иметь возможность реагировать на животных и транспортные средства, иметь компактную внешнюю часть, сравнительно низкую себестоимость, способность покрывать всю опасную зону вокруг техники. Тем самым в большей степени решать недостатки своих прямых аналогов - устройств ОЗМ151 - ОЗМ171 от компании IFM.

Архитектура системы безопасности персонала с применением технологии машинного зрения, реализованной в ходе работы

Во второй главе, данной выпускной квалификационной работы будет рассмотрена архитектура разработанной системы безопасности персонала при работе на крупной строительной технике, с применением технологии машинного зрения.

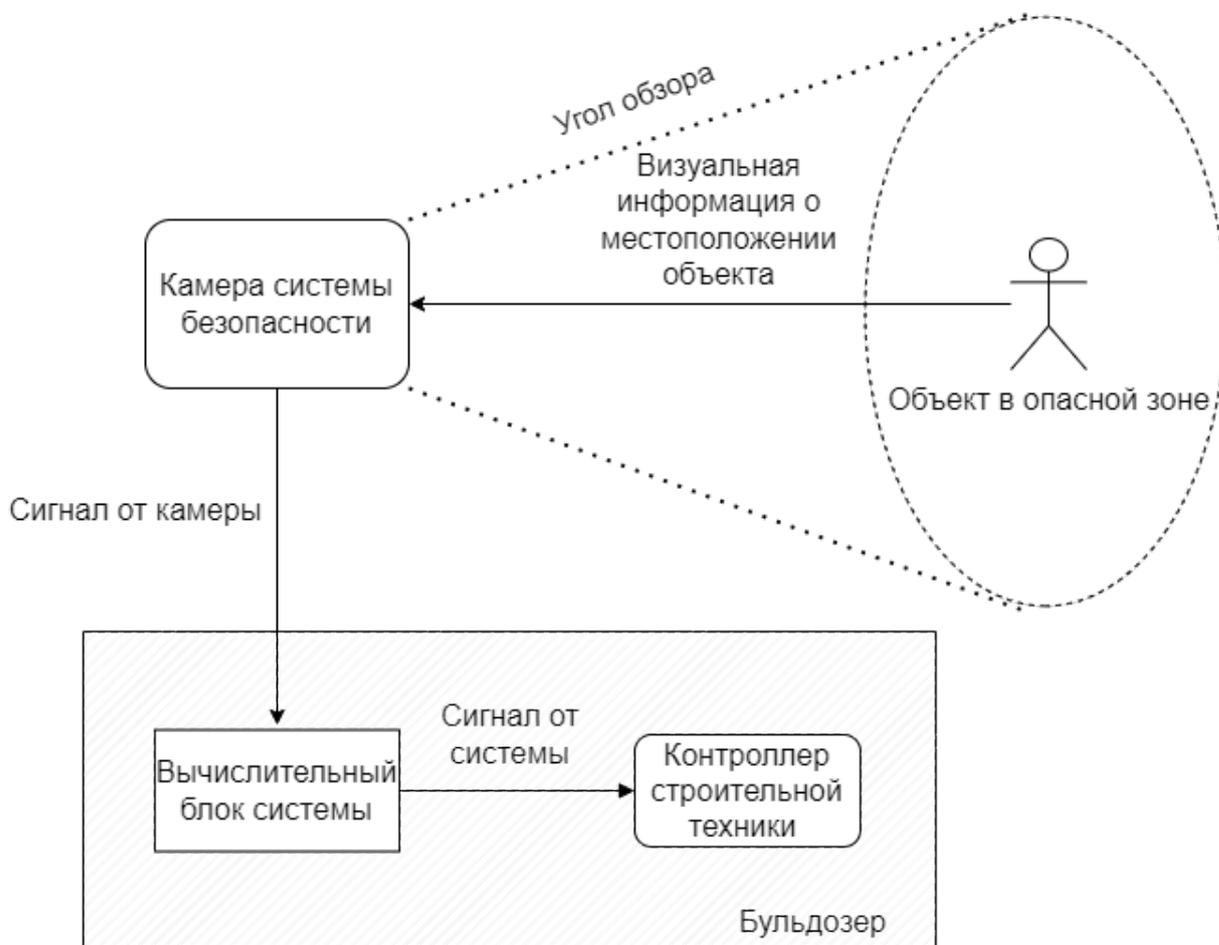


Рисунок 6 – Вариант использования системы

На рисунке 6 изображен вариант использования системы. Подразумевается, что вычислительный блок и блоки камер установлены на борту техники и подключены к её электросети. Камеры направлены и зафиксированы так, чтобы максимально покрывать своим обзором слепые зоны вокруг техники. При возникновении опасной ситуации столкновения

вычислительный блок фиксирует ситуацию по изображению с камер, и подаёт управляющий сигнал в контроллер движения техники по интерфейсу связи.

Описание функциональных требований:

- система должна инициализировать и запоминать зоны, подразумеваемые как опасные;
- определение в кадре и реагирование на людей, животных и транспортные средства, и соответственно отдельно идентифицировать объекты в кадре;
- автоматическая работа системы без участия человека;
- одно устройство должно покрывать все опасные зоны вокруг техники.

Описание нефункциональных требований:

- простая установка и настройка на рабочий режим;
- система должна быть офлайн;
- быстродействие не менее 15 сканирований в секунду;
- система должна быть устойчива к вибрациям, которые создаёт машина;
- вычислительный блок должен иметь защиту от крупной пыли, но быть проницаемым для воздушного потока, камеры должны иметь стандарт влагозащиты IP 67;
- работа при температурах -30 до + 60.

Требование к источникам входных данных

Источником данных служат цифровые камеры, они должны быть с разрешением не меньше 1280*720.

Требование к выходным данным

Выходными данными должны быть сообщения по единому с техникой (носителем системы) интерфейсу связи, для возможности автоматического управления и предотвращения опасности.

Архитектура системы

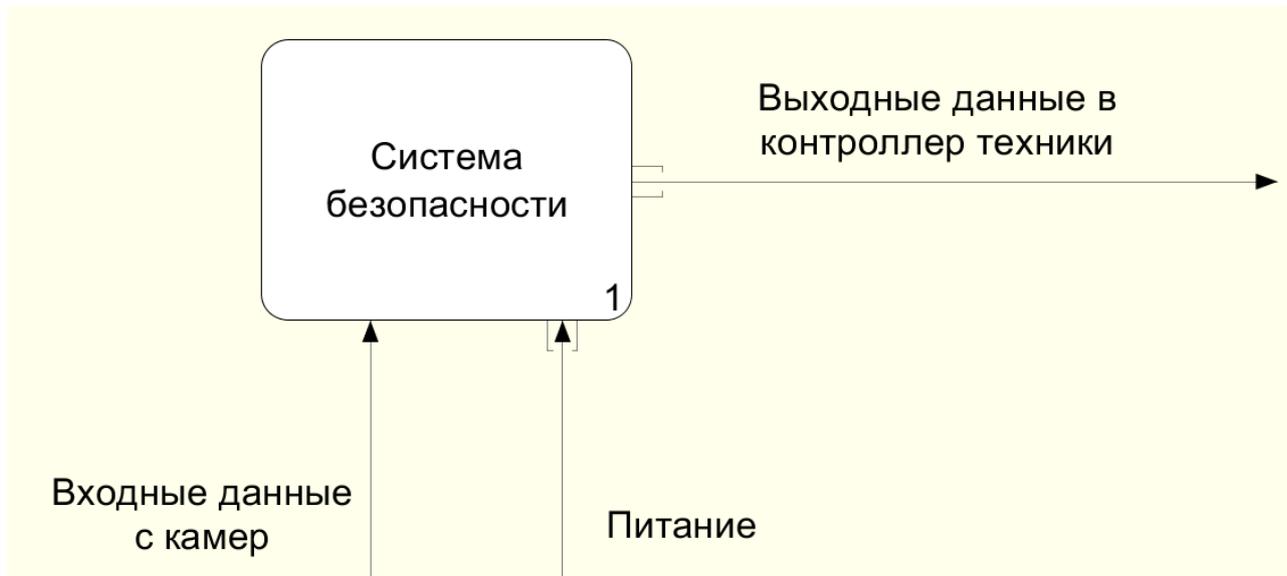


Рисунок 7 – Первый уровень архитектуры

На рисунке 7 изображен первый (верхний уровень архитектуры) системы. Входными данными для системы служат видеоизображения с камер, а выходе система формирует посылку для контроллера техники.

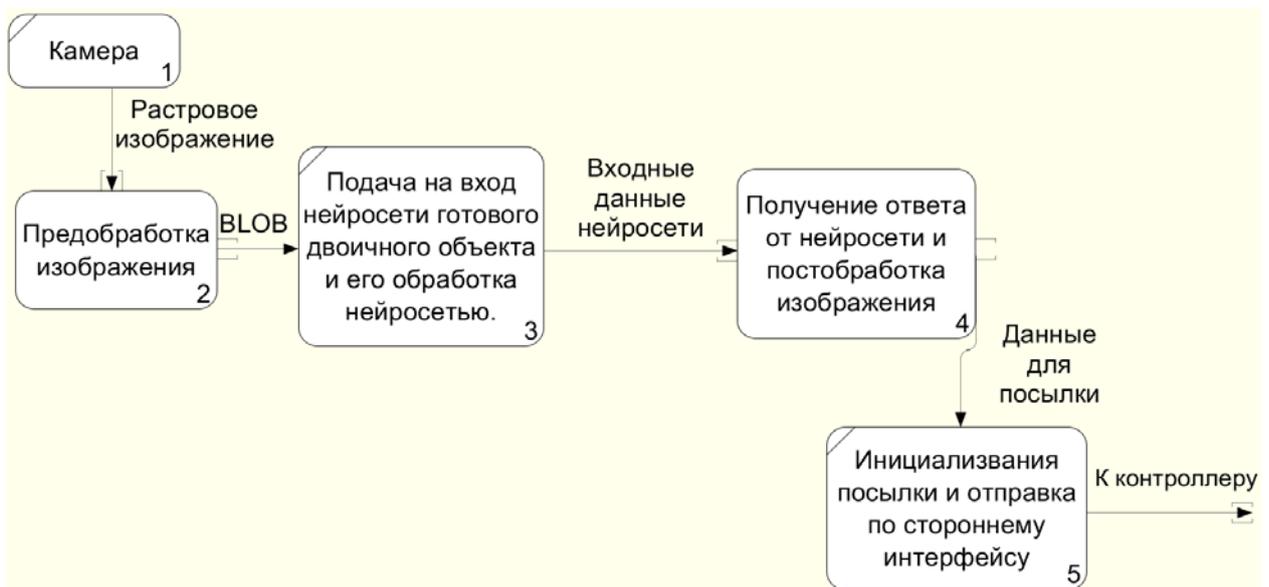


Рисунок 8 – Второй уровень архитектуры (очерёдность работы бесконечного цикла программы)

Так как система работает в реальном времени, то показанные на рисунке 8 блоки выполняются в бесконечном цикле от включения и инициализации системы, до выключения питания.

Преобразование изображения в BLOB (binary large object) файл - это процесс преобразования несжатых пикселей изображения в бинарный формат. Этот формат позволяет нейросети обрабатывать данные более эффективно и быстро, поскольку BLOB-файлы занимают меньше места и быстрее передаются.

Цель такого преобразования – упростить процесс обработки изображения нейросетью и уменьшить размер данных. BLOB-файл содержит только необработанные пиксели изображения без дополнительной информации, такой как метаданные или сжатие. Это позволяет нейросети сосредоточиться на анализе и интерпретации данных, а не на их предварительной обработке.

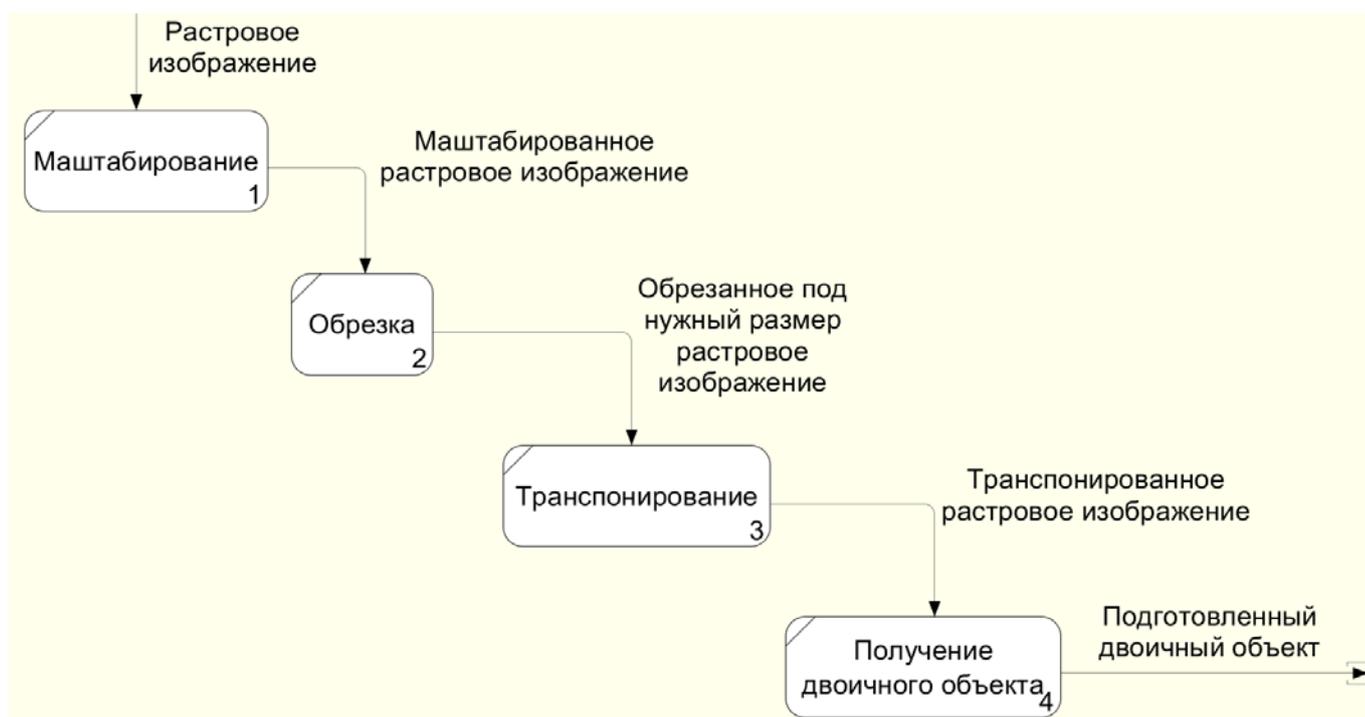


Рисунок 9 – Детальная структура блока "Предобработка изображения"

Предобработка изображения, структура которой показана на рисунке 9, необходима для подготовки данных перед подачей на вход нейросети. Предобработка включает изменение размера и соотношения сторон изображения, а также транспонирование и перевод в формат BLOB файла. Это нужно для того, чтобы привести изображение к формату, поддерживаемому

нейросетью. В большинстве случаев это означает изменение разрешения изображения с сохранением пропорций.

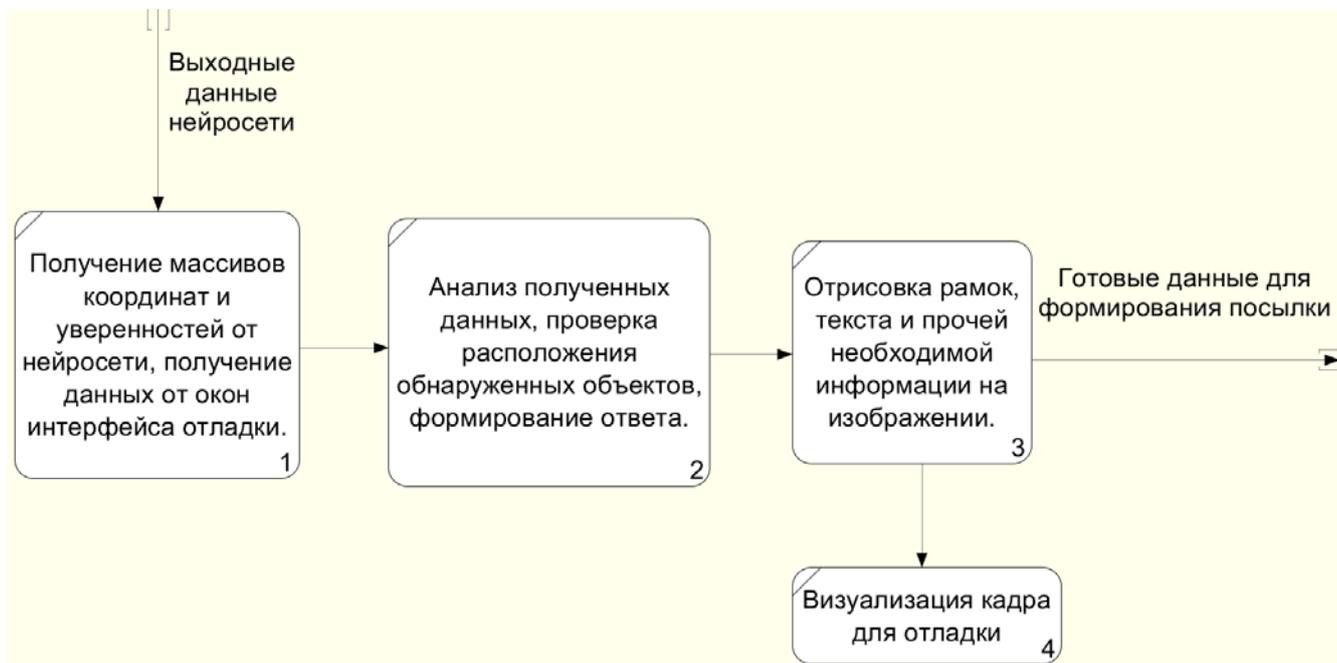


Рисунок 10 – Обработка выходных данных нейросети

На рисунке 10 изображена последовательность обработки данных полученных на выходе нейронной сети. Данные представляются в виде одномерного массива, содержащего координаты объектов и уверенности, что искомый объект действительно есть на кадре потокового видео. По этим данным легко можно отфильтровать объекты с низкой уверенностью, и нарисовать рамки или другие понятные пользователю элементы интерфейса вокруг обнаруженных объектов. Однако, визуализация изображения не является функцией устройства и используется только в процессе отладки. В итоговом виде система вообще никак не взаимодействует с пользователем, осуществляя всю работу автоматически. Затем система формирует посылку в интерфейс связи по общему протоколу, посылка включает в себя информацию о количестве объектов, безопасно ли удалены объекты от опасных зон, и другую информацию для логирования.

Выводы по второй главе

Во второй главе была рассмотрена архитектура разрабатываемой системы безопасности. На основе анализа аналогов в предыдущей главе, беря во внимание их преимущества и недостатки, к реализуемой системе сформулированы функциональные и нефункциональные требования, а также требования к источникам входных и выходных данных. Согласно этим требованиям и учитывая специфику условий, в которых предстоит пребывать будущему устройству, разработана архитектура системы

Реализуемый в ходе ВКР программно-аппаратный комплекс системы безопасности персонала при работе на крупной строительной технике с применением технологии машинного зрения, основан на принципе работы в реальном времени. Входные данные для системы – видеопоток с разрешением 1280*720, преобразуя каждый кадр и анализируя его посредством нейросети, система сопровождает своё внимание за обнаруженными объектами, и при обнаружении попадания одного или нескольких отслеживаемых объектов в опасную область, система способна отправлять управляющие сообщения по стороннему интерфейсу связи. Выходными данными системы являются управляющие сообщения в сторонний интерфейс.

Реализация системы безопасности персонала с применением технологии машинного зрения, реализованной в ходе работы

Изначально устройство во всём старалось подражать своему аналогу – ОЗМ171, а именно подразумевалось монолитная конструкция, в которой камера и вычислительный блок были единым корпусом.

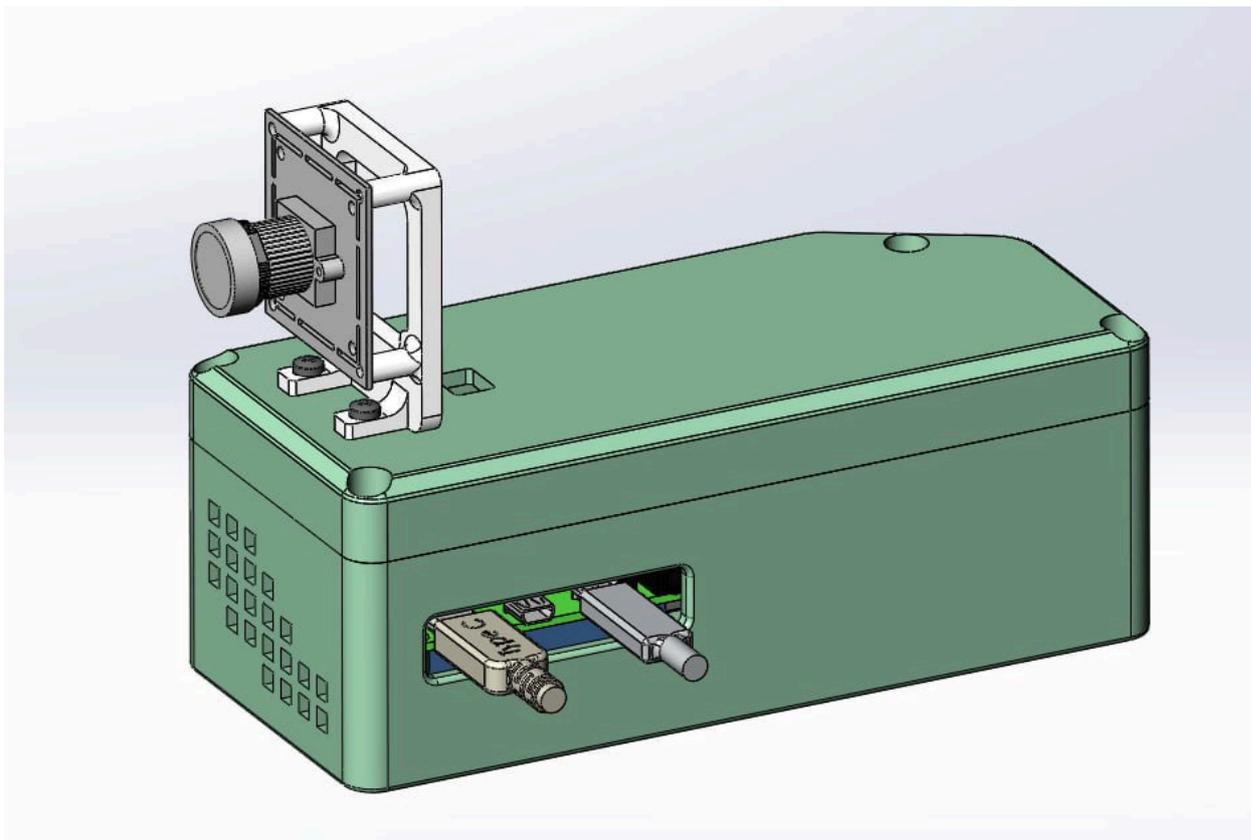


Рисунок 11 – 3D модель раннего прототипа

На рисунке 11 изображена модель самого первого прототипа устройства. Эта модель не была реализована, а так и осталась наброском. Подразумевалось, что корпус будет распечатан на 3D принтере, как и кронштейн камеры. Внутри корпуса должны были располагаться одноплатный компьютер Raspberry pi 4 и нейроакселератор Intel movidius neural compute stick 2.



Рисунок 12 – Raspberry pi 4



Рисунок 13 – Intel movidius neural compute stick 2

Raspberry Pi 4 (рисунок 12) - это одноплатный компьютер, который обладает возросшей производительностью и улучшенными характеристиками по сравнению с предыдущими моделями. Он оснащен 4-ядерным процессором ARM Cortex-A72, до 8 ГБ оперативной памяти, поддержкой 4К-видео и беспроводными интерфейсами Wi-Fi и Bluetooth.

Intel Movidius Neural Compute Stick 2 (рисунок 13) - это устройство для ускорения работы нейронных сетей, которое подключается к компьютеру через USB. Он имеет специализированный процессор для выполнения операций сети ускоренно и эффективно.

При совместном использовании Raspberry Pi 4 и Intel Movidius Neural Compute Stick 2, можно создать весьма эффективное устройство для работы с задачами машинного зрения с использованием нейронных сетей. Raspberry Pi

4 обеспечивает обработку данных, взаимодействие с внешними устройствами и управление процессом, а Intel Movidius Neural Compute Stick 2 ускоряет выполнение операций нейронных сетей, позволяя обрабатывать большие объемы данных быстро и эффективно. На основе этой рабочей связки собирался первый полностью работающих прототип системы безопасности.

Также из необходимой электроники в корпусе имеется плата (рисунок 14(а)), понижающая входные 24 – 32V бортового напряжения в необходимые для работы блока 5V. Для связи системы с контроллером движения техники используется Плата CAN шины MCP2515 (рисунок 14(б)). На ней распаяны 2 микросхемы. Первая, MCP2515 – микросхема, работающая с интерфейсом SPI, она управляет второй. Вторая, TJA1050 – преобразует сигнал CAN в TTL.

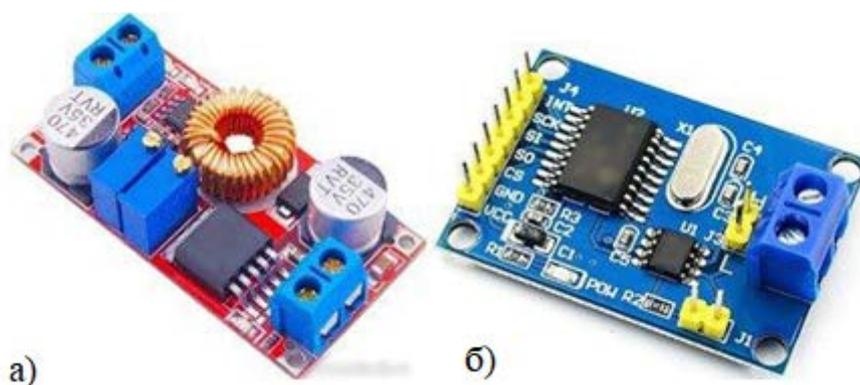


Рисунок 14 – (а) слева DC-DC преобразователь (б) – справа плата CAN

Для первого функционального прототипа было принято решение отказаться от идеи 3Д печати и постараться вместить всю электронику в покупной компактный корпус. За основу был взят корпус GAINTA G279MF. Его требовалось несколько доработать, рассверлить в стенках необходимые отверстия. Но также сохранить достойную влагу и пыле защиту (на уровне IP 67 – защита от брызг под давлением). Сам корпус по периметру своей крышки имеет уплотнительные кольца, что исключает попадание воды и пыли в стык. Для герметизации проводов были применены специальные герметичные зажимы. Для объектива была напечатана на 3D принтере прижимная крышка (рисунок 15), которая на 4ех винтах крепится к внешней стенке корпуса и

прижимает вырезанное по периметру резиновую прокладку, обеспечивая тем самым отличную герметичность лицевой – самой подверженной внешним воздействиям, стороны.

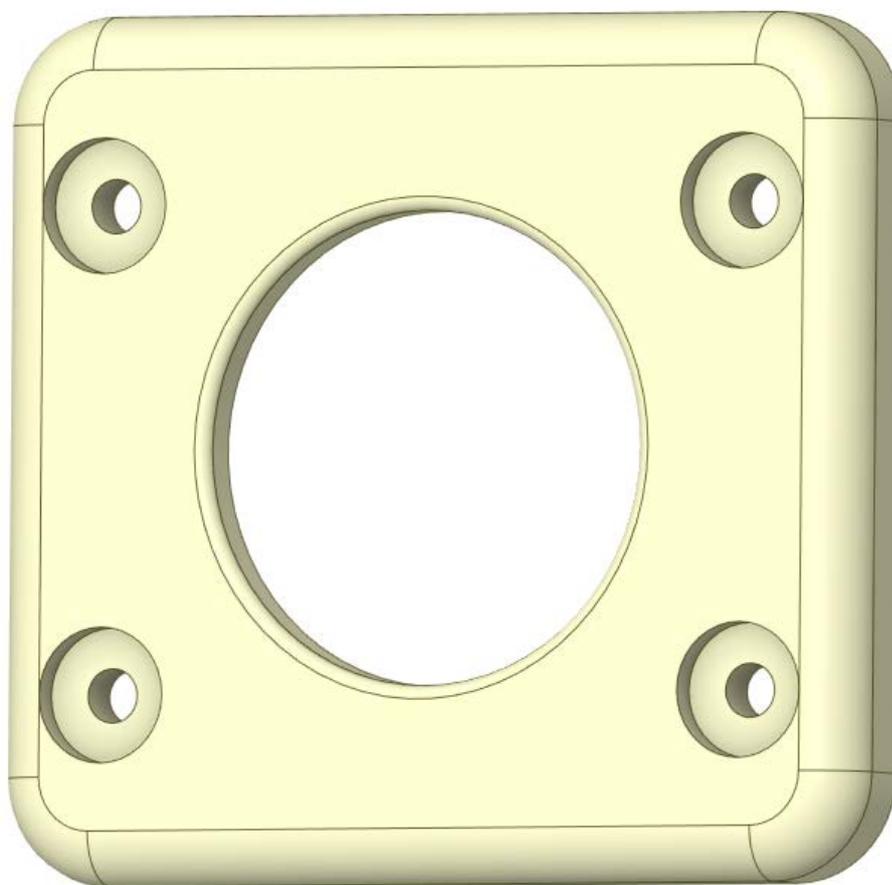


Рисунок 15 – Крышка объектива

На рисунке 16 изображена компоновка всех деталей без корпуса, все детали крепятся к пластинам из оргстекла, которые разнесены между собой при помощи латунных стоек 12мм. Верхняя пластина из оргстекла крепится к крышке корпуса, к ней в свою очередь прикручены камера и нейроакселератор. На нижней пластине оргстекла через стойки прикручена плата микрокомпьютера и над ним как бы вторым этажом идёт пластина с платой понижения питания и модулем CAN шины. На рисунке 17 изображена взрыв схема, показывающая последовательность заполнения корпуса деталями.

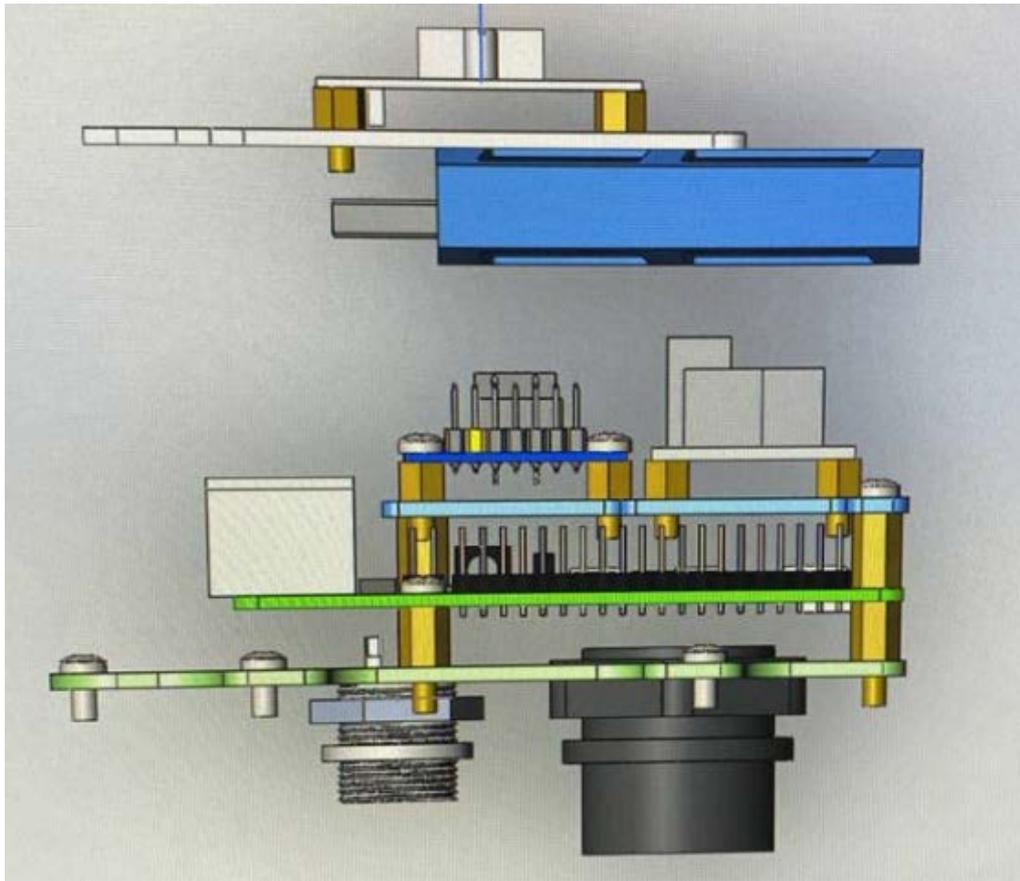


Рисунок 16 – Внутренняя компоновка без корпуса

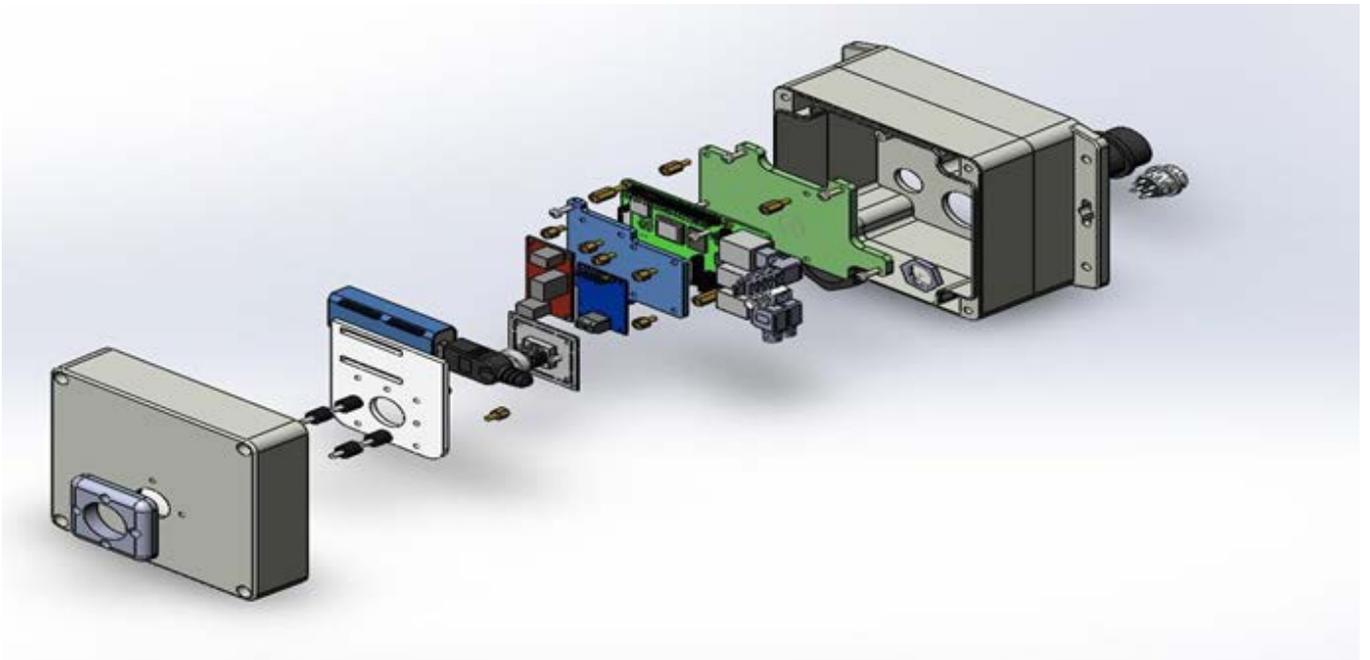


Рисунок 17 – Взрыв-схема первой версии проекта



Рисунок 18 – Собранный прототип вид спереди



Рисунок 19 – Собранный прототип вид сбоку

На рисунках 18 и 19 изображен готовый первый прототип в сборе, во внешнем виде прототипа прослеживается сходство с ближайшим аналогом, устройством ОЗМ171 (рисунок 5).

Тестирование первого прототипа показало работоспособность решения в целом, но качество обнаружения и производительность устройства были на низком уровне. Устройство обрабатывало всего около 8 – 11 кадров в секунду это при очень сильно сжатом изображении, на котором едва можно было различить контуры объектов. Страдало качество распознавания объектов особенно удалённых, проблемы начинались если, например, человек отходил на 15 метров от камеры. Проблема также возникла и с охлаждением электроники в корпусе. Так как корпус полностью герметичен, нет никакой возможности охлаждать внутренние части. В ходе работы процессор микрокомпьютера перегревался примерно за 30 минут и начинал сбрасывать частоту, ни о какой адекватной производительности после этого говорить не приходится. В итоге было принято решение, что устройство на основе Raspberry pi 4 и нейроакселератора Intel movidius neural compute stick 2, не оправдало себя как надёжный и стоящий показа заказчику прототип.

Для решения всех недостатков первого прототипа, было решено перенести все вычисления на одноплатный компьютер от NVidia модель Jetson Nano (рисунок 20), этот компьютер имеет на борту встроенный нейроакселератор, который на порядок мощнее используемого ранее. Так же пересмотру подверглась физическая архитектура системы, теперь вычислительный блок был хорошо вентилируемым и располагался в кабине техники, а герметичными являлись только блоки с камерами, которых теперь можно было подключить больше одной, соответственно ничего не мешало сделать систему безопасности единой для всей машины.

Таблица 2 – Характеристики одноплатного компьютера Jetson nano

Процессор	ARM Cortex-A57
Графический процессор	Графический Процессор NVIDIA Maxwell™
Оперативная память, ГБ	4
Bluetooth, версия	5.0
Порты для периферии USB 3.0, шт.	4
Цифровой аудио/видеовыход	HDMI 2.0
Аналоговый аудио/видеовыход	4-контактный мини-джек
Карта памяти	microSD
Порты ввода-вывода	GPIO
WiFi	802.11 b/g/n/ac, Wi-Fi адаптер
Проводная сеть	GigabitEthernet
Рабочая температура, °C	-20 ~ +50
Питание, V, A	MicroUSB 5.1, 2.5
Потребляемая мощность, Вт.	5 в режиме ожидания и 10 под нагрузкой
Габариты, мм	100 × 80 × 29

Таблица 3 – Характеристики камеры

Сенсор	IMX179AF
Разрешение матрицы, Мп	8
Частота кадров, к/с	30 в FullHD разрешении
Угол обзора, °	72
Крепление линзы	M6.5
Фокусировка, мм	Автофокус от 40 до бесконечности
Питание, мА	350
Рабочая температура, °C	-20 ~ 75
Габариты, мм	36 x 36
Длина USB кабеля, м	3



Рисунок 20 – Внешний вид компьютера Jetson Nano

Данный одноплатный компьютер специально разрабатывался для работы с тяжелыми нейросетями заточенными под обработку видео в реальном времени. После получения этого компьютера необходимо было переписать старый код для работы с новым инструментарием, здесь основной задачей стало использование этого инструментария по максимуму, иначе в переходе нет смысла. 128 ядерный процессор оправдал потраченные на себя деньги, его вычислительной мощности хватило на двукратный прирост разрешения – значит лучше качество распознавания, и прирост производительности на 5-6 кадров в секунду. Остаётся наладить работу CAN интерфейса, который необходим для связи блока системы с контроллером машины и отправки последнему команд.

Идентификатор, по которому отправляются послышки – 1805003, а отправлять необходимо послышку из 8ми байт: 1 - (наличие человека в кадре 0 или 1), 2 - (наличие человека в опасной зоне, т.е. останавливаться или ехать дальше), 3,4 - (координата человека по вертикали), 5,6 - (координата человека по горизонтали), 7,8 - (количество кадров в секунду, прошедшее время).

Для подключения периферийных устройств широкого спектра действия к одноплатному компьютеру Jenson nano, предусмотрен 40-а контактовый разъём, распаянный на материнской плате. Для начала работы с

периферийным устройством необходимо подключить нужные провода и загрузить нужный оверлей-файл прошивки для работы разъёма в требуемом режиме. Но тут возникли трудности, сначала оверлей-файл не загружался как нужно. Потом в ходе нехитрого тестирования выяснилось, что интерфейс SPI не работает, об этой проблеме писали, и многие другие пользователи на официальном форуме [27], посвященном продуктам компании NVidia. На этом этапе необходимо было решить, или возвращаться к старому проекту где нет такой проблемы, или изобретать новый способ подключения в обход неработающего. Для обхода возникшей трудности сообщения компонентов было принято решение сделать UART – CAN переходник (рисунок 21).

Основой переходника должно быть очень компактное устройство которое имело бы оба распространённых интерфейса (UART и SPI), таким устройством стал микроконтроллер для небольших творческих проектов – Arduino nano. Нужно было написать код для Arduino, чтобы он принимал посылки по 8 байт по одному интерфейсу, и отправлял по-другому. За короткое время идея получила физического воплощение, получилось отправлять байты в пин последовательного интерфейса на Arduino и получать те же значения на специальном устройстве считывателя CAN. UART – CAN переходник работал и давал паразитные временные задержки <1 мс, чем можно уверенно пренебречь.

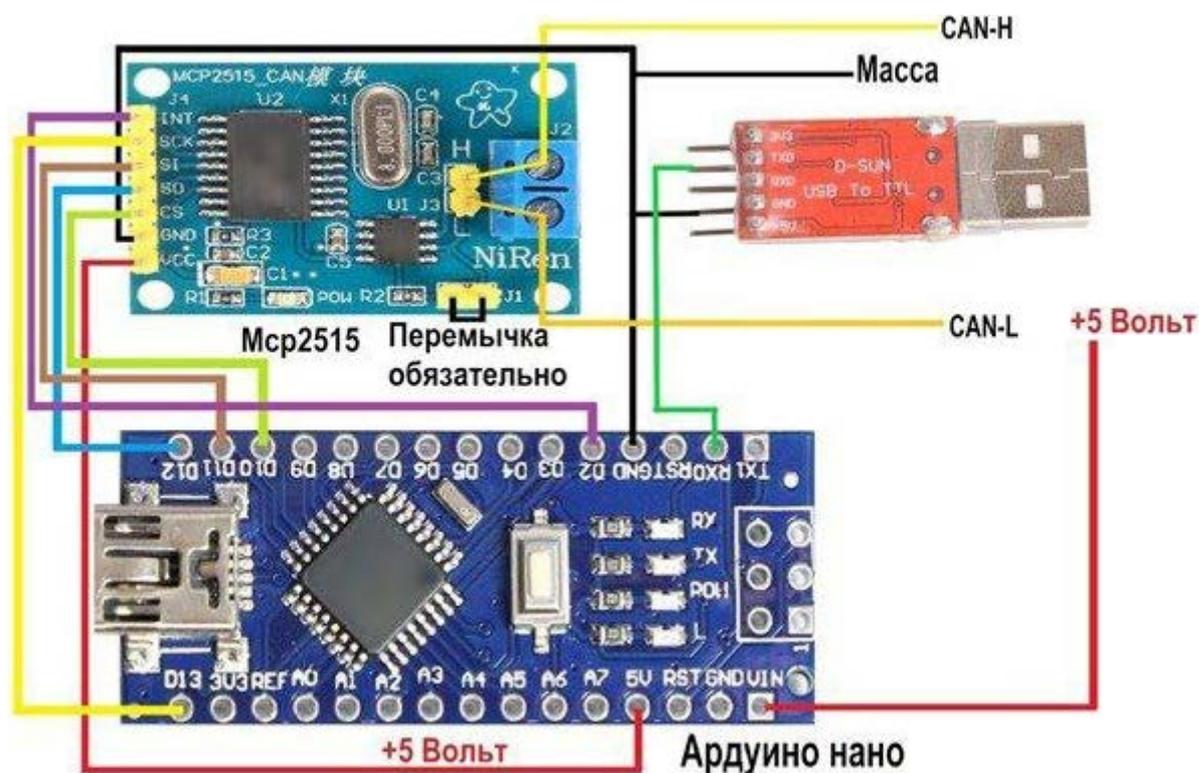


Рисунок 21 – UART-CAN переходник

Для второго прототипа было решено распечатать корпус на 3D принтере для экономии времени. Тем более т.е. была пересмотрена концепция проекта, теперь вычислительный блок не мог обходиться без активного охлаждения. Готовый корпус распечатан на 3D принтере см. рисунок 22, в специальные места вплавляются латунные втулки с резьбой М3, для крепления всего содержимого. Корпус имеет вентиляционные отверстия для входа и выхода воздуха. На пути воздуха устанавливаются специальные сеточки для абсорбции пыли. В будущем планируется лить корпус из ABS пластика или вовсе вырезать из алюминия.

Корпус вычислительного блока устанавливается в кабине машины, по специальным кабель-каналам к нему подводятся провода от всех камер системы, установленных на машине. Камеры подключены через USB-Hub см. рисунок 23 для удобства и кабель-менеджмента. Так же можно видеть, что подключены у вычислительного блока всего 3 камеры (см. рисунок 23), это сделано только из соображений экономии места на рисунке, в реальности их может быть до 8-ми штук. Камеры подключаются по длинным (до 3-ех метров)

проводам и крепятся так, чтобы суммарный угол обзора всех камер максимально покрывал слепые зоны техники. Для камер предусмотрен специальный сварной кронштейн с возможностью регулировки угла. К нему камера крепится на 4 винта.



Рисунок 22 – Распечатанный корпус второго прототипа

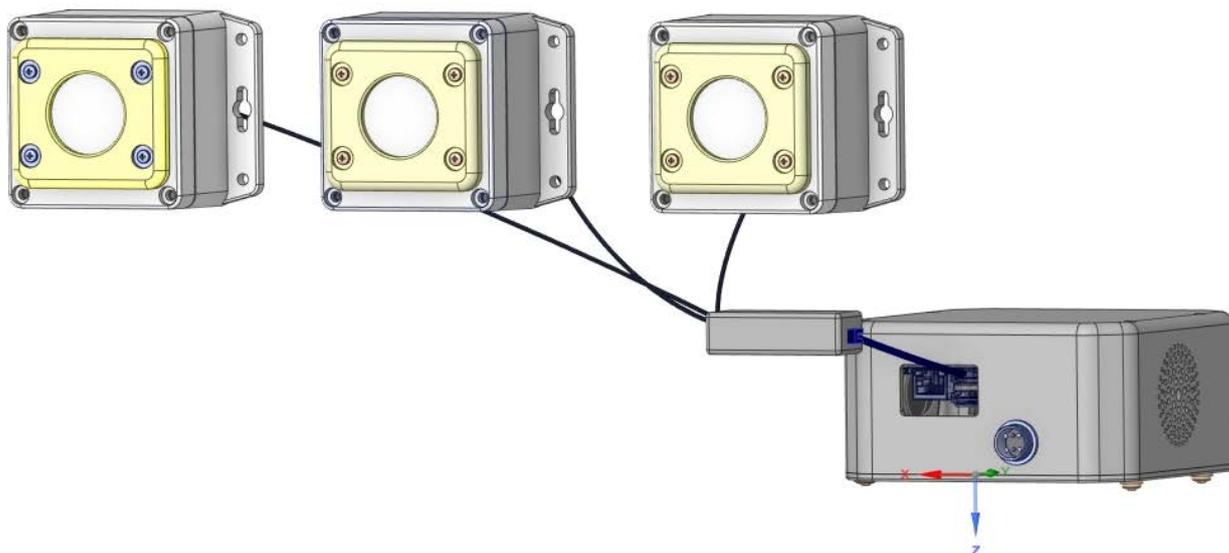


Рисунок 23 – 3D - модель готового проекта

Выводы по третьей главе

В ходе работы были получены 2 функциональных прототипа, первый прототип получился не удовлетворительным, ввиду низкой производительности, низкого качества обнаружения, излишней разрозненности системы. Однако первый прототип стал отправной точкой для реализации второго функционального прототипа на более мощной базе. Второй прототип выделяется своей производительностью и качеством обнаружения, а также вторая реализация монолитна, что не создаёт лишних проблем. По итогу получены: Вычислительный блок, содержащий одноплатный компьютер и преобразователь CAN интерфейса. И блок с камерой на длинном проводе. Камера подключается в вычислительный блок через USB.

Тестирование и анализ результатов работы при первых запусках системы безопасности персонала с применением технологии машинного зрения

Тестирование будет производиться в соответствии со стандартом ГОСТ 56920-2016 [28], согласно которому, один из вариантов тестирования программных и программно-аппаратных решений, это Основанное на требованиях тестирование. Следует обратиться ко второй главе данной ВКР (стр. 28) где в функциональных и нефункциональных требованиях, отражен сценарий тестирования системы.

Сценарий:

1. Проверка что система способна инициализировать и запоминать опасные зоны. А также что установка системы не требует специальной подготовки.
2. Проверка что система способна реагировать на появление ранее оговоренных объектов в кадре и при этом имеет совместимость со сторонним оборудованием, в частности имеет связь с контроллером бульдозера по общему интерфейсу.
3. Проверка, что система работает автоматизировано после начальной настройки, и имеет функции восстановления в случае сбоев. А также на уровне производительности не менее 15ти сканирований в секунду.
4. Удостоверение в наличии функционала по покрытию всех опасных зон вокруг техники.
5. Проверка надёжности аппаратной части системы, устойчивость к вибрациям, влаге, пыли, и низким/высоким температурам.

Для тестирования системы была организована поездка на испытательный полигон предприятия. Там постоянно находятся на обкатке бульдозеры и другие изделия предприятия. Система была установлена на бульдозер, вычислительный блок подключён к питанию в кабине, камера закреплена на специальном кронштейне снаружи машины.

Первый пункт тестирования

На рисунке 24 можно видеть интерфейс окна настройки с помощью ноутбука.

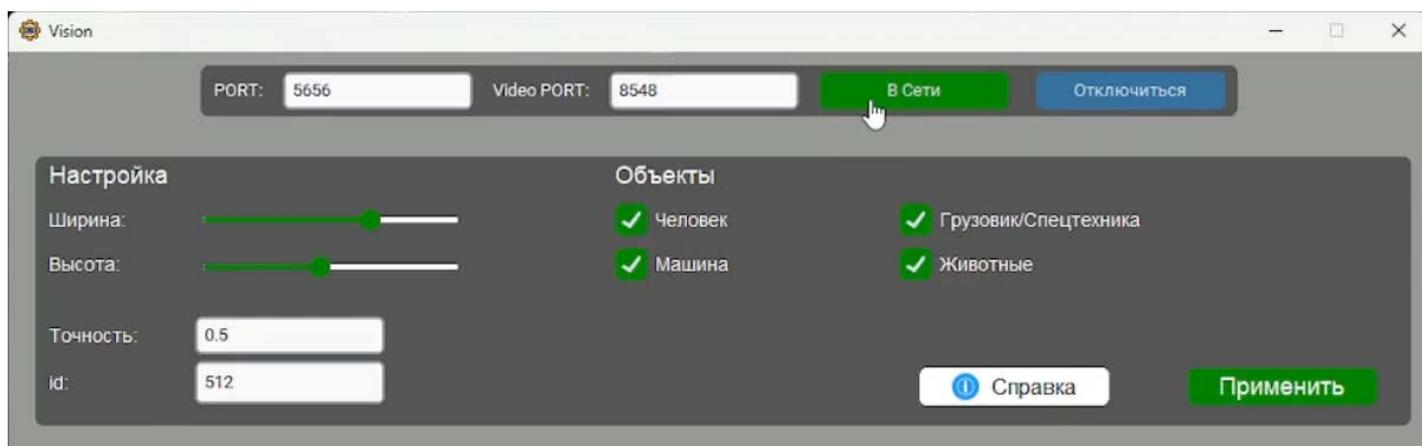


Рисунок 24 – Интерфейс системы для настройки

Программа стартовой настройки системы запускается с ноутбука в небольшом прямоугольном окне можно с помощью интуитивно понятного интерфейса произвести настройку.

Для начала работы необходимо настроить ширину и высоту опасной зоны, если в неё попадает выбранный чекбоксом справа объект, система отреагирует необходимым образом. Как можно заметить система способна реагировать на людей, машины, спецтехнику, животных. Поле точность – это характеристика уверенности для нейросети, от неё зависит качество обнаружения объектов и соответственно реагирование системы. Поле id это – идентификатор для подключения через CAN к контроллеру спецтехники. Нажав клавишу «В Сети», программа откроет окно с «взглядом» камеры.

На рисунке 25 можно видеть трапециевидную (опасную) область которую система проинициализировала и отрисовала в интерфейсе отладки.

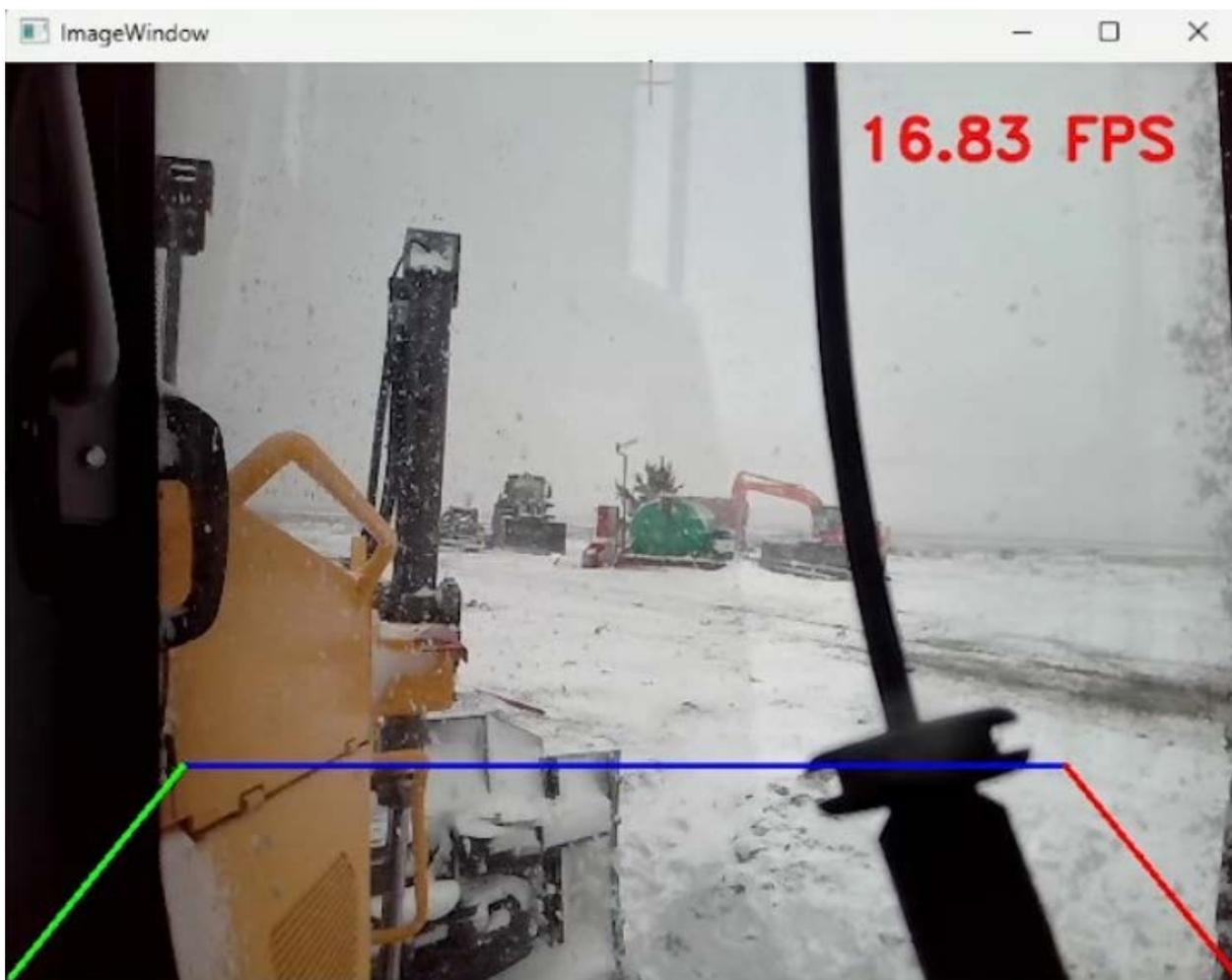


Рисунок 25 – Вид с камеры после настройки

Система запомнит значения и при последующих рабочих включениях будет работать по такой «опасной» области. Также следует заметить, что выполнить настройку системы не создало никакой трудности.

Второй пункт тестирования

Выбранные в окне программы настройки с помощью чекбоксов элементы будут определяться в кадре и классифицироваться, в зависимости от расположения этих объектов в кадре и относительно «опасной» области, система будет реагировать посылкой в контроллер.



Рисунок – 26 Вид с камеры

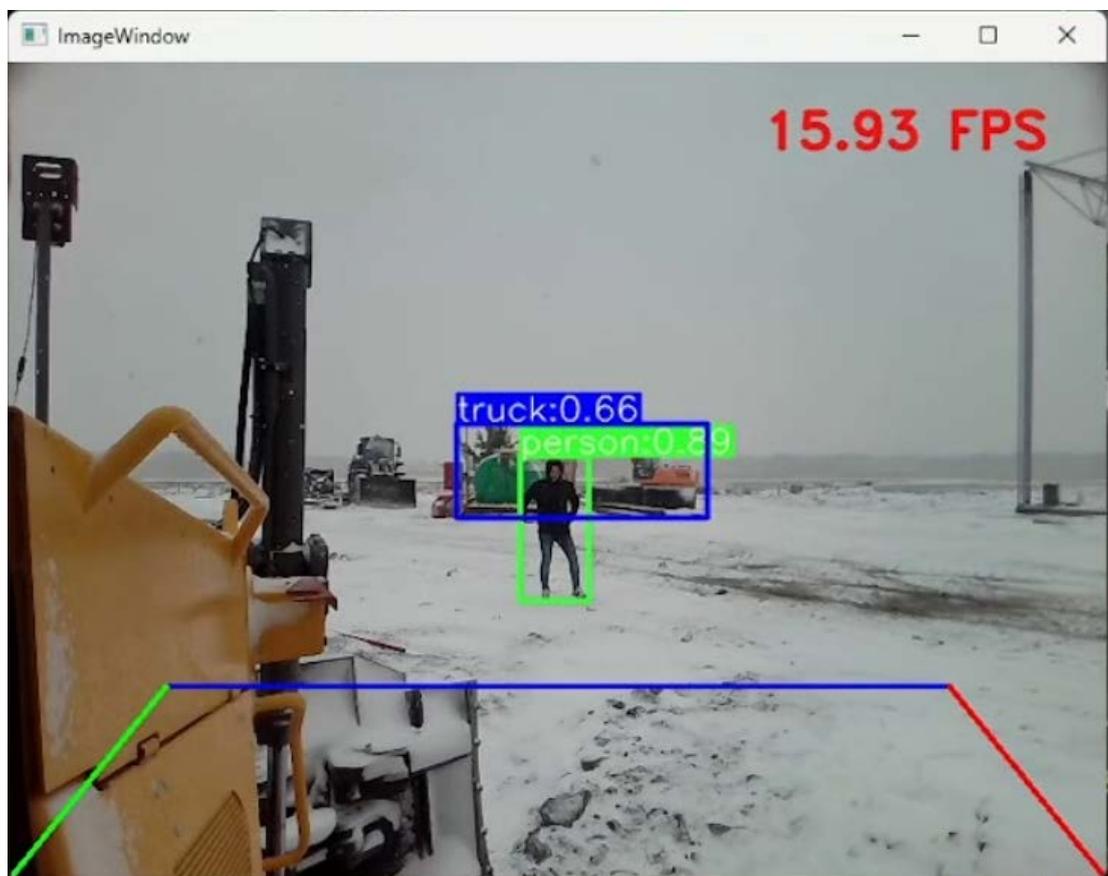


Рисунок 27 – Вид с камеры

Найденный в кадре объект (рисунки 26, 27) выделяется цветной рамкой, сверху именован распознанным объектом и коэффициентом уверенности, что это именно тот объект, который имеет в виду система. Трапеция из трёх цветных линий, это опасная зона, попадание в неё объекта приводит к срабатыванию системы, и она отправляет сообщение в контроллер техники. Её как было сказано выше, можно настраивать по высоте и ширине, а также менять форму (но это делается в основном коде программы), для настройки под задачу. Ранее заданный id для отправки управляющей посылки инициализируется при запуске системы и отправляет тестовую пустую посылку, которую контроллер получает, но никак не обрабатывает. Далее система каждые 100 мс. Будет отправлять информирующие послышки в контроллер техники, когда детектируемый объект попадёт в опасную область система отправит посылку содержащую байт тревоги, контроллер отработает его получение остановкой.

В рабочем режиме весь этот интерфейс не отрисовывается, оператор техники не получает никакой обратной связи кроме как остановки техники в, возможно, неожиданный, но важный момент.

Третий пункт тестирования

Уже проверено, что система работает автоматизировано после начальной установки. На случай возникновения сбоев, будь то программный сбой или неожиданное выключение питания, система сохраняет своё последнее состояние до проблемы и перезапускается по последним установленным настройкам.

Касательно производительности. Счётчик кадров, виден в верхнем правом углу на рисунках 25, 26 и 27. Как видно он постоянно больше 15ти и в основном держится в районе 16ти кадров в секунду.

Четвёртый пункт тестирования

Система принимает кадр с камеры с помощью функции в основном коде программы. У функции есть возможность захватывать несколько видеопотоков и объединять кадры от каждого потока в единый кадр, нейросети как основе алгоритма при таком режиме работы подаётся не один кадр, а коллаж из нескольких. Такой подход позволяет почти не потерять в производительности (на уровне 0,5 кадра) и приобрести возможность работы в широком диапазоне, в частности расширить обзор системы на несколько слепых областей вокруг техники.

Пятый пункт тестирования

Основной блок серийной системы выполнен из алюминия, внутри этого корпуса все компоненты крепятся жестко к специальным точкам через виброзащитные прокладки. Основной корпус находится в кабине техники и не подвергается воздействию влаги. Корпус вычислительного блока имеет защиту от мелкодисперсной пыли. Которая может в некотором количестве присутствовать внутри кабины.

Касаемо камер, все они закреплены внутри прочного пластмассового корпуса, защищённого от влаги и пыли по стандарту IP67, данный стандарт защиты обеспечивает устойчивость к брызгам воды под высоким давлением. Такая защита достаточна под проливным дождём и в случаях, когда технику будут мыть с применением мойки высокого давления.

Все компоненты системы подготовлены к высоким и низким температурам. Основной вычислительный блок активно охлаждаем, а в случае работы при низких температурах, обогреваем за счёт обогрева кабины.

Камеры довольно неприхотливы к температурам, они почти не греются в работе, а при низких температурах способны быстро выходить на необходимый температурный режим.

Выводы по четвёртой главе

По итогам тестирования системы безопасности по разработанному плану на основе функциональных и нефункциональных требований, система показала свою работоспособность в различных условиях, устойчивость к внешним воздействиям, соответствие всем функциональным требованиям. Так же выполнено условие простоты установки, система настраивается один раз и далее работает без стороннего вмешательства. Можно уверенно заявить, что, в ходе ВКР получена система ЧМС, обладающая автономным режимом работы, способная функционировать по главной цели. В ходе работы система эволюционировала, обрела иерархичность и в результате предстала заказчику как целостное, функциональное решение. В ходе тестирования на полигоне, система показала свою помехоустойчивость, т.к. на полигоне шел снег и была пасмурная погода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе обзора современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей исследуемую научно-техническую проблему, кратко была рассмотрена история появления искусственных нейронных сетей, их эволюция и постепенная метаморфоза из предмета любопытства исследователей в незаменимый и эффективный инструмент для решения задач параллельной обработки и мониторинга больших объёмов данных.

Сформулированы начальные требования к реализуемой в рамках ВКР системе безопасности. Перед разработчиком ставятся задачи создания компактного, недорогого, универсального и самодостаточного устройства. Подразумевается создать автоматизированную систему ЧМС с возможностью

функционирования по главной цели - предотвращение столкновений, влекущих травмы и материальные потери. Разрабатываемая в рамках ВКР система должна иметь возможность реагировать на животных и транспортные средства, иметь компактную внешнюю часть, сравнительно низкую себестоимость, способность покрывать всю опасную зону вокруг техники. Тем самым в большей степени решать недостатки своих прямых аналогов - устройств ОЗМ151 - ОЗМ171 от компании IFM.

Во второй главе была рассмотрена архитектура разрабатываемой системы безопасности. На основе анализа аналогов в предыдущей главе, беря во внимание их преимущества и недостатки, к реализуемой системе сформулированы функциональные и нефункциональные требования, а также требования к источникам входных и выходных данных. Согласно этим требованиям и учитывая специфику условий, в которых предстоит пребывать будущему устройству, разработана архитектура системы

Реализуемый в ходе ВКР программно-аппаратный комплекс системы безопасности персонала при работе на крупной строительной технике с применением технологии машинного зрения, основан на принципе работы в реальном времени. Входные данные для системы – видеопоток с разрешением 1280*720, преобразуя каждый кадр и анализируя его посредством нейросети, система сопровождает своё внимание за обнаруженными объектами, и при обнаружении попадания одного или нескольких отслеживаемых объектов в опасную область, система способна отправлять управляющие сообщения по стороннему интерфейсу связи. Выходными данными системы являются управляющие сообщения в сторонний интерфейс.

В ходе работы были получены 2 функциональных прототипа, первый не устроил заказчика ввиду низкой производительности, низкого качества обнаружения, излишней разрозненности системы. Однако первый прототип стал отправной точкой для реализации второго функционального прототипа

на более серьёзном железе. Второй прототип выделяется своей производительностью и качеством обнаружения, а также вторая реализация монолитна, что не создаёт лишних проблем. По итогу получены: Вычислительный блок, содержащий одноплатный компьютер и преобразователь CAN интерфейса. И блок с камерой на длинном проводе. Камера подключается в вычислительный блок через USB.

По итогам тестирования системы безопасности по разработанному плану на основе функциональных и нефункциональных требований, система показала свою работоспособность в различных условиях, устойчивость к внешним воздействиям, соответствие всем функциональным требованиям. Так же выполнено условие простоты установки, система настраивается один раз и далее работает без стороннего вмешательства. Можно уверенно заявить, что, в ходе ВКР получена система ЧМС, обладающая автономным режимом работы, способная функционировать по главной цели. В ходе работы система эволюционировала, обрела иерархичность и в результате предстала заказчику как целостное, функциональное решение. В ходе тестирования на полигоне, система показала свою помехоустойчивость, т.к. на полигоне шел снег и была пасмурная погода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марченко, Ю.А. Производственный травматизм в строительстве: статья / Ю.А. Марченко. – Москва: Изд-во Министерство труда и социальной защиты, 2023. – 8 с.
2. Потоцкий, Е. П. Моделирование в охране труда: учебник / Е. П. Потоцкий. – Москва: Изд-во МИСИС, 2023. – 35 с.
3. Асалханова, Т. Н. Организация производственных процессов в путевом хозяйстве с использованием информационных систем управления железнодорожным транспортом: учебно-методическое пособие / Т. Н. Асалханова, И. Г. Карпов. – Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2022. – 80 с.
4. Кудрявцев, Н. Г. Практика применения компьютерного зрения и элементов машинного обучения в учебных проектах: учебное пособие / Н. Г. Кудрявцев, И. Н. Фролов. – Горно-Алтайск: Изд-во ГАГУ, 2022. – 10 с.
5. Ерош, И. Л. Обработка и распознавание изображений в системах превентивной безопасности: учебное пособие / И. Л. Ерош, М. Б. Сергеев, Н. В. Соловьев. – СПб: Изд-во ГУАП, 2005. – 154 с.
6. Остроух, А. В. Системы искусственного интеллекта: монография / А. В. Остроух, Н. Е. Суркова. – 4-е изд., стер. – СПб: Изд-во Лань, 2024. – 188с.
7. Остроух, А. В. Основы построения систем искусственного интеллекта для промышленных и строительных предприятий: монография / А. В. Остроух. – М.: Изд-во Техполиграфцентр, 2008. – 280 с.
8. Остроух, А. В. Ввод и обработка цифровой информации: учебник для нач. проф. образования / А. В. Остроух. – М.: Изд-во Издательский центр «Академия», 2012. – 288 с.
9. Остроух, А. В. Интеллектуальные системы в науке и производстве: учебник для нач. проф. образования /А. В. Остроух, А. Б. Николаев. – Saarbrücken, Germany: Изд-во Palmarium Academic Publishing, 2012. – 312 с.

10. Суркова, Н. Е. Методология структурного проектирования информационных систем: монография / Н. Е. Суркова, А. В. Остроух. – Красноярск: Изд-во Научно-инновационный центр, 2014. – 190 с.
11. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. – <https://marlin.life.utsa.edu/mcculloch-and-pitts.html>. Дата обращения: 20.03.2024.
12. Функции активации: ступенчатая, линейная, сигмоида. – <https://robotdreams.cc/blog/327-funkciji-aktivaciji-stupinchasta-liniyna-sigmojida-relu-ta-tanh>. Дата обращения: 20.03.2024.
13. Бычков, Ю. А. Непрерывные и дискретные нелинейные модели динамических систем: монография / Ю. А. Бычков, Е. Б. Соловьева, С. В. Щербаков. – 2-е изд., стер. – СПб: Изд-во Лань, 2022. – 289 с.
14. Искусственный интеллект. Инноватика: учебное пособие / Ю. А. Антохина, М. Л. Кричевский, Ю. А. Мартынова, А. А. Оводенко. – СПб: Изд-во ГУАП, 2023. – 60 с.
15. Хижняков, Ю. Н. Алгоритмы нечеткого, нейронного и нейро-нечеткого управления в системах реального времени: учебное пособие / Ю. Н. Хижняков. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013. – 112 с.
16. Ростовцев, В. С. Искусственные нейронные сети / В. С. Ростовцев. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Изд-во Лань, 2024. – 31 с.
17. Рашка, С. Python и машинное обучение: руководство / С. Рашка; пер. с англ. А. В. Логунова. – Москва: Изд-во ДМК Пресс, 2017. – 418с.
18. Алексеев, Д. С. Технологии интеллектуального анализа данных / Д. С. Алексеев, О. В. Щекочихин. – 2-е изд., стер. – СПб: Изд-во Лань, 2024. – 176 с.
19. Колмогорова, С. С. Обработка данных алгоритмами искусственного интеллекта в системе интернета вещей / С. С. Колмогорова. – СПб: Изд-во Лань, 2023. – 104 с.

20. Описание принципа работы свёрточных нейронных сетей. – <https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way-3bd2b1164a53>.22. Дата обращения: 20.03.2024.
21. Курганович, К. А. Применение данных дистанционного зондирования земли в научной деятельности: учебное пособие / К. А. Курганович, Д. В. Кочев. – Чита: Изд-во ЗабГУ, 2021. – 132 с.
22. Куцев, Е.В. Искусственные нейронные сети: распознавание изображений / Е. В. Куцев, Е. V. Kutsev // Заметки ученого. — 2023. — № 4. — С. 29-37.
23. Технический паспорт изделия DT50-P1113. – https://cdn.sickcn.com/media/pdf/4/64/264/dataSheet_DT50-P1113_1044369_ru.pdf. Дата обращения: 08.04.2024.
24. Official datasheet O3M151. – <https://www.ifm.com/gb/en/product/O3M151?ysclid=lr4o1kpiol128038976>. Дата обращения: 08.04.2024.
25. Official datasheet O3M161. – <https://www.ifm.com/gb/en/product/O3M161?ysclid=lr4o1kpiol128038976>. Дата обращения: 08.04.2024.
26. Official datasheet O3M171. – <https://www.ifm.com/gb/en/product/O3M171?ysclid=lr4o1kpiol128038976>. Дата обращения: 08.04.2024.
27. Jetson nano and mcp2515 can module. – <https://forums.developer.nvidia.com/t/jetson-nano-and-mcp2515-can-module/112271/1>. Дата обращения: 15.07.2023.
28. ГОСТ 56920-2016. Системная и программная инженерия. Тестирование программного обеспечения. – М.: Изд-во «ООО ИАВЦ», 2017. – 47 с.