

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям

Пермского национального исследовательского
политехнического университета,

доктор технических наук, профессор

Коротаев В.Н.



21 » сентября 2021 г.

М.П.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования

«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертация «Нейро-сетевые методы и алгоритмы самообучения при обработке данных в системе автоматизации процесса сортировки бытовых отходов» выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» на кафедре «Автоматика и телемеханика».

В 2017 году соискатель Ахметзянов Кирилл Раисович окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Пермский национальный исследовательский политехнический университет по направлению 10.05.03 «Информационная безопасность автоматизированных систем», специализация «Обеспечение информационной безопасности распределенных информационных систем» с присуждением степени специалист.

В 2021 году окончил аспирантуру очной формы обучения по направлению подготовки 27.06.01 «Управление в технических системах», программа аспирантуры «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» Пермского национального исследовательского политехнического университета (период обучения: 2017-2021 г.)

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Южаков Александр Анатольевич, заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

По итогам обсуждения представленной работы принято следующее заключение.

Представленная Ахметзяновым Кириллом Раисовичем диссертация посвящена разработке методов и алгоритмов самообучения нейронной сети в автоматизированных системах управления технологическим процессом,

обладающих повышенными показателями скорости обработки в условиях ограничения вычислительных ресурсов.

1. Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в следующем:

- проведен анализ существующих систем автоматизированной сортировки бытовых отходов;
- построены критерии оптимизации гиперпараметров для указанного класса задач;
- предложен новый метод гиперпараметрической оптимизации обучения сверточной нейронной сети с заданными критериями;
- разработан оригинальный метод оптимизации вычислений математической модели для минимизации вычислительных затрат на построение математической модели;
- разработан авторский метод автоматического обучения сортировки бытовых отходов;
- внедрены предложенные методы оптимизации гиперпараметров и вычислительных затрат в реализацию сверточной нейронной сети автоматизированной системы сортировки бытовых отходов.

2. Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

- предложен состав критериев для многокритериальной оптимизации при обучении моделей классификации изображений, *отличающийся* тем, что он сформирован с учетом гиперпараметров обучения и *позволяет* повысить точность модели классификации и снизить затраты вычислительных ресурсов автоматизированной системы;
- разработан новый метод многокритериальной оптимизации обучения нейронной сети как метод многозадачной гиперпараметрической оптимизации, что *позволяет* получить оптимальные гиперпараметры для заданных с их учетом критериев;
- разработан новый метод оптимизации вычислений на основе квантования, *отличающийся* заданием нескольких критериев оптимизации, что *позволяет* уменьшить размер модели классификации без потери ее точности;
- разработан новый метод сортировки бытовых отходов, *отличающийся* автоматическим самообучением предложенной нейронной сети, что *позволяет* снизить вычислительные затраты при оперативном обучении сети на примерах (данных), представляемых организациями, производящие сортировку отходов;
- предложена автоматизированная система сортировки бытовых отходов, включающая программную реализацию нейро-сетевых методов и алгоритмов самообучения, которая не требует дополнительных капитальных вложений в

оборудование системы и обеспечивает повышение качества сортировки бытовых отходов.

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований подтверждается соответствием результатов, представленными в литературе другими исследователями, а также подтверждаются сопоставлением теоретических выводов с результатами экспериментов, полученными на физической вычислительной платформе, и результатами внедрения.

4. Практическая значимость исследования заключается в:

- разработке и программной реализации автоматизированной системы по сортировке бытовых отходов на основе предложенных методов, что позволило уменьшить общее время обучения нейронной сети в условиях ограниченных вычислительных ресурсов на 10% при испытаниях (в «Сортомате»), при сохранении точности полученной нейронной сети; повысить эффективность используемых вычислительных ресурсов АСУТП для распознавания объекта на изображении на 15% при испытаниях (в «Сортомате»);

- возможности использования затратных алгоритмов распознавания объектов в промышленных АСУТП с ресурсными ограничениями на предприятиях по переработке бытовых отходов без потери точности распознавания;

- применимости разработанных методов и алгоритмов в подсистемах компьютерного зрения систем автоматизации различных технологических процессов.

5. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем:

Содержание диссертационной работы достаточно полно отражено в 14 научных работах, из них: 7 статей в изданиях; включенных в перечень ВАК; 3 в изданиях, индексируемых в журналах из списка Scopus; 1 патент на полезную модель и 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ (общий объем публикаций 11,625 печатного листа, из них авторских 4,766 печатного листа).

Основные статьи в журналах, входящих в международные базы цитирования Scopus или Web of Science:

1. **K.R. Akhmetzyanov**, A.A. Yuzhakov, A.N. Kokoulin. Neural Network Development Based on Knowledge about Environmental Influence // Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EICoRus 2020 Jan. 27-30, 2020, pp. 218-221.

В данной работе предлагается подход к разработке оригинальной нейронной сети, а также реализация такой сети. К.Р. Ахметзяновым проведено исследование с предлагаемой нейронной сетью. Для обучения предложенной нейронной сети, которая устраняет влияние окружающей среды и сравнивает объекты без воздействий, необходимо всего несколько обучающих изображений для каждого распознаваемого класса, что устранит недостаток сверточных

нейронных сетей - необходимость в большом обучающем наборе для точного распознавания.

2. **K.R. Akhmetzyanov**, A.A. Yuzhakov. Waste Sorting Neural Network Architecture Optimization // 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), 2019, pp. 1-5.

В данной работе сети для классификации пластиковых бутылок, алюминиевых банок и других предметов. К.Р. Ахметзяновым проведены исследования с нейронной сетью, которая является частью умного контейнера, предназначенного для сортировки и сбора мусора. Также представлены результаты ранее проведенной классификации объектов с помощью экспериментов нейронных сетей AlexNet, SqueezeNet и MobileNet.

3. **Ахметзянов К.Р.**, Южаков А.А., Кокоулин А.Н., Филатов Д.М. Обработка изображений с помощью сверточных нейронных сетей для задач по сортировке мусорных отходов // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет ЛЭТИ им. В.И. Ульянова (Ленина). –2018. –Т. 1. –С. 654-657.

В данной работе рассматриваются методы сортировки отходов: сортировка с использованием NIR-датчиков, электростатическая сортировка, сортировка с использованием рентгеновских датчиков и сортировка с использованием датчика видимого света. К.Р. Ахметзяновым проведены исследования с нейронной сетью MobileNet. Представлены результаты эксперимента по классификации пластиковых бутылок.

Основные статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

4. **Ахметзянов К.Р.**, Тур А.И., Кокоулин А.Н., Южаков А.А. Оптимизация вычислений нейронной сети // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. –2020. –№ 36. –С. 117-130.

В данной работе представлены результаты по уменьшению размера файла весовых коэффициентов нейронной сети. К.Р. Ахметзяновым проведены эксперименты с различными типами квантования (квантование динамического диапазона, квантование с использованием репрезентативного набора данных, целочисленное квантование с использованием репрезентативного набора данных, квантование во float16). Показаны вычислительные блоки и изменения в архитектуре нейронной сети, которые вносит каждый из рассмотренных типов квантования. Проведен сравнительный анализ типов квантования с различными характеристиками (точность нейронной сети после применения квантования, количество времени, затрачиваемое нейронной сетью на обработку одного изображения, размер файла с весовыми коэффициентами нейронной сети). Выбран метод квантования, для которого достигается минимум оптимизационной функции.

5. Тур А.И., Кокоулин А.Н., **Ахметзянов К.Р.**, Южаков А.А., Дзыгарь А.В. Разработка и исследование модели иерархической системы распознавания объектов для оценки влияния параметров изображений на быстродействие распознавания // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. –2020. –№ 35. –С. 87-101.

В данной работе рассматриваются преимущества иерархического подхода перед стандартными подходами распознавания: уменьшение числа распознаваемых пикселей (за счёт отбрасывания участков изображения, не несущих полезной информации для процесса распознавания), уменьшение общего времени обработки изображения. К.Р. Ахметзяновым проанализированы результаты, полученные в ходе моделирования.

6. Тур А.И., Кокоулин А.Н., **Ахметзянов К.Р.**, Южаков А.А. Вопросы применения иерархических систем распознавания в системах видеонаблюдения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. –2020. –№ 34. –С. 75-89.

В данной работе предложено применение иерархического подхода в системе видеонаблюдения с функцией распознавания, сутью которого является последовательное поэтапное уточнение области распознавания объекта. Это достигается благодаря применению камеры Internet of Things (IoT) - Smart Camera (SC). К.Р. Ахметзяновым проанализированы результаты моделирования. На основании этих данных произведён расчёт усреднённых обобщённых показателей систем, использующих как стандартный, так и иерархический подход.

7. **Ахметзянов К.Р.**, Южаков А.А. Разработка нейронной сети на основе знаний о воздействиях окружающей среды // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. –2019. –Т. 21, № 3. –С. 5-13.

В данной работе предложена идея об извлечении и переносе информации о предметах, что позволит обучать нейронные сети на небольшом количестве данных. К.Р. Ахметзяновым предложен подход к построению оригинальной нейронной сети, а также вариант реализации такой сети. Подход заключается в извлечении воздействий, которые оказывает окружающая среда на любой предмет, после чего предлагаемая нейронная сеть получает предмет без каких-либо воздействий. Указаны условия проведения экспериментов с разработанной архитектурой нейронной сети, а также представлены результаты этих экспериментов.

8. **Ахметзянов К.Р.**, Южаков А.А. Оптимизация архитектуры нейронной сети для сортировки групп мусора // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. –2019. –№ 7. –С. 62-70.

В данной работе представлены результаты проведенных экспериментов по разработке нейронной сети для классификации пластиковых бутылок и алюминиевых банок. К.Р. Ахметзяновым проведены эксперименты и разработана

нейронная сеть. Приведено описание оригинальной идеи нейронной сети, а также поиска оптимальной архитектуры этой нейронной сети как ручным перебором, так и автоматически.

9. **Ахметзянов К.Р.**, Южаков А.А. Увеличение точности сверточной нейронной сети за счет возрастания количества данных // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. –2018. –№ 7. –С. 14-19.

В данной работе рассмотрен один из способов увеличения точности распознавания сверточной нейронной сети. К.Р. Ахметзяновым проведен эксперимент обученной сети на 700 фотографиях бутылок, банок и прочих предметов, которые сфотографированы на разных расстояниях от камеры, под разными углами наклона, на разных фонах, при разных освещенностях. Показано, что при проверке обученной сети на этом наборе было достигнуто 58% правильной классификации; после добавления в обучающую выборку фотографий, полученных после случайного набора измененного изображения, процент правильной классификации увеличился до 78%.

10. **Ахметзянов К.Р.**, Южаков А.А. Сравнение сверточных нейронных сетей для задач сортировки мусорных отходов // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. –2018. –№ 6. –С. 27-32.

В данной работе показан процесс выбора сверточной нейронной сети для микрокомпьютера RaspberryPi. К.Р. Ахметзяновым проведены эксперименты по выбору нейронной сети среди AlexNet, SqueezeNet и MobileNet. Для обучения сети используется перенос знаний (transfer learning), которое делится на два подхода: замена классификатора и переобучение сверточной нейронной сети и тонкая настройка весов предварительно обученной сети. Приведено время работы нейронных сетей на компьютере и на RaspberryPi. Эксперименты показывают, что сеть MobileNet имеет самую высокую точность, а SqueezeNet имеет минимальное время работы на одно изображение на RaspberryPi.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и патенты на изобретения:

11. № 188755 Россия, МПК G07F 11/00 (2006.01) Автомат по приёму тары (патент на полезную модель) / Тур А.И., Южаков А.А., **Ахметзянов К.Р.**, Кокоулин А.Н // Бюл. № 12.

12. № 2019664159 Программа бинокулярного зрения с учетом расстояния до объекта (свидетельство на программу для ЭВМ) / Тур А.И., Южаков А.А., **Ахметзянов К.Р.**, Кокоулин А.Н.

6. Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите.

Представленная Ахметзяновым Кириллом Раисовичем диссертационная работа является прикладным научным исследованием в области автоматизации технологических процессов с применением систем компьютерного зрения, имеет

важное научное, фундаментальное и прикладное значение для развития данного направления науки.

Указанная область исследования соответствует пунктам **8, 15** паспорта научной специальности 05.13.06 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям):

п. 8. Формализованные методы анализа, синтеза, исследования и оптимизация модульных структур систем сбора и обработки данных в АСУТП, АСУП, АСТПП и др.

п. 15. Теоретические основы, методы и алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач при построении АСУ широкого назначения (АСУТП, АСУП, АСТПП и др.).

7. Диссертационная работа Ахметзянова Кирилла Раисовича отвечает требованиям, установленным п. 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.: автор, Ахметзянов Кирилл Раисович, корректно ссылается в тексте диссертации на авторов и (или) источники заимствования материалов, в том числе при использовании результатов научных работ, опубликованных лично или в соавторстве.

Диссертация «Нейро-сетевые методы и алгоритмы самообучения при обработке данных в системе автоматизации процесса сортировки бытовых отходов» **Ахметзянова Кирилла Раисовича** рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 05.13.06 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям).

Заключение принято на заседании кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета «20» сентября 2021 г. (протокол № 3).

Присутствовало на заседании 34 чел. Результаты голосования: «за» - 34 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0

Заместитель заведующего кафедрой
«Автоматика и телемеханика»,
доктор технических наук, доцент



_____ / Фрейман В.И./