

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор
Томского государственного
университета систем управления и
радиоэлектроники,

д.т.н., профессор

 Ю.А. Шурыгин
21» 10 2021 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»
на диссертационную работу Ахметзянова Кирилла Раисовича
«Нейро-сетевые методы и алгоритмы самообучения при обработке данных в системе автоматизации процесса сортировки бытовых отходов»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в промышленности)

Актуальность темы

В последнее время наблюдается тенденция увеличения накопления бытовых отходов на полигонах. Одним из способов уменьшения накопления отходов является переработка отходов. Для каждого вида мусора применяется своя технология переработки, из-за чего необходимо сортировать отходы. Существующие решения по автоматизированной сортировке отходов дороги и имеют низкую эффективность. На предприятиях по сортировке и переработке отходов применяют различные датчики, позволяющие разделить разные категории мусора. Многими авторами рассматриваются датчики, которые являются сложными в установке и настройке. Применение дешевого и универсального датчика с использованием алгоритмов автоматического обучения модели, выполняющей точную классификацию отходов по данным с этих датчиков, позволило бы упростить и удешевить процесс сортировки бытовых отходов. Разработка специализированной нейронной сети для этих целей обеспечивает возможность уменьшить требования к вычислительным ресурсам, увеличить точность распознавания бытовых отходов и сократить время на обработку изображений.

В связи с этим диссертационная работа Ахметзянова К.Р. «Нейро-сетевые методы и алгоритмы самообучения при обработке данных в системе автоматизации процесса сортировки бытовых отходов», посвященная разработке методов автоматизации самообучения моделей сортировки бытовых отходов при ограничении вычислительных ресурсов является несомненно актуальной.

Общая характеристика содержания работы

Во введении представлено описание текущего состояния дел в области методов компьютерного зрения для классификации изображений. Описаны основные проблемы производственных комплексов сортировки бытовых отходов, возникающие при реализации системы распознавания с применением компьютерного зрения, осуществлена постановка цели и задач исследования.

В первой главе анализируется ключевая информация о способах сортировки бытовых отходов с использованием различных типов датчиков. Рассмотрены нейро-сетевые методы сортировки на основе анализа изображения. В качестве датчика выбран оптический датчик (ключевая особенность – низкая стоимость), а в качестве метода обработки изображений с датчиков определены сверточные нейронные сети.

Во второй главе описываются результаты проведенных исследований с различными сверточными нейронными сетями, требующие небольшого количества вычислительных ресурсов (AlexNet, SqueezeNet и MobileNet). В ходе проведенных исследований AlexNet достигла точности классификации отходов при обучении всей сети 98,44%, SqueezeNet – 98,64%, MobileNet - 98,39%. При проверке этих нейронных сетей на другой выборке тестирования точности распределились следующим образом (проводилось обучение всей сети): AlexNet – 90%, SqueezeNet – 87%, MobileNet – 93%. Так как на этой выборке MobileNet достигла наибольшей точности, то для нее выполнялись все дальнейшие исследования. Для выбранной сети MobileNet автором предложен новый метод аугментации для увеличения точности. Наибольшая точность классификации (78%) достигнута при применении поворота объекта на случайный угол от 0° до 60°, что обеспечило увеличение точности классификации пластиковых бутылок и алюминиевых банок на 20%.

В третьей главе осуществлено сравнение известных методов гиперпараметрической оптимизации. В результате анализа существующих подходов разработан оригинальный метод гиперпараметрической оптимизации,

который позволяет производить оптимизацию одновременно как для нескольких задач, так и для нескольких критериев. Предложены критерии оптимизации для классификации бутылок и алюминиевых банок. Приведены результаты выбора оптимальных гиперпараметров для предложенных критериев оптимизации, обеспечивающие достижение компромисса между скоростью обучения нейронной сети и точностью распознавания бытовых отходов. Проведен анализ различных методов оптимизации вычислений нейронной сети, в ходе которого выбрано квантование. Разработан метод оптимизации вычислений на основе квантования, который позволяет задавать критерии оптимизации (размер файла модели, точность распознавания и время на обработку изображения). В результате применения предложенных методов (гиперпараметрическая оптимизация и оптимизация вычислений) достигнуто уменьшение размера файла модели на 50% без потери точности и скорости работы нейронной сети.

В четвертой главе описывается внедрение предложенных в работе подходов и методов в устройство по предварительной сортировке отходов «Сортомат». Результаты внедрения подтверждают результаты моделирования, представленные во второй и третьей главах. Разработанный метод оптимизации вычислений после внедрения в «Сортомат» увеличил скорость обучения нейронной сети на 10%. Внедрение метода автоматизации обучения нейронной сети позволило повысить скорость распознавания отходов в «Сортомате» на 15%. Такое увеличение скорости достигнуто для микрокомпьютера RaspberryPi, имеющий ограниченные вычислительные ресурсы.

В заключении представлены основные результаты и выводы диссертации, которые полностью отражают научные достижения автора.

В приложениях представлены оценочная матрица точности и эпохи обучения нейронной сети, приведены примеры построения гиперпараметров, акты внедрения, патент на полезную модель и свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Научная новизна диссертационной работы

Научная новизна результатов работы заключается в следующем:

1. Предложен состав критериев для многокритериальной оптимизации при обучении моделей классификации изображений, позволяющий повысить точность модели классификации и снизить затраты вычислительных ресурсов

автоматизированной системы с ограниченными вычислительными мощностями.

2. Разработан метод многокритериальной оптимизации гиперпараметров нейронной сети при решении задачи анализа изображений в автоматизированных системах сортировки бытовых отходов, позволяющий получить оптимальные гиперпараметры для заданных критериев.

3. Предложен метод оптимизации вычислений с использованием квантования, позволяющий уменьшить размер файла модели классификации без потери ее точности, что позволяет решать задачу в условиях ограничений на объем хранимой и передаваемой информации, существующих в автоматизированных системах сортировки мусора.

Достоверность и обоснованность полученных результатов

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается удовлетворительным совпадением результатов моделирования и экспериментальных исследований, проведенных на физическом испытательном стенде, а также апробацией разработанных методов в устройство по предварительной сортировке отходов «Сортомат». Представленные в диссертации результаты исследований совпадают с результатами авторов опубликованных по схожей тематике.

По результатам работы опубликованы 14 статей, семь из которых – в журналах, входящих в перечень ведущих журналов и изданий, рекомендуемых ВАК, три – в международных изданиях, индексируемых в базах SCOPUS, а также получен один патент на полезную модель и одно свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Новизна и приоритет автора подтверждаются публикациями и докладами на всероссийских и международных конференциях. Опубликованные работы в полной мере отражают содержание диссертации.

Практическая значимость полученных автором результатов

Разработанный программный комплекс в составе устройства по предварительной сортировке отходов «Сортомат», включающий нейро-сетевые методы и алгоритмы самообучения, внедрен и используется в торговых центрах, магазинах и автозаправках, не требует дополнительных капитальных вложений в оборудование системы и обеспечивает повышение качества сортировки бытовых отходов. В практическом плане, предложенные автором

методы позволяют уменьшить количество требуемых ресурсов при создании подсистемы компьютерного зрения в процессе сортировки бытовых отходов. Это позволяет применять методы компьютерного зрения в системах с ресурсными ограничениями для запуска ресурсоемких алгоритмов в других приложениях.

Оформление и стиль изложения

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, списка литературы и приложений. Полный объем диссертации составляет 121 страницу, из которых 96 страниц занимает основной текст диссертации, включающий 21 рисунок и 15 таблиц. Диссертация написана на профессиональном техническом языке и в достаточной мере сопровождается рисунками и таблицами. Приводимые автором факты и цитаты имеют корректные ссылки на первоисточники. Название, форма и содержание диссертационной работы полностью соответствует специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в промышленности).

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации и полученные в ней результаты.

Замечания

1. В разделе 2.2 представлены результаты проведения экспериментов по выбору сверточной нейронной сети для трех архитектур: AlexNet, SqueezeNet и MobileNet, разработанных и представленных с 2012 по 2017 гг. Для обоснованного выбора архитектуры нейронной сети необходимо провести сравнение и с другими, более современными архитектурами нейронных сетей, особенно с учетом динамики их развития.

2. После выбора архитектуры нейронной сети проводится ряд экспериментов по увеличению точности этой сети. В качестве методов увеличения точности выбраны аугментация и гиперпараметрическая оптимизация. Отсутствует обоснование выбора именно этих методов и упущение, в частности, такого классического подхода как построение ансамблей.

3. При описании предлагаемого метода оптимизации вычислений нейронной сети предлагаются критерии оптимизации (точность нейронной

сети, размер файла модели и скорость обработки изображения). Обоснование выбора именно таких критериев отсутствует.

4. При моделировании для оценки времени подбора параметров делается предположение о линейной зависимости времени перебора от количества комбинаций гиперпараметров N_{params} (стр. 66, формула 3.15). Однако на следующих страницах и графиках (стр. 68, 69, рис. 3.3 и далее) N_{params} меняется на количество параметров (не комбинаций). При этом характер зависимости не меряется и остается линейным, что не является верным, т.к. характер зависимости количества комбинаций параметров от числа самих параметров является экспоненциальным.

5. В первом пункте практической значимости идет речь об «... уменьшении общего времени обучения нейронной сети в условиях ограниченных вычислительных ресурсов...», с другой стороны, согласно главе 4, стр. 83, «Обучение производится на облачных вычислительных мощностях на видеокарте Nvidia Tesla K80», что явно не относится к ограниченным вычислительным ресурсам. Не понятно как эти части соотносятся между собой. Описание дообучения обученной ранее нейронной сети на практике в условиях именно **ограниченных** ресурсов и его количественные характеристики для решаемой задачи как на схемах, так и в тексте главы 4 отсутствуют.

6. В разделе 3.2 предлагается метод оптимизации вычислений на основе квантования. Для демонстрации эффективности предлагаемого подхода выбраны несколько методов. Не обоснован выбор именно этих методов для уменьшения объема вычислений и потребляемых ресурсов для нейронной сети.

Указанные замечания не снижают общего положительного впечатления от проделанной работы и полученных результатов.

Заключение

Диссертационная работа Ахметзянова Кирилла Раисовича «Нейро-сетевые методы и алгоритмы самообучения при обработке данных в системе автоматизации процесса сортировки бытовых отходов» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи разработки методов и алгоритмов самообучения для сортировки бытовых отходов, имеющей важное значение для автоматизации технологических процессов.

Диссертация выполнена на высоком научном и техническом уровне с использованием современных инструментальных средств и методик, а основные выводы достаточно обоснованы и подтверждены результатами внедрения. Диссертационная работа соответствует специальности 05.13.06, требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а также требованиям п. 9 - п.12 «Порядка присуждения ученых степеней в ПНИПУ», а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 — Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в промышленности).

Отзыв на автореферат и диссертацию обсужден и утвержден на расширенном заседании кафедры Комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем (КИБЭВС) «19» октября 2021 г., протокол № 9.

Зав. каф. КИБЭВС, д.т.н., проф.

Ученый секретарь каф. КИБЭВС,
к.т.н., доцент, доцент каф. КИБЭВС

ms

 Шелупанов А.А.

— Костюченко Е.Ю.

Электронная почта: saa@tusur.ru; контактный телефон: +7 (3822) 90-71-55; федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», 634045, г. Томск, пр. Ленина 40.