

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 04.93'12

Калоша
Святослав Олегович

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ КЛАССИФИКАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ
ОБЪЕКТОВ РЕАЛЬНОГО МИРА НА
ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание академической степени
магистра

по специальности 1-40 80 05 – Программная инженерия

Научный руководитель:
Нестеренков С. Н.
к.т.н., доцент

Минск 2021

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Проблемы загрязнения окружающей среды и перехода к экономике замкнутого цикла крайне актуальны в настоящее время. Рост населения и увеличение объемов производства товаров массового потребления также приводит к росту количества муниципального мусора, попадающего в окружающую среду. Решение этих проблем сложно представить без переработки мусора, неотъемлемой частью которого является его сортировка. В разных странах мира используются различные подходы к сортировке и переработке мусора, однако можно выделить два основных подхода: ручная сортировка бытового мусора и сложные сортировочные промышленные линии. Недостатком обоих подходов является низкая экономическая мотивированность населения, а также отсутствие возможности разделять мусор на большое количество категорий с более коротким циклом переработки.

Использование моделей машинного обучения для решения задачи классификации бытового мусора могло бы позволить преодолеть такие ограничения. За последние двадцать лет было разработано большое количество модельных классификаторов. В силу доступности большого разнообразия сенсорных устройств, в особенности оптических камер, позволяющих получать графические изображения объектов, в настоящее время такие классификаторы активно применяются в том числе и для распознавания физических объектов реального мира. Исследования возможности применения таких моделей для разделения мусора ускорились с развитием более сложных архитектур нейронных сетей. В то же время предложенные на текущий день решения либо основаны на использовании подходов, разделяющих мусор на две категории: биологически разлагаемый и биологически не разлагаемый, и использующих специализированные сенсоры, либо на использовании глубоких сверточных сетей, обученных на больших массивах графических изображений, и сильно склонных к переобучению. В то же время, если рассмотреть процесс сортировки мусора человеком и механизмы сложных промышленных линий, то можно сделать вывод, что основными факторами для принятия решения о классе объекта мусора являются его внешний вид, объем и масса. Создание модели машинного обучения, способной выделить и обучиться на таких признаках должно уменьшить склонность к переобучению, при этом увеличив точность классификации.

Однако, реализация такого решения сопряжена с рядом проблем. Как правило, модели машинного обучения, и, в частности, нейросети, требуют больших массивов данных для обучения. Существуют большие наборы размеченных изображений множества физических объектов реального мира, однако они не размечены на категории, которые могут быть использованы при сортировке мусора. Проблема усугубляется тем фактом, что не существует наборов

данных, включающих в себя и массу этих объектов. Наличие дополнительного изображения объекта с другого ракурса также моделям эффективнее выделять его пространственные признаки. Однако, как и в случае с массой, не существует больших наборов данных с изображениями физических объектов с разных ракурсов, которые могут быть использованы для обучения нейронных сетей или других моделей машинного обучения.

Таким образом, необходимо исследовать возможность построения модели машинного обучения по классификации физических объектов реального мира, использующей их изображения с нескольких ракурсов и значение массы, на примере решения задачи по разделению мусора на несколько категорий. В процессе исследования необходимо рассмотреть следующие вопросы:

- обзор современных моделей машинного обучения по классификации физических объектов реального мира и их приложений для разделения мусора;
- определение формата данных для обучения, их сбор и анализ;
- построение моделей классификаторов, их обучение с учетом малых размеров выборки, сравнительный анализ.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Объектом исследования является молодая и динамически развивающаяся область научного знания, основной объём публикаций которой приходится на последнее десятилетие в момент начала работы. Количество различных приложений для машинного обучения стремительно растёт, а применение различных моделей машинного обучения является неотъемлемой составляющей дальнейшего развития информационного общества.

Предмет исследования также относится к остросоциальной проблеме загрязнения окружающей среды и перехода к экономике замкнутого цикла. Для экономики стран, в меньшей мере реализовавших отдельный сбор мусора и цикл его переработки, данное исследование обладает высокой ценностью.

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка моделей и алгоритмов машинного обучения по классификации физических объектов реального мира, а также программного и аппаратного обеспечения, для реализации решения автоматического разделения бытового мусора.

Для достижения поставленной цели необходимо решить *следующие задачи*:

1. Провести анализ современных моделей по классификации физических объектов реального мира и моделей по классификации мусора, в частности.

2. Спроектировать и изготовить специализированное устройство для фиксации характеристик физических объектов реального мира.

3. Собрать, проанализировать и подготовить к обучению набор данных для объектов твёрдых бытовых отходов.

4. Разработать и провести сравнительный анализ моделей машинного обучения по классификации бытового мусора.

Объектом исследования является машинное обучение.

Предметом исследования являются модели и алгоритмы машинного обучения по классификации твёрдых бытовых отходов.

Основной *гипотезой*, положенной в основу диссертационной работы, является возможность создания моделей машинного обучения, эффективно классифицирующих физические объекты реального мира используя их расширенный набор характеристик, таких как внешний вид с разных ракурсов и значение массы.

Новизна полученных результатов

В результате проведённого исследования было впервые получено специализированное устройство для одновременной фиксации изображений и массы физического объекта. Также по результатам работы была предложена качественно новая архитектура нейронной сети, классифицирующая твёрдые бытовые отходы по трём изображениям и значению массы.

Положения, выносимые на защиту

1. Современные модели машинного обучения по классификации физических объектов реального мира, их применение для сортировки бытового мусора.

2. Специализированное устройство для фиксации характеристик физических объектов реального мира как воспроизводимый, масштабируемый и близкий к условиям эксплуатации способ формирования обучающего набора данных.

3. Архитектура гибридной модели машинного обучения по сортировке твёрдых бытовых отходов по трём графическим изображениям и значению массы, а также подход к её обучению.

Апробация результатов диссертации

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на 57-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР по направлению «Компьютерные системы и сети» в секции «Программное обеспечение информационных технологий» (Минск, Беларусь, 2021).

Опубликованность результатов диссертации

По теме диссертации опубликовано 3 печатные работы в рецензируемых сборниках трудов и материалов международных конференций.

Структура и объем диссертации

Структура диссертации обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из перечня условных обозначений и терминов, общей характеристики работы, введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников, списка публикаций автора и приложений. Общий объем работы составляет 84 страниц, из которых основного текста – 46 страниц, 32 рисунков на 12 страницах и 7 таблиц на 2 страницах, список использованных источников из 62 наименований на 5 страницах и 7 приложений на 19 страницах.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертации представлен анализ предметной области, выявлены основные существующие проблемы в рамках тематики исследования, показаны направления их решения. В первом разделе главы дано введение в понятие свёрточной нейронной сети. Во втором разделе изложены результаты обзора ранних моделей машинного обучения по классификации мусора. В третьем разделе изложены основные проблемы построения таких моделей, связанные с обучающей выборкой. В четвёртом разделе дан краткий обзор современных свёрточных нейросетей. В пятом разделе описаны самые последние применения машинного обучения для классификации твёрдых бытовых отходов. Глава завершается краткими выводами, дополнительно обосновывающими исходные цели работы, а также влияющими на дальнейшее исследование.

Вторая глава посвящена выработке требований к специализированному устройству для фиксации характеристик физических объектов реального мира, проектированию его корпуса, программного и аппаратного обеспечения, а также его изготовлению. В первом разделе главы описаны основные требования и ограничения к процессу сбора данных и к устройству для сканирования физических объектов реального мира. Во втором разделе описано проектирование корпуса, программного и аппаратного обеспечения устройства. В третьем разделе описан процесс изготовления устройства. Результаты всей главы описаны в четвёртом разделе.

В третьей главе описан подход по анализу данных, собранных в процессе эксплуатации изготовленного устройства, а также подготовка этого набора для обучения моделей-классификаторов.

В четвёртой главе приведён сравнительный анализ разных архитектур моделей машинного обучения по классификации бытового мусора, а также предложена архитектура, наиболее подходящая для решения данной задачи и методика её построения и обучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ключевым результатом данной диссертации является предложенная архитектура гибридной модели машинного обучения по сортировке твёрдых бытовых отходов GreenNet. Помимо самой архитектуры высокую научную ценность представляют методика её построения, а также выявленные в результате сравнительного анализа закономерности. Полученный опыт может быть также применен и при построении моделей машинного обучения по классификации физических объектов реального мира вне контекста рассмотренной в диссертации практической задачи.

Также в работе предложен подход к анализу обучающей выборки и ее балансировке. В частности, в диссертации предложено анализировать выборку не только по долям, которые в выборке занимает каждый класс, но и по распределению признаков в рамках каждого класса. В результате такого анализа был продемонстрирован метод по разделению исходных классов выборки на подклассы, позволяющий улучшить характеристики обучающего набора данных.

Кроме того, был разработан проект устройства, позволяющего формировать наборы данных для обучения сложных моделей по классификации физических объектов реального мира в воспроизводимых и контролируемых условиях. Сконструированное устройство было опробовано в эксплуатации и использовалось для формирования обучающей выборки для дальнейших исследований.

Обученные модели также могут найти практическое применение. Внедрение таких моделей на промышленные линии по переработке твёрдых бытовых отходов может позволить получить средства высокоточной интеллектуальной сортировки мусора в промышленности. Преимуществом использования такой модели является возможность создания специализированных коротких циклов по переработке отходов. А в совокупности с методами онлайн обучения модели, количество классов и точность классификации моделей предложенной архитектуры GreenNet будет увеличиваться, уменьшая потребность в дальнейшем контроле процесса человеком.

Проект разработанного устройства для сканирования физических объектов может также быть применён для разработки устройств, сортирующих мусор в домашних условиях или разработки автоматизированных мусорных контейнеров, используемых муниципальными службами. Применение подобных технологий может оказать положительное влияние на развитие экономики замкнутого цикла, а также открыть возможности построения систем переработки мусора с позитивной экономической мотивацией населения.

В то же время, полученные результаты ставят новые вопросы и открывают дальнейшие пути исследований. Так, например особый интерес представляет создание более сложных гибридных моделей машинного обучения, исполь-

зующих большее количество характеристик физических объектов реального мира. Вместе с тем это потребует идальнейшего развития устройства по фиксации этих характеристик. Важным является и создание моделей с вниманием, способных выделять и классифицировать один объект из множества, что сопряжено с проблемой получения других их признаков объекта, таких как его масса.

Кроме этого, необходимо продолжить исследование гибридных моделей на увеличенном наборе данных. В совокупности с появлением новых характеристик эти исследования сопряжены с применением более сложных методов анализа обучающей выборки, таких как кластерный и факторный анализ.

Создание более сложных гибридных моделей и алгоритмов по классификации физических объектов реального мира, а также внедрение их в эксплуатацию на различных уровнях жизненного цикла твёрдых бытовых отходов являются основными целями дальнейших исследований автора диссертации.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Калоша С.О. Использование технологии контейнеризации для дистанционного обучения по ИТспециальностям / С.О. Калоша, С.Н. Нестеренков // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века : материалы XI Междунар. науч.-метод. конф. (Республика Беларусь, Минск, 12–13 декабря 2019 года) / редкол. : В. А. Прытков [и др.]. – Минск : БГУИР, 2019. – С. 128–130.

2. Калоша С.О. Технология EthernetoverUSB как основа вычислительного кластера RaspberryPi / С. О. Калоша, С. Н. Нестеренков // Информационные технологии и системы 2020 (ИТС 2020) = Information Tehnologies and Systems 2020 (ITS 2020) : материалы междунар. науч. конф., (Республика Беларусь, Минск, 18 ноября 2020 года редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2020. – С. 38–40.

3. Калоша С.О. Модель машинного обучения для сортировки твердого бытового мусора / С.О. Калоша // Электронные системы и технологии: сборник материалов 57-й научной конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск, 19–23 апреля 2021 г. / редкол.: Д. В. Лихачевский [и др.]. – Минск: БГУИР, 2021.