

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор Московского государственного
университета имени М. В. Ломоносова,
доктор физико-математических наук, профессор



Федянин А.А.

04.04. 2022 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования**

**«Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»
факультет вычислительной математики и кибернетики
кафедра математических методов прогнозирования на диссертацию Грабового
Андрея Валериевича на тему «Априорное распределение параметров в задачах
выбора моделей глубокого обучения», представленную на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики»**

Актуальность темы

В работе А.В. Грабового исследуется проблема снижения избыточно высокой размерности пространства параметров при выборе моделей глубокого обучения. Предлагается метод снижения размерности, основанный на использовании информации об априорном распределении параметров модели-ученика и об апостериорном распределении параметров модели-учителя.

Исследуемая задача является актуальной задачей в связи с ростом параметров в моделях глубокого обучения. Увеличение числа параметров, необходимое для повышения качества аппроксимации, влечет повышение вычислительной сложности алгоритмов оценки параметров модели. Снижение размерности пространства параметров моделей глубокого обучения при незначительной потере качества позволит использовать модели глубокого обучения на устройствах с низкой производительностью, в частности, на мобильных устройствах.

Содержание

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав и заключения. Во введении приводится актуальность рассматриваемой задачи, поставлены цели и задачи, перечислены основные выносимые на защиту положения, установлена

научная новизна, теоретическая и практическая значимость, приведена достоверность результатов, перечислены основные публикации по теме диссертации.

В первой главе введены основные понятия, поставлены задачи выбора априорного распределения параметров моделей машинного обучения. Проанализированы современные методы дистилляции и привилегированного обучения. Проанализированы методы задания порядка на множестве параметров нейросетевых моделей.

Во второй главе предложены методы обобщения дистилляции и привилегированного обучения на основе вероятностного подхода. Введены вероятностные предположения, описывающие дистилляцию моделей. В рамках данных вероятностных предположений проанализированы модели для задачи классификации и регрессии. Результат анализа сформулирован в виде соответствующих *теорем об эквивалентности*.

В третьей главе предложен байесовский метод для дистилляции моделей глубокого обучения на основе вариационного вывода. Дистилляция основывается на задании априорного распределения параметров модели ученика. Результаты анализа механизма выравнивания сформулированы в *теоремах о виде априорного распределения*.

Четвертая глава посвящена методам задания априорного распределения параметров локальных моделей в задаче обучения смеси экспертов. Рассмотрен подход задания гиперпараметров априорного распределения на основе экспертной информации о рассматриваемой задаче.

В пятой главе предложены методы введения отношения порядка на множестве параметров аппроксимирующих моделей. Введены вероятностные предположения, в рамках которых решается поставленная задача. Предложен способ задания порядка на основе метода Белсли для анализа мультиколлинеарности параметров при обучении моделей глубокого обучения.

В шестой главе рассматриваются примеры прикладных задач. Показывается, что задание экспертной информации в виде гипотезы порождения данных и класса аппроксимирующих моделей позволяет оценивать достаточный объем обучающей выборки.

Достоверность результатов

Теоретические результаты диссертационной работы А. В. Грабового сформулированы в виде утверждений и доказанных диссертантом теорем. Проведена экспериментальная проверка методов на реальных и синтетических данных. Положения и выводы, сформулированные в диссертации, получили квалифицированную апробацию на международных и российских конференциях и семинарах. Основные результаты по теме диссертации изложены в шести работах в рецензируемых научных журналах. Вычислительные эксперименты опубликованы автором в открытом доступе, результаты воспроизводимы, их достоверность проверяема.

Основные результаты и их новизна

В диссертационной работе А.В. Грабового получены следующие новые результаты:

1. Предложено обобщение метода дистилляции параметрических моделей, в котором используются не только ответы модели-учителя, но и распределение ее параметров. Для этого априорное распределение параметров модели-ученика задается с использованием апостериорного распределения параметров модели-учителя. Предложенный метод позволяет получить начальную инициализацию параметров модели-ученика, которая приводит к снижению числа шагов градиентного спуска при оптимизации по сравнению со случайной инициализацией. Показано, что метод не уступает альтернативным современным методам дистилляции. Причем приемлемое качество модели-ученика достигается после малого числа итераций градиентного спуска. Данное свойство позволяет выполнить подбор архитектуры модели-ученика используя меньшие вычислительные мощности.
2. Предложен метод вероятностной дистилляции моделей глубокого обучения, основанный на вероятностной гипотезе о порождении данных. Показано, что данный метод обобщает другие передовые методы дистилляции, позволяя рассматривать их как частный случай общего решения. Новым элементом предложенного метода является использования гипотезы порождения данных при дистилляции.
3. Предложены методы задания порядка на множестве параметров моделей, основанные на оценивании важности параметров и позволяющие удалять большее число параметров без значимой потери качества модели по сравнению с другими передовыми методами. Автором предлагаются новые подходы на основе анализа корреляционной матрицы параметров модели. Новизна предлагаемого обобщения заключается в удалении целой группы линейно зависимых параметров, а не только отдельных параметров.

Значимость результатов

Работа А. В. Грабового носит преимущественно теоретический характер. В диссертационной работе приведено теоретическое обоснование эмпирически введенного понятия дистилляции. *Основным результатом* диссертации являются новые методы, предназначенные для построения моделей глубокого обучения; снижения размерности пространства параметров моделей глубокого обучения; использования экспертной информации для построения моделей; дистилляции параметрических моделей на основе выравнивания архитектур.

Практическая ценность диссертации состоит в исследовании и построении новых методов для снижения сложности моделей машинного обучения без значимой потери качества. Предложенные автором методы дистилляции позволяют использовать модели глубокого обучения в мобильных устройствах, где ранее это было невозможно из-за их вычислительной сложности. Расширение области применимости моделей глубокого обучения влечет к появлению новых задач, что в целом положительно влияет на всю физико-математическую отрасль науки.

Значимость полученных автором диссертации результатов для развития теоретических основ информатики состоит как в предложенных новых методах,

предназначенных для построения моделей глубокого обучения, так и для снижения размерности пространства параметров ранее построенных моделей с их дальнейшим применением в прикладных целях.

Рекомендации по использованию выводов и результатов диссертационного исследования. Предложенные методы рекомендуется использовать для адаптации моделей глубокого обучения на мобильные и другие устройства с низкой производительностью. Текущие мобильные решения используют серверные мощности для использования моделей глубокого обучения. Во-первых, это не позволяет использовать модели при отсутствии интернет соединения, а во-вторых, может передавать персональные данные на удаленные сервера. Ведущей организацией рекомендуется проверить работоспособность предложенных методов для такой адаптации в дальнейших работах автора диссертации.

Замечания

1. Метод выравнивания моделей глубокого обучения проанализирован только в случае полносвязных и рекуррентных нейронных сетей. Хотелось бы увидеть анализ и других моделей, в частности трансформеров и сверточных нейронных сетей.
2. Использование полной ковариационной матрицы параметров приводит к неприменимости предложенных методов на реальных больших моделях глубокого обучения.
3. Предложенный метод байесовской дистилляции, который накладывает большое число ограничений на класс рассматриваемых моделей, не дает значимого прироста качества по отношению к методу дистилляции, предложенному Джеффри Хинтоном, где ограничения на класс моделей существенно слабее.

Отмеченные замечания не носят принципиального характера и не влияют на общую положительную оценку диссертации.

Заключительная оценка

Диссертационная работа Грабового Андрея Валериевича «Априорное распределение параметров в задачах выбора моделей глубокого обучения» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной под руководством д.ф.-м.н. В. В. Стрижова, содержит новое решение актуальной научной задачи — снижения размерности пространства параметров в нейросетевых моделях машинного обучения. Работа написана автором самостоятельно и обладает внутренним единством. Содержит новые научные результаты, которые изложены в шести научных работах, опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, при этом все работы также индексируются в международной базе цитирования Scopus. Результаты докладывались автором на российских и международных конференциях. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертационной работы.

Диссертация соответствует всем критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание

ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики», а ее автор – Грабовой Андрей Валериевич – заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Диссертация обсуждена и одобрена на научном семинаре кафедры математических методов прогнозирования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», протокол №1 от 23 марта 2022 г.

Председатель семинара

Доктор физико-математических наук, профессор РАН,
Дьяконов Александр Геннадьевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
Факультет вычислительной математики и кибернетики, Кафедра математических методов прогнозирования.

Почтовый адрес: 119991, Ленинские горы, д. 1

Телефон: +7 (495) 939-1000

Адрес электронной почты: cmc@cs.msu.su

Web-сайт организации: www.msu.ru