

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Хандарова Федора Владимировича

на тему «МЕТОД ОДНОВРЕМЕННОГО СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕРСЕПТРОНОВ»
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы
и комплексы программ»

Актуальность темы диссертации. В настоящее время изучение искусственных нейронных сетей переживает очередной подъем и является одним из приоритетных направлений в области искусственного интеллекта. И хотя многослойные персептроны, исследованию которых посвящена диссертационная работа, относятся к наиболее хорошо проработанным нейросетевым моделям, они продолжают оставаться в центре внимания определенного круга исследователей, как программистов, так и математиков. Во-первых, это связано с классификационными и прогностическими возможностями персептронов, сфера практического применения которых достаточно широка. Во-вторых, нейронные сети по своей природе являются моделями, поведение которых до сих пор не имеет однозначного толкования. Подтверждением этому является не так давно опубликованная статья «Интригующие свойства нейронных сетей»¹. В-третьих, применение сетей для решения прикладных задач имеет «узкое место»: эффективность работы сети зависит от топологии, алгоритма обучения, критерия качества решения задачи и т. д. (проблема моделирования не относящихся к настройке весов параметров сетей). В настоящее время все эти задачи в основном решаются неавтоматическими способами, что требует хороших знаний методов обработки и анализа данных, методов нейроинформатики и является достаточно трудоемким процессом. Поэтому одним из перспективных направлений ис-

¹ Szegedy et al. Intriguing properties of neural networks / Szegedy, C., Zaremba, W., Sutskever, I., Bruna, J., Erhan, D., Goodfellow, I., and Fergus, R. // International Conference on Learning Representations, 2014.

следований в области моделирования нейронных сетей является проблема автоматизации подбора оптимальных параметров нейросетевых моделей.

В связи с этим представляет научный и практический интерес разработка, теоретическое и экспериментальное обоснование метода одновременного структурно-параметрического синтеза многослойных персептронов с разомкнутыми перекрестными связями, предназначенного для подбора топологии и настройки весов связей нейронной сети. На основании вышеизложенного тема диссертационной работы Ф.В. Хандарова представляется актуальной и имеющей большое значение для науки и практики.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Обоснованность и достоверность основных научных положений, полученных в диссертации, подтверждается следующими моментами. Хандаровым Ф.В. проведен глубокий анализ отечественных и зарубежных исследований в области теории и практики нейронных сетей, как современных, так и уже ставших классическими. Основные результаты характеризуются новизной и представлены в виде строгих утверждений, сформулированных на математическом языке и снабженных необходимыми доказательствами в виде теоретического анализа, программных алгоритмов, вычислительных экспериментов. Все основные результаты получены автором самостоятельно. При выполнении диссертационной работы автором корректно использованы методы теории оптимизации, теории вероятностей, математической статистики, машинного обучения, эволюционных вычислений и глобального стохастического поиска. Достоверность полученных результатов также подтверждается наличием публикаций по теме работы, в том числе в реферируемых изданиях, апробацией основных результатов на конференциях и семинарах. Для каждой публикации, выполненной в соавторстве, указана та часть работы, которая принадлежит соискателю. Работа по теме диссертации была отмечена II премией на I региональном конкурсе среди молодых ученых Республики Бурятия «Конкурентоспособность региона в условиях экологических и демографических ограничений» (ОРЭИ БНЦ СО РАН, Улан-Удэ, 2009).

Достоверность и новизна, полученных результатов. К числу наиболее существенных результатов диссертации, обладающих элементами научной новизны, следует отнести:

1. Разработана мультистартовая схема одновременного подбора топологии и настройки весов связей *многослойного перцептрона с разомкнутыми перекрестными связями* (МПРПС), в которой для каждой сети реализуется собственная поисковая стратегия.

2. Разработан алгоритм глобального поиска, используемый в качестве способа нелокального параметрического улучшения МПРПС.

3. Разработана стратегия модификации топологии МПРПС для мультистартовых методов.

4. Разработан новый метод структурно-параметрического синтеза МПРПС, в основу которого легла мультистартовая схема, детализированная разработанными алгоритмом глобального поиска и стратегия модификации топологии нейронной сети.

Предлагаемая в работе схема, называемая *мультистартовой схемой одновременного подбора топологии и настройки весов связей МПРПС* (стр. 24-25), работает с множеством потенциальных решений. Каждое решение представляет собой МПРПС, представленный матрицей весовых коэффициентов, закодированной особым способом (формулы (9)-(11), стр. 21). Суть разработанной автором схемы заключается в поиске оптимальной нейронной сети с минимально возможной структурой и с заданной точностью решающей некоторую задачу. Поиск начинается с некоторого конечного подмножества потенциальных решений, после оценки каждого из которых все множество разбивается на группы перспективных и неперспективных точек. Первое множество составляют модели нейронных сетей, из которых возможно получение оптимальной нейронной сети без изменения ее структуры (только посредством настройки весов связей сети локальными методами оптимизации). Второе множество вначале подвергается процедуре нелокального параметрического улучшения, затем архитектура моделей МПРПС, для которых улучшение не было получено, под-

вергается модификации. В результате работы схемы формируется новое множество потенциальных решений, отличающихся от исходных моделей параметрами и структурой.

Фактически данная схема представляет собой комбинацию основных идей, лежащих в основе эволюционных вычислений, с традиционными методами оптимизации и глобального стохастического поиска. В результате развития популяции потенциальных решений каждая особь «эволюционирует» по собственной траектории в зависимости от ее перспективности. В качестве механизмов «эволюции» использованы градиентные методы обучения нейронных сетей, модификации глобального стохастического поиска и изменение топологии отдельных особей. Оригинальность схемы заключается в способе оценки сетей на предмет перспективности применения к ним методов локального спуска, глобального поиска или модификации топологии. В отличие от генетических алгоритмов, в которых для отбора лучших решений сначала обучают нейронные сети, а затем вычисляют приспособленность сети как значение функции ошибки, демонстрирующее степень обученности сети, – в данной работе для отбора перспективных решений используется локальный спуск в направлении градиента, выполняемый фиксированное количество раз в соответствии с формулой (13). В работе данная процедура описана как квалификационный этап.

Новый алгоритм глобального поиска разработан на основе комбинации методов поиска с запретами и дифференциальной эволюции. Отличие от существующих решений заключается, во-первых, в адаптивном способе расчета радиусов областей, заносимых в список запретов и соответственно исключаемых из дальнейшего рассмотрения, и радиусов генерации соседей. Во-вторых, для выхода из окрестностей уже посещенных локальных минимумов используется механизм дифференциальной эволюции, позволяющий быстро перейти в окрестность другого локального минимума, минуя процесс подъема. Введенные модификации позволили автору увеличить скорость сходимости алгоритма.

Стратегия последовательного выбора операции модификации топологии МПРПС предназначена для использования в мультистартовых методах. Стратегия использует четыре операции: операции удаления и добавления связей и нейронов. В теории нейронных сетей известны конструктивные и деструктивные методы изменения топологии сети во время ее обучения, но большой популярности они не пользуются. Оригинальность данной схемы заключается в ее простоте: при модификации топологии сети выбирается и реализуется только одна из четырех операций. Сначала удаляется случайно выбранная связь, если это позволяет получить более перспективную сеть, то процесс модификации прекращается. В противном случае удаляется нейрон, если в результате достигается улучшение, то процесс останавливается. Иначе выполняется операция добавления связи, результат оценивается и в случае улучшения процесс модификации останавливается, в противном случае запускается последняя операция добавления нейрона. Полученная в результате модификации нейронная сеть заменяет не родительскую сеть, а наихудшее потенциальное решение в популяции.

Метод структурно-параметрического синтеза МПРПС является реализацией описанной выше схемы. Основными элементами, определяющими новизну метода, являются рассмотренные выше алгоритм глобального поиска и стратегия модификации топологии нейронной сети.

Предложенные методы и алгоритмы реализованы в программном комплексе, который используется для решения задач нейросетевого моделирования. Посредством данного программного комплекса построены нейросетевые модели прогнозирования временного ряда налоговых поступлений (на примере Республики Бурятия) и прогнозирования результатов Единого государственного экзамена по данным профориентационного анкетирования, что также подтверждает достоверность полученных результатов.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов. Научная значимость результатов заключается в том, что предложенные автором мультистартовая схема одновременного подбора топологии и

настройки весов связей МПРПС и метод, разработанный на основе данной схемы с использованием алгоритма глобального поиска на этапе нелокального улучшения сети и стратегии последовательного выбора операции модификации топологии МПРПС, обладают в целом и каждый по отдельности рядом преимуществ перед существующими решениями в области моделирования нейронных сетей. Полученные результаты могут быть успешно использованы при разработке нейронной сети для решения прикладных задач классификации или прогнозирования.

Практическая значимость основных положений диссертации подтверждается использованием разработанных методов и алгоритмов и их программной реализации при выполнении работ в рамках грантов РГНФ и Бурятского государственного университета. Комплекс используется в работе Института математики и информатики Бурятского государственного университета, Управления довузовской подготовки Бурятского государственного университета, Отдела прогнозирования рынка труда Министерства экономики Республики Бурятия, а также в исследованиях Отдела региональных экономических исследований БНЦ СО РАН.

Оценка содержания диссертации, её завершенность. Первая глава диссертации начинается с постановки задачи. Далее приводятся обоснование используемой функции активации и описание способа представления нейронной сети в качестве точки пространства поиска, что позволило автору сформулировать расширенную и уточненную постановку задачи обучения сетей с различающимися структурами и представить общую схему структурно-параметрического синтеза многослойного персептрона с разомкнутыми перекрестными связями. Главу завершает краткий обзор методов модификации топологии нейронной сети и описание предлагаемой стратегии последовательного выбора операции модификации топологии. Вторая глава раскрывает суть основных результатов диссертации. Описано улучшение стратегии модификации топологии, заключающееся в замене наихудшей, а не родительской, точки популяции на сеть с успешной модификацией топологии. Приведен срав-

нительный анализ различных подходов глобального стохастического поиска, не использующих градиент, выбраны два подхода, на основе которого разработан новый алгоритм глобального поиска. Приведено уточненное описание нового метода структурно-параметрического синтеза. Корректность метода подтверждена его тестированием с использованием известного бенчмарка PROBEN1, созданного на основе данных UCI Machine Learning Repository. Все положения главы сформулированы грамотным математическим языком и снабжены необходимыми доказательствами их корректности. Третья глава логичным образом завершает диссертацию описанием программного комплекса, разработанного на основе метода структурно-параметрического синтеза и предназначенного для решения прикладных задач, допускающих постановку в форме задач классификации и регрессии на основе эмпирических данных. Показано его применение при решении практических задач из области экономики и образования. Результаты, приведенные в третьей главе, подтверждают теоретические положения, представленные в двух первых главах работы.

Достоинство и недостатки в содержании и оформлении диссертации, влияние отмеченных недостатков на качество исследования. В целом работа отмечена логичностью и доказательностью суждений, композиционной стройностью; основные достоинства содержания диссертационной работы заключаются в выносимых на защиту новых результатах. Однако при этом имеются и некоторые замечания:

1. Из описания в приведенной на стр. 25 раздела 1.1.4. схемы не совсем ясен способ оценки сетей на предмет перспективности применения к ним методов локального спуска, глобального поиска или модификации топологии, который заявлен автором как отличительная характеристика мультистартовой схемы одновременного подбора топологии и настройки весов связей МПРПС.

2. Название раздела 1.2. «Алгоритмическое наполнение общей схемы СПС» не вполне соответствует содержанию: дан обзор существующих подходов к модификации топологии нейронной сети и общая схема предлагаемой стратегии выбора модификации топологии.

3. При анализе различных подходов глобального стохастического поиска рассмотрен простой генетический алгоритм с фиксированным набором генетических операторов.

4. В тексте диссертации встречаются некоторые типографические ошибки, такие как пробел перед знаком препинания (например, стр. 20, 34, 38).

Отмеченные недостатки не влияют на ценность теоретических и практических результатов диссертационного исследования.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Соответствие диссертации и автореферата требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011. Диссертация и автореферат соответствуют требованиям данного ГОСТ.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней» по пунктам 8, 10 и 11. Диссертация Хандарова Ф.В. не содержит сведений, составляющих государственную тайну. Работа выполнена автором самостоятельно, написана хорошим научным языком. Положения, выносимые на защиту, являются новыми, в достаточной степени обоснованными и апробированными, и получены соискателем лично. Постановки задач и методы их решения содержат математические выкладки, которые подтверждаются программными реализациями и экспериментальным тестированием. Теоретическая ценность и значимость достигнутых результатов не вызывают сомнения. О возможности практического применения научных результатов свидетельствует содержание третьей главы. Основные научные результаты представлены в 8 статьях, из которых 3 опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Таким образом, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук диссертация Хандарова Ф.В. соответствует требованиям пп. 8, 10 и 11 «Положения о порядке присуждения ученых степеней».

Обобщая вышеизложенное, считаю, что диссертационная работа «Метод одновременного структурно-параметрического синтеза многослойных персеп-

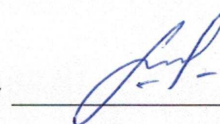
тронов» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи подбора оптимальных параметров нейронных сетей в процессе их обучения, имеющее значение для развития теории нейросетевого моделирования, что удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Хандаров Фёдор Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент,

Хаптахеева Наталья Баясхалановна,

кандидат технических наук,

доцент кафедры «Системы информатики»



Н.Б. Хаптахеева

08.12.2014

ФГБОУ ВПО «Восточно-Сибирский

государственный университет технологий и управления»,

670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, д. 40 В.

Раб.тел.: 8(3012) 21-56-89.

e-mail: khapnb@gmail.com

