

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **Нгуен Ань Ту** «Алгоритмическое обеспечение нейронной сети с полиномиальными кусочно-непрерывными функциями активации для обнаружения закономерностей в данных» по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (научные исследования) на соискание ученой степени кандидата технических наук

1. Актуальность темы исследований

Диссертационная работа Нгуен Ань Ту посвящена исследованию искусственных нейронных сетей с функциями активации, опирающимися на функции принадлежности, используемые в теории нечетких систем. Решение этих задач непосредственно выводит на возможность поиска и обнаружения скрытых закономерностей в данных, что в современных условиях стремительного накопления объемов данных становится всё более актуальным. В связи со сказанным, актуальность поставленных и исследуемых в диссертационной работе задач не вызывает сомнений.

Содержание проводимых в работе исследований соответствует пп. 1, 7 и 11 паспорта специальности 05.13.01.

2. Научная новизна исследований и полученных результатов

Результаты, полученные в диссертационной работе, являются новыми, опубликованы в 12 работах автора, среди которых 5 статей в журналах из списка, рекомендованного ВАК, и 3 работы в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования.

Диссертация объемом 112 страниц включает введение, 4 главы основного содержания, список сокращений, заключение, список использованных источников из 118 наименований, 3 приложения с актами о внедрении результатов исследований.

В **первой главе** диссертации (27 стр.) приводится краткое введение, посвящённое появлению, хронологии развития и перспективам искусственных нейронных сетей, рассматриваемых как упрощенные модели естественного интеллекта. Кратко рассматриваются понятия и структуры однослойной нейронной системы, многослойной однонаправленной нейронной сети, радиально-базисной функциональной нейронной сети, авторегрессионной нейронной сети. Рассматривается понятие нечеткой нейронной сети многослойной архитектуры с использованием И/ИЛИ-нейронов, приводится пример адаптивной нейронной сети, базирующейся на системе нечеткого вывода. Упомянется классификация нейронных сетей на детерминированные, вероятностные и нечёткие. Обсуждаются алгоритмы обучения нейронных сетей: алгоритм обратного распространения ошибки в многослойном персептроне, алгоритм Левенберга–Марквардта в авторегрессионной нейронной сети, предусматривающий

минимизацию среднеквадратичной функции ошибки, алгоритм кластеризации с методом сопряженных градиентов в радиально-базисной нейронной сети, метод наименьших квадратов с алгоритмом обратного распространения ошибки в адаптивной нейронной сети. Упомянуты некоторые другие алгоритмы обучения. Рассматриваются виды функций активации (ФА), и предлагается использовать в качестве ФА некоторые функции принадлежности, применяемые в теории нечетких множеств. Исследование того, как повлияет использование в качестве ФА предлагаемых вариантов функций принадлежности нечетких чисел на эффективность различных нейронных сетей, формулируется в качестве одной из целей диссертации.

Во **второй главе** диссертации (17 стр.) рассматривается использование предложенных 4-х вариантов функций активации в многослойной однонаправленной нейронной сети для прогноза временных рядов. Кратко описывается используемая многослойная однонаправленная нейронная сеть (МОНС), реагирующая на значения временного ряда в режиме скользящего окна и использующая для обучения алгоритм обратного распространения Левенберга–Марквардта, минимизирующего в процессе обучения среднеквадратичную ошибку предсказания. Далее исследуется эффективность применения предложенных функций активации (по сравнению с МОНС с гауссовской ФА) при прогнозировании временных рядов на примере 3-х реальных наборов данных. Результаты показывают обоснованность применения в качестве ФА вариантов б) и в). Далее рассматривается задача определения с использованием МОНС амплитуды синусоидального сигнала на фоне гауссовского белого шума, исследуется эффективность применения предложенных ФА, в результате чего также подтверждается обоснованность их применения.

В **третьей главе** диссертации (19 стр.) рассматривается возможность применения МОНС с предложенными ФА для классификации интенсивностей марковских потоков событий. Рассматривается структура нейронной сети, настройка ФА, заключающаяся в выборе параметров, задающих центры и масштабы ФА, определение весов между выходным нейроном и нейронами скрытого слоя. В процессе обучения методом кластеризации k -средних находятся центры ФА, находятся оценки параметров масштаба для ФА. Оценки весов находятся с использованием метода наименьших квадратов (с построением обобщенной псевдообратной матрицы). Далее приводятся результаты 4-х экспериментов по классификации интенсивностей потоков, показывающие зависимость качества кластеризации от числа нейронов в скрытом слое и эффективность классификации в зависимости от вида (а, б, в, г) ФА. Подчеркивается предпочтительность в этих задачах применение ФА вида (б).

В **четвёртой главе** диссертации (16 стр.) формулируется понятие нейро-нечеткого классификатора, который мог бы объединить положительные качества нечеткой классификации и возможности обучения

нейронной сети. Рассматривается структура такого классификатора, в котором используется слой нечетких ФА, предложенного ранее вида. В качестве вектора параметров нейронной сети рассматриваются параметры ФА, используемые в нечетких правилах, и веса, вычисляемые в слое дефазификации. Первоначальные значения параметров ФА (μ , и σ ,) находятся методом k-средних. На этапе обучения параметры сети оптимизируются масштабируемым методом сопряженных градиентов. Разработанный классификатор протестирован на данных «Ирисы Фишера» и «Шкала баланса». Использование нечетких ФА по сравнению с гауссовской не показало преимуществ, но по сравнению с радиально-базисной нейронной сетью преимущество ощутимо.

В заключении (3 стр.) формулируются основные результаты, полученные в работе.

Все основные результаты диссертации опубликованы, апробированы на ряде научных конференций и семинаров, в том числе международных.

Диссертация изложена достаточно четко и грамотно. Наличие некоторых стилистических погрешностей не мешает разобраться в сути излагаемых проблем.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

3. Обоснованность и достоверность полученных результатов

Достоверность полученных соискателем результатов подтверждается результатами моделирования, примерами эффективного использования при анализе и обработке реальных данных, а также результатами применения в учебном процессе.

Результаты автора не противоречат и согласуются с результатами предшественников.

4. Научная и практическая ценность основных положений диссертации

Научная ценность основных результатов диссертации заключается:

- в том, что показана возможность эффективного применения в качестве функций активации различных функций принадлежности, используемых в теории нечетких систем;
- в модификациях алгоритмов, применяемых в обучении нейронных сетей для типовых задач обнаружения закономерностей в наборах данных;
- в моделях новых нейронных сетей для рассмотренных в диссертации типовых задач обнаружения закономерностей в наборах данных.

Практическая ценность заключается в том, что результаты диссертационных исследований могут использоваться при разработке

программного обеспечения искусственных нейронных сетей различного назначения.

5. Рекомендации по возможности использования результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы Нгуен Ань Ту могут быть использованы при разработке алгоритмического и программного обеспечения, предназначенного для обнаружения закономерностей в больших массивах и потоках данных различного характера.

6. Замечания по диссертационной работе

По представленной диссертации Нгуен Ань Ту могут быть сделаны следующие замечания:

1. Все результаты численных экспериментов по исследованию рассматриваемых вариантов нейронных сетей получены при использовании разработанного автором программного обеспечения в среде MATLAB, что, по мнению оппонента, также является одним из результатов работы. Однако в тексте диссертации ничего не говорится о его характеристиках.

2. С точки зрения оппонента, в 1-й главе желательно было бы более подробно изложить применяемые алгоритмы обучения, что позволило бы лучше представить и оценить всю совокупность и трудоёмкость работы, проделанной в процессе исследований.

3. В соотношении (2.5), судя по контексту, должны быть предсказанное \hat{X}_i и, соответственно, наблюдаемое X_i значения временного ряда.

4. Все описанные в разделе 2.2 эксперименты проводились при соотношении сигнал/шум 0.05 дБ. Интересно было бы сравнить полученные результаты с результатами при других соотношениях сигнал/шум.

5. В описании вычислительных экспериментов, представленных в главе 3, не очень понятно, какое общее количество наблюдений моделируемых марковских потоков подается на вход нейронной сети, и как это связано со временем на оси абсцисс приводимых рисунков с эффективностью классификации.

6. На стр. 81 несколько путаные (на русском) расшифровки обозначений. Всё становится на место, если назвать « o_{sk} – вес на выходе принадлежности s -го наблюдения $[x_{s1}, x_{s2}]^T$ к k -му классу».

7. Опечатка в формуле (4.7) на стр. 81: перед суммой должен быть множитель $1/K$, а не $1/2$.

8. Есть некоторые редакционные замечания. Например, по ходу изложения несколько раз делается ссылка на рис. 1.13 вместо 1.14. В последней строке на стр. 82 следует убрать лишние слова «второго порядка».

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности диссертации, носят в основном характер пожеланий и не влияют на общую

положительную оценку результатов исследований.

7. Заключение о работе

Представленная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, содержит подходы к решению важной научной задачи, имеющей большую практическую значимость, и выполнена на высоком научном уровне. Представленные в работе исследования обладают научной новизной и достоверностью, все полученные выводы научно обоснованы. Основные положения диссертационной работы достаточно полно освещены в научных публикациях автора. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Вышесказанное позволяет утверждать, что диссертационная работа Нгуен Ань Ту соответствует требованиям пунктов 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» и пунктов 8-10 «Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (научные исследования).

Г.н.с., профессор кафедры теоретической
и прикладной информатики,
научный руководитель
Центра статистических технологий,
д.т.н., профессор



Лемешко Борис Юрьевич
18.11.2019

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», 630073, Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, тел. (383) 346–50–01, rector@nstu.ru, www.nstu.ru

Подпись профессора Б.Ю. Лемешко заверяю.

Начальник ОК НГТУ



Пустовалова Ольга Константиновна