

ОТЗЫВ

официального оппонента

кандидата технических наук Бахшиева Александра Валерьевича на диссертацию Милосердова Дмитрия Игоревича «Модели, методы и архитектуры программных систем нейросетевого прогнозирования трудноформализуемых событий с непрерывным обучением», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей»

1. Актуальность избранной темы

Проблема прогнозирования является актуальной для многих областей. Особенно это касается тех сфер, где динамика исследуемых процессов зависит от различных факторов, которые не всегда могут быть выражены в виде аналитических моделей. Переменность этих факторов во времени обуславливает необходимость оперативного учета этих изменений в прогнозных моделях. Таким образом, система прогнозирования трудноформализуемых событий должна не только быть способной извлекать информацию о законах их проявления из обрабатываемых данных, но и делать это в непрерывном режиме, постоянно поддерживая прогнозную модель адекватной текущему состоянию исследуемых процессов.

Существующие подходы к прогнозированию событий не всегда отвечают требованиям по точности, оперативности и глубине прогнозирования. Традиционные алгоритмы, как и решения на основе нейронных сетей прямого распространения, применимы только для краткосрочного прогнозирования. При изменении законов формирования временных рядов прогнозная модель перестает быть адекватной, и требуется переподготовка. С другой стороны, рекуррентные нейронные сети страдают из-за недостаточной разработанности механизмов управления ассоциативным вызовом информации из их памяти, что также ограничивает их прогностические возможности. Гибридные решения требуют серьезных вычислительных ресурсов и ориентированы на конкретные условия. Общим же недостатком известных решений является отсутствие механизмов, обеспечивающих непрерывное обучение прогнозных моделей.

В связи с этим научная задача, заключающаяся в разработки моделей, методов и архитектур программных систем нейросетевого прогнозирования трудноформализуемых событий с непрерывным обучением является важной и актуальной.

2. Основное содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, заключения и приложений.

Во введении обоснована актуальность исследуемой темы, степень ее разработанности.

В первой главе представлены возможности и условия прогнозирования трудноформализуемых событий, из которых вытекает необходимость при формировании прогноза учитывать множество неявно связанных факторов, извлекать информацию о законах проявления событий из большого массива данных и непрерывно обновлять эту информацию с учетом вновь поступающих данных. Приведен обзор текущего состояния проблемы прогнозирования трудноформализуемых событий, на основании которого сделан вывод о том, что они не отвечают имеющимся требованиям. Определены логическая схема, цель и задачи исследования.

Во второй главе предложена обобщенная модель системы нейросетевого прогнозирования с непрерывным обучением. Сформулированы 4 оптимизационные задачи поиска целесообразных способов прогнозирования трудноформализуемых событий в зависимости от имеющихся ограничений. Раскрыты особенности используемых рекуррентных нейронных сетей с управляемыми элементами. На основе обобщенной модели системы предложены методы прогнозирования с временными сдвигами и без временных сдвигов с управлением направленностью вызова сигналов из ассоциативной памяти.

В третьей главе предложены архитектуры программных систем, реализующих модели и методы нейросетевого прогнозирования трудноформализуемых событий с непрерывным обучением. Предложены параллельная архитектура, эмулирующая два экземпляра нейронных сетей, и буферная архитектура, предполагающая использование одного экземпляра сети и квазипараллельного обучения и прогнозирования.

В четвертой главе приведены результаты вычислительных экспериментов, на основании которых разработаны практические рекомендации по повышению точности и использованию разработанных программных систем. Раскрыты особенности программного продукта, разработанного на C++ (Qt) и использованного для экспериментов. Даны рекомендации по взаимодействию программной системы нейросетевого прогнозирования с другими системами.

В заключении перечислены основные результаты диссертационной работы, сделан вывод о том, что поставленная научная задача разработки моделей, методов и архитектур программных систем успешно решена, а цель повышения точности прогнозов трудноформализуемых событий достигнута.

3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

В диссертационной работе получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

1. Разработана модель системы нейросетевого прогнозирования трудноформализуемых событий с непрерывным обучением, отличающаяся своей структурой и правилами обработки сигналов, обеспечивающими оперативное прогнозирование с учетом изменений в законах проявления событий.

Предложенная модель содержит блок управления прогнозированием и две идентичные по своей структуре рекуррентные нейронные сети (РНС-1 и РНС-2), объединенные в систему. РНС-1 работает в режиме обучения, блок управления прогнозированием выполняет копирование обученной пространственно-временной модели событий из РНС-1 в РНС-2, а РНС-2 реализует прогнозирование.

Предложенная модель обеспечивает непрерывность процесса обучения при прогнозировании. Это позволяет обеспечить работу в реальном времени и возможность постоянного формирования прогнозов с учетом изменяющихся законов поведения временных рядов. Отсутствует необходимость переобучения сети при поступлении новых данных. Исключается искажение пространственно-временной модели РНС из-за смены режимов ее функционирования;

2. Разработаны методы нейросетевого прогнозирования трудноформализуемых событий с непрерывным обучением: с временными сдвигами сигналов и без временных сдвигов сигналов, отличающиеся новыми правилами прогнозирования и управления ассоциативным вызовом информации из нейросетевой памяти и обеспечивающие высокую точность получаемых прогнозов трудноформализуемых событий.

Согласно методу с временными сдвигами, на вход РНС-1 подаются текущий и задержанный временные ряды. В процессе их прохождения вдоль слоев сети осуществляется ассоциативное пространственно-временное связывание прошлых и будущих событий. Блок управления прогнозированием копирует обученную модель из РНС-1 в РНС-2 и подает текущие входные данные в задержанный канал. В результате в текущем канале за счет вызова сигналов из ассоциативной памяти формируется прогноз будущих событий.

В методе прогнозирования без временных сдвигов на вход РНС-1 подается текущий временной ряд. При прохождении его по сети на ее элементах формируется модель событий, которая постоянно обновляется с учетом вновь поступающих данных. Блок управления прогнозированием копирует состояние РНС-1 в РНС-2 и запускает РНС-2 на формирование прогнозов по новым правилам, предусматривающим управление направленностью ассоциативного

вызова сигналов из памяти нейронной сети. Согласно этим правилам, если обрабатываемая выборка признается короткой, то перед прогнозированием предлагается удлинить ее за счет ассоциативного вызова из памяти сети предшествующих значений;

3. Разработаны параллельная и буферная архитектуры программных систем, отличающиеся новой структурой и правилами функционирования программных систем прогнозирования с непрерывным обучением, обеспечивающие программную реализацию предложенных моделей и методов и расширение их функций.

В параллельной архитектуре эмулируется оба экземпляра нейронных сетей (РНС-1 и РНС-2). Буферная архитектура предполагает наличие только одного экземпляра (модуля) нейронной сети (РНС-1), называемого модулем эмуляции РНС-1 и РНС-2, а также входного буфера и модуля памяти для хранения состояний нейронов РНС-2. Новизна буферной архитектуры состоит в отказе от выделения памяти для хранения синапсов РНС-2, в выполнении квазипараллельного обучения и прогнозирования, а достигаемый эффект заключается в сокращении объемов требуемой памяти в общем случае в два раза;

4. Разработаны практические рекомендации по повышению точности и использованию программных систем нейросетевого прогнозирования трудноформализуемых событий с непрерывным обучением, обеспечивающие повышение точности прогнозов за счет определения наиболее эффективной конфигурации нейросетевых слоев применительно к задаче прогнозирования трудноформализуемых событий и разработки новых правил выбора метода и архитектуры в зависимости от условий, в которых функционирует система прогнозирования.

Обоснованность и достоверность представленных в диссертации решений обеспечены анализом текущего уровня исследований в данной области, корректным использованием апробированного математического аппарата, согласованностью теоретических выводов с результатами вычислительных экспериментов, сравнением предложенных решений с известными аналогами и одобрением основных положений диссертационной работы на международных и всероссийских научных конференциях.

4. Замечания по диссертационной работе

Следует отметить следующие замечания, касающиеся рассмотренной диссертационной работы:

- В диссертации не раскрыто содержание структур данных, передаваемых между элементами архитектур программных систем. В частности, не ясно, какие именно управляющие команды передаются

от кнопочных панелей в модули чтения-записи параметров, а какие – от модулей чтения-записи параметров в экземпляры РНС? Содержание пакетов {RnnParams} также не раскрыто.

- Не очерчена четко прикладная проблема, для решения которой разрабатывается система прогнозирования. В четвертой главе представлены результаты прогнозирования показателей городского дорожного трафика и словарного содержания новостей, но не отмечено, какие задачи могут решаться с помощью этих прогнозов.
- Чем обусловлен выбор языка C++ для программной реализации нейросетевой системы прогнозирования? Python располагает богатым инструментарием для разработки нейросетевых решений. Рассматривалась ли программная реализация на Python?
- Реализация нейронных сетей с использованием графического ускорителя позволила бы существенно снизить временные затраты на обучение, не совсем ясно почему соискатель не рассмотрел такой вариант.
- В главе 4 (таблица 5) приводится количественное сравнение результатов работы предложенных решений с другими методами прогнозирования. Однако в работе не раскрывается, при каких условиях получены результаты с использованием других методов.
- Также присутствуют незначительные погрешности оформления работы, так, например на рисунке 24 отсутствуют подписи осей графика.

Перечисленные замечания к диссертационному исследованию существенно не влияют на общую положительную оценку проделанной работы.

5. Внедрение, апробация и публикация полученных результатов

Результаты диссертационной работы использованы в НИР СПб ФИЦ РАН №0073-2019-0001 «Теоретические основы и алгоритмические модели когнитивного управления, взаимодействия и анализа состояния групп гетерогенных робототехнических комплексов», а также в ЦСАМ АО «НТЦ РЭБ» при проведении научных исследований по обнаружению и траекторному сопровождению малоразмерных беспилотных летательных аппаратов для прогнозирования радиолокационной обстановки и выявления аномальных радиосигналов.

Основные положения диссертационной работы представлялись на 6 международных конференциях «Digital Transformation And Global Society (DTGS-

2019)» (Санкт-Петербург, 19-21 июня 2019 г.), «Experimental Economics and Machine Learning (EEML-2019)» (Пермь, 25-26 сентября 2019 г.), 5-я Международная научно-практическая конференция «Технологическая перспектива-2019» (Санкт-Петербург, 7-8 ноября 2019 г.), «Digital Transformation And Global Society-2020» (Санкт-Петербург, 17-19 июня 2020 г.), 6-я Международная научно-практическая конференция «Технологическая перспектива-2020» (Санкт-Петербург, 12-13 ноября 2020 г.), 7-я Международная научно-практическая конференция «Технологическая перспектива-2021» (Санкт-Петербург, 11-12 ноября 2021 г.) и всероссийской конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2020) (Санкт-Петербург, 7-8 октября 2020 г.).

По теме диссертации опубликовано 12 работ, в том числе 2 публикации в журналах из «Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук», одна из статей в указанном перечне опубликована без соавторов, 5 публикаций в зарубежных изданиях, индексируемых в Scopus/WoS (в том числе 2 публикации в журналах Q1), два свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, одно из которых зарегистрировано без соавторов.

Можно рекомендовать внедрение полученных результатов в организации, осуществляющие решение таких задач, как анализ дорожной обстановки, контроль функционирования сложных систем и поиск аномального поведения агентов в динамически изменяющейся среде. Рекомендуется внедрение результатов в следующие организации:

- СберАвтоТех;
- Старлайн;
- Yandex Self-Driving Group.

6. Соответствие паспорту специальности

Положения, выносимые на защиту, соответствуют паспорту специальности 2.3.5 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей».

7. Заключение

В диссертации Д.И. Милосердова сформулирована и решена научная задача, заключающаяся в разработке моделей, методов и архитектур программных систем нейросетевого прогнозирования трудноформализуемых событий с непрерывным обучением. Диссертация Д.И. Милосердова является завершенной научной и квалификационной работой и полностью отвечает требованиям пунктов 9–14

«Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (в редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 11.09.2021 № 1539), предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автореферат полностью соответствует диссертационной работе и содержит все необходимые составляющие. Считаю, что Милосердов Дмитрий Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей».

Официальный оппонент

доцент Высшей школы автоматизации и робототехники

Института машиностроения, материалов и транспорта

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

к.т.н.

Бахшиев Александр Валерьевич

«21» апреля 2022 г.

Почтовый адрес: 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29

Тел. +7(921)748-00-10

E-mail: bakhshiev_av@spbstu.ru