

ОТЗЫВ

официального оппонента начальника кафедры Средств контроля космического пространства Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского кандидата технических наук, доцента ЛЕГКОВА Константина Евгеньевича на диссертацию РЫКШИНА Максима Сергеевича, выполненную на тему «Математическое и программное обеспечение процессов управления многоагентным мониторингом объектов распределенной системы при нестационарной нагрузке» и представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5 «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей»

Актуальность темы исследования. Особенности организации и функционирования современных территориально распределенных систем различного класса, а также рост потребления предоставляемых ими услуг, связанный, как с увеличением их пользовательской базы, так и с активным внедрением таких технологий, как «Интернет вещей», «Умный дом», «Умный город», беспилотный или автоматизированный транспорт (далее - IoT-системы) и ряда других, требуют особого подхода к контролю эффективности их функционирования и качества предоставляемых услуг.

С этой целью в архитектуру таких систем включают подсистемы контроля их состояния, обобщенно объединяемые в системы мониторинга – программно-аппаратные комплексы, специализированные под особенности функционирования подконтрольных им распределенных систем (объектов мониторинга). Обычной практикой проектирования подобных систем мониторинга является дублирование ими структурных решений объектов мониторинга с использованием таких архитектур, как «менеджер-агент».

При этом в ряде случаев функционирования распределенных систем существуют проблемы, решение которых системами мониторинга с централизованной и/или иерархической организацией является недостаточно эффективным и может приводить к снижению показателей целевой функции объекта мониторинга в кратковременные периоды или в долгосрочной перспективе. К подобным проблемам относятся вопросы резкого увеличения параметров нагрузки на отдельных узлах распределенных систем, а также их распространения с некоторой временной задержкой между узлами, имеющими физическую или логическую взаимосвязь. Подобные проблемы могут существенно зависеть от особенностей и предметных областей применения распределенных систем, однако, в общем случае, природа их возникновения связана с невозможностью узлов системы обеспечить обслуживание резкого или быстро нарастающего всплеска нагрузки (нестационарность нагрузки) от

множества источников этой нагрузки (например, абонентских устройств). Подобные всплески нагрузки могут носить, как сезонный характер (их привязка к конкретным временным промежуткам), так и случайный характер, обусловленный некоторыми нештатными проблемами. Примерами такой нестационарной нагрузки могут служить лавинообразное подключение к одному или множеству узлов инфокоммуникационной системы пользовательских терминалов (массовые мероприятия, сезонность включения датчиков IoT-систем и другие), сезонные, аварийные или иные нештатные ситуации на транспортных магистралях, приводящие к росту интенсивности транспортного трафика, обслуживаемого отдельными узлами систем управления транспортом. При этом подобная нагрузка может иметь тенденцию распространения с некоторым временным лагом между узлами объектов мониторинга в силу ограничений их внутренней структуры (перераспределение нагрузки) или внешних причин (физическое или логическое перемещение источников нагрузки).

Централизованная архитектура существующих систем мониторинга в подобных случаях может недостаточно эффективно реагировать, в условиях, либо существенной задержки обмена данными мониторинга между агентами и менеджерами, превышающей временной лаг распространения нестационарной нагрузки, либо несовпадения периодов мониторинга и периодов распространения нагрузки между узлами мониторинга.

В связи с этим диссертация Рыкшина М.С., посвященная разработке математического и программного обеспечения процессов управления многоагентным мониторингом объектов распределенной системы при нестационарной нагрузке, является **актуальной**.

Соискателем сформулирована **цель исследования** – разработка математического и программного обеспечения для повышения эффективности процесса управления многоагентным мониторингом объектов распределенной системы при нестационарной нагрузке, определен **объект** – процессы управления в условиях распределенной системы мониторинга и **предмет исследования** – математические методы управления мониторингом при нестационарной нагрузке, имеющей временной лаг распространения.

Для достижения поставленной цели соискателем сформулирована и решена **актуальная научная задача**, заключающаяся в разработке математического обеспечения процесса функционирования распределенной системы мониторинга с минимизацией времени задержки управляющего воздействия для заданного узла мониторинга (подмножества узлов) в условиях ограничений и допущений на параметры временного лага распространения нестационарной нагрузки на указанные узлы мониторинга.

Тема диссертации, цель, предмет и объект исследования, научная задача соответствуют паспорту специальности 2.3.5 «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей» по

п. 3 – модели, методы, алгоритмы, языки и программные инструменты для организации взаимодействия программ и программных систем; п. 9 – модели, методы, алгоритмы и программная инфраструктура для организации глобально распределенной обработки данных.

Тематика диссертационной работы соответствует научному направлению ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (ВГТУ) «Вычислительные комплексы и проблемно-ориентированные системы управления».

Общая методология и методика исследования. В основе исследования применялись следующие методы: методы теории системного анализа, методы машинного обучения, теории нейронных сетей, теории многоагентных систем, методы имитационного моделирования, математической статистики и планирования экспериментов.

В процессе исследований по решению научной задачи автором **получены результаты, обладающие научной новизной:**

1. Нейросетевая модель интеллектуального агента распределенной системы мониторинга, отличающаяся от известных применением структуры рекуррентной нейронной сети с длинной цепью элементов краткосрочной памяти и обеспечивающая возможность формирования матрицы связности гиперпараметров нейронной сети и накопленных значений параметров состояния объектов мониторинга с учетом характеристик временного ряда распространения нестационарной нагрузки.

2. Обобщенный алгоритм динамической настройки параметров нейронной сети в заданной точке мониторинга, отличающийся от известных использованием марковского процесса принятия решения в задаче обучения с подкреплением на основе модификации алгоритма итерации по значениям, обеспечивающий минимизацию временных затрат на обучение при заданном значении точности прогнозирования.

3. Обобщенный алгоритм взаимного информационного согласования интеллектуальных агентов, отличающийся от известных учетом пространственно-временной корреляции данных, порождаемых множеством интеллектуальных агентов, обеспечивающий сокращение времени задержки передачи данных о моментах возникновения нестационарной нагрузки соседним интеллектуальным агентам, расположение которых соответствует направлению распространения временного лага нагрузки.

4. Архитектура распределенной многоагентной системы мониторинга объектов мультисервисной сети связи, отличающаяся от известных реализацией двухуровневой схемы вычислительной инфраструктуры и обеспечивающая поддержание логической целостности данных в процессе взаимного информационного согласования подмножества входящих в нее интеллектуальных агентов.

Практическая реализуемость и изобретательский уровень предложенных моделей и алгоритмов подтверждены свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Обоснованность и достоверность сформулированных в диссертации научных положений и полученных результатов, выводов и рекомендаций обеспечивается: использованием апробированного научно-методического аппарата; соответствием полученных теоретических результатов экспериментальными данными; ясной трактовкой физического смысла результатов и их непротиворечивостью известным научным данным; апробацией и внедрением, предложенных в работе алгоритмов, технических и программных средств.

Теоретическая значимость полученных результатов исследования, выводов и рекомендаций обусловлена их научной новизной, прагматической актуальностью и заключается в дальнейшем совершенствовании методологии построения систем мониторинга. Теоретическая состоятельность работы подтверждается непротиворечивостью полученных в исследовании результатов данных, с данными, представленными в работах других отечественных и зарубежных исследователей, работающих в указанной или смежных предметных областях. При этом гибридное моделирование конкретного варианта объекта мониторинга, выполненное в рамках проведения численных экспериментов, показывает возможность применения полученных математических и программных решений в практике эксплуатации реальных систем мониторинга.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанные алгоритмы доведены до конкретных научно-обоснованных предложений по синтезу систем мониторинга, и могут использоваться разработчиками программного обеспечения при реализации одного из выбранных способов управления функциональностью в конкретной системе мониторинга.

Практическая ценность работы подтверждается тем, что полученные в работе результаты реализованы: в варианте фрагмента системы мониторинга распределенной инфокоммуникационной системы компании «Айти Интегра Системс», а также внедрены в учебный процесс Воронежского государственного университета в рамках дисциплин: «Вычислительные машины, системы и сети», «Информационные сети и телекоммуникационные технологии» и проведения курсового и дипломного проектирования. Результаты внедрения подтверждены соответствующими актами.

Апробация материалов диссертационного исследования проведена на 3-х постоянно действующих научно-технических и научно-практических конференциях в 2020-2021 годах, а также на научных семинарах кафедры автоматизированных и вычислительных систем ВГТУ.

Публикация результатов диссертационного исследования представлена 9 научными работами, из них 4 статьи опубликованы в рецензируемых изданиях из перечня рекомендованного ВАК, 1 свидетельство о регистрации программ для ЭВМ, а также статьями в изданиях, индексируемых в МБД Scopus.

Диссертация содержит необходимые ссылки на использованные источники. Опубликованные материалы представлены автором в полном объеме, в автореферате изложены логически последовательно и с полным библиографическим описанием.

Личный вклад. В списке работ соискателя присутствуют работы, выполненные соискателем без соавторов, что подтверждает личный вклад в получении основных результатов работы. Из работ, опубликованных в соавторстве, в диссертацию включена только та их часть, которая получена лично соискателем. Анализ трудов диссертанта позволяет сделать вывод о достаточно полном опубликовании основных материалов диссертации. При использовании в публикациях и в тексте диссертационной работы результатов и материалов других авторов, на первоисточники представлены корректные библиографические ссылки.

Судя по срокам опубликования основных результатов диссертации можно сделать вывод, что они выполнены в приемлемые сроки и позволили ознакомить с ними научную общественность до защиты диссертации.

Анализ диссертации показал, что её структура характеризуется внутренним единством и логической связностью. Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка терминов, сокращений и условных обозначений и списка использованных источников. По содержанию, диссертация соответствует паспорту специальности 2.3.5 «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей», а по оформлению, соответствует требованиям, предъявляемым к научным работам, направляемым в печать.

В первой главе рассмотрены принципы организации и функционирования современных высоконагруженных распределенных вычислительных систем, применяемых в различных предметных областях, основной особенностью которых является масштабирование их структуры с одновременным усложнением функциональных возможностей, обусловленное ростом их пользовательской базы и увеличением сложности объектов, в рамках которых они функционируют. Проведен анализ структуры и функциональной схемы систем мониторинга. Определено, что структура современных систем мониторинга строится по схеме «агент-менеджер» и носит преимущественно централизованный или иерархический характер. Рассмотрена проблема функционирования систем мониторинга, связанная с наличием временного лага распространения нестационарной нагрузки по узлам мониторинга

распределенных вычислительных систем, значение которого не совпадает с скажностью мониторинга этих узлов, что приводит к неэффективным управляющим воздействиям системы мониторинга на конкретные узлы мониторинга и снижает эффективность функционирования объекта мониторинга в целом. В соответствии с целью исследования приведена постановка задачи, введены ограничения и допущения.

Во второй главе обоснована структура разработанной нейросетевой модели, являющейся основой блока обучения интеллектуального агента мониторинга. На основании развернутого анализа структуры и особенностей моделей на базе рекуррентных нейронных сетей и их модификаций обоснован выбор структуры варианта рекуррентной нейронной сети, обеспечивающей возможность решения задачи прогнозирования значений временного ряда параметров нагрузки на узлы мониторинга, расположенные в окрестности подконтрольного узла мониторинга и связанные временным лагом распространения моментов нестационарности этой нагрузки. Рассмотрены типовые структуры рекуррентных нейронных сетей, обеспечивающие учет долговременных временных зависимостей, определены их особенности и недостатки, ограничивающие их применимость в исследовании. В качестве основы разрабатываемой нейросетевой модели обосновано выбран класс рекуррентных сетей с долгой краткосрочной памятью (LSTM-сетей). Для предложенной структуры LSTM-сети рассмотрены подходы к процессу ее обучения (настройке конфигурации сети), основанные на представлении этого процесса в виде марковского процесса принятия решений, что позволило решить задачу определения времен обучения сети, а также ее дообучения с использованием варианта метода динамического программирования – алгоритма итерации по значениям, что в дальнейшем позволяет перейти к синтезу итеративного алгоритма динамической настройки параметров разработанной LSTM-сети.

В третьей главе разработан обобщенный алгоритм динамической настройки параметров предложенной нейросетевой модели на основе сети LSTM для достижения удовлетворительной точности прогнозирования при ее многократной реконфигурации. Он позволяет свести к минимуму общие временные затраты на обучение нейросетевой модели, что является критичным для условий распространения нестационарной нагрузки в узлах мониторинга. Предложен обобщенный алгоритм взаимного информационного согласования интеллектуального агента мониторинга (ИАМ) системы мониторинга (СМ), состоящий из двух взаимосвязанных процедур: алгоритма управления многоадресной рассылкой сообщений и алгоритма наложенного управления сообщениями. Предложены соответствующие алгоритмы по управлению передачей и приемом сообщений темы многоадресной рассылки,

выбран и обоснован протокол децентрализованного взаимодействия и модифицирован алгоритм наложенного управления сообщениями.

В четвертой главе предложена двухуровневая архитектура распределенной многоагентной системы мониторинга объектов мониторинга мультисервисной сети связи в основе которой лежат два логических уровня - уровень LSTM-сети, который обеспечивает решение задачи получения такой конфигурации LSTM-сети, которая максимизирует точность прогнозирования параметров мониторинга в последующие моменты времени и уровень наложенного управления сообщениями *Pastry*, обеспечивающий формирование оверлейной сети ИАМ для решения задачи доставки сообщений с данными параметров мониторинга узла мониторинга (УМ) и их прогнозных значений. Представлено программное обеспечение интеллектуальных агентов мониторинга. Проведен численный эксперимент в сравнении с существующими централизованными СМ, показаны преимущества и недостатки разработанного решения.

В заключении приведены выводы по результатам исследования и определены направления дальнейшего исследования.

В тоже время, анализ текста диссертации и автореферата позволил сформулировать **основные замечания по диссертации:**

1. В первой главе диссертации представление формальной постановки задачи исследования имеет недостаточную связь с предшествующими ей описательными и статистическими выкладками в плане структурной организации систем мониторинга и практики их эксплуатации, особенно для процессов возникновения и распространения нестационарной нагрузки. Кроме того, по итогам постановки задачи требуется разработать модель системы мониторинга и алгоритм функционирования, что не соответствует полученным авторам в ходе исследования научным результатам. Не проведен подробный анализ научно-методического аппарата моделирования процесса мониторинга при различных вариантах нагрузки в распределенных вычислительных системах.

2. Во второй главе диссертации вопрос обоснования выбора структуры нейросетевой модели интеллектуального агента мониторинга для решения задачи прогнозирования моментов возникновения нестационарной нагрузки (вариант нейронной сети типа LSTM) с целью определения особенностей его модификации относительно известных обобщенных структур LSTM-сетей полностью не раскрыт. Таким образом, вывод соискателя о возможности применения полученной модифицированной структуры именно для децентрализованных систем мониторинга с различной глубиной прогнозирования моментов возникновения и распространения нестационарности нагрузки недостаточно обоснован.

3. В третьей главе диссертации в явном виде не прослеживается связь между обоснованно выбранными критериями оценивания эффективности функционирования слоев предложенной LSTM-сети и их применение в решении оптимизационной задачи, решаемой в разработанном алгоритме динамической настройки параметров этой сети (блоки 7-10 алгоритма, рис. 3.1). Предлагаемое в качестве критерия значение средней относительной ошибки (MRE) должно носить один из определяющих характеров контроля точности выходных параметров слоя сети, что в предложенном алгоритме не в полной мере прослеживается.

4. В четвертой главе при разработке прикладного программного обеспечения одним из важнейших этапов является оценка вычислительной сложности представленных решений, однако данные вопросы в диссертации рассмотрены не были. В диссертации и приложениях отсутствуют элементы исходных кодов предложенных соискателем программных решений.

5. Недостаточно полно представлена программная реализация разработанных алгоритмов, что потребовало дополнительного рассмотрения материалов ее описания в материалах заявки на государственную регистрацию программы для ЭВМ. Особенно актуальным это описание является в силу специфики предлагаемых в качестве аппаратной платформы вычислительных модулей (Raspberry Pi и Intel NCS2), требующих определенных подходов к методам программирования, в частности протокола межагентного взаимодействия.

6. В диссертации в явном виде отсутствует материал подтверждающий применение полученных результатов (научно-методического аппарата синтеза) при выявлении получаемого эффекта. Не представлены конкретные результаты, описывающие состояние рассматриваемой системы «до» и «после» применения разработанного научно-методического аппарата, не ясно, на основе какой модели производились расчеты, подтверждающие достижение необходимого эффекта, указанного в заключении.

Автореферат, в целом, соответствует содержанию диссертации и раскрывает ее сущность. Однако, соискатель не в полной мере смог отразить последовательность вывода основных расчетных соотношений, что в отдельных случаях затрудняет анализ логической связности исходных посылок и конечных результатов.

Тем не менее, перечисленные замечания по диссертации и автореферату не ставят под сомнение новизну полученных результатов, теоретическую ценность и практическую значимость работы. Поставленная актуальная научная задача решена в диссертации в полном объеме, а цель исследования является достигнутой.

Выводы

Диссертация РЫКШИНА Максима Сергеевича является завершённой научно-квалификационной работой, в которой поставлена и решена актуальная научная задача. Диссертация выполнена единолично, содержит совокупность новых научных результатов и положений, выдвигаемых автором для публичной защиты, имеет внутреннее единство и свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

По научному содержанию, глубине и полноте выполненных исследований, а также значимости и ценности полученных результатов, выводов и рекомендаций диссертация соответствует требованиям критериев пунктов 9, 10 и 11 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, РЫКШИН Максим Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей».

Официальный оппонент

Начальник кафедры Средств контроля космического пространства федерального государственного бюджетного образовательного учреждения военного образования «Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского» Министерства обороны Российской Федерации
197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13, тел. (812) 347-97-70, e-mail: vka@mil.ru

кандидат технических наук, доцент



Легков Константин Евгеньевич

«23» октября 2023 г.

Подпись официального оппонента кандидата технических наук, доцента Легкова Константина Евгеньевича заверяю

Нача
А.Ф.

ов ФГБОУ ВО «Военно-космическая академия имени

Плотников Григорий Вячеславович

«23»

23 г.