

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Кафедра инженерной психологии и эргономики

УДК 004.896 + 004.428

Радишевский
Денис Валерьевич

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КЛАССИФИКАЦИИ ПРЕДАВАРИЙНЫХ
СОСТОЯНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ

АВТОРЕФЕРАТ
на соискание академической степени
магистра технических наук

1-23 80 08 – Психология труда, инженерная психология, эргономика

Магистрант Д.В. Радишевский

Научный руководитель
И.И. Хлудеев, кандидат
биологических наук, доцент

Заведующий кафедрой ИПиЭ
К.Д. Яшин, кандидат технических
наук, доцент

Минск 2020

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Развитие инфраструктуры Промышленного Интернета Вещей должно базироваться на одном из шаблонов архитектуры ПоТ, обеспечивающим эффективное функционирование как существующей производственной инфраструктуры (ПИ), так и распределенных телекоммуникационных систем (РТКС), обеспечивающей саму возможность функционирования Индустрии 4.0. Такая инфраструктура связи представляет собой сеть связи пост-NGN, способную функционировать с заданным уровнем качества обслуживания в реальных условиях эксплуатации (ограниченной пропускной способности каналов связи, сбоях электропитания, недетерминированным временем ожидания транзакций) при наличии технических отказов отдельных элементов РТКС.

Для обеих инфраструктур (ПИ и РТКС) в рамках концепции Индустрии 4.0 требуется решение двух взаимосвязанных задач: во-первых, обеспечение непрерывного функционирования технологических объектов в рамках внедрения системы управления производственными активами (СУПА) на основе принципа обслуживания оборудования по прогнозу его состояния (predictive Maintenance), и, во-вторых, обеспечение отказоустойчивого функционирования этих объектов в рамках системы оповещения об отказах (СОО). Ключевое отличие этих двух систем состоит в их быстродействии: СУПА может иметь низкое быстродействие и задействовать облачные ресурсы, а СОО должна выдавать оповещение оперативному персоналу в течении нескольких секунд и работать в пределах защищенной локальной сети предприятия (на периферии сетевой инфраструктуры).

ПИ и РТКС по назначению отличаются тем, что первая обеспечивает собственно автоматизацию производственных процессов, которая напрямую связана с номенклатурой применяемых программируемых логических контроллеров и/или распределенных систем управления, а вторая является обеспечивающей технологией для функционирования ПоТ. Цифровая трансформация традиционных отраслей промышленности при переходе к Индустрии 4.0 в первую очередь приводит к усложнению структуры РТКС, объекты которой к тому же становятся необслуживаемыми.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с приоритетными направлениями научных исследований и запросами реального сектора экономики.

На сегодняшний день инфраструктура Промышленного Интернета Вещей (ПоТ) на территории Евразийского экономического союза (ЕАЭС) только формируется. Традиционные отрасли промышленности стоят на пороге четвертой индустриальной революции (Индустрия 4.0), которая повлечет за собой кардинальную модернизацию производства, обусловленную все более широким применением роботов и интеллектуальных датчиков. В перспективе фактор дешевой рабочей силы утратит свое ключевое влияние на рентабельность производства, что приведет к возврату промышленности из Юго-Восточной Азии в Европу и США. 2019 год принято считать условной точкой начала второго этапа (до 2022 года) реализации цифровой повестки ЕАЭС [1], связанного с формированием институтов цифровой экономики и цифровых активов, а также развитием цифровых экосистем.

На этом этапе для решения задачи извлечения знаний на основе интегрального анализа данных и принятия решений на их основе экосистема ПоТ должна создавать интероперабельную («бесшовную») цифровую инфраструктуру, представляющую собой распределенную телекоммуникационную систему (РТКС), функционирующую на основе стандартных интерфейсов и протоколов в рамках выбранного варианта архитектуры ПоТ. Фактически РТКС является подсистемой ПоТ, обеспечивающей функционирование слоя зондирования (слоя сопряжения с датчиками, исполнительными устройствами и программируемыми логическими контроллерами) Индустрии 4.0.

Элементы слоя зондирования становятся частью киберфизических систем, получают возможность автономного функционирования, многоточечного межмашинного взаимодействия и интеллектуального управления с элементами узкого искусственного интеллекта (Narrow AI). Узкий искусственный интеллект предназначен для решения единственной задачи при наличии различного рода ограничений и в настоящее время чаще всего базируется на математических моделях нейронных сетей.

В связи с тем, что для Индустрии 4.0 число контролируемых параметров в традиционных системах диспетчерского контроля и сбора данных возрастает на несколько порядков, использование технологий Narrow AI позволяет избежать расширения штатного состава диспетчеров, и, соответственно увеличения

сложности эргатической системы в целом. Например, для крупных промышленных предприятий модернизация (расширение зоны покрытия) РТКС в натуральных показателях с 5-ти телекоммуникационных шкафов до 50-ти приводит к увеличению числа контролируемых параметров как минимум на два порядка (минимум 10 параметров на один шкаф). В тоже время требования к надежности и безотказности функционирования как технологического оборудования предприятия, так и РТКС остаются неизменными.

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы состоит в разработке методов и инструментальных средств классификации предаварийных состояний на предприятиях на этапе цифровой трансформации традиционных отраслей промышленности до уровня Индустрии 4.0, что позволит повысить эффективность функционирования предприятий за счет прогнозирования отказов оборудования и, соответственно, планирования проведения регламентных работ.

Для достижения заданной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать архитектуру слоя зондирования ПоТ на основе анализа и критической оценки эталонных (референсных) моделей архитектур Промышленного Интернета Вещей с учетом новых стратегий управления объемом и разнообразием поступающих данных;
- разработать метод классификации признаков состояний оборудования с помощью математического аппарата нечетких множеств;
- разработать нейро-нечеткий классификатор предаварийных состояний оборудования на основе математической модели нейронных сетей.

Объект исследования. Построение и процессы функционирования распределенных телекоммуникационных систем на периферии Промышленного Интернета Вещей, предназначенных для обеспечения функционирования предприятий на этапе цифровой трансформации традиционных отраслей промышленности до уровня Индустрии 4.0.

Предмет исследования. Модели и алгоритмы определения предаварийных состояний оборудования на предприятиях с использованием нейро-нечетких классификаторов.

Методология проведенного исследования.

При решении рассматриваемых в диссертационной работе задач использовались математический аппарат нечетких множеств, методы детектирования аномалий во временных рядах, математическая модель искусственной нейронной сети и теория параллельного программирования.

Апробация результатов диссертации.

Результаты, полученные в ходе выполнения исследований, докладывались и обсуждались на: международной научно-технической конференции «Современные средства связи» в Белорусской Государственной Академии Связи (октябрь 2019 года) [1-А], международной научно-технической конференции «Мониторинг техногенных и природных объектов» в БГУИР (ноябрь 2019 года) [2-А], международной научно-технической конференции «BIG DATA and Advanced Analytics» в БГУИР (май 2020 года) [3-А].

Личный вклад магистранта. Работа выполнена в развитие студенческой научной работы, выполненной на первом уровне образования, результаты которой зафиксированы в публикации [4-А] и дипломном проекте на тему «Концентратор данных Modbus на базе PIC-контроллера».

Предложенные модели и алгоритмы реализованы в виде программного комплекса «Библиотека управляющих программ «Edge Hub»» в бесплатной среде разработки EasyBuilder Pro для сервера cMT-SVR-100 компании Weintek Labs.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен анализ и произведена критическая оценка эталонных (референсных) моделей архитектур Промышленного Интернета Вещей с учетом новых стратегий управления объемом и разнообразием поступающих данных.

Результаты проведенного анализа позволили сделать следующие выводы.

1 На втором этапе (до 2022 года) реализации цифровой повестки ЕАЭС, связанным с формированием институтов цифровой экономики и развитием цифровых экосистем, а также учитывая, что традиционные отрасли промышленности находятся в состоянии перехода от Индустрии 3.0 к Индустрии 4.0 архитектура РТКС должна быть сервис-ориентированной. Учитывая фактор непрерывности промышленного производства, цифровая трансформация промышленности должна начинаться с слоя зондирования (датчики и исполнительные устройства) с поэтапным внедрением облачных сервисов по мере внедрения современных технологий связи, в частности технологий 5G.

2 Архитектура слоя зондирования РТКС должна базироваться на образце референсной архитектуры IIoT, основанной на Edge Gateway/Hub, что позволит максимально приблизить вычисления к данным и источникам, данные не потребуются перемещать для обработки в облако и обратно. В тоже время Edge Gateway/Hub должны иметь возможность передавать в облако только достоверные и ценные данные, предварительно прошедшие классификацию. Edge Gateway/Hub должны обеспечивать соединение многих ко многим, что позволит реализовывать гибкие схемы резервирования устройств и каналов связи.

3 Устройства, реализующие функции Edge Gateway/Hub, должны иметь возможности интеллектуального анализа данных, что позволит влиять на ПИ и РТКС без привлечения человека. Интеллектуальный анализ данных должен осуществляться методами детектирования аномалий во временных рядах, что позволит автоматически выбросы (outliers) в показаниях телеметрии с целью детектирования предаварийных состояний оборудования. Следует использовать математический аппарат нечетких множеств, что позволит использовать при анализе слабо формализуемые экспертные знания.

4 В связи с тем, что для нормально функционирующих ПИ и РТКС получить экземпляры временных рядов с аномалиями невозможно, данные о возможных отклонениях в системе следует получать в режиме распознавания аномалий с учителем - Supervised anomaly detection. Нейро-нечеткий

классификатор предаварийных состояний оборудования должен быть разработан на основе математической модели нейронных сетей.

Для разработки методов и инструментальных средств классификации предаварийных состояний на предприятиях поставлены задачи решения следующих вопросов:

- разработки архитектуры слоя зондирования ПоТ на основе анализа и критической оценки эталонных (референсных) моделей архитектур Промышленного Интернета Вещей с учетом новых стратегий управления объемом и разнообразием поступающих данных;

- разработки метода классификации признаков состояний оборудования с помощью математического аппарата нечетких множеств;

- разработки нейро-нечеткий классификатора предаварийных состояний оборудования на основе математической модели нейронных сетей.

Во второй главе теоретически обосновано решение задач:

- разработки архитектуры слоя зондирования ПоТ на основе анализа и критической оценки эталонных (референсных) моделей архитектур Промышленного Интернета Вещей с учетом новых стратегий управления объемом и разнообразием поступающих данных;

- разработки метода классификации признаков состояний оборудования с помощью математического аппарата нечетких множеств;

- разработки нейро-нечеткий классификатора предаварийных состояний оборудования на основе математической модели нейронных сетей.

1 Предложена архитектура слоя зондирования для распределенных телекоммуникационных систем уровня Индустрии 4.0 (РТКС 4.0), в отличие от выбранного образца референсной архитектуры ПоТ определяемая как профиль ПоТ, базирующейся на устройствах Edge Hub, Edge Gateway, Sensing Gateway, использующий в качестве протокола уровня полевой шины MODBUS RTU и протокол MQTT для передачи данных в облачные сервисы.

2 РТКС 4.0 предусматривает перенос обработки данных с высокой скоростью их прироста в слой зондирования ПоТ путем двухуровневой обработки показателей телеметрии в реальном времени. На первичном уровне предполагается детектирование аномалий ресурсами устройств Sensing Gateway с использованием средств Narrow AI, а на вторичном уровне производится классификация предаварийных состояний оборудования устройствами Edge Hub с использованием классификаторов, основанных на математическом аппарате нечетких множеств и модели нейронных сетей.

3 В архитектуре слоя зондирования РТКС 4.0 Edge Gateway является чисто коммуникационным шлюзом и выполняет функции концентратора данных

MODBUS. В соответствии с принципами технологии COTS в качестве устройства Edge Gateway используется ICP DAS MDC-714.

4 В архитектуре слоя зондирования РТКС 4.0 обязательно использование двух устройств Edge Hub, которые резервируют друг друга в режиме «ведущий-ведомый» (однако они не имеют приоритетов друг относительно друга), не допускают одновременного использования устройств Edge Gateway/ Sensing Gateway и координаторов (Coordinator №1 и Coordinator №2) ячеистой сети. Таким способом создается единая точка агрегации и управления для объекта ПоТ в целом.

5 В соответствии с технологией COTS в качестве аппаратной платформы Edge Hub выбран сервер сMT-SVR-100. Базовое серверное устройство сMT-SVR-100 имеет порты WAN и LAN, является свободно программируемым, поддерживает стандартные протоколы промышленной автоматизации, проприетарные протоколы более чем 300 производителей PLC, выполняет сервисные функции. Для передачи данных в cloud service в линейку устройств сMT-SVR уже встроен брокер MQTT.

6 Для реализации обмена между Edge Hub и Edge Gateway выбран протокол MODBUS RTU. Существующий набор типов транзакций в MODBUS был систематизирован в классы: класс 0 определяет функции, которые универсально реализованы и стабильны; класс 1 определяет функции с дополнительными возможностями и класс 2 представляет собой полезные функции, но с некоторыми особенностями. В РТКС 4.0 используются функции класса 0 с кодами, перечисленными ниже:

- чтение нескольких регистров хранения (код функции 3);
- запись нескольких регистров хранения (код функции 16).

7 Объекты РТКС сильнее поддаются типизации/унификации, чем объекты ПИ, поэтому основным объектом мониторинга в РТКС 4.0 является удаленный телекоммуникационный шкаф (УТШ), состояние которого определяется следующими признаками: температура вверху/внизу шкафа, влажность вверху/внизу шкафа, наличие протечки (конденсата), датчик вскрытия шкафа, процент заряда АКБ и время отсутствия сетевого напряжения на входе ИБП.

8 При введении нечеткости (фаззификации) в ННС используются следующие лингвистические термы: LA («Low Alarm»), LW («Low Warning»), G («Good»), HW («High Warning»), HA («High Alarm»). Такой алфавит позволяет привести все параметры разного типа (разного физического смысла) к набору однотипных лингвистических переменных, которые обрабатываются нейронной сетью.

9 Для реализации системы нечетких предикатных правил ННС выполняет следующие действия:

- введение нечеткости – по функциям принадлежности, заданным на области определения предпосылок, определять степень истинности каждой предпосылки;

- логический вывод – по степени истинности предпосылок формировать заключения по каждому из правил, образующие нечеткое подмножество для каждой переменной вывода по каждому из правил. Нечеткие предикатные правила задаются при помощи экранной формы;

- композиция – полученные на предыдущем этапе нечеткие подмножества для каждой переменной вывода по всем правилам объединять с целью формирования нечеткого подмножества для всех переменных вывода.

10 Нечеткие нейроны в ННС имеют два входа и один выход и параметрически настраиваются на работу в одном из трех режимов:

- режим 1 (type 1) – оба входа являются четкими (crisp) и вначале подвергаются фаззификации по треугольному закону при помощи механизма базовых точек, а выход является нечетким (fuzzy) результатом отработки нечетких предикатных правил;

- режим 2 (type 2) – оба входа и выход является нечетким (fuzzy);

- режим 3 (type 3) – оба входа являются нечеткими (fuzzy), а выход является четким (crisp) результатом отработки нечетких предикатных правил и вначале подвергаются дефаззификации по закону синглтонов.

В третьей главе рассмотрено решение задачи разработки нейро-нечеткого классификатора предаварийных состояний оборудования на основе математической модели нейронных сетей.

1 Нейро-нечеткий классификатор предназначен в первую очередь для организации систем мониторинга сети передачи данных, предназначенных для автоматизации процесса оповещения служб промышленных предприятий о возникновении предаварийных состояний или достижении аварийной ситуации оборудования сети передачи данных путем рассылки уведомлений по электронной почте.

2 Приведен перечень параметров мониторинга удаленных телекоммуникационных шкафов, предназначенных для установки телекоммуникационного или другого оборудования 19” с обеспечением бесперебойного питания, возможностью удаленного мониторинга по сети Ethernet с функцией ведения журнала тревог и событий и обеспечения принудительного отвода излишков тепла в зависимости от температуры.

Аналогичный перечень приведен также для оборудования серверных помещений.

3 Описан драйвер MODBUS RTU over TCP, являющийся основным компонентом информационного обмена между Edge Hub и Edge Gateway и реализующий функциональность класса 0 для master-устройства. Показана реализация функции чтения нескольких регистров хранения (код функции 3), оформленная в виде макрокоманды в среде EasyBuilderPro.

4 Описана настройка журнала событий и рассылки e-Mail, обеспечивающая ведение журнала событий различных типов с сохранением данных на SD, USB-диск, во внешнюю базу данных или до 9000 записей по внутреннюю память сMT-SVR. Для каждого события задается категория (256 категорий), приоритет, разрешение отправки уведомлений через EasyAccess 2.0 и условия события. Если выбран тип события «бит», то система будет проверять состояние бита по адресу, и сравнивать его соответствие с заданным значением в поле «Триггер». Если выбран тип события «слово», то система сравнит значение адреса с правилом выбранном в поле «Триггер».

5 Описан оконный интерфейс EasyBuilderPro, который поддерживает до 1997 различных типов окон, пронумерованных от 3 до 1999, и различные способы их создания, редактирования и удаления. Возможны 4 типа окон, отличающихся по функциональности и способу использования: Base Window (Базовое окно), Fast Selection Window (Окно быстрого выбора), Common Window (Общее окно) и System Message Window (Окно системных сообщений). Окна с 3 по 9 могут использоваться только системой; окна с 10 по 1999 предназначены для целей пользователя. Для серии сMT только одно всплывающее окно может быть отображено в один момент.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перечень решенных в диссертационной работе задач:

- разработана архитектура слоя зондирования IIoT РТКС 4.0, соответствующая второму этапу (до 2022 года) реализации цифровой повестки ЕАЭС, связанному с формированием институтов цифровой экономики, цифровых активов, а также цифровому преобразованию традиционных отраслей промышленности. Архитектура разработана на основе анализа и критической оценки эталонных (референсных) моделей архитектур Промышленного Интернета Вещей с учетом новых стратегий управления объемом и разнообразием поступающих данных. Преимущества практического использования данной архитектуры на этом этапе цифровой трансформации промышленности связаны с тем, что решение основано на применении изделий общепромышленного назначения, функции которых являются программно-определяемыми (software defined). Продолжением работ в данном направлении должна явиться разработка устройств класса Sensing Gateway, использующих технологии периферийного интеллекта (Edge Intelligence) на границе сети. Такое решение позволит автоматически преобразовывать нейронные сети, предварительно обученные в нейросетевых библиотеках Keras, Lasagne, Caffe, ConvNetJS или Tensorflow Lite, в оптимизированную библиотеку для STM32 с последующей интеграцией сгенерированной библиотеки в проект пользователя;

- разработан метод классификации признаков состояний оборудования с помощью математического аппарата нечетких множеств, предусматривающий перенос обработки данных с высокой скоростью их прироста в слой зондирования IIoT путем двухуровневой обработки показателей телеметрии в реальном времени. В работе описан верхний уровень обработки данных с использованием средств Narrow AI, позволяющий производить классификацию предаварийных состояний оборудования устройствами Edge Hub с использованием нейро-нечетких классификаторов;

- разработан нейро-нечеткий классификатор предаварийных состояний оборудования на основе математической модели нейронных сетей, предназначенный в первую очередь для организации систем мониторинга сетей передачи данных для автоматизации процесса оповещения служб промышленных предприятий о возникновении предаварийных состояний или достижении аварийной ситуации оборудования сети передачи данных путем рассылки уведомлений по электронной почте.

Нейро-нечеткий классификатор состоит из драйвера MODBUS RTU over TCP, являющийся основным компонентом информационного обмена между Edge Hub и Edge Gateway, журнала событий и рассылки e-Mail, и оконного интерфейса EasyBuilderPro.

Библиотека БГУИР

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА

[1-А] Радишевская, Т. А., Радишевский, Д. В. Архитектура Промышленного Интернета Вещей для цифрового преобразования производства / Т. А. Радишевская, Д. В. Радишевский // Современные средства связи: материалы XXIV Междунар. науч.-техн. конф., 17–18 окт. 2019 года, Минск, Респ. Беларусь; редкол. : А. О. Зеневич [и др.]. – Минск : Белорусская государственная академия связи , 2019. – С. 43-44.

[2-А] Радишевская, Т. А., Радишевский, Д. В. Международная научно-техническая конференция "Мониторинг техногенных и природных объектов" 28-29 ноября 2019 года, Минск. Нейро-нечеткий классификатор предаварийных состояний оборудования на техногенных объектах. - Минск: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2019. -с. 33-41.

[3-А] Радишевская, Т. А., Радишевский, Д. В. Технологии Narrow AI в слое зондирования промышленного интернета вещей / Т. А. Радишевская, Д. В. Радишевский // BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня: сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф. (Республика Беларусь, Минск, 20-21 мая 2020 года): в 3 ч. Ч. 2; редкол. : В.А. Богуш [и др.]. – Минск : Бестпринт, 2020. – С. 188-195.

[4-А] Радишевский, Д. В. 54-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, 2018 г. КОНЦЕНТРАТОР ДАННЫХ MODBUS НА БАЗЕ PIC-КОНТРОЛЛЕРА. - Минск: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2018. -с. 159.