

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.272

Н.Г. АКСАК

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

**КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ
РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ**

Разработан методологический подход для решения трудоемких и плохо формализуемых задач с экстренным реагированием на критическое изменение состояния исследуемого объекта в распределенной среде. В рамках построения методологии решены: задача предоставления сервиса; задача диагностики и мониторинга исследуемого объекта на основе обработки его изображений и получаемой информации от подключенных к объекту разнообразных измерительных приборов; задача согласования действий для адекватного принятия решений за счет использования организационной мультиагентной структуры; задача персонализации веб-ресурса, осуществляемая путем подстройки контента под предпочтения пользователей; задача оперативного реагирования на критическое изменение состояния исследуемого объекта с использованием высокопроизводительных вычислений. Проведенные эксперименты подтвердили работоспособность моделей и методов, на основе которых реализована совокупность заданий предложенной методологии.

Ключевые слова: диагностика, нейросетевая классификация, удаленный мониторинг, организационная мультиагентная система, персонализация веб-ресурса.

Н.Г. АКСАК

Харківський національний університет радіоелектроніки

**КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ МУЛЬТИАГЕНТНИХ СИСТЕМ РОЗПОДІЛЕННІ
НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ ОБРОБКИ ВЕЛИКИХ ДАНИХ**

Розроблено методологічний підхід для вирішення трудомістких і погано формалізованих задач з екстремним реагуванням на критичну зміну стану досліджуваного об'єкта в розподіленому середовищі. В рамках побудови методології вирішені: задача надання сервісу; задача діагностики та моніторингу досліджуваного об'єкта на основі обробки його зображень та одержуваної інформації від підключених до об'єкту різноманітних вимірювальних приладів; задача узгодження дій для адекватного прийняття рішень за рахунок використання організаційної мультиагентної структури; задача персоналізації веб-ресурсу, що здійснюється шляхом підстроювання контенту під переваги користувачів; задача оперативного реагування на критичну зміну стану досліджуваного об'єкта з використанням високопродуктивних обчислень. Проведені експерименти підтвердили працездатність моделей і методів, на основі яких реалізована сукупність завдань запропонованої методології.

Ключові слова: діагностика, нейромережева класифікація, віддалений моніторинг, організаційна мультиагентна система, персоналізація веб-ресурсу.

N.G. AXAK

Kharkiv National University of Radio Electronics

**CONCEPT OF CONSTRUCTION OF MULTIAGENT SYSTEMS OF DISTRIBUTED NEURAL
NETWORK PROCESSING OF BIG DATA**

Objective – development of a multi-agent, rapid response system based on distributed neural network processing of big data, which allows, by remote monitoring, to make emergency decisions related to a critical change in the state of the object under study.

Method. The methodological approach was developed to solve laborious and poorly formalized problems with an emergency response to a critical change in the state of the object under study in a distributed environment. The proposed approach allows creating a multi-agent rapid response system based on distributed neural network processing of big data, the work of which is based on the use of the following technologies: mobile communication technologies, data collection, transmission and presentation; technology of parallel and distributed computing; Big Data technologies; neural network technologies; agent-based technologies; cloud computing technologies.

The model of the process of prompt response to the change of the investigated object is proposed, which describes the interaction of the web interface, the procedural block, the agent block, the accumulation unit and the experience analysis. Such interaction is accomplished due to a combination of distributed neural network classification of data for solving the problems by providing services, personalizing the web resource, coordinating

actions for adequate decision making. This allows improving the quality of service, responding urgently to a critical change in the state of the object under study, increasing the speed with which to solve complex tasks, and also keeping customers longer for users' preferences.

Results. For the proposed methodological approach, an experimental cluster, a software and a web resource are developed. They are used in realization computing experiments for verification of models, valuation of the adequacy and study the properties of models and methods.

Application area. The application of the methodological approach can be used to improve the coordination of users' actions and various systems for an adequate and prompt response to the ongoing changes in the status of the object under study in real time, as well as to provide quality service and business development.

Conclusions. The conducted experiments confirmed the working capacity of models and methods, on the basis of which the set of tasks of the proposed methodology was implemented.

Keywords: diagnostics, neural network classification, remote monitoring, organizational multi-agent system, personalization of web-resource.

Постановка проблемы

Наступила эра совершенно нового взаимодействия людей и различных систем, от которых ожидается оперативная реакция на возникающие преобразования в настоящем времени, что напрямую связано:

Во-первых, с принятием продуманных решений. Для принятия решений существует огромное разнообразие всевозможных методов с различным уровнем сложности. Обеспечить хорошее решение для распределенного управления позволяет вычислительная парадигма с использованием мультиагентных систем (МАС). Для таких систем ключевым понятием является агент, постоянная деятельность которого интерпретируется как принятие решений, при этом он обладают автономностью, целенаправленностью и активностью. В разных сферах деятельности мотивация применения МАС различна, однако можно выделить основные преимущества применения мультиагентных систем:

- субъекты принимают во внимание особенности приложения и окружающей среды;
- имеется возможность моделирования и исследования взаимодействия между субъектами;
- отдельные компоненты системы моделируются на разных уровнях.

Следовательно, использование мультиагентных систем предоставляет возможность качественного распределенного управления. Стратегически спланированные действия агентов, учитывающие поведение других агентов и имеющие возможность общаться, сотрудничать и вести переговоры, позволяют принять согласованные решения, что требует разработки новых методов и моделей, а также соответствующих механизмов взаимодействия.

Во-вторых, с решением трудно формализуемых задач, для чего хорошо себя зарекомендовали искусственные нейронные сети. Применение нейронных сетей (НС) имеет практическое значение в любой предметной области и обладает следующим рядом преимуществ перед традиционными математическими методами:

- когда задача не может быть формализована традиционными математическими методами;
- когда задача формализуема, но на настоящее время отсутствует аппарат для ее решения;
- когда для хорошо формализуемой задачи существует соответствующий математический аппарат, но реализация вычислений с его помощью на базе имеющихся вычислительных систем не удовлетворяет требованиям получения решений по времени, размеру, весу, энергопотреблению и др.

Однако, с увеличением размерности входных сигналов структура нейронной сети становится более сложной, что в свою очередь ведет к более длительному времени обучения, к замедлению скорости сходимости. В то же время, нейронная сеть является высокопроизводительным вычислителем, поэтому алгоритмы, предназначенные для работы на такой сети, являются параллельными.

Следовательно, с помощью нейронных сетей можно ускорить решение трудоемких задач.

В-третьих, с накоплением и обработкой огромного количества информации, что в свою очередь затрагивает концепцию больших данных. С помощью феномена больших данных можно получить ряд полезных вещей, таких как извлечение полезных шаблонов, выявление мошенничества, управление факторами риска, снижение затрат на охрану здоровья и многое другое.

Следовательно, огромное количество данных с вариациями поможет разработать эффективную прогностическую модель, которая будет построена не на предположениях, а на основе имеющихся реальных данных. Одновременно с этим мы сталкиваемся с множеством проблем, таких как сбор, хранение, управление, анализ и безопасность данных. Обработку больших данных невозможно осуществлять традиционными методами из-за сложности и размера данных.

Таким образом, существует потребность в разработке принципов и технологий построения распределенных систем, которые в реальном времени поддерживают решение сервис-ориентированных задач, позволяющих обрабатывать колоссальные объемы разнородной информации, полученной из разнородных источников различными устройствами. Одной из основных задач таких систем является предоставление сервиса наибольшему числу пользователей.

Анализ последних исследований и публикаций

Агентно-ориентированные модели активно применяются в разных областях [1], начиная от моделирования роста опухоли и иммунных систем до моделей социальных сетей, компьютерной и мобильной самоорганизации и др. Планирование крупных систем, требующее значительных временных затрат рассмотрено в [2]. Для больших систем с огромным количеством работ рекомендуется распараллеливать некоторые вычисления и использовать теорию мультиагентных систем. В [3] показан многоагентный подход для управления распределенными вычислениями в кластерной грид-системе. Приведены архитектура и принципы работы МАС. Выделен ряд важных технологических особенностей данного подхода. Многоагентный подход для координации зарядки электромобилей с переменной скоростью предлагается в [4]. При таком подходе сочетаются преимущества децентрализованного подхода к принятию решений с помощью механизма управления сверху вниз, основанного на ценовых функциях.

Возрождение интереса к многоагентному подходу возникло отчасти благодаря успеху глубинных нейронных сетей. В [5] каждый агент рассматривает весь свой опыт как часть своей нестационарной среды. Приведен мета-алгоритм, основанный на наилучших ответах, созданных с использованием глубокого обучения, эмпирического анализа игр для вычисления мета-стратегий выбора политик. Однако МАС с интеллектуальными и автономными агентами не получили широкого распространения для мобильных устройств, позволяющих воспользоваться необходимой информацией удаленно.

Нейронные сети стали многодисциплинарным научным контекстом [6]. Практические приложения, использующие нейросетевое программное обеспечение, обеспечивают наилучший результат во многих прикладных областях. Многие современные методы диагностики основаны на использовании нейронных сетей. С целью обеспечения устойчивости промышленной и бытовой техники нейронная сеть применяется для автоматической диагностики неисправностей подшипников на основе вибрационных сигналов [7]. Метод диагностики неисправностей для фотогальванических систем на основе НС описан в [8].

Современным аналитическим методам, базирующимся на больших данных, посвящено достаточно много работ. Наибольшее цитирование определения больших данных включает пять характеристик: объем, разнообразие, скорость, достоверность и ценность. Информация в здравоохранении является ярким примером больших данных, так как удовлетворяет всем этим функциям [9,10]. Проблемы обработки больших данных, связанные с их многообразием, со сложностями сбора, хранения, управления и анализа, объемом памяти и скоростью вычислений рассмотрены в [11,12]. Описаны методики и алгоритмы, используемые для управления большими наборами данных.

Цель исследования

Целью работы является построение многоагентной системы оперативного реагирования на основе распределенной нейросетевой обработки больших данных, позволяющей путем дистанционного мониторинга экстренно принимать решения, связанные с критическим изменением состояния исследуемого объекта. Для достижения поставленной цели необходимо разработать методологический подход для решения трудоемких и плохо формализуемых задач экстренного реагирования в распределенной среде.

Изложение основного материала исследования

Технология разработки многоагентной системы оперативного реагирования на основе распределенной нейросетевой обработки больших данных

С целью обеспечения эффективного доступа к веб-порталу, предоставляющего сервисы наибольшему числу пользователей с использованием всевозможных датчиков и мобильных устройств, предлагается методологический подход, позволяющий создать многоагентную систему оперативного реагирования на основе распределенной нейросетевой обработки больших данных (МАСрНСоБД), работа которой строится на использовании ряда технологий (рис.1).



Рис.1. Используемые технологии реализации многоагентной системы оперативного реагирования на основе распределенной нейросетевой обработки больших данных

Пользователям и приложениям предоставляется полный набор услуг по доступу к сервисам системы (рис. 2).



Рис.2. Структура интерфейсов многоагентной системы распределенной нейросетевой обработки больших данных

Пусть имеются:

- регистрационная информация исследуемого объекта, а также данные датчиков и измерительных приборов $\{R_1, R_2, \dots, R_T\}$;
- изображения с камер видеонаблюдения, у которого значения яркости элементов обозначаются h_{kj} ($h_{kj} = 0; 255$; $k = \overline{1, m}$; $j = \overline{1, n}$);
- доступная информация о $U(i)$ -ом ($i = \overline{1, M}$) пользователе сервис-ориентированного веб-портала Res (имя браузера, номер версии, язык, платформа, встроенные расширения, адрес предыдущей страницы, часовой пояс, время посещения страницы, информация о мониторе и т.п.) $C(i) = [C^1(i), C^2(i), \dots, C^k(i)]$.

Тогда разрешение проблемы оперативного реагирования на критическое изменение состояния исследуемого объекта на основе анализа изображений и показаний всевозможных датчиков состоит в разработке методологического подхода, включающего совокупность следующих заданий:

1. Решение задачи предоставления сервиса D_H заключается в разработке:
 - модели процесса нейросетевой диагностики и мониторинга Ξ , ее составных компонентов и их взаимодействия;
 - методов обработки изображений исследуемого объекта как в состоянии покоя, так и в состоянии движения.
2. Решение задачи распределения работ и ролей между агентами мультиагентной системы оперативного реагирования заключается в разработке:
 - мультиагентной организационной структуры компонентов обобщенной модели процесса нейросетевой диагностики и мониторинга и описать их взаимодействие;
 - методов планирования и координирования групповых действий агентов, проведения переговоров и выбора оптимального решения для достижения поставленной цели.
3. Решение задачи персонализации D_P веб-ресурса Res при ограниченном количестве образов веб-интерфейсов Ω заключается в разработке:
 - модели персонализации V_R , ее составных компонентов и их взаимодействия;
 - объектной модели документов Интернет-ресурса в виде графа Res;
 - метода персонализации веб-портала, позволяющего для каждой $R(n)$ -ой категории пользователей ($n = \overline{1, L}$) адаптировать информационное наполнение страниц $\bar{X}_k \in Res$ и $Res \subset Res(k < \Delta)$, где Δ – количество вершин графа Res.
4. Решение задач ускоренной обработки больших данных заключается в разработке:
 - моделей параллельной нейрообработки данных;
 - методов ускоренного обучения и функционирования многослойной нейронной сети прямого распространения в компьютерных кластерах с различными топологиями передачи данных;

- методов равномерного распределения нейросетевой обработки данных в гетерогенной вычислительной среде;
- cloud-fog-dew архитектуры для персонализированных сервис-ориентированных систем.

В общем виде процесс оперативного реагирования на изменения состояния зарегистрированного пользователя веб-ресурса, предоставляющего сервисные услуги, описывается моделью (1), которая включает следующие компоненты [13]: Web-интерфейс, процедурный блок, агентский блок, а также блок накопления и анализа опыта (рис. 3). Модель процесса оперативного реагирования на изменение исследуемого объекта выражается как преобразование входных значений H в выходные величины Y :

$$\Xi \subset H \times Y, \tag{1}$$

где $H(i) = \{H_D(i), H_P(i)\}$, ($i = \overline{1, M}$ – матричное представление входных данных, $Y = \{Y_D, Y_P\}$, $(Y \square Y)$ – множество формализованных свойств.

Таким образом, пространство (универсум) $\Sigma = X \times Y$ включает $\Xi \subset H \times Y$, это означает, что существует такое подмножество H , ($H \subset X$) и отношений между ними, на которых строится модель Ξ , ($\Xi \subset \Sigma$). Для выходных величин Y_D построено множество заданий, решение которых принадлежит множеству $D_H = \{D_{Hr}, D_{Hst}, D_{Hdn}\}$, где $D_{Hr} = \{\mathcal{R}_1, \mathcal{R}_2, \dots, \mathcal{R}_r\}$ – задача обработки регистрационной информации и показателей датчиков, $D_{Hst} = \{M_1, M_2, \dots, M_{st}\}$ – задача обработки изображений объектов в состоянии покоя (M_1 – выделение области интереса, M_2 – бинаризация, M_3 – скелетонизация, ...), $D_{Hdn} = \{D_1, D_2, \dots, D_{dn}\}$ – задача обработки изображений объектов в состоянии движения (прямолинейного, вращательного, поступательного, равноускоренного и других видов). Для выходных величин Y_P построено множество заданий, решение которых принадлежит множеству $D_P = \{D_{JSM}, D_{behavior}, D_{SOM}\}$, где D_{JSM} – задача порождения гипотез о наличии или отсутствии определенных свойств пользователя $U(i)$, $D_{behavior}$ – задача анализа поведения пользователя; D_{SOM} – задача кластеризации пользователей с помощью сети Кохонена.

Отображение $T: H_D \rightarrow Y_D$ позволяет для каждого $H_D(i)$ найти такое $Y_j \in Y_D$ ($j = \overline{1, Q}$, Q – количество классов), которое является решением задачи D_H . Значения $Y_j \in Y_D$ используются для диагностики с помощью нейросетевого классификатора и выработки дальнейшей тактики поведения.

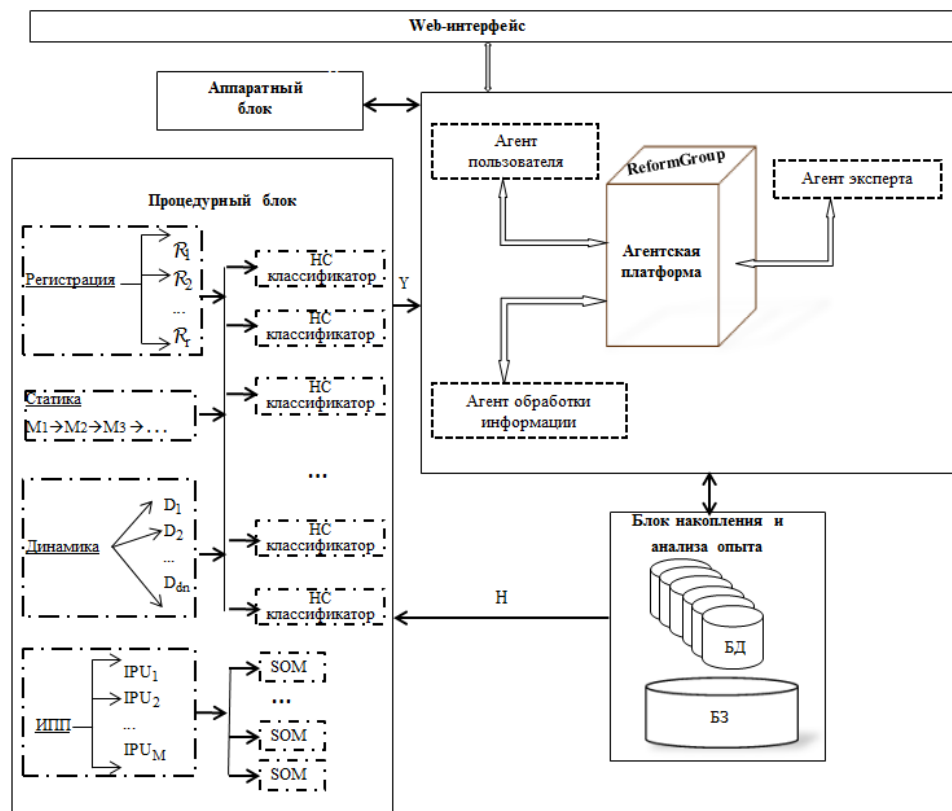


Рис. 3. Обобщенная модель многоагентной системы оперативного реагирования на основе распределенной нейросетевой обработки больших данных

Отображение $\Pi : H_P \rightarrow Y_P$ позволяет для каждого $H_P(i)$ получить такое $y_j \in Y_P$ ($j = \overline{1, \Omega}$, Ω – количество интерфейсов), которое является решением задачи D_P , полученное в виде графовой модели (2) иерархического представления адаптированного Интернет-ресурса

$$\overline{Res} = \langle \overline{X}, \Gamma^{-n}, Y_P \rangle, \tag{2}$$

где $\overline{X} = \{ \overline{X}_k \}$ – множество адаптированных страниц ($k < \Delta$), сформированных в результате отображения $\overline{X}_k = \Gamma^{-k}(x_m)$ множества интересного для пользователя информационного наполнения $x_m \subset x$ ($\Gamma^{-k}(x_m)$ обозначает обратное соответствие, показывающее для каких вершин графа Res вершина \overline{X}_k является конечной).

В общем виде принцип функционирования МАСрНСоБД для оперативного реагирования на изменения состояния исследуемого объекта выглядит следующим образом.

Пользователь, желающий получить сервисные услуги, после регистрации на сервис-ориентированном Web-ресурсе получает уникальный идентификатор и на его мобильное устройство устанавливается специальное приложение.

Датчики аппаратного блока (измерительные приборы, камеры видеонаблюдения, фотокамеры и т.п.) отправляют информацию через Bluetooth к мобильному устройству, которое пересылает полученные данные "Агенту пользователя" A_{user} , а он агрегирует и переводит показания устройств в форму, пригодную для дальнейшей обработки.

"Агент обработки информации" A_{data} определяет, какие задания D_{Hr} , D_{Hst} , D_{Hdn} или/и D_{SOM} , D_{IPU} будут выполняться в процедурном блоке, передает/принимает информацию блоку накопления и анализа информации.

В процедурном блоке параллельно решаются задачи предоставления сервиса и персонализации веб-ресурса.

"Агент эксперта" A_{expert} собирает информацию от "Агента пользователя" A_{user} , "Агента обработки данных" A_{data} и дает рекомендации по использованию услуг.

В то же время "Агент пользователя" A_{user} собирает информацию о пользователе и посылает ее "Агенту обработки данных" A_{data} . По результатам решения задачи категоризации пользователей D_{SOM} "Агент пользователя" A_{user} для каждого кластера вырабатывает оптимальную стратегию, позволяющую учитывать предпочтения пользователей, и настраивает соответствующий контент.

Агентский блок [16] представлен следующими множествами $MAS = \{A, E, Res\}$. Множество адаптивных агентов A может быть представлено в виде $A = \{A_{user}, A_{expert}, A_{data}\}$, среда E представляет собой программную платформу для выполнения агентов и предоставляет функциональность для создания/уничтожения агентов, для приема/передачи сообщений; Res – объектная модель документов в виде графа (3):

$$Res = \langle X, Arc, Y_P \rangle, \tag{3}$$

где $X = \{X_a\}$ – множество вершин графа, представляющие страницы сайта, каждая страница $X_a = \{x\}$ представлена множеством информационных элементов: текстовые блоки, меню, ссылки, графические элементы и т.д. ($x = \{1, \dots, |x|\}$), Arc – множество дуг графа, при этом дуга $arc = (a, b)$ принадлежит графу только, если направление предполагается заданным от вершины a к вершине b ($a, b = 1, \dots, \Delta$ – количество вершин графа Res), $Y_P = \{y_c\}$ – множество интерфейсов веб-ресурсов Res , $c = 1, \dots, \Omega$ – количество образов веб-интерфейсов.

Блок накопления и анализа информации включает базу данных (БД), хранящую множества $C = [C^1, C^2, \dots, C^k]$, множество Интернет-пользователей U , целевые свойства O , множество информационных портретов пользователей IPU , а также базу знаний (БЗ), содержащую общие закономерности о возможных причинах наличия (отсутствия) целевых свойств и информацию, являющуюся результатом накопленного опыта.

Для моделирования полученных теоретических результатов предложенного методологического подхода использована компьютерная сеть Fast Ethernet с физической топологией «звезда» со скоростью передачи 100 Мбит, которая состоит из 10 четырехядерных вычислителей Intel Core 2 Quad CPU Q8200 @2.33GHz с видеокартой GeForce GTX 460. Распараллеливание выполнено с помощью технологий CUDA, OpenMP и MS MPI на языке программирования C++ в операционной системе Microsoft Windows Compute Cluster Server 2003. Создан экспериментальный кластер Hadoop (версия 2.7.5), состоящий из 5 компьютеров (Intel Core 2 Quad CPU Q8200 @2.33GHz, ОС Microsoft Windows 10) с физической топологией "звезда", где 4 узла являются Datanodes, один – Namenode. Задачи управлялись менеджером YARN. Веб-интерфейс реализован с помощью языка гипертекстовой разметки HTML, каскадных таблиц стилей CSS и скриптового языка JavaScript. Программное обеспечение для мобильных агентов реализовано на платформе .NET Framework с использованием языка C#. Для хранения информации о пользователях выбрана база данных MS SQL Server. Подключение к базе данных осуществляется с помощью ORM (Object-Relational Mapping). Результаты проведенных экспериментов опубликованы в [13–17].

Выводы

В работе решена актуальная задача оперативного реагирования на критическое изменение состояния исследуемого объекта на основе анализа изображений и показаний всевозможных датчиков.

Предложен методологический подход как основа построения и применения способов согласования действий пользователей и разнообразных систем для адекватного и оперативного реагирования на происходящие изменения состояния исследуемого объекта в реальном времени путем сочетания различных технологий с учетом особенностей сервис-услуг (технологии мобильной связи, сбора, передачи и представления информации; технологии параллельных и распределенных вычислений; технологии Big Data; нейросетевые технологии; агентно-ориентированные технологии; технологии облачных вычислений). Методология базируется на системном подходе, который охватывает основные этапы жизненного цикла предоставления сервис-услуг.

Разработана обобщенная модель многоагентной системы оперативного реагирования на основе распределенной нейросетевой обработки больших данных, которая в отличие от существующих, описывает взаимодействие веб-интерфейса, процедурного блока, агентского блока, блока накопления и анализа опыта, благодаря сочетанию распределенной нейросетевой классификации данных для решения задач предоставления сервиса за счет динамического перераспределения работ между вычислителями кластера, персонализации веб-ресурса, осуществляемой путем подстройки контента под предпочтения пользователей, согласования действий для адекватного принятия решений за счет использования организационной мультиагентной структуры в зависимости от предоставляемого сервиса, что позволяет улучшить качество обслуживания, экстренно реагировать на критическое изменение состояние исследуемого объекта, повышает быстродействие при решении сложных задач, а также дольше удерживать клиентов за счет учета предпочтений пользователей.

Список использованной литературы

1. Niazi M. A. Verification & validation of agent based simulations using the VOMAS (virtual overlay multi-agent system) approach / M.A. Niazi, A. Hussain, M. Kolberg // Proceedings of the Third Workshop on Multi-Agent Systems and Simulation'09 (MASS '09) (Torino, Italy, September 7-11, 2009). – Torino, 2009. – P. 142-149.
2. Oleinikova S.A. et al. Mathematical and software of the distributed computing system work planning on the multiagent approach basis / S.A. Oleinikova et al. // International Journal of Applied Engineering Research. – 2016. – Т. 11. – №. 4. – P. 2872-2878.
3. Bogdanova V.G. et al. Multiagent approach to controlling distributed computing in a cluster Grid system / V.G. Bogdanova et al. // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2014. – Т. 53. – №. 5. – P. 713-722.
4. Valogianni K. A Multiagent Approach to Variable-Rate Electric Vehicle Charging Coordination / K. Valogianni, W. Ketter, J. Collins // Proceedings of the 2015 International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (Istanbul, Turkey, May, 4-8, 2015). – New York: ACM, 2015. – P. 1131-1139.
5. Lanctot M. et al. A Unified Game-Theoretic Approach to Multiagent Reinforcement Learning / M. Lanctot et al. // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2017. – P. 4190-4203.
6. Samarasinghe S. Neural Networks for Applied Sciences and engineering: from Fundamentals to Complex Pattern Recognition / S. Samarasinghe. – Boston: Auerbach publications, 2016. – 570 p.

7. Ali J.B. et al. Linear feature selection and classification using PNN and SFAM neural networks for a nearly online diagnosis of bearing naturally progressing degradations / J.B. Ali et al. // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. – 2015. – Т. 42. – P. 67-81.
8. Chine W. et al. A novel fault diagnosis technique for photovoltaic systems based on artificial neural networks / W. Chine et al. // *Renewable Energy*. – 2016. – Т. 90. – P. 501-512.
9. Dembosky A. Data prescription for better healthcare / A. Dembosky // *FinancTimes*. – 2012. – № 12. – P. 19-22.
10. Burghard C. Big Data and Analytics Key to Accountable Care Success. IDC health insights. 2012.
11. Zerhari B. 'Big data clustering: Algorithms and challenge' / B. Zerhari, A. A. Lahcen, S. Mouline // *Proc. of Int. Conf. on Big Data, Cloud and Applications (BDCA'15) (Tetuan, Morocco, May 25-26, 2015)*. – 2015. – 6 p.
12. Kurasova O. Strategies for big data clustering / O. Kurasova et al. // *2014 IEEE 26th International Conference on Tools with Artificial Intelligence*. – IEEE, 2014. – С. 740-747. – DOI: 10.1109/ICTAI.2014.115.
13. Аксак Н.Г. Мультиагентная система нейро-сетевой диагностики и удаленного мониторинга пациента / Н.Г. Аксак // *Інформаційні технології: проблеми та перспективи: Монографія / под ред. В.С. Пономаренко*. – Харків: Вид. Рожко С. Г., 2017. – С. 325-340.
14. Axak N.G. Development of Multi-Agent System of Neural Network Diagnostics and Remote Monitoring of Patient / N.G. Axak // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – Vol. 4. – № 9(82). – P. 4-11.
15. Аксак Н.Г. Параллельная нейрообработка больших данных в распределенной среде на основе MapReduce / Н.Г. Аксак // *Інформаційні технології: сучасний стан та перспективи: Монографія / за заг. ред. В.С. Пономаренка*. – Х. : ТОВ "ДІСА ПЛЮС", 2018. – С. 330–345.
16. Аксак Н.Г. Разработка системы персонализации специализированного веб-портала / Н.Г. Аксак // *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. – 2018. – № 1. – С. 91-99.
17. Axak N. Cloud-Fog-Dew Architecture for Personalized Service-Oriented Systems / N. Axak, D. Rosinskiy, O. Barkovska, I. Novoseltsev // *The 9th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT'2018, Kyiv, Ukraine, 2018*. – P.80-84.