

УДК 681.3

В.С. Мошкин, Н.Г. Ярушкина

СИСТЕМА ОНТОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ¹

Мошкин Вадим Сергеевич, аспирант кафедры «Информационные системы» Ульяновского государственного технического университета, окончил факультет информационных систем и технологий УлГТУ. Имеет статьи в области интеллектуальных систем анализа данных. [e-mail: postforvadim@yandex.ru].

Ярушкина Надежда Глебовна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Информационные системы» УлГТУ. Имеет более 250 научных работ в области мягких вычислений, нечеткой логики, гибридных систем. [e-mail: jng@ulstu.ru].

Аннотация

В данной статье описан семантический подход к анализу временных рядов (ВР) на примере показателей состояния локальной вычислительной сети (ЛВС) посредством использования онтологии проблемной области. Представлены формальная модель OWL-онтологии рассматриваемой предметной области, онтологическая модель представления набора продукций и алгоритм логического вывода рекомендаций по корректировке архитектуры ЛВС в процессе оценки ее состояния при искусственном повышении трафика.

В данной работе решена задача объединения различных подходов представления экспертных знаний посредством интеграции знаний продукционного характера в онтологическую модель с использованием SWRL-правил. Помимо этого, рассмотрена реализация данного алгоритма в программной системе анализа ВР TAnalyzer.

В статье приведены результаты вычислительных экспериментов по моделированию состояния ЛВС при искусственном повышении трафика на примере локальной сети Центра разработки электронных мультимедиа технологий (ЦРЭМТ) УлГТУ, а также подведены итоги проведенных исследований и оценена перспектива дальнейших научных изысканий в этой области.

Ключевые слова: онтология, временные ряды, интеллектуальный анализ данных, семантика.

ONTOLOGICAL TIME-SERIES ANALYSIS SYSTEM

Vadim Sergeevich Moshkin, Post-graduate Student at the Department of Information Systems at Ulyanovsk State Technical University; graduated from the Faculty of Information Systems and Technology of Ulyanovsk State Technical University; an author of articles in the field of intelligent systems. e-mail: postforvadim@yandex.ru.

Nadezhda Glebovna Yarushkina, Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Information Systems at Ulyanovsk State Technical University; an author of more than 250 papers in the field of soft computing, fuzzy logic, and hybrid systems. e-mail: jng@ulstu.ru.

Abstract

This article describes a semantic approach to analyzing the time series as an example of local area network (LAN) status parameters using the ontology of problem area. We represent a formal model of the OWL-ontology for the considered subject domain, an ontological view model for a set of production rules. An inference algorithm for LAN architecture modification during its status estimation while artificially increasing traffic is proposed.

We solved the aggregation problem of the different approaches to expert knowledge representation through the product knowledge integration into the ontological model using SWRL- rules. In addition, the implementation of this algorithm in the time-series analysis software TAnalyzer is considered.

The results of computational experiments on LAN-status simulation while artificially increasing traffic as an example of the LAN of the Center for Development of Electronic Media Technologies at Ulyanovsk State Technical University are represented. We summarized the research results conducted and evaluated further research findings expectation in this domain.

Key words: ontology, time series, data mining, semantics.

¹ Работа поддержана Министерством образования и науки России, проект № 2014/232 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания Ульяновского государственного технического университета.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее быстро развивающихся направлений интеллектуального анализа данных в последние десятилетия становится интеллектуальный анализ ВР или Times-Series Data Mining. Решение широкого круга задач, связанных с анализом процессов по ВР (задачи проектирования и тестирования сложных технических систем, таких как ЛВС) предполагает адаптацию методики анализа к особенностям рассматриваемой предметной области [1]. Поэтому информационные системы оценки состояния ЛВС, содержащие элементы экспертной обработки и интеллектуального анализа значений характеристик ЛВС в форме нечетких ВР и нечетких локальных тенденций, должны включать в себя базу экспертных знаний.

Типичными моделями представления знаний являются:

- продукционная модель;
- модель, основанная на использовании фреймов;
- модель семантической сети;
- логическая модель;
- онтологическая модель [2].

В настоящее время большинство экспертных систем поддержки принятия решения используют для хранения знаний продукционную модель, позволяющую делать логический вывод рекомендаций с помощью заранее сформированного экспертом набора правил. Недостатком данного метода является неполнота описания предметной области, помимо этого, модель требует строгой структуризации экспертных знаний, что в условиях слабой формализованности данных о предметной области делает использование данной модели оправданным лишь в ограниченных количествах случаев [3].

Остальные модели представления экспертных знаний в контексте анализа данных, представленных в виде ВР, позволяют связать результаты анализа с рассматриваемой предметной областью, но не дают возможности делать семантический вывод рекомендаций по результатам анализа вследствие отсутствия математического аппарата логического вывода в основе моделей.

Использование одного формата представления знаний существенно снижает гибкость и функциональность экспертных систем поддержки принятия решений, используемых в процессе проектирования сложных технических систем, таких как ЛВС, именно поэтому в настоящее время актуальной является разработка методов и алгоритмов интеграции разных моделей представления слабоформализованных экспертных знаний в процессе анализа ВР [4].

Наиболее универсальной и полной с точки зрения охвата специфики предметной области во всем разнообразии отношений между ее объектами является модель интеграции онтологического и продукционного подходов представления знаний, позволяющая в процессе логического вывода соответствующих рекомендаций опираться на данные, представленные в виде онтологии и наиболее полно описывающие рассматриваемую предметную область. В настоящее время не существует конкретных

математических моделей, позволяющих использовать эти два подхода в рамках решения описанной задачи, именно поэтому задача интеграции продукций в онтологическую модель в процессе анализа ВР является одной из наиболее актуальных [5].

1 ФОРМАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОНТОЛОГИИ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ЛВС

Онтология представляет собой систему, состоящую из множества понятий, их определений и аксиом, необходимых для ограничения интерпретации и использования понятий [6]. Любая онтология основана на математическом аппарате – дескрипционной логике (ДЛ) определенного типа.

Использование методологии семантического анализа ВР предполагает выход на более высокий уровень анализа, предполагающий смысловое обоснование процесса и результатов исследования в соответствии с особенностями заданной проблемной области.

Одно из требований к онтологиям, используемым в качестве формы хранения знаний, заключается в том, чтобы содержащиеся в них знания были «доступны» для машинной обработки, в частности, для автоматизированного логического вывода новых знаний из уже имеющихся. Для этого требуется, чтобы язык, на котором формулируются онтологии, имел точную семантику, а соответствующие логические проблемы были разрешимы (и имели практически допустимую вычислительную сложность) [7].

OWL (*Ontology Web Language*) – язык описания онтологий, позволяющий описывать классы и отношения между ними. В основе языка – представление действительности в модели данных «объект – свойство». OWL является перемоделированной ДЛ с использованием синтаксиса XML.

Онтологический подход хранения знаний в рамках решения задачи анализа ВР, характеризующих соответствующие состояния тех или иных показателей загрузки ЛВС в процессе искусственного повышения трафика, предполагает представление их в следующем виде:

$$O = \langle T, R, F \rangle, \quad (1)$$

где T – термины прикладной области, которую описывает онтология, при этом

$$T \subset \{T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6\},$$

где T_1 – множество классов, описывающих иерархию сетевого оборудования ЛВС, его характеристики, а также программное обеспечение, состояние которых влияет на производительность сети (классы «Ethernet-свич», «Топология_сети» и т. д.);

T_2 – множество классов, описывающих иерархию программного и аппаратного обеспечения тестирования состояния сети (классы «Системы_диагностики_и_управления», «Анализаторы_протоколов» и т. д.);

T_3 – множество классов характеристик работоспособности системы (классы «Время_реакции_ПО», «Загрузка_процессора_сервера» и т. д.);

T_4 – множество классов, обеспечивающих взаимосвязь терминов рассматриваемой предметной области с терми-

нами анализа процесса ВР, поступающих на вход разработанной информационной системы анализа ВР (классы «Тенденция», «Характер_тенденции» и т. д.);

T_5 – множество классов, хранящих возможные рекомендации по корректировке архитектуры тестируемой ЛВС (класс «Рекомендации»);

T_6 – множество вспомогательных классов, обеспечивающих взаимодействие терминов предметной области с объектами, используемыми в SWRL-правилах, которыми оперирует система логического вывода (резонер) (класс «Ситуация»), где SWRL – Semantic Web Rule Language (реализ W3C);

R – отношения между терминами заданной предметной области;

F – множество функций интерпретации (аксиоматизации), заданных на терминах и/или отношениях онтологии.

Возможны следующие варианты отношений между терминами проблемной области:

$$1. t_1 R_i t_2,$$

где $R_i \in R$ и

$$t_1, t_2 \in T_1, \text{ при этом } t_2 \text{ – потомок } t_1;$$

$$t_1, t_2 \in T_2, \text{ при этом } t_2 \text{ – потомок } t_1; \quad (2)$$

$$t_1 \in T_3, t_2 \in T_4.$$

$$2. t_1 R_i k,$$

где $R_i \in R$,

$$t_1 \in T_1 \cup t_1 \in T_2,$$

k – значение встроенного типа (integer, float, boolean).

Таким образом, основными преимуществами использования OWL-онтологии проблемной области для анализа временных рядов в рамках решения поставленной задачи являются:

- 1) отсутствие избыточности информации, используемой в процессе генерации вывода;
- 2) универсализация процесса анализа ВР;
- 3) простота процесса описания особенностей проблемной области;
- 4) возможность создания семантического базиса процесса анализа ВР;
- 5) наглядность формализованного представления проблемной области [8].

2 ИНТЕГРАЦИЯ ЗНАНИЙ ПРОДУКЦИОННОГО ХАРАКТЕРА В ОНТОЛОГИЧЕСКУЮ МОДЕЛЬ С ПОМОЩЬЮ SWRL-ПРАВИЛ

В рамках разработки онтологии анализа состояния ЛВС были исследованы особенности продукционного и онтологического подходов к представлению знаний соответствующей предметной области, а также был получен опыт по их совмещению в онтологической модели с помощью использования набора SWRL-правил.

В целом, SWRL – это технология, которая помогает описать абстрактный механизм оперирования объектами предметной области, а также закономерности предметной

области. Основным достоинством SWRL является то, что она дает возможность выводить новые факты из существующих утверждений.

Продукционные правила SWRL представляют собой простейшие логические структуры, связывающие условия (антецедент) со следствием (консеквентом). Представление рассматриваемой области знаний в виде причинно-следственных связей объясняется тем, что рекомендации и выводы в области анализа состояния ЛВС имеют форму сложных условных высказываний [9].

В общем виде SWRL-правила, обеспечивающие процесс логического вывода рекомендации, определены следующим образом:

$$a_1 \cap a_2 \cap \dots \cap a_n \rightarrow b, \quad (3)$$

где a_1, \dots, a_n – предикаты (атомы) антецедента (условия),

b – консеквент (следствие) правила, состоящий из одного атома.

Набор входных данных, поступающих в систему анализа ВР в качестве составляющих атомов SWRL-правил, представим следующим образом:

$$I = \langle C, D, P, G, S, H \rangle, \quad (4)$$

где C – множество технических характеристик рассматриваемой системы (Топология_сети, Маршрутизация и т. д.);

D – множество характеристик работоспособности системы («Время_реакции_ПО», «Загрузка_процессора_сервера» и т. д.);

P – множество свойств объектов («включает Показатель», «имеет Топологию» и т. д.);

G – множество свойств типа данных («имеетПропускнуюСпособность», «имеетЗначение» и т. д.);

S – нечеткое множество характера тенденции («Спад», «Рост» и т. д.);

H – множество вспомогательных терминов, обеспечивающих взаимодействие объектов, используемых в SWRL-правилах, с индивидами онтологии («Ситуация» и т. д.).

Исходя из выражений (1) и (3), совместное использование онтологии и набора SWRL-правил в процессе логического вывода возможно лишь в случае выполнения следующих условий:

$$\begin{aligned} H \subseteq T_6, C \cup S \subseteq T_1 \cup T_2 \cup T_4, \\ D \subseteq T_3, P \cup G \subseteq R. \end{aligned} \quad (5)$$

Общий вид используемых правил представлен далее.

Набор правил, которые обеспечивают логический вывод результатов анализа, можно разделить на две группы:

1. Группа продукционных правил, консеквентом (следствием) которых являются конкретные рекомендации по корректировке структуры ЛВС, являющиеся объектом класса «Рекомендации» онтологии предметной области. Модель подобного правила представлена в виде выражения 6.

$$p_1(x, d) \cap p_2(d, s) \cap \dots \dots p_i(x, c_1) \cap g(c_1, c_2) \cap \dots \dots \rightarrow p_n(x, h), \quad (6)$$

где $x, h \in H; p_1, p_2 \dots p_i \dots p_n \in P; g \dots g_n \in G; d \in D, c_1, c_2 \in C$.

2. Группа правил, следствием которых является логическое присвоение одному из объектов-характеристик сети конкретного значения. Далее это значение выступает в роли входных данных других продукционных правил в процессе генерации логического вывода рекомендации. Модель подобного SWRL-правила представлена в виде выражения 7.

$$p_1(x, d) \cap p_2(d, s) \cap \dots \dots p_i(x, c_1) \cap g(c_1, c_2) \cap \dots \rightarrow p_n(x, c_n) \cap g_n(c_n, c_{n+1}), \quad (7)$$

где $x, h \in H; p_1, p_2 \dots p_i \dots p_n \in P; g \dots g_n \in G; d \in D; c_1, c_2 \dots c_n, c_{n+1} \in C$.

Пример правила, диагностирующего проблему архитектуры ЛВС, приведен ниже:

Ситуация(?x) ∧ включаетПоказатель(?x, Фоновая_нагрузка) ∧ имеетТенденцию(Фоновая_нагрузка, Рост) ∧ включаетПоказатель(?x, Утилизация_канала_связи) ∧ имеетТенденцию(Утилизация_канала_связи, Спад) ∧ включаетПоказатель(?x, Число_коллизий_в_сети) ∧ имеетТенденцию(Число_коллизий_в_сети, Рост) → предполагает(?x, Проблема_архитектуры).

Модель представления экспертных знаний в виде набора SWRL-правил имеет ряд преимуществ перед остальными подобными технологиями:

1. Правила SWRL не содержат конкретных объектов, а только ссылаются на них, что дает возможность применять одно и то же правило к ряду групп объектов;
2. Правила SWRL могут быть добавлены к OWL-описанию, т. е. включены в онтологию;
3. Написание и «чтение» правил удобнее, если для этого существует специальный язык.

Непосредственный процесс интеграции онтологической и продукционной моделей знаний в рамках решения задачи оценки состояний ЛВС предполагает использова-

ние в качестве объектов SWRL аналогичные объекты классов, описанных в построенной OWL-онтологии.

Непосредственная взаимосвязь самой онтологии предметной области и набора SWRL-правил в процессе логического вывода осуществляется с помощью формирования запросов к онтологии, генерируемых системой анализа при выполнении набора правил. Схема взаимодействия онтологической и продукционной моделей представлена на рисунке 1.

Основная последовательность действий в процессе логического вывода рекомендации на основе взаимодействия разработанной OWL-онтологии и системы продукционных SWRL-правил включает в себя следующие шаги:

Шаг 1. Извлечение данных в виде RDF-троек (Resource Description Framework среда описания ресурса). RDF-тройки представляют собой выражения «субъект» – «отношение» – «объект». Варианты извлекаемых RDF-троек должны удовлетворять ограничениям (2).

Шаг 2. Проверка входных данных на наличие в онтологии соответствующих классов, отношений, объектов, то есть проверка соотношений (5).

Шаг 3. Запрос на получение связанных данных (обращение к родителям объектов).

Шаг 4. Запрос на выполнение правил вида (6) и (7) с учетом полученных связанных данных.

Шаг 5. Вывод результата анализа в виде объекта разработанной OWL-онтологии. Вывод осуществляется в соответствии с моделями, описанными на шаге 4.

Таким образом, процесс вывода представляет собой движение резонера по графу, в узлах которого находятся объекты соответствующих классов онтологий, удовлетворяющих или не удовлетворяющих заданным условиям.

3 СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ВР

В рамках решаемой задачи онтологического анализа ВР, характеризующих состояние ЛВС, были проведены следующие действия:

1. Экспертом в области проектирования ЛВС построена OWL-онтология соответствующей проблемной области;
2. Был составлен набор продукционных правил в формате SWRL, включенных в файл онтологии проблемной области;
3. Была разработана система семантического анализа ВР TSAAnalyzer 1.0, реализующая описанный выше алгоритм интеграции онтологической и продукционной моделей представления знаний.

Разработанная OWL-онтология анализа состояния ЛВС имеет иерархическую организацию и включает в себя 81 класс, 104 свойства классов и порядка 200 экземпляров классов онтологии. На данный момент онтология имеет 6 уровней иерархии, что позволяет максимально конкретизировать термины предметной области, используемой при решении поставленной задачи.

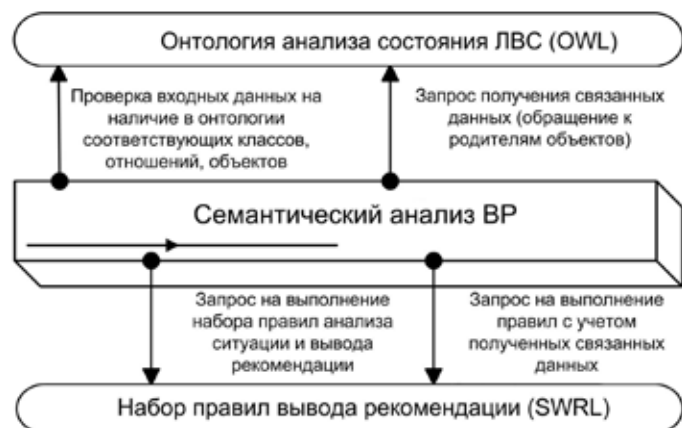


Рис. 1. Схема взаимодействия онтологической и продукционной моделей в процессе логического вывода

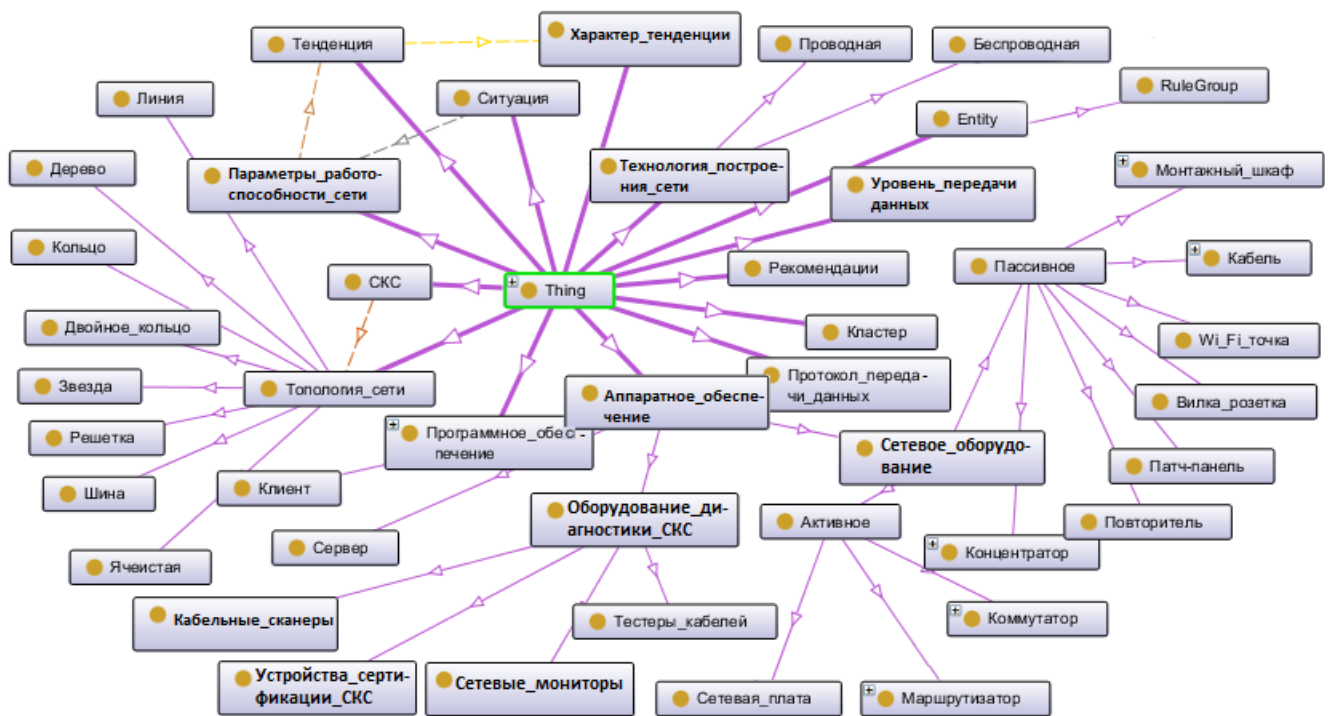


Рис. 2. Фрагмент онтологии анализа состояния ЛВС

Онтология оценки состояния ЛВС была разработана с помощью редактора онтологий Protégé 4.2, являющегося свободно распространяемым, открытым и имеющего легко расширяемую архитектуру за счет поддержки модулей расширения функциональности.

Фрагмент онтологии (первые 3 уровня иерархии классов) анализа состояния ЛВС представлен на рисунке 2.

Пример объявления класса «Анализаторы протоколов» разработанной OWL-онтологии:

```
<owl:Class rdf:ID="Анализаторы_протоколов">
  <rdfs:label rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">
    Анализатор протоколов</rdfs:label>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:about="#ПО_мониторинга_и_анализа_сетей"/>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
```

Пример объявления экземпляра класса «Параметры работоспособности сети»:

```
<Параметры_работоспособности_сети rdf:ID="
Интенсивность_генерируемой_нагрузки">
  <rdfs:label rdf:resource="#Интенсивность_генерируемой_нагрузки"/>
</Параметры_работоспособности_сети>
```

Возможность адекватного представления объектов и отношений рассматриваемой предметной области достигается в процессе построения онтологии в редакторе Protégé благодаря специальным интерактивным инструментам, задающим конкретные характеристики отдельных отношениям.

В связи с тем, что любая OWL-онтология строго иерархична и не предполагает наличия встроенных отношений

типа «часть–целое», в разработанной онтологии данный недостаток восполняют взаимобратные свойства «являетсяЧастью» и «включает».

Пример отношения типа данных «имеетВнутреннююПропускнуюСпособность» объектов класса «Коммутатор»:

```
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="имеетВнутреннююПропускную
Способность">
  <rdfs:domain rdf:resource="#Коммутатор"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"/>
</owl:DatatypeProperty>
```

Пример отношения свойства «имеетТопологию» объектов класса «Структурированная_кабельная_система»:

```
<owl:ObjectProperty rdf:ID="имеетТопологию">
  <rdfs:domain rdf:resource="#Структурированная_кабельная_система"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#Топология_сети"/>
</owl:ObjectProperty>
```

Одна из ключевых особенностей онтологий, которые описываются с помощью OWL DL (OWL DL так назван из-за его соответствия ДЛ), заключается в том, что они могут быть обработаны резонером. Одна из основных услуг, предлагаемых резонером, – тестирование иерархии классов и их описаний. В используемом в процессе создания онтологии редакторе Protégé 4.2 имеются встроенные машины вывода (резонеры) Fact++ и HermiT, запуск работы которых позволил избежать следующих ошибок структуры данных внутри разработанной онтологии:

1. Ошибки согласованности классов: класс считается несогласованным, если он не может иметь экземпляров, вследствие множественного наследования от непересекающихся классов.



Рис. 3. Архитектура системы онтологического анализа BP

2. Ошибки согласованности свойств экземпляров классов заключаются в противоречивости установленных пользователем характеристик свойства (свойство p является одновременно функциональным и обратно функциональным по отношению к заданным множествам классов домена и диапазона).

Разработанная онтология анализа состояния ЛВС хранится совместно с набором SWRL-правил, которые играют роль драйвера в процессе логического вывода и непосредственно связаны с предметной областью, описанной в онтологии.

В рамках решения поставленной задачи было разработано 42 производственных правила в формате SWRL. В качестве модуля разработанной системы TSAlyzer 1.0, обеспечивающего доступ к онтологии и возможность ее обработки, используется Java-фреймворк Apache Jena, который создает программную среду для работы с данными в форматах RDF, RDFS и OWL, а также поддерживающий возможность формирования запросов к онтологии на языке SPARQL (*SPARQL Protocol and RDF Query Language* – язык запросов к данным, представленным по модели RDF, и протокол для передачи запросов и ответов на них).

Ядром разработанной системы, обеспечивающим логический вывод, является резонер Pellet, позволяющий обрабатывать знания в OWL-формате, основанном на ДЛ. Сам процесс логического вывода, обеспечивающий выдачу пользователю экспертного заключения о состоянии тестируемой ЛВС по входным значениям характеристик загрузки сети, представленным в виде BP, а также набору ее технических характеристик, осуществляется посредством выбора удовлетворяющего условиям SWRL-правила, включенного в OWL-онтологию.

Архитектура разработанной системы онтологического анализа BP представлена на рисунке 3.

Входные данные, поступающие в систему онтологического анализа, унифицируются посредством преобразования к виду RDF-троек.

Пользовательский интерфейс системы онтологического анализа BP предполагает возможность автоматического

извлечения входных данных, представления их в виде RDF-троек и оформления в виде таблицы с соответствующими столбцами Subject – Predicate – Object (см. рис. 4).

Входными данными системы являются:

1. Результаты анализа BP в виде тенденций изменения параметров сети. Результаты хранятся в виде RDF-троек (Например, «Фоновая нагрузка» + «имеет тенденцию» + «рост»). Данные значения хранятся в СУБД MySQL и соответствуют значениям объектов разработанной онтологии.

2. Данные, включающие основные структурные характеристики ЛВС, а также данные динамического изменения ее состояния в процессе искусственного повышения загрузки каналов связи. Данные также представлены в виде RDF-троек.

3. Экспертная OWL-онтология, включающая формализованное описание проблемной области, а также набор SWRL-правил логического вывода рекомендаций по устранению проблем в сети.

В процессе логического вывода соответствующей рекомендации система попеременно обращается к онтологии и к набору SWRL-правил, тем самым создавая определенную семантическую среду проведения анализа с привязкой к особенностям проблемной области, описанной в онтологии. Выводимая в главном окне системы рекомендация представляет собой строковое значение отношения «имеетЗначение» соответствующего объекта класса «Рекомендации».

4 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ЛВС ЦРЭМТ УлГТУ

Для проверки адекватности алгоритма интеграции онтологической и производственной моделей представления экспертных знаний, а также корректности работы информационной системы TSAlyzer, реализующей данный алгоритм, был проведен ряд экспериментов, в рамках которых были смоделированы возможные проблемные ситуации, возникающие в процессе работы ЛВС при искусственном повышении загрузки каналов связи.

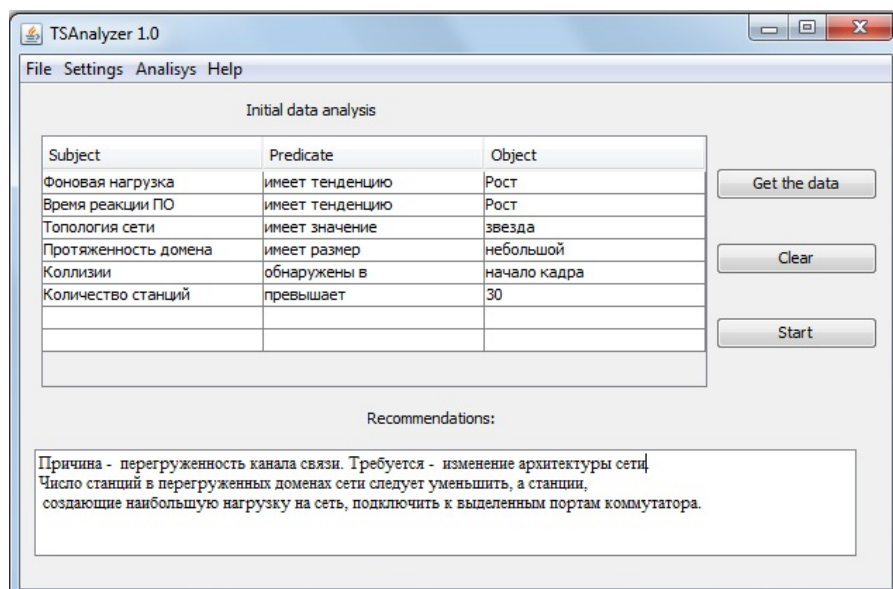


Рис. 4. Результат выполнения онтологического анализа входных данных

В рамках эксперимента было смоделировано 5 проблемных ситуаций снижения производительности ЛВС, причины появления которых необходимо было распознать, используя основанную на предложенной методике взаимодействия онтологического анализа и логических механизмов информационную систему TSAalyzer и разработанную экспертом OWL-онтологию с включением набора SWRL-правил.

Архитектура ЛВС, моделируемые проблемы в процессе искусственного повышения трафика в сети и семантический вывод системы TSAalyzer, содержащий рекомендацию по решению проблем, представлены в таблице 1.

В четырех случаях из пяти система наиболее близко сформулировала проблемное место рассматриваемой ЛВС, в одном из экспериментов (в третьем) рекоменда-

ция включила в себя несколько вариантов исправления проблемы ввиду недостаточной полноты поступающих в систему данных состояния тестируемой ЛВС.

Помимо этого, в трех случаях из пяти рекомендации по корректировке архитектуры сети генерировались при последовательной активизации двух и более SWRL-правил. Данный подход моделирует процесс принятия решения человеком.

Стоит отметить, что дальнейшая детализация правил вывода с целью получения более точного и адекватного значения рекомендации может быть реализована по двум сценариям:

1. За счет увеличения количества атомов в antecedente правил. Таким образом, каждое правило будет охватывать большее число параметров, от которых может зависеть производительность сети. Главным недостатком такого пути является заметное замедление процесса обработки модифицированных правил.

2. За счет разбиения правил на более короткие с увеличением количества SWRL-конструкций, следствием которых будет присвоение конкретного значения отдельному параметру сети с его последующим участием в процессе логического вывода в качестве входных данных другого правила. Данный подход является рациональным с точки зрения временных затрат и вариативности исходов процесса вывода.

Таблица 1

Результаты экспериментов по моделированию проблемных ситуаций работы ЛВС

Характеристики ЛВС	Моделируемые проблемы	Вывод системы TSAalyzer
Топология – «звезда», количество рабочих станций – 14, ОС сервера – Windows Server 2008 R2, сетевой коммутатор – D-Link DGS-3420-28SC, 20 портов, объем оперативной памяти коммутатора – 2 Mb, режим работы – 100 Мб/с Full Duplex, режим борьбы с коллизиями – CSMA/CD, QoS вкл, тип коммутационных шнуров – UTP, категория – 5Е, разъемы – RJ-45	Быстрый рост фоновой нагрузки, рост времени реакции пользовательского ПО	Причина – перегруженность канала связи. Требуется изменение архитектуры сети. Число станций в перегруженных доменах следует уменьшить, а станции, создающие наибольшую загрузку, – подключить к выделенным портам коммутатора
	Активация режима Half Duplex, рост фоновой нагрузки	Причина – несоответствие характеристик сетевого коммутатора объему трафика. Требуется замена коммутатора или изменение его настроек
	Повреждение одного из коммутационных шнуров, рост числа коллизий	Причина – неполадки с подключением коммутационных шнуров. Причина – неправильная организация заземления компьютеров, включенных в локальную сеть
	Наличие дефектов у портов коммутатора, рост числа ошибок CRC, рост фоновой нагрузки	Причина – неполадки работы портов сетевого коммутатора или повреждение коммутационного шнура, ведущего к проблемному хосту
	Наличие дефектов сетевой платы, быстрый рост числа локальных и удаленных коллизий	Причина – проблема в настройках сетевой платы сервера домена, проверьте целостность сетевой карты и правильность ее настройки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты проведенных экспериментов показали, что предлагаемый в работе семантический подход резюмирования ВР на основе онтологии проблемной области является не только наиболее удобным с точки зрения восприятия процесса и результатов анализа человеком, но и достаточно универсальным, исходя из возможности смены позиции рассмотрения поставленной задачи при помощи замены онтологии необходимой предметной области.

Помимо этого, разработанный алгоритм позволяет использовать унифицированный формат хранения знаний, что заметно упрощает процесс вывода экспертных заключений по модификации архитектуры проектируемой системы и в значительной степени сокращает затраты на экспертную оценку состояния сети, при этом не уступая в качестве оценки реальным специалистам в этой области.

В дальнейшем расширение функционала разработанной системы, реализующей рассмотренный алгоритм, возможно за счет большей детализации компонент производственных правил и увеличения количества элементов (классов, отношений, индивидов классов) самой онтологии.

Представленное в статье описание структурно-функционального решения системы онтологического анализа ВР и соответствующий ее прототип позволяют использовать данный программный продукт в качестве компонента интеллектуальной системы принятия решений на онтологической основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Namestnikov A., Yarushkina N. Efficiency of Genetic algorithms for automated design problems // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2002. – № 2. – С. 127–133.
2. Ярушкина Н.Г., Вельмисов А.П., Стецко А.А. Средства data mining для нечетких реляционных серверов данных // Информационные технологии. – 2007. – № 6. – С. 20–29.
3. Интегральный метод принятия решений и анализа нечетких временных рядов / В. Новак [и др.] // Программные продукты и системы. – 2008. – № 4. – С. 18.
4. Афанасьева Т.В., Ярушкина Н.Г. Нечеткий динамический процесс с нечеткими тенденциями в анализе временных рядов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2011. – Т. 3. – С. 7–16.
5. Ярушкина Н.Г., Афанасьева Т.В., Перфильева И.Г. Интеллектуальный анализ временных рядов: учеб. пособие. – Ульяновск, 2010.
6. Онтологии и тезаурусы / В.Д. Соловьев [и др.] : учеб. пособие. – Казань, Москва, 2006.
7. Митрофанова О.А., Константинова Н.С. Онтологии как системы хранения знаний // Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы». – 2008. – С. 54.
8. Ярушкина Н.Г., Мошкин В.С. Онтологический подход к анализу временных рядов // Интегрированные мо-

дели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. – 2013. – № 2. – С. 529–537.

9. Воронина И.Е., Пигалкова Е.А. Интеграция знаний продукционного характера в правовую онтологическую модель с помощью SWRL-правил // Вестник ВГУ, серия «Системный анализ и информационные технологии». – 2010. – № 2. – С. 139–144.

REFERENCES

1. Namestnikov A., Yarushkina N. Efficiency of Genetic Algorithms for Automated Design Problems. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya* [Journal of Computer and Systems Sciences International], 2002, no. 2, pp. 127–133.
2. Yarushkina N.G., Velmisov A.P., Stetsko A.A. Sredstva data mining dlya nechetkikh relyatsionnykh serverov dannyykh [Data Mining for Fuzzy Relational Data Servers]. *Informatsionnyye tekhnologii* [Theoretical and Applied Scientific and Technical Journal. Information Technologies], 2007, no. 6, pp. 20–29.
3. Novak V. and Others. Integralnyy metod prinyatiya resheniy i analiza nechetkikh vremennykh ryadov [Decision-making Integral Method and Fuzzy Time Series Analysis]. *Programmnyye produkty i sistemy* [International Journal. Programmnye Produkty i Sistemy], 2008, no. 4, p. 18.
4. Afanaseva T.V., Yarushkina N.G. Nchetkiy dinamicheskiy protsess s nechetkimi tendentsiyami v analize vremennykh ryadov [Fuzzy Dynamic Process with Fuzzy Trends by Time Series Analysis]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Vestnik of Rostov State University of Railway Engineering], 2011, vol. 3, pp. 7–16.
5. Yarushkina N.G., Afanaseva T.V., Perfilova I.G. *Intellektualnyy analiz vremennykh ryadov: ucheb. posobiye* [Time-Series Data Mining: Textbook]. Ulyanovsk, 2010.
6. Solovov V.D. and Others. *Ontologii i tezaurusy: ucheb. posobiye* [Ontologies and Thesauri: Textbook]. Kazan, Moscow, 2006.
7. Mitrofanova O.A., Konstantinova N.S. Ontologii kak sistemy khraneniya znaniy [Ontology as Knowledge System]. *Vserossiyskiy konkursnyy otbor obzorno-analiticheskikh statey po prioritetnomu napravleniyu Informatsionno-telekommunikatsionnyye sistemy* [Russian Competitive Selection of Review Articles in the Priority Field of Telecommunication Systems], 2008, p. 54.
8. Yarushkina N.G., Moshkin V.S. Ontologicheskii podkhod k analizu vremennykh ryadov [Ontological Approach to Time Series Analysis]. *Integrirrovannyye modeli i myagkiye vychisleniya v iskusstvennom intellekte* [Integrated Models and Soft Computing in Artificial Intelligence], 2013, no. 2, pp. 529–537.
9. Voronina I.E., Pigalkova E.A. Integratsiya znaniy produktionnogo kharaktera v pravovuyu ontologicheskuyu model s pomoshchyu SWRL-pravil [Product Knowledge Integration in Legal Ontological Model Using SWRL-Rules]. *Vestnik VGU, seriya Sistemnyi Analiz i informatsionnyye tekhnologii* [Proceedings of Voronezh State University. System Analysis and Information Technologies], 2010, no. 2, pp. 139–144.