



Интеграция телекоммуникационных сетей в системе мониторинга с использованием доменных онтологий

© 2022, И.А. Куликов¹✉, Н.А. Жукова^{2,1}

¹ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет “ЛЭТИ”, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Обсуждаются вопросы проектирования облачных систем мониторинга телекоммуникационных сетей, основанных на построении и применении моделей таких сетей в форме графов знаний. Предлагаемые системы мониторинга объединяют в себе функции систем, используемых различными операторами телекоммуникационных сетей. Рассматриваемый подход к проектированию предполагает использование ряда общих онтологий и онтологий доменного уровня, таких как доменная онтология телекоммуникационных услуг (TSDO) и онтология гибридной телекоммуникационной сети (ToCo). Для учёта специфики сетей и операторов в разрабатываемой системе мониторинга предусматривается расширение доменной онтологии. В статье рассматривается случай объединения в рамках одной системы мониторинга телекоммуникационных сетей, построенных на основе различных онтологий доменного уровня либо без использования онтологической модели, путём добавления новых онтологий. Для автоматизации процесса проектирования предложен алгоритм сопоставления классов доменных онтологий с компонентами моделей телекоммуникационных сетей. Показано применение предложенного подхода на примере задачи добавления нового сегмента сети в систему мониторинга оператора кабельного телевидения.

Ключевые слова: онтология, граф знаний, телекоммуникационная сеть, система мониторинга, домен, кабельное телевидение.

Цитирование: Куликов И.А., Жукова Н.А. Интеграция телекоммуникационных сетей в системе мониторинга с использованием доменных онтологий // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №3(45). С.353-366. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-353-366.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Значительная часть современных систем мониторинга телекоммуникационных сетей (ТС) применяется для решения следующих типовых задач мониторинга [1]: производительности сети; аварийных ситуаций и учётных записей пользователей и их действий.

Современные ТС включают в свой состав многие подсистемы и имеют динамическую структуру. В этих условиях системы мониторинга при решении практических задач должны быть способны использовать одновременно данные различных подсистем (например, данные о топологии сети, правах доступа, данные биллинговой подсистемы), а также - к перенастройке при изменении структуры сети. Существует множество доступных инструментов мониторинга как с открытым исходным кодом, так и коммерческих [2]. Операторы ТС заинтересованы в получении данных от систем мониторинга всех сегментов своей сети независимо от применяемых в них решений и технологий. Для этого необходима унификация моделей сегментов сетей и их параметров с последующей интеграцией этих моделей в рамках единой системы мониторинга, которая позволит получать данные мониторинга от всех сегментов сети.

В случае реализации сервисно-ориентированного подхода построения системы мониторинга, возможна реализация облачной платформы мониторинга, позволяющей подключить к ней сети различных операторов ТС и интегрировать в неё ТС без построения собственных систем мониторинга, что снизит их операционные издержки. Поэтому эффективное подключение сетей операторов к облачной платформе является актуальной задачей. Для решения задачи построения облачной платформы мониторинга в качестве основного архитектурного решения предложены системы мониторинга ТС на основе графов знаний (ГЗ) [3]. В статье [4] в рамках разработки архитектуры системы мониторинга на основе ГЗ проработаны вопросы использования доменных онтологий для интеграции различных сегментов сетей одного оператора [5], а также интеграция сетей различных операторов в рамках единой облачной платформы мониторинга [6], когда сети или их сегменты построены на основе доменных онтологий ТС. Используемые для облачной платформы мониторинга онтологии могут относиться к трём уровням [7-11]: онтологии верхнего уровня (или базовые онтологии), онтологии среднего уровня (или онтологии предметной области, ПрО) и онтологии нижнего уровня – онтологии приложений. Онтология верхнего уровня должна быть достаточно компактной, поскольку онтологии ПрО наследуют её классы и свойства [12, 13]. Наиболее общие классы онтологии конкретной ПрО могут быть помещены в онтологию верхнего уровня. Онтологии верхнего уровня способствуют ликвидации логического разрыва между разными ПрО. Онтологию среднего уровня можно рассматривать как предметно-ориентированную часть словаря. Как правило, онтологии нижнего уровня являются публичными, потому что они содержат общую информацию о ПрО. Дополнительные сведения о ПрО помещаются в онтологию уровня приложения. Онтология приложения не является онтологией в строгом смысле, поскольку онтологии этого типа не являются общими, а представляют собой словарь для конкретного приложения или системы [14, 15]. Однако часто сети оператора спроектированы без использования онтологий и представляют собой сеть из связанных объектов различных типов, данные о которых представлены в том или ином формате.

В статье поставлена задача и построен алгоритм автоматизированного сопоставления классов доменных онтологий с элементами моделей сети оператора ТС, дано описание предлагаемого алгоритма и рассмотрен пример его использования при интеграции нового сегмента в сеть оператора кабельного телевидения.

1 Онтологии для телекоммуникационных сетей

Онтологии используются как словарь, в котором представлен набор классов и отношения между этими классами в определённой ПрО. Такое представление имеет формально определённую и общепринятую структуру [16-19]. Доменная онтология может быть представлена как база знаний ПрО. Для домена ТС онтология описывает набор сетевых узлов, таких как коммутаторы, маршрутизаторы, устройства хранения и связи между ними. Существует ряд онтологий, разработанных для ТС.

- Онтология *NDL* (от англ. *Network Description Language* - язык описания сети) используется для описания субонтологий. Существуют субонтологии: *топологии сети*, которая описывает взаимосвязи между сетевыми устройствами; *слоёв*, описывающая применяемые технологии; *функций сети* - описывает функциональные возможности сети; *ПрО* - создаёт абстрактные представления ТС; *физического уровня сети* - описывает физические представления элементов ТС [20].
- Онтология *TSDO* (от англ. *Telecommunications Service Domain Ontology* – доменная онтология телекоммуникационных сервисов) [21] определяет концепции и отношения для описания знаний о домене телекоммуникационных услуг и поддерживает описания

свойств ТС. *TSDO* основана на подходе семантического описания (*TelecomOWL-S*) и построена для услуг сети электросвязи [22]. Это даёт возможность точного описания и сопоставления услуг ТС с аннотированной семантической информацией в случае открытой интегрированной сети [23].

- Онтология беспроводной сети 3G [24] разработана для конфигурации транспорта беспроводной сети и включает две субонтологии: онтологию ПрО и онтологию решаемых задач.
- Мобильная онтология [25] предоставляет возможность реструктурировать онтологии. Это масштабируемое решение с несколькими подключаемыми субонтологиями: сервисы, профили, контент, сущности, контекст, субонтология коммуникационных ресурсов.
- Онтология *OOTN* (от англ. *Ontology for Optical Transport Networks* - онтология для оптических транспортных сетей) [12] - это онтология нижнего уровня.
- Онтология, принятая в «*OpenMobileNetwork*» [26], - связанный открытый набор данных о мобильных сетях и устройствах разработан на платформе с открытым исходным кодом.
- Онтология *ToCo* (от англ. *TOUCAN Ontology*) [27] - одна из современных структурированных онтологий домена ТС.
- Онтология *TNMO* (от англ. *Telecommunication Networks Monitoring Ontology* – онтология мониторинга ТС) [5] - онтология уровня приложения, предложенная как расширение доменных онтологий ТС (*TSDO* и *ToCo*) для целей проектирования систем мониторинга ТС на основе ГЗ. Онтологии для ГЗ определяют словарь, используемый ГЗ. Использование онтологий для ГЗ позволяет описывать разнородные статические и динамические данные о ТС с помощью классов, отношений и атрибутов. Использование онтологий также позволяет интегрировать информационные системы на базе ГЗ. Онтологию можно легко расширить, добавляя новые классы, отношения и атрибуты. Структура ГЗ на основе онтологии позволяет использовать стандартный набор инструментов *Semantic Web* и *RDF*, включая *SPARQL* [28], для извлечения данных.

Для построения моделей сегментов сети обычно используются доменные онтологии для ПрО ТС, например, такие как *TSDO* или *ToCo*. При построении системы мониторинга для описания ПрО мониторинга ТС может использоваться онтология *TNMO*, которая описывает отслеживаемые в процессе мониторинга события ТС и перечни типов элементов, включая их параметры. На уровне онтологии *TNMO* происходит интеграция классов онтологии мониторинга с классами доменной онтологии путём определения связей эквивалентности классов *tnmo:sameAs* [6]. Такая интеграция позволяет использовать разработанные модели данных для систем мониторинга, содержащиеся в *TNMO* с разнообразными сегментами сетей операторов, построенных на основе доменных онтологий.

Когда оператор одновременно эксплуатирует сегменты сети, построенные на оборудовании и программном обеспечении разных поколений, часто более старые по времени создания сегменты не поддерживают онтологические модели. В этом случае требуется интеграция таких сегментов с онтологической моделью платформы мониторинга. Для такой интеграции возможно использовать метод обогащения онтологии, описанный в работе [29].

2 Постановка задачи

В качестве типового случая интеграции сети оператора в облачную систему мониторинга рассматривается интеграция сети или сегмента сети оператора, построенных без использования онтологических моделей. Архитектура облачной системы мониторинга построена на основе онтологии *TNMO*, поэтому при интеграции сегмента сети, модель которого не использует какую-то доменную онтологию, требуется применить алгоритм сопоставления эле-

ментов сегмента сети с классами онтологии *TNMO*. Для формулирования требований к такому алгоритму необходимо учитывать следующие особенности функционирующих ТС:

- ТС имеют сложную динамическую структуру, основным источником информации о них являются оперативные данные, полученные из сети;
- бизнес-процессы операторов ТС имеют высокую сложность, их выполнение требует тесного взаимодействия между несколькими информационными системами, в том числе системами сторонних производителей;
- особенности, определяемые целевыми группами абонентов, техническими ресурсами и т.д..

Сформулированы требования к алгоритму сопоставления данных. Алгоритм должен:

- обеспечивать возможность сопоставления с доменной онтологией разнородных статических и динамических данных о ТС без потери информации;
- учитывать возможность использования различных доменных онтологий сторонними производителями систем, эксплуатируемых в ТС;
- учитывать случаи, когда число параметров мониторинга изменяется на стороне подключаемой сети оператора;
- обеспечивать расширение онтологии *TNMO* на уровне приложения.

Таким образом, решаемая задача формулируется как разработка алгоритма, удовлетворяющего сформулированным требованиям и позволяющего в автоматическом или полуавтоматическом режиме сопоставлять классы онтологии *TNMO* с элементами подключаемой сети оператора, построенной без использования онтологических моделей.

3 Интеграция сети оператора

Логическая схема интеграции сети оператора, построенной без использования онтологической модели ТС, в облачную платформу мониторинга представлена на рисунке 1.

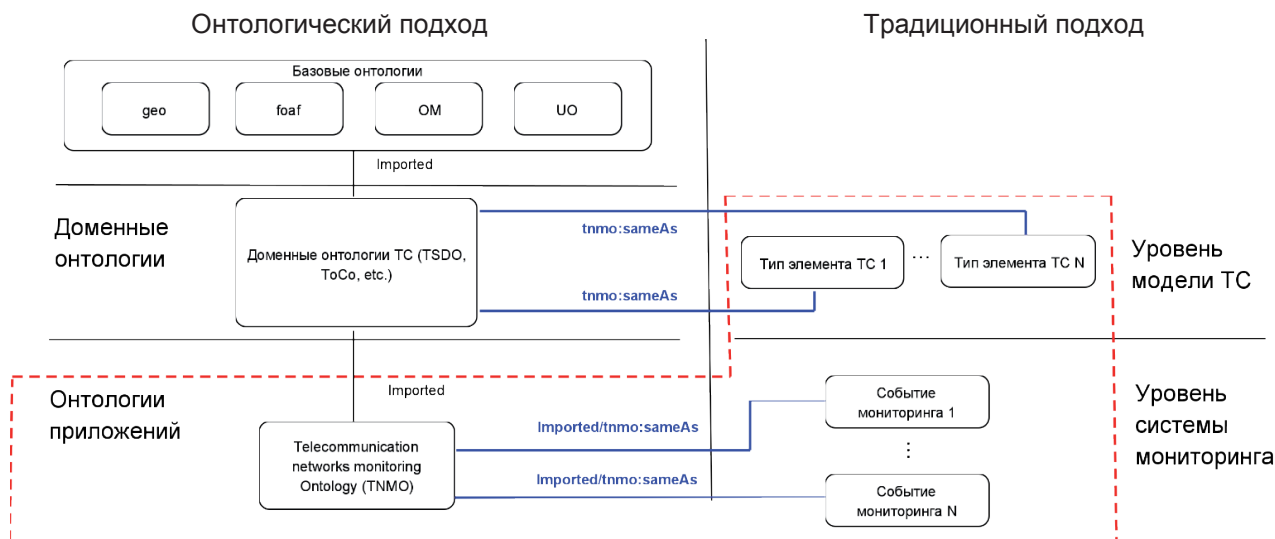


Рисунок 1 - Логическая схема интеграция сети оператора, построенной без использования онтологической модели ТС, в облачную платформу мониторинга

Онтологии ТС уровня ПрО (доменные онтологии ТС) содержат описания типов элементов ТС. Для элементов сетей операторов связи определяются соответствующие им элементы в доменных онтологиях, элементы связаны через *tnmo:sameAs*. Типы событий мониторинга связываются с уже описанными типами событий в онтологии *TNMO* также через

tnmo:sameAs. В случаях, когда тип события не определён в онтологии *TNMO*, онтология расширяется путём добавления нового типа события (связь *'imported'* на рисунке 1). При построении онтологии *TNMO* были использованы базовые и доменные онтологии [5].

TNMO является многоуровневой онтологией со следующими уровнями: уровнем базовой онтологии, уровнем онтологии ПрО и уровнем онтологии приложения. На уровне онтологии ПрО используется онтология *TSDO* или *ToCo*. Онтологии ПрО используются без модификаций. Онтологии базового уровня импортируются в онтологию ПрО.

TNMO связана с доменными онтологиями, используя следующие общие классы:

- *Device* - любое устройство ТС;
- *Link* - проводное или беспроводное соединение ТС;
- *Interface* - любой интерфейс ТС;
- *Service* - любая услуга ТС;
- *Data* - любой элемент данных в ТС (может быть описан в базовой онтологии).

Обобщённая информационная модель элемента сети оператора, построенной без онтологической модели, представлена на рисунке 2.

Предполагается, что каждый элемент сети относится к определённой сети оператора (ID Сети Оператора), к определённому типу (Тип Элемента Сети) и имеет ряд атрибутов (Атрибуты Элемента Сети).

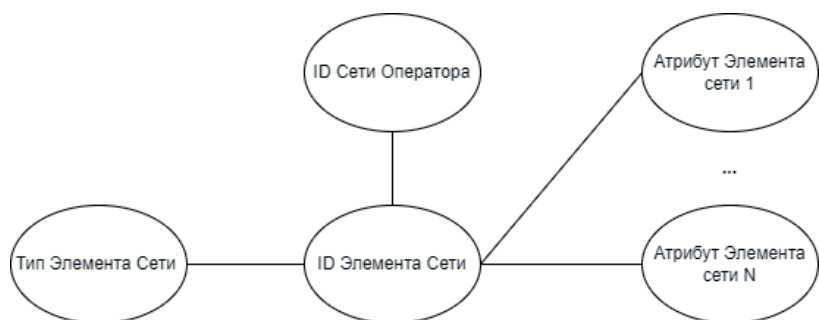


Рисунок 2 - Обобщённая информационная модель элемента сети оператора, построенной без онтологической модели

При интеграции подобной сети типы элементов сети добавляются в онтологию приложения *TNMO*, и её элементы далее связываются с элементами онтологии доменного уровня.

На рисунке 3 показан пример, когда в онтологию *TNMO* добавляется новый тип элемента сети – «Тип Элемента Сети», для него находится общий класс в доменной онтологии – *“net:Device”*, для атрибута, характеризующего исходящий трафик в онтологии *TNMO*, находится общий атрибут *“tnmo:OctetsSent”*. Элемент *“tnmo:Parameter_M”* описывает параметр сетевого устройства для мониторинга.

Таким образом, сопоставляя типы элементов сетей операторов с типами элементов, определяемых классами доменных онтологий ТС и расширяя при необходимости онтологию мониторинга *TNMO*, возможно подключить практически любую сеть оператора связи к облачной платформе мониторинга.

4 Алгоритм сопоставления классов онтологии с типами элементов ТС

Модели сети операторов, даже в условиях, когда они не строились на основе доменных онтологий, содержат большой объём метаданных о каждом элементе. Наличие метаданных позволяет сопоставлять типы элементов и их атрибуты с классами и свойствами доменной онтологии или *TNMO*. Сопоставление для части элементов выявляется в автоматическом режиме, для остальных элементов - выполняется с привлечением экспертов. Алгоритм сопоставления классов онтологии с элементами ТС представлен на рисунке 4.

Перед выполнением алгоритма необходимо составить список типов элементов, входящих в сеть оператора. Количество элементов сети – I ($i = 1, 2, \dots, I$). Для каждого типа элемента составляются перечни атрибутов. Количество атрибутов для i -го элемента – J_i ($j = 1, 2, \dots, J_i$).

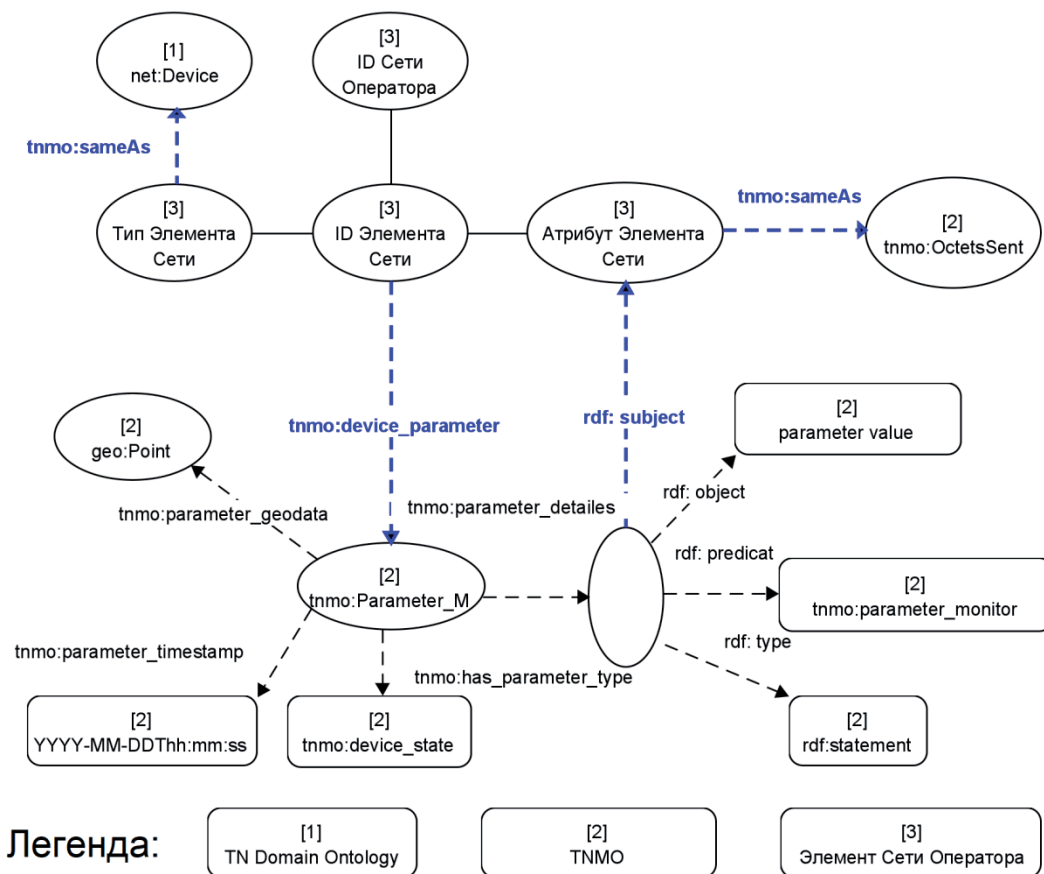


Рисунок 3 - Интеграция элемента сети оператора на уровне онтологии для случая с событием мониторинга – мониторинг параметра элемента сети

Входные данные:

список типов элементов сети оператора;
списки атрибутов для каждого типа элемента сети оператора.

Выходные данные:

расширенная онтология *TNMO*;
список типов элементов сети оператора для ручной обработки экспертом.

Алгоритм включает в себя следующие шаги:

- 1) устанавливается начальное значение счётчика типов элементов сети оператора $i = 1$;
- 2) производится поиск соответствия метаданных элемента сети i и метаданных классов доменной онтологии;
- 3) если соответствующий элемент найден в доменной онтологии, то переход на Шаг 4, если нет, то переход на Шаг 5;
- 4) формирование связи *tnmo:sameAs* между элементом сети i и соответствующим классом доменной онтологии на уровне онтологии *TNMO*, переход на Шаг 6;
- 5) элемент сети i помечается для поиска соответствия с классом доменной онтологии с привлечением эксперта в ручном режиме;
- 6) установка счётчика атрибутов для элемента сети оператора $i: j=1$;
- 7) поиск соответствия метаданных атрибута j элемента сети i и атрибутов классов в онтологии *TNMO*;
- 8) если соответствующий атрибут найден в онтологии *TNMO*, то переход на Шаг 9, если нет, то переход на Шаг 10;

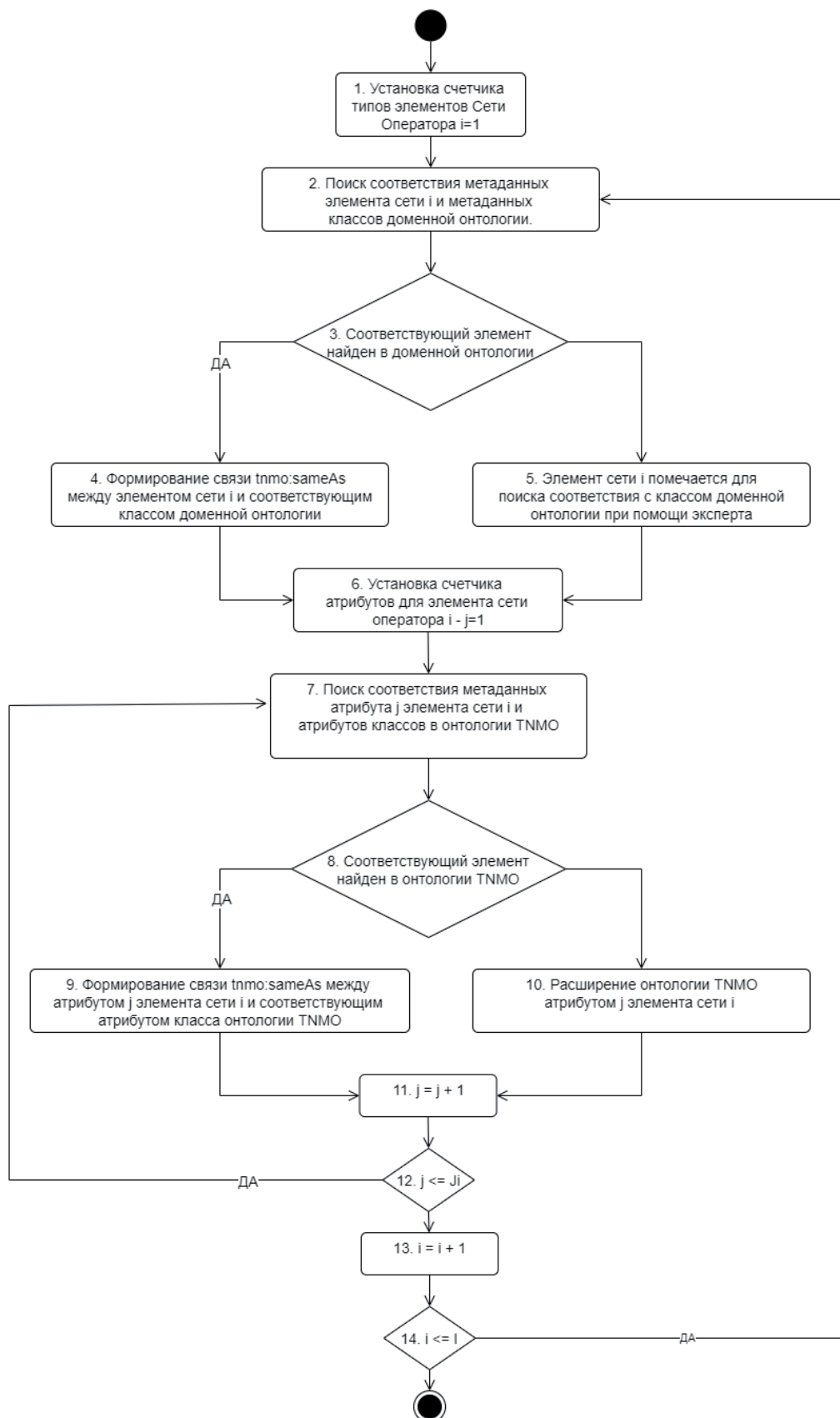


Рисунок 4 - Алгоритм сопоставления классов онтологии с элементами ТС

- 9) формирование связи *tnmo:sameAs* между атрибутом *j* элемента сети *i* и соответствующим атрибутом класса онтологии *TNMO*, переход на Шаг 11;
- 10) расширение онтологии *TNMO* новым атрибутом *j* для класса, описывающего элемент сети *i*;
- 11) увеличение счётчика атрибутов для элемента сети *i*: $j = j + 1$;
- 12) если рассмотрены не все атрибуты для *i*-го элемента ($j \leq J_i$), то переход на Шаг 7;
- 13) увеличение счётчика типов элементов сети $i = i + 1$;
- 14) если рассмотрены не все типы элементов сети ($i \leq I$), то переход на Шаг 2;
- 15) конец.

Представленный алгоритм позволяет выполнить автоматизированное сопоставление типов элементов сети оператора с классами доменной онтологии, сопоставить атрибуты элементов сети оператора с классами онтологии *TNMO* и автоматически расширить её, если соответствие не найдено.

5 Пример

5.1 Описание задачи

Бизнес-задача: Оператор ТС использует систему мониторинга сети, построенную без онтологической модели сети. ТС предоставляет услуги, приложения и доступ к контенту. Требуется подключение данной сети к облачной платформе мониторинга на базе ГЗ, для чего необходимо согласовать классы доменной онтологии с типами элементов сети оператора и расширить онтологию мониторинга *TNMO*.

Исходные данные: Типы элементов сети оператора и их атрибуты (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Типы элементов сети оператора и их атрибуты

Типы элементов ТС	
<i>CableTVNetwork</i>	Идентификатор сети оператора кабельного телевидения
<i>STB</i>	<i>Set Top Box</i> – пользовательская телевизионная приставка
<i>NetworkRouter</i>	Сетевой маршрутизатор
<i>VODAsset</i>	<i>Video On Demand Asset</i> - Видеоролик по запросу
<i>PPVEvent</i>	<i>Pay-per-View Event</i> – платная телевизионная передача
Атрибуты элементов ТС	
<i>OutgoingTraffic</i>	Переданный сетевой трафик, байт
<i>IncomingTraffic</i>	Полученный сетевой трафик, байт

5.2 OWL представление расширенной онтологии TNMO

Расширенные классы онтологии *TNMO* после подключения сети оператора кабельного телевидения к облачной платформе мониторинга в нотации *OWL* представлены в следующем виде:

```
<!-- http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_STB -->
<owl:Class rdf:about="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_STB">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/TNEntities"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/sameAs"/>
      <owl:someValuesFrom rdf:resource="http://purl.org/toco/userDevice"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
</rdf:label>tnmo:CableTVNetwork_STB</rdf:label>
```

```

</owl:Class>

<!-- http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_NetworkRouter -->
<owl:Class rdf:about="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_NetworkRouter">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/TNEntities"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/sameAs"/>
      <owl:someValuesFrom rdf:resource="http://purl.org/toco/SystemDevice"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:label>tnmo:CableTVNetwork_NetworkRouter</rdfs:label>
</owl:Class>

<!-- http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_VODAsset -->
<owl:Class rdf:about="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_VODAsset">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/TNEntities"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/sameAs"/>
      <owl:someValuesFrom rdf:resource="http://purl.org/toco/VideoService"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:label>tnmo:CableTVNetwork_VODAsset</rdfs:label>
</owl:Class>

<!-- http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_PPVEvent -->
<owl:Class rdf:about="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_PPVEvent">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/TNEntities"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/sameAs"/>
      <owl:someValuesFrom rdf:resource="http://purl.org/toco/VideoService"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:label>tnmo:CableTVNetwork_PPVEvent</rdfs:label>
</owl:Class>

<!-- http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_STB_IncomingTraffic -->
<owl:Class rdf:about="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_STB_IncomingTraffic">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_STB"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/sameAs"/>
      <owl:someValuesFrom rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/OctetsRecieved"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:label>tnmo:CableTVNetwork_STB_IncomingTraffic</rdfs:label>
</owl:Class>

<!-- http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_STB_OutgoingTraffic -->
<owl:Class rdf:about="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_STB_OutgoingTraffic">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_STB"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/sameAs"/>
      <owl:someValuesFrom rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/OctetsSent"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:label>tnmo:CableTVNetwork_STB_OutgoingTraffic</rdfs:label>
</owl:Class>

<!-- http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_NetworkRouter_IncomingTraffic -->
<owl:Class rdf:about="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_NetworkRouter_IncomingTraffic">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_NetworkRouter"/>

```

```

<rdfs:subClassOf>
  <owl:Restriction>
    <owl:onProperty rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/sameAs"/>
    <owl:someValuesFrom rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/OctetsRecieved"/>
  </owl:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
<rdfs:label>tnmo:CableTVNetwork_NetworkRouter_IncomingTraffic</rdfs:label>
</owl:Class>

<!-- http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_NetworkRouter_OutgoingTraffic -->
<owl:Class rdf:about="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_NetworkRouter_OutgoingTraffic">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_NetworkRouter"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/sameAs"/>
      <owl:someValuesFrom rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/OctetsSent"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:label>tnmo:CableTVNetwork_NetworkRouter_OutgoingTraffic</rdfs:label>
</owl:Class>

```

Полная версия расширенной в соответствии с представленным примером онтологии *TNMO* доступна в открытом репозитории *GitHub* [30].

Заключение

В работе предложен новый алгоритм, позволяющий подключить сеть оператора ТС, структура которой описана без использования онтологической модели, к облачной платформе мониторинга. Рассматриваемая облачная платформа мониторинга использует ГЗ в качестве структурной модели ТС, при этом элементы модели описаны в соответствии с многоуровневой онтологией, предполагающей использование ряда общих онтологий, онтологий ТС доменного уровня, таких как *TSDO* и *ToCo*, а также онтологии уровня приложения, в качестве которой выбрана онтология *TNMO*. Интеграция новой модели сети оператора происходит за счёт сопоставления её элементов с классами доменной онтологии и за счёт расширения онтологии *TNMO*. Представлен пример подключения нового сегмента сети оператора к облачной платформе мониторинга для сегмента сети оператора кабельного телевидения.

Список источников

- [1] *Stallings W.* SNMP, SNMPv2, and RMON: Practical Network Management, Second Edition. Addison-Wesley Professional Computing and Engineering 1996. 478 p.
- [2] *Cottrell L.* Network Monitoring Tools. SCAL. <http://www.slac.stanford.edu/xorg/nmtf/nmtf-tools.html>.
- [3] *Kulikov I., Wohlgenannt G., Shichkina Y., Zhukova N.* An Analytical Computing Infrastructure for Monitoring Dynamic Networks Based on Knowledge Graphs. In: Gervasi O. et al. (eds) Computational Science and Its Applications – ICCSA 2020. ICCSA 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol. 12254. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-58817-5_15.
- [4] *Krinkin K., Kulikov I., Vodyaho A., Zhukova N.* Architecture of a Telecommunications Network Monitoring System Based on a Knowledge Graph. 26th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), Yaroslavl, Russia, 2020, p.231-239. DOI: 10.23919/FRUCT48808.2020.9087429.
- [5] *Kulikov I., Vodyaho A., Stankova E., Zhukova N.* Ontology for Knowledge Graphs of Telecommunication Network Monitoring Systems. In: Gervasi O. et al. (eds) Computational Science and Its Applications – ICCSA 2021. Lecture Notes in Computer Science, vol. 12956. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-87010-2_32.
- [6] *Krinkin K., Kulikov I., Vodyaho A., Zhukova N.* Architecture of Cloud Telecommunication Network Monitoring Platform Based on Knowledge Graphs. 30th Conference of Open Innovations Association FRUCT, 2021, p.107-114. DOI:10.23919/FRUCT53335.2021.9599995.

- [7] **Villalonga C., Strohbach M., Snoeck N., Sutterer M., Belaunde M., Kovacs E., Zhdanova A.V., Goix L.W., Droegehorn O.** Mobile ontology: Towards a standardized semantic model for the mobile domain. In International Conference on Service-Oriented Computing, Springer, 2007. p.248–257.
- [8] **Fensel D.** Ontology-based knowledge management. Computer, 35(11): 56–59, 2002.
- [9] **Guarino N.** Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation. *International journal of human-computer studies*, 43(5-6): 625–640, 1995.
- [10] **Sure Y., Studer R.** A methodology for ontology-based knowledge management. Towards the semantic web: Ontology-driven knowledge management, 2003. p.33–46,
- [11] **Noy N.F., Crub'ezzy M., Fergerson R.W., Knublauch H., Tu S.W., Vendetti J., Musen M.A.** Protege-2000: an open-source ontology-development and knowledge-acquisition environment. In AMIA Annual Symposium Proc., 2003. vol. 953.
- [12] **Barcelos P.P.F., Monteiro M.E, Simões R. de M, Garcia A.S., Segatto M.EV.** OOTN - an ontology proposal for optical transport networks. In IEEE ICUMT, 2009, p.1–7.
- [13] **Niles I., Pease A.** Towards a standard upper ontology. In ACM FOIS, 2001, p.2–9.
- [14] **Berners-Lee T., Hendler J., Lassila O.** The semantic web. Scientific american, 2001; 284(5): 28–37.
- [15] **Bizer C., Heath T., Idehen K., Berners-Lee T.** Linked data on the web. In ACM World Wide Web, 2008. p.1265–1266.
- [16] **Vergara J.L., Guerrero A., Villagr'a V., Berrocal J.** Ontology-based network management: study cases and lessons learned. *Journal of Network and Systems Management*, 2009; 17(3): 234–254.
- [17] **Buitelaar P., Cimiano P., Magnini B.** Ontology learning from text: methods, evaluation and applications. IOS press, volume 123. 2005. 180 p.
- [18] **Niskanen I., Kantorovitch J.** Ontology driven data mining and information visualization for the networked home. Fourth International Conference on Research Challenges in Information Science, RCIS 2010. P.147–156.
- [19] **Qianru Zhou.** Ontology-driven knowledge based autonomic management for telecommunication networks: theory, implementation, and applications. Heriot-Watt University, 2018.
- [20] **Jeroen Johannes van der Ham.** A semantic model for complex computer networks. The network description language, vol.3. Citeseer, 2010.
- [21] **Xiuquan Qiao, Xiaofeng Li and Junliang Chen.** Telecommunications Service Domain Ontology: Semantic Interoperation Foundation of Intelligent Integrated Services. Telecommunications Networks - Current Status and Future Trends, Jesus Hamilton Ortiz, IntechOpen, 2012. DOI:10.5772/36794.
- [22] **OWL-S.** Официальный сайт: <https://www.w3.org/Submission/OWL-S/>.
- [23] **Qiao Xiuquan, Li Xiaofeng, Fensel Anna and Su Fang.** Applying semantics to Parlay-based services for telecommunication and Internet networks. *Open Computer Science*, vol.1, no.4, 2011, p.406-429. DOI:10.2478/s13537-011-0029-6.
- [24] **Cleary D., Danev B., O'Donoghue D.** Using ontologies to simplify wireless network configuration. In FOMI, 2005. 16 p. <https://www.cs.nuim.ie/~dod/pubs/05-fomi.pdf>.
- [25] **Villalonga C., Strohbach M., Snoeck N., Sutterer M., Belaunde M., Kovacs E., Zhdanova A.V., Goix L.W., Droegehorn O.** Mobile ontology: Towards a standardized semantic model for the mobile domain. In International Conference on Service-Oriented Computing, Springer, 2007. p.248–257.
- [26] **Uzun A., Kupper A.** Openmobilenetwork: extending the web of data by a dataset for mobile networks and devices. In ACM ICSS, 2012. P.17–24.
- [27] **Zhou Q., Gray A.J.G., McLaughlin S.** ToCo: An Ontology for Representing Hybrid Telecommunication Networks. In: Hitzler P. et al. (eds) The Semantic Web. ESWC 2019. Lecture Notes in Computer Science, Vol.11503. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-21348-0_33.
- [28] **SPARQL Query Language for RDF.** Официальный сайт: <https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>.
- [29] **Petasis G., Karkaletsis V., Paliouras G., Krithara A., Zavitsanos E.** Ontology Population and Enrichment: State of the Art. In: Paliouras G., Spyropoulos C.D., Tsatsaronis G. (eds) Knowledge-Driven Multimedia Information Extraction and Ontology Evolution. Lecture Notes in Computer Science, vol.6050. 2011. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI:10.1007/978-3-642-20795-2_6.
- [30] **GitHub repository.** Официальный сайт: https://github.com/kulikovia/TNMO_Extended.

Сведения об авторах



Куликов Игорь Александрович, 1973 г. рождения. Окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения (ЛИАП) в 1996 г. Соискатель кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ (МОЭВМ) Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» (СПбГЭТУ). В списке научных трудов 14 работ в области искусственного интеллекта и графов знаний. SPIN-код (РИНЦ): 1194-5284; Author ID (Scopus): 57216869871; Researcher ID (WoS): AAE-9550-2021. i.a.kulikov@gmail.com. ✉.

Жукова Наталья Александровна, 1983 г. рождения. Окончила в 2006 году Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ». К.т.н. (2008). Менеджер проектов в Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации Российской академии наук, доцент в СПбГЭТУ «ЛЭТИ». В списке научных трудов 75 работ в области адаптивных процессов измерений, интеллектуальных методов и алгоритмов для анализа и оценки данных, технологии синтеза информации и знаний, обработки больших данных. SPIN-код (РИНЦ): 1205-4956; Author ID (Scopus): 56406142300; Researcher ID (WoS): K-9143-2018. nazhukova@mail.ru.



Поступила в редакцию 27.07.2022, после рецензирования 01.08.2022. Принята к публикации 31.08.2022.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-3-353-366

Integration of telecommunication networks in monitoring system using domain ontologies

© 2022, I.A. Kulikov¹✉, N.A. Zhukova^{2,1}

¹ Saint-Petersburg Electrotechnical University “LETI”, Saint-Petersburg, Russia

² St. Petersburg Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS), St. Petersburg, Russia

Abstract

This paper discusses the problems of designing cloud-based telecommunication network monitoring systems based on the construction and application of models of such networks in the form of knowledge graphs. The proposed monitoring systems combine the functions of systems used by various telecommunications network operators. The considered design approach involves the use of a number of common ontologies and domain-level ontologies, such as the telecommunications services domain ontology (TSDO) and the hybrid telecommunications network (ToCo) ontology. To take into account the specifics of networks and operators in the developed monitoring system, an extension of the domain ontology is provided. The article considers the case of combining telecommunication networks built on the basis of different domain-level ontologies or without using an ontological model, by adding new ontologies, within the framework of one monitoring system. To automate the design process, an algorithm for comparing classes of domain ontologies with components of telecommunication network models is proposed. The application of the proposed approach is shown on the example of the problem of adding a new network segment to the monitoring system of a cable television operator.

Key words: ontology, knowledge graph, telecommunications network, monitoring system, domain, cable television.

For citation: Kulikov IA, Zhukova NA. Integration of telecommunication networks in monitoring system using domain ontologies [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(3): 353-366. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-353-366.

Conflict of interest: The author declares no conflict of interest.

List of figures and table

- Figure 1 - Logical scheme of integration of the operator's network, built without the use of TN ontological model into cloud monitoring platform
- Figure 2 - Generalized information model of an element of the operator's network, built without an ontological model
- Figure 3 - Integration of an operator network element at the ontology level for the case with a monitoring event - monitoring of a network element parameter
- Figure 4 - Algorithm for matching ontology classes with TN elements
- Table 1 - Operator network element types and their attributes

References

- [1] *Stallings W.* SNMP, SNMPv2, and RMON: Practical Network Management, Second Edition. Addison-Wesley Professional Computing and Engineering 1996. 478 p.
- [2] *Cottrell Les.* Network Monitoring Tools. SCAL. <http://www.slac.stanford.edu/xorg/nmtf/nmtf-tools.html>. [Last update: Mar. 20, 2012].
- [3] *Kulikov I, Wohlgenannt G, Shichkina Y, Zhukova N.* An Analytical Computing Infrastructure for Monitoring Dynamic Networks Based on Knowledge Graphs. In: Gervasi O. et al. (eds) Computational Science and Its Applications – ICCSA 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol.12254. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-58817-5_15.
- [4] *Krinkin K, Kulikov I, Vodyaho A, Zhukova N.* Architecture of a Telecommunications Network Monitoring System Based on a Knowledge Graph. 26th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), Yaroslavl, Russia, 2020, p.231-239, DOI: 10.23919/FRUCT48808.2020.9087429.
- [5] *Kulikov I, Vodyaho A, Stankova E, Zhukova N.* Ontology for Knowledge Graphs of Telecommunication Network Monitoring Systems. In: Gervasi O. et al. (eds) Computational Science and Its Applications – ICCSA 2021. ICCSA 2021. Lecture Notes in Computer Science, vol.12956. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-87010-2_32.
- [6] *Krinkin K, Kulikov I, Vodyaho A, Zhukova N.* Architecture of Cloud Telecommunication Network Monitoring Platform Based on Knowledge Graphs. 30th Conference of Open Innovations Association FRUCT, 2021, p.107-114, DOI: 10.23919/FRUCT53335.2021.9599995.
- [7] *Villalonga C, Strohsbach M, Snoeck N, Sutterer M, Belaunde M, Kovacs E, Zhdanova AV, Goix LW, Droegehorn O.* Mobile ontology: Towards a standardized semantic model for the mobile domain. In International Conference on Service-Oriented Computing, Springer, 2007. p.248–257.
- [8] *Fensel D.* Ontology-based knowledge management. *Computer*, 35(11):56–59, 2002.
- [9] *Guarino N.* Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation. *International journal of human-computer studies*, 43(5-6): 625–640, 1995.
- [10] *Sure Y, Studer R.* A methodology for ontology-based knowledge management. Towards the semantic web: Ontology-driven knowledge management, 2003. p.33–46.
- [11] *Noy NF, Crub'ezzy M, Fergerson RW, Knublauch H, Tu SW, Vendetti J, Musen MA.* Protege-2000: an open-source ontology-development and knowledge-acquisition environment. In AMIA Annual Symposium Proc., 2003:953.
- [12] *Barcelos PPF, Monteiro ME, Simões R. de M, Garcia AS, Segatto MEV.* OOTN - an ontology proposal for optical transport networks. In IEEE ICUMT, 2009, p.1–7.
- [13] *Niles I, Pease A.* Towards a standard upper ontology. In ACM FOIS, 2001, p.2–9.
- [14] *Berners-Lee T, Hendler J, Lassila O.* The semantic web. *Scientific american*, 2001; 284(5): 28–37.
- [15] *Bizer C, Heath T, Idehen K, Berners-Lee T.* Linked data on the web. In ACM World Wide Web, 2008. p.1265–1266.
- [16] *Jorge E L'opez De Vergara, Antonio Guerrero, V'ictor A Villagr'a, Julio Berrocal.* Ontology-based network management: study cases and lessons learned. *Journal of Network and Systems Management*, 2009; 17(3):234–254.
- [17] *Buitelaar P, Cimiano P, Magnini B.* Ontology learning from text: methods, evaluation and applications. IOS press, 2005: 123.
- [18] *Niskanen I, Kantorovitch J.* Ontology driven data mining and information visualization for the networked home. Fourth International Conference on Research Challenges in Information Science, RCIS 2010. P.147–156.
- [19] *Qianru Zhou.* Ontology-driven knowledge based autonomic management for telecommunication networks: theory, implementation, and applications. Heriot-Watt University, 2018.
- [20] *Jeroen Johannes van der Ham.* A semantic model for complex computer networks. The network description language, vol.3. Citeseer, 2010.

- [21] **Xiuquan Qiao, Xiaofeng Li and Junliang Chen.** Telecommunications Service Domain Ontology: Semantic Interoperation Foundation of Intelligent Integrated Services. Telecommunications Networks - Current Status and Future Trends, Jesus Hamilton Ortiz, IntechOpen, DOI:10.5772/36794.
 - [22] OWL-S. <https://www.w3.org/Submission/OWL-S/>.
 - [23] **Qiao, Xiuquan, Li, Xiaofeng, Fensel, Anna and Su, Fang.** "Applying semantics to Parlay-based services for telecommunication and Internet networks" Open Computer Science, vol. 1, no. 4, 2011, pp. 406-429. <https://doi.org/10.2478/s13537-011-0029-6>
 - [24] **Cleary D, Danev B, O'Donoghue D.** Using ontologies to simplify wireless network configuration. In FOMI, 2005. 16 p. <https://www.cs.nuim.ie/~dod/pubs/05-fomi.pdf>.
 - [25] **Villalonga C, Strohschach M, Snoeck N, Sutterer M, Belaunde M, Kovacs E, Zhdanova AV, Goix LW, Droegehorn O.** Mobile ontology: Towards a standardized semantic model for the mobile domain. In International Conference on Service-Oriented Computing, Springer, 2007. p.248–257.
 - [26] **Uzun A, Kupper A.** Openmobilenetwork: extending the web of data by a dataset for mobile networks and devices. In ACM ICSS, 2012. P.17–24.
 - [27] **Zhou Q, Gray AJG, McLaughlin S.** ToCo: An Ontology for Representing Hybrid Telecommunication Networks. In: Hitzler P. et al. (eds) The Semantic Web. ESWC 2019. Lecture Notes in Computer Science, Vol.11503. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-21348-0_33.
 - [28] SPARQL Query Language for RDF. <https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>.
 - [29] **Petasis G, Karkaletsis V, Paliouras G, Krithara A, Zavitsanos E.** Ontology Population and Enrichment: State of the Art. In: Paliouras G, Spyropoulos CD, Tsatsaronis G. (eds) Knowledge-Driven Multimedia Information Extraction and Ontology Evolution. Lecture Notes in Computer Science, vol.6050. 2011. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI:10.1007/978-3-642-20795-2_6.
 - [30] GitHub repository: https://github.com/kulikovia/TNMO_Extended.
-

About the authors

Igor Aleksandrovich Kulikov (b. 1973) graduated from the Leningrad Institute of Aviation Instrumentation (Leningrad, USSR) in 1996. He is a PhD student at the Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint-Petersburg, Russia. He is a co-author of 14 scientific articles in the field of AI and Knowledge graphs. Author ID (RSCI): 1194-5284; Author ID (Scopus): 57216869871; Researcher ID (WoS): AAE-9550-2021. i.a.kulikov@gmail.com. ✉.

Nataly Alexandrovna Zhukova (b. 1983) graduated from the Saint-Petersburg State Electrotechnical University "LETI" in 2006. PhD in technical sciences from 2008. Project Manager at St. Petersburg Institute of Informatics and Automation Russian Academy of Sciences (SPIIRAN), Associate Professor at the Saint-Petersburg State Electrotechnical University "LETI". She is a co-author of 75 papers in the field of adaptive measurement processes, intelligent methods and algorithms for data analysis and evaluation, information and knowledge synthesis technology, and big data processing. SPIN code (RSCI): 1205-4956; Author ID (Scopus): 56406142300; Researcher ID (WoS): K-9143-2018. nazhukova@mail.ru.

Received July 27, 2022. Revised August 1, 2022. Accepted August 31, 2022.
