

Н.А. Жукова, И.А. Куликов**УПРАВЛЕНИЕ В АВТОНОМНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ
С ПОМОЩЬЮ ОНТОЛОГИИ НАМЕРЕНИЙ**

Статья посвящена описанию возможностей управления в автономных телекоммуникационных системах при помощи онтологий намерений. В современных телекоммуникационных сетях наметились тенденции к децентрализации систем и наделению их компонентов возможностью автономной работы, при этом на уровне системы определяется бизнес-логика их работы, которая во многих случаях требует взаимодействия между несколькими или многими компонентами систем, выступающими в роли поставщиков или потребителей услуг. В статье рассматриваются автономные сети, управляемые с использованием модели TMN (от англ. Telecommunication Management Network – телекоммуникационная сеть управления), которая является многоуровневой моделью, включающей уровни управления бизнесом, услугами, телекоммуникационной сетью и ее компонентами. Для управления сетями в парадигме поставщиков и потребителей услуг международной ассоциацией, объединяющей поставщиков сервисов и их потребителей в сфере телекоммуникаций TMForum разработана концепция, основанная на использовании онтологий намерений (Intent in Autonomous Networks), позволяющих формулировать задачи управления в автономных сетях за счет определения критериев управления сетями и их элементами с точки зрения намерений участников взаимодействия по получению и предоставлению сервисов. Ввиду того, что онтология намерений описана в формате OWL, представляющим ее как семантическую сеть связанных между собой классов, в статье предложено для управления телекоммуникационными сетями использовать модель телекоммуникационной сети в форме графа знаний, который связан как с доменной онтологией телекоммуникационных сетей, так и с онтологией намерений, что позволяет обеспечить автономность компонентов сети за счет управления при помощи намерений, а использование доменной онтологии в области телекоммуникационных сетей облегчает интеграцию со сторонними поставщиками и потребителями сервисов оператора. Предложенный подход совместного использования онтологий намерений, политик и модели сети в форме графа знаний для управления телекоммуникационными сетями на бизнес-уровне является новым и его применимость показана в статье на примере реализации процесса регистрации и выполнения заявки на подключение телекоммуникационного сервиса. Рассмотренный пример показывает возможность совместного использования модели телекоммуникационной сети в форме графа знаний, построенной на основе доменной онтологии и онтологии намерений при выполнении верхнеуровневых бизнес-процессов управления автономной телекоммуникационной сетью.

Телекоммуникационная сеть; онтология намерений; автономная система; граф знаний.

N.A. Zhukova, I.A. Kulikov**CONTROL IN AUTONOMOUS TELECOMMUNICATION SYSTEMS USING
INTENT ONTOLOGY**

The article is devoted to the description of management capabilities in autonomous telecommunication systems using ontologies of intents. In modern telecommunication networks, there are trends towards decentralization of systems and endowing their components with the ability to operate autonomously, while the business logic of their operation is determined at the system level, which in many cases requires interaction between several or many system components acting as service providers or consumers. The article considers autonomous networks managed using the TMN model (from the English Telecommunication Management Network - telecommunication management network), which is a multi-level model that includes levels of business management, services, telecommunication network and its components. To manage networks in the paradigm of service providers and consumers, the international association uniting service providers and their consumers in the field of telecommunications TMForum has developed a concept based on the use of ontologies of intents (Intent in Autonomous Networks), which allow formulating management tasks in autonomous networks by defining criteria for managing networks and their elements from the point of view of the intentions of the participants in the interaction to receive and provide services. Due to the fact that the ontology of intentions is described in the OWL format, which represents it as a semantic network of interconnected classes, the article proposes to use a telecommunication network model in the form of a knowledge graph for managing telecommunication networks, which is

associated with both the domain ontology of telecommunication networks and the ontology of intentions, which ensures the autonomy of network components due to management using intentions, and the use of a domain ontology in the field of telecommunication networks facilitates integration with third-party suppliers and consumers of the operator's services. The proposed approach to jointly using the ontology of intentions, policies and a network model in the form of a knowledge graph for managing telecommunication networks at the business level is new and its applicability is shown in the article using the example of implementing the registration process and fulfilling an application for connecting a telecommunication service. The considered example shows the possibility of jointly using a telecommunication network model in the form of a knowledge graph built on the basis of a domain ontology and an ontology of intentions when performing high-level business processes for managing an autonomous telecommunication network.

Telecommunication network; intent ontology; autonomous system; knowledge graph.

Введение. Задача управления телекоммуникационными сетями средствами автономных телекоммуникационных систем является на сегодняшний день одной из самых актуальных для операторов связи. Эффективное управление сетями необходимо для обеспечения требуемого уровня качества и бесперебойного оказания услуг. Сегодня самой распространенной моделью управления, используемой в телекоммуникационных системах, является TMN (от англ. Telecommunication Management Network – телекоммуникационная сеть управления) [1]. TMN представляет собой многоуровневую структуру управления, включающую уровни управления бизнесом, услугами, телекоммуникационной сетью и ее компонентами. В последнее время наметились тенденции к децентрализации телекоммуникационных систем и наделении их компонентов способностями к автономной работе. В таких телекоммуникационных системах предусматривается определение бизнес-логики их работы на верхнем уровне, при этом реализация значительной части логики требует взаимодействия между несколькими или многими компонентами систем. В процессе взаимодействия одни компоненты-участники выступают в качестве поставщиков услуг, а другие – в качестве потребителей. Для управления автономными телекоммуникационными сетями международной ассоциацией, объединяющей поставщиков сервисов и их потребителей в сфере телекоммуникаций TMForum разработана концепция, основанная на использовании онтологий намерений (Intent in Autonomous Networks) [2]. Онтология намерений позволяет формулировать задачи управления в автономных сетях за счет определения критериев управления как сетью в целом, так и ее элементами на бизнес-уровне с точки зрения намерений участников взаимодействия по получению и предоставлению сервисов.

В предлагаемой статье представлена постановка задачи управления автономной телекоммуникационной сетью, представлен обзор подходов к управлению через политики и намерения, рассмотрена структура онтологии намерений и сценарии ее использования для управления автономными сетями. Определены основные ограничения, свойственные телекоммуникационным системам, реализующим управление сетями на основе намерений. Также приведен практический пример использования онтологии намерений при реализации функции управления компонентами автономной телекоммуникационной сети.

1. Формальная постановка задачи. Рассмотрим постановку задачи на примере телекоммуникационной сети оператора связи. Перед оператором связи стоит задача построить систему управления сетью, при условии автономности компонентов сети, что необходимо для реализации современных телекоммуникационных сервисов, требующих выполнения различных сценариев взаимодействия автономных компонентов сети одного оператора или компонентов сетей различных операторов связи. Для реализации такой системы управления требуется построить модель автономной телекоммуникационной сети оператора, в которой предусматривается взаимодействие компонентов друг с другом. Верхнеуровневые схемы управления традиционной и автономной телекоммуникационной сетью представлена на рис. 1. Система управления традиционной сетью, как правило, централизованная, она анализирует состояние компонентов сети и, в зависимости от соотношения значений параметров сети, либо непосредственно выдает управляющие воздействия через доступные интерфейсы управляемых сетевых компонентов, либо активирует предопределенные сетевые политики.

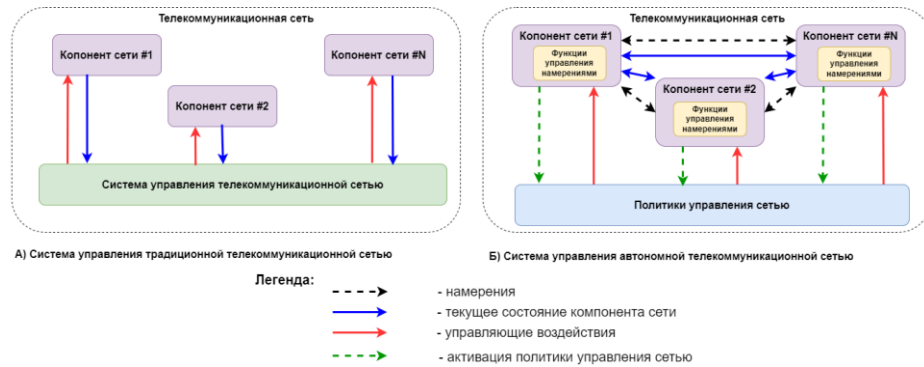


Рис. 1. Верхнеуровневая схема управления традиционной и автономной телекоммуникационной сетью

В случае автономной телекоммуникационной сети автономные компоненты обмениваются между собой намерениями и получают данные о состоянии сети. Управление сетью при этом осуществляется при помощи политик и намерений. Для автономной сети реализация функций управления сосредоточена в функциях управления намерениями, которые реализованы в каждом автономном компоненте и которые способны как формировать новые намерения, так и активировать сетевые политики или единичные управляющие воздействия. Для определения какой политика или какие управляющие воздействия должны быть применены в определенный момент времени требуется определить ценность управляющего воздействия с точки зрения получения полезных эффектов (количества и качества оказываемых сервисов) конечным потребителям [23]. Определим ценность управляющего воздействия как $V(t) = V_2(t) - V_1(t)$, где $V_2(t)$ и $V_1(t)$ соответственно конечная ценность телекоммуникационной сети с точки зрения количества и качества оказываемых конечным пользователям телекоммуникационных сервисов после реализации управляющего воздействия и до его реализации. Сами конечные ценности определяются следующим образом:

$$V_{1(2)}(t) = \max_{i(j) \in I(J)} \{W_{1(2)i(j)}(t) - \sum_{r=1}^N a_r C_{1(2)r_{i(j)}}(t)\},$$

где $W_{1i}(t)$ и $W_{2j}(t)$ – совокупные ценностные эффекты, получаемые конечными пользователями сети от оказанных сервисов, соответственно до реализации управляющего воздействия и после; I, J – множества всех возможных способов реализации ценностных эффектов в первом и втором случаях; $C_{1i}(t)$ и $C_{2j}(t)$ – расходы $i(j)$ -го ресурса оператора на достижение результатов $W_{1i}(t)$ и $W_{2j}(t)$; a_r – коэффициент приведения расхода $i(j)$ -го ресурса оператора к единицам измерения конечных эффектов для конечных пользователей; N – число видов ресурсов оператора, которые он может расходовать на реализацию управляющих воздействий. В случае, если предположить, что оператор уже обладает всеми ресурсами для оказания управляющих воздействий и его затраты можно при анализе эффективности не учитывать, то ценность управляющего воздействия может быть определена следующим образом:

$$V(t) = \max_{j \in J} \{W_{2j}(t)\} - \max_{i \in I} \{W_{1i}(t)\}.$$

Таким образом, рассматривая K вариантов достижения целевого состояния сети при помощи политик или единичных управляющих воздействий на телекоммуникационную сеть, становится возможным выбирать вариант управляющего воздействия обоснованно, на основе модели ценности. Для этого на выбранных начальных условиях функционирования сети определить ее конечную ценность $V_1(t)$, для каждой анализируемой политики или единичного управляющего воздействия $P = 1, 2, \dots, K$ определить ценность сети после его отработки сетью: $V^P(t) = V_2^P(t) - V_1(t)$. Таким образом система управления ав-

тономной сетью сможет выбирать лучшую политику или единичное управляющее воздействие руководствуясь ожидаемой целевой ценностью сети. Для решения задачи управления автономной сетью предлагается использовать онтологию намерений, разработанную TMForum, чтобы в будущем компоненты сети могли взаимодействовать между собой и с внешними потребителями сервисов, поддерживающими онтологию намерений. Совместное использование намерений и политик существенно повышает гибкость управления сетью и фактически позволяет перейти от статической модели управления к динамической.

2. Управление телекоммуникационными сетями на основе политик. В настоящее время для управления телекоммуникационными сетями широко применяются политики [3]. Политики – это технологически независимые правила, направленные на улучшение запрограммированных функций управляемых устройств путем введения интерпретируемой логики, которую можно динамически изменять без изменения базовой реализации компонентов сети. Управление на основе политик – это технология, которая позволяет упростить сложную задачу управления телекоммуникационными сетями. В рамках подхода к управлению сетями на основе политик обеспечиваются возможности формирования наборов политик, определяющих поведение сетей в различных условиях. Применение политик позволяет вносить изменения в логику работы сети без необходимости прерывания работы как управляющей системы, так и самой сети. Использование политик позволяет реализовать элементы самоуправляемости в распределенных системах, что дает возможность строить в определенной степени автономные системы и сети.

Самый простой подход к спецификации политик – задание последовательности правил, в которой каждое правило представляется в форме пары «условие-действие». Сообщество IETF (Internet Engineering Task Force – открытое международное сообщество проектировщиков, учёных, сетевых операторов и провайдеров) рассматривает политики как правила, определяющие действия, которые необходимо выполнить в ответ на определенные условия: если <условие(я)>, то <действие(я)>. Условная часть правила может представлять собой простое или сложное выражение. Часть правила, содержащая действие, описывает набор действий, которые должны выполняться, когда выполняются условия(я). IETF не определяет конкретный язык для описания сетевых политик, а использует общую объектно-ориентированную информационную модель для представления информации о политиках. Эта модель является общей моделью, определяющей структуру абстрактных классов для описания политик, что позволяет поставщикам реализовывать свои собственные наборы условий и действий, которые могут использоваться в правилах, определяющих политики.

Организация TMForum использует политики для управления телекоммуникационными сетями, в частности, для управления данными о телекоммуникационных сетях, представленных в виде агрегированных информационных объектов (Aggregated Business Elements, ABE). TMForum определяет политики как наборы правил, которые используются для управления и контроля состояния и переходов между состояниями одного или нескольких агрегированных объектов. Правила (PolicyRule) представляются в виде интеллектуальных контейнеров данных, которые определяют, как правила используются в управляемой среде, а также определяют как должны взаимодействовать управляемые объекты, к которым правила применяются. Для политик определяются события (PolicyEvent), при возникновении которых осуществляется применение правил. Правила содержат условия применения политики (PolicyCondition) и выполняемые действия (PolicyAction). Условие выполнения политики (PolicyCondition) представляет собой совокупности отдельных условий и задается как атомарный объект, представленный в виде логических выражений, которые определяют состояние управляемого объекта и/или предварительные условия, при наступлении которых должны выполняться заданные в правиле действия. Действия (PolicyAction) представляют собой совокупность отдельных действий и также являются атомарными объектами. Существует значительное сходство между формой представления PolicyConditions и PolicyActions. PolicyConditions представляются в виде: «IF <policy-condition> имеет значение TRUE», а PolicyActions в виде

«SET <action-target> TO <value>». То есть и условная часть правила, и часть, определяющая действия, имеют одну и ту же форму – {переменная, оператор, значение}, где фигурные скобки используются для обозначения кортежа. Возможно записать PolicyCondition как: ЕСЛИ <переменная> <оператор> <значение> имеет значение ИСТИНА. Например: ЕСЛИ исходный порт == 21. В этом выражении «сходный порт» является примером переменной, «==» – примером оператора, а «21» – примером значения. Аналогично, PolicyAction может быть представлен как: <оператор> <переменная> <значение>. Например: SET ToS = 5, где ToS является примером переменной, «=» – примером оператора, а «5» – примером значения. В политиках в качестве переменных могут указываться различные параметры сети, ограничений на используемые типы переменных не накладывается. Фактически, модель политик, предлагаемая TMForum, предоставляет стандартный набор переменных, с использованием которых могут определяться политики, а также предусматривает возможность создавать пользовательские переменные и устанавливать их значения, таким образом, одна и та же модель может использоваться для определения разных политик.

3. Управление автономными телекоммуникационными сетями с использованием онтологии намерений. В настоящее время TMForum разрабатывает онтологические модели намерений для организации взаимодействия участников процессов, реализуемых автономными телекоммуникационными системами. Намерение – это основа для определения приоритетов решений и действий участников, направленных на улучшение предоставляемых сервисов. Намерение определяет интересы участника – получателя услуг и обязательства участника – поставщика услуг. Это позволяет анализировать и оценивать потенциальные варианты организации взаимодействия участников с целью определения варианта, который обеспечивает наилучшие бизнес-результаты. Операции, управляемые намерениями, могут определяться для некоторой области знаний на уровне моделей, интерфейсов и архитектур.

Описание намерений позволяет автоматизировать принятие интеллектуальных решений, которые в современных автоматизированных системах, в большинстве случаев, принимаются человеком. Как правило, специалист предметной области оценивает ситуацию, в которой находится сеть, и, в зависимости от своих намерений, определяет приоритеты действий, что позволяет скорректировать работу сети в требуемом направлении. Намерение отражает, что является предпочтительным для оператора, а чего следует избегать. Определение намерений позволяет компоненту системы, с которым осуществляется взаимодействие, понять, что от него ожидают. Для оценки ситуаций, в которых могут оказываться взаимодействующие компоненты, и действий, которые они могут выполнять, используется понятие полезности. Системы управления сетями способны достаточно эффективно определять полезность возможных вариантов реализации намерений. Это дает возможность компонентам систем, потребляющим услуги, сообщать компонентам сетей, предоставляющим услуги, что для них является предпочтительным. Также системы управления могут оценивать приводят ли реализуемые компонентами действия к требуемым результатам, и, при необходимости, изменять их. Таким образом, системы управления, построенные на основе намерений, способны не просто следовать решениям, заложенным в них человеком, а могут строить решения и их перестраивать, т. е. являются в какой-то мере самоадаптивными системами. Использование механизмов управления сетями на основе намерений не исключает использования механизмов политик. Намерение участника взаимодействия может применяться для определения триггеров для применения политик, а на основе ожиданий могут строиться деревья решений, по которым система может выбрать действия, приводящие к достижению ожидаемого результата в соответствии с сформулированными намерениями и используемыми политиками. Таким образом, появляется возможность более гибко использовать политики с учетом меняющихся интересов участников, сформулированных в виде намерений. Онтологии намерений разрабатываются на этапе проектирования телекоммуникационных систем, при этом определяются объекты, описывающие намерения и эталонные значения параметров систем и сетей.

При управлении телекоммуникационными системами на основе онтологии намерений и политик, представленных в форме наборов правил, осуществляется получение оперативных данных о параметрах сети, включая данные, предоставляемые сетевой системой мониторинга, и сравнение полученных данных с эталонными значениями (диапазонами допустимых значений параметров сети), которые связаны с соответствующими экземплярами классов из онтологии намерений. Если в результате анализа фактических значений параметров определена необходимость изменения конфигурации сети (значение одного или нескольких параметров находятся вне допустимого диапазона), телекоммуникационная система обращается к политикам управления сетью, которые позволяют определить управляющие воздействия, необходимые для переконфигурации сети или изменения ее отдельных параметров. После определения правил система выполняет необходимые функции управления, которые меняют конфигурацию сети. Результаты контролируются путем непрерывного сравнения фактических параметров сети с эталонными.

Общее описание моделей намерений (Intent in Autonomous Networks), предлагаемых TMForum, приводится в документе [2]. Для доступа к моделям предоставляется программный интерфейс (Intent Management API Profile) [4]. Модель намерений строится на основе нескольких онтологий, описание которых приведено в документе TM Forum Intent Ontology (ТИО) [5]. Модель включает в себя Intent Common Model (Общая модель намерений), представленную в виде серии спецификаций, в которых основное внимание уделяется структуре описания намерений и структуре отчетов о намерениях, а также словарю, используемому в спецификациях общей модели намерений [6]; Intent Extension Models (Модели расширений намерений), описывающую набор моделей, расширяющих модель намерений и направленных на детализацию различных задач, таких как оценка валидности намерений и ожиданий и т. д. [7]; Connector Model (Модель коннекторов), определяющую словарь, который позволяет связывать онтологические модели с моделями, описанными не на RDF, в том числе, с моделями, разработанными TM Forum (например, модели SID) [8].

На рис. 2 показан пример онтологии TMForum, в которой описаны ожидания по качеству предоставления сервиса с указанием параметров, а также их желаемых и граничных значений. На рисунке показано намерение ExampleIntent, имеющее тип Intent, которое связано с двумя ожиданиями: Exp1_delivery (ожидание по доставке целевого сервиса ServiceTarget1, ожидание имеет один параметр Par1) и Exp2_property (ожидание значений параметров предоставляемого сервиса Par2 – Par5). Для параметров Par2 – Par5 ожидаемые значения указаны в формате литералов.

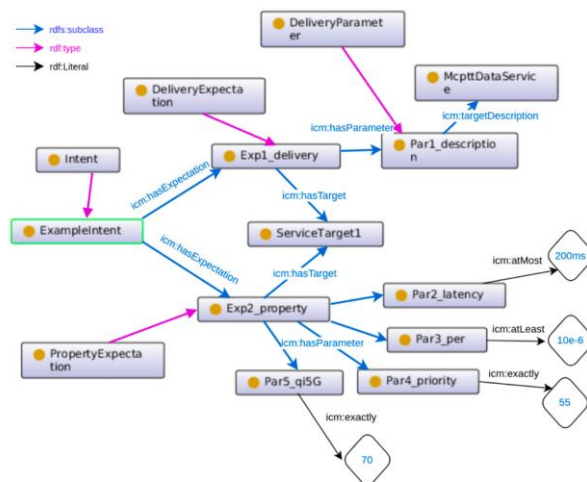


Рис. 2. Пример онтологии, описывающей ожидания по качеству предоставления телекоммуникационного сервиса

4. Развиваемый подход к управлению автономными телекоммуникационными сетями с использованием онтологии намерений. Управление автономными телекоммуникационными сетями с использованием намерений основывается на реализации функций управления намерениями. Функция управления намерениями определяется как функция, которая управляет автономной системой, используя намерения [2]. Такие функции могут выполнять обработку намерений путем формирования нового намерения для его дальнейшей обработки, либо являться конечным обработчиком намерения. Схема функции управления намерениями представлена на рис. 3.

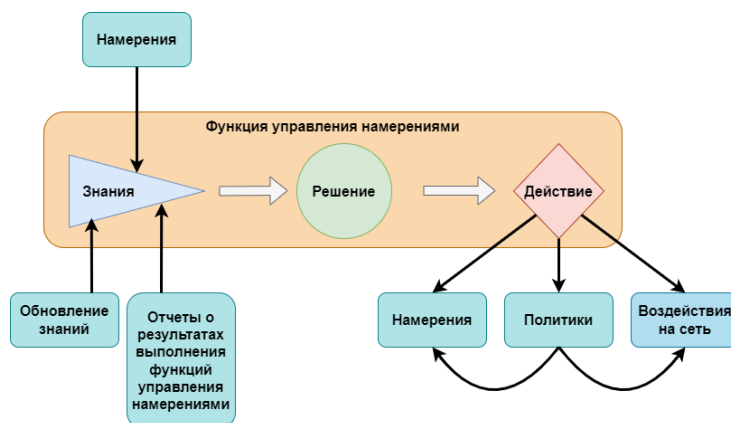


Рис. 3. Схема функции управления намерениями

Функции управления намерениями работают на основе знаний, получаемых от сети о ее состоянии и результаты анализа работы функций управления намерениями, принимают решения о действиях, которые необходимо предпринять, и имеют средства для выполнения выбранных действий. Знания, получаемые из намерений, определяют операционные цели и требования к параметрам оказываемых сервисов. В то время как намерение определяет целевое состояние, результаты измерений и аналитики текущего состояния сети определяют текущее состояние. Решение функции управления намерениями в основном касается устранения разрыва между текущим измеренным и целевым состоянием. В зависимости от механизмов реализации действий можно выделить следующие подходы к управлению автономной сетью:

- ◆ Под управляющим воздействием понимается либо определение дальнейшего намерения, используемого для передачи требований и целей другим подсистемам. Это означает, что функция управления намерениями может действовать, определяя намерение. В этом случае этот экземпляр управления намерениями становится владельцем намерения. Либо под управляющим воздействием понимается вызов обычных функций управления сетью, например, вызов процессов изменения конфигурации системы.

- ◆ Под управляющим воздействием понимается вызов сетевых политик, которые в свою очередь могут как формировать намерения, инициирующие дальнейшее взаимодействие компонентов сети при реализации сетевых сервисов, так и непосредственно вызывать обычные функции управления сетью.

Первый подход целесообразно использовать, когда требуемые корректирующие воздействия заключаются в простом вызове тех или иных функций управления сетью с передачей в них соответствующих параметров или когда формирование нового намерения не требует выполнения сложных сценариев взаимодействия между компонентами сети. Второй подход, подразумевающий совместное применение политик и намерений позволяет реализовывать сложные сценарии для формирования новых намерений и выполнения корректирующих действий над сетевыми компонентами. При этом целевые параметры сети определяются в намерениях, а контекст функционирования сети учитывается в политиках.

5. Реализация систем управления телекоммуникационными сетями с использованием онтологии намерений. На рис. 4 представлены информационные технологии и форматы представления данных, используемые при реализации компонент систем, управляющих телекоммуникационными сетями на основе намерений.

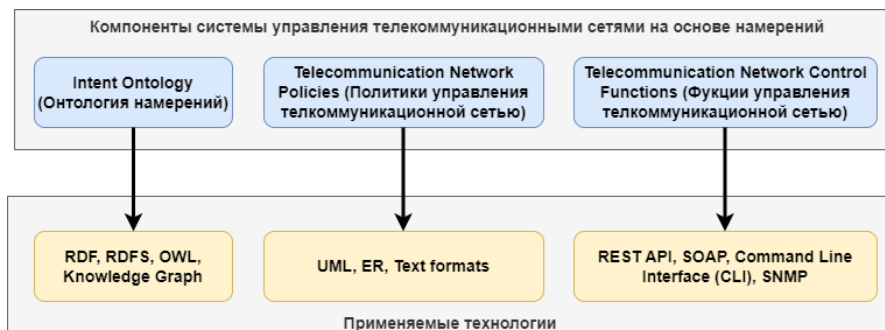


Рис. 4. Информационные технологии и форматы представления данных для реализации компонент систем управления телекоммуникационными сетями на основе намерений

Онтология намерений TMForum описывается в формате RDF. Стандарты RDF [9], RDFS [10] и OWL [11] предусматривают использование глобальных уникальных идентификаторов (IRI) [12] для всех артефактов моделирования, что упрощает работу с несколькими пространствами имен и позволяет распределять субдомены предметной области по нескольким моделям. Для реализации систем управления на основе онтологии намерений могут применяться различные семантические технологии, авторами предлагается использовать графы знаний (Knowledge Graphs) [13]. В [14–16] показано преимущество использования графов знаний при построении моделей телекоммуникационных систем. Модели в форме графов знаний хорошо связываются с онтологией намерений. Намерения соотносятся с элементами сети и рассматриваются как субъекты (определяющие параметры сети) и объекты (определяющие значения), которые связаны между собой. При связывании субъектов и объектов указываются предикаты, например, `icm:atLeast`, `icm:atMost` и пр. Система управления сетью на основе взаимосвязей между субъектами и объектами определяет эталонные значения параметров для каждого элемента сети. При отклонении реальных значений от эталонных, описанных в онтологии намерений, формируются сетевые события, при их обработке определяются политики, которые необходимо применить и выполняются описанные в политиках действия. Политики управления сетью представляются в виде множества правил «Если – То», которые могут быть описаны на языке UML (англ. Unified Modeling Language – унифицированный язык моделирования) [17], в табличной форме или с использованием специально разработанных текстовых форматов (Text formats). При возникновении события система управления сетью проверяет левые части правил, и если результат проверки левой части – TRUE, то осуществляются действия, описанные в правой части правила. Для взаимодействия с сетевыми устройствами могут использоваться различные API (англ. Application Programming Interface – прикладной программный интерфейс), такие как REST (англ. Representational State Transfer – «передача репрезентативного состояния» или «передача „самоописываемого“ состояния») [18] или SOAP (англ. Simple Object Access Protocol – простой протокол доступа к объектам) [19], а также интерфейс командной строки (Command Line Interface – CLI) [20] и SNMP протокол (англ. Simple Network Management Protocol – простой протокол сетевого управления) [21, 22]. Таким образом, система управления сетью формирует управляющие воздействия путем применения той или иной политики управления, выбранной на основе анализа намерений взаимодействующих компонентов.

6. Анализ возможностей и ограничений управления телекоммуникационными сетями на основе политик и онтологии намерений. Сегодня в большинстве случаев операторы связи управляют своими сетями либо с использованием политик, либо наме-

рений. Есть небольшое число телекоммуникационных сетей, которые управляются одновременно и через политики, и через намерения, однако при этом используются статические модели как сети, так и статические параметры намерений, которые определяются на этапе проектирования системы управления. При управлении сетью при помощи намерений без использования политик, намерения должны быть сформулированы на том уровне декомпозиции сетевых компонентов, для которого обеспечены соответствующие функции управления. Такой подход в значительной мере усложняет систему управления и приводит к необходимости смешивать слои управления бизнес-процессами с функциями их реализации через функции управления намерениями. Управление сетью только при помощи политик обычно успешно решает задачи управления сетью с технической точки зрения с учетом контекста ее функционирования, однако не учитывает бизнес-задачи оператора. Совместное применение политик и намерений при управлении телекоммуникационными сетями позволяет системам учитывать бизнес-цели операторов через намерения, а также формулировать сами намерения не глубже того логического уровня, для которого разработаны политики, а также принимать решения непосредственно в процессе их работы. Использование намерений позволяет задавать более сложную логику работы систем относительно систем, управление в которых основано только на политиках. Однако, при использовании статических моделей сетей, политик и намерений, при каждом значимом изменении конфигурации сети и увеличения ее масштаба ручная перестройка политик и намерений может вызвать существенные затруднения. Предлагаемое решение использует модель сети в форме графа знаний, которая, как показано в [14], может автоматически перестраиваться при изменении конфигурации сети, при этом алгоритм перестройки имеет не высокую вычислительную сложность. Адекватность и полнота модели телекоммуникационной сети в форме графа знаний обеспечивается за счет алгоритмов индуктивного и дедуктивного синтеза модели на основе частных графовых моделей, входящих в состав телекоммуникационной сети и обогащении ее оперативными и статистическими данными [14]. Новизна предложенного подхода заключается в объединении модели сети в форме графа знаний и системы управления сетью с использованием политик и намерений, что делает возможным реализовать эффективное управление автономной сетью с использованием политик и намерений для динамических сетей за счет автоматической перестройки сети при изменениях в ее конфигурации и возможности адаптации намерений с помощью соответствующих политик.

7. Пример. Рассмотрим пример использования онтологической модели намерений при реализации процесса регистрации и выполнения заявки на подключение телекоммуникационного сервиса (рис. 5). Модель на рис. 5 представлена в виде RDF графа знаний, что хорошо согласуется с RDF представлением онтологии Intent. Модель построена в соответствии с моделью бизнес-процессов (eTOM) и информационной моделью (SID) TMForum. На рисунке показан момент регистрации заявки, данные заявки содержатся в ABE (Aggregated Business Elements – агрегированный бизнес-объект) «Заявка клиента на подключение услуги». Заявка обрабатывается на сервере приложений Application #1 компонентом Component #1. Функция регистрации заявки реализуется в рамках бизнес-процесса «Обработка заказов». Показатели качества выполнения функции регистрации заявки определены в ожидании Exp2. Показателями являются время принятия заявки в работу и срок подключения сервиса.

В рассматриваемом примере в политике по снижению времени регистрации и исполнения заявок на подключение сервисов содержатся следующие правила формирования управляющих воздействий: (1) если отклонение от допустимого времени регистрации заявки/подключения сервиса в большую сторону составило 5-15%, то об этом необходимо уведомить ответственного исполнителя; (2) если отклонение от допустимого времени регистрации заявки/подключения сервиса в большую сторону составило более 15%, то об этом необходимо уведомить руководителя ответственного исполнителя.

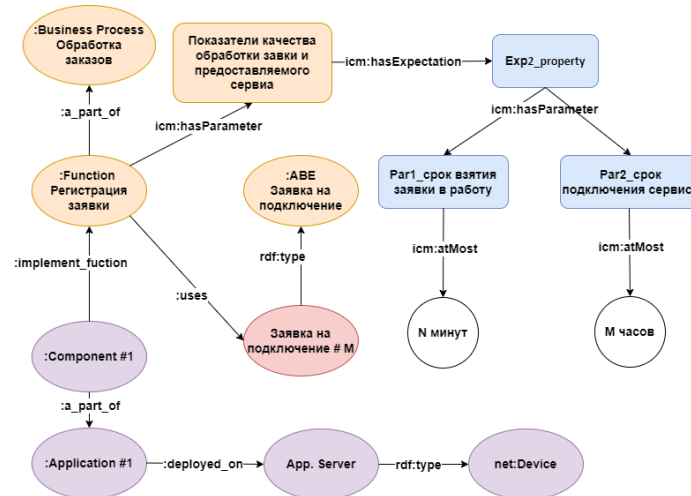


Рис. 5. Онтологическая модель, используемая при реализации функции регистрации и исполнения заявки на подключение телекоммуникационного сервиса на момент создания новой заявки

На рис. 6 показана модель, используемая для реализации функции регистрации и выполнения заявки на подключение сервиса на момент проверки показателей качества предоставляемого сервиса (Telecom service #1), показатели качества определены в ожидании Exp2. Таким показателем в рассматриваемом примере является полоса пропускания предоставляемого канала связи. Модель также представлена в виде RDF графа знаний.

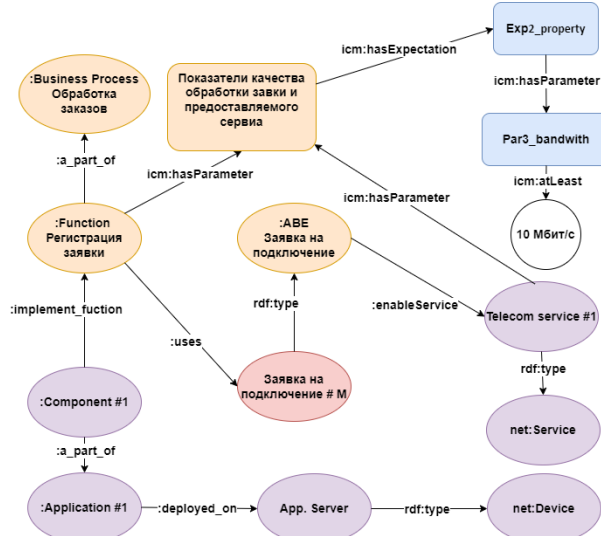


Рис. 6. Онтологическая модель, используемая для реализации функции регистрации и исполнения заявки на подключение телекоммуникационного сервиса на момент проверки показателей качества предоставляемого сервиса

В политике по управлению пропускной способностью предоставляемого канала связи содержатся следующие правила: (1) если значение пропускной способности ниже порогового значения, тогда на соответствующем сетевом устройстве необходимо изменить настройки, влияющие на пропускную способность; (2) если автоматические действия, выполненные в соответствии с правилом (1), не обеспечили требуемую пропускную способность, тогда необходимо автоматически завести заявку в ServiceDesc.

Заключение. В статье рассмотрены возможности управления автономными телекоммуникационными сетями на основе модели сети в форме графа знаний, с использованием политик и намерений. Представлен обзор методов управления телекоммуникационной сетью с использованием политик и намерений, рассмотрена структура онтологии намерений и сценарии ее использования для управления автономными сетями. Предложено совместное использование модели сети в форме графа знаний и системы управления сетью через политики и намерения. Определены основные ограничения, свойственные телекоммуникационным системам, реализующим управление сетями на основе политик и намерений. Рассмотрен практический пример управления сетью при реализации функций регистрации и исполнении заявки на подключение телекоммуникационного сервиса с использованием политик и намерений. В качестве развития предложенного подхода целесообразно произвести его сравнительный анализ с часто используемыми сегодня с использованием математических моделей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Dick K., & Shin B.* Implementation of the Telecom Management Network (TMN) at WorldCom—Strategic Information Systems Methodology Focus // *Journal of Systems Integration*. – 2001. – Vol. 10, Issue 4. – P. 329-354. – <https://doi.org/10.1023/a:1011249800980>.
2. IG1253 Intent in Autonomous Networks v1.3.0. – Режим доступа: <https://www.tmforum.org/resources/how-to-guide/ig1253-intent-in-autonomous-networks-v1-3-0/> (дата обращения: 11.06.2023).
3. Policy-Based Network Management. – Elsevier, 2004. – <https://doi.org/10.1016/b978-1-55860-859-7.x5033-6>.
4. TMF921A Intent Management API Profile v1.1.0. – Режим доступа: <https://www.tmforum.org/resources/specification/tmf921a-intent-management-api-profile-v1-1-0/> (дата обращения: 11.06.2023).
5. TR292 TM Forum Intent Ontology (TIO) v3.0.0. – Режим доступа: <https://www.tmforum.org/resources/technical-report/tr292-tm-forum-intent-ontology-tio-v3-1-0/> (дата обращения: 11.06.2023).
6. TR290 Intent Common Model v3.0.0. – Режим доступа: <https://www.tmforum.org/resources/technical-report/tr290-intent-common-model-v3-1-0/> (дата обращения: 11.06.2023).
7. TR291 Intent Extension Models v1.1.0. – Режим доступа: <https://www.tmforum.org/resources/technical-report/tr291-intent-extension-models-v1-1-0/> (дата обращения: 11.06.2023).
8. TR293 Connector Model v1.0.0. – Режим доступа: <https://www.tmforum.org/resources/technical-report/tr293-connector-model-v2-0-0/> (дата обращения: 11.06.2023).
9. Resource Description Framework (RDF). – Режим доступа: <https://www.w3.org/RDF/> (дата обращения: 11.12.2024).
10. RDF Schema 1.1. – Режим доступа: <https://www.w3.org/TR/rdf-schema/> (дата обращения: 11.12.2024).
11. Web Ontology Language (OWL). – Режим доступа: <https://www.w3.org/OWL/> (дата обращения: 11.12.2024).
12. Internationalized Resource Identifiers (IRIs). – Режим доступа: <https://www.ietf.org/rfc/rfc3987.txt> (дата обращения: 11.12.2024).
13. *Hogan A., Blomqvist E., Cochez M., D'amato C., Melo G.D., Gutierrez C., Kirrane S., Gayo J.E.L., Navigli R., Neumaier S., Ngomo A.-C. N., Polleres A., Rashid S.M., Rula A., Schmelzeisen L., Sequeda J., Staab S., & Zimmermann A.* Knowledge Graphs // In *ACM Computing Surveys*. – 2021. – Vol. 54, Issue 4. – P. 1-37. Association for Computing Machinery (ACM). – <https://doi.org/10.1145/3447772>.
14. *Man T., Vodyaho A., Ignatov D. I., Kulikov I., & Zhukova N.* Synthesis of multilevel knowledge graphs: Methods and technologies for dynamic networks // In *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. – 2023. – Vol. 123. – P. 106244. – Elsevier BV. – <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106244>.
15. *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. – 2021. – Vol. 12956. – Springer, Cham. – https://doi.org/10.1007/978-3-030-87010-2_32.
16. *Krinkin K., Vodyaho A. I., Kulikov I., & Zhukova N.* Deductive Synthesis of Networks Hierarchical Knowledge Graphs // *International Journal of Embedded and Real-Time Communication Systems (IJERTCS)*. – 2021. – 12 (3). – P. 32-48. – <http://doi.org/10.4018/IJERTCS.2021070103>.
17. Unified Modeling Language (UML). – Режим доступа: <https://www.omg.org/spec/UML/> (дата обращения: 11.12.2024).
18. *Fielding Roy Thomas.* Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures. Doctoral dissertation, University of California, Irvine, 2000.

19. SOAP Version 1.2. – Режим доступа: <https://www.w3.org/TR/soap12/> (дата обращения: 11.12.2024).
20. Kipper G. The Value of Augmented Reality // In *Augmented Reality*. – Elsevier, 2013. – P. 51-95. – <https://doi.org/10.1016/b978-1-59-749733-6.00003-6>.
21. Introduction to version 2 of the Internet-standard Network Management Framework. – Режим доступа: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc1441> (дата обращения: 11.12.2024).
22. Coexistence between version 1 and version 2 of the Internet-standard Network Management Framework. – Режим доступа: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc1452> (дата обращения: 11.12.2024).
23. Осипов В.Ю., Носаль И.А. Обоснование мероприятий информационной безопасности // Информационно-управляющие системы. – 2013. – № 2 (63). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-meropriyatiy-informatsionnoy-bezopasnosti> (дата обращения: 24.12.2024).

REFERENCES

1. Dick K., & Shin B. Implementation of the Telecom Management Network (TMN) at WorldCom—Strategic Information Systems Methodology Focus, *Journal of Systems Integration*, 2001, Vol. 10, Issue 4, pp. 329-354. Available at: <https://doi.org/10.1023/a:1011249800980>.
2. IG1253 Intent in Autonomous Networks v1.3.0. Available at: <https://www.tmforum.org/resources/how-to-guide/ig1253-intent-in-autonomous-networks-v1-3-0/> (accessed 11 June 2023).
3. Policy-Based Network Management. – Elsevier, 2004. Available at: <https://doi.org/10.1016/b978-1-55860-859-7.x5033-6>.
4. TMF921A Intent Management API Profile v1.1.0. Available at: <https://www.tmforum.org/resources/specification/tmf921a-intent-management-api-profile-v1-1-0/> (accessed 11 June 2023).
5. TR292 TM Forum Intent Ontology (TIO) v3.0.0. Available at: <https://www.tmforum.org/resources/technical-report/tr292-tm-forum-intent-ontology-tio-v3-1-0/> (accessed 11 June 2023).
6. TR290 Intent Common Model v3.0.0. Available at: <https://www.tmforum.org/resources/technical-report/tr290-intent-common-model-v3-1-0/> (accessed 11 June 2023).
7. TR291 Intent Extension Models v1.1.0. Available at: <https://www.tmforum.org/resources/technical-report/tr291-intent-extension-models-v1-1-0/> (accessed 11 June 2023).
8. TR293 Connector Model v1.0.0. Available at: <https://www.tmforum.org/resources/technical-report/tr293-connector-model-v2-0-0/> (accessed 11 June 2023).
9. Resource Description Framework (RDF). Available at: <https://www.w3.org/RDF/> (accessed 11 December 2024).
10. RDF Schema 1.1. Available at: <https://www.w3.org/TR/rdf-schema/> (accessed 11 December 2024).
11. Web Ontology Language (OWL). Available at: <https://www.w3.org/OWL/> (accessed 11 December 2024).
12. Internationalized Resource Identifiers (IRIs). Available at: <https://www.ietf.org/rfc/rfc3987.txt> (accessed 11 December 2024).
13. Hogan A., Blomqvist E., Cochez M., D'amato C., Melo G.D., Gutierrez C., Kirrane S., Gayo J.E.L., Navigli R., Neumaier S., Ngomo A.-C. N., Polleres A., Rashid S.M., Rula A., Schmelzeisen L., Sequeda J., Staab S., & Zimmermann A. Knowledge Graphs, In *ACM Computing Surveys*, 2021, Vol. 54, Issue 4, pp. 1-37. Association for Computing Machinery (ACM). Available at: <https://doi.org/10.1145/3447772>.
14. Man T., Vodyaho A., Ignatov D. I., Kulikov I., & Zhukova N. Synthesis of multilevel knowledge graphs: Methods and technologies for dynamic networks, In *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2023, Vol. 123, pp. 106244. Elsevier BV. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106244>.
15. 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*, 2021, Vol. 12956. Springer, Cham. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-87010-2_32.
16. Krinkin K., Vodyaho A. I., Kulikov I., & Zhukova N. Deductive Synthesis of Networks Hierarchical Knowledge Graphs, *International Journal of Embedded and Real-Time Communication Systems (IJERTCS)*, 2021, 12 (3), pp. 32-48. Available at: <http://doi.org/10.4018/IJERTCS.2021070103>.
17. Unified Modeling Language (UML). Available at: <https://www.omg.org/spec/UML/> (accessed 11 December 2024).
18. Fielding Roy Thomas. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures. Doctoral dissertation, University of California, Irvine, 2000.
19. SOAP Version 1.2. Available at: <https://www.w3.org/TR/soap12/> (accessed 11 December 2024).
20. Kipper G. The Value of Augmented Reality, In *Augmented Reality*. Elsevier, 2013, pp. 51-95. Available at: <https://doi.org/10.1016/b978-1-59-749733-6.00003-6>.

21. Introduction to version 2 of the Internet-standard Network Management Framework. Available at: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc1441> (accessed 11 December 2024).
22. Coexistence between version 1 and version 2 of the Internet-standard Network Management Framework. Available at: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc1452> (accessed 11 December 2024).
23. Osipov V.Yu., Nosal' I.A. Obosnovanie meropriyatiy informatsionnoy bezopasnosti [Justification of information security measures], *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy* [Information management systems], 2013, No. 2 (63). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-meropriyatiy-informatsionnoy-bezopasnosti> (accessed 24 December 2024).

Жукова Наталья Александровна – Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук; e-mail: nazhukova@mail.ru; г. Санкт-Петербург Россия; тел.: 88123283411; д.т.н.; доцент; в.н.с.

Куликов Игорь Александрович – Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»; e-mail: i.a.kulikov@gmail.com; г. Санкт-Петербург, Россия; тел.: 88122342682; ассистент кафедры МОЭВМ.

Zhukova Nataly Alexandrovna – St. Petersburg Institute of Informatics and Automation Russian Academy of Sciences; e-mail: nazhukova@mail.ru; Saint-Petersburg Russia; phone: +7812 3283411; dr. of eng. sc.; leading researcher.

Kulikov Igor Aleksandrovich – Saint-Petersburg Electrotechnical University “LETI”; e-mail: i.a.kulikov@gmail.com; Saint-Petersburg, Russia; phone: +78122342682; department assistant.

УДК 004.896

DOI 10.18522/2311-3103-2025-1-226-236

О.В. Шиндор, П.А. Кокунин, А.А. Егорчев, Л.Н. Сафина, Я.С. Мурин

АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА КЛАССА МИКРО

В современной подводной робототехнике актуальными являются задачи управления, повышения автономности, увеличения выполняемых функций и возможность импортозамещения. В работе рассматривается пример построения телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА) класса микро, основной целью которого является использование в образовательных целях, в частности для вовлечения школьников в инженерное направление и программирование, студентов в программирование микроконтроллеров, практическое изучение систем управления, цифровую обработку изображений с использованием вейвлет-преобразования. В статье представлены основные принципы и особенности конструкторской, аппаратной, алгоритмической и программной реализации роботизированного конструктора на основе ТНПА класса микро. Приведены обоснования применения конструкторского решения для использования ТНПА в образовательных целях, рассмотрены принципы алгоритмического передвижения подводного блока. На основе двумерного вейвлет-преобразования для обработки подводных изображений разработан алгоритм и проведена его верификация. Вейвлет-преобразование является современным и эффективным инструментом для выявления локальных особенностей сигналов и обработки изображения. Использование двумерной вейвлет-декомпозиции, представляющей собой процесс разложения сигнала на высокочастотные и низкочастотные составляющие, позволяет сформировать четыре матрицы вейвлет-коэффициентов, содержащих аппроксимирующие с низкочастотными составляющими и детализирующие коэффициенты (высокочастотные) трех типов: несущих информацию о вертикальных, горизонтальных и диагональных параметрах анализируемого изображения. В процессе обработки изображения после применения вейвлет-преобразования выполняется для увеличения контрастности изображения изменение коэффициентов аппроксимации, далее осуществляется определение RGB компонентов на основе матрицы аппроксимации вейвлет-коэффициентов на основе градаций серого и вычисление средних и максимальных значений для каждой из компонент. Далее выполняется расчет коэффициента цветопередачи, коэффициентов улучшения, на основе которых формируется модифицированная матрица вейвлет-коэффициентов и применяется обратное преобразование. В результате применения алгоритма на