

Федеральное агентство связи
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

Факультет **Телекоммуникаций и радиотехники**

Направление
(специальность) **11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи**

Кафедра **Сетей и систем связи**

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

Исследование схемы организации беспроводных сетей 5G

Утверждаю	<i>зав.кафедрой</i>	<i>д.т.н., профессор</i>			<i>А.В. Росляков</i>
	Должность	Уч.степень, звание	Подпись	Дата	Инициалы Фамилия
Руководитель	<i>профессор</i>	<i>д.т.н., доцент</i>			<i>А.Ю. Гребешков</i>
	Должность	Уч.степень, звание	Подпись	Дата	Инициалы Фамилия
Н. контролер	<i>ст.преподаватель</i>				<i>Е.Ю. Голубничая</i>
	Должность	Уч.степень, звание	Подпись	Дата	Инициалы Фамилия
Разработал	<i>ИКТр-62</i>				<i>Я.А. Боровская</i>
	Группа		Подпись	Дата	Инициалы Фамилия

Содержание

Задание	3
Отзыв руководителя.....	5
Показатели качества ВКР.....	7
Реферат.....	8
Введение.....	9
1 Построение систем беспроводной связи поколения 5G.....	11
1.1 Актуальность создания системы беспроводной связи 5G.....	11
1.2 Архитектура системы связи поколения 5G.....	15
1.3 Технологические решения системы беспроводной связи 5G..	19
1.4 Анализ внедрения 5G и схема построения сети	23
2 Исследование схемы построения сетей 5G	32
2.1 Состав и назначение компонентов схемы сетей 5G.....	32
2.2 Моделирование каналов в сети 5G.....	36
2.3 Задачи и цели разработки онтологии схемы сетей 5G.....	40
2.4 Описание онтологической модели для представления знаний о схеме сетей 5G.....	45
3 Разработка онтологической модели схемы сети 5G	52
3.1 Создание предметно-ориентированной онтологии сети 5G....	52
3.2 Запросы пользователя к модели 5G с помощью языка SPARQL	57
3.3 Исследование функционирования машины логического вывода.....	59
Заключение	63
Список использованных источников	65
Приложение	71

Федеральное агентство связи
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

ЗАДАНИЕ
по подготовке выпускной квалификационной работы

Студента

Боровской Яны Александровны

1 Тема ВКР

Исследование схемы организации
беспроводных сетей 5G

Утверждена приказом по университету от

17.04.2020 № 88-2

2 Срок сдачи студентом законченной ВКР

27.05.20

3 Исходные данные и постановка задачи

1) Научно-техническая литература по предмету исследования

2) Технические спецификации 3GPP релизы 15,16

3) Исследовать схемы организации сети 5G и характеристики
каналов радиосвязи

4) Разработать онтологическую модель схемы сети 5G

4 Перечень подлежащих разработке в ВКР вопросов или краткое

содержание ВКР.

Сроки исполнения 27.05.2020

1) Анализ технологических решений и особенностей архитектуры сетей 5G

2) Анализ телекоммуникационного рынка и компонентов схемы сети 5G

3) Анализ состава и назначения услуг 5G

4) Проведение моделирования каналов сети 5G

5) Анализ методов онтологического моделирования

6) Разработка онтологической модели схемы сети 5G

7) Исследование созданной онтологической модели

5 Перечень графического материала. Сроки исполнения 27.05.2020

1) Приложение – Презентационные материалы

6 Дата выдачи задания « 17 » апреля 2020 г.

Кафедра

Сетей и систем связи

Утверждаю

зав.кафедрой д.т.н., профессор

А.В. Росляков

Должность

Уч.степень, звание

Подпись

Дата

Инициалы Фамилия

Руководитель

профессор, д.т.н., доцент

А. Ю. Гребешков

Должность

Уч.степень, звание

Подпись

Дата

Инициалы Фамилия

Задание принял

к исполнению

ИКТр-62

Я.А. Боровская

Группа

Подпись

Дата

Инициалы Фамилия

Федеральное агентство связи
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВКР

По ВКР студента _____ Боровской Яны Александровны _____

На тему _____ Исследование схемы организации беспроводных сетей 5G _____

1 Работа выполнена:

- по теме, предложенной студентом
- по заявке предприятия _____
наименование предприятия
- в области фундаментальных и поисковых научных исследований _____
указать область исследований

2 Результаты ВКР:

- рекомендованы к опубликованию _____ в российских научных журналах _____
указать где
- рекомендованы к внедрению _____ операторы сотовых сетей связи _____
указать где
- внедрены _____
акт внедрения

3 ВКР имеет практическую ценность _____ Анализ схемы сетей 5G _____
в чем заключается практическая ценность

4 Использование ЭВМ при выполнении ВКР:
(ПО, компьютерное моделирование, компьютерная обработка данных и др.)

_____ ПО для моделирования NYUSIM, Protégé _____

5. ВКР прошла проверку на объем заимствований

_____ % заимствований _____
 _____ эл. версия сдана _____

Студент _____ ИКТр-62 _____ 27.05.2020 _____ Я.А. Боровская _____
Группа _____ Подпись _____ Дата _____ Инициалы Фамилия

Руководитель ВКР _____ профессор д.т.н., доцент _____ 27.05.2020 _____ А.Ю. Гребешков _____
Должность _____ Уч.степень, звание _____ Подпись _____ Дата _____ Инициалы Фамилия

Федеральное агентство связи
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

РЕФЕРАТ

Название	<u>Исследование схемы организации беспроводных сетей 5G</u>
Автор	<u>Боровская Яна Александровна</u>
Руководитель ВКР	<u>Гребешков Александр Юрьевич</u>
Ключевые слова	<u>Проектирование сети, онтологический анализ, сетевой слой, сеть связи 5G, семантическая модель</u>
Дата публикации	<u>2020</u>
Библиографическое описание	Боровская, Я. А. Исследование схемы организации беспроводных сетей 5G [Текст]: бакалаврская работа / Я. А. Боровская. Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Факультет телекоммуникаций и радиотехники (ФТР). Кафедра сетей и систем связи (ССС): рук. ВКР А.Ю. Гребешков – Самара, 2020. - с.70.
Аннотация	<u>В выпускной квалификационной работе описаны основные технологические и схемные решения по сетям поколения 5G. Определен онтологический подход для структуризации данных по схемам сетей 5G. Проведено имитационное моделирование канала сети 5G. Разработана концептуальная модель знаний по схемам сетей 5G в программе Protégé. Произведена проверка работоспособности созданной онтологии с использованием SPARQL запросов и Reasoner.</u>

Руководитель ВКР _____

Подпись

27.05.2020

Дата

А. Ю. Гребешков

Инициалы Фамилия

Введение

Сети связи пятого поколения 5G (Fifth Generation) – новый технологический скачок в сфере телекоммуникаций. Они решают многочисленные задачи, которые не присущи сетям предыдущих поколений, например, осуществление требуемого качества связи при росте абонентских устройств, нехватки частотных диапазонов и т.д. Так как сети 5G – это сети, которые только начинают внедряться, то на уровне концептуального проектирования необходима систематизация понятий, концептуальных структур по схемам сетей 5G. Для этих целей предлагается применить онтологический подход. Все это определяет актуальность данного исследования. Основными источниками информации для написания работы послужили научные труды в области сотовой связи, онтологического анализа, спецификации 3GPP сети 5G.

Онтология как способ представления знаний о предметной области позволяет формировать логически непротиворечивые описания схем построения сетей 5G с учетом представляемых ими услуг. В основе описания схем сетей 5G положена общепризнанная концепция «сетевого слоя (network slicing)». В разработанной онтологии предлагается выделить не только сетевой слой, но также слой, связанный с переносом трафика, схемой сети, услугами пользователю и услугами управления.

Цель работы заключается в повышении эффективности использования большого спектра информации по сетям 5G с точки зрения онтологического анализа данных. Для достижения цели необходимо рассмотреть основные концептуальные решения по данным сетям, определить концепты разрабатываемой онтологии и логические связи между ними.

Задачи выпускной квалификационной работы следующие:

- 1) рассмотреть технологические решения и особенности архитектуры сетей 5G;
- 2) произвести анализ телекоммуникационного рынка, рассмотреть ос-

новные концепции и спецификации, компоненты схемы сети 5G;

3) определить состав и назначение, используемых в онтологии услуг по сетям 5G;

4) произвести моделирование каналов сети 5G с использованием программы NYUSIM;

5) рассмотреть особенности онтологии проектирования предметной области;

6) разработать онтологию схемы сети 5G с использованием программного продукта Protégé 4.3;

7) Исследование и проверка работы разработанной онтологии.

Объектом исследования являются сети связи поколения 5G, спектр их услуг и схемных решений. Предмет исследования – онтологический анализ схемы сети 5G с использованием ПО Protégé 4.3. Выпускная квалификационная работа содержит 3 основных раздела, введение, заключение, список используемых источников.

В первом разделе определена актуальность исследования, рассмотрены основные архитектурные и технологические решения по схемам сетей связи 5G. Выделен ряд направлений работы на международном и российском рынке, описаны компании, составляющие нормативную документацию по 5G.

Во втором разделе описаны задачи, цели применения онтологии в анализе 5G. Дано описание разработанной концептуальной модели схемы сети, основанной на «слоевом разделении». Описан состав и назначение всех услуг для реализации онтологии, произведено моделирование каналов сети 5G с использованием программы NYUSIM.

В третьем разделе на основе концептуальной модели разработана предметно-ориентированная онтология в Protégé 4.3, произведена проверка модели с использованием языка SPARQL и машины логического вывода – Reasoner.

В заключении даны основные выводы по проделанной работе.

1 Построение систем беспроводной связи поколения 5G

1.1 Актуальность создания системы беспроводной связи 5G

В настоящее время, благодаря цифровым способам сбора, обработки и передачи информации, резко возросли потоки обмена данными в виде речевых сообщений, мультимедиа/онлайн игр, потокового трафика и сенсорной информации [1]. В результате возникла необходимость дальнейшего развития систем связи, в первую очередь – беспроводных систем передачи, включая как совокупность технических средств пользователя (приемопередатчик, смартфон), так и освоение новых участков среды распространения (радиочастотного спектра, РЧС) предназначенного для информационного обмена. Начиная с 1980-х годов новые поколения беспроводной наземной радиотелефонной (сотовой) связи появляются каждые 10 лет. Уже переход от аналоговых технологий первого поколения (First generation, 1G) к цифровым системам (2G, 3G, 4G) позволил повысить эффективность передачи как речевого трафика, так и трафика передачи данных (IP-трафика), для которого ключевым показателем является именно скорость передачи.

Поскольку потребности пользователя в скоростном информационном обмене постоянно возрастают, текущие показатели, которые имеют сети поколений 2G (GSM), 3G (IMT-2000) и 4G (Long-Term Evolution, LTE) являются недостаточными для обеспечения всех сфер использования широкополосной связи. Изначально при создании стандарта LTE задача поиска новых технологий взаимодействия между различными стандартами беспроводной связи не ставилась. Сети мобильной связи 3G и 4G предназначались, в первую очередь, для повышения эффективности таких показателей, как пиковая скорость передачи данных и спектральное уплотнение каналов [2;3]. Однако интеграция в сеть новых устройств, расширение спектра применяемых услуг связи, увеличение числа устройств, поддерживающих концепцию Интернет Вещей (Internet of Things, IoT) привели к неизбежному появлению

новой концепции сверхплотной сети с ультрамалыми задержками. Эти характеристики являются основными в концепции сетей 5G (5 generation), что требует применения новых технологий передачи, кодирования и обработки информации, в том числе программно-конфигурируемые сети (Software-Defined Networking, SDN), методы виртуализации сетевых функций (Network Functions Virtualisation, NFV), поддержка взаимодействия между устройствами (Device-to-Device, D2D) [4].

Существуют разные трактовки, принятые для определения понятия «сети пятого поколения 5G». Все они сводятся к одному общему определению: сети пятого поколения 5G – это новый этап развития технологий, представляющий собой сети сверх плотной концепции с ультрамалыми задержками, которые призваны расширить спектр возможностей доступа в Интернет. 5G сети дают возможность сверхширокополосному беспроводному доступу с почти «нулевыми» задержками.

Основными отличительными чертами сетей связи пятого поколения являются:

- конвергентная технология – группировка отдельных компонентов сети в единый интеллектуальный вычислительный комплекс;
- ориентирование на пользователя – предоставление абонентам лучшего сервиса;
- различные технологии радиодоступа – использование всего доступного частотного диапазона;
- высокая скорость передачи, емкость сети и минимальные задержки.

Следует отметить, что сети пятого поколения являются гетерогенными, т.е. объединяющими в себе множество различных сетей. Это свойство сетей пятого поколения способствует улучшению качества обслуживания пользователей, которые находятся на границе зон обслуживания базовых станций (БС). Также сети 5G называют сетями с высокой плотностью (High Dense) или даже сверхплотными сетями (Super High Dense). Такая характеристика

сетей пятого поколения связана с концепцией IoT. Существенное количество подключенных устройств к сети создает сверхплотные сети связи, которые способны осуществить взаимодействие близко находящихся устройств без использования базовой станции или маршрутизаторов.

Особенностями перспективной технологии 5G является набор важных улучшений, направленных на увеличение, прежде всего, ёмкости системы связи, включая дальнейшее уплотнение сети малыми сотами различных типов. Для сетей 5G характерны более продвинутые формы прямого взаимодействия абонентских терминалов для обмена трафиком; использование крайне высоких частот для увеличения скорости передачи данных и повышение спектральной эффективности за счет использования более сложных многоантенных конструкций [5]. Эти улучшения способствуют развитию таких направлений как Тактильный Интернет, Интернет Вещей, Интернет Навыков (Internet of Skills).

В целом системы беспроводной связи пятого поколения 5G являются логическим развитием существующих систем радиосвязи гражданского назначения в части увеличения частотного диапазона до 3,4-3,8 ГГц и до 5,8-5,9 ГГц. Если в сетях 4G основной показатель скорость передачи данных, то в сетях связи пятого поколения наряду со скоростью лидирует такой показатель, как емкость, определенные емкостные ограничения.

В табл. 1.1 представлена сравнительная характеристика систем связи по основным показателям. Исходя из таблицы 1.1 видно, что система 5G выигрывает, прежде всего, в скоростной характеристике. Скоростные возможности 5G достигают 1 Гбит/с, что позволяет называть 5G технологией практически мгновенной передачи данных. Высокая скорость (до нескольких гигабит в секунду на соту), дает возможность не только смотреть и транслировать видео в 4К и даже 8К, но и поддерживать технологии виртуальной и дополненной реальности.

Сравнение характеристик сетей различных поколений

Стандарт связи	Скорость передачи данных (максимальная)	Средняя скорость передачи данных	Год внедрения	Стандарты мобильной связи	Частоты РЧС
1G	9,6 Кбит/с	9,6 Кбит/с	1980	AMPS/ NMT/ TACS	824 – 894 МГц
2G	400 Кбит/с	100 Кбит/с	1990	GSM/ GPRS/ EDGE	400 - 890 МГц
3G	42 Мбит/с	10 Мбит/с	2000	UMTS/ HSPDA	1,25 – 2100 МГц
4G	75 Мбит/с	10 – 100 Мбит/с	2010	UMTS/ HSPDA	Ниже 6 ГГц
5G	1 Гбит/с	100 Мбит/с – 1Гбит/с	2020	UMTS/ HSPDA	От 30 до 300 ГГц

Увеличение скорости в сети 5G достигается за счет повышения спектральной эффективности сетей 5G в 2...5 раз по сравнению с сетями четвертого поколения. Это доступно за счет применения следующих технических решений:

- антенны Massive MIMO;
- использование новой версии радиointерфейса (New Radio, NR);
- более широкая полоса частот (свыше 200 МГц).

Частотный спектр 5G также имеет ряд отличий по сравнению с предыдущими системами связи. Так, РЧС разбит на полосы, характеристики которых меняются с ростом частоты. Если сети 4G работают на частотах ниже 6 ГГц, то сети 5G используют крайне высокие частоты.

1.2 Архитектура системы связи поколения 5G

Ключевым понятием любой системы, в том числе телекоммуникационной является архитектура. Понятие архитектуры можно соотнести со своеобразным фундаментом, благодаря которому приходит понимание о функционировании как отдельных составляющих системы, так и всего рассматриваемого объекта в целом.

Под архитектурой систем связи нового поколения 5G понимается структура взаимодействия подсистем, выполняющих функции управления сетью и предоставления услуг переноса сигнала. Сети связи 5G построены как гетерогенные на основе архитектуры, которая включает в себя иерархическую структуру сот различного размера, использующих разнородные технологии радиодоступа. В таких системах абонентские терминалы при передаче своих данных сетевой инфраструктуре имеют возможность нескольких радиотехнологий одновременно.

Сетевая подсистема 5G включает три подсистемы, которые могут быть сформированы на основе «облачных» технологий:

- Access Plane – подсистема «облака» доступа – как распределенная, так и централизованная архитектура;
- Control plane – подсистема «облака» управления – глобальные функции по управлению сетью;
- Forward plane – подсистема «транспортного облака» – физическая передача данных в сеть в режиме балансировки нагрузки.

Архитектура сетей связи 5G определяется следующими ключевыми факторами, как показано на рис. 1.1. Под радиointерфейсом понимается совокупность протоколов и процедур, определяющих порядок установления соединений и организации связи по радиоканалу между двумя станциями. Радиointерфейс 5G планируется сделать еще более эффективным, будет увеличена спектральная эффективность в 3 раза по сравнению с сетями 4G, предполагается спектральная эффективность равной 60 бит/с на 1 Гц.

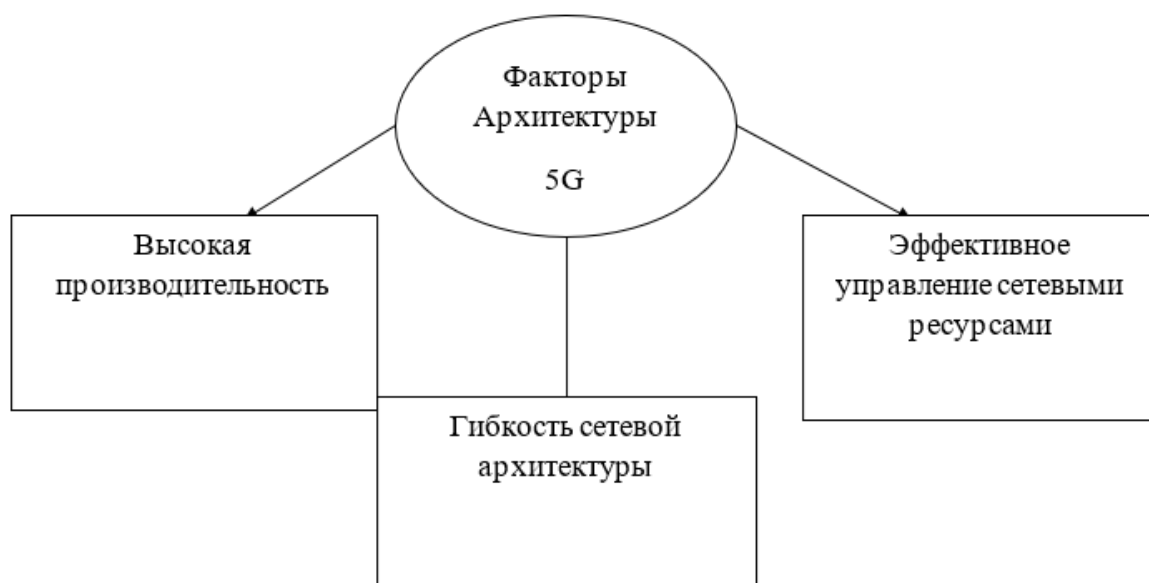


Рис. 1.1 – Факторы формирования архитектуры сети 5G

Существуют базовые технологии, применяемые к радиointерфейсу 5G:

- многостанционный доступ на основе разреженных кодов (Sparse Code Multiple Access, SCMA);
- фильтрованное мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (Flash Orthogonal Frequency Division Multiplexing, FOFDM);
- полярный код (Polar Code).

Технология SCMA представляет собой разделение доступа абонентов к ресурсам сети на базе «разреженного» кода. Данная технология подразумевает под собой наличие кодовой книги, посредством которой битовые потоки разных пользователей преобразуются в кодовое слово в одном частотном ресурсе. Происходит эффект наложения сигнала на кодовую книгу, который далее обрабатывается радиointерфейсом 5G. Технология кодирования FOFDM позволяет организовать так называемое «гибкое» изменение длины символа и циклического префикса. В свою очередь Polar Code является ли-

нейным корректирующим кодом, имеющим в своей основе явление поляризации канала.

Архитектура существующих сетей мобильной связи была разработана прежде всего для удовлетворения требований по передаче речи и традиционным услугам мобильного широкополосного доступа (Mobile Broadband, MBW) в сеть Интернет. Такая архитектура является недостаточно гибкой для поддержания услуг 5G. В результате существуют новые аспекты построения архитектуры 5G, такие как:

- сложные высокоскоростные гетерогенные сети, которые включают в себя несколько ключевых услуг, стандартов и типов узлов;
- требуется координация мультисервисных технологий;
- необходима гибкая организация сетевых функций с поддержкой виртуализации;
- развертывание сети осуществляется за минимальное время в т.ч. «по требованию».

Специалисты многих компаний, в том числе Huawei (КНР), называют архитектуру 5G сервис-ориентированной, тем самым подчеркивая ее основное свойство – гибкое удовлетворение в потребностях разнообразных мобильных услуг. Такое свойство достигается посредством внедрения SDN и NFV. С помощью такой системы внедрения 5G способна контролировать такие сферы, как доступ к облачным файлам, транспорту и основным сетям [6].

Основная идея внедрения SDN в рамках 5G заключается в следующем: уровень управления отделен от устройств передачи данных и реализуется с помощью программы. В традиционных коммутаторах и маршрутизаторах эти процессы неотделимы друг от друга.

SDN имеет основные преимущества, которые является несомненным атрибутом успешной организации современной «облачной» (Cloud) среды:

- упрощение и централизация управления, администрирования и обслуживания сервисов;

- снижение операционных расходов на техническое обслуживание и эксплуатацию;
- более быстрое развертывание требуемых услуг;
- операторы могут предоставлять инфраструктуру data-центров для организации 5G как услуга (Infrastructure as a Service, IaaS) с интеграцией ресурсов каналов связи и облачных IT-ресурсов;
- более эффективное использование ресурсов телекоммуникационной сети путем централизации управления ресурсами и их виртуализации [7].

Технология NFV предназначена для запуска нескольких операционных систем или нескольких «ядер сети» на одном физическом сервере. Такая технология позволяет распространить процесс виртуализации за пределы серверов на все типы сетевых устройств. Посредством NFV идет замена физических сетевых устройств с определёнными функциями на программные сущности, выполняющие такие же функции на общедоступном серверном оборудовании.

Вышеописанные технологии целесообразно применять для создания 5G с экономической точки зрения для достижения следующих показателей:

- независимое распределение ресурсов каждого сервисного модуля 5G;
- обеспечение высокой масштабируемости системы;
- быстрое применение сборных компонентов по принципу Service Independence Block (SIB) вместо ожидания выпуска готового функционального компонента;
- появление новых виртуальных операторов на рынке;
- увеличение скорости инноваций [8].

Несомненно, указанные показатели достигаются только при комплексном подходе к решению задач 5G с применением новых технологических решений.

1.3 Технологические решения системы беспроводной связи 5G

С разработкой системы беспроводной связи 5G стали появляться новые технологические решения, такие как:

- системы с многоканальным входом/многоканальным выходом (Multiple Input Multiple Output, MIMO);
- использование миллиметрового диапазона (mmWave);
- D2D;
- встроенная поддержка мультитехнологичности [9].

Эти и другие технологические возможности способствуют наиболее комплексному применению 5G систем в промышленной и непромышленной сфере. Далее рассмотрим каждую технологию более подробно.

Технология MIMO основана на использовании нескольких антенн на передающей и приемной сторонах радиосистемы, что позволяет получить выигрыш в части пространственного разнесения и мультиплексирования [10]. Для достижения максимальной скорости передачи на входе и выходе радио соединения устанавливается равное число антенн. С технологической точки зрения ставится делитель потоков, который на передающей стороне будет передавать несколько подпотоков информации с малой скоростью, число подпотоков прямо пропорционально числу антенн. Каждый подпоток передается на свою антенну. В одном из возможных способов организации технологии MIMO сигнал передается от каждой антенны с различной поляризацией, что позволяет идентифицировать его при приеме.

На приемной стороне несколько антенн, которые устанавливаются с некоторым пространственным разнесением, как и на передающей стороне, принимают сигнал из радиоэфира. Принятые кодированные радиосигналы поступают на приемники, число которых соответствует числу антенн и трактов передачи. Сигналы поступают на каждый из приемников от всех антенн. Далее каждый из сумматоров выделяет сигнал того тракта, за который он отвечает. В зависимости от принципа работы системы, передаваемый сигнал

может повторяться через определенное время, либо передаваться с небольшой задержкой через другие антенны.

С учетом имеющихся требований к сетям 5G в части скорости передачи ожидается, что высоконадежные беспроводные соединения в миллиметровом диапазоне РЧС (соединения mmWave) станут неотъемлемым компонентом систем связи нового поколения. Действительно, частоты от 30 до 300 ГГц, что соответствует длине волны от 10 до 1 мм, имеют именно тот резерв сетевых ресурсов, который необходим в рамках 5G для удовлетворения всех потребностей пользователя. Проект партнерства третьего поколения (3rd Generation Partnership Project, 3GPP) на данный момент активно разрабатывает новые спецификации, касающиеся использования миллиметровых длин волн. Использование этого диапазона длин волн имеет следующие преимущества:

- относительно широкая полоса пропускания;
- дополнительная емкость сети;
- поддержка критически важных приложений (новые сервисы Интернета Вещей, сети со сверхмалыми задержками, сверхплотные сети).

Однако в ходе изучения использования миллиметрового диапазона в рамках сетей 5G стали появляться проблемы, которые требуют детального рассмотрения и решения, а именно:

- требуется разработка и внедрение новых моделей распространения радиосигнала;
- требуются новые методы формирования диаграммы направленности антенн (ДНА), использующих mmWave;
- необходимо изучение динамического управления соединением mmWave в системах связи нового поколения;
- требуется изучение вопроса случайной блокировки передачи/приёма подвижными объектами.

Технология D2D тесно связана с так называемыми пиринговыми при-

ложениями (Peer-to-Peer, P2P), которые составляют весомую часть всего абонентского трафика. Из-за непосредственной близости абонентов друг к другу становится удобным выгружать все данные (трафик) из сотовой системы по прямым соединениям «устройство – устройство». Такое системное решение имеет ряд неоспоримых преимуществ:

- увеличение скорости передачи данных;
- снижение задержки при доставке данных;
- увеличение энергетической эффективности соединения.

Технология D2D предполагает взаимодействие абонентов сотовой сети без использования централизованной инфраструктуры, снижая нагрузку на нее [11], что, безусловно, также является важным фактором в оценке необходимости применения данной технологии. Для работы технологии D2D необходимо выполнение двух действий:

- 1) Обнаружение соседей-устройств.
- 2) Установление прямого соединения, например, в рамках технологии беспроводной локальной сети с устройствами на основе стандартов IEEE 802.11 (Wireless Fidelity, WiFi).

На сегодняшний день D2D может применяться как в лицензированном, так и в нелицензированном РЧС. Такое двойное применение имеет свои технологические нюансы.

Лицензированный РЧС является ограниченным и достаточно дорогим ресурсом сотовой связи. Ресурсов такого РЧС иногда недостаточно для удовлетворения всех потребностей пользователя сети. Поэтому технология D2D выступает перспективным направлением для разгрузки сети связи. Здесь рассматривается проблема управления интерференцией, включая контроль доступа в сеть и назначение мощности передачи.

Указанные проблемы решаются с помощью внедрения принятого решения в пользу одного из следующих схемных решений:

- D2D - соединения используют лицензированные спектральные ресур-

сы совместно с традиционными сотовыми соединениями;

- D2D - соединения используют выделенные радиоресурсы;

- D2D - соединения не устанавливаются и данные передаются сотовой инфраструктурой.

Также в лицензионном РЧС происходит внедрение сетевого помощника. Такая функция предоставляет возможность эффективного взаимодействия в локальной сети и не требует наличия выделенного сервера распределения ресурсов РЧС. Сетевой помощник управляет каждым соединением «устройство-устройство». Учитывая внимание, которое в настоящее время уделяется сетям LTE, LTE-A (и к предстоящему достижению пика их потенциала), многие показатели рассмотренной технологии уже рассмотрены и оценены для лицензионной зоны D2D –коммуникаций в части:

- разработка схемы D2D-Aware (MIMO);

- схемы сетевого кодирования;

- последовательное подавление помех;

- беспроводное распределение видео через D2D [12].

В нелицензионном РЧС (с точки зрения 3GPP и ГКРЧ России) работают такие известные технологии, как Wi-Fi и Bluetooth. Их внедрение происходит в беспроводных персональных и локальных вычислительных сетях (WPAN/ WLAN). На нелицензированных частотах возможно возникновение определенного количества неконтролируемой интерференции. Из-за этого в таком РЧС необходимо применение надежной технологии радиодоступа, которая обеспечит значительную защиту от случайных помех.

В этой связи была разработана технология Wi-Fi Direct (WFD). Она позволяет общаться устройствам без помощи инфраструктуры путем присвоения одному устройству статуса «Владелец группы» а другим – статуса «Клиенты». Каждый «Владелец группы» WFD обеспечивает синхронизацию для всех «Клиентов» WFD, связанных с ним, что позволяет устройствам эффективно обнаруживать друг друга и общаться между собой.

На сегодняшний день число устройств связи, поддерживающих технологию WFD, неуклонно растет, следовательно, уровень потенциальной интерференции также увеличивается. Решением задачи уменьшения интерференции является снижение накладных расходов на передачу сигнальных сообщений. Поэтому технологию D2D в нелицензированном спектре частот целесообразно снабдить формой сетевого содействия или кооперации между множеством устройств на сравнительно ограниченной площади.

Множественность технологий радиообмена в сетях связи нового поколения является основополагающим фактором, где технические показатели и электромагнитная совместимость важна для пользователей. Как уже отмечалось ранее, показатели скорости передачи 5G будут увеличены по сравнению с предыдущими поколениями за счет увеличения спектральной эффективности сети и будут достигать порядка 1...7,4 Гбит/с. Рабочий частотный спектр также будет иметь новые показатели – от 3,4...3,8 ГГц до 5,2...8 ГГц.

1.4 Анализ внедрения 5G и схема построения сети

На сегодняшний день специалисты отрасли телекоммуникаций возлагают большие надежды на внедрение и повсеместное использование систем связи 5G. Сети 5G для многих стран станут возможностью осуществить технологический скачок в большинстве сфер деятельности. Уже известны некоторые перспективные области применения сетей пятого поколения в современных условиях, как показано на рис. 1.2. Разработкой спецификаций, нормативных документов и активным продвижением 5G сетей занимаются многие коммерческие компании, научно-исследовательские организации, объединения и союзы. Основными организациями, занимающимися стандартизацией 5G на мировом уровне, являются:

– Международный союз электросвязи (МСЭ): сектор радиосвязи (МСЭ-Р) и сектор телекоммуникаций (МСЭ-Т), в рамках которых были созданы: рабочая группа WP5D «IM-системы» в исследовательской комиссии ИК5

«Наземные службы» и оперативная группа (ОГ) ИМТ-2020 в исследовательской комиссии ИК13 «Будущие сети, включая облачные вычисления, сети подвижной связи и сети последующих поколений»;

– 3GPP, занимающийся развитием технологий мобильной связи 2G/3G/4G и разработкой для них технических спецификаций на глобальном уровне;

– партнерский проект oneM2M [13].



Рис. 1.2 – Области применения сетей 5G

Основные технические требования по 5G сформулированы при выполнении европейского проекта ИМТ-2020 [14;15;16;17;18]. На сегодняшний день 3GPP разработал спецификацию 5G, которая включает в себя два релиза: Release 15, Release 16. 3GPP устанавливает график, согласно которому различные технологии 5G будут готовы к коммерческому использованию.

Ускоренный график развертывания 5G, утвержденный 3GPP в 2017 году, позволил операторам со всего мира разработать собственные планы коммерческого развертывания 5G. Release 15 содержит в своей основе следующие функциональные возможности:

– улучшенный мобильный широкополосный доступ (Enhanced Mobile Broadband, eMBB);

- сверхнадежная межмашинная связь с низкими задержками (Ultra-Reliable Low Latency Communication, URLLC);
- радиointерфейс на базе мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (Orthogonal frequency-division multiplexing, OFDM);
- взаимодействие с системой LTE и др.

Как уже отмечалось выше, запуск коммерческих сетей связи 5G планируется к началу 2020 года. Однако первая волна тестовых запусков 5G в ряде стран уже произошла – Китай, США, Япония, Финляндия, Южная Корея. Всего на конец марта 2019 года 147 операторов из 72 стран провели тестирование 5G. Основное внимание в будущих спецификациях 5G будет уделено новым сценариям использования, включая промышленные IoT-решения, например, в областях робототехники и систем телеприсутствия. Этому будет посвящен 16 релиз (выпуск) спецификаций проекта 3GPP для URLLC который планируется завершить к декабрю 2019 года.

Технология 5G в перспективе существенно влияет на экономический рост и стратегическое развитие любого государства. По прогнозам экспертов, системы связи нового поколения 5G в течение следующих 15 лет будут приносить мировой экономике доход в 2,2 триллиона долларов, а использование 5G в миллиметровом диапазоне волн (частоты 10xГГц) увеличит долю общего вклада 5G в мировой ВВП и достигнет около 25% от общего объема к 2034 году, что составляет 565 миллиардов долларов в ВВП и 152 миллиарда долларов в налоговых поступлениях [19].

Многие страны создают свои национальные планы по развитию 5G, исходя из конкретных потребностей своего рынка. Так, например, правительство Великобритании в марте 2017 года представило свой отчет, касающийся нормативной базы 5G – «Next Generation Mobile Technologies: A 5G Strategy for the UK». Правительство Индии сформировало «Индийский форум высокого уровня 2020 по вопросам 5G», задачи которого направлены на активное

развертывание 5G внутри страны. Европейский Союз (ЕС) разработал свой план – «Стратегия ЕС в области развития 5G», который подразумевает большие инвестиции на продвижение сетей связи пятого поколения, а также был разработан план Европейской конференции администраций почтовых служб и служб связи (Conference of European Post and Telecommunications, CEPT), в котором основной упор делается на выделения частотного диапазона для 5G в Европе.

Что касается России, то она находится в числе стран второй волны запуска 5G. На сегодняшний день идет активное продвижение сетей связи четвертого поколения 4G/LTE с целью увеличения скорости и зоны покрытия сети. Российский рынок связи планирует активное развитие 4G и по прогнозам к 2023 году доля подключенных абонентов 4G достигнет двух третей от общего количества мобильных соединений по стране. Существует план развития цифровой экономики Российской Федерации [20] на период 2020 – 2025 гг., в котором ключевыми показателями развития являются системы связи нового поколения 5G и IoT. В России основной ведомственной структурой, которая занимается нормативными аспектами 5G сетей, является Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации в лице Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ). Была принята официальная концепция развития сетей 5G – «Концепция создания и развития сетей 5G/IMT-2020 в Российской Федерации». Данная концепция включает в себя основные векторы развития сетей 5G в России, описание общих технологических требований, включая частотный ресурс сети и вопросы обеспечения информационной безопасности 5G на основе российских средств и алгоритмов. Также в концепции были подробно описаны анализы финансово-экономической стороны развертывания сетей 5G и способы формирования нормативно-правовой базы сетей [21].

Специалисты отрасли телекоммуникаций проводят тестирование технологии 5G с использованием стандартов pre-5G. Один из тестовых запусков

состоялся на Чемпионате мира по футболу 2018 года, когда демонстрационные сети были развернуты на разных площадках Чемпионата, а в Казани между фан-зоной и стадионом провели тестирование автономного (беспилотного) автобуса. Помимо этого, в Москве была создана специальная тестовая зона, использующая диапазон частот 27 ГГц, для оценки степени негативного воздействия на функционирование станций спутников связи. Испытание показало, что сосуществование возможно при условии тщательного планирования сетей 5G с учетом расположения земных станций.

Специалисты прогнозируют, что число абонентов в России, подключённых к 5G достигнет примерно 46 млн. человек к 2025 году. Такое количество составляет 20% от общего числа подключений с охватом 60% населения. Согласно этому прогнозу, показатели роста в России превысят среднемировой уровень, но при этом будут ниже уровня ведущих рынков 5G — США, Южной Кореи и Китая.

Предполагается, что 5G в России будет функционировать по схожему сценарию мировых операторов, где используется модель/архитектура неавтономного развёртывания сети (Non-standalone, NSA). В такой модели сеть 5G представляет собой дополнительное расширение относительно пропускной способности и архитектуры 4G. Этот способ организации сети применяется для уменьшения объема необходимых инвестиций для развёртывания сети 5G.

Возможный вариант обобщенной схемы организации сети 5G на территории Российской Федерации по данным ФГУП «Научно-исследовательский институт радио», НИИР (Москва) приведен на рис. 1.3 [22]. Предполагается наличие различных сценариев применения технологий 5G. Первый сценарий — это усовершенствованная подвижная сеть eMBB (Enhanced Mobile Broadband), являющаяся этапом развития технологий мобильного Интернета. Также здесь применяются технологии для предоставления услуг, ориентированные на человека с обеспечением доступа к мультимедиа-контенту, а именно

Ultra-HD, 3D-видео, онлайн-игры, виртуальная (Virtual Reality, VR) и дополненная реальность (Added Reality, AR), сервисы социальных сетей, облачные сервисы, стриминг, вещание. Для работы eMBB необходимы скорости передачи данных на уровне Гбит/с, энергоэффективность и эффективность использования РЧС.

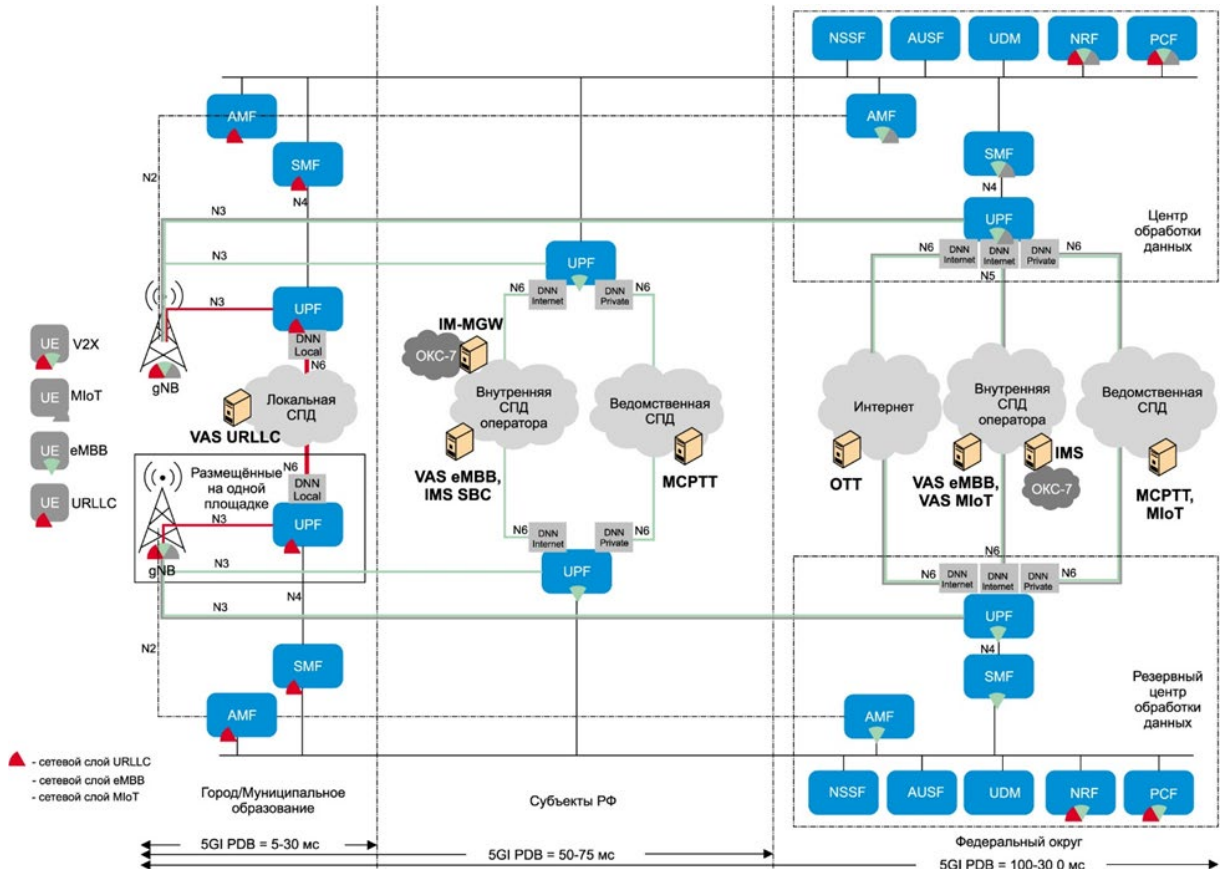


Рис. 1.3 – Схема построения сети 5G (НИИР)

Второй сценарий состоит в создании крупномасштабных систем межмашинных коммуникаций, в том числе «Интернет машин», (MIoT, Machine Type Communication) для работы сотен тысяч и миллионов подключенных устройств, передающих зачастую относительно небольшой объем данных и не столь чувствительных к возможным задержкам.

Третий сценарий применения сетей 5G заключается в реализации сетевой инфраструктуры сверхнадежной передачи данных с малой и сверх-малой задержкой (URLLC, Ultra-Reliable and Low Latency Communications). Данный

сценарий требует выполнения высоких требований к пропускной способности сети, её задержкам и готовности. Третий сценарий будет использоваться для радиуправления промышленными и производственными процессами, в телемедицине, в «умных» электросетях, общественной безопасности, «умных» домах, в интеллектуальных транспортных средствах

В 5G предусмотрена возможность использования совокупности частотных диапазонов, а именно 694–790 МГц для применения за пределами крупных городов; частоты 1–6 ГГц, в том числе 4,4–4,99 и 5,9 ГГц в крупных городах. Частоты миллиметрового диапазона, т.е. выше 24 ГГц, например, 30–55, 66–75, 81–86 ГГц будут применяться для избирательного покрытия малых площадей аэропортов, вокзалов, стадионов.

Ожидается, что в сетях 5G будет доступна технология LAA (Licensed-Assisted Access), предусматривающая использование участков нелицензируемого РЧС для условно свободного доступа РЭС с применением вторичных агрегируемых несущих (Secondary Carrier Channel, SCC) в групповом канале. Также будет доступна агрегация с частотами ниже 7 ГГц, в том числе WiFi. Предполагается, что использование LAA будет возможно в диапазонах 694–870 МГц, а также 4,4–4,99 ГГц, 24,25–29,5 ГГц и 30–55 ГГц.

В дополнение к LAA ожидается применение технологии лицензируемого общего доступа к РЧС, LSA (Licensed Sharing Access), обеспечивающего совместное использование участков лицензируемого РЧС, выделенных из разных радиослужб. Это обеспечит предоставление дополнительного ресурса РЧС, прежде всего для подвижной широкополосной связи, если изменение деления полос РЧС, агрегирование РЧС нежелательны. LSA может быть доступна в диапазонах 694–790 МГц, а также 4,4–4,9 и 5,9 ГГц.

Для применения LSA в сетях 5G будет использоваться новый функциональный блок – спектральный менеджер (Hierarchical Spectrum Manager, HSM), который позволит использовать только те ресурсы РЧС, которые доступны для повторного применения; также HSM распределит ресурсы РЧС

между вторичными пользователями. HSM может поддерживаться регулирующим органом, третьей стороной или владельцем лицензии РЧС.

Операторы сотовой связи могут координировать через HSM свои политики использования общего ресурса РЧС с учетом ресурсов РЧС каждого из операторов. Определенным недостатком технологии LSA будет увеличение задержки установления сеанса связи при принятии решения HSM о возможности использования полос РЧС, поскольку здесь будет необходимо дополнительно сделать запрос к геолокационной базе данных, для предотвращения помех первичным пользователям РЧС. Технологии LSA и LAA будут доступны для двух сценариев применения сетей 5G, а именно MIoT и eMBB, но не доступны для URLLC.

Для предоставления абоненту услуг определенного сегмента планируется задействовать сетевой слой сети 5G, как показано на рис. 1.4, который включает в свой состав необходимый набор виртуальных сетевых функций VNF [23]. Один абонентский терминал может использовать до восьми таких сетевых слоев. Особенность состоит в том, что модуль управления доступом и мобильностью AMF должен быть общим для всех сетевых слоев, обслуживающих абонентский терминал.

Каждый сетевой слой характеризуется идентификатором сетевого сегмента S-NSSAI (Single Network Slice Selection Assistance Information), а данные о нескольких сетевых слоях (всего до восьми) группируются во вспомогательную информацию о сетевых слоях NSSAI (Network Slice Selection Assistance Information). Данные NSSAI формируются отдельно для разных сетей мобильной связи в зависимости от идентификатора наземной подвижной сети общего пользования PLMN-id (Public Land Mobile Network Identifier).

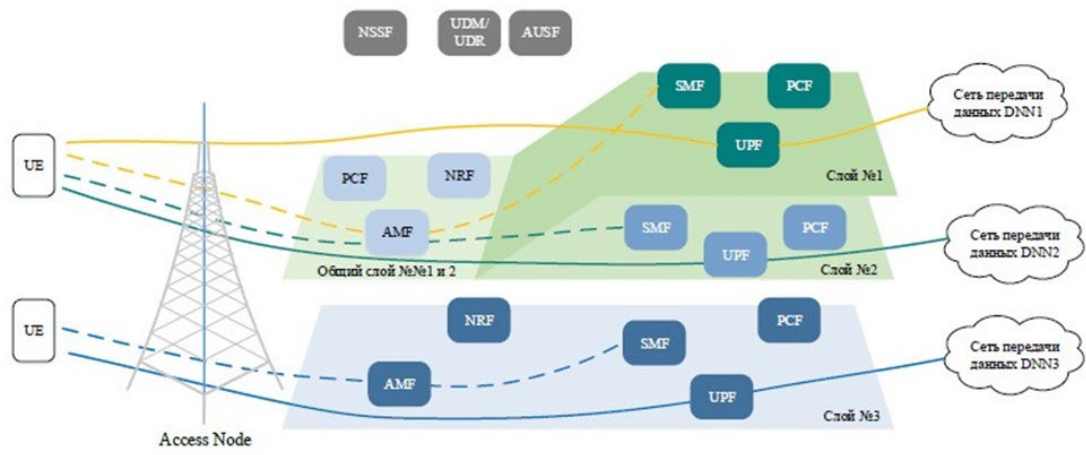


Рис. 1.4 – Схема сетевых слоёв 5G

2 Исследование схемы построения сетей 5G

2.1 Состав и назначение компонентов схемы сетей 5G

Для операторов сетей связи общего пользования (ССОП) особое внимание уделяют планированию сети для ее эффективного построения и эксплуатации в дальнейшем. Планирование сети является комплексной задачей, которая включает в себя такие вопросы, как: разработка структуры сети, перечня услуг и плана их внедрения, расчет пропускной способности сети, ее надежности, производительности сетевого оборудования и т.д. Также немаловажными вопросами в процессе планирования сети являются оценка состояния телекоммуникационного рынка и динамики платёжеспособности населения с учетом социальных и географических факторов. Все требования по радиointерфейсу и планированию сети составляют общие сетевые требования, которые предъявляются к сетям для их полноценного и эффективного функционирования.

Архитектура сети 5G включает в себя централизованное и децентрализованное размещение отдельных составляющих сетевых узлов. Такая архитектура базируется на концепции предоставления различных видов услуг и возможности обмена большим потоком данных с использованием технологий NFV и SDN. Основными ключевыми возможностями архитектуры 5G являются [24]:

- поддержка единых алгоритмов и процедур аутентификации;
- определение конвергентной архитектуры, объединяющей различные типы сетей доступа;
- разделение сетевых элементов на сетевые слои (Network Slicing), исходя из услуг, предоставляемых конкретным группам конечных пользователей;
- увеличение гибкости в части масштабирования и развертывания сети.

Согласно спецификациям 3GPP выделяют 4 типа реализации самоорга-

низирующихся сетей (Self-Organizing Networks, SON) для 5G [25]:

- централизованная самоорганизующаяся сеть, а именно кросс-централизованная и домен-централизованная;
- распределенная самоорганизующаяся сеть;
- гибридная самоорганизующаяся сеть.

Архитектура сети обеспечивает функционирование централизованной и децентрализованной архитектуры 5G, в совокупности они составляют схему сети. Схема сети содержит три основных принципа реализации сети 5G:

- сверхнадежные сети;
- ультра-плотные сети;
- сети со сверхмалыми задержками.

Здесь выделяют основные характеристики сети 5G, которые основаны на вышеперечисленных принципах:

- скорость соединения до 20 Гбит/с (максимум нисходящего канала DL (DownLink));
- задержка сигнала 1 мс (User Plan);
- агрегация спектра – возможность агрегации до 16 полос из разных либо из одного диапазона в один канал;
- надежность сети (коэффициент готовности) – 99,999% для URLLC (Ultra Reliable Local Link Connection);
- количество подключений – до 1 млн. на 1 кв. км [26].

Цикл предоставления телекоммуникационных услуг в сетях 5G требует комплексного анализа сферы телекоммуникаций, качество которого оценивается с помощью индекса удовлетворенности клиента CSI (Customer Satisfaction Index) [27]. CSI имеет 4 этапа, через которые проходят телекоммуникационные услуги:

1) Подготовительный этап, который включает в себя: проектирование услуг связи, предварительное планирование, технико-экономическое обоснование с точки зрения ресурсов и обслуживания сети.

2) Этап ввода в эксплуатацию, который включает в себя формирование CSI, увязка CSI с сетевые ресурсы сети и готовность к использованию потребителями услуг связи.

3) Этап работы CSI, который включает в себя активацию CSI для использования потребителями услуг связи, функционирование услуг связи в соответствии с определенным качеством обслуживания.

4) Этап снятия с эксплуатации CSI включает в себя активацию, после завершения, которой необходимость использования CSI прекращается, процесс его эксплуатации завершается.

Под услугами пользователю в сетях 5G понимается совокупность сервисов по информированию и оповещению клиента связи. В сетях пятого поколения выделяют понятие MSGin5G (Message Service used for person-to-thing and thing-to-thing communication within the 5G system), которое представляет собой службу обмена сообщениями между устройствами, поддерживающими IoT. Для удовлетворения требований удаленного управления и качества передачи сигнала между IoT вещами, служба MSGin5G должна удовлетворять следующим требованиям:

- низкая задержка при передаче сообщений;
- высокая надежность доставки сообщений;
- ресурсоэффективность – оптимизация использования ресурсов сети.

При использовании службы MSGin5G выделяют несколько типов сообщений [28]:

- двухточечное оконечное сообщение: пересылка сообщений происходит непосредственно в оборудовании пользователя;
- сообщение «от приложения к точке (application-to-point message)», т.е. передача сообщения между пользовательским оборудованием и сервером приложений;
- групповое сообщение, передающееся между одним пользовательским оборудованием и группой;

– широковещательное сообщение, передающееся между сервером приложений и всеми пользовательскими устройствами конкретной зоны обслуживания.

Услуги управления представляют собой категорию услуг, требующих минимальную долю задержки по времени. Здесь информация между объектами имеет высокий приоритет и безопасность передачи данных. К таким услугам относится, например, технология подключения автомобиля к любому объекту в сети (Vehicle to Everything, V2X). Данная технология позволяет самоуправляемым автомобилям обмениваться данными друг с другом, вследствие чего, движение таких автомобилей станет более безопасным и автономным. Критерием, отображающим функциональные аспекты и уровень автоматизации V2X, является LoA (Level of Automation). Здесь выделяют следующие состояния [29]:

- 0 – нет автоматизации;
- 1 – помощь водителю;
- 2 – частичная автоматизация;
- 3 – условная автоматизация;
- 4 – высокая автоматизация;
- 5 – полная автоматизация.

Другой сценарий применения услуг управления – потоковая передача информации (5G Media Streaming, 5GMS). В спецификации 3GPP TS 26.501 потоковая передача определяется как доставка непрерывных во времени данных, исходя из их приоритета. Потоковая передача данных предполагает отправку информации в одном направлении и использование ее по мере поступления [30]. Здесь следует выделить следующие функциональные возможности клиента на уровне пользовательского интерфейса:

- медиа декапсуляция (Media Decapsulation);
- расшифровка медиа (Media Decryption);
- медиа декодирование (Media Decoding);

– медиа презентация и рендеринг (Media Presentation and Rendering) [31].

Услуги управления включают в себе управление ресурсом сети. Под ресурсом сети, главным образом, понимается частотный ресурс, скоростные и емкостные показатели сети. Для сетей поколения 5G приоритетными являются более высокие частоты – выше 6 ГГц. Суммарная пиковая скорость передачи данных должна достигать 10Гбит/с, а пространственная емкость сети – 10Мбит/с/м².

2.2 Моделирование каналов в сети 5G

Моделирование каналов в беспроводных сетях связи является важным аспектом в вопросе оценки производительности системы связи в целом. Под каналом связи понимается совокупность технических средств, через которые сообщение передается от абонента А до абонента Б.

Сегодня существует большое количество аппаратных комплексов, помогающих реализовать моделирование каналов, например, имитационная модель импульсной характеристики канала (Simulation of Indoor RadioChannel Impulse Response Models, SMRCIM), программа для вычисления средней частоты битовых ошибок (BERSIM) и др. В данной работе предлагается рассмотреть программный продукт NYUSIM [32]. Он представляет собой комплекс программно-математических средств, моделирующих канал связи сети 5G. Пользовательский интерфейс (рис. 2.1) дает возможность ввода параметров моделирования различного рода. Все параметры условно разделены на 4 группы:

- параметры канала (Channel Parameters);
- свойства антенны (Antenna Properties);
- параметры трехмерной последовательности (Spatial Consistency Parameters);
- параметры блокировки человеком (Human Blockage Parameters).

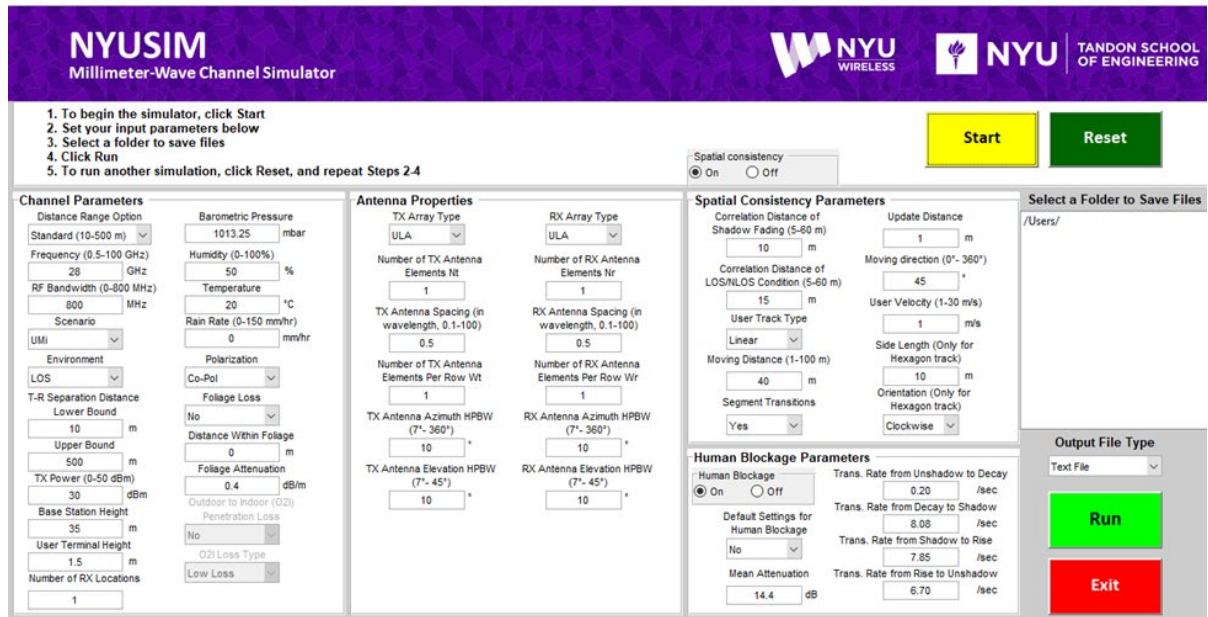


Рис. 2.1 – Пользовательский интерфейс программы NYUSIM

Моделирование в данном программном продукте основывается на следующих математических выражениях:

Крупномасштабная модель потери пути описывается выражением (2.1)

$$PL^{CI}(f, d)[\text{дБ}] = FSPL(f, 1\text{m})[\text{дБ}] + 10n \log_{10}(d) + AT[\text{дБ}] + \chi_{\sigma}, \quad (2.1)$$

где n – показатель потери пути;

d – расстояние, м;

AT – атмосферное поглощение.

Свободное поглощение в тракте $FSPL$ (2.2):

$$FSPL(f, 1\text{m})[\text{дБ}] = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi f \times 10^9}{c} \right) = 32,4 + 20 \log_{10}(f), \quad (2.2)$$

где f – несущая частота;

c – скорость света.

Произведем моделирование, используя следующие входные параметры:

- частота: 28 ГГц;
- ширина полосы частот: 800 МГц;
- нижняя граница расстояния: 10 м;
- верхняя граница расстояния: 100 м;
- мощность передатчика: 30 дБм;
- влажность воздуха: 50%;
- температура: 20 °С;
- количество антенных элементов TX Nt: 1;
- количество элементов антенны RX Nr: 1;
- расстояние между антеннами TX: 0,5 длины волны;
- расстояние между антеннами RX: 0,5 длины волны;
- азимут антенны TX HPBW: 10;
- высота антенны TX HPBW: 10;
- азимут антенны RX HPBW: 10;
- высота антенны RX HPBW: 10;
- блокировка человеком: включена.

Результаты моделирования приведены на следующих рисунках (рис. 2.2, 2.3, 2.4):

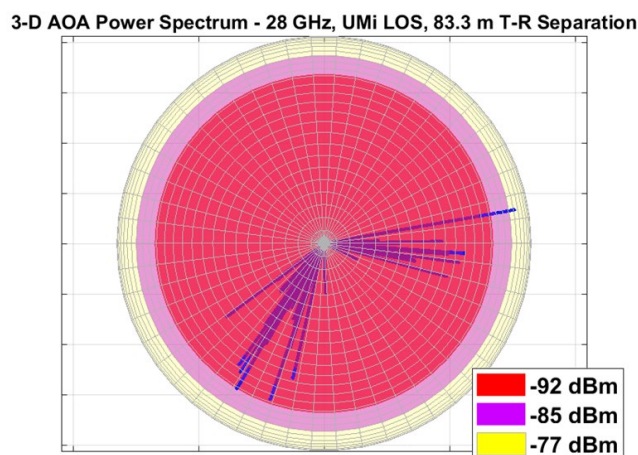


Рис. 2.2 – Результат моделирования спектра мощности АОА

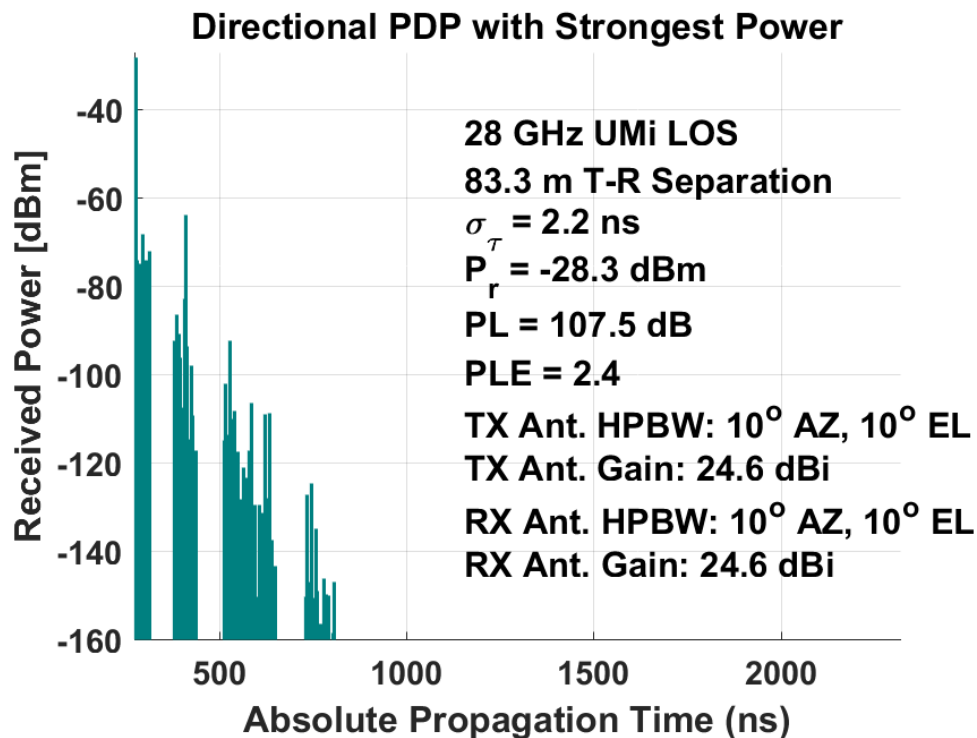


Рис. 2.3 – Результат моделирования профиля задержки мощности (Power Delay Profiles, PDP)

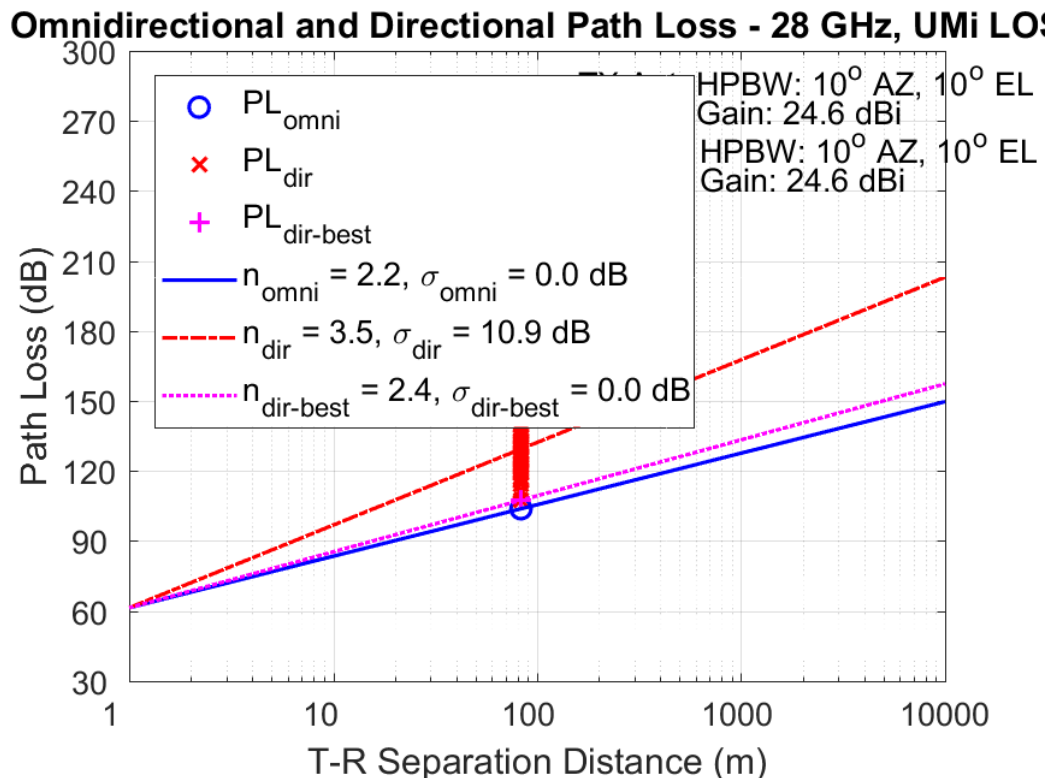


Рис. 2.4 – Результат моделирования всенаправленной и направленной потери пути

На основе полученных результатов моделирования можно сделать вывод о практической значимости программного продукта NYUSIM в сфере изучения и наглядного моделирования сетей связи поколения 5G. Полученные графики на рис. 2.2, 2.3 и 2.4 позволяют сделать вывод о возможности применения сетей 5G прежде всего для построения сверх-плотных сетей, которые используются для покрытия сравнительно малых площадей с большим количеством приёмников-передатчиков информации, которым требуются высокие скорости обмена данными, например интеллектуальные транспортные системы.

2.3 Задачи и цели разработки онтологии схемы сетей 5G

С учетом разнородности данных и классов объектов управления, относящихся к системам связи нового поколения 5G, требуется их логическое объединение, выраженное в согласовании понятий и установлении между ними семантических связей. В этой связи предлагается создание предметно-ориентированной (предметной) онтологии.

Онтология применительно к задачам проектирования и управления сетями 5G – это формализованное описание знаний субъектов управления (проектирования), процессов проектирования новых или модернизаций уже известных знаний, знания о самом объекте проектирования и близких к нему по свойствам объектов, а также тезаурус (словарь) предметной области. Онтология определяет множество сущностей, которые описывают и представляют конкретную проблемную область (ПрО), и логические выражения соотношений терминов друг с другом. Такое описание с помощью формулы (2.3) выглядит следующим образом:

$$O = (E, D, R, P), \quad (2.3)$$

где E – множество сущностей (термины, классы объекты, отношения и функции);

D – множество определений сущностей;

R – множество отношений между сущностями;

P – множество правил использования сущностей.

Онтология позволяет концептуализировать предметную область, формализовать накопленные знания: определить ключевые понятия, задать семантические отношения между понятиями, необходимые для постановки задач и описания процессов их решения в данной ПрО [33]. Такой подход к изучению области знаний дает возможность составить общий словарь-тезаурус, способствующий повторному использованию накопленных ранее сведений и более детальному рассмотрению каждого объекта в системе знаний по управлению и проектированию 5G.

Существует множество подходов к изучению онтологии, построению онтологических схем, но наиболее широкое распространение получили подходы, при которых онтология понимается как инструмент для построения классификаторов или как способ структурирования информации в данной конкретной ПрО [34]. Круг технологий и решений, работающих на основе онтологического анализа, весьма широк и имеет большие перспективы дальнейшего развития и повсеместного внедрения в промышленности, на транспорте, в связи, в области информационных технологий. На основе корректно проведенного онтологического анализа работают многие современные предприятия, которые стремятся не только автоматизировать процесс принятия того или иного решения комплексного вопроса, но и значительно упростить дальнейшее внедрение новых программных средств в большую структуру уже накопленных знаний [35].

Рассматривая онтологию в целях управления и проектирования сетями 5G, важным аспектом является определение объекта исследования области научных знаний. В рамках онтологии выделяется термин объект управления (проектирования) – это реальные или виртуальные сущности, разрабатываемые субъектами проектирования. Субъект в общем случае формулирует

цель, определяет методы, средства и подбирает ресурсы для создания конкретного артефакта – объекта проектирования [36]. В нашем случае объектами исследования являются функциональные блоки (функции) и сервисы архитектуры 5G, а также механизмы их функционального и информационного взаимодействия.

Анализ ПрО, как правило, начинается с составления словаря терминов, который в дальнейшем будет использоваться для рассмотрения характеристик объектов и процессов ПрО. Далее определяются основные логические связи между понятиями. В терминах онтологии понятие взаимосвязи однозначно описывает или является точным дескриптором зависимости между объектами ПрО в реальном мире, а термины являются, соответственно, точными дескрипторами классов реальных объектов. Онтология управления и проектирования как научное направление в рамках инженерии знаний, в общем случае включает в себя:

- исследование понятийного аппарата и разработки на его основе тезауруса;
- анализ критериев и моделей проектируемого объекта, методов и сценариев проектирования;
- сбор и обработку информации об объекте как системе и составляющих ее элементах.

Для разработки онтологии используют программные средства, представляющие накопленные знания в виде связного графа. Средства разработки онтологии включают в себя: веб язык (Web Ontology Language, OWL) со средой описания ресурсов (Resource Description Framework, RDF) и среду описания схем для представления знаний по управлению [37].

В онтологическом анализе у классифицируемого объекта выделяют атрибуты и идентификаторы. Атрибуты описывают технические и функциональные свойства объекта, которые являются относительно устойчивыми во времени. Значение атрибута может быть представлено как график или номо-

грамма (номограммы), описывающие зависимость характеристик устройств от различных факторов. В свою очередь для систематизации всех объектов необходимо составить единую систему идентификации устройств (Equipment Identity, EI). Единая идентификация предполагает представление информации о каждом классифицированном объекте в кратком, унифицированном и функционально-ориентированном формате. Под идентификацией понимается процедура, позволяющая распознать конкретный экземпляр (единицу) продукции в рамках классификационной группы или объектов классификации.

В общем случае процесс создания информационной модели в онтологии можно разбить на следующие этапы (рис. 2.5) [38].



Рис. 2.5 – Этапы создания онтологической модели схемы сети 5G

Компания IBM (International Business Machines) представила архитектуру The Monitor-Analyze-Plan-Execute over a shared Knowledge (МАРЕ-К), которая составляет основу управления автономной сетью [39]. Архитектура такой сети состоит из трех функциональных блоков: среда внедрения, управ-

ляемая система и система управления (рис. 2.6).

Здесь среда имеет дуплексный тип связи (способ связи, при котором передача возможна в обоих направлениях канала электросвязи) совместно с управляемой системой. Датчики в этой системе используются для сбора данных от доменных структур – информационных описаний объектов управления.

Эти данные, в свою очередь, подвергаются мониторингу со стороны системы управления и анализу в дальнейшем. Затем путем проектирования плана и осуществления функций выполнения, новые задачи передаются к адаптерам. Такой циклический процесс является базой знания по проектированию сети.

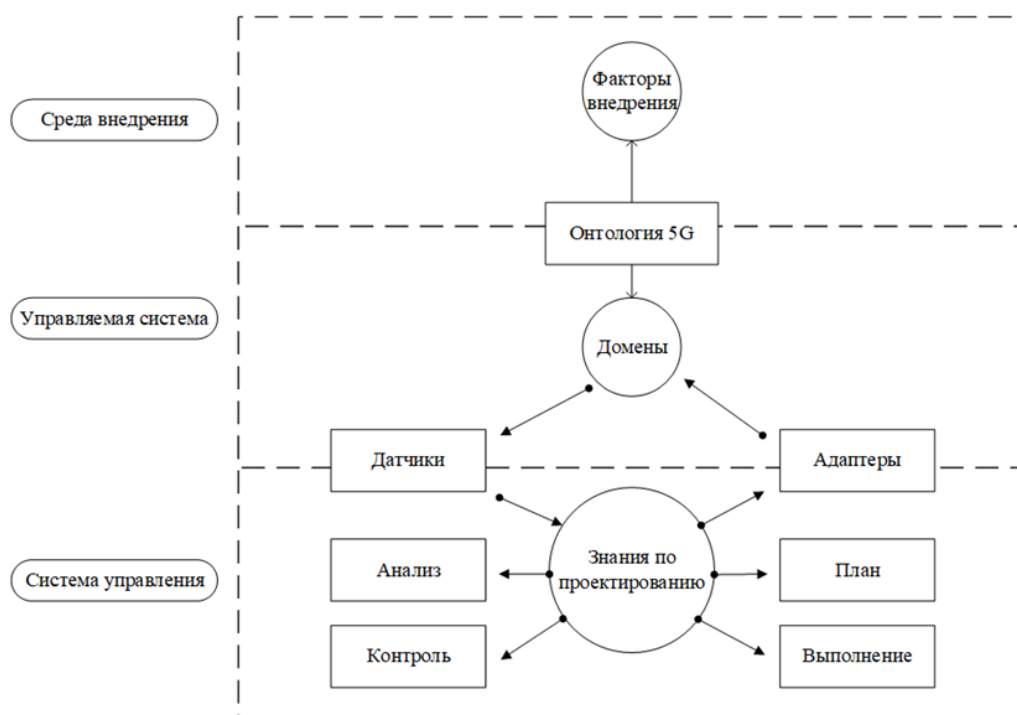


Рис. 2.6 – Архитектура MARE-K для сетей 5G

Онтология 5G находится на границе раздела двух составляющих MARE-K [39] – среды внедрения и системы управления, что определяет основной круг ее базы знаний. Она включает в себя знания о факторах внедрения сети в среду и концептуализирует в себе доменные структуры.

2.4 Описание онтологической модели для представления знаний о схеме сетей 5G

Процесс создания онтологии представляет собой многоуровневую последовательность действий, которая требует комплексного подхода для решения поставленных задач. Для удобного построения онтологической модели целесообразно использовать программные среды, которые позволяют выполнять реализацию, проверку непротиворечивости и документирование в созданной модели.

В качестве инструментальной базы создания онтологии 5G была выбрана программа Protégé, поддерживающая разработку OWL-онтологий. Язык OWL представляет собой универсальный стандарт, позволяющий обмениваться онтологической информацией по сети. Protégé позволяет создавать определения классов, соответствующих неформальному описанию, и проверять утверждения на взаимное согласование в онтологии ПрО, а также создавать иерархическую структуру классов и слотов. Этот программный продукт основан на фреймовой модели представления знания ОКВС (Open Knowledge Base Connectivity), которая позволяет адаптировать созданную онтологию для редактирования моделей, хранимых в разных форматах (RDF, OWL, XML). Данный редактор является открытым пространством для создания онтологической базы данных, имеет открытую архитектуру, а его инструменты визуализации позволяют наглядно проследить связи внутри онтологии. Стоит отметить ряд преимуществ Protégé:

- является открытой платформой для разработки онтологий;
- простой, настраиваемый пользовательский интерфейс;
- визуальная поддержка;
- легко расширяемая архитектура;
- возможность импортировать в различные форматы.

Пользовательский интерфейс состоит из главного меню и нескольких вкладок для редактирования различных составляющих базы знаний и ее

структуры. Набор и названия вкладок зависят от языка представления и могут быть настроены вручную. Обычно имеются следующие основные вкладки: Классы, Слоты (или свойства для OWL), Экземпляры, Метаданные [40].

Создание любой онтологии сводится к осуществлению нескольких действий в программной среде, в нашем случае в Protégé, с помощью которых создается база знаний. С практической точки зрения процесс разработки онтологии включает в себя:

- определение классов в онтологии;
- расположение классов в таксономическую иерархию;
- определение слотов и описание их допустимых значений;
- заполнение значений слотов экземпляров.

Онтологический анализ играет основную роль в формировании и дальнейшей пересылки знаний и данных по сети. На рис. 2.7 представлена блок-схема, поясняющая процесс пересылки данных и их формирование в симуляторе 5G сетей [41].

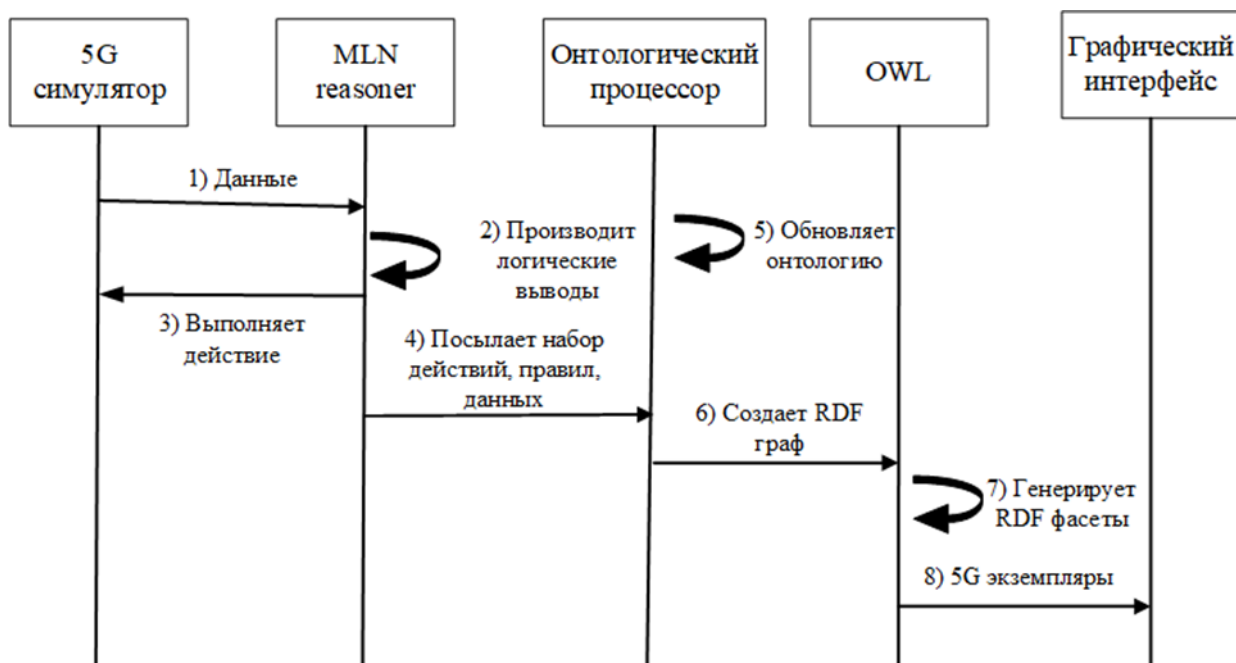


Рис. 2.7 – Процесс формирования данных онтологии 5G

Симулятор 5G отправляет данные по управлению производительно-

стью к MLN reasoner. Reasoner обрабатывает данные и производит логические выводы по ним, которые отправляются в виде набора действий к симулятору для генерации новых данных. Также MLN reasoner отправляет набор дополнительных действий, правил и данных к онтологическому процессору. Он обрабатывает поступившие данные и генерирует RDF граф. Здесь под RDF графом понимается множество RDF утверждений, где вершинами являются объекты рассматриваемой области, а ребра отображают отношения между ними. Далее происходит генерация RDF фасет – независимых классификационных признаков. В результате чего, пользователь может контролировать и анализировать 5G экземпляры (данные по сети) с помощью графического интерфейса.

Таким образом, онтологический анализ систематизирует данные, строит наглядный граф, поясняющий правила взаимодействия определённых функциональных блоков, вследствие чего появляется новая база знаний, которая может обновляться по мере ее накопления и расширять возможности конкретной ПрО.

Концепция сетевых слоёв или разрезов (network slicing) занимает центральное место в процессе проектирования схемы сетей связи 5G. По данным ассоциации глобальной системы мобильной связи (Global System for Mobile Communications, GSM), под сетевым слоем понимается независимая логическая сеть, опирающаяся на физическую инфраструктуру и с независимо конфигурируемым качеством услуг (Quality of Service, QoS) [42]. Сетевой слой позволяет операторам выполнить конкретные требования по обслуживанию сети – обслуживание в режиме реального времени, надёжность сети, выполнить требования по гарантированному уровню обслуживания.

Основным нововведением в рамках сетевого слоя/разреза является гибкость настраиваемых сетей, их адаптивность при внедрении на рынок сетей связи. В качестве основной концепции сетевого слоя используется онтологический анализ 5G, который позволяет разработать несколько сетевых моде-

лей. Впоследствии эти модели, как правило, объединяют в глобальную структуру, что дает полную оценку полученной базы знаний.

Обобщенная структурная схема онтологии 5G далее была выполнена на основе схемного решения сообщества ONAP (Open Networking Automation Platform). Модель основана на спецификациях 3GPP и представляет собой многоуровневую базу 5G сетей, как показано на рис. 2.8.

Здесь вводятся следующие отношения между классами:

- ассоциация – показывает отношение «множество – множество»;
- агрегация – показывает отношение «целое – часть».

На верхнем уровне онтологии находятся услуги управления, предоставляемые оператором связи.

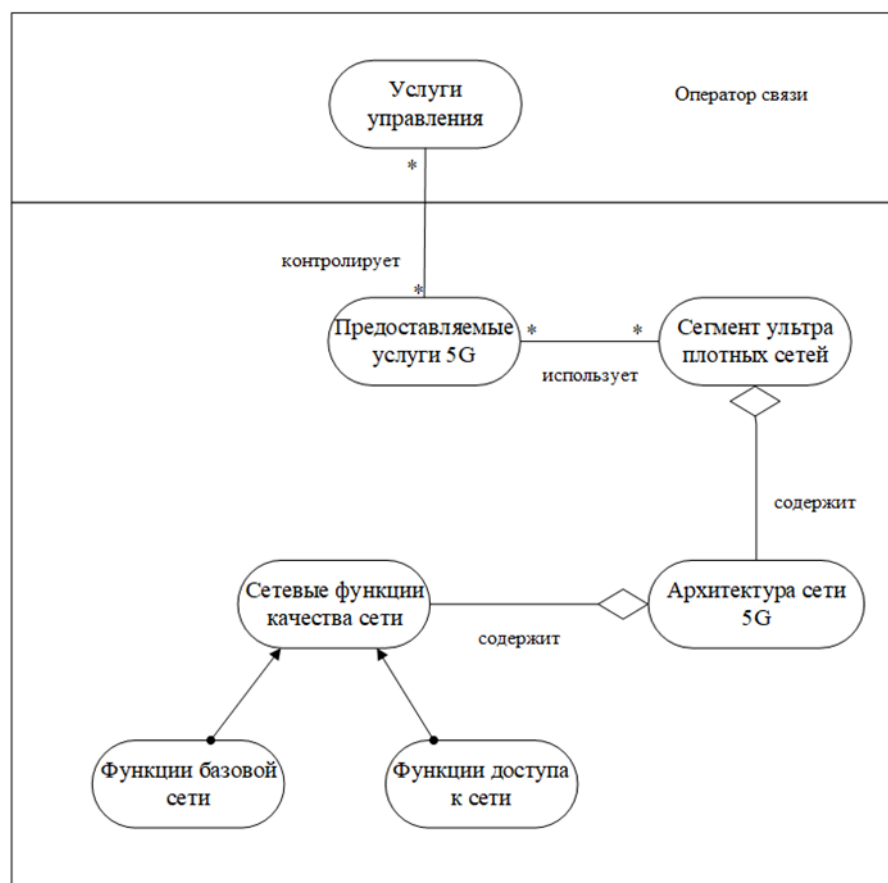


Рис. 2.8 – Онтология схемы 5G на основе сетевых слоёв/разрезов

Примечание к рис. 2.8:

◇ – означает отношение целое к частному;

* – означает отношение множество к множеству.

Под услугами управления развитием сети понимается совокупность следующих пунктов:

- создание нормативно-правовой базы;
- определение тарифной политики;
- лицензионная деятельность в части использования РЧС;
- создание и реализация программно-аппаратных средств управления конфигурацией и техническими характеристиками сети;
- планирование развития сетей связи, в том числе частотно–территориальное планирование.

В рамках управления контролируются предоставляемые услуги 5G, среди которых мультимедийные услуги (Ultra HD видео, онлайн игры), сервисы виртуальной реальности, сервисы дополненной реальности, сервисы межмашинного взаимодействия (Machine-to-Machine, M2M) и т.д. Услуги 5G используют сегмент ультраплотных сетей, позволяющий повысить спектральную эффективность сети.

Архитектура сети 5G, как уже отмечалось выше, представляет собой взаимодействующие подсистемы, использующие иерархию сетей доступа (ячеек, сот) различного размера и использующие разнородные технологии радиодоступа (Radio Access Technology, RAT). Архитектура сети поддерживает различные функции сети. Они подразделяются на функции базовой сети и функции доступа к сети.

Для адаптации модели на рис. 2.8 к реальным условиям применения, была разработана предметная онтологическая модель, которая включает в себя семантическое описание набора сетевых элементов для полного функционирования сети 5G, как показано на рис. 2.9.

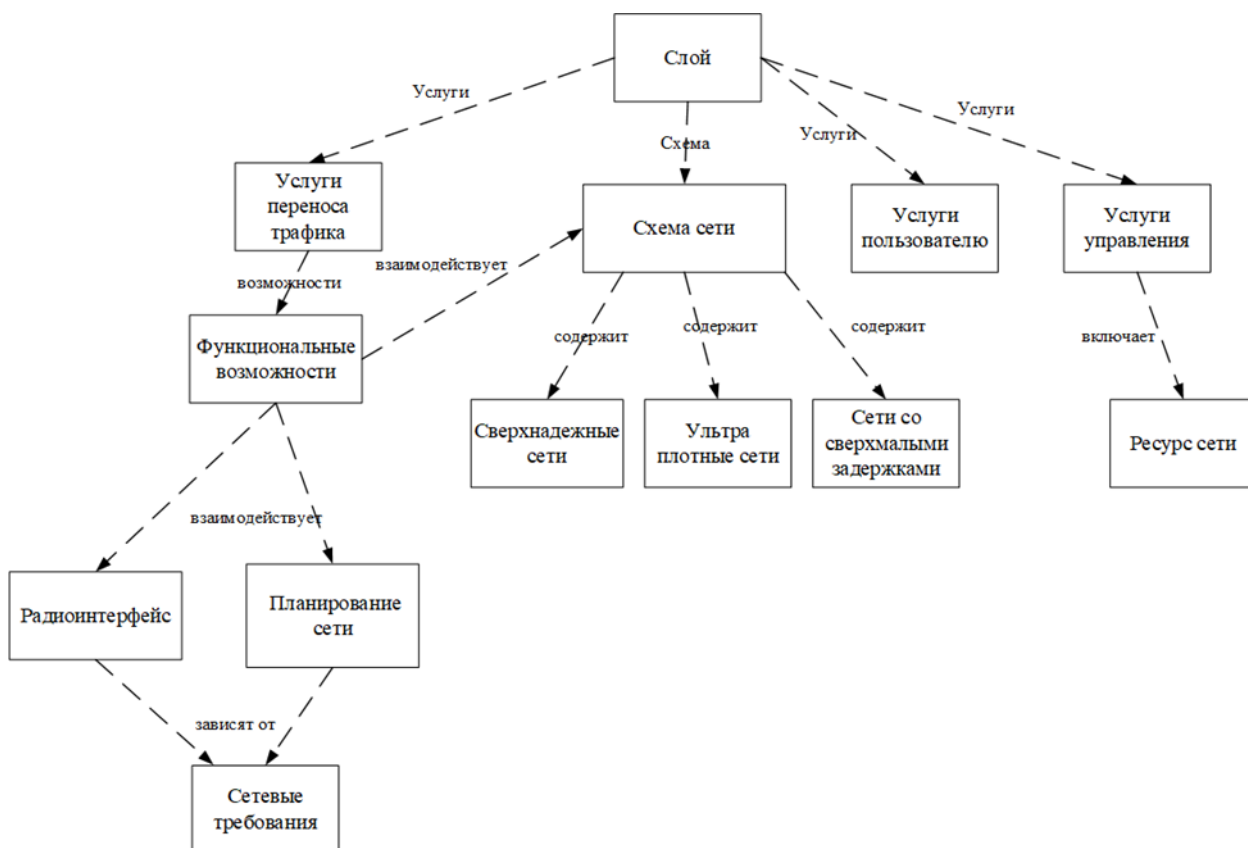


Рис. 2.9 – Предметная онтологическая модель схемы сети 5G

Здесь каждый сетевой элемент имеет семантически определенную связь с другими элементами сети 5G и находится в функциональной зависимости. Такая структура дает понимание о процессах взаимодействия в системах связи 5G и о назначении взаимодействующих систем.

Если рассматривать структуру 5G в части разделения на слои, то можно выделить следующие функциональные слои:

- слой услуг переноса трафика;
- слой схемы сети;
- слой услуг пользователю;
- слой услуги управления.

Слой услуг переноса трафика предоставляют сетям пятого поколения широкий диапазон функциональных возможностей, таких как:

- функции сетевой виртуализации (Network Virtualization Function,

NFV) заменят и унифицируют функции на сетевых устройствах, таких как маршрутизаторы, балансировщики нагрузки и брандмауэры;

– функции программно-конфигурируемых сетей (Software Defined Network, SDN) обеспечат динамическую реконфигурацию сетевых элементов в режиме реального времени;

– функции динамического распределения спектра позволят разделить физическую сеть на несколько виртуальных сетей, которые могут поддерживать разные технологии радиодоступа;

– облачная технология радиодоступа (Cloud Radio Access Network, CloudRAN) заменит блоки распределенной обработки сигналов на абонентских устройствах (АУ) и БС.

Эти функциональные возможности, в свою очередь, взаимодействуют с радиointерфейсом и влияют на планирование сети. Сеть радиодоступа «Новое Радио» (New Radio, NR) основана на методе ортогональной модуляции OFDM с возможностью предварительного кодирования с дискретным преобразованием Фурье (Discrete Fourier Transform, DFT) для повышения эффективности усиления в направлении передачи [43]. Сеть радиодоступа NR максимально эффективно использует диапазоны частот (лицензированный и нелицензированный спектр), повышая тем самым производительность сети.

3 Разработка онтологической модели схемы сети 5G

3.1 Создание предметно-ориентированной онтологии сети 5G

На основе разработанной ранее таксономии (классификационной структуры) ПрО 5G, далее разрабатывается база знаний в инструментарии Protégé 4.3. Онтологические модели могут специфицировать ПрО, информационные ресурсы и модели пользователей, они представляют исследователю следующие возможности:

- декларированного описания знаний;
- структуризации и категоризации области знаний;
- описания системы понятий ПрО на логическом, концептуальном и графическом уровнях;
- управления информационными потоками;
- реализация SPARQL-запросов;
- выявления закономерностей и анализа ПрО экспертами;
- отражения смысла в метаданных, формирования пространств имен, словарей, квалификаторов на языках RDF, OWL [44].

Во вкладке Active Ontology в строке Ontology IRI вводится название разрабатываемой онтологии. Далее в окне Annotation можно добавить краткое описание основной концепции, разрабатываемой онтологии, имена авторов, версию и т.д. (рис. 3.1).

Разработка онтологии начинается с заполнения вкладки классы (Classes) теми понятиями, которые были определены ранее в главе 2. Далее формируется онтология, путем создания необходимых классов и подклассов на основе понятий, описывающих сеть 5G.

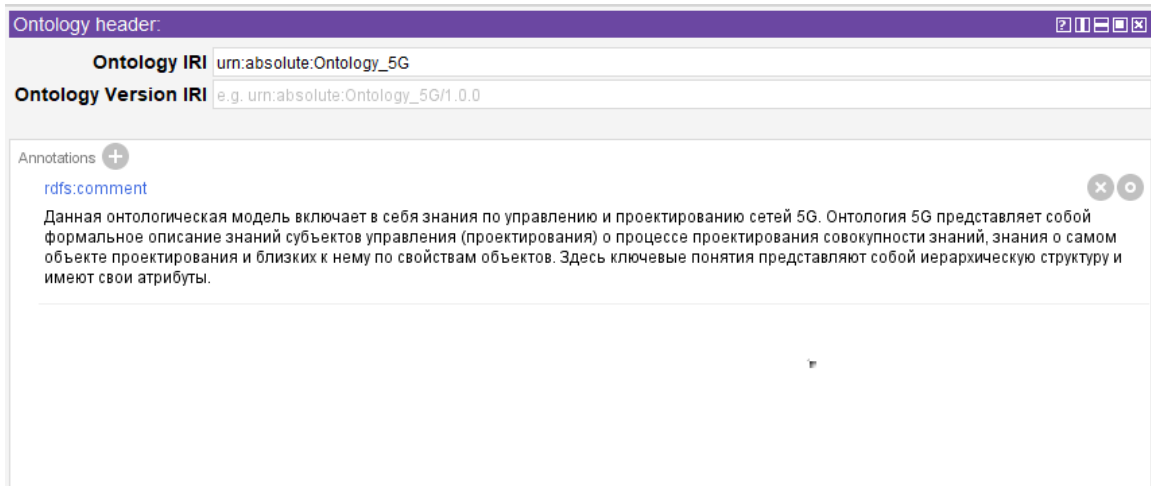


Рис. 3.1 – Заголовок онтологии сети 5G и общее описание модели

Структура классов и подклассов онтологической модели на примере класса «Компоненты SDN» представлена на рис. 3.2:

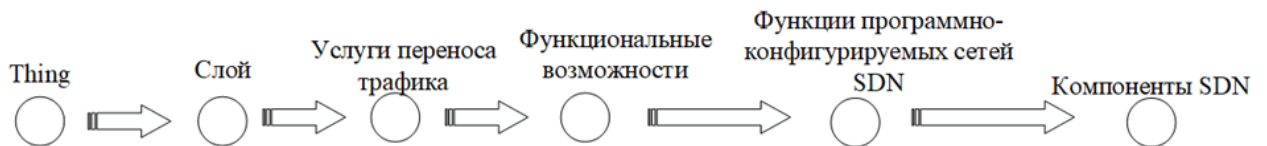


Рис. 3.2 – Фрагмент онтологической модели на примере класса «Компоненты SDN» сети 5G

После внесения всех концептов (понятий) в разрабатываемую онтологию формируется дерево иерархии конкретной ПрО (см. рис. 3.3).

Для полного функционирования нашей базы необходимо определить экземпляры для каждого из возможных подклассов. Экземпляры классов – это данные, создаваемой базы знаний. Для создания экземпляров необходимо открыть вкладку Individuals, выбрать из имеющихся классов и подклассов нужный объект в окне Class hierarchy и в окне Members list ввести необходимый экземпляр.

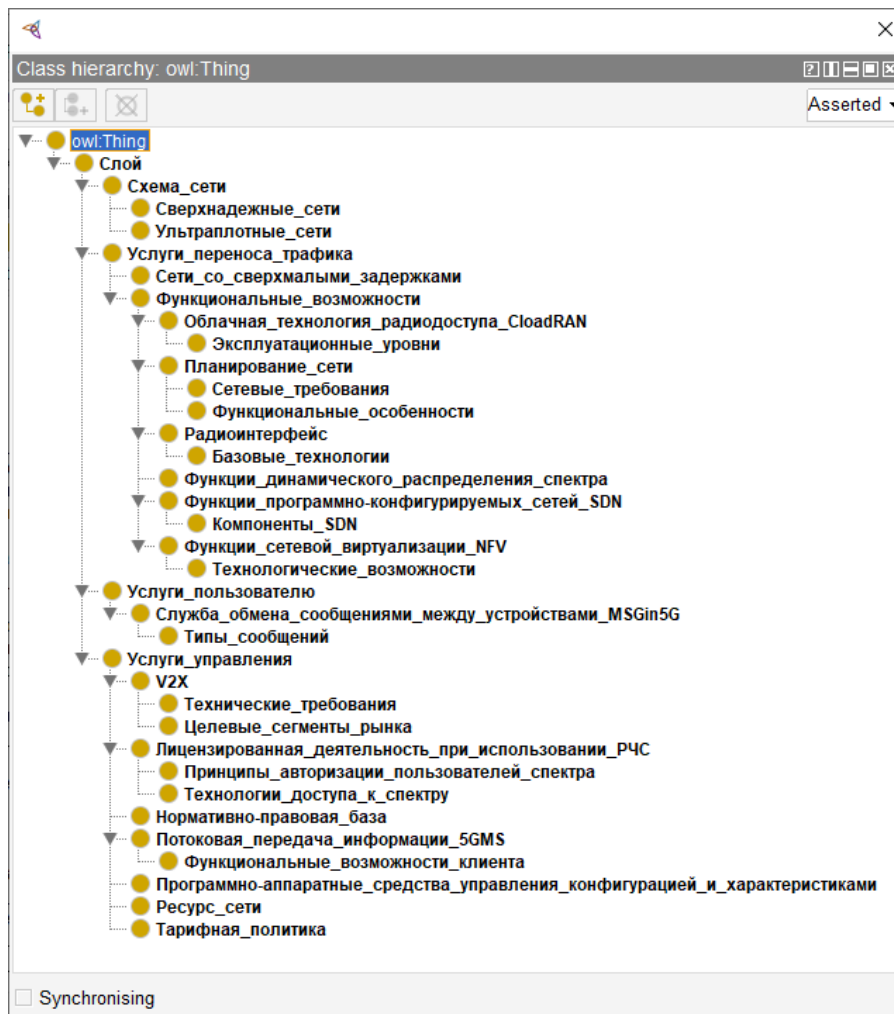


Рис. 3.3 – Иерархия классов (дерево классов) для описания схемы сети 5G

В качестве примера, на рис. 3.4 представлена панель описания экземпляра. Здесь индивид «Эксплуатационные характеристики сети» является экземпляром подкласса «Сетевые требования», класса «Планирование сети». Данный экземпляр имеет следующие свойства, которые указаны во вкладке «Property assertions»:

- «скорость передачи данных (UL)»;
- «скорость передачи данных (DL)»;
- «количество потребляемого трафика».

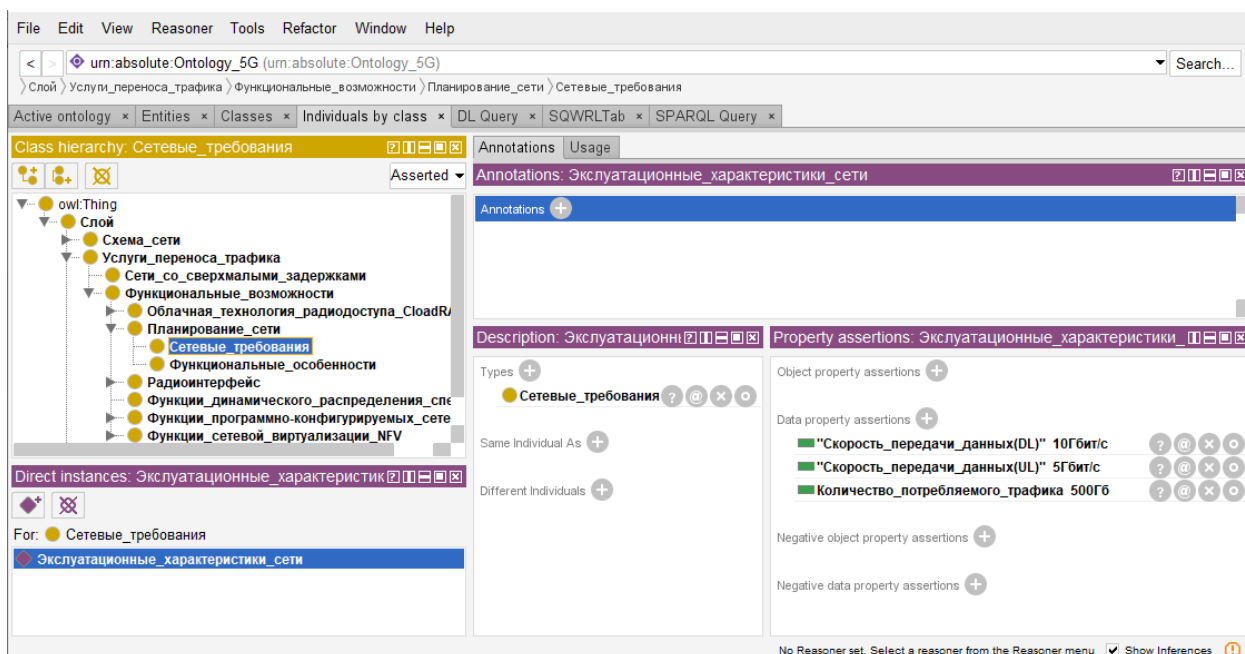


Рис. 3.4 – Панель описания экземпляра
«Эксплуатационные характеристики сети»

С помощью языка онтологии OWL можно создавать аннотации, т.е. различные комментарии и ссылки на ресурсы, относящиеся к определённым классам, экземплярам, свойствам.

На рис 3.5 приведен пример описания аннотации для экземпляров LA, LSA, LAA, который представляет собой расшифровку данных аббревиатур. Онтология в Protégé может быть представлена не только в виде дерева концептов, но и в виде семантической сети, которая представляет собой ориентированный граф.

В таком графе вершины являются концептами онтологической модели, а ребра определяют связи между ними. Для построения такого графа следует перейти во вкладку OntoGraf (рис. 3.6).

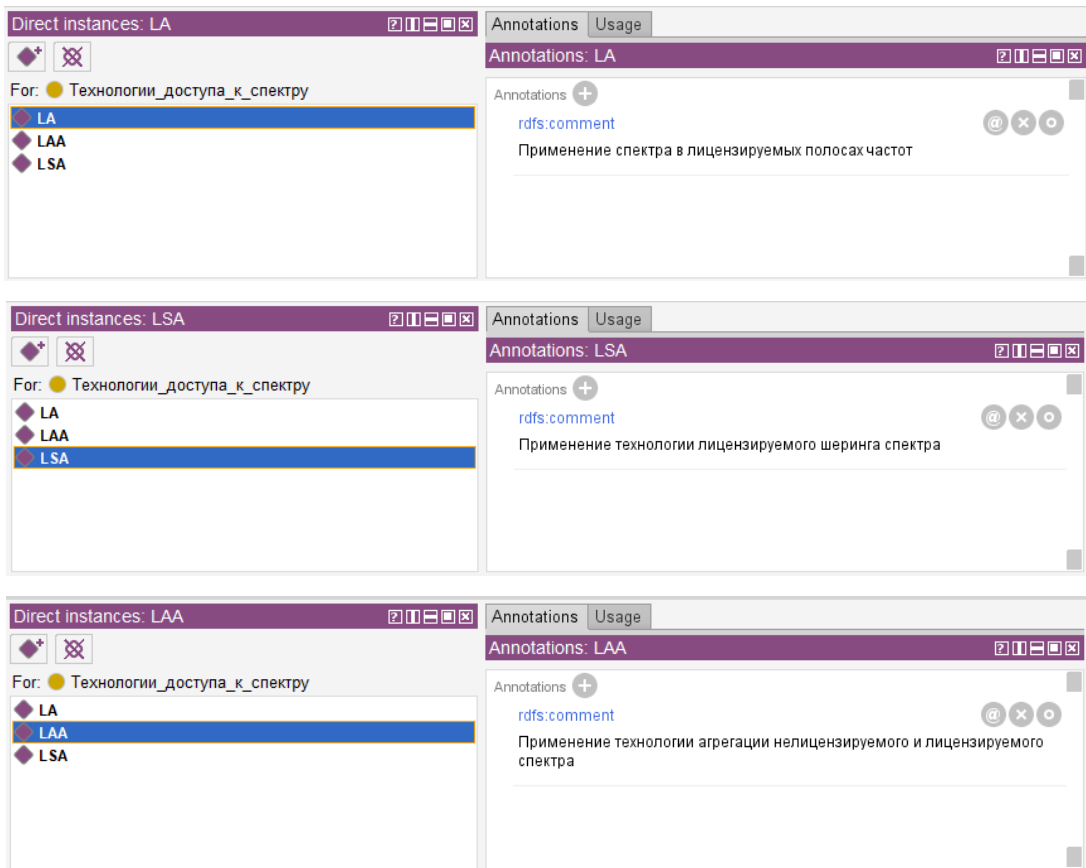


Рис. 3.5 – Описание объектов LA, LSA, LAA в онтологии схемы сети 5G

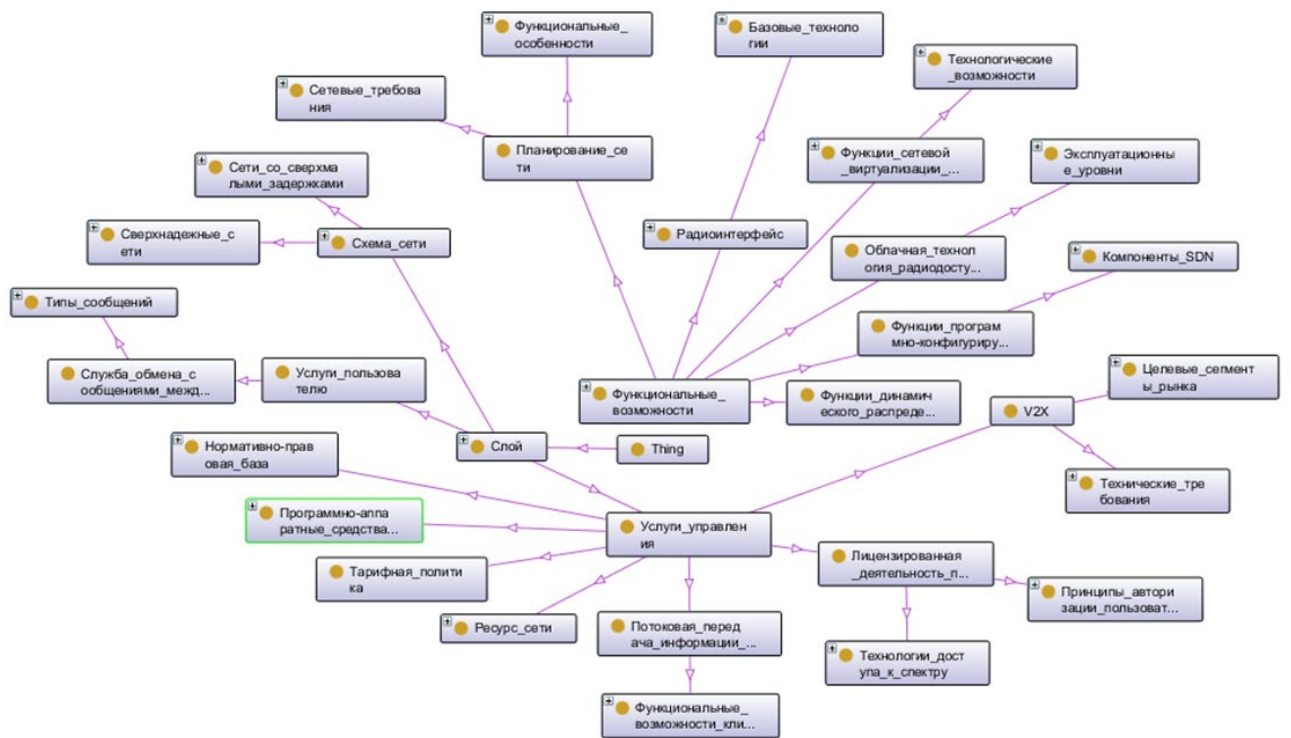


Рис. 3.6 – Представление схемы 5G в виде семантической сети

Таким образом, онтологический анализ систематизирует данные, строит наглядный граф, поясняющий правила взаимодействия определённых функциональных блоков, вследствие чего появляется новая база знаний, которая может обновляться по мере ее накопления и расширять возможности конкретной ПрО, в данном случае области схемы сети 5G.

3.2 Запросы пользователя к модели 5G с помощью языка SPARQL

Функциональные возможности программы Protégé не ограничиваются построением семантической сети для представления знаний о схеме сети поколения 5G. Существует стандарт SPARQL, предназначенный для описания программного интерфейса и синтаксиса запросов к разрабатываемым онтологическим моделям. С помощью запросов SPARQL возможно извлекать информацию (знания), которые были занесены в онтологическую модель с целью ее дальнейшего анализа и наиболее эффективного получения требуемых данных.

Для осуществления требуемых запросов в программе Protégé следует перейти во вкладку SPARQL Query (SPARQL запрос) и сформировать требуемый запрос. В SPARQL комбинация операторов SELECT*WHERE означают выборку всех результатов из набора триплетов, которые отвечают условиям требуемого отбора. В онтологическом моделировании термин триплет представляет собой основной способ представления информации отдельной ПрО. Данная синтаксическая структура состоит из трех элементов:

- подлежащее (сущность, о которой представляется информация);
- сказуемое (свойство объекта);
- дополнение (числовое/строковое значение или сущность).

На рис. 3.7 приведена запись стандартного запроса по умолчанию, с помощью которого возможно вывести все подклассы (subject) для всех классов (object). После осуществления команды выполнить (Execute) мы получаем следующий результат данного запроса.

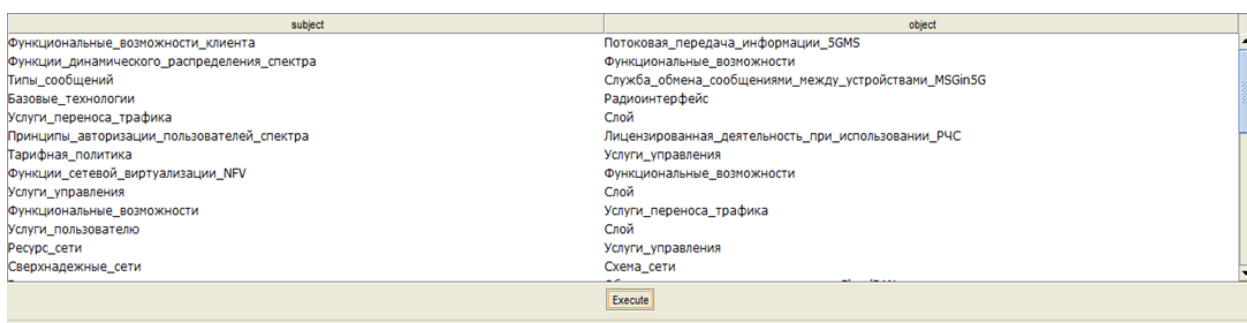


Рис. 3.7 – Запрос на выведение всех подклассов всех классов

Далее выполним ряд запросов для проверки работоспособности, созданной онтологической модели. Предположим, что мы хотим посмотреть все подклассы класса «Услуги переноса трафика», иными словами определяем, для какого класса сетей в рассмотренной онтологии используются данные услуги. Ниже представлен код программы для выполнения необходимого запроса:

```

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX ONT5G: <urn:absolute:Ontology_5G#>
SELECT ?subclass WHERE
{
    ?subclass rdfs:subClassOf ONT5G:Услуги_переноса_трафика
}

```

Результат вывода представлен в программном окне (рис. 3.8).



Рис. 3.8 – Запрос на вывод свойств подклассов

Далее рассмотрим действие машины логического вывода.

3.3 Исследование функционирования машины логического вывода

Работа с онтологическими моделями предоставляет разработчикам большой круг возможностей для реализации базы знаний. Еще один вариант работы с онтологией – это машина логического вывода (reasoner). Данное программное обеспечение позволяет проверять созданную онтологическую модель на наличие противоречий, а также автоматически делать выводы (т.е. продуцировать новые триплеты) на основании правил и имеющихся в модели фактов.

В предыдущем разделе рассмотрена структура осуществления запроса SPARQL, где для осуществления необходимого запроса нужно четко знать структуру его написания. Для вывода запроса с помощью машины логического вывода не обязательно знать всю «внутреннюю кухню» отражения логических связей, запрос производится с помощью наименований классов, свойств и сущностей, что является несомненным преимуществом его использования.

Для включения машины логического вывода необходимо перейти во вкладку Reasoner на верхней панели и нажать Start Reasoner. В случае если в онтологической модели есть ошибки, Reasoner выдаст сообщение о ней, а в верхнем правом углу появится красный треугольник (см. рис. 3.9).

Для выполнения запроса с использованием Reasoner необходимо его включить и перейти во вкладку DL Query. Для выполнения простых запросов: поиска подклассов, экземпляров, прослеживания всей иерархии отдельного класса требуется в окне Query (class expression) записать название того класса, о котором необходимо найти информацию.

Например, необходимо узнать всю информацию о классе «Схема сети», которая содержится в разработанной онтологической модели. Результат такого запроса приведен на рисунке 3.10.

Также с помощью машины логического вывода можно задавать условия формирования, как это показано на рис. 3.11 и рис. 3.12.

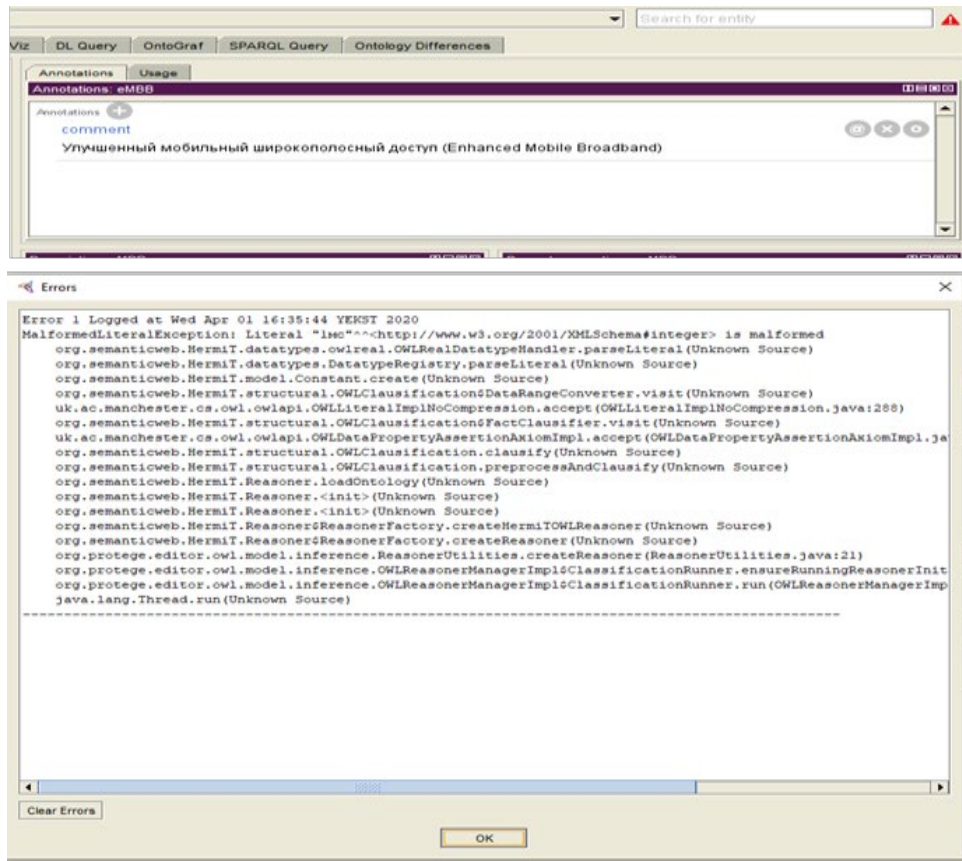


Рис. 3.9 – Контроль логической ошибки в онтологии

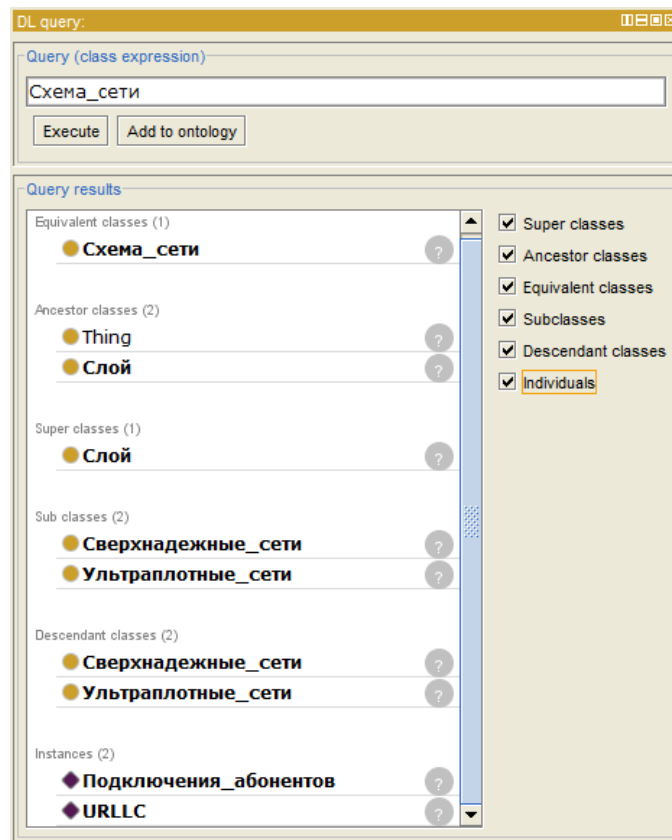


Рис. 3.10 – Результат работы Reasoner для поиска сведений о схеме сети 5G

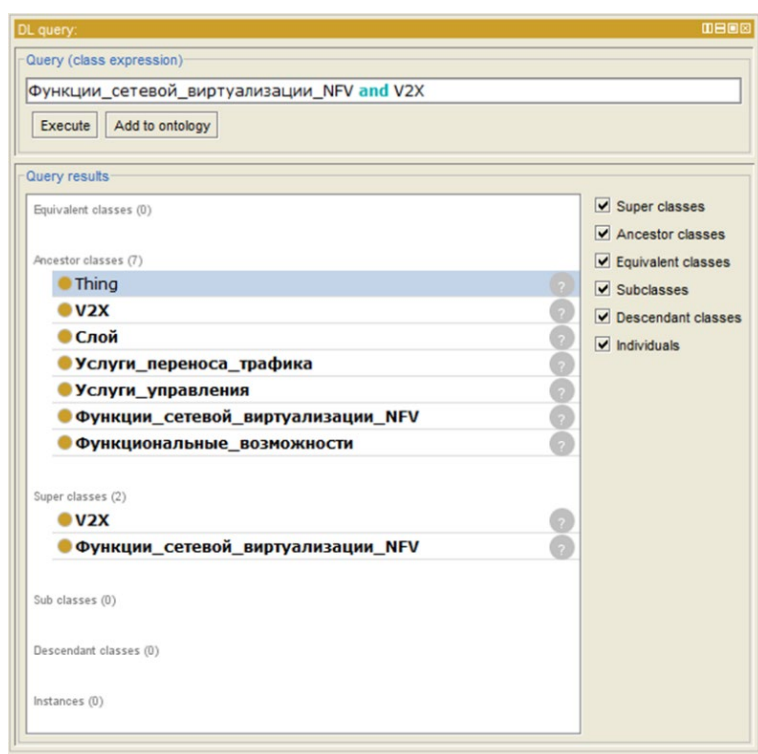


Рис. 3.11 – Осуществление выборки по функциям сетевой виртуализации NFV с помощью Reasoner

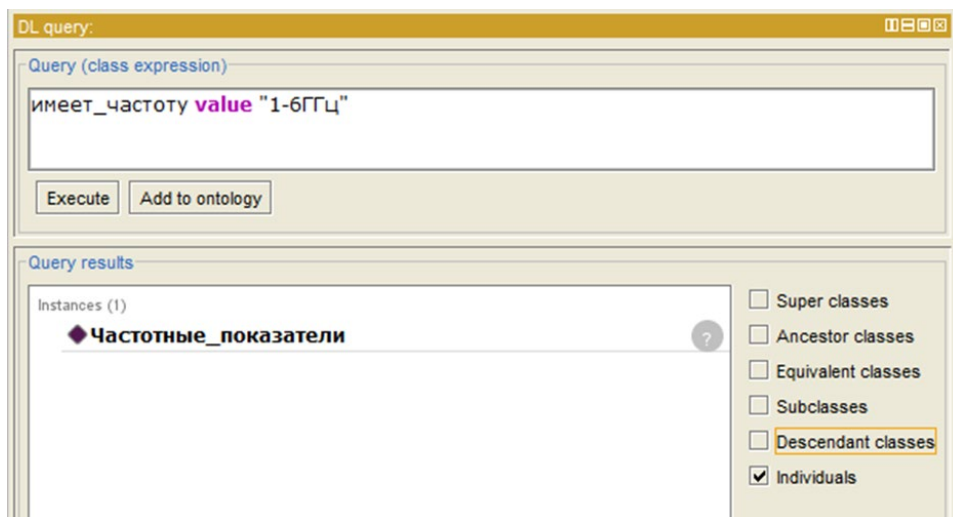


Рис. 3.12 – Пример запроса по поиску экземпляра класса

С использованием DL Query возможно сохранять введенный запрос. Например, можно сохранить результат поиска о допустимом диапазоне частот, как показано на рис. 3.13. Соответственно, рассматриваемый запрос может быть использован неоднократно.

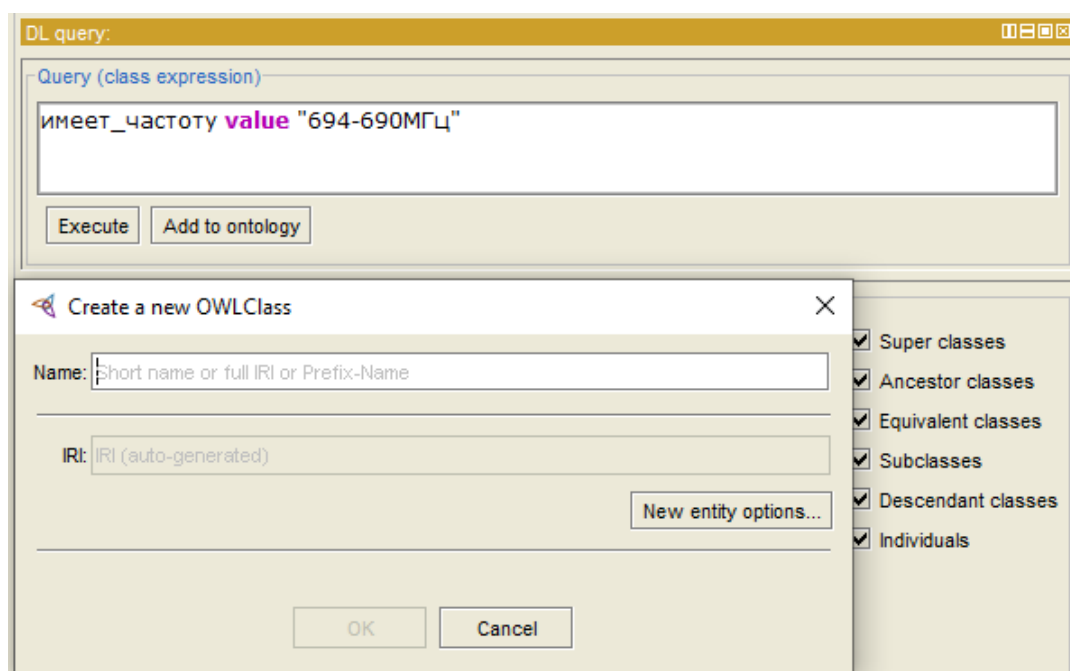


Рис. 3.13 – Окно сохранения запроса Reasoner

В целом с помощью рассмотренного онтологического подхода и разработанного лабораторного прототипа программного обеспечения можно формировать массив знаний по схемам и технологиям построения сетей 5G, который с помощью дополнительно создаваемого программного обеспечения интерфейса пользователя может быть реализован как готовый программный продукт для применения в процессе управления и проектирования сетей 5G.

Заключение

В выпускной квалификационной работе были реализованы все поставленные задачи и цели, об этом свидетельствует полученный результат, имеющий важную теоретическую и практическую значимость в области сетей связи поколения 5G, а именно:

1) Обозначена актуальность изучения данной предметной области. Проведена работа по изучению основных технологических решений, описаны их основные векторы развития, и преимущества внедрения. Рассмотрена архитектура сети 5G, определены основные факторы ее формирования.

2) Выполнен анализ телекоммуникационного рынка, определены основные концепции и спецификации, на основании которых в дальнейшем будет разработана модель схемы сети 5G. Определены возможные варианты обобщенной схемы организации сети 5G, рассмотрены основные частотные диапазоны и технологии, использующие различные участки спектра РЧС.

3) Выполнено исследование схемы построения сети 5G, при котором были рассмотрены состав и назначение ее компонентов.

4) Проведено моделирование каналов сети 5G с помощью программы NYUSIM, которое позволяет оценить производительность системы.

5) Определены основные цели и задачи онтологического подхода, описаны преимущества выбранного программного продукта Protégé 4.3, который позволяет обмениваться онтологической информацией по сети, и поддерживает разработку OWL онтологий.

6) Приведена многоуровневая база 5G сети, на основе которой строиться разработанная онтологическая модель, описаны и структурированы концепты онтологии.

7) Проанализирована концепция «сетевых слоев (network slicing)», которая представляет собой основу разработанной онтологии и позволяет операторам выполнять конкретные требования по обслуживанию сети.

8) Разработана онтологическая модель в программе Protégé 4.3 на основе описанной таксономии. Приведен порядок работы в данном программном продукте, этапы описания модели в нем. В качестве результата приведена семантическая сеть 5G.

9) Проверена работоспособность созданной онтологии с использованием языка SPARQL, произведено исследование функционирования машины логического вывода (Reasoner).

Список использованных источников

1. Андреев, Р.Н. Теория электрической связи: курс лекций / Р.Н. Андреев, Р.П. Краснов, М.Ю. Чепелев. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2014. – 230 с.
2. Мутханна, А. С. D2D - коммуникации в сетях мобильной связи пятого поколения 5G [Текст] / А. С. Мутханна, А. Е. Кучерявый // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2014. – №4. – С. 51-52.
3. О технологии 5G [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.huawei.com/minisite/russia/5g/about.html>, свободный. – Загл. с экрана.
4. Бородин, А. С. Разработка и исследование методов построения сетей связи пятого поколения [Текст]: дис. ... канд. техн. наук : 05.12.13 / А. С. Бородин; рук. работы А. Е. Кучерявый; СПбГУТ. – 2019. – 119 с.
5. Андреев, С. Д. Разработка и исследование моделей множественного доступа и алгоритмов управления потоками трафика для гетерогенных беспроводных сетей [Текст] : автореф. дис. ... д-р. техн. наук : 05.12.13 / С. Д. Андреев; РУДН. – 2018. – 44 с.
6. 5G Network Architecture. A High-Level Perspective [Электронный ресурс] / Huawei Technologies Co., LTD. – 2016. – Режим доступа: https://www.huawei.com/minisite/5g/img/5G_Network_Architecture_A_High-Level_Perspective_en.pdf, свободный. – Загл. с экрана.
7. Ошкина, Е. В. Сетевая технология SDN (обзор, современные тенденции) [Текст] / Е. В. Ошкина // V Междунар. науч. конф. «Технические науки: проблемы и перспективы» – Санкт-Петербург, 2017. – С. 3-6.
8. Ying, Z. Network function virtualization. Concepts and Applicability in 5G Networks [Текст] / Z. Ying. – Wiley-IEEE Press. – 2017. – 192 pages.

9. Олейникова, А. В. Перспективы развития связи 5G [Текст] / А. В. Олейникова, М. Д. Нуртай, Н. М. Шманов // Современные материалы, техника и технологии. – 2015. – С. 233-235.
10. Волчков, В. П. Возможности линейных прекодеров по управлению ресурсами и характеристиками систем ММО [Текст] / В. П. Волчков, А. А. Шурахов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. – 2014. – С. 172-181.
11. Андреев, С. Д. Управление потоками в гетерогенных мобильных сетях радиодоступа с соединениями устройство-устройство ММО [Текст] / С. Д. Андреев, К. Е. Самуйлов, А. М. Тюрликов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: математика, информатика, физика. – 2018. – С. 357-370.
12. Мутханна, А. С. Исследование трафика и протоколов маршрутизации в беспроводных сетях [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.12.13 / А. С. А. Мутханна; рук. работы А. Е. Кучерявый; СПбГУТ. – 2016. – 16 с.
13. Тихвинский, В. О. Сети 5G: международная стандартизация [Текст] / В. О. Тихвинский и др. // Connect. Wit. – 2017. – № 1–2. – С. 52-58.
14. FG IMT-2020: Report on Standards Gap Analysis (TD 208 (PLEN/13) [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: <https://www.itu.int/md/T13-SG13-151130-TD-PLEN-0208/en>, свободный. – Загл. с экрана.
15. Draft Terms and definitions for IMT-2020 in ITU-T (O-040) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.3100-201709-I>, свободный. – Загл. с экрана.
16. Draft ITU-T Technical Report: Application of network softwarization to IMT-2020 (O-041) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/imt-2020/Pages/default.aspx>, свободный. – Загл. с экрана.

17. Draft ITU-T Recommendation: Requirements of IMT-2020 from network perspective (O-042). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/imt-2020/Pages/default.aspx>, свободный. – Загл. с экрана.
18. Draft ITU-T Recommendation: Framework for IMT-2020 network architecture (O-043) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/imt-2020/Pages/default.aspx>, свободный. – Загл. с экрана.
19. Развитие 5G в России и мире: взгляд в будущее [Текст] / Отчет совместно с GSMA Intelligence, Аналитическим Центром при Правительстве Российской Федерации и Союзном ЛТЕ. – 2019. – 27с.
20. Проект программы Минкомсвязи РФ «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/>, свободный. – Загл. с экрана.
21. Концепция создания и развития сетей 5G/IMT-2020 в Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/kontseptsiya-sozdaniya-i-razvitiya-setej-5g-imt-2020.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.
22. Как будут строиться сети 5G в России [Электронный ресурс] / Журнал «Control Engineering Россия». – 01.10.2019. – Режим доступа: <https://controleng.ru/ryнок/7968/>, свободный. – Загл. с экрана.
23. Как будут строиться сети 5G в России. Планы государства [Электронный ресурс] / Сайт С-NEWS. – 23.09.2019. – Режим доступа: https://www.cnews.ru/news/top/2019-09-23_kak_budut_stroitsya_seti, свободный. – Загл. с экрана.
24. 3GPP TS 23.501 Technical Specification Group Services and System Aspects; System architecture for the 5G System (5GS); Stage 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/>

Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3144, свободный. – Загл. с экрана.

25. 3GPP TS 28.313 Technical Specification Group Services and System Aspects; Management and orchestration; Self-Organizing Networks (SON) for 5G networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3695>, свободный. – Загл. с экрана.

26. Бутенко, В. В. Возможные сценарии развертывания сетей 5G/ИМТ-2020 в интересах построения информационной инфраструктуры цифровой экономики Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ict.moscow/presentation/vozmozhnye-stsenarii-razvertyvaniia-setei-5g-imt-2020-v-interesakh-postroeniia-informatsionnoi-infrastruktury-tsifrovoi-ekonomiki-rf/>, свободный. – Загл. с экрана.

27. 3GPP TS 28.535 Technical Specification Group Services and System Aspects; Management and orchestration; Management Services for Communication Service Assurance; Requirements [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3693>, свободный. – Загл. с экрана.

28. 3GPP TS 22.262 Technical Specification Group Services and System Aspects; Message Service within the 5G System. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3558>, свободный. – Загл. с экрана.

29. 3GPP TS 22.186 Technical Specification Group Services and System Aspects; Enhancement of 3GPP support for V2X scenarios. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3180>, свободный. – Загл. с экрана.

30. 3GPP TS 26.501 Technical Specification Group Services and System Aspects; 5G Media Streaming (5GMS); General description and architecture.

[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3582>, свободный. – Загл. с экрана.

31. 3GPP TS 26.511 Technical Specification Group Services and System Aspects; 5G Media Streaming (5GMS); Profiles, Codecs and Formats. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3645>, свободный. – Загл. с экрана.

32. Sun, S. A Novel Millimeter-Wave Channel Simulator and Applications for 5G Wireless Communications [Электронный ресурс] / S. Sun, G. R. MacCartney Jr., T. S. Rappaport. – 2017. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1703.08232.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

33. Шарипбай, А. А. Онтология конечно-автоматной криптографии [Текст] / А. А. Шарипбай, Ж. С. Сауханова, Г. Б. Шахметова, М. С. Сауханова // Онтология проектирования. – 2019. – №1(31). – С. 36-49.

34. Шведин, Б. Я. Онтология проектирования – terra incognita? [Текст] / Б. Я. Шведин // Онтология проектирования. – 2011. – №2(1). – С. 9-21.

35. Гребешков, А.Ю. Управление и технический учёт ресурсов в телекоммуникациях [Текст]: моногр. / А.Ю. Гребешков. – М.: ИРИАС, 2008. – 268 с.

36. Боргест, Н. М. Научный базис онтологии проектирования [Текст] / Н. М. Боргест // Онтология проектирования. – 2013. – №1(7). – С. 7 – 25.

37. Онтологическое моделирование предприятия: методы и технологии [Текст]: моногр. / С. В. Горшков [и др.]; ред. С. В. Горшков. – Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 236 с.

38. Горшков, С.В. Введение в онтологическое моделирование [Электронный ресурс] / Сайт компании «ТриниДата», 20.03.2019. – Режим доступа: <https://trinidata.ru/files/SemanticIntro.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

39. Mullins, R. Cognitive Network Management for 5G / R. Mullins // R 5GPPP Working Group on Network Management and QoS. – 2017. – 39 p.
40. Величко, В. Ю. Комплексные инструментальные средства инженерии онтологий [Текст] / В. Величко, К. С. Малахов, В. В. Семенов // Информационные модели и анализ. – 2014. – №3. – С. 336-361.
41. Arajalahti, K. Combining ontological modelling and probabilistic reasoning for network management / К. Arajalahti, E. Hyvönen, J. Niiranen // Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments. – 2017. – № 1. – P. 1 – 14.
42. Rodriguez, V. Q. Automating the deployment of 5G Network Slices with ONAP [Электронный ресурс] / V. Q. Rodriguez, F. Guillemin, A. Boubendir. – 2019. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1907.02278v1.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.
43. Молчанов, Д. А. Разработка подходов, методов исследования и моделей обеспечения показателей качества обслуживания в беспроводных сетях пятого поколения [Текст]: дис. на соискание ученой степени док. техн. наук: 05.12.13 / Д. А. Молчанов; Москва. – 2019. – 378 с.
44. Темникова, Е.А. Онтологическое моделирование предметной области учреждения дополнительного профессионального образования [Текст] / Е.А. Темникова, В.С. Асламова, О.Г. Берестнева // Онтология проектирования. – 2015. – Т. 5. – № 4(18). – С. 369-386.

Приложение



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Поволжский государственный университет телекоммуникаций и
информатики»



Выпускная квалификационная работа

Исследование схемы организации беспроводных сетей 5G

Докладчик:
бакалавр ПГУТИ, группа ИКТр-62
Я.А. Боровская
Руководитель: профессор кафедры CCC,
д.т.н. А.Ю. Гребешков

Самара 2020



Цели и задачи выпускной квалификационной работы



Цель работы - повышение эффективности проектирования схемы организации сети 5G с использованием онтологического анализа данных

Задачи работы:

- 1) Рассмотреть технологические решения и особенности архитектуры сетей 5G
- 2) Произвести анализ телекоммуникационного рынка, рассмотреть основные концепции, спецификации и компоненты схемы сети 5G
- 3) Произвести моделирование каналов сети 5G с использованием программы NYUSIM
- 4) Рассмотреть особенности онтологии проектирования предметной области
- 5) Разработать онтологию схемы сети 5G с использованием программного продукта Protégé 4.3

Продолжение Приложения



Системы беспроводной связи поколения 5G



Задача 1

Отличительные черты сети 5G:

- конвергентная технология – группировка отдельных компонентов сети в единый интеллектуальный вычислительный комплекс;
- ориентирование на пользователя – предоставление абонентам лучший сервис;
- различные технологии радиодоступа – использование всего доступного частотного диапазона;
- высокая скорость передачи, емкость сети и минимальные задержки.



Области применения сетей 5G

3



Схема построения сети 5G в виде сетевых слоёв

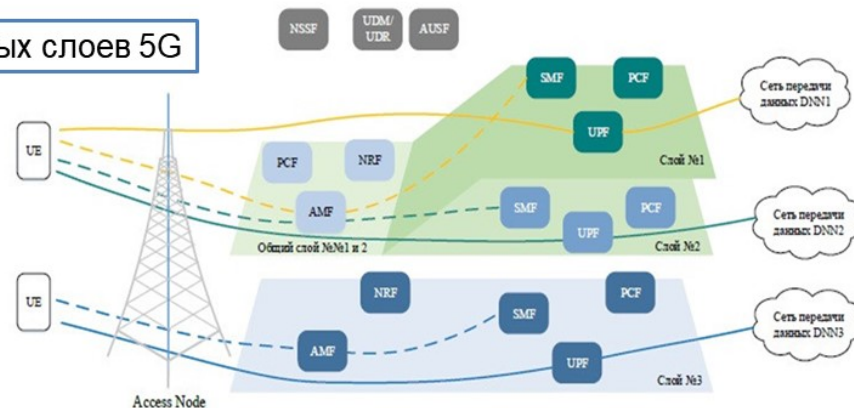


Задача 2

Организации, занимающиеся стандартизацией 5G:

- Международный союз электросвязи (МСЭ): сектор радиосвязи (МСЭ-Р) и сектор телекоммуникаций (МСЭ-Т);
- Проект партнерства третьего поколения 3GPP (3rd Generation Partnership Project);
- Партнерский проект oneM2M.

Схема сетевых слоёв 5G



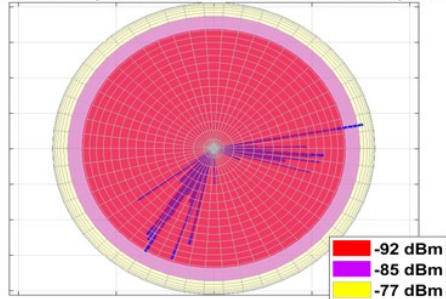
4

Продолжение Приложения

Задача 3

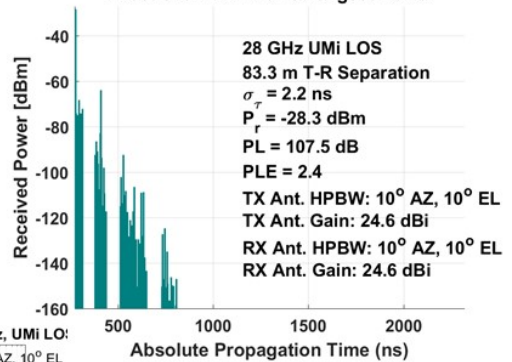
Результат моделирования спектра мощности

3-D AOA Power Spectrum - 28 GHz, UMi LOS, 83.3 m T-R Separation

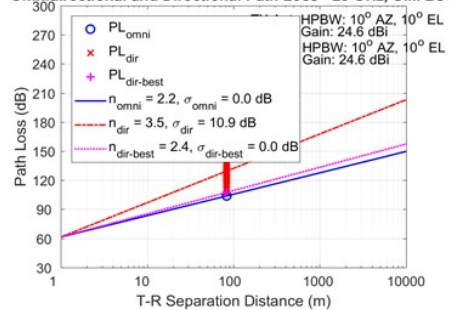


Результат моделирования падения задержки мощности (Power Delay Profiles, PDP)

Directional PDP with Strongest Power



Omnidirectional and Directional Path Loss - 28 GHz, UMi LO:



Результат моделирования потерь на пути распространения передачи при ненаправленной и направленной передаче

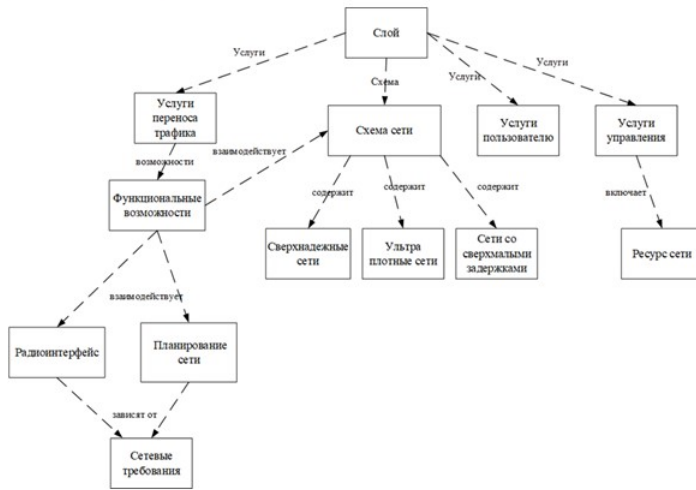
Задача 4



- Преимущества продукта Protégé для разработки онтологии:
- является открытой платформой для разработки онтологий;
 - простой, настраиваемый пользовательский интерфейс;
 - визуальная поддержка;
 - легко расширяемая архитектура;
 - возможность импортировать в различные форматы.

Продолжение Приложения

Задача 5



Предметная онтологическая модель сети 5G

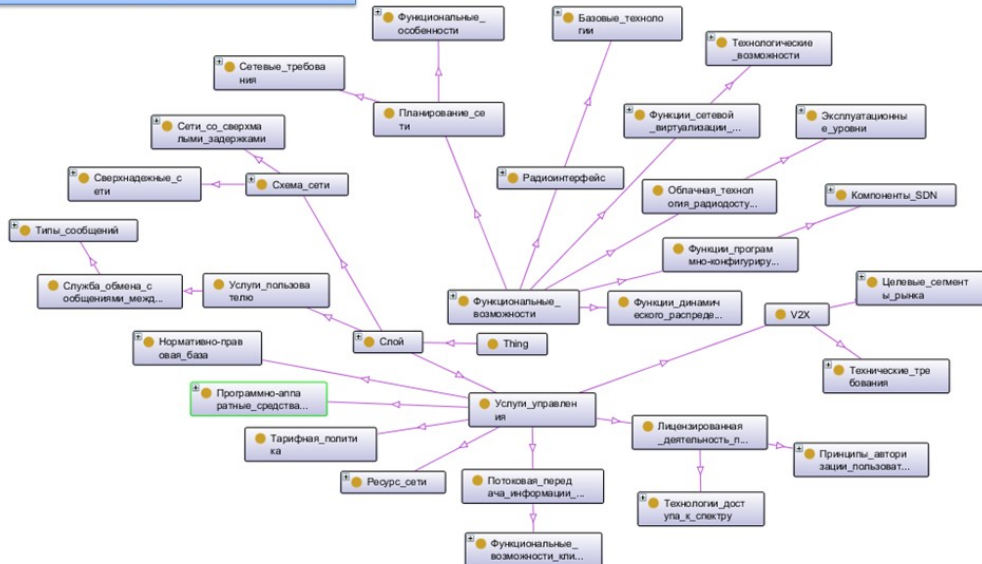
Дерево классов схемы сети 5G в Protégé



7

Представление схемы 5G в виде семантической сети

Задача 5 (продолжение)



8

Продолжение Приложения



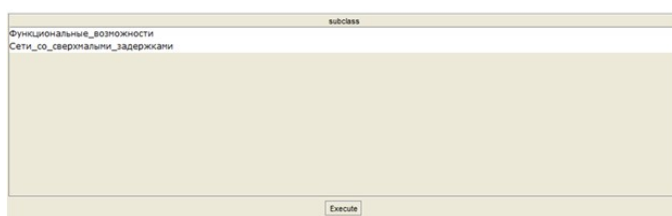
Проверка работоспособности онтологии схемы сети 5G



Задача 5 (продолжение)

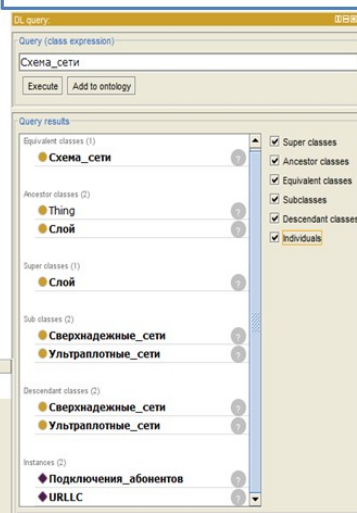
Пример написания запроса с помощью языка SPARQL:

```
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX ONT5G: <urn:absolute:Ontology_5G#>
SELECT ?subclass
WHERE {
  ?subclass rdfs:subClassOf ONT5G:Услуги_переноса_трафика
}
```



Результат запроса

Пример результата работы Reasoner:



9



Заключение по результатам работ



- 1) Определены основные концепции и спецификации, на основании которых разработана текущая концепция схемы сети 5G.
- 2) Выполнено исследование схемы построения сети 5G, при котором были рассмотрены состав и назначение ее компонентов. Проведено моделирование каналов сети 5G, которое позволяет оценить возможности системы.
- 3) Определены основные цели и задачи онтологического подхода к описанию схемы сети 5G.
- 4) Проанализирована концепция «сетевых слоев (network slicing)», которая представляет собой основу разработанной онтологии.
- 5) Разработана онтологическая модель схемы сети 5G в программе Protégé 4.3 на основе описанной таксономии.
- 6) Проверена работоспособность созданной онтологии с использованием языка SPARQL и исследование функционирования машины логического вывода (Reasoner).

10