

УДК 004.82:654.16

Построение прикладной онтологии сетей радиосвязи

Рассмотрены вопросы построения прикладной онтологии сетей радиосвязи, состоящей из онтологии верхнего уровня, онтологии предметной области и онтологии задач. Предложены формальные определения и методы построения онтологии предметной области и онтологии задач сетей радиосвязи. Приведен состав атомарных, составных и сложных задач, включаемых в состав онтологии задач сетей радиосвязи.

А. А. КАРПУК,
доцент кафедры программного обеспечения сетей телекоммуникаций, к. т. н., доцент

А. В. ГОВОРКО,
аспирант кафедры телекоммуникационных систем

Белорусская государственная академия связи

Ключевые слова: сети радиосвязи, онтология предметной области, онтология задач, оценка качества радиосвязи, выбор радиочастот, оптимизация присвоения радиочастот.

Введение. В работе [1] показано, что в современных информационных системах управления использованием радиочастотного спектра должны решаться следующие новые задачи управления сетями радиосвязи:

- задача оценки качества радиосвязи на заявленных номиналах или полосах радиочастот и оценки влияния работы радиоэлектронных средств (РЭС) на заявленных номиналах или полосах радиочастот на работу других РЭС с ранее присвоенными радиочастотами;
- задача выбора заданного количества номиналов или полос радиочастот для работы РЭС с заданными характеристиками и заданным пространственным положением;
- задача оптимизация присвоения номиналов и полос радиочастот для группы РЭС по критерию минимизации взаимных электромагнитных помех.

Для решения новых задач управления сетями радиосвязи требуются глубокие знания о предметной области сетей радиосвязи. В базе знаний о сетях радиосвязи должны содержаться знания о технических характеристиках и координатах РЭС, технических характеристиках и составе радиолиний и радиосетей, топографических (рельеф местности, координаты и типы застройки, координаты лесных массивов и водных поверхностей, электромагнитные свойства почвы) и метеорологических (рефракционные свойства атмосферы, вероятность и интенсивность осадков, тумана, облаков, атмосферных газов и водяных паров) характеристиках местности в районе размещения РЭС. При решении задач

должны использоваться знания о трассах распространения радиоволн и влиянии технических характеристик РЭС, топографических и метеорологических характеристик местности на распространение радиоволн. Для хранения и извлечения знаний, а также для получения новых знаний, требуемых для решения задач управления сетями радиосвязи, предлагается построить прикладную онтологию сетей радиосвязи.

Прикладная онтология сетей радиосвязи строится на основе онтологии верхнего уровня, онтологии предметной области сетей радиосвязи и онтологии задач сетей радиосвязи [2]. Онтологии верхнего уровня описывают общие понятия, такие как пространство, время, материя, объект, событие, действие и т. п., которые не зависят от конкретной задачи управления сетями радиосвязи. Онтология предметной области сетей радиосвязи описывает объекты сетей радиосвязи и отношения между ними. Онтология задач сетей радиосвязи определяет понятия и связи, описывающие методы извлечения знаний, требуемых для решения задач, из онтологии верхнего уровня и онтологии предметной области сетей радиосвязи, а также разбиение задач на подзадачи и программные компоненты, реализующие методы извлечения знаний и решение задач и подзадач.

Построение онтологии предметной области сетей радиосвязи. В общем виде формальное определение каждой из перечисленных онтологий имеет вид четверки $O = \langle K, R, F, I \rangle$ [3], где K – конечное множество концептов (понятий) предметной

области; R – конечное множество отношений между концептами; F – конечное множество функций интерпретации, заданных на концептах и отношениях; I – конечное множество аксиом, каждая из которых представляет собой всегда истинное высказывание на концептах и отношениях. Для построения онтологии предметной области сетей радиосвязи представим множество концептов в виде $K = \langle D, A, Q \rangle$, где D – конечное множество доменов; A – конечное множество атрибутов; Q – конечное множество классов предметной области.

Домены используются как множества возможных значений атрибутов. Данные каждого домена имеют один из типов данных, допустимых в языке XML [4]. По количеству элементов данных в значении домены делятся на атомарные (atomic), объединенные (union) и списковые (list). Атомарный домен состоит из неделимых элементов данных определенного типа и формата. Значением объединенного домена является агрегат данных (структура), состоящая из других агрегатов и элементов данных. Значение любого объединенного домена можно представить в виде объединения значений входящих в него атомарных доменов. Значением спискового домена является список (повторяющаяся группа) значений атомарного или объединенного домена. Количество элементов списка может быть любым. Значение любого спискового домена можно представить в виде повторяющейся группы значений одного или нескольких атомарных доменов.

По ограничениям на значение атомарные домены делятся на примитивные (primitive), встроенные (built-in) и производные (constructed). В качестве примитивных атомарных доменов используются примитивные типы данных языка XML. Встроенные домены получаются из примитивных доменов в результате применения к ним фиксированных ограничений. Например, примитивный домен decimal порождает встроенные домены integer, long,

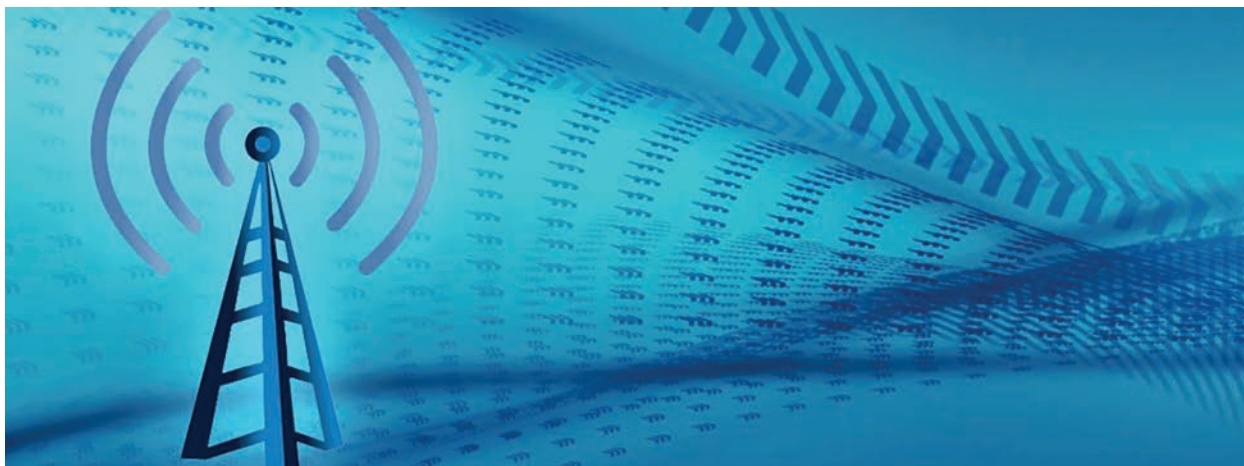
int, short, byte, nonNegativeInteger, positiveInteger, unsignedLong, unsignedInt, unsignedShort, unsignedByte, nonPositiveInteger, negativeInteger.

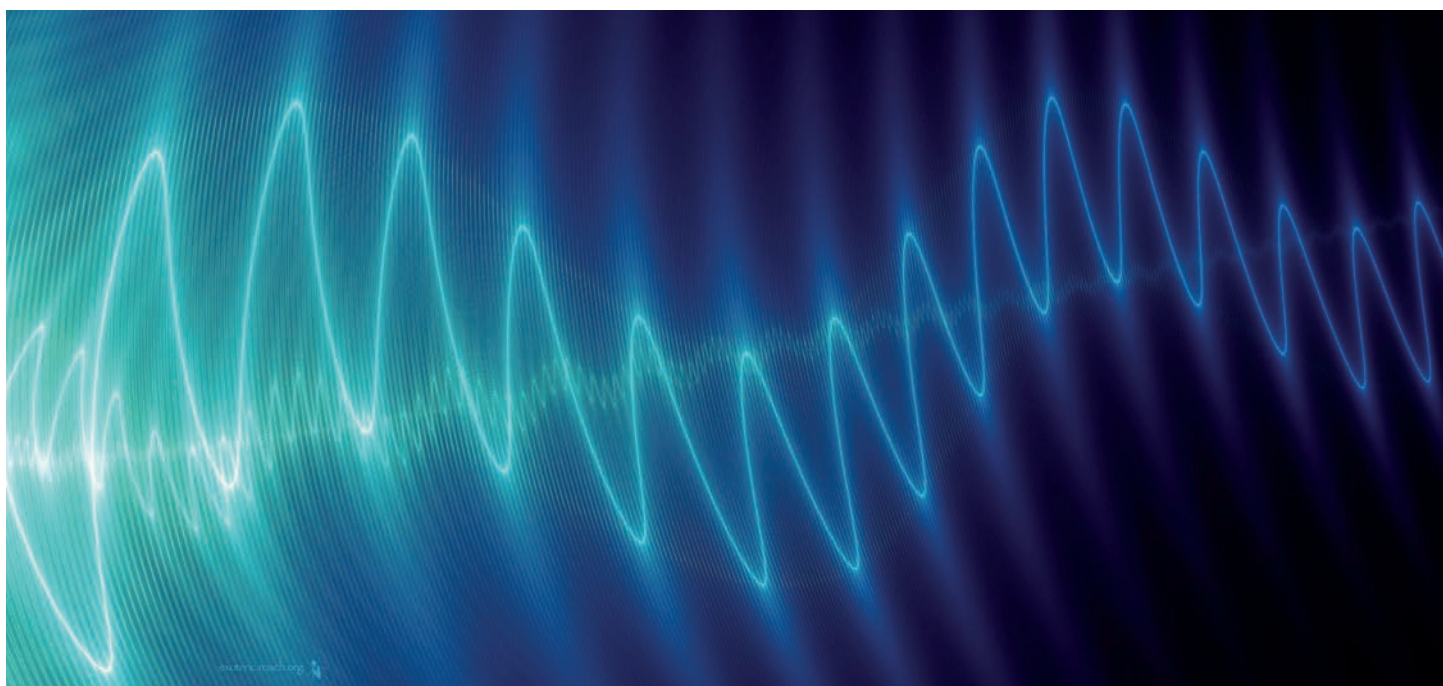
Производные домены получаются из примитивных и встроенных доменов в результате применения к ним различных ограничений на значения (fasets). Например, к примитивному атомарному домену string могут применяться ограничения length, minLength, maxLength, pattern, enumeration, whiteSpace, assertions. К примитивному атомарному домену decimal могут применяться ограничения totalDigits, fractionDigits, pattern, whiteSpace, enumeration, maxInclusive, maxExclusive, minInclusive, minExclusive, assertions.

По способу идентификации домены могут быть неименованными и именованными. Неименованные домены не несут семантической нагрузки и используются только как типы данных. Неименованными доменами не могут быть объединенные и списковые домены. Именованные домены отличаются от неименованных наличием имени домена, задаваемого пользователем (user-defined), и могут быть атомарными примитивными, встроенными и производными, а также объединенными и списковыми.

Концепты из множества A представляют собой свойства (атрибуты) классов предметной области. Каждый атрибут задается своим уникальным именем и доменом, которому принадлежат значения атрибута. В зависимости от того, на каком домене определен атрибут, он может быть атомарным, объединенным и списковым.

Концепты из множества Q представляют собой классы (объекты, сущности) предметной области. К одному классу относятся реальные или абстрактные люди, предметы, явления, события, процессы, имеющие одинаковый или близкий набор свойств (атрибутов), знания о которых хранятся в онтологии и используются при решении задач из данной предметной области. При построении онтологии





предметной области сначала описываются классы, а затем в онтологию записываются знания об индивидах (individuals) каждого класса. В русскоязычной литературе индивиды классов часто называют экземплярами классов или объектами. Каждый класс задается своим уникальным именем и своим множеством атрибутов.

Каждый атрибут в составе класса может иметь свойства кардинальности (cardinality) и функциональности (functional). Значения кардинальности показывают минимальное и максимальное количества значений атрибута, которые могут быть у одного индивида класса. По умолчанию индивид класса может иметь любое количество значений атрибута. Если значение атрибута может отсутствовать у индивида класса, то в онтологии должна быть указана минимальная кардинальность, равная 0. Признак функциональности показывает, что в любом индивиде класса может быть не более одного значения атрибута. Если у атрибута установлен признак функциональности, то у этого атрибута максимальная кардинальность не должна задаваться, либо должна быть равна 1. Множество атрибутов класса, значения которых однозначно определяют индивид класса, объявляется ключом (key) класса. У класса может быть более одного ключа.

В множество отношений между концептами R входят отношения между доменами для построения производных доменов, отношения между атрибутами и доменами для определения области значения атрибутов, отношения между классами и атрибутами для определения состава атрибутов каждого класса, отношения между классами. Отношения

между классами отражают связи «целое – часть», «род – вид», а также иерархические и другие связи между классами, существующие в предметной области. Каждое отношение между классами также может иметь свойства кардинальности и функциональности. Кроме того, отношения между классами могут быть обратными (inverse), обратными функциональными, транзитивными (transitive), симметричными (symmetric), асимметричными (asymmetric), рефлексивными (reflexive), нерефлексивными (irreflexive).

Множество функций F состоит из n -арных отношений между классами или атрибутами, в которых значение элемента с номером n однозначно определяется значениями предыдущих $(n-1)$ элементов. С помощью функций можно описать ключи классов, иерархические связи между классами и атрибутами, любые другие функциональные зависимости между классами и атрибутами, существующие в предметной области.

Множество аксиом I служит для представления в онтологии высказываний о классах, атрибутах, доменах и отношениях, которые всегда истинны. Каждая аксиома формулируется в виде «если <условие на значения доменов для заданных атрибутов заданных классов или отношений>, то <высказывание о значениях доменов для заданных атрибутов заданных классов или отношений>». Аксиомы включаются в онтологию для проверки ограничений на значения атрибутов, проверки корректности описания онтологии, для вывода новых истинных высказываний о классах, атрибутах, доменах и отношениях.

Построение онтологии задач сетей радиосвязи. Для построения онтологии задач сетей радиосвязи представим множество концептов в виде $K = \langle T, O, Q, A, D, P \rangle$, где T – конечное множество задач; O – конечное множество онтологий предметной области или онтологий верхнего уровня (внешних онтологий), используемых при решении задач; Q – конечное множество классов из внешних онтологий или онтологии задач, используемых для получения входных данных и хранения выходных данных задач; A – конечное множество атрибутов из внешних онтологий или онтологии задач, используемых для получения входных данных и хранения выходных данных задач; D – конечное множество доменов из внешних онтологий или онтологии задач, используемых для представления входных и выходных данных задач; P – конечное множество программных компонентов, реализующих решение задач.

Множество T представим в виде объединения непересекающихся подмножеств $T = AT \cup CS \cup CL$, где AT – конечное множество атомарных задач (atomic Task); CS – конечное множество составных задач (composite Task); CL – конечное множество сложных задач (complex Task). К атомарным задачам относятся задачи, решаемые одним программным компонентом без обращения к другим программным компонентам. Решение составной задачи сводится к решению двух или более атомарных задач. В состав сложной задачи входят другие сложные задачи (подзадачи), составные и атомарные задачи. Разбиение онтологии задач на атомарные, составные и сложные задачи предложено в работе [5]. Включение в состав онтологии задач программных компонентов (решателей) предложено в публикации [6]. В качестве программных компонентов выступают функции библиотек динамической компоновки и исполняемые программные модули.

Концепты Q, A, D определяются аналогично определению этих концептов в онтологиях верхнего уровня и в онтологии предметной области сетей радиосвязи. Отличие состоит в том, что в онтологию задач могут записываться индивиды этих концептов, являющиеся выходными данными задач. Индивиды этих компонентов, используемые в качестве входных данных задач и не являющиеся выходными данными других задач, выбираются из онтологий верхнего уровня и онтологии предметной области. Для этого концепты Q и A онтологии задач связаны с концептом O этой онтологии отношением `includedInOnto`.

Входные данные каждой задачи из множества T описываются путем связывания концепта T с концептом A отношением `hasInputAttr`. Обратное

отношение `isInputAttrTask` определяет вхождение атрибутов в состав входных данных задачи. Выходные данные каждой задачи из множества T описываются путем связывания концепта T с концептом A отношением `hasOutputAttr`. Обратное отношение `isOutputAttrTask` определяет вхождение атрибутов в состав выходных данных задачи. Программные компоненты для решения задач задаются путем связывания концепта T с концептом P отношением `hasSoftComp`. Вхождение атомарных задач в состав составных и сложных задач, а также вхождение составных задач в состав сложных задач описываются бинарным отношением на множестве T `isSubTask`. Обратное отношение `hasSubTask` определяет состав подзадач каждой сложной и составной задачи.

В онтологию задач сетей радиосвязи включаются атомарные, составные и сложные задачи моделирования распространения радиоволн, выполняющие следующие действия:

- вычисление метеорологических характеристик тропосферы, характеристик рефракции радиоволн, значения эффективного радиуса Земли, которое будет превышено в течение заданного процента времени;
- вычисление величины ослабления мощности радиосигнала при распространении радиоволн в осадках, тумане, облаках, атмосферных газах и водяном паре, которая не будет превышена в течение заданного процента времени;
- определение типа трассы распространения радиоволн между РЭС, количества дифракционных препятствий на трассе и их характеристик, определение количества и координат точек преломления пути радиоволн;
- вычисление величины ослабления мощности радиосигнала при дифракции радиоволн на препятствиях и прохождении радиоволн через застройку и растительность, которая не будет превышена в течение заданного процента времени;
- вычисление величины замираний и ослабления мощности радиосигнала из-за многолучевого распространения радиоволн, которая не будет превышена в течение заданного процента времени;
- вычисление характеристик трасс распространения радиоволн: расстояния между РЭС, влажности почвы, средней высоты местности, степени неровности местности, поправки на эффективную высоту антенны в обоих направлениях;
- прогнозирование возможности и оценка качества радиосвязи между двумя РЭС, вычисление зон обслуживания базовых РЭС.

В онтологию задач сетей радиосвязи включаются атомарные, составные и сложные задачи оценки качества радиосвязи, оценки электромагнитной

совместимости РЭС и оптимизации присвоения полос и номиналов радиочастот для работы РЭС, выполняющие следующие действия:

- вычисление условий электромагнитной совместимости (УЭМС) всех пар РЭС, содержащихся в онтологии предметной области сетей радиосвязи;
- определение критичных пар РЭС для радиолиний и сетей радиосвязи по электромагнитным помехам каждого типа, выполнение УЭМС для которых влечет выполнение УЭМС этого типа для любой другой пары РЭС этих радиолиний или сетей;
- определение критичных троек РЭС для радиолиний и сетей радиосвязи по интермодуляционным помехам, отсутствие интермодуляционных помех между которыми влечет отсутствие интермодуляционных помех для любой другой тройки РЭС этих радиолиний или сетей;
- проверка наличия электромагнитных помех каждого типа для любой пары РЭС, работающих на заданных частотах при известной величине ослабления мощности радиосигнала, и вычисление прогнозируемого уровня помех в случае их наличия;
- проверка наличия интермодуляционных помех для любых трех РЭС, работающих на заданных частотах при известных величинах ослабления мощности сигнала между каждой парой РЭС, и вычисление

прогнозируемого уровня интермодуляционных помех при их наличии;

- присвоение частот радиолиниям и сетям радиосвязи с использованием жадного алгоритма и оптимизация присвоения частот с использованием детерминированных алгоритмов локального поиска.

Заключение. В статье предложены методы построения прикладной онтологии сетей радиосвязи, состоящей из онтологии верхнего уровня, онтологии предметной области и онтологии задач. Прикладная онтология сетей радиосвязи представляет собой базу знаний о сетях радиосвязи и программных компонентах решения задач моделирования распространения радиоволн, оценки качества радиосвязи, оценки электромагнитной совместимости РЭС и оптимизации присвоения полос и номиналов радиочастот для работы РЭС. Данная онтология может создаваться и вестись в качестве общего ресурса национальными администрациями радиосвязи, администрациями радиосвязи правительственных органов, научно-исследовательскими учреждениями. Дальнейшие исследования в этом направлении будут направлены на выбор языка и инструментальных средств описания онтологии предметной области и онтологии задач сетей радиосвязи, разработку дескрипционной логики онтологий и оптимизацию онтологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпук, А. А. Новые задачи управления использованием радиочастотного спектра и пути их решения / А. А. Карпук, А. В. Говорко // Проблемы инфокоммуникаций. – 2021. – № 1 (13). – С. 56–63.
2. Левашова, Т. В. Принципы управления онтологиями, используемыми в среде интеграции знаний / Т. В. Левашова // Труды СПИИРАН. – 2002. – Вып. 1, т. 2. – С. 51–68.
3. Палагин, А. В. Онтологические методы и средства обработки предметных знаний: монография / А. В. Палагин, С. Л. Крытый, Н. Г. Петренко. – Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. – 324 с.
4. W3C XML Schema Definition Language (XSD) 1.1 Part 2: Datatypes. W3C Recommendation 5 April 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.w3.org/TR/xmlschema11-2>. – Дата доступа: 08.09.2021.
5. Tran, V. X. OWL-T: A Task Ontology Language for Automatic Service Composition / V.X. Tran, H. Tsuji // IEEE International Conference on Web Services (ICWS 2007). – 2007. – P. 1164–1167.
6. Загорюлько, Ю. А. Онтологический подход к разработке системы принятия решений на нефтегазодобывающем предприятии / Ю. А. Загорюлько, Г. Б. Загорюлько // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2012. – Том. 10, вып. 1. – С. 121–128.

Considered are the issues of constructing an applied ontology of radio communication networks, which consists of a top-level ontology, a domain ontology, and a tasks ontology. Formal definitions and methods of constructing an domain ontology and an tasks ontology of radio communication networks are proposed. The composition of atomic, composite and complex tasks included in tasks ontology of radio communication networks is given.

Keywords: radio communication networks, domain ontology, task ontology, radio communication quality assessment, radio frequencies selection, optimization of radio frequencies assignment.

Получено: 22.10.2021.

Уважаемые читатели! В № 5/2021 на с. 14 были допущены ошибки. В первом столбце (второй и третий абзац) в словосочетании «конечное оборудование» должно быть слово «оконечный». В третьем столбце (третий абзац сверху) в словосочетании «горнодобывающей промышленности» должно быть «игорнодобывающей» (употреблено в шутовском значении).

Редакция приносит свои извинения.