

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА

А.А. Карпук¹, В.В. Краснопрошин², А.В. Говорко¹

¹ Учреждение образования «Белорусская государственная академия связи»,
ул. Ф. Скорины, 8/2, 220076, г. Минск, Беларусь, a_karpuk@mail.ru

² Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030,
г. Минск, Беларусь, krasnoproshin@bsu.by

Показаны недостатки традиционных подходов к разработке информационных систем управления (ИСУ) использованием радиочастотного спектра (РЧС). Предложен онтологический подход к разработке ИСУ использованием РЧС. Даны формальные определения онтологии предметной области и онтологии задач сетей радиосвязи. Введены понятия канонической и оптимальной канонической формы онтологии предметной области сетей радиосвязи и показаны их преимущества.

Ключевые слова: Радиочастотный спектр (РЧС); информационные системы управления (ИСУ); ИСУ использованием РЧС; предметная онтология; онтология предметной области; онтология задач.

ONTOLOGICAL APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEMS FOR MANAGING THE USE OF THE RADIO FREQUENCY SPECTRUM

A.A. Karpuk^a, V.V. Krasnoproshin^b, A.V. Havorka^a

^a Educational institution «Belarusian state academy of communications»,
st. F. Skorina, 8/2, 220076, Minsk, Belarus, a_karpuk@mail.ru

^b Belarusian State University, Niezalieznasci Avenue, 4, 220030, Minsk, Belarus,
krasnoproshin@bsu.by

The shortcomings of traditional approaches to the development of information systems for management (ISM) the use of the radio frequency spectrum (RFS) are shown. An ontological approach to the development of ISM for use of RFS is proposed. Formal definitions of the ontology of the subject area and the ontology of tasks of radio communication networks are given. The concepts of canonical and optimal canonical forms of the ontology of the subject area of radio communication networks are introduced and their advantages are shown.

Keywords: Radio frequency spectrum (RFS); information systems for management (ISM); ISM for use of RFS; subject ontology; domain ontology; task ontology.

Введение

Процессы глобализации общества и связанное с ними формирование новой информационно-коммуникационной среды привели к бурному развитию сетей радиосвязи (фиксированной, сухопутной подвижной, спутниковой, радиовещания и телевидения). Сети радиосвязи используют радиочастотный спектр (РЧС), который по своей природе является ограниченным однократно используемым возобновляемым природным пространственно-временным ресурсом. Для управления использованием РЧС в каждой стране применяются информационные системы управления (ИСУ) использованием РЧС.

Все существующие в настоящее время ИСУ использованием РЧС разработаны на основе традиционных методологий разработки автоматизированных информационных систем (АИС): методологии действующего ГОСТ 34.601–90; методологии серии стандартов ISO/IEC (ISO/IEC/IEEE 15288:2015, ISO/IEC/IEEE 12207:2017); методологий серии IDEF (IDEF0, IDEF1, ..., IDEF14). Однако при разработке ИСУ использованием РЧС на основе традиционных методологий разработки АИС невозможно обеспечить выполнение следующих требований к ИСУ использованием РЧС нового класса.

1) Радиолинии и сети радиосвязи, данные о которых должны храниться и использоваться при решении задач ИСУ, отличаются значительным многообразием и находятся в постоянном развитии. В этих условиях состав и структура сущностей и связей между ними в ИСУ использованием РЧС не могут быть жестко фиксированными, а должны изменяться в процессе функционирования ИСУ.

2) Состав задач, решаемых в ИСУ использованием РЧС, должен изменяться. В существующих ИСУ решаются задачи учета заявок на присвоение радиочастот для работы РС, анализа возможности присвоения радиочастот по заявкам; учета всех присвоенных для использования радиочастот и характеристик РС, использующих эти радиочастоты [1]. В ИСУ использованием РЧС нового класса должны также решаться задачи оценки качества радиосвязи на заявленных радиочастотах и оптимизации присвоения радиочастот радиолиниям [2].

3) Математическое и программное обеспечение ИСУ использованием РЧС должны периодически изменяться, поскольку в его основе должны лежать Рекомендации Международного Союза Электросвязи (МСЭ) по математическому и программному моделированию распространения радиоволн, которые регулярно обновляются. При этом после обновления Рекомендаций МСЭ соответствующее программное обеспечение должно

обновиться во всех функционирующих ИСУ использованием РЧС.

Перечисленные требования к ИСУ использованием РЧС можно реализовать при онтологическом подходе к разработке ИСУ [3]. При этом подходе ИСУ использованием РЧС разрабатываются на основе предметной онтологии сетей радиосвязи, в состав которой входят онтологии верхнего уровня, предметной области и задач.

1. Теоретические основы

Формальное определение онтологии предметной области. Определим онтологию предметной области в виде четверки $O = \langle K, R, F, I \rangle$ [4], 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. Множество концептов для онтологии предметной области сетей радиосвязи имеет вид $K = \langle D, A, Q \rangle$ [3], 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. По количеству элементов данных в значении домены делятся на атомарные (atomic), объединенные (union) и списковые (list). По ограничениям на значение атомарные домены делятся на примитивные (primitive), встроенные (built-in) и производные (constructed). Концепты из множества A представляют собой свойства (атрибуты) классов предметной области. Каждый атрибут задается своим уникальным именем и доменом, которому принадлежат значения атрибута.

Концепты из множества Q представляют собой классы (объекты, сущности) предметной области. Каждый атрибут в составе класса может иметь свойства кардинальности (cardinality) и функциональности (functional). Признак функциональности показывает, что в любом индивиде класса может быть не более одного значения атрибута. При построении онтологии предметной области сначала описываются классы, а затем в онтологию записываются знания об индивидах (individuals) каждого класса.

В множество отношений между концептами R входят отношения между доменами для построения производных доменов, отношения меж-

ду атрибутами и доменами для определения области значений атрибутов, отношения между классами и атрибутами для определения состава атрибутов каждого класса, отношения между классами. 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.

Онтологии предметной области одновременно разрабатываются и используются многими пользователями. По этой причине в онтологиях предметной области одно и то же свойство понятия может быть представлено различными способами. Такая неоднозначность может привести к затруднениям при решении задач с использованием онтологии предметной области. Для устранения этого недостатка в [5, 6] предложено приводить онтологию предметной области сетей радиосвязи к так называемой канонической форме, которая строится на основе анализа функциональных зависимостей (ФЗ) между понятиями и свойствами понятий онтологии.

Формальное определение онтологии задач. Для построения онтологии задач сетей радиосвязи представим множество концептов в виде $K = \langle T, O, Q, A, D, P \rangle$ [3], 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.

Задачи из множества T делятся на атомарные, составные и сложные. 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.

Функциональные зависимости между атрибутами онтологии предметной области. Пусть $X \subset A$ – подмножество атрибутов онтологии предметной области, $Z \in A$ – некоторый атрибут. Будем говорить, что в онтологии предметной области существует ФЗ $X \rightarrow Z$, если любой комбинации значений атрибутов из X всегда соответствует единственное значение атрибута Z . Очевидно, что из $Z \in X$ следует, что $X \rightarrow Z$. Такая ФЗ, в которой зависимый атрибут входит в состав левой части ФЗ, называется тривиальной. В дальнейшем будем рассматривать только нетривиальные ФЗ между атрибутами.

Выделим в онтологии предметной области все ФЗ между атрибутами и представим их в виде множества ФЗ $P = \{P_j = X_j \rightarrow Y_j \mid X_j \subset A, Y_j \subseteq A, j = \overline{1, m}\}$, которое называется системой образующих структуры ФЗ на множестве атрибутов онтологии. Замыканием множества атрибутов $X \subset A$ относительно структуры ФЗ $S(P)$ называется множество $X^+(P) \subseteq A$, такое, что для любого $Y \subseteq A$ из $X \rightarrow Y$ следует $Y \subseteq X^+(P)$. Структуры ФЗ $S(P^1)$ и $S(P^2)$ на множестве атрибутов A с системами образующих P^1 и P^2 соответственно называются эквивалентными, если для любого $X \subset A$ имеет место равенство $X^+(P^1) = X^+(P^2)$.

Система образующих $E = \{H_j \rightarrow T_j \mid H_j \subset A, T_j \subseteq A, j = \overline{1, m}\}$ называется элементарным базисом структуры ФЗ $S(E)$, если удаление любого атрибута из левой или правой части любой ФЗ из E приводит к структуре ФЗ, не эквивалентной $S(E)$. Алгоритм построения замыкания множества атрибутов относительно структуры ФЗ, необходимые и достаточные условия эквивалентности структур ФЗ, а также алгоритм построения элементарного базиса структуры ФЗ между атрибутами описаны в [7].

Каноническая форма онтологии предметной области. Будем говорить, что онтология предметной области находится в канонической форме, если выполняются следующие условия [5]:

все атрибуты из множества A , участвующие в определении классов, функций и аксиом онтологии, являются атомарными;

все атрибуты каждого класса имеют признак функциональности и не имеют подчиненных атрибутов;

система образующих структуры ФЗ между атрибутами онтологии является элементарным базисом этой структуры ФЗ.

В [5] предложен алгоритм приведения онтологии предметной области к канонической форме, программная реализация которого описана в

[6]. Используя методы, предложенные в работах [8, 9], каноническую форму онтологии предметной области можно привести к оптимальной канонической форме, содержащей минимальное количество классов с минимальным суммарным количеством атрибутов в классах.

2. Результаты и их обсуждение

Приведение онтологии предметной области сетей радиосвязи к канонической форме удаляет многозначные и избыточные атрибуты в классах онтологии. Приведение онтологии предметной области к оптимальной канонической форме минимизирует количество классов и атрибутов в онтологии. В результате обеспечивается однозначное представление онтологии предметной области сетей радиосвязи, фрагменты которой разрабатываются разными пользователями, и суммарный объем данных онтологии уменьшается на 10 – 12%.

На основе полученных теоретических результатов разработаны текущие версии онтологии предметной области и онтологии задач сетей радиосвязи. В состав классов онтологии предметной области вошли базовые классы, соответствующие сущностям предметной области (типы и индивиды передатчиков, приемников, радиосредств и антенн, индивиды объектов связи, радиолинии и радиосети и др.), и производные классы, индивиды которых вычисляются на основе данных базовых классов и используются при решении задач. В состав задач онтологии задач вошли атомарные, составные и сложные задачи учета топографических и метеорологических факторов, оценки качества радиосвязи и оптимизации присвоения радиочастот радиолиниям.

Библиографические ссылки

1. Справочник по управлению использованием спектра на национальном уровне. М.: МСЭ-Р, 2015. 364 с.
2. Карпук А.А., Говорко А.В. Новые задачи управления использованием радиочастотного спектра и пути их решения // Проблемы инфокоммуникаций. 2021. № 1(13). С. 56–63.
3. Карпук А.А., Говорко А.В. Построение прикладной онтологии сетей радиосвязи // Веснік сувязі. 2021. № 6(170). С. 56–60.
4. Палагин А.В., Крытый С.Л., Петренко Н.Г. Онтологические методы и средства обработки предметных знаний: монография. Луганск: изд-во ВЛУ им. В. Даля, 2012. 324 с.
5. Карпук А.А., Говорко А.В. Приведение онтологии предметной области сетей радиосвязи к канонической форме // Проблемы инфокоммуникаций. 2021. № 2(14). С. 25–30.
6. Havorka A.V., Karpuk A.A. Reduction the Subject Domain Ontology to Canonical

Form // International Journal of Information and Communication Technologies. Special Issue. 2022. May. P. 43–47.

7. Karpuk A.A., Krasnoproshin V.V. Methodology of Data Domain Description for Databases Design in Complex Systems // International Academy Journal Web of Scholar. 2017. Vol. 1, № 4(13). P. 11–20.
8. Карпук А.А. Анализ структуры функциональных зависимостей между атрибутами реляционной базы данных // Экономика и менеджмент систем управления. 2017. № 3(25). С. 64–70.
9. Карпук А.А., Краснопрошин В.В. Циклы в структурах функциональных зависимостей // International Journal of Open Information Technologies. 2017. Vol.5, № 7. С. 38–44.