

**ПУТИ РЕШЕНИЯ НОВЫХ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА**

Карпук Анатолий Алексеевич, к.т.н., доцент

Говорко Алина Вячеславовна, аспирант

Белорусской государственной академии связи

Karpuk Anatoli, PhD, A_Karpuk@mail.ru

Govorko Alina, Postgraduate Student, Govorko777@gmail.com

Belarusian State Academy of Communications

Рассмотрены пути решения новых задач управления использованием радиочастотного спектра: задачи оценки качества радиосвязи на заявленных полосах или номиналах радиочастот и задачи оптимизации присвоения полос и номиналов радиочастот для работы радиоэлектронных средств. Предложен метод построения онтологии предметной области информационных систем управления использованием радиочастотного спектра.

Ключевые слова: радиочастотный спектр, радиоэлектронные средства, оценка качества радиосвязи, оптимизация присвоения радиочастот, информационная система управления, онтология предметной области.

Задачи оценки качества радиосвязи на заявленных полосах или номиналах радиочастот и оптимизации присвоения полос и номиналов радиочастот для работы радиоэлектронных средств (РЭС) нельзя решить существующими методами проверки выполнения норм частотно – территориального разнеса. Для решения этих задач следует разработать новые математические модели, методы и алгоритмы.

Международный союз электросвязи (МСЭ) рекомендует национальным Администрациям радиосвязи для решения задач управления использованием радиочастотного спектра (РЧС) создавать информационные системы управления (ИСУ) использованием РЧС [1], состоящие из подсистем административного управления, контроля за использованием спектра и управления использованием РЧС. В состав ИСУ использованием РЧС должны входить географическая информационная система и интегрированная база данных (БД). ИСУ использованием РЧС создается на основе формализованного описания предметной области ИСУ.

В настоящее время для построения формализованного описания предметной области информационных систем используются методология IDEF1X [2] и модель «сущность – связь»

П. Чена [3]. Специалисты, применяющие методологию IDEF1X, должны хорошо знать предметную область моделируемой системы и методы проектирования реляционных баз данных. Они должны уметь выделить в предметной области сущности линейной структуры, собственные либо наследуемые атрибуты сущностей с непустыми неделимыми значениями, ключи сущностей и отношения между сущностями. В предметной области ИСУ использованием РЧС многие сущности имеют иерархическую структуру, в качестве значений атрибутов могут выступать элементы данных, векторы, агрегаты и повторяющиеся группы элементов, векторов и агрегатов данных.

В интегрированной БД ИСУ использованием РЧС должны быть представлены данные о различных системах радиосвязи, топографические и метеорологические данные, поэтому практически невозможно найти специалиста, способного построить формализованное описание всей предметной области. Для формализованного описания предметной области привлекаются несколько специалистов, каждый из которых может описать свой фрагмент предметной области. В методологии IDEF1X и модели «сущность – связь» невозможно описать сущности сложной структуры и отсутствует возможность описания и объединения фрагментов предметной области. Требуется разработать *новую методологию построения формализованного описания предметной области ИСУ использованием РЧС*. Эта методология должна отличаться от методологии IDEF1X и модели «сущность – связь» тем, что сущности предметной области могут иметь сложную иерархическую структуру, и построение формализованного описания предметной области должно производиться в два этапа: сначала строятся описания фрагментов предметной области, на основе которых строится описание предметной области всей системы.

Для получения формализованного описания предметной области ИСУ использованием РЧС предлагается построить *онтологию предметной области*. В состав онтологии предметной области ИСУ использованием РЧС предлагается включить множества классов, отношений, функций и аксиом. Множество классов состоит из подмножеств объектов, свойств и доменов. В качестве объектов опишем сущности, предметы, явления, события, которые существуют или могут существовать в предметной области, имеют одно или более свойств, значения которых используются при решении задач в ИСУ использованием РЧС. В качестве свойств опишем возможные свойства (характеристики, атрибуты, реквизиты) объектов. Свойства могут быть однозначными и многозначными. Значением однозначного свойства является элемент домена, с которым связано свойство, вектор из элементов домена или агрегат из значений других однозначных свойств. Значением многозначного свойства является повторяющаяся группа из элементов домена, векторов или агрегатов. В качестве доменов опишем множества возможных значений свойств.

Множество отношений состоит из отношений между объектами и свойствами, между свойствами и доменами, между свойствами, между объектами. Отношения между объектами и свойствами определяют состав свойств каждого объекта. Каждое свойство объекта может быть обязательным или факультативным. Отношения между свойствами и доменами определяют множества допустимых значений каждого свойства. Если множество допустимых значений некоторого свойства зависит от того, у какого объекта имеется это свойство, то такое свойство записывается в онтологию под разными именами столько раз, у скольких объектов оно имеется. Соответственно, для каждого такого свойства в онтологию записывается свой домен. Отношения между свойствами записываются в онтологию, если имеет место агрегирование свойств (значением некоторого свойства является агрегат из значений нескольких других свойств) или иерархия свойств (значение некоторого свойства зависит от значений других свойств). Отношения между объектами отражают связи «целое – часть», «род – вид», а также иерархические и другие связи между объектами, существующие в предметной области. Большинство отношений онтологии являются бинарными, но допускаются отношения более высокой степени.

Множество функций состоит из n – арных отношений между классами или свойствами, в которых значение элемента с номером n однозначно определяется значениями предыдущих $(n-1)$ элементов. С помощью функций описываются первичные и уникальные ключи объектов, иерархические связи между объектами и свойствами, любые другие функциональные зависимости между объектами и свойствами, существующие в предметной области.

Множество аксиом служит для представления в онтологии высказываний об объектах, свойствах, доменах и отношениях, которые всегда истинны. Каждая аксиома формулируется в виде «если <условие на значения доменов для заданных свойств заданных объектов или отноше-

ний», то «высказывание о значениях доменов для заданных свойств заданных объектов или отношений». Аксиомы включаются в онтологию для проверки ограничений на значения свойств, для проверки корректности описания онтологии, для вывода новых истинных высказываний об объектах, свойствах, доменах и отношениях. Сложные аксиомы, определенные на значениях доменов для заданных свойств заданных объектов или отношений, реализуются в виде модулей и библиотек программ, которые могут разрабатываться разными специалистами и добавляться в онтологию.

Для решения задачи оценки качества радиосвязи на заявленных полосах или номиналах радиочастот требуется оценить величину ослабления мощности или уровень замираний радиосигнала на трассе распространения радиоволн от антенны передатчика к антенне приемника. В зависимости от частоты электромагнитного излучения и географических условий радиоволна может распространяться прямой волной от антенны передатчика к антенне приемника, поверхностной волной вдоль земной поверхности, дифракционной волной, отражающейся от поверхности Земли или препятствий на местности, тропосферной волной, рассеивающейся в верхних слоях тропосферы и ионосферной волной, отражающейся от ионосферы. Для организации радиосвязи в пределах небольшой страны в основном используются прямое распространение радиоволн в свободном пространстве, поверхностное распространение и дифракционное распространение. При прямом распространении радиоволн величина ослабления мощности радиосигнала зависит от частоты радиоволн и длины трассы распространения радиоволн. При поверхностном распространении радиоволн, которое преобладает на частотах до 30 МГц при отсутствии прямой видимости между антеннами передатчика и приемника, величина ослабления мощности радиосигнала зависит от частоты радиоволн и диэлектрической проницаемости и проводимости земной поверхности на трассе распространения радиоволн, которые определяются типом и влажностью почвы. При распространении радиоволн за счет дифракции величина ослабления мощности радиосигнала зависит от частоты радиоволн, количества и типа дифракционных препятствий на трассе распространения радиоволн и длины трассы распространения радиоволн. Кроме того, при прямом и дифракционном распространении радиоволн величина ослабления мощности радиосигнала зависит от рефракционных свойств атмосферы, наличия лесных массивов и застройки на трассе распространения радиоволн, влияния многолучевого распространения радиоволн, влияния осадков, тумана, облаков, атмосферных газов и водяных паров.

Для точной оценки величины ослабления мощности или уровня замираний радиосигнала на трассе распространения радиоволн были разработаны аналитические методы: метод собственных функций, метод интегральных уравнений и метод параболического уравнения. Однако вычисления по аналитическим методам занимают длительное время, одна трасса распространения радиоволн может рассчитываться несколько часов. Это затрудняет использование аналитических методов в ИСУ использованием РЧС. По указанной причине МСЭ разработал ряд Рекомендаций по учету потерь распространения радиоволн, в которых используются накопленные статистические данные и эмпирические формулы. В настоящее время опубликованы Рекомендации МСЭ по учету потерь распространения радиоволн в свободном пространстве, учету рефракции радиоволн в атмосфере, учету дифракции радиоволн на препятствиях различных типов, учету прохождения радиоволн через лес, учету влияния атмосферных газов и водяных паров, учету влияния осадков, тумана и облаков, учету влияния многолучевого распространения радиоволн. На основе этих Рекомендаций разработана универсальная модель наземного распространения радиоволн для широкого применения в полосе частот 30 МГц – 50 ГГц [4]. Модули и библиотеки программ моделирования распространения радиоволн для решения задачи оценки качества радиосвязи должны быть включены в онтологию предметной области в виде программной реализации функций и аксиом.

Для решения задачи оптимизации присвоения полос и номиналов радиочастот для работы РЭС разработаны математические модели, которые представляют собой задачи линейного программирования с булевыми переменными. Задача является NP – трудной, поэтому точные алгоритмы дают решение задачи за допустимое время при небольшом количестве переменных. Для решения реальных задач оптимизации присвоения полос и номиналов радиочастот для работы РЭС можно применять только метаэвристические приближенные алгоритмы.

Во всех известных математических моделях задачи оптимизации присвоения полос и номиналов радиочастот для работы РЭС система радиосвязи представляется в виде графа, в котором

каждой вершине соответствует РЭС, а наличие ребра между вершинами указывает на то, что при работе этих РЭС на одинаковых или близких частотах нарушается электромагнитная совместимость (ЭМС) между этими РЭС. В качестве метки ребра используется минимальная разность частот, при которой обеспечивается ЭМС этих РЭС. В некоторых математических моделях задачи дополнительно задается четырехмерный массив оценок уровней помех, создаваемых одним РЭС второму РЭС при их работе на присвоенных частотах. При использовании в математической модели такого массива оценок можно учесть любое дуальное влияние РЭС друг на друга, в том числе излучения на частотах опорных генераторов, побочные гармонические и комбинационные излучения передатчиков, излучения гетеродинов приемников, а также каналы приема на зеркальной частоте, на промежуточных частотах, на частотах гетеродинов, на зеркальных частотах гетеродинов и на комбинационных частотах приемников. На основе оценок уровня помех строится целевая функция задачи. Интермодуляционные помехи, возникающие при взаимодействии трех и более РЭС, нельзя учесть в четырехмерном массиве оценок уровней помех, поэтому в существующих математических моделях задачи интермодуляционные помехи либо вообще не учитываются, либо учитываются в системах ограничений задачи. В результате нарушаются принципы построения целевой функции, поскольку уровень интермодуляционных помех не оценивается, а с помощью ограничений исключаются интермодуляционные помехи только максимального уровня. Требуется разработать методы и алгоритмы, решающие задачу оптимизации присвоения полос и номиналов радиочастот для работы РЭС за требуемое время с допустимой точностью в условиях, когда количество радиолиний в сетях радиосвязи и количество РЭС в них измеряется десятками тысяч.

Список использованных источников

1. Справочник по компьютерным технологиям управления использованием радиочастотного спектра (КТ). Издание 2015 года. – МСЭ-Р, 2015. – 192 с.
2. Integrated Information Support System. Information Modeling Manual IDEF1-Extended (IDEF1X) / D. Appleton Company, Inc. – Manhattan Beach, California, December 31, 1985. – 108 p.
3. Чен, П. Модель «сущность-связь» – шаг к единому представлению о данных / П. Чен // СУБД. – 1995. – № 3. – С. 137–158.
4. Рекомендация МСЭ-R P.2001. Универсальная модель наземного распространения радиоволн в широкой полосе частот 30 МГц – 50 ГГц. [Электронный ресурс] / МСЭ. – 2019. – 59 с. – Режим доступа: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.2001-3-201908-I/en>. – Дата доступа: 20.03.2021.