ПРОБЛЕМА СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА И ОПТИМИЗАЦИИ СЕТЕЙ РАДИОСВЯЗИ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

А. А. Карпук

ОАО «АГАТ – системы управления»

Минск, Беларусь

E-mail: A_Karpuk@yahoo.com

Сформулированы основные задачи при создании информационно-аналитических систем для оценки качества и оптимизации сетей радиосвязи, предложены математические модели, методы и алгоритмы решения задач.

Ключевые слова: проектирование базы данных, оценка качества радиосвязи, электромагнитная совместимость, присвоение частот.

Введение

Сети радиосвязи входят в состав многих автоматизированных систем управления (АСУ) территориально распределенными объектами. В сетях аналоговой радиосвязи одним из основных показателей качества каждой радиолинии (РЛ) является мощность радиосигнала на входе любого приемника РЛ от любого передатчика РЛ, которая будет превышена за заданный процент времени. В сетях цифровой радиосвязи основными показателями качества каждого канала связи являются показатель неготовности (ПНГ) и коэффициент сильно пораженных секунд (КСПС) при заданном коэффициенте ошибок. Значения показателей качества радиосвязи зависят от территориального расположения радиосредств (РС), их рабочих частот, характеристик РС, антенн и фидеров, условий распространения радиоволн между РС, электромагнитной обстановки в районе расположения РС. Для оценки качества и оптимизации сетей радиосвязи создаются информационно-аналитические системы (ИАС), которые могут использоваться как отдельные системы, либо включаются в состав АСУ. При создании ИАС для оценки качества и оптимизации сетей радиосвязи требуется решить ряд задач, краткая характеристика которых дается в докладе.

Проектирование базы данных ИАС

Первой задачей является проектирование базы данных (БД) ИАС. При включении ИАС в состав АСУ следует учитывать, что РС сетей радиосвязи размещаются в объектах, данные о которых хранятся в БД АСУ, т. е. БД ИАС и АСУ должны быть интегрированными. Классическая концепция БД в соответствии со стандартом ANSI/SPARC предусматривает три уровня описания данных: внешний, концептуальный и внутренний. На каждом уровне используется определенная модель данных и схема БД. Для сложных предметных областей практически невозможно сразу построить концептуальную и внешние схемы БД, поэтому в современных методологиях и CASE-средствах проектирования БД концептуальный уровень описания данных разбит на два: информационно – логический (инфологический) и дата-логический. На инфологическом уровне БД описывается в виде, не зависящем от используемой СУБД, на дата-логическом уровне БД описывается на языке описания данных кон-

кретной СУБД. В методологиях проектирования БД для построения инфологической модели предметной области явно или неявно используется реляционная модель данных с ее жесткими ограничениями на структуры данных, в то время как в реальной предметной области многие из этих ограничений не выполняются. В существующих методиках проектирования инфологической модели предметной области предполагается, что проектирование выполняют специалисты по всей предметной области, и не рассматривается ситуация, когда нет специалиста, знающего предметную область всей ИАС, а есть несколько специалистов, каждый из которых знает свой фрагмент предметной области ИАС.

Автором разработана методология проектирования БД для применения при создании ИАС, отличающаяся от известных методологий возможностью описания фрагментов предметной области в виде их инфологических моделей. На их основе строится каноническая модель предметной области всей системы, которая отображается в логическую, внешнюю и внутреннюю модели данных используемой СУБД [1]. В разработанной методологии введен новый тип зависимостей между атрибутами реляционной модели данных, названный Р-зависимостями, на основе свойств которых решены задачи построения минимального и оптимального элементарных базисов структуры функциональных зависимостей (ФЗ) между атрибутами [2]. Введено понятие порожденной полной подструктуры структуры ФЗ на множестве атрибутов, на основе свойств которых получены необходимые и достаточные условия оптимальности известных алгоритмов нормализации отношений и предложен алгоритм, дающий оптимальное решение в любом случае [3].

Построена математическая модель задачи отображения канонической схемы предметной области на память прямого доступа, в результате решения которой можно получить обобщенную физическую структуру БД, не зависящую от типа СУБД, а затем отобразить ее на физические структуры конкретной СУБД и построить внутреннюю схему БД [4]. В модели требуется найти такие параметры физической структуры БД, при которых достигается экстремума функция, выражающая критерий эффективности, и выполняется система ограничений, учитывающих максимальные допустимые объемные и временные характеристики, а также отражающих связи между параметрами структуры хранения. При решении этой задачи используются расчетные соотношения для вычисления объема БД и среднего времени выполнения приложений при известных объемных и временных характеристиках канонической модели предметной области в зависимости от искомым параметров физической организации БД [5]. В силу NP-трудности задачи разработки внутренней схемы БД предложено разбить ее на совокупность задач локальной оптимизации по локальным критериям оптимальности. Построены математические модели и разработаны алгоритмы решения следующих задач локальной оптимизации:

распределение отношений канонической схемы предметной области по типам логических записей;

выбор способа организации внутренней структуры каждого типа записи;

выбор способа организации каждого логического файла;

выбор способа индексирования каждого логического файла;

распределение логических файлов по областям хранения; выбор размеров страниц областей.

Прогнозирование возможности радиосвязи

Вторая задача в том, что ИАС должна быть интеллектуальной системой в том смысле, что при включении в базу данных каждой РЛ из состава сети радиосвязи

система должна прогнозировать возможность радиосвязи между РС этой РЛ и не допускать включения в базу данных РЛ, между РС которой невозможна радиосвязь. При решении этой задачи требуется оценить величину ослабления мощности или уровень замираний радиосигнала на трассе распространения радиоволн от передатчика к приемнику. Международным союзом электросвязи (МСЭ) опубликован ряд Рекомендаций, которые для известных характеристик трассы распространения и известных условий распространения радиоволн позволяют вычислить величину ослабления мощности радиосигнала. Однако Рекомендации МСЭ не содержат методов и алгоритмов для вычисления мощности радиосигнала на входе приемника, которая будет превышена в течение заданного процента времени. В существующих методиках вычисления показателей качества для цифровых РЛ требуется предварительно разбить нормированные значения ПНГ и КСПС на слагаемые, приходящиеся на влияние субрефракции радиоволн, многолучевого распространения и ослабления в осадках, а затем обеспечить требуемый запас на каждый из этих типов замираний.

Автором разработаны математические модели, методы и алгоритмы прогнозирования возможности и оценки качества радиосвязи между РС для сетей аналоговой и цифровой радиосвязи для любого района Земли с учетом замираний радиосигнала, вызванных рефракцией радиоволн в атмосфере, дифракцией радиоволн на препятствиях, многолучевым распространением, осадками, атмосферными газами и водяным паром [6]. Для моделирования рефракции радиоволн в атмосфере предложено использовать статистические данные о значениях вертикального градиента коэффициента рефракции атмосферы для первых 65 м над поверхностью Земли в узлах координатной сетки с шагом 1,5 градуса, которые не будут превышены на протяжении года в течение 1, 10, 50, 90 и 99 процентов времени [7]. Для моделирования дифракции радиоволн разработаны новые методы поиска и классификации препятствий на трассе распространения радиосигнала [8, 9]. Разработан новый алгоритм вычисления уровня замираний радиосигнала из-за многолучевого распространения радиоволн на трассах прямой видимости, который не будет превышен в среднем наихудшем месяце календарного года в течение заданного процента времени [10]. Для сетей аналоговой радиосвязи разработанные методы и алгоритмы вычисляют мощность радиосигнала на входе приемника, которая будет превышена в течение заданного процента времени. Для сетей цифровой радиосвязи построена математическая модель учета субрефракции радиоволн, многолучевого распространения и ослабления в осадках, на основе которой разработаны методы и алгоритмы, вычисляющие прогнозируемые значения ПНГ и КСПС без предварительного разбиения нормированных значений ПНГ и КСПС на слагаемые [11].

Оптимизация присвоения частот

Третья задача заключается в том, что после ввода в базу данных всех РЛ сетей радиосвязи ИАС должна проверить возможность совместной работы этих РЛ на указанных рабочих частотах с учетом их электромагнитной совместимости и внешней электромагнитной обстановки. При невозможности совместной работы РЛ система должна предоставить пользователю возможность оптимизации сетей радиосвязи, включая оптимизацию присвоения рабочих частот радиоприемам. Известно, что если учитывать помехи только по основным каналам излучения и приема, то задачу оптимизации присвоения рабочих частот РЛ можно свести к задаче раскраски графа, а если учитывать помехи только по основным и внеполосным каналам излучения и приема, то к задаче о коммивояжере [12]. Несмотря на то, что обе эти задачи явля-

ются NP-трудными, для их решения разработаны эффективные алгоритмы. Однако в реальных задачах оптимизации присвоения рабочих частот РЛ требуется учитывать также помехи по побочным каналам излучения и приема, в том числе по комбинационным и интермодуляционным каналам.

Автором построена математическая модель задачи оптимизации присвоения рабочих частот радиолиниям по критерию минимизации уровня помех между РС, отличающаяся от известных математических моделей учетом всех возможных внеполосных и побочных излучений и каналов приема РС [13]. Предложенная математическая модель названа многомерной задачей о назначениях с совместительством, поскольку отличается от классической задачи о назначениях тем, что одного претендента можно назначить на несколько должностей, и любое подмножество должностей заданной мощности может оказаться занятым претендентами, конфликтующими между собой. Эта задача является NP-трудной, поэтому для ее решения разработаны приближенные алгоритмы: жадный алгоритм и алгоритмы локального поиска в заданной окрестности [14]. В этих алгоритмах используются оценки электромагнитной совместимости любых двух и трех РС, работающих на заданных частотах. Вопросы вычисления этих оценок и поиска оптимальных рабочих частот для двух и трех РС рассмотрены в работах [15, 16]. Детальный алгоритм оптимизации присвоения рабочих частот радиолиниям с учетом всех возможных внеполосных и побочных излучений и каналов приема РС описан в работе [17]. Вычислительные эксперименты показали, что в реальных задачах оптимизации присвоения частот РЛ при достаточно высокой плотности РС различных РЛ и ограниченном частотном ресурсе жадный алгоритм крайне редко приводит к оптимальному решению. Зато детерминированный алгоритм локального поиска в 1-окрестности и 2-окрестности, начинающий работу с решения, полученного жадным алгоритмом, почти в 80% случаев находит оптимальное решение за приемлемое время. В остальных случаях найденное решение достаточно близко к оптимальному решению.

Практическая реализация

На основе полученных теоретических результатов под руководством и при участии автора разработаны комплексы программ автоматизации проектирования БД для ИАС, прогнозирования возможности и оценки качества радиосвязи между РС аналоговых и цифровых РЛ, построения зон обслуживания базовых станций, проверки возможности совместной работы РЛ на присвоенных частотах и оптимизации присвоения частот РЛ. Разработанные комплексы программ вошли в состав ряда ИАС для оценки качества и оптимизации сетей радиосвязи, созданных для отечественных и зарубежных заказчиков.

Библиографические ссылки

1. Карпук А. А. Информационное моделирование предметной области автоматизированных информационных систем // Технологии информатизации и управления: сб. научн. ст. Вып. 2 / Редкол.: А. М. Кадан (отв. ред.) [и др.]. Минск: БГУ, 2011. С. 24–30.
2. Карпук А. А. О построении элементарного базиса системы функциональных зависимостей в базе данных // Информационные технологии и программные средства: проектирование, разработка и применение: сб. научн. ст. / Редкол.: Л. В. Рудикова (отв. ред.) [и др.]. Гродно: ГрГУ, 2011. С. 185–190.
3. Карпук А. А. Об алгоритмах нормализации отношений в реляционных базах данных // Международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии: материалы Между-

- нар. науч. конгресса, Минск, 31 окт. – 3 нояб. 2011 г.: в 2 ч. Ч. 2 / редкол.: С. В. Абламейко (отв. ред.) [и др.]. Минск: БГУ, 2011. С. 283–288.
4. Карпук А. А. Математическое моделирование выбора физической организации баз данных // Устойчивое развитие экономики: состояние, проблемы, перспективы: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. УО «Полесский государственный университет», г. Пинск, 26-27 апреля 2012 г. / редкол.: К. К. Шебеко [и др.]. Пинск: ПолесГУ, 2012. С. 202–204.
 5. Карпук А. А. Методы оценки объемов памяти при проектировании физической структуры базы данных // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ОВР. 1990. Вып. 11. С. 3–12.
 6. Карпук А. А., Евтихина Н. В. Вычисление характеристик распространения радиоволн в тропосфере. // Инженерный вестник. 2007. № 1 (23). С. 72–76.
 7. Карпук А. А., Сержанович А. Н. Комплекс программ моделирования рефракции радиоволн в атмосфере на основе Рекомендаций МСЭ // Распространение радиоволн: сборник докладов XXI Всероссийской науч. конф. В 2 т. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. Т. 2. С. 355–358.
 8. Карпук А. А., Евтихина Н. В. Моделирование дифракции радиоволн на препятствиях // Доклады БГУИР. 2006. № 4 (16). С. 42–52.
 9. Карпук А. А., Евтихина Н. В. Моделирование распространения радиоволн через лес // Доклады БГУИР. 2008. № 1 (31). С. 44–47.
 10. Карпук А. А., Евтихина Н. В. Метод оценки величины замираний радиосигнала из-за многолучевого распространения радиоволн // Доклады БГУИР. 2008. № 3 (33). С. 34–38.
 11. Карпук А. А., Лагойко А. Ю. Прогнозирование возможности связи на интервалах цифровых радиорелейных линий прямой видимости // Доклады БГУИР. 2010. № 8. С. 89–96.
 12. Соловьев В. В. Методы оптимального присвоения частот. М.: НПФ «Гейзер», 2001.
 13. Карпук А. А. Задача оптимизации использования радиочастотного ресурса при присвоении частот радиолиниям // Информатика. 2006. № 4 (12). С. 5–13.
 14. Карпук А. А. Алгоритмы решения многомерной задачи о назначениях // Информатика. 2008. № 2 (18). С. 5–13.
 15. Карпук А. А. Математическое моделирование электромагнитной совместимости двух радиосредств // Современные проблемы математики, механики, информатики. Материалы междунар. науч. конф. Тула: Изд-во ТулГУ, 2007. С. 230–233.
 16. Карпук А. А. Математическое моделирование электромагнитной совместимости трех и более радиосредств // Современные проблемы информатизации в экономике и обеспечении безопасности: сб. тр. Вып. 15 / под ред. О. Я. Кравца. Воронеж: Научная книга, 2010. С. 86–89.
 17. Карпук А. А. Алгоритм присвоения частот радиолиниям с учетом электромагнитной совместимости радиосредств // Современные проблемы информатизации в анализе и синтезе программных и телекоммуникационных систем: сб. тр. Вып. 16 / под ред. О. Я. Кравца. Воронеж: Научная книга, 2011. С. 324–329.