

УДК 007.52

Информационная модель перспективной базы данных в системе управления телекоммуникационной сетью Carrier Ethernet

А. К. Канаев, Э. В. Логин, К. А. Пудовкина

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Канаев А. К., Логин Э. В., Пудовкина К. А. Информационная модель перспективной базы данных в системе управления телекоммуникационной сетью Carrier Ethernet // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2022. — Т. 19. — Вып. 3. — С. 421–431. DOI: 10.20295/1815-588X-2022-3-421-431

Аннотация

Цель: Разработка информационной модели перспективной базы данных в системе управления телекоммуникационной сетью с применением технологии Carrier Ethernet для обеспечения эффективности хранения, доступа и обновления данных о функционировании телекоммуникационной сети, что позволит увеличить оперативность выполнения встроенных процессов контроля и управления ОАМ при своевременном и обоснованном формировании решений по управлению телекоммуникационной сетью в условиях высокой динамики изменения ее состояния, а также с учетом особенностей технологии Carrier Ethernet. Таким образом, с целью предоставления услуг заданного качества сформирована информационная модель базы данных в системе управления телекоммуникационной сетью с указанием основных источников информации, которыми являются подсистемы и модели системы управления телекоммуникационной сетью, в соответствии с ранее разработанной трехуровневой концептуальной моделью. А также для достижения поставленной цели разработана логическая структура полученной информационной модели базы данных на примере объектов предметной области. **Методы:** Основы теории управления сложными процессами, теория многоагентных систем управления распределенными объектами, теория систем хранения и представления информации, методы объектно-ориентированного проектирования, теоретико-множественный подход для описания множества данных об объекте управления. **Результаты:** Полученная информационная модель базы данных и разработанная логическая трехуровневая структура функционирования описаны вербально и математически. Дана оценка функционирования предложенной логической структуры базы данных в системе управления телекоммуникационной сети связи с применением технологии Carrier Ethernet и механизмов ОАМ. Предложены направления дальнейшего исследования в направлении разработки моделей основных процессов сбора, обработки и предоставления данных о функционировании подсистем в системе управления телекоммуникационной сетью. **Практическая значимость:** Разработанная информационная модель базы данных в системе управления телекоммуникационной сетью отличается от известных возможностью учета и включения в нее данных реализации комплекса уникальных моделей функционирования и управления телекоммуникационной сетью Carrier Ethernet и механизмов управления ОАМ, ранее полученных авторами и являющихся подсистемами в системе управления телекоммуникационной сетью с использованием возможностей технологии Carrier Ethernet. При этом

полученная в работе информационная модель базы данных позволит соответствовать требованиям по оперативности реализации цикла управления и минимизировать финансовые и технические ресурсы для ее реализации за счет эффективного хранения, доступа и обновления данных о функционировании сетевых элементов, а в перспективе эффективное хранение данных о состоянии сетевых элементов и всей сети с применением средств прогноза и интеллектуальной поддержки принятия решений позволит формировать сценарии по эффективному управлению телекоммуникационной сетью.

Ключевые слова: Телекоммуникационная сеть, система управления, объектно-ориентированная база данных, база знаний, интеллектуальная система.

Введение

Функционирование систем управления телекоммуникационными сетями (СУ ТКС) во многом опирается на возможности распределенных подсистем сбора и хранения данных о функционировании объекта управления. А помимо сбора и хранения система управления должна соответствовать требованиям по оперативности реализации ряда процессов, направленных на контроль, оценку и прогнозирование состояния ТКС. Включение в автоматизированные системы управления интеллектуальных компонентов поможет решить эту задачу.

При проектировании информационных и интеллектуальных систем важным этапом является формализация комплекса данных о предметной области и процессах, функционирующих в ней. Для этого необходимо сформировать все пространство информации о предметной области при сохранении свойства адекватности системы управления реальному объекту управления. Данная работа направлена на структуризацию предметной области СУ ТКС, что позволит сформировать объективную информацию о процессах в ней и представить полученную структуру в формализованном виде информационной модели базы данных.

Структура и уровни системы управления телекоммуникационной сетью с применением технологии Carrier Ethernet

В силу отсутствия единой методической основы для разработки СУБД предварительный этап проектирования базы данных должен вклю-

чить определение и описание всех компонентов и отношений между ними, входящих в архитектуру СУБД, являющимися источниками для нее из предметной области. Под предметной областью понимается та часть физической среды, информацию об элементах и семантических связях которой необходимо динамически перенести в подсистему хранения. Поскольку границы между компонентами предметной области всегда носят условный характер, представленная на рис. 1 обобщенная архитектура БД в СУ ТКС Carrier Ethernet демонстрирует некоторые общие элементы представлений знаний об объекте управления и о принципах управления компонентами баз данных [1–3].

Базы данных используют модель «клиент — сервер», в которой компоненты подсистемы БД играют роль серверов, а компоненты СУ ТКС — роль клиентов. При этом узлами подсистемы БД могут также называться компоненты ее архитектуры и/или отдельные группы блоков (кластеров) в рамках реализации типичных сценариев взаимодействия с компонентами СУ ТКС в соответствии с определенным методом [4].

Запросы от компонентов СУ ТКС поступают через транспортную подсистему БД. Помимо этого, транспортная подсистема обеспечивает взаимодействие с другими компонентами кластера БД. Под кластером понимается область подсистемы БД, которая информационно и концептуально описывает уровень СУ ТКС (ОУ, ОТУ и ТУ) (см. рис. 2) [5].



Рис. 1. Архитектура СУБД

Полученный от компонента СУ ТКС запрос транспортная подсистема направляет его компоненту обработчиков запросов, который его анализирует, интерпретирует и проверяет. После чего производится контроль управления доступом, так как для полного цикла функционирования обработчика запросов необходима интерпретация запроса. Компонент оптимизатор запросов

устраняет избыточные части запроса и запускает процесс поиска эффективного способа его выполнения с учетом внутренней статистики (значения весов путей и пересечений) и размещения данных (координаты расположения данных в кластере, классы и типы этих данных, а также затраты на их передачу) [6]. Реляционные операции, представленные в виде дерева зависимостей, опти-

мизатор запросов обрабатывает и проводит ряд оптимизаций (например, упорядочивание индексов, оценка мощности и выбор средств доступа).

По сути, запрос представляется в виде плана выполнения, единицами которого являются операции, последовательное выполнение которых должно соответствовать условию о полноте результата запроса. У одного запроса может быть несколько планов, отличающиеся эффективностью. Оптимизатор в этом случае выбирает тот план, при котором будет получен наиболее полный результат по показателю эффективности.

Подсистема выполнения обрабатывает выбранный план на предмет сбора необходимых результатов выполнения локальных и удаленных операций. Под удаленным управлением в абсолютном смысле понимается запись и чтение данных на других кластерах, а также выполнение репликации (а в частном случае под удаленным управлением понимается набор процессов, методов, команд для управления непосредственно ТКС). Локальные запросы (поступающие непосредственно от компонентов текущего кластера БД или от подсистем соответствующего уровня СУ ТКС) выполняются подсистемой хранения данных [7].

Подсистема хранения данных включает в себя несколько компонентов (блоков) с установленным набором функций: диспетчер транзакций (планировка транзакций и обеспечение логически согласованных состояний), диспетчер блокировок (блокировка объектов БД для выполнения транзакций для исключения конкурентных операций, нарушающих физическую целостность данных), средства доступа организуют структуру для хранения данных (управление доступом и организация данных на диске), диспетчер буферов (кэширование страниц данных в памяти), диспетчер восстановления (ведения журнала операций и восстановление состояния системы в случае сбоя). Комплексно диспетчеры транзакций и блокировок контролируют процесс управления

параллелизмом, что гарантирует логическую и физическую целостность данных, добиваясь при этом максимально эффективного выполнения конкурентных операций [8].

Предложенная концептуальная модель БД в общей модели СУ ТКС на основе Carrier Ethernet включает в себя необходимые компоненты универсальной СУБД и за счет детализации и классификации данных о ТКС предусматривает в ней место и функции компонентов трехуровневой модели СУ ТКС. В частности, выделенные уровни СУ ТКС позволяют учитывать их взаимосвязь с кластерами (узлами) БД.

Подсистема выполнения занимает ключевое место в общей модели БД, так как в ней выделяются границы ответственных компонентов в составе БД, тогда как в концептуальной модели СУ ТКС они уже определены. Данные моделей и блоков контроля и управления состоянием ТКС хранятся в подсистеме хранилища данных, и с помощью компонента взаимодействия хранилищ кластеров обеспечивается непрерывность управления. При этом реализация самих моделей и процессов собирается в подсистеме выполнения в удаленном или локальном компоненте в зависимости от типа запрашиваемого процесса.

Математическое описание информационной модели базы данных в СУ ТКС с применением технологии Carrier Ethernet

Формализованное представление знаний и данных об объекте и процессах в нем является основополагающей задачей в области информационных систем. Для формирования информационной модели, которая будет максимально адекватно отражать состояние и процессы в объекте в рамках целей управления, имеется ряд особенностей:

– сложность и размерность объекта управления, а также большой объем диагностических параметров элементов ТКС. Для этого информационная

модель предусматривает ряд ограничений своей предметной области, использование подмножеств с выделением групп элементов/параметров/механизмов/команд по единому признаку;

– отсутствие достаточной объективной информации об объекте компенсируется использованием экспертной оценки информации;

– изменение состояния и поведения объекта должны своевременно влиять на соответствующие изменения в модели с требуемой временной задержкой [9].

К основным структурным элементами информационной модели СУ ТКС относятся: объекты предметной области (объекты ТКС), семантические отношения между объектами ТКС, процессы, функции, алгоритмы и т. д.

Модель СУ ТКС может быть представлена следующим образом:

$$АСУ = \{O, C, M, R, R', t\},$$

где O — множество объектов ТКС (устройств СЕ);

C — классовая модель множества объектов;

M — множество методов (процессы контроля управления состоянием ТКС СЕ, функции, процедуры логического вывода, направленные на управление состоянием устройств СЕ);

R — множество семантических отношений между объектами (устройствами СЕ);

R' — множество ограничений целостности модели ТКС на основе технологии СЕ;

t — континуальный параметр (время).

Каждый элемент ТКС в математическом представлении имеет свои составляющие. Объектом называется сущность, которая имеет предопределенное множество атрибутов и методов на выбранном времени, а также определена состоянием и правилами поведения. Состояние объекта можно описать с помощью атрибутов и семантических отношений, а правила поведения задаются методами. Некоторый i -й объект

информационной модели ТКС является устройством СЕ (например, коммутатором) и выглядит так:

$$o_i(t) = \{S_i, P_i(t), M_i, O_i, T_i, t, N\},$$

где S_i — множество идентифицирующих атрибутов, которые характеризуют объект в целом и точно определяют его (такие атрибуты статичны и ими являются, например, названия устройств);

$P_i(t)$ — множество атрибутов, отражающих состояние объекта в момент времени (множество параметров устройства СЕ, характеризующих его состояние в момент времени);

M_i — множество методов объекта (алгоритмы и процессы функционирования ТКС на основе СЕ, в данном случае механизмы ОАМ);

O_i — множество встроенных объектов модели в объект $o_i(t)$ (например, порты коммутатора, кнопки управления, индикаторы, питание и др.);

T_i — множество временных характеристик объекта;

t — время;

N — множество натуральных чисел.

Временная характеристика включает в себя множество фаз существования объекта $o_i(t)$. Множество идентифицирующих атрибутов включает в себя значение этого атрибута и множество параметров, характеризующих его $S_i = \{s_{ij}, W_{ij}\}$. Атрибуты, принадлежащие объекту, могут менять свое значение во времени, что применимо как к отдельному атрибуту $P_{im}(t)$, так и всему множеству $P_i(t)$:

$$P_i(t) = \{P_{i1}(t), \dots, P_{im}(t)\}, m \in N,$$

где $P_{ij}(t)$ ($1 = \overline{1, m}$) — атрибут объекта.

Методы объекта определяют алгоритм функционирования установленных в СУ процессов по контролю и управлению состоянием ТКС на основе СЕ. Множество методов отдельного объ-

екта в информационной модели можно представить так:

$$M_i = \{M_{i1}, \dots, M_{id}\}, d = \overline{1, m}.$$

Метод в общем виде можно представить как:

$$M_{ij} = \{X_{ij}, Y_{ij}, U_{ij}, F_{ij}, V_{ij}, T_{ij}^{(M)}\},$$

где X_{ij} — множество входных параметров;

Y_{ij} — множество выходных параметров;

U_{ij} — определение/описание метода;

F_{ij} — операция, математическая функция, процедура логического вывода и др.;

V_{ij} — множество условий применения (возбуждения) метода;

$T_{ij}^{(M)}$ — множество временных характеристик текущего метода.

Структура представления встроеного объекта (в частности, порт коммутатора СЕ) в информационной модели полностью совпадает со структурой основного объекта (коммутатора), а отличие состоит в статусе принадлежности и множестве параметров, характеризующих состояние данного встроеного объекта. При этом процедура миграции из одного объекта в другой объект также считается встраиванием объектов. А временные характеристики способны хранить историю миграции таких объектов.

В общем понимании класс как структурный элемент объекта позволяет задавать общие признаки объектов, атрибутов, методов и т. д. Под классом понимается множество объектов, имеющих общую структуру, состояние элементов объектов, методы и семантические отношения. Множество объявлений (идентифицирующих атрибутов, атрибутов, методов и встроеного объектов) определяют структуру класса. Состояние характеризуется идентифицирующими атрибутами и фиксированными значениями атрибутов. Класс можно представить в виде:

$$C_i = \{U_i^{(Ci)}, S_i', Z_i'', A_i'', B_i'', M_i', M_i'', C_i^{(Ci)}, I_p, T_i^{(Ci)}\},$$

где $U_i^{(Ci)}$ — определение/описание класса;

S_i' — множество идентифицирующих атрибутов;

Z_i'' — множество объявлений идентифицирующих атрибутов;

A_i'' — множество объявлений атрибутов;

B_i'' — множество фиксированных значений атрибутов;

M_i' — множество методов класса;

M_i'' — множество объявлений методов класса;

$C_i^{(Ci)}$ — множество встроеного классов в класс C_i ;

I_p — множество родительских классов;

$T_i^{(Ci)}$ — характеристики класса C_i .

Классы могут быть простыми (без встроеного и родительских классов) и сложными в противном случае.

С помощью семантических отношений объекты и классы объединяются в сеть или множество семантических сетей. Это позволяет расширять возможности информационной модели ТКС на основе СЕ. Множество семантических отношений R имеет вид:

$$R = \{R_1, \dots, R_p\}, \text{ где } p \in N.$$

Тогда как каждый элемент множества R имеют свою структуру, включающую описание данного семантического отношения, множества исходящих и входящих вершин. Также структура R может зависеть от ее реализации и взаимосвязи с классами и входящими в них объектами. Например, объекту СЕ может принадлежать серия (класс) портов (группа сетевых портов для организации трафика со скоростью 10 Гбит — 10 Gbe, группа трибутарных портов — 1 Gbe, группа канальных портов — STM-1/OC-3 и др.), а каждый из этих портов будет характеризовать принадлежность их к другой серии (классу) объектов СЕ (например, устройства сети доступа, агрегации доступа

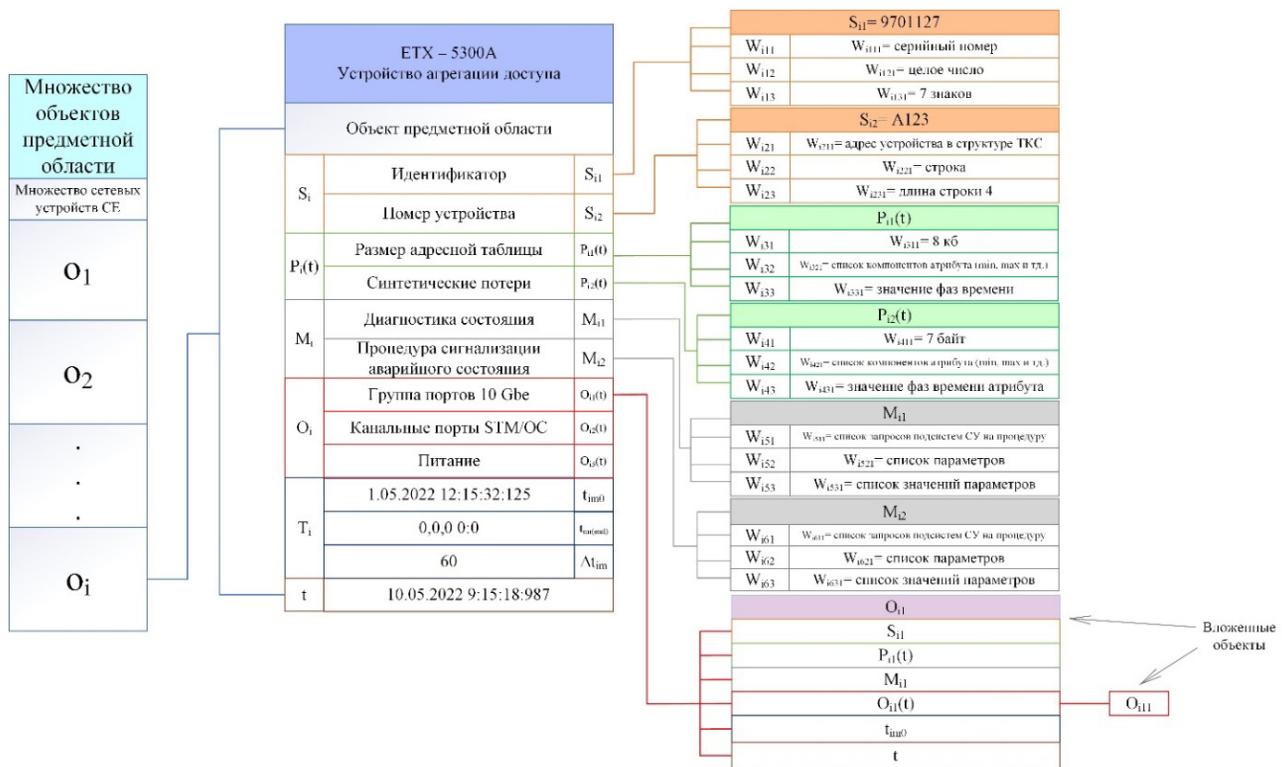


Рис. 2. Логическая структура базы данных в СУ ТКС с применением технологии Carrier Ethernet

или пограничное оборудование), которые также относятся к родительскому классу портов коммутатора как вложенные в них объекты. Для обобщенной модели в данной работе не рассматривались подобного рода семантические отношения.

Динамичность модели достигается тем, что в нее могут включаться новые объекты и исключаться существующие, что приводит к изменениям структуры модели и смене порождающего класса. Для этого вводятся ограничения целостности:

$$R^i = \{R_1^i, \dots, R_n^i\}, \text{ где } i \in N.$$

При этом структура одного элемента множества R' имеет структуру, совпадающую со структурой элемента множества семантического отношения.

Ограничения целостности позволяют сохранить целостность и адекватность модели предметной области, контролировать число ошибок. Методы предметной области ТКС на основе CE имеют такую же структуру, что и методы входя-

щих в нее объектов. Отличие состоит в назначении и порядке использования этих методов. Методы объектов позволяют описать их правила поведения, реализуют интерфейс между ними и логику процедуры вывода. А методы глобальной модели ТКС на основе CE определяют ее поведение в целом (механизмы логического вывода, контроль и поддержание требуемых значений надежности и оперативности, которые определяются состоянием ТКС на основе CE, интерфейс с СУ и ее подсистемами, обеспечение ввода/вывода информации, контроль целостности и адекватности модели реальному объекту управления. Методы модели, по сути являясь хранилищем основных процедурных знаний о CE, осуществляют реализацию алгоритмов функционирования модели (обработка, хранение данных, обращения к хранилищу и т. д.) [10].

На рис. 2 представлена обобщенная структура объекта предметной области на примере устрой-

ства платформы агрегации доступа SE — ETX-5300A, являющегося узлом ТКС на основе SE. Показанные методы, атрибуты и другие компоненты множеств объекта являются условными и не ограничивают перспективное построение данной структуры на более высоких уровнях детализации информационной модели СУ ТКС на основе технологии Carrier Ethernet.

Заключение

На сегодняшний день наблюдается рост разнообразия оборудования и технологий, позволяющих предоставлять телекоммуникационные услуги в соответствии с требуемыми показателями оперативности, надежности, целостности и др. Вместе с тем требования к системам управления для осуществления таких показателей также трансформируются и зачастую не в состоянии эффективно решать задачи управления по причине высокого объема данных, характеризующих состояние ТКС. Все это приводит, например, к использованию сторонних подсистем, выполняющих узкий круг процедур, что нагружает административный центр управления и экономически неэффективно. Глобально решить такую проблему возможно на этапе проектирования при формировании требований и разработке общей структуры перспективной СУ. Функционирование отдельных подсистем внутри СУ должно строго соответствовать ресурсным возможностям входящей в нее базы данных. В работе выбран объектно-ориентированный подход к построению структуры БД. Предложена уровневая архитектура БД с адаптацией под концептуальную модель СУ ТКС, где используется многоагентный способ управления распределенными объектами с включением серии имитационных моделей функционирования ТКС, что значительно нагружает ресурсы хранилища как по части сбора и хранения, так и по частоте обращений, реализации миграции, вложения и вытеснения данных о состоянии сетевых устройств. Определены услов-

ные границы и области взаимодействия компонентов модели предметной области ТКС (БД), а также установлены структуры и классификации данных ТКС. А математически представленные структуры и классы данных ТКС позволят перейти к следующему этапу исследования — добавление в информационную модель процессов и операций, регламентированных в СУ, что в перспективе на этапе эксплуатации позволит масштабировать и наполнять модель реальными значениями параметров, описывающих состояние ТКС, а значит, давать оценку оперативности и надежности с учетом ограничений и допущений по множеству параметров и состояний элементов ТКС.

Библиографический список

1. Логин Э. В. Перспективная телекоммуникационная сеть следующего поколения на основе технологии Carrier Ethernet / Э. В. Логин, А. К. Канаев // Бюллетень результатов научных исследований. — 2014. — Вып. 4(13) — С. 69–76.
2. Гавриленко Т. В. Представление знаний о динамической предметной области методами теоретико-множественного анализа: дис. ... канд. техн. наук / Т. В. Гавриленко. — 2004.
3. Логин Э. В. Формирование требований к системе управления сетью связи на основе технологии Carrier Ethernet / Э. В. Логин, А. К. Канаев // Труды 72-й межвузовской научно-технической конференции СПбНТОРЭС им. А. С. Попова, посвященной Дню радио: сборник трудов Секция: «Телекоммуникации на железнодорожном транспорте» (труды конференции 27–29.04.2017). — СПб.: 2017. — С. 241–243.
4. Логин Э. В. Анализ и классификация существующих систем управления телекоммуникационными сетями / Э. В. Логин // Труды 69-й Международной научно-технической конференции, посв. Дню радио. — СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. — С. 229–230.
5. Корнеев В. В. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации / В. В. Корнеев, А. Ф. Гареев, С. В. Васютин, В. В. Райх. — М.: Нолидж, 2000. — 352 с.

6. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения: пер. с англ. / Г. Буч — М.: Конкорд, 1992. — 519 с.
7. Гавриленко Т. В. Формализованная объектно-ориентированная модель знаний предметной области / Т. В. Гавриленко, Ф. Ф. Иванов // Системный анализ и обработка информации в интеллектуальных системах: сб. науч. тр. каф. ИВТ. № 2 / Под общ. ред. Ф. Ф. Иванова; Сургут, гос. ун-т. — Сургут: Изд-во СурГУ, 2003. — С. 79–83.
8. Вениаминов Е. М. Алгебраические методы теории баз данных и баз знаний / Е. М. Вениаминов. — М.: Научный мир, 2003. — 184 с.
9. Логин Э. В. Технология Carrier Ethernet для построения транспортных сетей / Э. В. Логин, А. К. Канаев // Сборник научных статей IV Международной конференции СПбГУТ «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании», 3–4 марта 2015. — Т. 2. — С. 1065–1069. — URL: www.sut.ru/doci/nauka/4.apino.2015.sut.2.pdf.
10. Древе Ю. Г. Моделирование систем: учеб. пособие / Ю. Г. Древе. — Сургут: СурГУ, 2001. — 71 с.
- Дата поступления: 23.05.2022
Решение о публикации: 11.07.2022

Контактная информация:

КАНАЕВ Андрей Константинович — д-р техн. наук, проф. кафедры «Электрическая связь»; kanaev@pgups.ru

ЛОГИН Элина Валерьевна — канд. техн. наук, доц. кафедры «Электрическая связь»; elinabeneta@yandex.ru
ПУДОВКИНА Ксения — студент группы АС-908, кафедра «Электрическая связь»; serde4ko01@bk.ru

Informational Model of Promising Database in the System of Management for Carrier Ethernet Telecommunication Network

A. K. Kanaev, E. V. Login, K. A. Pudovkina

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Kanaev A. K., Login E. V., Pudovkina K. A. Informational Model of Promising Database in the System of Management for Carrier Ethernet Telecommunication Network // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2022, vol. 19, iss. 3, pp. 421–431. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2022-3-421-431

Summary

Purpose: To develop an informational model of a promising database in the system of management of telecommunication network which uses Carrier Ethernet technology for to ensure the efficiency of storage, access and update of data on the telecommunication network functioning that will allow to increase the operativeness of implementation of OAM (Operation, Administration and Management) control-management built-in processes at timely and reasonable decision-making on telecommunication network management in conditions of high dynamics of changes in the network state as well as in view of Carrier Ethernet technology specificities. Thus, in order to provide services of given quality, an information model of database in telecommunication network management system has been created with indication of information main sources which're represented by subsystems and models of telecommunications network management system in accordance with the previously developed three-level conceptual model. Also, to achieve the stated goal a logical structure of the obtained database information model on the example of domain objects has been developed. **Methods:** Fundamentals of complex process management theory; theory of multi-agent systems of

management of distributed object; theory of systems of information storage and presentation; object-oriented projection method; set-theoretic approach for the description of data set about a control object. **Results:** The obtained informational model of database and the developed logical three-level structure of functioning are described verbally and mathematically. The evaluation of functioning of the proposed logical structure of the database in the system of telecommunication network management using Carrier Ethernet technology and OAM mechanisms is given. The directions of further research towards development of the models of major processes of collection, processing and provision of data on functioning of subsystems in the system of telecommunications network management are proposed. **Practical significance:** The developed informational model of database in the system of telecommunications network management differs from well-known ones by the possibility of accounting for and including in the data of the implementation of the complex of unique models of functioning and management of Carrier Ethernet telecommunication network and the mechanisms of OAM management, that were previously obtained by the authors and represent subsystems in the telecommunications network management system with the use of Carrier Ethernet technology possibilities. At the same, the obtained in the work information model of database will allow to meet requirements on operativeness of management cycle realization and to minimize financial and technical resources for the model implementation through effective storage, access and update of data on network element functioning and in the future, effective storage of data on the state of network elements and entire network with the application of prognosis and decision-making intellectual support tools will allow to make scenarios on effective management of telecommunications network.

Keywords: Telecommunication network, control system, object-oriented database, knowledge base, intelligent system.

References

1. Login E. V., Kanaev A. K. Perspektivnaya telekommunikatsionnaya set' sleduyushchego pokoleniya na osnove tekhnologii Carrier Ethernet [Prospective telecommunication network of the next generation based on Carrier Ethernet technology]. *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy* [Prospective telecommunication network of the next generation based on Carrier Ethernet technology]. 2014, I. 4 (13), pp. 69–76. (In Russian)
2. Gavrilenko T. V. *Predstavlenie znaniy o dinamicheskoy predmetnoy oblasti metodami teoretiko-mnozhestvennogo analiza. Kand. Diss* [Representation of knowledge about a dynamic subject area by methods of set-theoretic analysis. Cand. Diss]. (In Russian)
3. Login E. V., Kanaev A. K. *Formirovanie trebovaniy k sisteme upravleniya set'yu svyazi na osnove tekhnologii Carrier Ethernet Trudy 72-oy mezhvuzovskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsiya SPbNTORES im. A.S. Popova, posvyashchennoy Dnyu radio: sbornik trudov Sektsiya: «Telekommunikatsii na zheleznodorozhnom transporte», (trudy konferentsii 27-29.04.2017)* [Formation of requirements for a communication network management system based on Carrier Ethernet technology. A.S. Popov, dedicated to the Day of Radio: collection of works Section: "Telecommunications on railway transport", (conference proceedings 27-29.04.2017)]. St. Petersburg: 2017, pp. 241–243. (In Russian)
4. Login E. V. *Analiz i klassifikatsiya sushchestvuyushchikh sistem upravleniya telekommunikatsionnymi set'yami Trudy 69-oy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posv. Dnyu radio* [Analysis and classification of existing control systems for telecommunication networks Proceedings of the 69th International Scientific and Technical Conference, dedicated to. Radio Day]. St. Petersburg: SPbGETU «LETI» Publ., 2014, pp. 229–230. (In Russian)
5. Korneev V. V., Gareev A. F., Vasyutin S. V., Raykh V. V. *Bazy dannykh. Intellektual'naya obrabotka informatsii* [Databases. Intelligent information processing]. Moscow: «Nolidzh» Publ., 2000. 352 p. (In Russian)
6. Buch G. *Ob'ektno-orientirovannoe proektirovanie s primerami primeneniya* [Object-oriented design with examples of application]. Moscow: Konkord Publ., 1992. 519 p. (In Russian)

7. Gavrilenko T. V., Ivanov F. F. Formalizovannaya ob"ektno-orientirovannaya model' znaniy predmetnoy oblasti [Formalized object-oriented model of domain knowledge]. *Sistemnyy analiz i obrabotka informatsii v intellektual'nykh sistemakh* [System analysis and information processing in intelligent systems]. Surgut: SurGU Publ., 2003, pp. 79–83. (In Russian)

8. Veniaminov E. M. *Algebraicheskie metody teorii baz dannykh i baz znaniy* [Algebraic methods of the theory of databases and knowledge bases]. Moscow: Nauchnyy mir Publ., 2003, 184 p. (In Russian)

9. Login E. V., Kanaev A. K. *Tekhnologiya Carrier Ethernet dlya postroeniya transportnykh setey Sbornik nauchnykh statey IV mezhdunarodnoy konferentsii SPbGUT «Aktual'nye problemy infotelekkommunikatsiy v nauke i obrazovanii» 3–4 marta 2015* [Carrier Ethernet technology for building transport networks Collection of scientific articles of the IV international conference of St. Petersburg State University of Technology "Actual problems of

infotelecommunications in science and education" March 3-4, 2015]. 2015, vol. 2, pp. 1065–1069. Available at: www.sut.ru/doci/nauka/4.apino.2015.sut.2.pdf. (In Russian)

10. Dreve Yu. G. *Modelirovanie system* [Systems Modeling]. Surgut: SurGU Publ., 2001. 71 p. (In Russian)

Received: May 23, 2022

Accepted: July 11, 2022

Author's information:

Andrey K. KANAEV — Dr. Sci. in Engineering, Professor, "Electrical Communication" Department; kanaev@pgups.ru

Elina V. LOGIN — PhD in Engineering, Associate Professor, "Electrical Communication" Department; elinabeneta@yandex.ru

Ksenia A. PUDOVKINA — Student, AS-908 study group, "Electrical Communication" Department; serde4ko01@bk.ru