

УДК 007.52

Комплексный алгоритм процессов контроля и управления телекоммуникационной сетью Carrier Ethernet с применением механизмов ОАМ

А. К. Канаев, Э. В. Логин, И. С. Гришанов

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

Для цитирования: Канаев А. К., Логин Э. В., Гришанов И. С. Комплексный алгоритм процессов контроля и управления телекоммуникационной сетью Carrier Ethernet с применением механизмов ОАМ // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2022. — Т. 19. — Вып. 2. — С. 266–275. DOI: 10.20295/1815-588X-2022-2-266-275

Аннотация

Цель: Анализ, классификация множества механизмов в методологии ОАМ (Operations, administration and management), разработка алгоритмической модели предложенной классификации с учетом особенностей управления телекоммуникационной сетью, функционирующей по технологии Carrier Ethernet, что позволит усовершенствовать программно-технологический комплекс подсистем и повысить оперативность управления телекоммуникационной сетью. **Методы:** Положения теории систем и управления, методы имитационного моделирования и построения алгоритмических структур. **Результаты:** Получена классификация множества механизмов ОАМ, что позволит адекватно целям и задачам управления телекоммуникационной сетью включать в цикл контроля и управления сетевыми устройствами телекоммуникационных сетей на основе технологии Carrier Ethernet уникальные процессы и механизмы методологии ОАМ; разработан комплексный алгоритм процессов ОАМ для управления сетевыми устройствами Carrier Ethernet, что позволит проводить имитационное моделирование и оценку функционирования отдельных подпроцессов и всего алгоритма. **Практическая значимость:** Расширение перечня процессов, реализуемых в ОАМ телекоммуникационных сетях на основе технологии Carrier Ethernet, позволит достигать требуемый уровень оперативности управления, а также проводить ряд исследований, в частности имитационное моделирование систем управления с включением в модель объекта управления, функционирующего в соответствии со стандартизированными механизмами ОАМ. Возможность получения результатов в среде имитационного моделирования AnyLogic позволит использовать их как самостоятельную программу удаленной настройки сетевых устройств на технологическом уровне систем управления телекоммуникационными сетями.

Ключевые слова: Ethernet, Carrier Ethernet, Ethernet операторского класса, ОАМ, механизмы и стандарты ОАМ.

Введение

Технология, обеспечивающая передачу данных между устройствами компьютерных и промышленных сетей, — Ethernet — стала одной из самых распространенных технологий локальных вычислительных сетей в середине 90-х гг., вытеснив устаревшие технологии Token Ring, Arcnet и др. Принцип работы этой технологии следующий: все данные, передаваемые одним узлом, одновременно принимаются и всеми остальными узлами. Благодаря использованию коммутаторов при подключении, кадры, отправленные одним узлом, доходят лишь до адресата.

Однако использование Ethernet на сетях операторского класса невозможно, так как решения на базе классических Ethernet сервисов имеют ряд недостатков [1]:

1) недостаточная реализация или же полное отсутствие QoS (качество обслуживания — QoS — способность сети обеспечить необходимый сервис заданному трафику в определенных технологических рамках);

2) невозможность использовать на опорных сетях операторского класса методы восстановления, имеющие большое время сходимости;

3) недостаточная реализация или же полное отсутствие управления Ethernet трафиком.

Перед участниками Metro Ethernet Forum (MEF) [1, 2], консорциума, объединяющего более 210 операторов связи и технологических компаний из 43 стран, встала задача устранения перечисленных выше недостатков, сохранив экономичность и простоту классического Ethernet. Технология Ethernet операторского класса получила название Carrier Ethernet (CE) и представила собой набор необходимых стандартизированных сервисов операторского класса.

В отличие от обычного Ethernet Local Area Network (LAN), в CE регламентированы пять основных атрибутов:

1. Масштабируемость. Все виды услуг должны иметь возможность масштабирования по скорости, а сами сети связи должны иметь возможность увеличения узлов и входящих в него устройств. При этом решения должны покрывать сети разного уровня.

2. Стандартизированные сервисы (способы предоставления услуг): эмулируемое виртуальное выделенное соединение точка — точка через сеть связи CE (E-Line); эмулируемое пользовательское LAN соединение через сеть связи CE (E-LAN); эмулирование передачи мультимедийного трафика (E-Tree).

3. Управление сервисами предусматривает на уровне управления сетью (NMS) реализацию алгоритмов на основе стандартизированных механизмов, мониторинг, диагностику состояния сети связи, эксплуатацию, администрирование и обслуживание (организационный уровень управления) применительно к любой системе управления сетью связи CE.

4. Надежность операторского класса определена процессами мониторинга, обнаружения, диагностики и исправления ошибок без участия ЛПР, соответствие требованиям качества и доступности и обеспечение минимального времени восстановления сервиса.

5. Высокий уровень QoS по части повышения качества предоставления сервисов, упрощенный сценарий управления сетью и значительное снижение капитальных и операционных затрат.

Концепция Carrier Ethernet, обеспечивающая надежность, масштабируемость, заданное качество обслуживания и легкую управляемость, необходима для качественного предоставления таких сервисов, как доступ в Интернет, передача данных, Internet Protocol Television, Voice over IP и организация транспортной архитектуры для сетей беспроводного доступа.

Механизмы ОАМ в Carrier Ethernet

Управление сервисами было недоступно в классической технологии Ethernet. Сети синхронной цифровой иерархии (Synchronous Digital Hierarchy — SONET/SDH) отличались передовой реализацией процессов, связанных с эксплуатацией, администрированием и обслуживанием любой системы управления (ОАМ) [3–5].

Функции централизованного управления сетью, применения стандартизированных алгоритмов и своевременного предоставления сервисов были перенесены с SDH на Carrier Ethernet.

Для решения задач ОАМ применяются четыре функциональные группы механизмов, комплексная реализация которых в перспективной системе управления телекоммуникационными сетями (СУ ТКС) [6] позволит достигать требуемые показатели надежности и оперативности, эффективно управлять сетевыми процессами и взаимодействием нескольких сетей:

- Fault Management (управление неисправностями) — обнаружение, диагностика, локализация неисправностей и оповещение о проблемах;
- Performance Monitoring, Delay and loss measurements — проактивное определение нарушений параметров работы в нескольких взаимосвязанных сетях;
- Performance Management — управление производительностью;
- Configuration Management — управление конфигурациями.

В данной работе рассматриваются механизмы ОАМ, необходимые для управления неисправностями и мониторинга производительности на уровне Ethernet. Они представлены в таблице.

Обеспечение требуемой устойчивости функционирования ТКС невозможно без решения ключевых задач управления неисправностями и контроля состояний ТКС, что позволит соответствовать требуемым показателям оперативности управления сетями связи. Для решения

таких задач в СУ ТКС был разработан уникальный алгоритм контроля и управления состоянием ТКС с включением в него процессов, агрегирующих в себе ограниченный набор механизмов ОАМ [7–11]. В данной работе предлагается расширить функционал этих процессов за счет добавления механизмов ОАМ. В частности, дополняющими механизмами являются запросы на типовые параметры сетевых устройств Carrier Ethernet и параметры передаваемых пакетов внутри администрирующего домена (MD — maintenance domain), механизмы, инициирующие экспериментальные и тестовые запросы с последующей диагностикой устройств (MEP) в рамках MD, а также серия механизмов для обеспечения контроля и диагностики качества работы.

Описание процессов ОАМ в комплексном алгоритме контроля и управления состоянием ТКС на основе технологии CE

Выбор режима работы ОАМ является главным отличием данного алгоритма от прошлой его версии. В соответствии с двумя возможными режимами работы формируется один из двух типов запроса. Экспериментальный режим ОАМ (Exp) предусматривает реализацию данного алгоритма в формате сбора выборок по каждому механизму, которые, в свою очередь, имеют параметры случайных распределений, установленных по результатам прошлого запуска экспериментального режима ОАМ. В блоке 7 устанавливается источник запроса (СУ или MD). В случае запроса СУ производится реализация процесса периодического контроля состояния MD (группа блоков с 8 по 17). Запросы от MD [6], как правило, сигнализируют некоторое аварийное состояние — сигнал индикации аварии (Alarm Indication Signal — AIS) (блок 18), после чего ряд механизмов (блоки с 19 по 25) настраивают соответствующий MD для непрерывной передачи данных, извещая соседние MD посредством рассылки

Механизмы ОАМ в Carrier Ethernet

Категория	Механизм	Сокращение	Описание	Стандарты
Функции ОАМ по устранению неисправностей [Fault Management]	Проверка целостности сети Ethernet [Continuity Check function]	ETH-CC	Функция осуществляет проверку целостности сети Ethernet (ETH-CC) и используется для упреждающих действий ОАМ: для обнаружения потери соединения (LOC) между любой парой МЕР внутри МЕГ	IEEE 802.1ag MEF 38 MEF 31
	Проверка Ethernet по шлейфу [Loopback function]	ETH-LB	Используется для проверки наличия соединения МЕР с МIP или равноправной(ыми) МЕР (одноадресная/многоадресная)	IEEE 802.1ag Y.1731
	Трассировка линий Ethernet [Link Trace function]	ETH-LT	Функция трассировки линий Ethernet (ETH-LT) — это выполняемая по запросу функция ОАМ, которая может использоваться для определения соседних взаимосвязей между МЕР/МЕР (MIP), локализации неисправностей	IEEE 802.1ag
	Сигнал индикации аварии Ethernet [Alarm Indication Signal function]	ETH-AIS	Отключает сигнал аварии, передаваемый после обнаружения неисправности на (под)уровне сервера	Y.1731 MEF 38 MEF 31
	Индикация ошибок на удаленном конце Ethernet [Remote Defect Indication function]	ETH-RDI	Данная функция может использоваться точкой МЕР, для того чтобы сообщить равноправным ей точкам МЕР о состоянии неисправности	IEEE 802.1ag MEF 31
	Блокированный сигнал Ethernet [Lock signal function]	ETH-LCK	Используется для сообщения об административном блокировании точки МЕР (под)уровня сервера и последующего прерывания передачи трафика в направлении МЕР, которая ждет этот трафик	MEF 38
	Испытательный сигнал Ethernet [Test function]	ETH-Test	Используется для выполнения одностороннего диагностического тестирования по запросу на работающей или неисправной сети. Процедура тестирования содержит проверку ширины полосы пропускания, измерение количества потерянных кадров, нахождения битовых ошибок и т. д.	MEF 38
	Автоматическое защитное переключение Ethernet [Automatic Protection Switching function]	ETH-APS	Используется для управления операциями защитного переключения в целях повышения надежности	Y.1731
	Экспериментальные функции ОАМ для Ethernet [Experimental OAM function]	ETH-EXP	Используются для экспериментальной работы ОАМ, которая может временно осуществляться в пределах административного домена	Y.1731
	Функции ОАМ, определяемые поставщиком [Vendor-Specific OAM function]	ETH-VSP	Используются для обеспечения осуществления функциональных возможностей ОАМ, определяемых поставщиком, которые могут быть реализованы поставщиком на всей линейке выпускаемого им оборудования	Y.1731
	Функция ошибка сигнала клиента Ethernet [Client Signal Fail function]	ETH-CSF	Используется МЕР для распространения сообщений ETH-CSF равноправным МЕР об обнаружении неисправности или ошибки сигнала клиента Ethernet, когда сам клиент не поддерживает необходимые механизмы обнаружения неисправности или ошибки, или распространения сообщений о ней	802.1ag
	Уведомление о полосе пропускания Ethernet [Bandwidth Notification function]	ETH-BN	Кадры с информацией ETH-BN передаются на клиентском уровне МЕГ из МЕР сервера при обнаружении условий ухудшения полосы пропускания	Y.1731 802.1ag
Функция Ethernet ожидаемая ошибка [Expected Defect function]	ETH-ED	Используется точкой МЕР для подачи своим равноправным МЕР сигнала о том, что ожидается прерывание передачи кадров (без прерывания кадров данных), и, соответственно, последующие сообщения о потере соединения, поступающие в равноправные МЕР, следует игнорировать. Кадры с информацией ETH-ED содержат идентификатор МЕР и ожидаемую продолжительность прерывания	802.2	

Категория	Механизм	Сокращение	Описание	Стандарты
Функции ОАМ для контроля качества работы [Performance Monitoring]	Измерение числа потерянных кадров [Loss Measurement function]	ETH-LM	Используется для сбора значений счетчика входящих и выходящих служебных кадров, когда счетчики подсчитывают число кадров данных, переданных и принятых между парой точек МЕР	Y.1731
	Измерение времени задержки кадра [Delay Measurement function]	ETH-DM	Функция измерения задержки кадра (ETH-DM) может использоваться при выполнении функций ОАМ по запросу или упреждающих функций ОАМ для измерения и изменения задержки кадра. Измерения и изменения задержки кадра выполняются во время сеанса упреждающего измерения и/или интервала диагностики	Y.1731
	Измерение пропускной способности		Измерение пропускной способности при помощи передачи кадров с возрастающей скоростью (вплоть до теоретического максимума), отображения процента принятых кадров и определения скорости, на которой начинается отбрасывание кадров	Y.1731 802.3ah
	Измерение синтетических потерь [Synthetic Loss Measurement function]	ETH-SLM	Измерение синтетических потерь — это механизм измерения потери кадров с использованием синтетических кадров, а не трафика данных. Соответственно, рассчитывается количество отправленных и принятых и количество потерянных синтетических кадров. Это можно рассматривать как статистическую выборку и использовать для аппроксимации коэффициента потери кадров для трафика данных. Функция ETH-SLM собирает счетчики, чтобы вести счет переданных и полученных синтетических кадров между несколькими МЕР	Y.1731

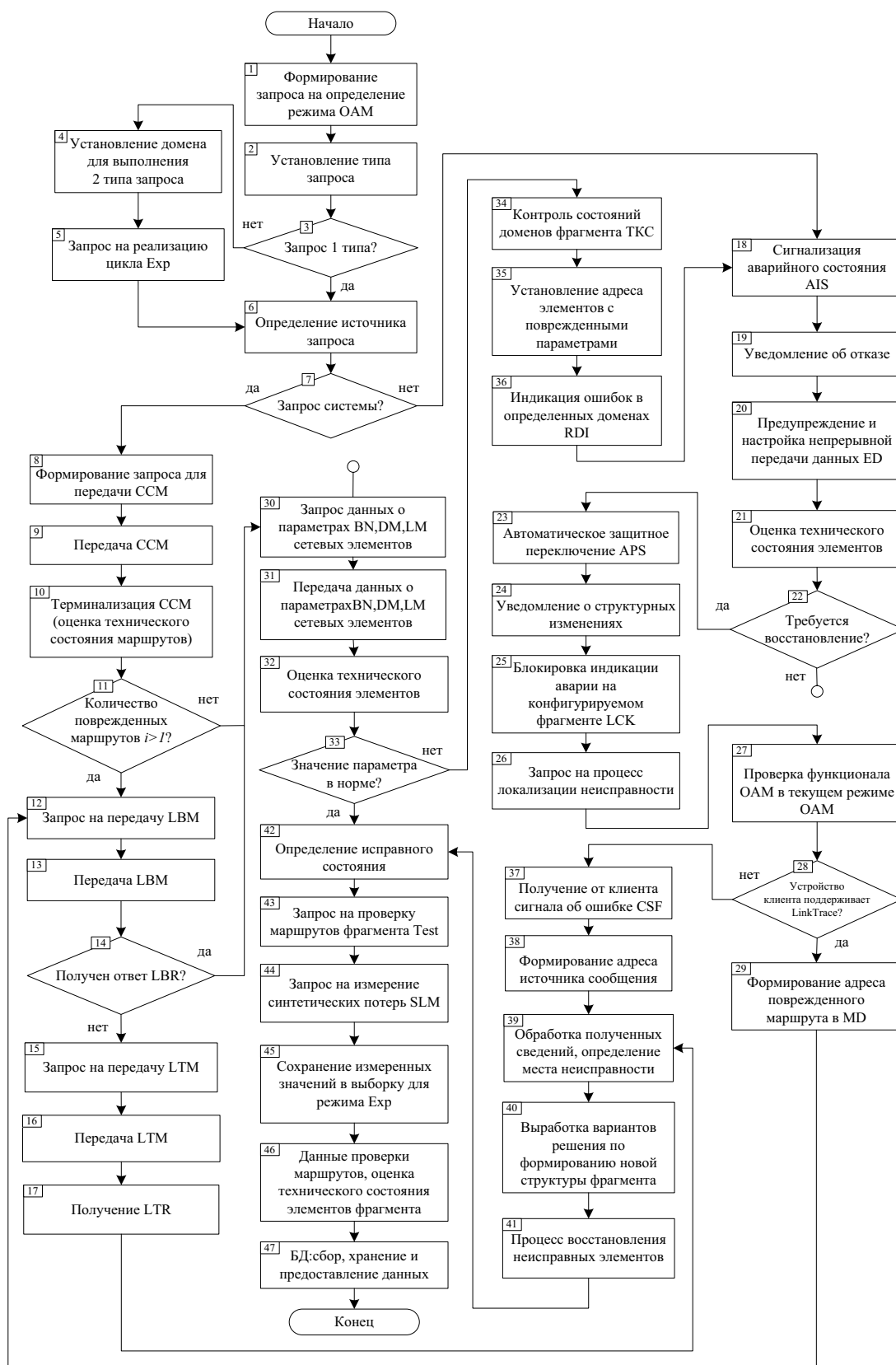
Примечание. MD (maintenance domain) — администрирующий домен; МЕР/МІР — maintenance association end point/maintenance domain intermediate pointоконечная/промежуточная точка группы объектов обслуживания (домена); МЕГ (maintenance entity group) — группа объектов обслуживания.

предупреждений (ED) о том, что некоторый неисправный МІР/МЕР отправляет поврежденные кадры, происходит защитное переключение (APS — Automatic Protection Switching), и после установления MD и серии MD, подверженных реконфигурации, блокируют индикацию аварии на нем/них. Последнее необходимо для того, чтобы не перегрузить трафик сообщениями об авариях в связанных MD. Далее с целью восстановления работы поврежденных устройств необходимо локализовать место повреждения. Для этого может быть два сценария в зависимости от программного функционала устройств: в случае если устройства MD не содержат необходимый функционал ОАМ для локализации неисправности (механизм проверки функций ОАМ по комплектации установленных программ произво-

дителя-поставщика (VSP)), устройство самостоятельно сигнализирует об ошибке сигнала клиента с помощью извещения CSF. В кадр этого сообщения встроен адрес отправителя МІР/МЕР.

Далее следуют процессы изменения структуры фрагмента ТКС и восстановления неисправного/ных устройств ТКС. После всего цикла управления текущий фрагмент проходит тестовую проверку связности Test и измерение синтетических потерь (Synthetic Loss Message — SLM), результаты которой сохраняются в режим работы ОАМ — Exp.

Перечисленные сценарии алгоритма одинаково включают в себя подпроцесс измерения параметров сетевых элементов. В данный подпроцесс можно включить как параметры, характеризующие передачу данных в рамках встроенных



Комплексный алгоритм процессов контроля и управления состоянием сетевых устройств в СУ ТКС

механизмов ОАМ (например, механизм уведомления о полосе пропускания между MD сервера и MD клиента (BN), измерения задержек (DM), измерения числа потерянных кадров (LM)), так и собственные параметры сетевых устройств ТКС. Набор измеряемых параметров настраивается программным способом, собирается, хранится и извлекается в глобальной базе данных СУ ТКС, где также может быть адаптирован по параметрам для режима Exр.

Алгоритм, представленный на рисунке, имеет условные блоки начала и конца, поскольку предусматривают непрерывное функционирование ТКС и непрерывный процесс управления ее процессами. Модернизация комплекса механизмов ОАМ, участвующих в процессах контроля и управления состоянием ТКС, позволит увеличить оперативность управления и восстановления работоспособного состояния за счет своевременной диагностики устройств, извещения об изменении параметров устройств, изменения маршрута или конфигурации фрагмента ТКС, а также возможности экспериментального режима работы процессов для сбора эксплуатационных данных и формирования функций распределения на их основе.

Особенность алгоритма заключается в независимости отдельных его сценариев друг от друга, обеспечивая тем самым гибкость управления и более высокую степень адаптации СУ к изменениям состояния как отдельных элементов ТКС, так и всей сети связи. Все это позволит перспективной СУ обеспечивать требуемые значения устойчивости функционирования ТКС.

Заключение

В работе предложена расширенная классификация механизмов ОАМ для технологии Carrier Ethernet, что позволяет актуализировать ранее полученные результаты в области функционирования ТКС и моделирования отдельных процессов контроля и управления на основе механиз-

мов ОАМ. Полученная алгоритмическая модель позволяет концептуально связать механизмы и процессы, реализующие отдельные задачи управления, и алгоритмы контроля и управления состоянием ТКС. Комплексный вид алгоритма позволяет моделировать входящие в него процессы функционирования ТКС как в непрерывном режиме, так и с выделением отдельных подпроцессов для детализации полученных результатов.

Экспериментальный режим работы механизмов ОАМ в алгоритмической модели функционирования ОАМ в ТКС реализован как отдельный контур механизмов, позволяющий параллельно и непрерывно собирать статистическую информацию по каждому подпроцессу, соответствуя требованиям по адекватности исходных данных моделирования реальному объекту управления. При этом собранная информация после реализации одной итерации контура попадает в подсистему хранения и обработки информации, где вносит актуальные обновления для подсистемы прогнозирования и оценки текущего и исторического состояния ТКС. Такой уникальный режим функционирования ОАМ позволит получать актуализированные результаты по реализации процессов управления ТКС.

Библиографический список

1. Компания Телеком Нетворкс. World Wide Packets Решения Carrier Ethernet. — 2008. — С. 4–10.
2. Идлис А. CISCO. Эволюция транспортной инфраструктуры оператора связи: Cisco Carrier Packet Transport / А. Идлис. — Презентация Cisco Expo, 2011.
3. Патенко В. CISCO. Обзор Ethernet OAM / В. Патенко. — Презентация Cisco Expo, 2008.
4. Международный союз электросвязи. МСЭ-Т G.8013/Y.1731. Функции и механизмы эксплуатации, управления и технического обслуживания (OAM) для сетей на базе Ethernet — 2015. — С. 1–2. С 7. С. 10–36.
5. Галкин А. М. Технология Ethernet (к 35-летию изобретения) / А. М. Галкин, Д. М. Сепиашвили, Г. Г. Яновский // Вестник связи. — 2008. — № 8. — С. 49–57.

6. 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.

7. Логин Э. В. Технология Carrier Ethernet для построения транспортных сетей / Э. В. Логин, А. К. Канаев // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании: сборник научных статей IV Международной конференции СПбГУТ, 3–4 марта 2015 г. — Т. 2. — С. 1065–1069. — URL: www.sut.ru/doci/ nauka/4.apino.2015.sut.2.pdf.

8. Логин Э. В. Анализ функций ОАМ в технологии Carrier Ethernet / Э. В. Логин, А. К. Канаев // Труды 71-й Международной научно-технической конференции, посв. Дню радио. — СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. — С. 241–242.

9. Логин Э. В. Формирование алгоритма управления отказами в телекоммуникационной сети связи, построенной по технологии Carrier Ethernet / Э. В. Логин, А. К. Канаев // Сборник материалов секции «Информационные технологии на транспорте» XV Международной конференции «Региональная информатика-2016». — СПб.: ПГУПС, 2016 — С. 95–100.

10. Логин Э. В. Механизмы оценки состояния устройств в сетях с технологией Carrier Ethernet /

Э. В. Логин, А. К. Канаев // Труды 72-й межвузовской научно-технической конференция СПбНТОРЭС им. А. С. Попова, посвященной Дню радио: сборник трудов. Секция: «Телекоммуникации на железнодорожном транспорте» (труды конференции 27–29 апреля 2017 г.). — СПб., 2017. — С. 240–241.

11. Логин Э. В. Сценарий управления неисправностями в сетях с технологией Carrier Ethernet с помощью механизмов ОАМ / 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 апреля 2017 г.). — СПб., 2017. — С. 243–244.

Дата поступления: 09.05.2022

Решение о публикации: 24.05.2022

Контактная информация:

КАНАЕВ Андрей Константинович — д-р техн. наук, профессор кафедры «Электрическая связь»;

kanaev@pgups.ru

ЛОГИН Элина Валерьевна — канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрическая связь»; elinabeneta@yandex.ru

ГРИШАНОВ Илья Сергеевич — студент;

ilia911119@gmail.com

Complex Algorithm for Control and Management Processes of Carrier Ethernet Telecommunication Network Using OAM Mechanisms

A. K. Kanaev, E. V. Login, I. S. Grishanov

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

For citation: Kanaev A. K., Login E. V., Grishanov I. S. Complex Algorithm for Control and Management Processes of Carrier Ethernet Telecommunication Network Using OAM Mechanisms // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2022, vol. 19, iss. 2, pp. 266–275. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2022-2-266-275

Summary

Purpose: Analysis, classification of a variety of mechanisms in OAM (Operations, Administration and Management) methodology, development of an algorithmic model of the proposed classification taking into account the features of managing telecommunication network, which functions with Carrier Ethernet technology, that will allow to improve software-technology complex of subsystems and axrise the efficiency of telecommunication network management. **Methods:** System/control theory provisions, simulation modeling and algorithmic structure design methods. **Results:** Classification of a variety of OAM mechanisms has been obtained which will enable adequately upon goals and tasks of telecommunication network management the inclusion of unique processes and mechanisms of OAM methodology into the control/management of devices of telecommunication network, based on Carrier Ethernet technology; comprehensive algorithm of OAM processes for managing Carrier Ethernet network devices has been developed that will allow to hold simulation modeling and evaluation of individual subprocesses and entire algorithm functioning. **Practical significance:** Expansion of the list of processes implemented in OAM telecommunication networks, that're based on Carrier Ethernet technology, will allow achieving the required level of management efficiency as well as conducting a number of studies, in particular, simulation modeling of control systems with inclusion into a model of being controlled object, functioning in accordance with standardized OAM mechanisms. Possibility to obtain results in AnyLogic simulation modeling environment will allow to use them as an independent program for remote setting at technological level, accordingly telecommunication network management systems, of network devices.

Keywords: Ethernet, Carrier Ethernet, carrier-class Ethernet, OAM, OAM mechanisms and standards.

References

1. *Kompaniya Telekom Networks. World Wide Packets Resheniya Carrier Ethernet* [Telecom Networks Company. World Wide Packets Solutions Carrier Ethernet]. 2008, pp. 4-10. (In Russian)
2. CISCO. *Evolyutsiya transportnoy infrastruktury operatora svyazi: Cisco Carrier Packet Transport/Andrey Idlis. – Prezentatsiya Cisco Expo* [CISCO. The evolution of the transport infrastructure of a telecom operator: Cisco Carrier Packet Transport]. 2011. (In Russian)
3. CISCO. *Obzor Ethernet OAM/Patenko Vladislav. – Prezentatsiya Cisco Expo* [CISCO. Overview of Ethernet OAM]. 2008. (In Russian)
4. *Mezhdunarodnyy soyuz elektrosvyazi. MSE-T G.8013/Y.1731. Funktsii i mekhanizmy ekspluatatsii, upravleniya i tekhnicheskogo obsluzhivaniya (OAM) dlya setey na baze Ethernet* [International Telecommunication Union. ITU-T G.8013/Y.1731. Functions and mechanisms of operation, management and maintenance (OAM) for networks based on Ethernet]. 2015, pp. 10-36. (In Russian)

5. Galkin A. M., Sepiashvshi D. M., Yanovskiy G. G. Tekhnologiya Ethernet (k 35- letiyu izobreteniya) [Ethernet technology (to the 35th anniversary of the invention)]. *Vestnik svyazi* [Messenger of communication]. 2008, I. 8, pp. 49-57. (In Russian)
6. Login E. V., Kanaev A. K. Perspektivnaya telekommunikatsionnaya set' sleduyushchego pokoleniya na osnove tekhnologii Carrier Ethernet [Future-proof next generation telecommunications network based on Carrier Ethernet technology]. *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy* [Bulletin of the results of scientific research]. I. 4 (13), 2014, pp. 69-76. (In Russian)
7. Login E. V., Kanaev A. K. *Tekhnologiya Carrier Ethernet dlya postroeniya transportnykh setey. Sbornik nauchnykh statey IV mezhdunarodnoy konferentsii SPbGUT «Aktual'nye problemy infotelekomunikatsiy v nauke i obrazovanii» 3-4 marta 2015* [Ethernet technology for building transport networks. Collection of scientific articles IV international conference SPbSUT "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)
8. Login E. V., Kanaev A. K. Analiz funktsiy OAM v tekhnologii Carrier Ethernet [Analysis of OAM functions in Carrier Ethernet technology]. *Trudy 71-oy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posv. Dnyu radio* [Proceedings of the 71st International Scientific and Technical Conference, dedicated. Radio Day]. St. Petersburg: SPbGETU «LETI» Publ., 2016, pp. 241-242. (In Russian)
9. Login E. V., Kanaev A. K. Formirovanie algoritma upravleniya otkazami v telekommunikatsionnoy seti svyazi, postroennoy po tekhnologii Carrier Ethernet [Formation of a failure management algorithm in a telecommunications network built using Carrier Ethernet technology]. *Sbornik materialov seksii «Informatsionnye tekhnologii na transporte» XV mezhdunarodnoy konferentsii «Regional'naya informatika-2016»* [Collection of materials of the section "Information Technologies in Transport" of the XV International Conference "Regional Informatics-2016"]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2016, pp. 95-100. (In Russian)
10. Login E. V., Kanaev A. K. Mekhanizmy otsenki sostoyaniya ustroystv v setyakh s tekhnologiyey Carrier Ethernet [Mechanisms for assessing the state of devices in networks with Carrier Ethernet technology]. *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)* [Proceedings of the 72nd interuniversity scientific and technical conference of SPbNTORES named after. A.S. Popov, dedicated to Radio Day: collection of works Section: "Telecommunications in railway transport", (conference proceedings 27-29.04.2017)]. St. Petersburg: 2017, pp. 240-241. (In Russian)
11. Login E. V., Kanaev A. K. Stsenariy upravleniya neispravnostyami v setyakh s tekhnologiyey Carrier Ethernet s pomoshch'yu mekhanizmov OAM [Fault management scenario in networks with Carrier Ethernet technology using OAM mechanisms]. *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)* [Proceedings of the 72nd interuniversity scientific and technical conference of SPbNTORES named after. A.S. Popov, dedicated to the Day of Radio: collection of works Section: "Telecommunications in railway transport", (conference proceedings 27-29.04.2017)]. St. Petersburg: 2017, pp. 243-244. (In Russian)

Received: May 9, 2022

Accepted: May 24, 2022

Author's information:

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

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

Ilya S. GRISHANOV — Student; ilia911119@gmail.com