



**Озрен
Копайтич**

Озрен Копайтич

Эрикссон Никола Тесла а.о., Загреб, Хорватия
Ericsson Nikola Tesla d.d., Zagreb, Croatia

Кljučne riječi:

Ethernet

Сеть доступа общего пользования

Широкополосные сети доступа

Сеть Ethernet общего пользования

Виртуальная локальная
вычислительная сеть

Коммутированная сеть Ethernet

Key words:

Ethernet

Public Access Networks

Broadband Access Networks

Public Ethernet

Virtual Local Area Network, VLAN

Switched Ethernet

Применение технологии Ethernet при построении телекоммуникационных сетей доступа общего пользования

Резюме

Ныне Ethernet быстро превращается в главную транспортную технологию современных телекоммуникационных сетей. В последние тридцать лет эта технология полностью овладела сегментом деловых сетей, а в настоящее время Ethernet лидирует и в домене построения общественных широкополосных сетей доступа. Компания Эрикссон опознала эту промышленную тенденцию и приспособила и разработала решения для построения сетей Ethernet общего пользования в составе своего концепта Public Ethernet. Очевидно, применение технологии Ethernet

расширяется и на опорные транспортные сети, в которых на протяжении многих лет доминировали сложные и дорогие технологии, наподобие синхронной цифровой иерархии (SDH - Synchronous Digital Hierarchy) и технологии уплотнения с разделением по длине волны (WDM - Wave Division Multiplex). Хотя сегодня трудно себе представить, что Ethernet заменит существующие технологии в опорных сетях общего пользования, исследуется и разрабатывается, так называемая, carrier Ethernet (несущая) технология, а также модифицируется стандарт, который должен содержать некоторые новые, передовые механизмы, нужные для построения опорных сетей общего пользования.

В данной статье описаны главные характеристики технологии Ethernet, рассмотрена проблематика применения технологии Ethernet при построении телекоммуникационных сетей доступа общего пользования (Public Ethernet), а также вкратце описаны механизмы и ключевые технологические компоненты, примененные в решении компании Эрикссон для сетей Ethernet общего пользования.

Applying Ethernet in public access telecom networks

Abstract

Today, Ethernet is rapidly becoming a primary transport technology in modern telecom networks. Over more than 30 past years Ethernet has completely overtaken the private and business networking segment and now strongly proceeds into the public broadband domain taking the lead as the preferred technology for deployment of public broadband access networks. Ericsson timely recognized this trend, adjusting and developing its broadband access solution portfolio named Public Ethernet.

Furthermore, it is now obvious that Ethernet is entering the core network area, traditionally dominated by complex and expensive technologies such as Synchronous Digital Multiplex (SDH) and Wave Division Multiplex (WDM). Although it is hard to imagine a complete replacement of incumbent transmission technologies with Ethernet-based system it is hard not to notice strong industry focus on re-search and development of carrier-based Ethernet, as well as modification of the existing standard in order to include some advanced capabilities. The goal is to create an effective Ethernet version (variant) able to either replace or complement the existing core transmission technologies.

This article describes major Ethernet characteristics using the "chosen topics" approach, discusses application of Ethernet in deployment of public broadband access networks and briefly looks into the components and mechanisms used in Ericsson Public Ethernet concept.

1. Введение

Ныне Ethernet самая расширенная сетевая технология при реализации местных и деловых сетей, а в прошедшие несколько лет она освоила первое место в области реализации широкополосных сетей общего пользования. В этих сетях технология Ethernet чаще всего появляется в агрегационном домене (домен концентрации) систем, основывающихся на технологии доступа DSL (Digital Subscriber Line – Цифровая абонентская линия).

Типичная архитектура широкополосных сетей общего пользования содержит три основные технологические целостности (домена):

1. Домен доступа. В случае технологии xDSL чаще всего используется существующая медная пара проводов. В последнее время технология Ethernet появляется и в домене доступа, с использованием медного или оптического носителя (средство передачи). В ближайшем будущем ожидается значительный рост числа пользователей, подключающихся к широкополосной сети общего пользования с помощью беспроводных сетевых технологий, которые основываются на стандартах IEEE 802.x (например, 802.11, 802.15, 802.16, 802.16e, 802.20).

2. Агрегационный домен (домен концентрации) реализуется с помощью технологии Ethernet, при чем первоначальная классификация нагрузки проводится в граничных узлах сети – коммутаторах сети Ethernet (Ethernet Switches).

3. Опорный домен, базирующийся на Интернет протоколе (IP – Internet Protocol), или короче – IP опорный домен. Речь идет об опорной IP сети (IP CN – IP Core Network), или IP сети доступа (CAN – IP Connectivity Access Network). Опорный домен начинается в точке завершения сетевой среды технологии Ethernet, чаще всего на первом IP граничном маршрутизаторе (IP edge router). В этой же точке завершается классификация нагрузки, установленной в агрегационном домене, и проводится классификация нагрузки с помощью альтернативных механизмов обеспечения качества услуги, например, DiffServ (дифференцированные услуги), IntServ (интегрированные услуги), многопротокольная коммутация на основе признаков MPLS (Multi-Protocol label Switching), и т.д.

Вначале реализация технологии Et–hernet основывалась на совместном использовании носителя (средства передачи), а также на методе выявления коллизий, который обеспечивал возможность распределения доступа между большим числом оконечных пользователей. Увеличение пропускной способности технологии Ethernet, общий прогресс технологии и новые требования пользователей, стимулировали развитие Ethernet в направлении звездообразной топологии, в которой каждому пользователю выделяется собственный сегмент, т.е. устраняется проблематика совместного использования носителя (средства передачи), а также понятия разделяемого домена доступа. Ключевым сетевым элементом становится коммутационный узел Ethernet.

В широкополосной сети доступа важное место занимают граничные коммутаторы Ethernet (edge switch, edge node). Одними из основных функций этих узлов являются: классификация входящей и исходящей нагрузки, разграничение доменов доступа/пользователей, обеспечение качества услуги и определение приоритета нагрузки.

2. Обобщенно о технологии Ethernet

При знакомстве с технологией Ethernet полезно вспомнить основные исторические детали ее развития, а также описать главные характеристики коммутируемой сети Ethernet: подуровень доступа к носителю (средству передачи), двунаправленная передача и маркировка Ethernet фреймов (VLAN tagging).

2.1. Краткий исторический обзор развития технологии Ethernet

Концепт технологии Ethernet появился в 1973 году, в лабораториях корпорации Xerox (Palo Alto, Калифорния, США). Создателем концепта был доктор наук Robert Metcalf, а технология отличалась совокупной пропускной способностью равной 2,94 Мбит/с. Этот первоначальный концепт, часто называемый экспериментальный Ethernet, был реализован в первой коммерческой, сетевой рабочей станции с графическим пользовательским интерфейсом Xerox Alto.

Организованные активности по стандартизации технологии Ethernet начались лишь в 1979 году, когда компании Xerox, Intel и DEC (Digital Equipment Corporation) подписали соглашение о совместном развитии, коммерциализации и стандартизации технологии Ethernet. Первая ревизия стандартизованного решения Et–hernet объявлена в конце 1980 года, а вторая в 1982 году. Обе версии отличались физической пропускной способностью равной 10 Мбит/с.

Почти одновременно с консорциумом DEC-Intel-Xerox (DIX) Институт инженеров по электронике и радиоэлектронике, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), начал работу на Проекте 802, в составе которого технологией Ethernet первично занималась рабочая группа (Working Group) 802.3. Первый стандарт, объявленный в 1983 году, определил IEEE стандарт для локальной вычислительной сети (LAN – Local Area Network), основывающейся на технологии Ethernet. Развитие рынка, возникновение новых требований (расширение домена коллизий, введение широкого спектра различных типов носителей, и т.п.), а также стремительный рост установленной базы Ethernet оборудования, повлияли на расширение основной структуры стандартизации дополнительными спецификациями и рекомендациями.

Следующий важный шаг на пути развития технологии Ethernet произошел в 1992 году, когда компания Grand Junction Networks разработала систему с физической (теоретической) пропускной способностью равной 100 Мбит/с. Стандарт вскоре стал известным под названием Fast Ethernet (FE – быстрый Ethernet), и в настоящее время является ведущим типом технологии Ethernet в абонентском шлейфе частных локальных сетей.

В 1998 году организация IEEE стандартизовала новую версию (тип) технологии Ethernet – Gigabit Ethernet (GE – Гигабит Ethernet), совокупная емкость которой равнялась 1 Гбит/с, а несколько лет позднее последовало следующее расширение полосы передачи до 10 Гбит/с. Физическим носителем такой емкости почти исключительно является оптический кабель.

Развитие технологии Ethernet продолжается ускоренным темпом. Технологический принцип ширится на беспроводные сети введением передовых алгоритмов для контроля нагрузки, маршрутизации и качества услуг, а также увеличением совокупной емкости на 20, 30 и даже свыше 100 Гбит/с. Сти-

мулом развития технологии Ethernet является ее введение в роли главного механизма инкапсуляции (encapsulating – упаковка) в общественные и городские широкополосные сети, а также расширение Ethernet коммутационных сетей в направлении агрегационного домена (домен концентрации) широкополосных сетей доступа.

2.2. Соотношение между IEEE 802.3 и эталонной моделью OSI

На Рис. 1. представлены логические уровни модели IEEE 802.3 и их положение в отношении на семиуровневую эталонную модель взаимодействия открытых систем OSI (Open Systems Inteconction). Как и в случае всех IEEE 802 протоколов, уровень управления передачей данных (data link layer) OSI модели разделен на два IEEE 802 подуровня – подуровень управления доступом к среде передачи (MAC - Medium Access Control,) и т.н. подуровень MAC клиента.

Подуровнем MAC клиента может быть:

- Подуровень управления логическим каналом (LLC - Logical Link Control), если коммуникационным объектом является оконечное оборудование данных (DTE - Data Terminal Equipment). Подуровень LLC определяет интерфейс между

В современных широкополосных сетях объекты коммуникационных мостов не существуют как самостоятельные сетевые единицы, они интегрированы в логическую целостность коммутационного узла.

Так как спецификации подуровня LLC и объектов коммуникационного моста совместные для всех IEEE 802 протоколов и реализаций, совместимость между различными вариантами и физической средой передачи осуществляется внутри подуровня MAC клиента.

Подуровень MAC клиента управляет доступом к каждому отдельному типу носителей и специфический для каждого варианта IEEE 802.3. Все стандартизированные подуровни MAC клиента должны удовлетворять основной группе логических функций и специфическим расширениям, характерным для отдельных носителей, емкости, физических характеристик, и т.д.

Физический уровень IEEE 802.3 специфический для каждого типа носителя, заданной емкости передачи и кодирования сигнала. Примером может послужить Gigabit Ethernet, который поддерживает медные и оптические кабели (носители), но каждый реализованный вариант определяет отдельный метод кодирования сигнала, тип носителя, и т.д.

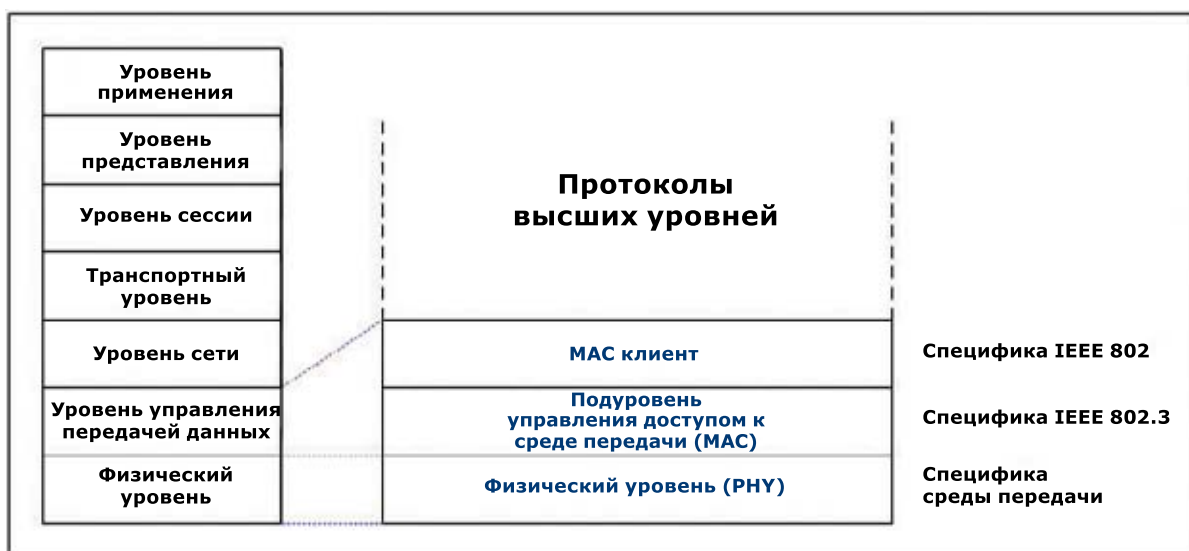


Рис. 1. Позиция технологии Ethernet (стандартизированной в проекте IEEE 802) в отношении на эталонную OSI модель

подуровнем MAC и высшими уровнями стека протоколов оконечного оборудования. Подуровень LLC определен стандартами IEEE 802.2.

- Объект коммуникационного моста, если коммуникационным объектом является соединительный сетевой элемент, например, коммутационный узел или маршрутизатор; аппаратура передачи данных (DCE - Data Communication Equipment). Объект коммуникационного моста определяет коммуникационную функциональность (в случае технологии Ethernet речь идет о коммутации Ethernet фреймов) между одинаковыми или различными сетевыми технологиями (например, Ethernet-Ethernet, Ethernet-Token Ring, и т.д.). Объект определен стандартом IEEE 802.1.

Значит, стандарт IEEE 802.3 специфицирует и Ethernet подуровень управления доступом к среде передачи, и детали, связанные с физическим слоем, т.е. тип и характеристики носителя, характеристики соединителя (разъёма), и т.п.

Подуровень управления доступом к среде передачи одновременно обнаруживает и занятость коммуникационного носителя. Вследствие введения принципа коммутации, т.е. реализации Ethernet коммутаторов, разграничены отдельные коллизийные домены. Кроме того, коммуникационные линии связи превратились в двусторонние, двухточечные соединения (full duplex Point to Point или PtPi - Peer to Peer). Все это обеспечило возможность построения больших и сложных систем, способных обслуживать большое количество нагрузки, а функция обнаружения коллизий стала ненужной.

Подуровень управления доступом к среде передачи служит для выполнения двух основных задач:

- инкапсуляции (encapsulating – упаковка) данных LLC, подготовки фреймов для передачи, синтаксического анализа

(parsing) и обнаружения ошибок в принятых фреймах;

- надзора доступа к носителю, включая инициирование передачи фреймов и процедуру восстановления линии связи в рабочем состоянии после сбоя (failure recovery procedures).

2.3. Формат Ethernet фреймов согласно спецификации IEEE 802.3

Существуют два вида форматов Ethernet фреймов:

- Инкапсуляция по типу фрейма (Type Encapsulation) – общепринятый формат, представляет оригинальный формат, определенный в DIX версии технологии Ethernet. На практике часто обозначается как Ethernet 2 (например, в анализаторах протоколов типа Ethereal).
- Инкапсуляция по длине фрейма (Length Encapsulation)- оригинальный формат IEEE 802.3, который никогда не достиг популярности инкапсуляции по типу фрейма.

Спецификации IEEE 802.3 поддерживают обе инкапсуляции от 1997 года. Важно напомнить, что на практике широкополосные сети, основанные на технологии Ethernet, в первую очередь используют инкапсуляцию по типу фрейма, которая детально описана в продолжение этой главы. Рис. 2. наглядно иллюстрирует оба стандартных формата Ethernet фреймов.

Кроме основного формата Ethernet фрейма, стандартизованы и расширения этого формата, например, для применения принципа CSMA/CD в решении Gigabit Ethernet, или для введения VLAN обозначений фреймов. Характерным для всех форматов Ethernet фреймов является наличие основных полей, которые имеют следующее значение:

- Преамбула/SFD: Все Ethernet фреймы начинаются 8-ю октетами, содержащими преамбулу и обозначение начала фрейма (SFD - Start of Frame Delimiter). Преамбула используется для синхронизации приемника по входящему фрейму, и состо-

ит из семи октетов с заданным значением 0xAA (Вх10101010). SFD также имеет фиксированное значение (0xD5, Вх11010101). Таким образом, достигнут следующий эффект - 7 последовательных октетов типа 10101010... синхронизируют приемник по входящей последовательности битов, а последний октет обозначает конец преамбулы и начало октета (две последовательные бинарные единицы в начале октета).

- Адрес назначения: Поле длины 48 битов содержит адрес назначения фрейма. Сам адрес может быть индивидуального (значение первого бита равно 0) или группового типа (значение первого бита слева равно 1).

- Исходный адрес: Поле длины 48 битов содержит адрес исходного объекта. Первый бит исходного адреса всегда равен 0, т.е. адрес всегда индивидуального типа (unicast).

- Тип/Длина: Детальное обсуждение проблематики этого поля потребовало бы много времени и поэтому здесь дано лишь основное описание функций и назначения поля. Поле состоит из 32 битов и может иметь два значения, в зависимости от примененного типа инкапсуляции:

→ Инкапсуляция по типу фрейма – определяет протокол, который используется “над” Ethernet уровнем, т.е. клиент протокол (например, TCP/IP), используя идентификатор протокола (значение поля от 1536 до 65535).

→ Инкапсуляция по длине фрейма – обозначает размер поля “Данные + дополнение”. Так как в технологии Ethernet максимальная длина дейтаграммы (пакет данных, содержащий свой адрес доставки и передаваемый через сеть) равна 1500 октетов, значение поля может быть от 1 до 1500.

- Данные + дополнение: Серия, состоящая из N октетов, значение которых не задано заранее (значение вносит коммуникационный протокол высшего уровня). Если число октетов данных менее 46, полю добавляется дополнение (padding), которым длина поля увеличивается до 46 октетов.

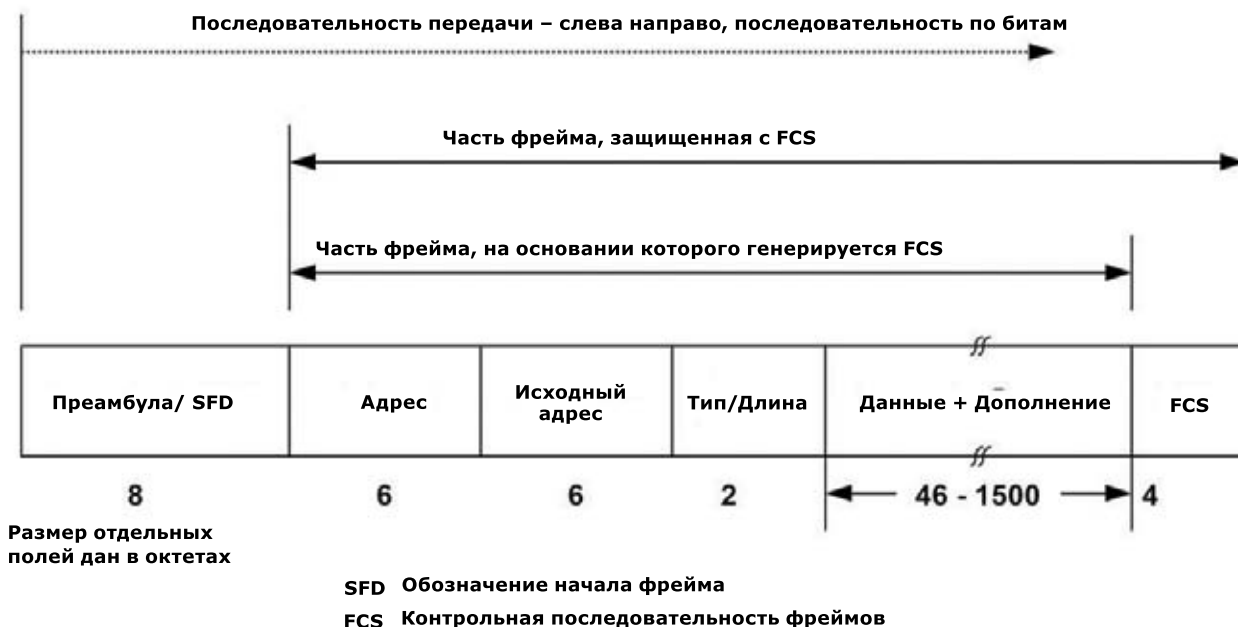


Рис. 2. Основные виды инкапсуляции и форматов Ethernet фрейма

• FCS (Frame Check Sequence) – Контрольная последовательность фреймов: Поле длины 4 октета, которое для защиты содержит циклический избыточный код (CRC - Cyclic Redundancy Check). Поле генерирует MAC объект на исходной стороне, используя при этом стандартизированный полином $G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$.

2.4. Двусторонняя передача фреймов

Вообще говоря, технология Ethernet первоначально не была задумана как двусторонняя (full-duplex) коммуникационная модель. Возможность двусторонней коммуникации обеспечена введением коммутационных узлов, а в документах по стандартизации она все еще представлена как опциональная функция.

Следовательно, двусторонняя коммуникация это опциональная функция подуровня управления доступом к среде передачи, которая обеспечивает возможность одновременной передачи и приема Ethernet фреймов по прямой, двухточечной (PTP - point-to-point) линии связи. Когда анализируется сама функциональность двусторонней коммуникации, она гораздо проще по сравнению с традиционной, односторонней (half-duplex) коммуникацией, прежде всего из-за отсутствия комплексного механизма для надзора и управления доступом к носителю (CSMA/CD - множественный доступ с контролем несущей и обнаружением коллизий).

В регулярных рабочих условиях (т.е. когда на линии связи

Современные сети используют исключительно двустороннюю передачу фреймов.

2.5. Управление передачей данных по двусторонним линиям связи

В отличие от традиционного метода разделяемого (совместно используемого) доступа к носителю, применявшего алгоритм CSMA/CD для управления доступом к полосе передачи, а значит и для управления передачей данных (flow control), двусторонние линии связи требуют введения альтернативного механизма для управления потоком данных. Назначение этого механизма предотвратить перегрузку прямых коммуникационных соединений. При этом важно подчеркнуть, что вопрос о причине возникновения перегрузок не служит как входящий элемент в работе механизма управления передачей данных.

Механизм управления передачей данных в случае двусторонней коммуникации рудиментарный и основывается на т.н. фреймах-паузах (Pause frame), которые точка назначения (приемник) посылает исходной точке (передатчику).

После принятия фрейма-паузы, исходная точка прекращает передачу фреймов в соответствии с интервалом времени, которое определила точка назначения. На Рис. 4. представлен механизм управления передачей данных, специфицированный стандартом IEEE 802.3.

Если перегрузка в точке назначения будет устранена до истечения интервала, определенного во фрейме-паузе, точка



Рис. 3. Схема двусторонней (full-duplex) линии связи в технологии Ethernet

нет перегрузки) Ethernet фрейм посылается в момент, когда фрейм готов для передачи на физический носитель, а после истечения межфреймового защитного интервала (IFG - Inter-Frame Gap). Минимальное значение межфреймового защитного интервала определено для каждой отдельной ширины полосы передачи, как это показано на Рис. 3.

Двусторонняя коммуникационная модель расширена введением технологии Ethernet, которая поддерживает скорости до 10/100 Мбит/с (FE - Fast Ethernet). Позднее, с введением скорости 1 Гбит/с, модель, фактически, стала стандартом в современных сетях, основывающихся на технологии Ethernet.

назначения посылает, так называемый, нулевой фрейм-паузу (Zero Pause frame), которым сообщает исходной точке, что она может продолжить передачу фреймов. Если же и по истечении заданного интервала ожидания (time to wait interval) перегрузка не устранена, точка назначения посылает новый фрейм-паузу с новым значением времени ожидания.

Можно заметить, что механизм управления передачей данных технологии Ethernet не учитывает проблематику запаздывания из конца в конец, неустойчивость во времени поступления фреймов (jitter) или возможные повторные передачи вследствие отбрасывания пакетов. Внедрение техноло-

гии Ethernet предполагает, что такими явлениями будут занимать передовые механизмы управления потоком данных, реализованные протоколами высших уровней (например, TCP, SCTP, RTP, прикладные протоколы, и т.д.), оконечные узлы, устройства-посредники (проху) и граничные маршрутизаторы (Edge Routers) в сетях, основанных на Интернет протоколе (IP).

2.6. Обозначение виртуальных локальных сетей

Возможность обозначения виртуальных локальных сетей, VLAN tagging (Virtual Local Area Network tagging), введена стандартом IEEE 802.Q. Интегральной частью стандарта является и его опция IEEE 802.p, которая внутри нового поля Ethernet фрейма определяет дополнительные биты приоритета для сигнализации об уровне приоритета данного фрейма (priority bits). VLAN tagging:

- Обеспечивает возможность введения приоритета обслуживания и коммутации Ethernet фреймов, что, практически, вводит в технологию Ethernet механизм для управления качеством услуги.
- Обеспечивает возможность логического разделения физической локальной сети на несколько подсетей, что вводит дополнительные элементы надежности сети, облегчает физическое планирование сетей, разделение нагрузки отдельных групп пользователей (или групп услуг в сети доступа общего пользования).
- Упрощает управление сетью с точки зрения реконфигурации архитектуры, перемещения пользователей, планирования развития сети и введения новых услуг.

Ethernet фрейм с обозначением виртуальных локальных сетей сохраняет форму стандартного MAC фрейма, в котором между адресом исходной точки и полем тип/длина вставлено заглавие виртуальной локальной сети, т.е. VLAN заглавие (поле) длины 4 октета (Рис. 5).

Заглавие типа VLAN содержит два информационных элемента:

- Идентификатор VLAN заглавия (VLAN type ID) – заранее определенное шестнадцатеричное значение 0x8100, служит для обозначения наличия и начала VLAN заглавия.

- Управляющая информация – содержит информацию о приоритете фрейма (3 бита) и идентификацию виртуальной локальной сети, которой принадлежит фрейм (VLAN ID, 11 битов).

Приемная сторона коммуникационного Ethernet канала (точка назначения) анализирует значение поля тип/длина и, опознав, что речь идет о VLAN фрейме, выполняет одну из следующих двух операций:

- Если точкой назначения (т.е. MAC объект на приемной стороне) является интерфейс на Ethernet коммутационном узле, фрейм коммутируется в соответствии с заданным приоритетом в направлении всех интерфейсов, которые принадлежат определенной виртуальной локальной сети.

- Если точкой назначения является интерфейс на оконечной коммутационной точке, MAC объект устраняет VLAN заглавие и продолжает обработку, словно речь идет об обычном фрейме.

3. Применение технологии Ethernet в агрегационных сетях и сетях доступа общего пользования

Основные характеристики технологии Ethernet – простота и низкая стоимость реализации – причина ее популярности при развитии существующих и построении новых широкополосных сетей. В прошедшие 30 лет технология Ethernet почти полностью вытеснила остальные технологии из области локальных сетей и широкополосных сетей доступа, а в последние годы та же тенденция наблюдается и в области коммуникационных сетей общего пользования.

При реализации опорной сети общего пользования и коммуникационной сети доступа нужно иметь в виду несколько технологических требований, которые полностью отличаются от требований локальных и больших деловых сетей:

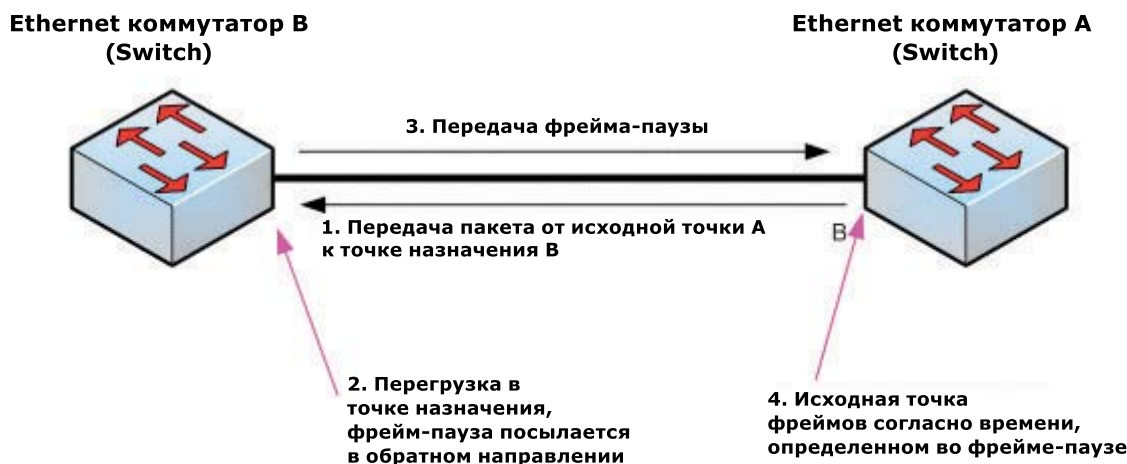


Рис. 4. Упрощенный принцип работы механизма управления потоком данных в IEEE 802.3

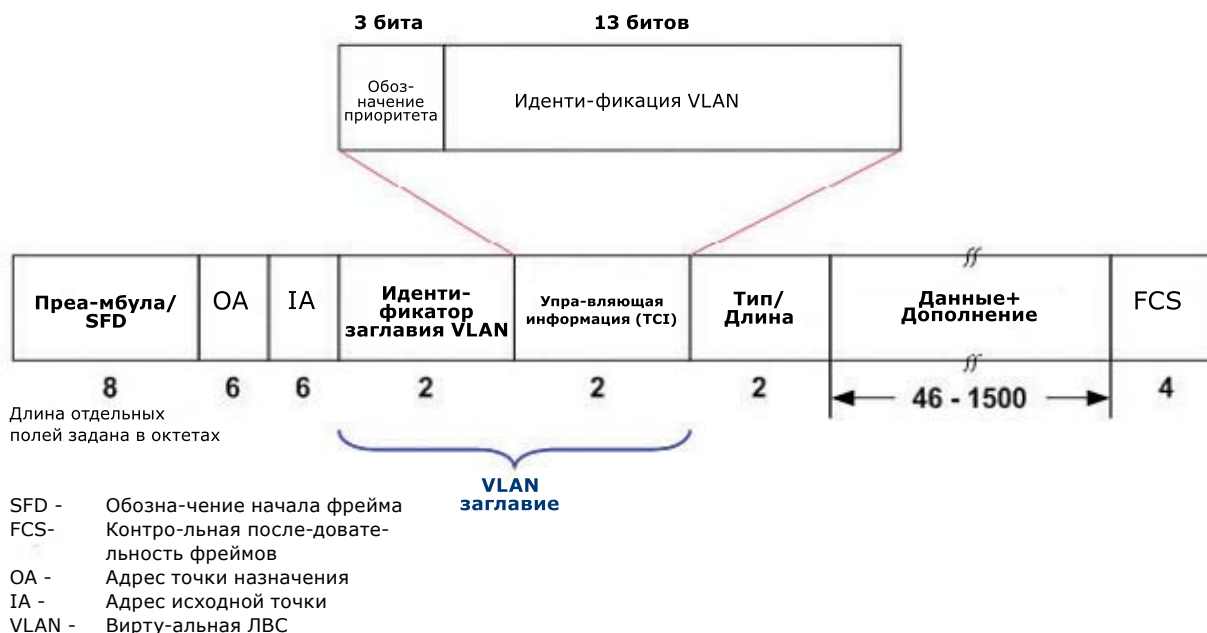


Рис. 5. Формат Ethernet фрейма с VLAN заголовком (VLAN-tagged frame)

- Географический охват – коммуникационные сети общего пользования должны обеспечить точку доступа или соединения (PoP - Point of Presence; PoC - Point of Connection) на большом числе локаций и на географически большой территории.
- Расширяемость – чрезвычайно большое число оконечных пользователей, а значит и узлов в сети, несомненно, влияет на архитектуру и организацию сетей.
- Емкость – вследствие развития сети Интернет и введения soft-switch (коммутация речевой нагрузки посредством IP протокола) решений в мобильные и стационарные сети, а также общей конвергенции всех типов нагрузки и сетей по концепту All-IP (в целом базируется на протоколе IP), запросы к емкости коммутационных узлов и к ширине полосы передачи общественных сетей новой генерации значительно увеличились.
- Качество услуги и классификация нагрузки – посредством конвергенции коммуникационных сетей привела к конвергенции различных услуг на одну технологию передачи, а в результате, появилась потребность эффективного применения механизма установления приоритета и разделения разных типов нагрузки.

В настоящее время технология Ethernet разрешила проблематику ширины полосы передачи и географического охвата введением емкости передачи равной 10 Гбит/с, или развитием т.н. long-haul (длинных) оптических решений, которые позволяют соединение коммутационных узлов прямыми линиями на расстоянии свыше 100 км. Проблема расширяемости разрешена введением иерархии в Ethernet сети общего пользования и адекватным планированием, а поддержка технологии IP бесспорна. Все еще существует недоговоренность по вопросу обеспечения качества услуги, а также соединения Ethernet механизма для обеспечения качества услуг (и установления приоритета потоков нагрузки) с механизмами, которыми располагает технология IP (например, DiffServ).

3.1. Традиционные технологии и архитектуры сетей связи общего пользования

Когда речь идет о традиционных архитектурах и технологиях современных сетей связи общего пользования, ключевой технологией считается технология синхронной цифровой иерархии (SDH - Synchronous Digital Hierarchy), широкополосная система передачи, базирующаяся на коммутации каналов с временным уплотнением (TDM - Time Division Multiplex). Технология SDH в сетях общего пользования использует оптоволоконную инфраструктуру и обладает очень полезными характеристиками избыточности и надежности.

Главной проблемой технологии SDH является обеспечение качественной синхронизации узлов (ADM - Add and Drop Multiplexer - Мультиплексор ввода/вывода), а сама реализация сетевых элементов и компонентов несравненно дороже, чем в технологии Ethernet. Главной целью технологии SDH является построение качественной сети передачи для всех видов нагрузки. Реализация технологии со всеми ее передовыми функциями представляет основу нынешней наземной телекоммуникационной инфраструктуры передачи.

Специфичностью сетей SDH является их независимость от высших уровней коммуникационных протоколов, т.к. SDH это технология первого и второго уровней OSI модели. Различные типы и категории узлов, сетей и протоколов используют SDH как прозрачную и крайне надежную коммуникационную инфраструктуру (Рис. 6.), а и передача Ethernet пакетов использует SDH инфраструктуру.

Высокая стоимость построения коммуникационной сети общего пользования, базирующейся на технологии передачи SDH, а также высокая стоимость обслуживания и комплексность самой технологии, развитие коммуникационных сетей общего пользования направили на упрощение сетевой архи-

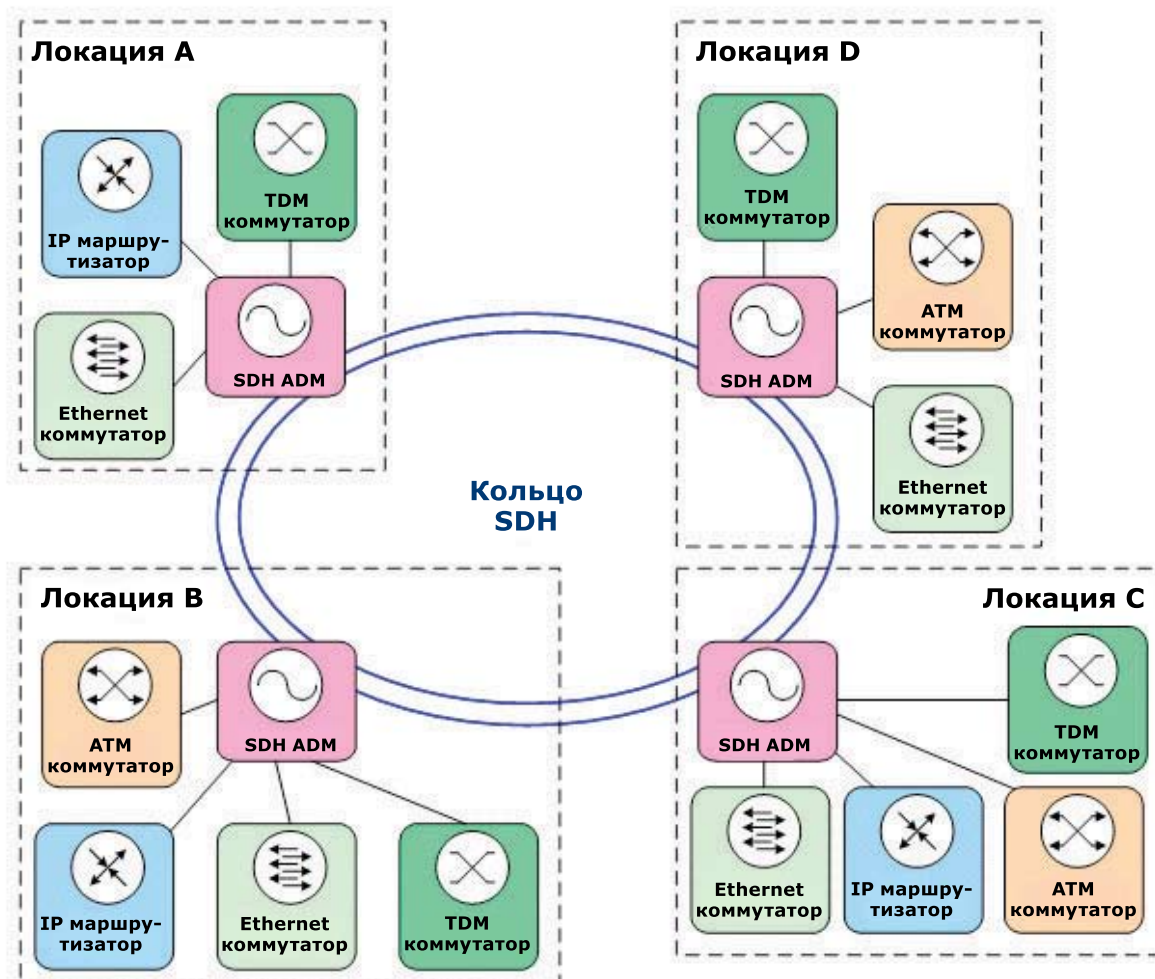


Рис. 6. Упрощенный пример кольцевой архитектуры сети SDH с иллюстрацией объединения различных технологий и коммуникационных протоколов

тектуры и устранение кольцевой организации SDH сети. Ключевым строительным элементом коммуникационных сетей общего пользования стал маршрутизатор, базированный на протоколе Интернета (IP маршрутизатор). При этом соединении узлов часто выполняется посредством прямых оптических соединений, с использованием т.н. dark fiber (неиспользуемая емкость при передаче данных по волоконно-оптической линии) инфраструктуры. Технология SDH задержана как физический уровень самого интерфейса передачи. Что касается функциональных возможностей технологии, в основном, осталась проблематика инкапсуляции высших протоколов, использование физических характеристик (доступ к среде передачи и специфика используемой среды передачи), а также передача синхронизации между двумя узлами IP сети. Рис. 7 иллюстрирует архитектуру развитой сети общего пользования, базированной на технологии IP, примененную на систему, представленную на Рис. 6.

Применение выше описанных принципов значительно влияет на решение проблем, связанных с миграцией опорных сетей общего пользования в направлении IP технологии, а,

следовательно, и на применение всех передовых механизмов, вносимых протоколом IP (например, механизмы MPLS или передовой QoS, и т.п.). Главным недостатком решения является использование технологии SDH как транспортного механизма объединения IP узлов. Как уже ранее было упомянуто, SDH довольно дорогая технология, и ее использование в форме технологии прямых, двухточечных соединений (point-to-point) неприемлемо. Как разумное и логическое решение напрашивается введение технологии в форме технологии прямых, двухточечных Ethernet соединений исключительно большой ширины полосы передачи (1 и 10 Гбит/с).

Сама архитектура IP сети остается идентичной (Рис. 8.), только для реализации физических соединений используются Ethernet интерфейсы, которые несравненно дешевле. Такой принцип реализации опорных коммуникационных сетей облегчает планирование и интеграцию агрегационных сетей и сетей доступа, которые в настоящее время, почти без исключения, реализуются с использованием технологии Ethernet (All-Ethernet).

Важно напомнить, возможность построения опорных IP се-

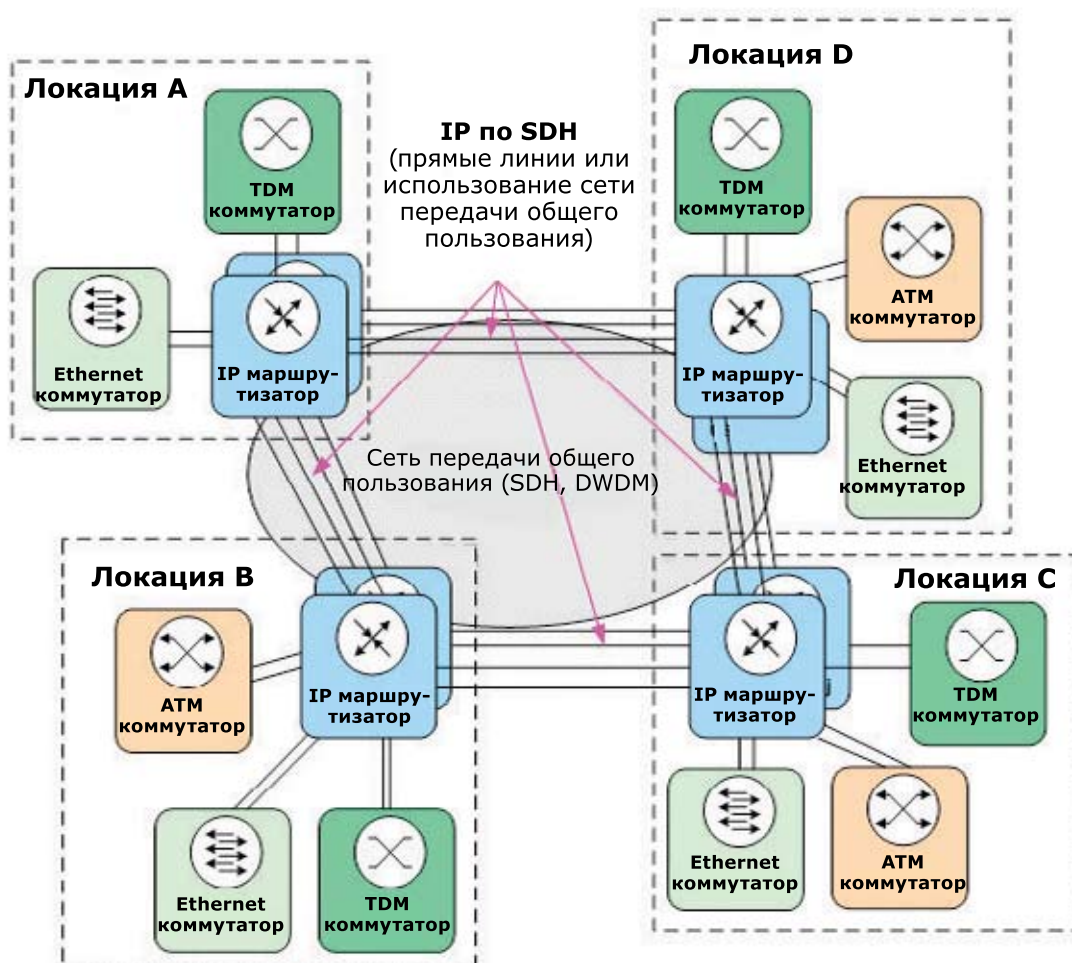


Рис. 7. Упрощенный пример возможной архитектуры коммуникационной сети общего пользования, построенной на технологии, которая базируется на протоколе IP

тей с использованием только прямых коммуникационных соединений абсолютно не подразумевает вымирание специализированных сетей передачи, базирующихся на эволюции технологии уплотнения с разделением по длине волны (WDM - Wave Division Multiplex). Большие опорные сети общего пользования и далее требуют построения особой инфраструктуры передачи большой емкости.

3.2. Архитектура и организация агрегационных сетей и сетей доступа новой генерации

Простота и финансовая эффективность применения технологии Ethernet сделали ее ключевой технологией при построении сетей доступа общего пользования и агрегационных широкополосных сетей связи (сети концентрации). Применение технологии Ethernet в сетях связи общего пользования состоит из нескольких фаз:

Фаза 1 (конец 90-ых лет прошлого столетия): Введение Ethernet как агрегационной технологии (технологии концен-

трации) в широкополосные сети общего пользования xDSL (технология цифровых абонентских линий).

Фаза 2 (от 2000 до сегодняшнего дня): Введение Ethernet как агрегационной технологии широкого спектра для различных типов доступа (xDSL, арендованные линии, основной (native) Ethernet доступ, WLAN/WiMAX и т.д.), построение т.н. Metro Ethernet сети и введение Ethernet кольца ради увеличенной надежности.

Фаза 3 (от 2005 до сегодняшнего дня): Введение Ethernet как технологии первого выбора при построении домена доступа (last mile – последняя миля) коммуникационной сети общего пользования.

Большинство поставщиков широкополосных услуг в настоящее время используют решения второй фазы, с тенденцией миграции в направлении решений третьей фазы. Рис. 9. иллюстрирует типичную организацию сети доступа общего пользования, построенной в соответствии с положениями второй и третьей фаз применения технологии Ethernet.

Ключевым отличием между сетями второй и третьей фаз яв-

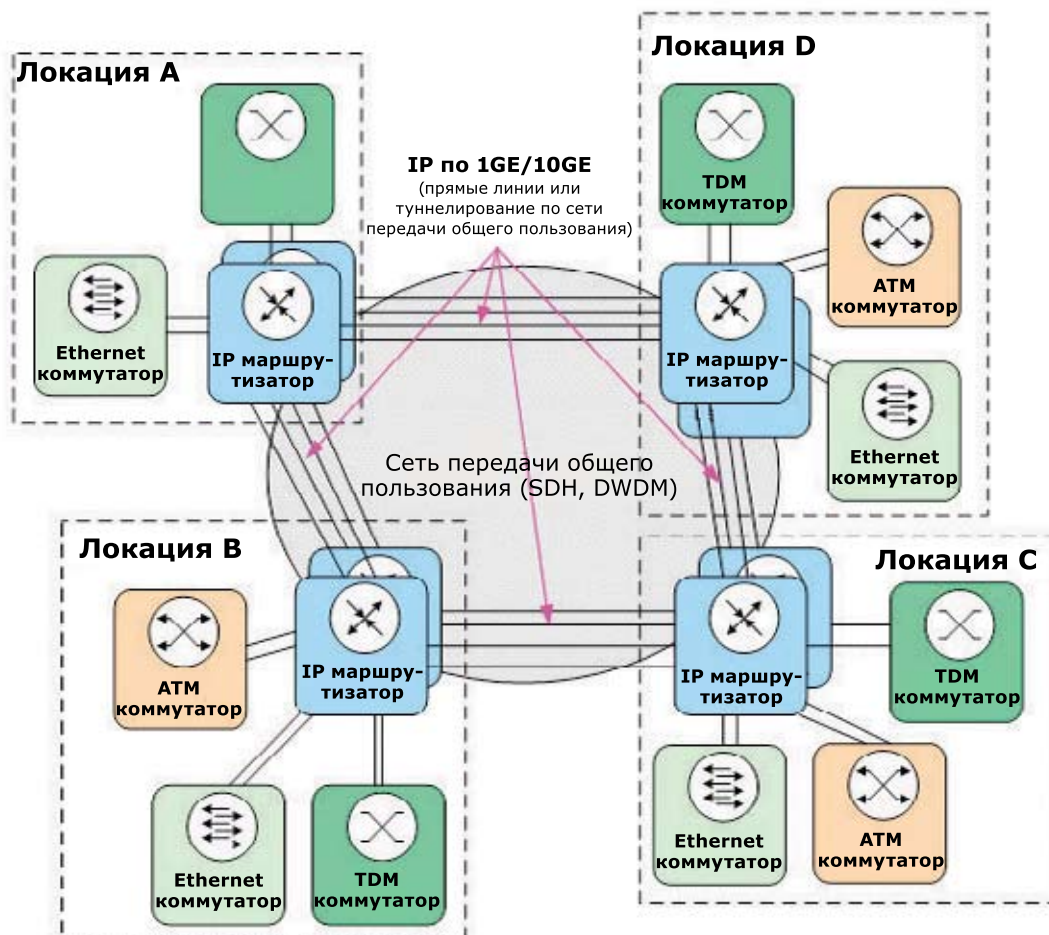


Рис. 8. Упрощенный пример возможной архитектуры коммуникационной сети общего пользования, построенной на технологии, которая основывается на протоколе IP, применяя технологию Ethernet для реализации прямых соединений

ляется изменение образца коммуникации из конца в конец (end to end, e2e), который сейчас подразумевает непрерывную цепь Ether-net пакетов. Рис. 10. иллюстрирует концепт Ethernet e2e, который станет ключевой характеристикой широкополосных коммуникационных сетей в будущем.

Основная характеристика концепта e2e это использование Ether-net инкапсуляции на протяжении целого коммуникационного пути между клиентом и сервером (в коммуникационной модели клиент/сервер), т.е. между двумя объектами, обменивающимися информацией. Теоретически, такое решение позволяет построение коммуникационной сети общего пользования исключительно с использованием технологии Et-hernet, так как эта технология обеспечивает большое адресное пространство, дифференциацию и классификацию нагрузки, а также полностью асинхронную организацию сети.

Описанное решение пока остается в домене теории, так как:

- Адресное пространство, определенное технологией Ethernet, не обладает адресной иерархией, а это ограничивает расширяемость сети.

- Организация Etherent MAC адреса усложняет создание оптимального алгоритма маршрутизации.
- Отсутствие т.н. алгоритма маршрутизации (routing algorithms), типа OSPF, RTP и BGP, усложняет определение и построение административно разграниченных Ethernet доменов, а это имеет ключевое значение при построении, управлении и эксплуатации коммуникационных сетей общего пользования.
- Хотя Ethernet содержит механизмы для дифференциации и классификации нагрузки, спорна одержимость (и разумность) этих механизмов из перспективы коммуникационных решений из конца в конец.

Когда говорим о применении технологии Ethernet в сетях общего пользования, прежде всего, говорим о двух доменах, т.е. принципах применения:

- Применение технологии Ethernet как механизма инкапсуляции на прямых коммуникационных соединениях между отдельными узлами сети (например, IP маршрутизаторами), при чем маршрутизация, качество услуги (QoS – Quality of Service)

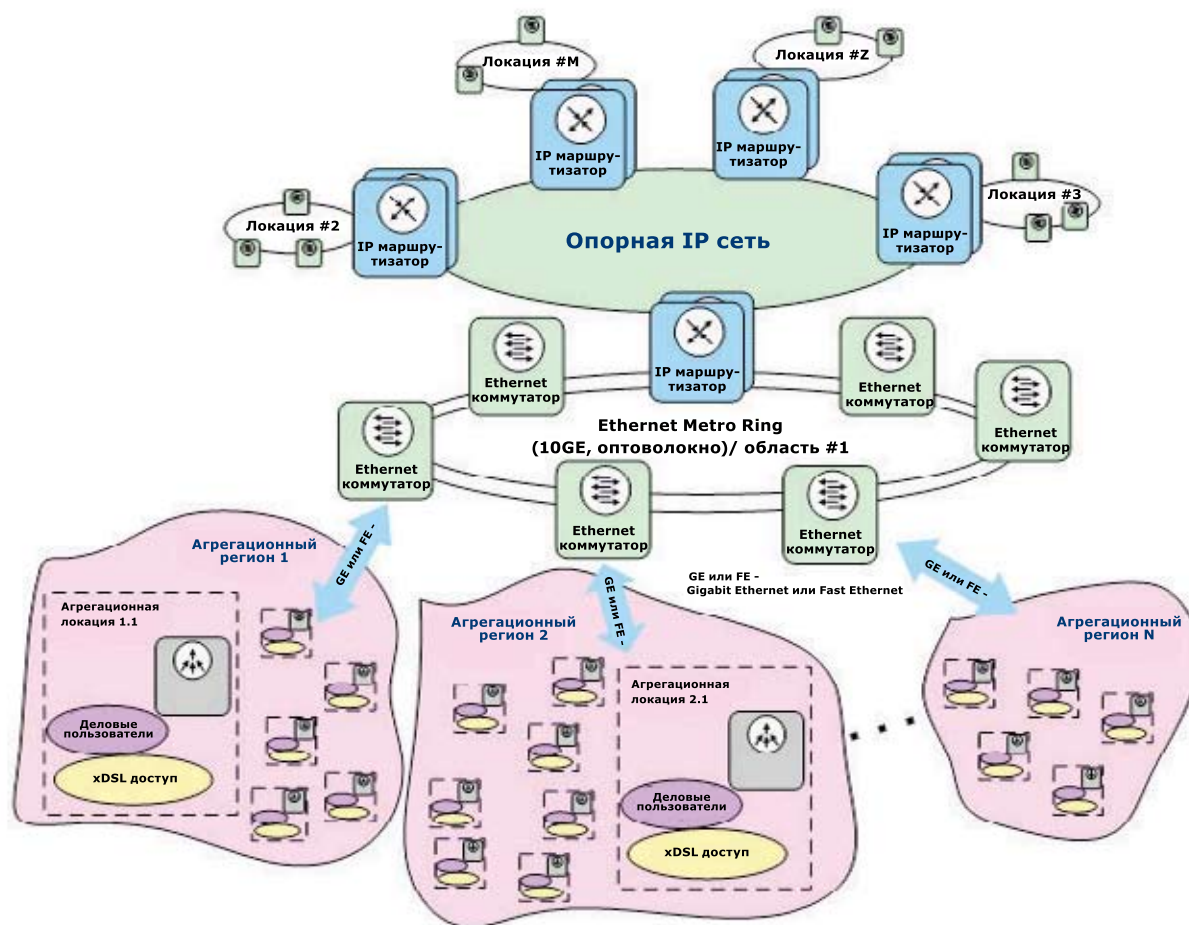


Рис. 9. Концептуальная архитектура широкополосной сети доступа общего пользования новой генерации

и остальные передовые функции реализованы на уровне IP.

• Применение технологии Ethernet при построении сетей доступа и агрегационных широкополосных сетей общего пользования, в которых Ethernet механизмы разделения, дифференциации и классификации нагрузки используются в целом домене доступа, а коммуникация на уровне IP (включая и механизмы обеспечения качества услуги на уровне IP) реализуется в граничном IP узле (IP Edge Router).

4. Сеть Ethernet общего пользования согласно концепту Эрикссона

Решение компании Эрикссон для построения Ethernet сетей общего пользования, т.н. общественных сетей Ethernet (PE - Public Ethernet), это коммуникационная архитектура, которая объединяет сети жилых кварталов и деловые сети с опорными коммуникационными системами общего пользования (Рис. 11.).

Как уже ранее упомянуто, применение технологии Ethernet

при построении широкополосной Ethernet сети общего пользования гораздо сложнее, чем ее применение в частных, деловых сетях. Поэтому в составе решения определены т.н. ключевые элементы сети Ethernet общего пользования (РЕКС - Public Ethernet Key Components):

- качество услуги
- разделение (дифференциация) нагрузки
- надежность
- способность одновременной передачи к большему числу пользователей (multicast – групповая передача)
- надежность и готовность
- управление системой
- определение, активирование и надзор услуг и потоков нагрузки (Service Provisioning).

Рассмотрение ключевых элементов управления системой (te-lescom management) из-за своей сложности вне рамок этой статьи и не обсуждается в дальнейшем тексте.

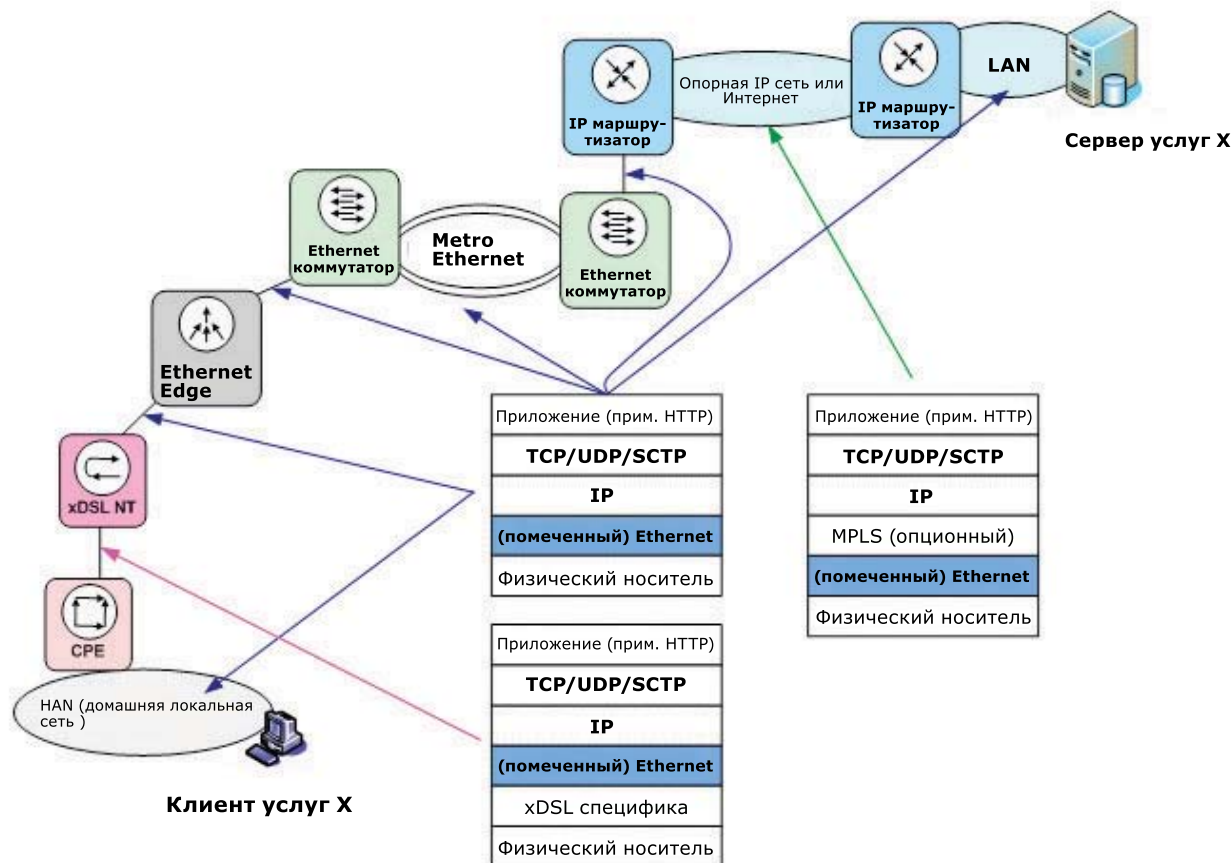


Рис. 10. Образец коммуникации из конца в конец, e2e, при применении технологии Ethernet в широкополосных сетях общего пользования

Ключевые элементы реализованы посредством ключевых механизмов и протоколов, которыми располагает решение сети Ethernet общего пользования (РЕКМ - Public Ethernet Key Mechanism) компании Эрикссон :

- коммутированный Ethernet (Switched Ethernet)
- виртуальная локальная вычислительная сеть (VLAN)
- определение приоритета нагрузки
- Интернет протокол для управления группами (IGMP - Internet Group Management Protocol) – протокол для реализации элемента групповой передачи (multicast)
- формирование полосы передачи (bandwidth shaping)
- принудительное коммутирование на уровне MAC (MAC FF - MAC Forced Forwarding)
- виртуальная MAC адресация (Virtual MAC).

Последние два механизма в некоторой степени специфичные для решения сети Ethernet общего пользования компании Эрикссон.

Чтобы можно было рассмотреть позицию и влияние ключевых элементов и механизмов внутри решения Эрикссона, нужно определить эталонную модель сети Ethernet общего

пользования (PERN - Public Ethernet Reference Network), как представлено на Рис. 12.

Хотя эталонная модель предполагает стволитую структуру сети, возможны и альтернативные архитектуры, наподобие кольцевой архитектуры. В модели PERN широкополосный сервер для дистанционного доступа (BRAS - Broadband Remote Access Server) является ключевой точкой агрегационного домена, в котором реализуются функции выбора и активирования услуг (потоков нагрузки), интеллектуальной IP маршрутизации, оплаты, и т.д. Эталонные точки (u) и (v) определены согласно рекомендациям международной телекоммуникационной организации ИТУ-Т, в которых точка (u) определяется как абонентский шлейф, а точка (v) как интерфейс к телекоммуникационному узлу (местной станции).

4.1. Ключевые компоненты решения сети Ethernet общего пользования

4.1.1. Качество услуги

Компонент качества услуги в модели PERN реализуется посредством следующих механизмов:

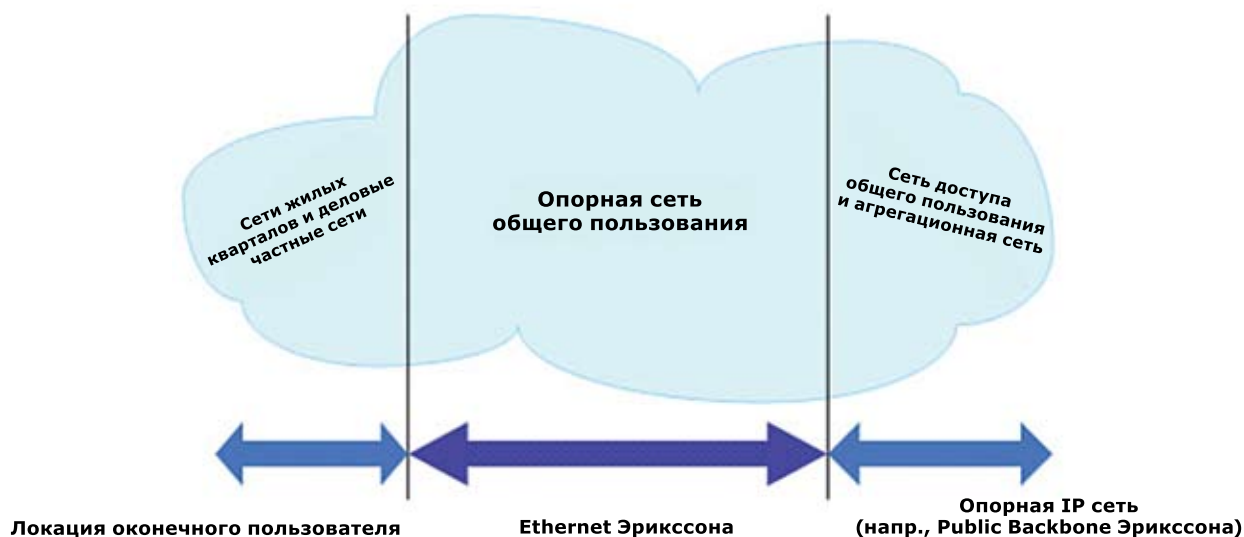


Рис. 11. Позиционирование решения общественной сети Ethernet в широкополосной сети общего пользования оператора связи

- механизма для присваивания приоритета, определенного в IEEE 802.1p;
- формированием ширины полосы передачи;
- отображением (mapping) IEEE 802.1p обозначений кодами DiffServ.

Реализация качества услуги узко связана с механизмами дифференциации и разделения нагрузки, такими как, принудительное коммутирование на уровне MAC и виртуальная локальная сеть.

Стандарт IEEE 802.1p определяет механизм, который обеспечивает возможность присваивания приоритета обозначенным пакетам в Ethernet коммутаторе. Механизм определяет 8 уровней приоритета с помощью трех битов в Ethernet заголовке. Речь идет о сравнительно рудиментарном механизме, который позволяет реализацию т.н. относительного определения приоритета. В этом процессе фреймы высшего приоритета всегда пропускаются раньше фреймов низшего приоритета.

Для реализации компонента качества услуги в целом домене доступа и в агрегационном домене, в граничные Ethernet коммутаторы вводятся функции формирования и надзора ширины полосы передачи, а в BRAS узлах определяется процесс отображения (mapping) между IEEE 802.1p обозначениями и DiffServ кодами. Рис. 13. иллюстрирует механизмы, которые в модели PERN используются для реализации концепта качества услуги.

4.1.2. Разделение нагрузки

Разделение нагрузки между различными пользователями, серверами и услугами является одним из ключевых компонентов при построении сети Ethernet общего пользования. Механизмы разделения создают основу, на которой реализуются компоненты надежности и обеспечения качества услуги.

Реализация компонента разделения нагрузки делает невозможным осуществление прямых потоков нагрузки между узлами Ethernet сети без знания оператора. Вследствие этого увеличивается надежность, уменьшается опасность неполноценного подслушивания нагрузки, а также уменьшается возможность мошенничества (Fraud Prevention). Решение компании Эрикссон для архитектуры Ethernet общего пользования поддерживает все самые распространенные методы дифференциации и разделения нагрузки. При чем при реализации конкретных проектов предпочитается механизм, который комбинирует виртуальную локальную вычислительную сеть и принудительное коммутирование на уровне MAC:

- протокол передачи от точки к точке посредством технологии Ethernet (PPPoE - Point to Point Protocol over Ethernet);
- виртуальные городские (вычислительные) сети (VMAN - Virtual Metropolitan Area Network)
- Q-in-Q;
- виртуальные локальные вычислительные сети
- комбинация виртуальной локальной вычислительной сети и принудительного коммутирования на уровне MAC
- рекомендованный способ для построения сетей доступа общего пользования (сети жилых кварталов).

Нагрузка может течь только в направлении от пользователя к узлу BRAS, таким образом, достигается полное разделение нагрузки посредством традиционной виртуальной локальной сети.

На Рис. 14. представлен пример использования компонента разделения нагрузки, применяющий рекомендованный механизм комбинирования виртуальной локальной вычислительной сети и принудительного коммутирования на уровне MAC в сети Ethernet общего пользования.

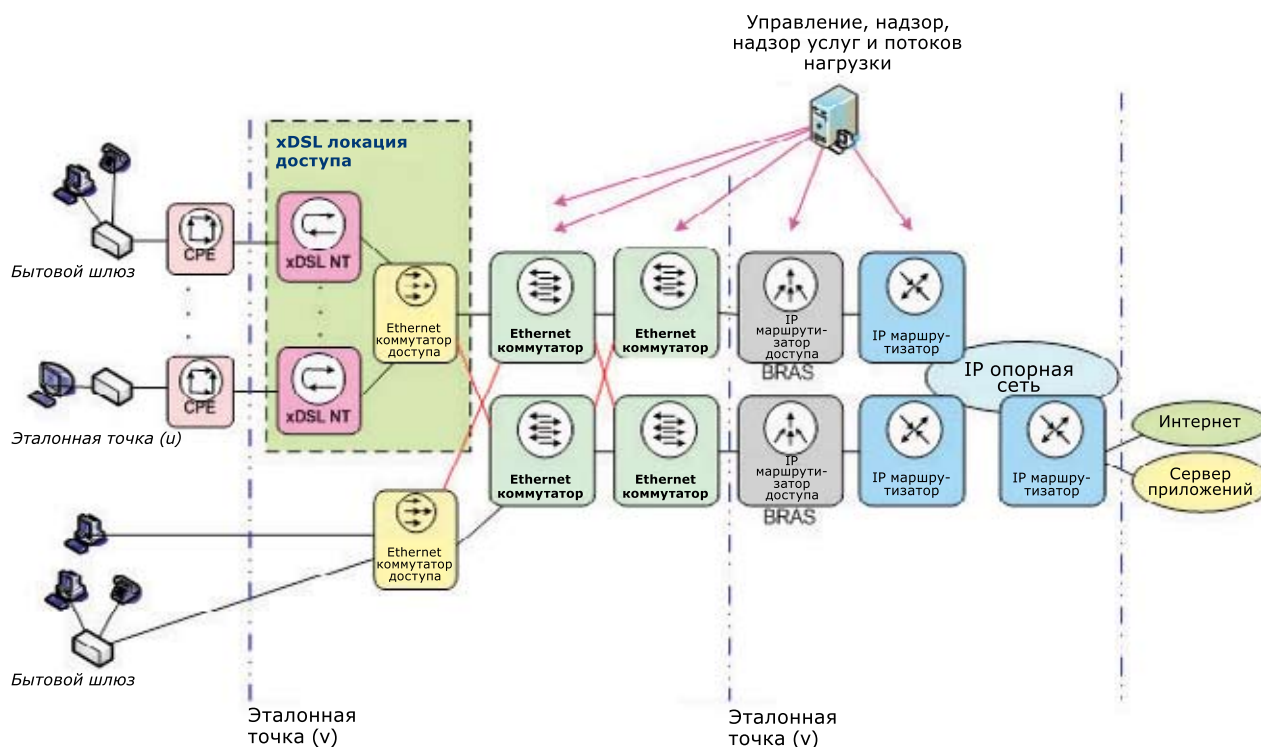


Рис. 12. Эталонная модель сети Ethernet общего пользования (PERN)

4.1.3. Надежность

Ниже перечислены основные механизмы надежности в модели PERN:

- принудительное коммутирование на уровне MAC – механизм разделения нагрузки и услуг;
- протокол DHCP опция 82 – обеспечивает возможность наблюдения за пользователем;
- виртуальный MAC адрес – позволяет наблюдение за пользователем;
- разные фильтры – например, фильтр PPPoE, или IP/MAC фильтр, не позволяющие доступ обманным путем (anti-spoofing filter).

Перечисленные механизмы обеспечивают две основные функции надежности, а именно - предотвращение прямой коммуникации между двумя или больше пользователями внутри домена Ethernet (что устраняет опасность подслушивания нагрузки), и предотвращение получения доступа с помощью фальшивых IP или MAC адресов (address spoofing).

Рис. 15. иллюстрирует принцип использования отдельных механизмов при реализации основного концепта надежности модели PERN.

4.1.4. Одновременная передача к большему числу получателей

Одновременная передача к большему числу получателей (multicast) обеспечивает возможность реализации услуги, которая по своей сущности подразумевает одновременное учас-

тие большего числа конечных пользователей – наподобие телевидения или радиопрограммы, разных новостей и т.п. Основные механизмы, которые позволяют реализацию концепта multicast в модели PERN, это отслеживание всех адресов с помощью протокола управления группами Интернет - IGMP snooping (в Ethernet коммутаторах), PIM-SM отображение (mapping) в BRAS узле, а также PIM-SM механизм в IP части сети.

4.1.5. Надежность и готовность

Смысл построения надежной и устойчивой сети заключается в достижении сопротивляемости системы на возникновение неисправностей, аварий, отказа узлов и частей системы, а также в минимизации влияния разных эксплуатационных активностей и проблем, таких как, например, расширение сети, изменение программной и аппаратной поддержки в узлах сети, изменение конфигурации сети и узлов, и т.п. Главной целью является предотвращение снижения качества услуги, предоставленной конечному пользователю, т.е. “припрятывание” эффекта возможных эксплуатационных проблем в системе от конечного пользователя.

Каждый функциональный уровень коммуникационной модели OSI обладает механизмами, которые влияют на построение надежной телекоммуникационной сети:

- общие механизмы;
- географическое размещение ключевых узлов,
- реализация MPLS технологии в опорной части сети с целью создания избыточной коммуникационной инфраструктуры,

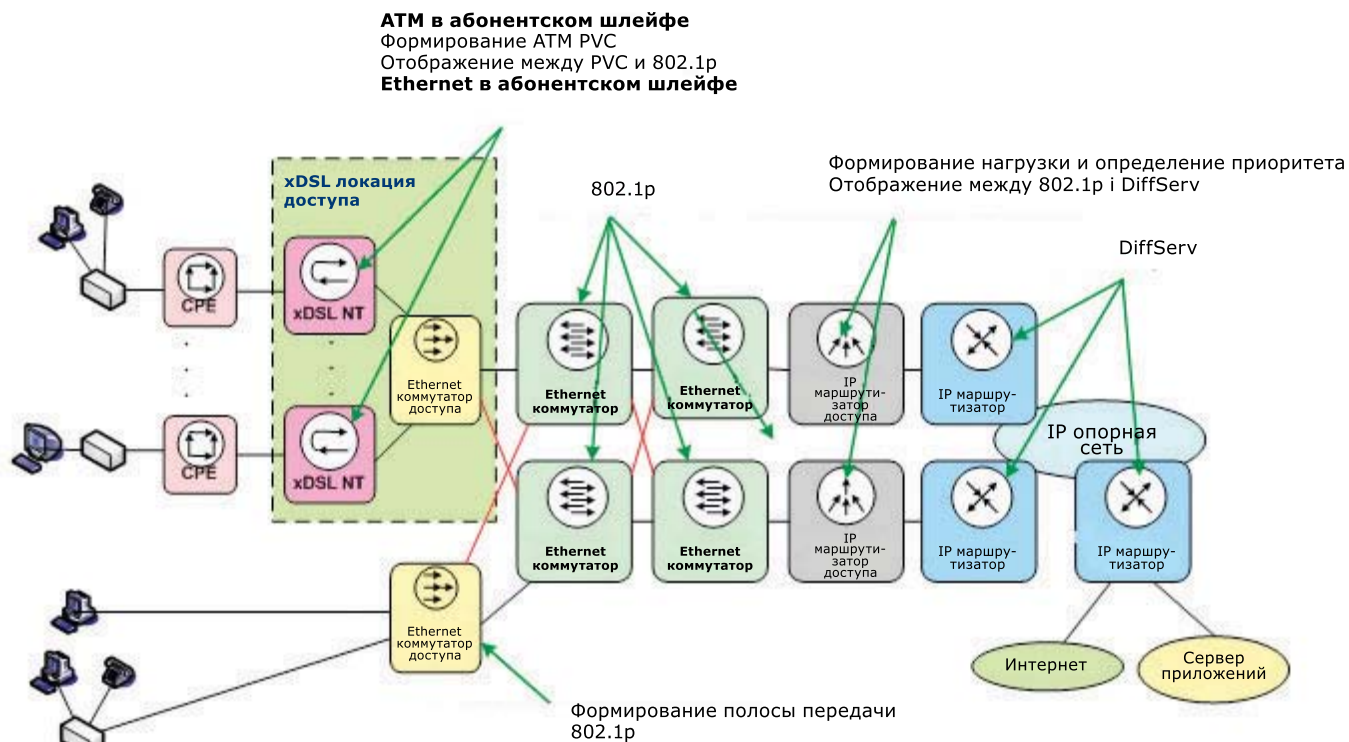


Рис. 13. Позиционирование и реализация ключевого компонента качества услуги в модели PERN

- **уровень сети;**
 - виртуальный избыточный протокол маршрутизации (VRRP - Virtual Router Redundancy Protocol),
 - избыточный протокол маршрутизации (ESRP - Extreme Standby Router Protocol),
 - протокол поддержания устойчивости системы (HSRP - Hot-Standby Router Protocol),
 - многопротокольная коммутация на основе признаков/меток (MPLS - Multi-Protocol Label Switching)
- **разные протоколы маршрутизации в IP сетях - OSPF, BGP, IS-IS**
- **уровень соединения с передачей данных;**
 - Алгоритмы Spanning Tree и Rapid Spanning Tree;
 - агрегация линий связи (link aggregation, IEEE 802.1ad);
 - автоматическое защитное переключение в технологии Ethernet (EAPS - Ethernet Automatic Protection Switching);
- **физический уровень или уровень среды передачи;**
 - избыточные физические интерфейсы в коммуникационных узлах;
 - реализация отдельной сети передачи, применяя технологию мультиплексирования по длине волны (WDM, DWDM) или технологию синхронной цифровой иерархии (SDH).

Рис. 16. иллюстрирует позиционирование механизмов надежности и готовности в модели PERN. Механизмы физическо-

го уровня на рисунке не показаны ради простоты и понятности.

4.2. Ключевые механизмы при построении сети Ethernet общего пользования

Рассматривая ключевые компоненты решения сети Ethernet общего пользования и модели PERN (PEKM) можно ясно заметить совмещение и согласованное применение нескольких ключевых Ethernet механизмов.

4.2.1. Виртуальная локальная сеть

Виртуальная локальная сеть определяет логически выделенный домен внутри одной физической Ethernet сети. Использование механизма виртуальной локальной сети, сеть Ethernet общего пользования разделяется на логические подсети, определенные отдельным типом услуги. Так, например, можно определить отдельную сеть VLAN для традиционной Интернет нагрузки, отдельную сеть VLAN для передачи речевой нагрузки посредством IP технологии (VoIP - Voice over IP), или для передачи услуги телевидения (IP TeleVision, IPTV). Механизм виртуальной локальной сети стандартизирован в IEEE 802.1Q.

Так как механизм виртуальной локальной сети действует исключительно на уровне соединения с передачей данных, коммуникация между двумя оконечными станциями двух различных виртуальных локальных сетей (или двумя логическими объектами разделенных с помощью VLAN разграничения) всегда должна проходить через IP маршрутизатор,

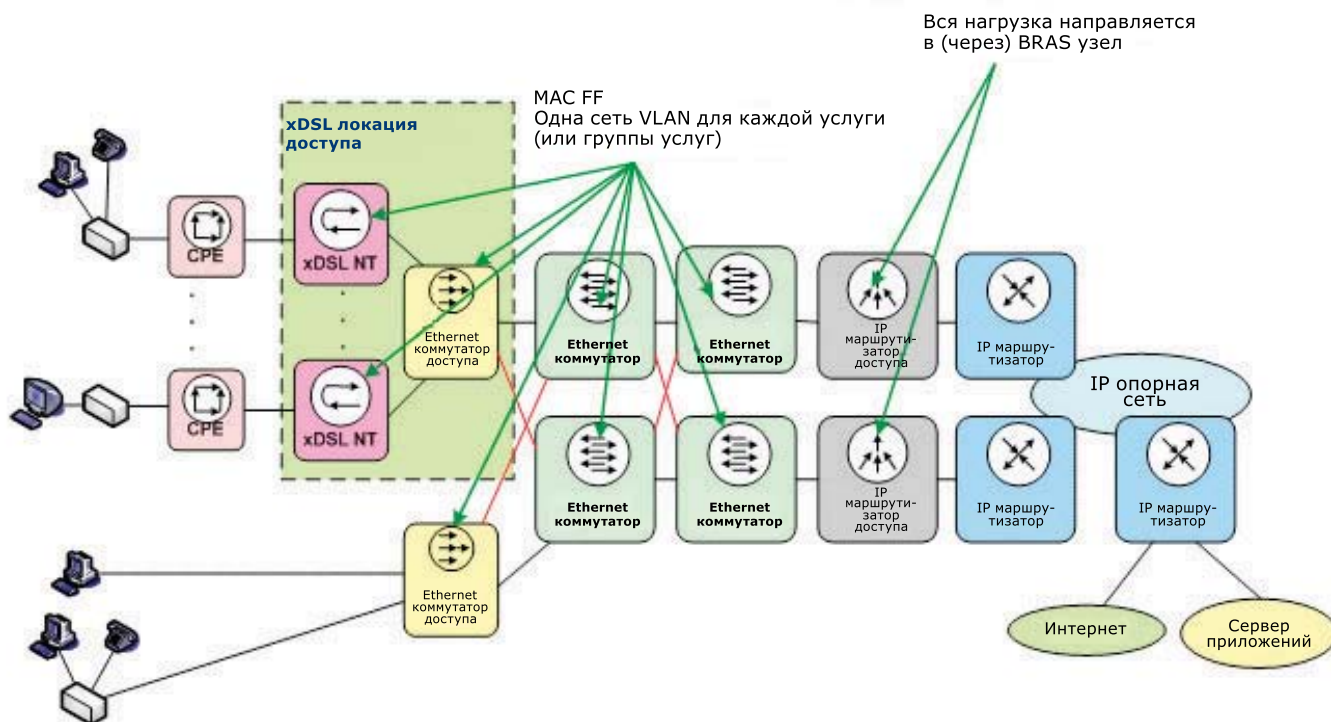


Рис. 14. Пример реализации ключевого компонента разделения нагрузки в модели PERN

т.е. узел, в котором реализована логика уровня сети. Таким образом, обеспечено и эффективное разграничение доменов обслуживания.

4.2.2. Определение приоритета

Определение приоритета при передаче фреймов задано стандартом IEEE 802.1p. Прежде передачи Ethernet фрейм классифицируется и обозначается в соответствии с требуемым приоритетом (вносится обозначение приоритета в заголовке Ethernet фрейма).

Коммутационные узлы Ethernet сети доступа коммутируют фреймы в соответствии с их обозначениями приоритета, при чем фреймам с высшим приоритетом дается преимущество при коммутации. Сам стандарт определяет 8 уровней приоритета, хотя на практике выявилось, что удовлетворяющие результаты достигаются реализацией до 4 уровней приоритета. В Ethernet сетях доступа общего пользования обозначение фреймов в направлении от пользователя к сети проводится в граничном узле Ethernet сети (Ethernet коммутатор доступа на Рис. 12.). А в направлении от сети к окончному пользователю обозначение проводится в граничном маршрутизаторе (узел BRAS, где также проводится отображение DiffServ и IEEE 802.1p обозначений), или в первом следующем Ethernet коммутаторе.

4.2.3. Интернет протокол для управления группами

Оконечные пользователи (т.е. клиенты) используют Интернет протокол управления группами (IGMP) для сигнализации о

принадлежности какой-то multicast (групповой) сессии, или о намерении подключения к такой сессии. Протокол IGMP также используется и в сигнализации между IP маршрутизаторами внутри совместной подсети для определения маршрутизатора, который будет направлять нагрузку какой-то multicast сессии в данной подсети. Протокол IGMP выполняет следующее:

- определяет и содержит информацию об участии клиентов в какой-то multicast сессии внутри отдельной подсети или сегмента;
- обеспечивает IP маршрутизатору принятие решения о маршрутизации нагрузки какой-то multicast сессии на определенную подсеть.

4.2.4. Формирование полосы передачи

Механизмы формирования полосы передачи (bandwidth shaping) отличаются в зависимости от типа абонентского шлейфа - xDSL или Ethernet. Главные функции механизма формирования полосы передачи следующие:

- защита сети (домена) доступа от перегрузки слишком большими требованиями нагрузки;
- реализация концепта ограниченной ширины полосы передачи, в котором окончные пользователи получают точно столько емкости (т.е. ширины полосы передачи), сколько определено в их тарифном пакете;
- обеспечение возможности создания дифференцированного каталога услуг, в котором оператор может формули

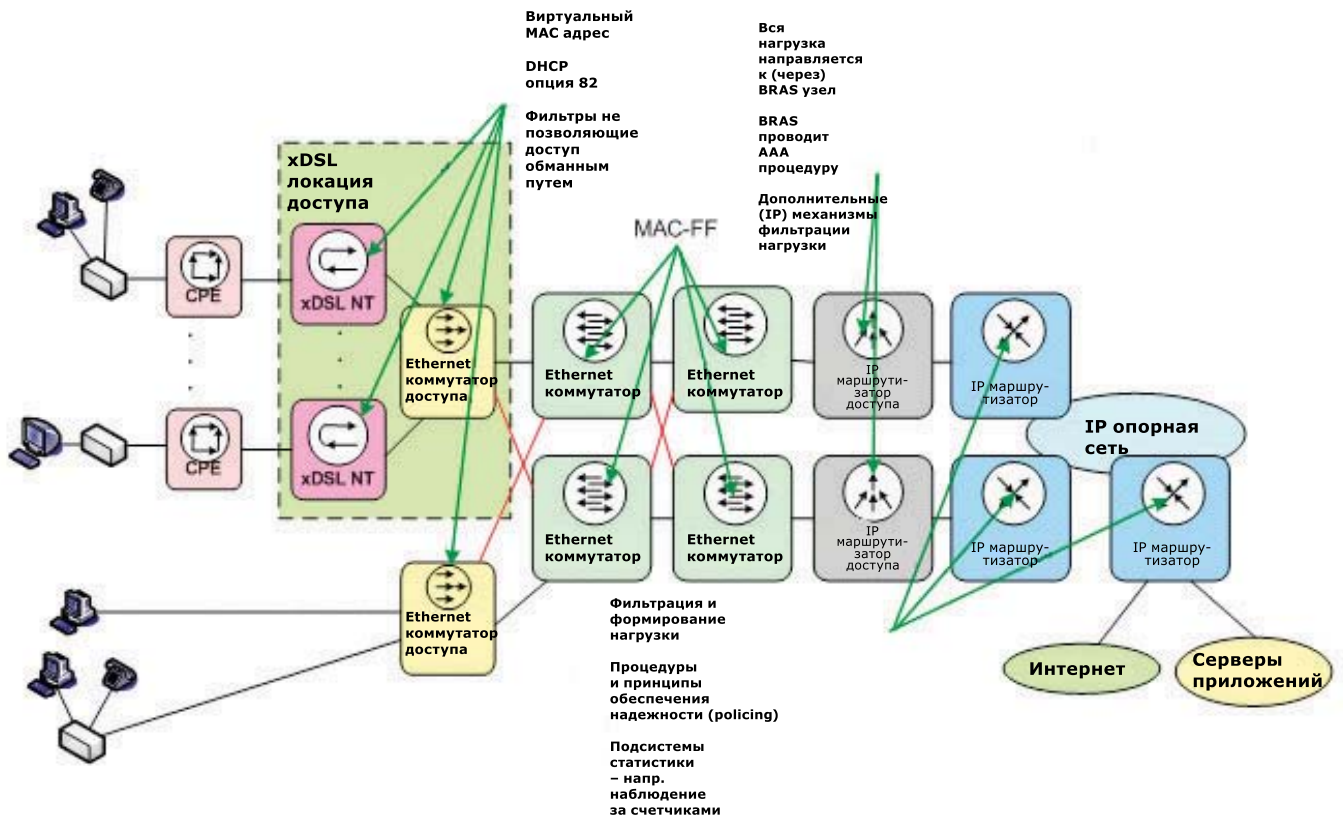


Рис. 15. Пример применения ключевого компонента надежности внутри модели PERN

ровать расширяемые рыночные предложения, относящиеся на тарифные пакеты с определенной шириной полосы передачи.

Важно напомнить, что механизм формирования полосы передачи не может защитить сеть в случае активирования слишком большого числа пользователей в сети (over-booking), планированной перегрузки сети (over-provisioning) или статистических отклонений в профиле нагрузки.

Механизм формирования полосы передачи состоит из двух основных компонентов:

Формирование ширины полосы передачи – принцип основывается на пополнении очередей (queuing) в коммутационных узлах, если в течение фиксированного интервала времени поступает слишком большое число фреймов. Таким образом, проводится “выравнивание” модели нагрузки и уменьшаются всплески нагрузки (burstiness), характерные для сети Интернет. Формирование сопровождается увеличением совокупного запаздывания и колебаниями во времени между поступлением фреймов, поэтому формирование непригодно для интерактивной нагрузки в реальном времени (например, видео или VoIP). С другой стороны, формирование идеально для пакетной нагрузки с низким допустимым числом потерянных пакетов (например, электронная почта, базы данных и т.п.).

Управление очередями и отбрасывание фреймов (bandwidth policing) – речь идет о сравнительно грубом решении, в котором весь избыток нагрузки отдельной сессии, которая нарушила допустимые параметры ширины полосы передачи, просто отбрасывается. Однако такой подход может вызвать

проблемы, если приложение не в состоянии уменьшить скорость создания и передачи фреймов (например, TCP/IP клиент обладает группой алгоритмов, которые ему позволяют уменьшение скорости передачи пакетов/фреймов и приспособление заданной ширине полосы передачи). С другой стороны, этот механизм не вносит дополнительное запаздывание и колебание во времени поступления фреймов, что благоприятствует мультимедийным сессиям типа IPTV и VoIP.

4.2.5. Принудительное коммутирование на уровне MAC

Функциональность принудительного коммутирования на уровне MAC (MAC FF), определено, самый эффективный метод разделения потоков отдельных пользователей и услуг, который, в комбинации с механизмом виртуальной локальной сети, является предпочитаемым ключевым компонентом разделения нагрузки в решении компании Эрикссон для сети Ethernet общего пользования. Рис. 17. иллюстрирует принцип MAC FF на модели PERN.

Основным элементом механизма MAC FF является то, что нагрузка всегда проходит через логическое соединение между клиентом и граничным IP маршрутизатором (BRAS узлом), а прямая коммуникация между двумя клиентами через коммутированный (Ethernet) домен невозможна. В комбинации с VLAN механизмом достигается чрезвычайная эффективность разделения нагрузки и расширяемость в очень больших сетях общего пользования.

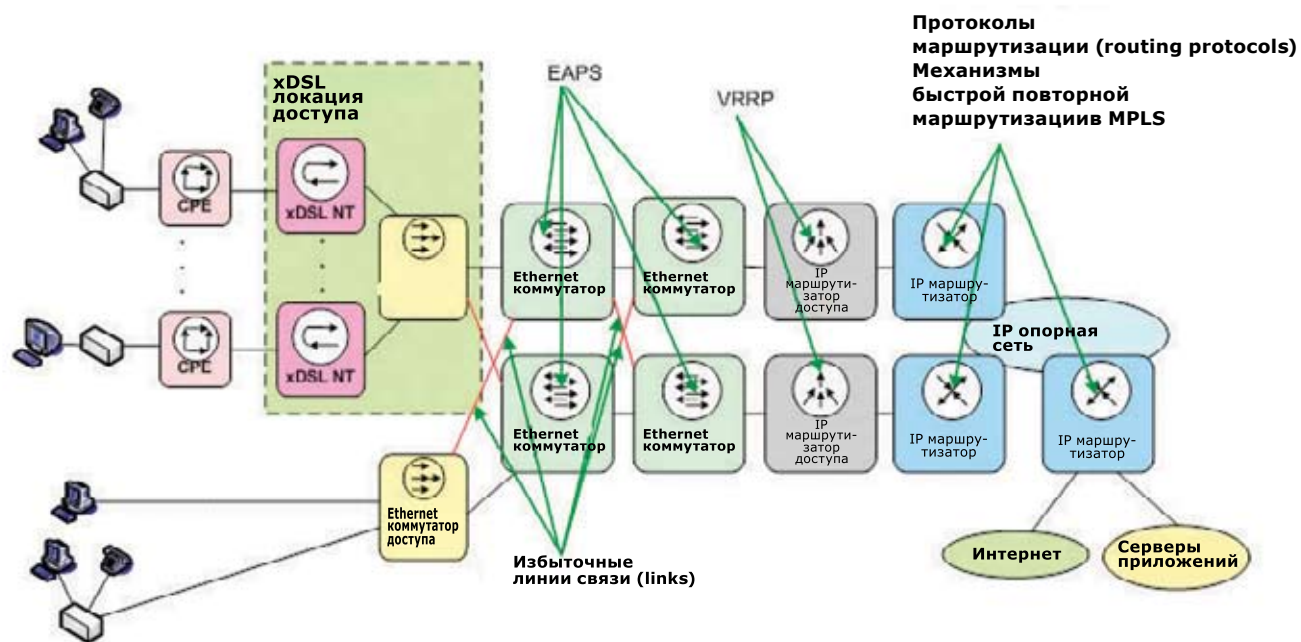


Рис. 16. Пример реализации ключевого компонента надежности и готовности в модели PERN

4.2.6. Виртуальная MAC адресация

В традиционных (старших) xDSL решениях каждый “модем” обладает постоянным виртуальным каналом ATM PVC до узла BRAS. Информация об этом постоянном канале, вместе с именем пользователя и присвоенным IP адресом, является основной частью профиля пользователя в базе данных сервера RADIUS. Такая запись однозначно идентифицирует локацию пользователя, даже если пользователь употребляет ложное имя пользователя и пароль.

Из-за относительно ограниченной возможности расширения механизма VLAN (до 4096 индивидуальных VLAN внутри одного домена доступа) в Ethernet сети доступа общего пользования, построенной по модели PERN, большое число пользователей появляется с одинаковой идентификацией (из-за разделения VLAN идентификатора между пользователями – идентификатор VLAN ID обозначает услугу, а не “модем”). Эта идентификация в ATM решении служила для локализации пользователя.

Для решения этой проблемы используются два метода:

- Протокол динамического конфигурирования узла DHCP опция 82, которую добавляет DSLAM (Ericsson EDA узел), чтобы обеспечить возможность однозначной идентификации точки DSL. Информация, включенная посредством Опции 82, поступает в DHCP сервер и может быть направлена к серверу RADIUS, где она записывается в профиль пользователя. Проблемой этого метода является потребность использования

концепта DHCP, т.е. динамического присваивания IP адреса, что не всегда обязательно (во всяком случае, если речь идет о системах, которые окончательным пользователям обеспечивают постоянный доступ к системе, это не должно быть обязательным).

- Виртуальная MAC адресация, при чем исходный (первичный) MAC адрес заменяется заново определенным MAC адресом в DSLAM, который однозначно идентифицирует точку DSL доступа (т.е. абонентскую пару проводов). Этот метод можно использовать в комбинации с методами PPPoE и DHCP, а виртуальный MAC адрес записывается в профиль пользователя в сервере RADIUS вместе с IP адресом, именем пользователя, паролем и остальными важными данными.

5. Вывод

Ныне Ethernet быстро превращается в главную транспортную технологию современных телекоммуникационных сетей. В последние тридцать лет эта технология полностью овладела сегментом деловых сетей, а в настоящее время технология Ethernet лидирует в домене построения широкополосных сетей доступа общего пользования. Компания Эрикссон опознала эту промышленную тенденцию и приспособила и разработала решения для построения сетей Ethernet общего пользования в составе своего концепта Public Ethernet (общественная сеть Ethernet).

Очевидно, применение технологии Ethernet расширяется и на опорные транспортные сети, в которых на протяжении многих лет доминировали сложные и дорогие технологии, на-

подобие синхронной цифровой иерархии (SDH - Synchronous Digital Hierarchy) и технологии уплотнения с разделением по длине волны (WDM - Wave Division Multiplex). Хотя сегодня трудно себе представить, что Ethernet заменит существующие технологии в опорных сетях общего пользования, в промышленности заметна тенденция исследования и разработки, так называемой, carrier Ethernet несущей технологии. Кроме того, модифицируется стандарт, который должен содержать некоторые новые, передовые механизмы, нужные для построения опорных сетей общего пользования.

Тесная связь технологии Ethernet с миром коммуникаций, который будет полностью базироваться на протоколе Интернета (all-IP), несложность и огромное участие в сегменте деловых сетей и сетей жилых кварталов, обеспечивают технологии

Ethernet первое место при выборе технологии для построения широкополосных сетей доступа общего пользования. Дальнейшая непрерывная технологическая эволюция превратит ее в транспортный механизм конвергентных телекоммуникационных сетей общего пользования.

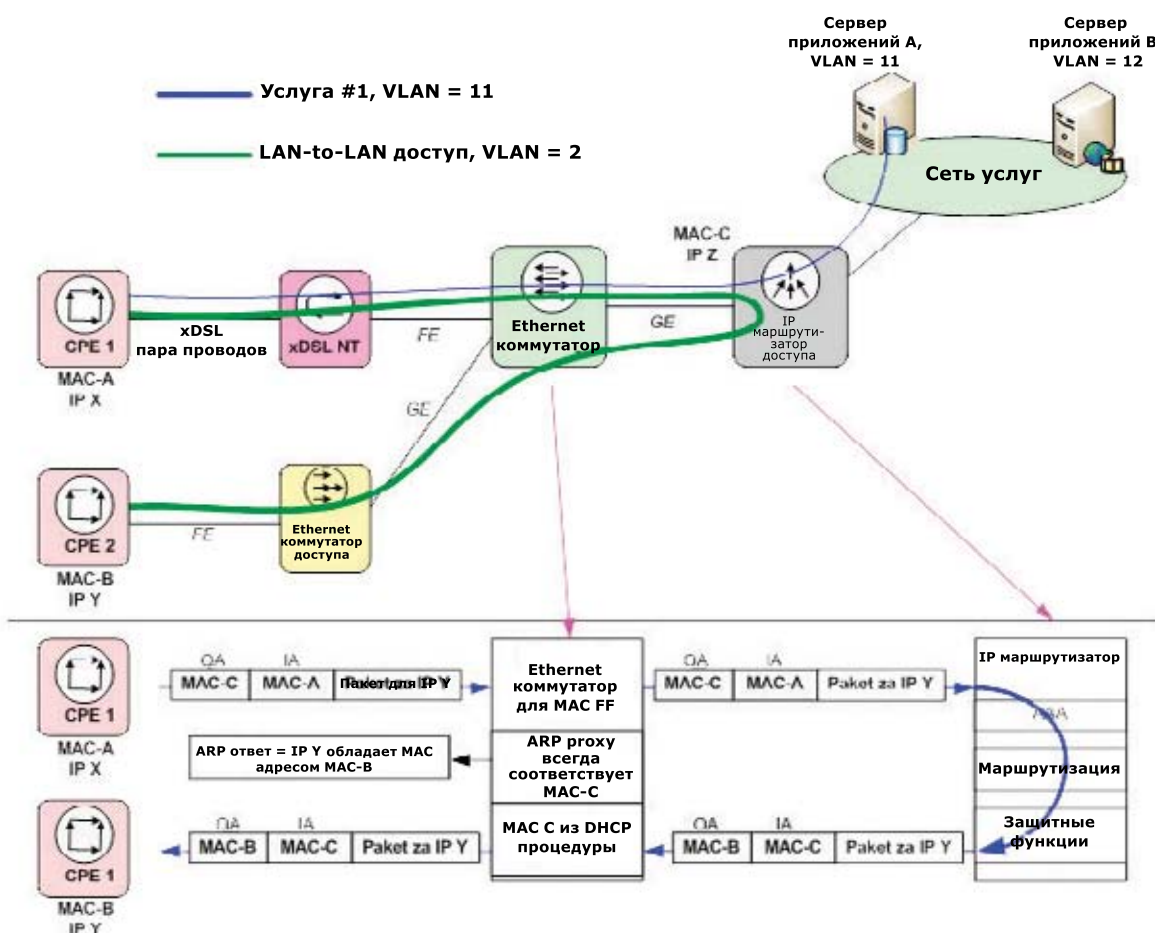


Рис. 17. Принцип действия MAC FF представлен на простой коммуникационной модели Ethernet сети доступа общего пользования

6. Список сокращений:

AAA - Authentication, Authorization and Accounting Аутентификация (идентификация), авторизация и учет	FE - Fast Ethernet Ускоренный Ethernet
ADM - Add and Drop Multiplexer Мультиплексор ввода/вывода	FCS - Frame Check Sequence Контрольная последовательность фреймов
ATM - Asynchronous Transfer Mode Асинхронный режим передачи	GE - Gigabit Ethernet Гигабит Ethernet
BGP - Border Gateway Protocol Пограничный межсетевой протокол	HSRP - Hot-Standby Router Protocol Протокол поддержания устойчивости системы
BRAS - Broadband Remote Access Server Широкополосный сервер для дистанционного доступа	HTTP - HyperText Transfer Protocol Протокол передачи гипертекста
CSMA/CD - Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection Множественный доступ с контролем несущей и обнаружением коллизий	IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers Институт инженеров по электронике и радиоэлектронике (США)
DCE - Data Communication Equipment Аппаратура передачи данных	IFG - Inter-Frame Gap Межфреймовый защитный интервал
DHCP - Dynamic Host Configuration Protocol Протокол динамического конфигурирования узла	IP - Internet Protocol Интернет протокол
DiffServ - Differentiated Services Дифференцированные услуги	IPTV - IP TeleVision IP телевидение
DSL - Digital Subscriber Line Цифровая абонентская линия	IS-IS - Intermediate System - Intermediate System Межуровневая сеть связи - Межуровневая сеть связи
DSLAM - Digital Subscriber Line Access Multiplexer Мультиплексор доступа цифровой абонентской линии	LLC - Logical Link Control Управление логическим каналом
DTE - Data Terminal Equipment Оконечное оборудование данных	MAC - Medium Access Control Управление доступом к среде передачи
DWDM - Dense Wave Division Multiplex Мультиплексирование по длине волны высокой плотности	MAC FF - MAC Forced Forwarding Принудительное коммутирование на у равне
EAPS - Ethernet Automatic Protection Switching Автоматическое защитное переключение в технологии Ethernet	MPLS - Multi-Protocol Label Switching Многопротокольная коммутация на основе признаков/меток
ESRP - Extreme Standby Router Protocol Избыточный протокол маршрутизации	OSI - Open System Interconnection Взаимодействие открытых систем
	OSPF - Open Shortest Path First Протокол предпочтения кратчайшего пути
	PE - Public Ethernet Общественная сеть Ethernet
	PEKC - Public Ethernet Key Components Ключевые компоненты общественной сети Ethernet
	PEKM - Public Ethernet Key Mechanism Ключевой механизм общественной сети Ethernet
	PERN - Public Ethernet Reference Network Эталонная сеть Ethernet общего пользования
	PIM-SM - Protocol Independent Multicast- Sparse Mode Протоколнезависимая групповая передача – Разреженный режим
	PoC - Point of Connection Точка соединения

PoP	<i>Point of Presence</i> Точка доступа
PPPoE	<i>Point to Point Protocol over Ethernet</i> Протокол передачи от точки к точке по сети Ethernet
PtPi	<i>Peer to Peer</i> Соединение равноправных узлов ЛВС
PVC	<i>Permanent Virtual Circuit</i> Постоянный виртуальный канал
QoS	<i>Quality of Service</i> Качество услуги
RTP	<i>Real Time Protocol</i> Транспортный протокол реального времени
SCTP	<i>Stream Control Transmission Protocol</i> Протокол управления передачей потоков данных
SDH	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i> Синхронная цифровая иерархия
SFD	<i>Start of Frame Delimiter</i> Обозначение начала фрейма
TCI	<i>Tag Control Information</i> Управляющая информация
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i> Протокол управления передачей
TDM	<i>Time Division Multiplex</i> Временное мультиплексирование/уплотнение каналов (u) - абонентский шлейф
UDP	<i>User Datagram Protocol</i> Протокол дейтаграмм пользователя (v) - интерфейс к телекоммуникационному узлу (местной станции)
VLAN	<i>Virtual Local Area Network</i> Виртуальная локальная вычислительная сеть
VMAN	<i>Virtual Metropolitan Area Network</i> Виртуальная городская сеть
VoIP	<i>Voice over IP</i> Передача речевой нагрузки по IP сетям
VRRP	<i>Virtual Router Redundancy Protocol</i> Виртуальный избыточный протокол маршрутизации
WDM	<i>Wave Division Multiplex</i> Технология уплотнения с разделением по длине волны
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i> Беспроводная локальная сеть
xDSL	Собирательное название группы новых техно логий цифровой абонентской линии DSL

7. Литература:

- [1] Внутренняя документация компании Эрикссон
- [2] William Stallings: "Data & Computer Communications - International Edition", 7. издание, Prentice Hall, 2003
- [3] David Allan и другие: "Ethernet as Carrier Transport Infrastructure", IEEE Communications Magazine, IEEE Communications Society, USA, Veljača 2006.
- [4] Sam Halabi: "Metro Ethernet", Cisco press, USA, 2003
- [5] Ray Horak: "Communications Systems and Networks", 3. издание, Wiley Publishing inc., Indianapolis, USA, 2002.
- [6] Alen Bažant и другие: "Osnovne Arhitekture Mreža", 1. издание, Element, Zagreb, Hrvatska
- [7] Rich Seifert: "The Switch Book", 2. издание, John Wiley and Sons inc., USA, 2000.
- [8] "Cisco Internetworking technologies handbook".

Адрес автора:

Озрен Копайтич

e-mail: ozren.kopajtic@ericsson.com

Ericsson Nikola Tesla d.d.

Krapinska 45

р.р. 93

HR-10002 Zagreb

Хорватия

Редакция приняла рукопись 13 ноября 2006.

Перевод: Владимир Племенич