

MPLS

MultiProtocol Label Switching.

Почему MPLS?

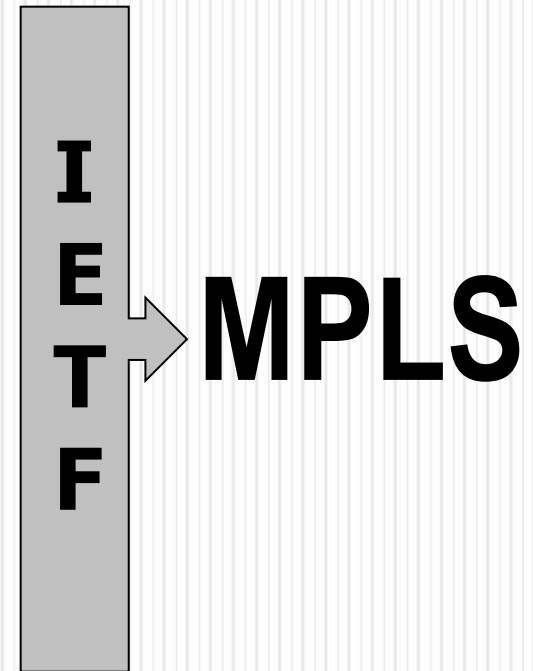
- Интеллектуальная маршрутизация IP-трафика
- Высокоскоростная передача данных
- Поддержка транзита трафика СПД предыдущих поколений
- Сопряжение мультитехнологичных сетей
- Поддержка QoS в СПД
- Удобная основа для VPN

Базис MPLS

- До MPLS использовались технологии, имеющие схожие цели и возможности (FR, ATM)
- MPLS вытесняет их т.к. лучше соответствует потребностям современных и будущих сетей и технологий
- MPLS отказывается от деления трафика на ячейки и сигнальных протоколов ATM, т.к. даже 1,5 kb пакеты не вызывают значительных задержек
- MPLS использует имеющиеся наработки по TE
- До недавнего времени отсутствовала возможность реализовывать маршрутизацию IP аппаратно

Предыстория

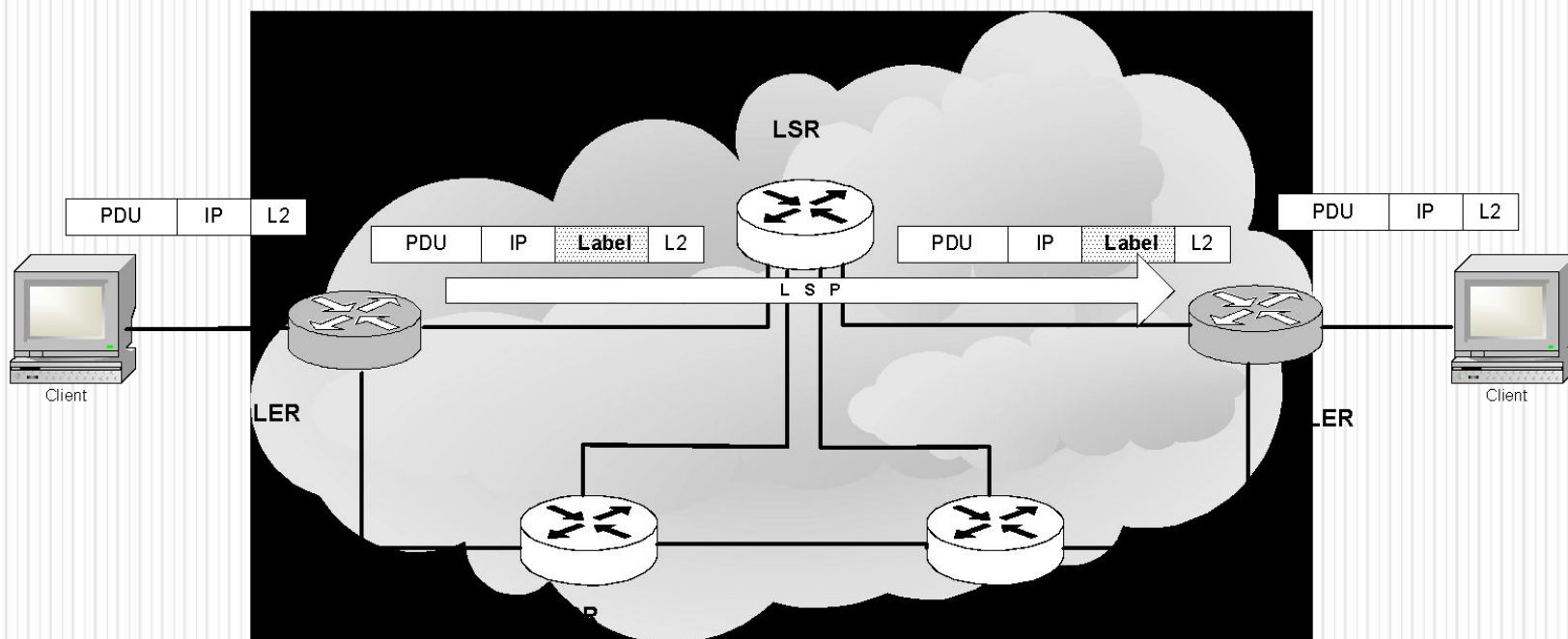
- *Cell Switching* (Toshiba)
- *IP Switching* (Ipsilon)
- *Tag Switching* (Cisco)
- *ARIS* (IBM)



Принцип коммутации по меткам

- Маршрутизация
 - 3 уровень OSI
 - Задача – принятие решения о выборе следующего адресата на пути от отправителя к получателю
- Коммутация
 - 2 уровень OSI
 - Задача – соединение портов узла коммутации с целью передачи данных

Архитектура сети MPLS



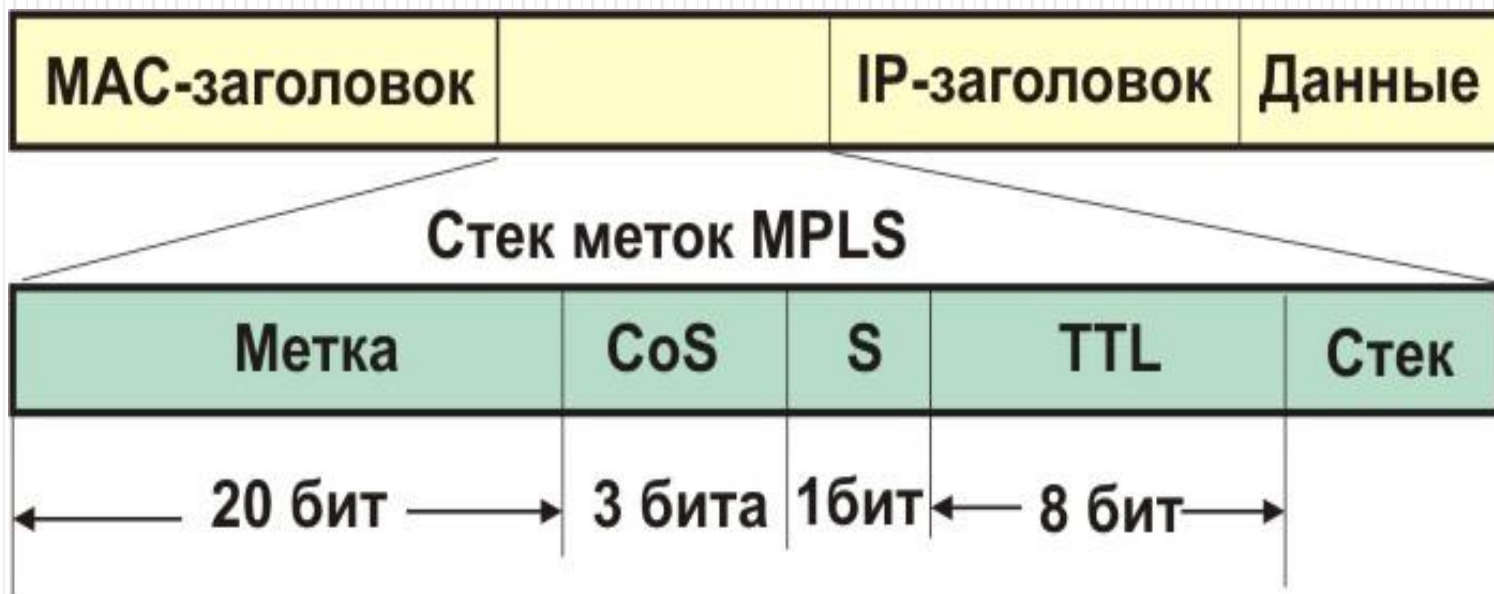
Теория MPLS

- Пакеты не маршрутизируются а коммутируются на основе меток
- Метки помещаются в заголовках пакетов
- Основные операции:
 - Входной LER (Label Edge Router) помещает метку в IP пакет
 - LSR (Label Switch Router) выполняет «label swapping»
 - Выходной LER удаляет метку
- Служебные операции: сформировать таблицу маршрутизации и коммутации
 - IGP
 - Сигнальные протоколы MPLS

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

- Метка (Label)
- FEC – Forwarding Equivalency Class
- LSP – Label Switched Path
- LSR – Label Switching Router

Кодирование стека меток



FEC

Класс эквивалентной пересылки - *форма представления группы пакетов с одинаковыми требованиями по их передаче, т.е. все пакеты в такой группе обрабатываются одинаково на пути их следования к пункту назначения.*

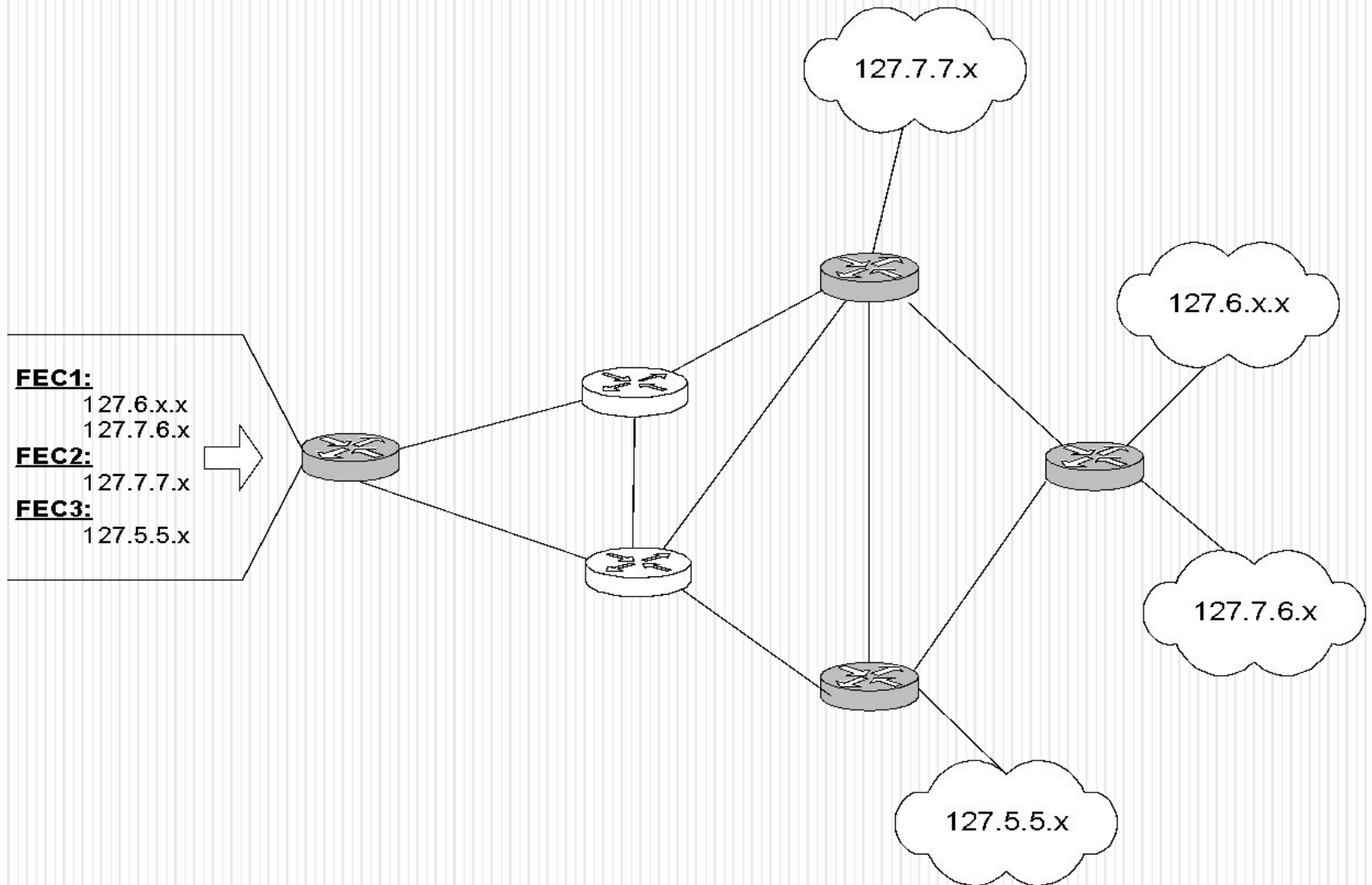
FEC:

- Элемент FEC
-
- Элемент FEC

Элементы FEC:

- *Address Prefix* – содержит адресный префикс
- *Host Address* – полный адрес хоста

Классификация пакетов на входе в сеть



LABEL Forwarding Information Base на граничном LSR

FEC1:

127.6.x.x

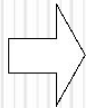
127.7.6.x

FEC2:

127.7.7.x

FEC3:

127.5.5.x



IP-Префикс	FEC
127.5.5.x	3
127.6.x.x	1
127.7.6.x	1
127.7.7.x	2

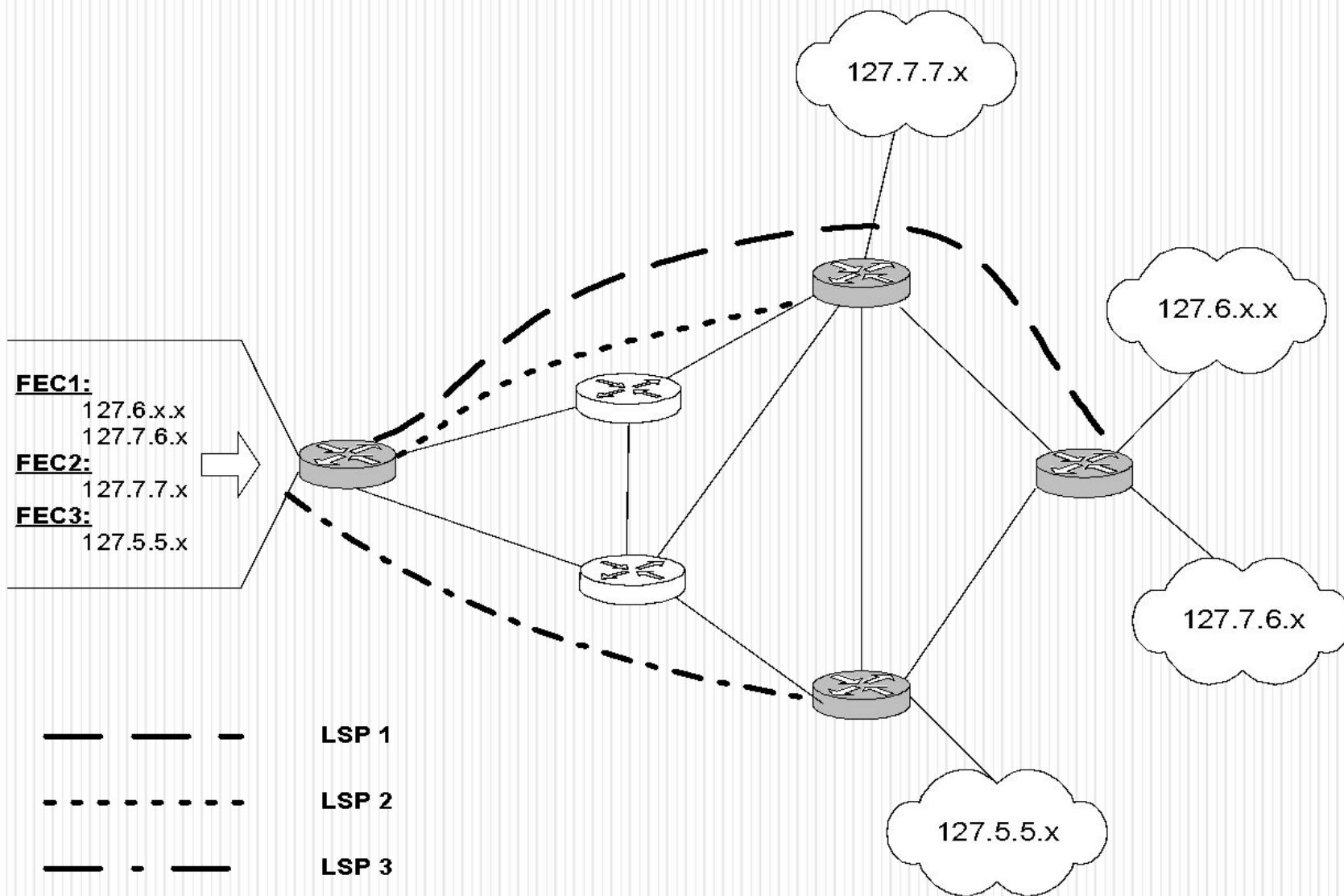
FEC	Метка	Выходной интерфейс
1	16	2
2	3	2
3	46	3

LSR и LSP

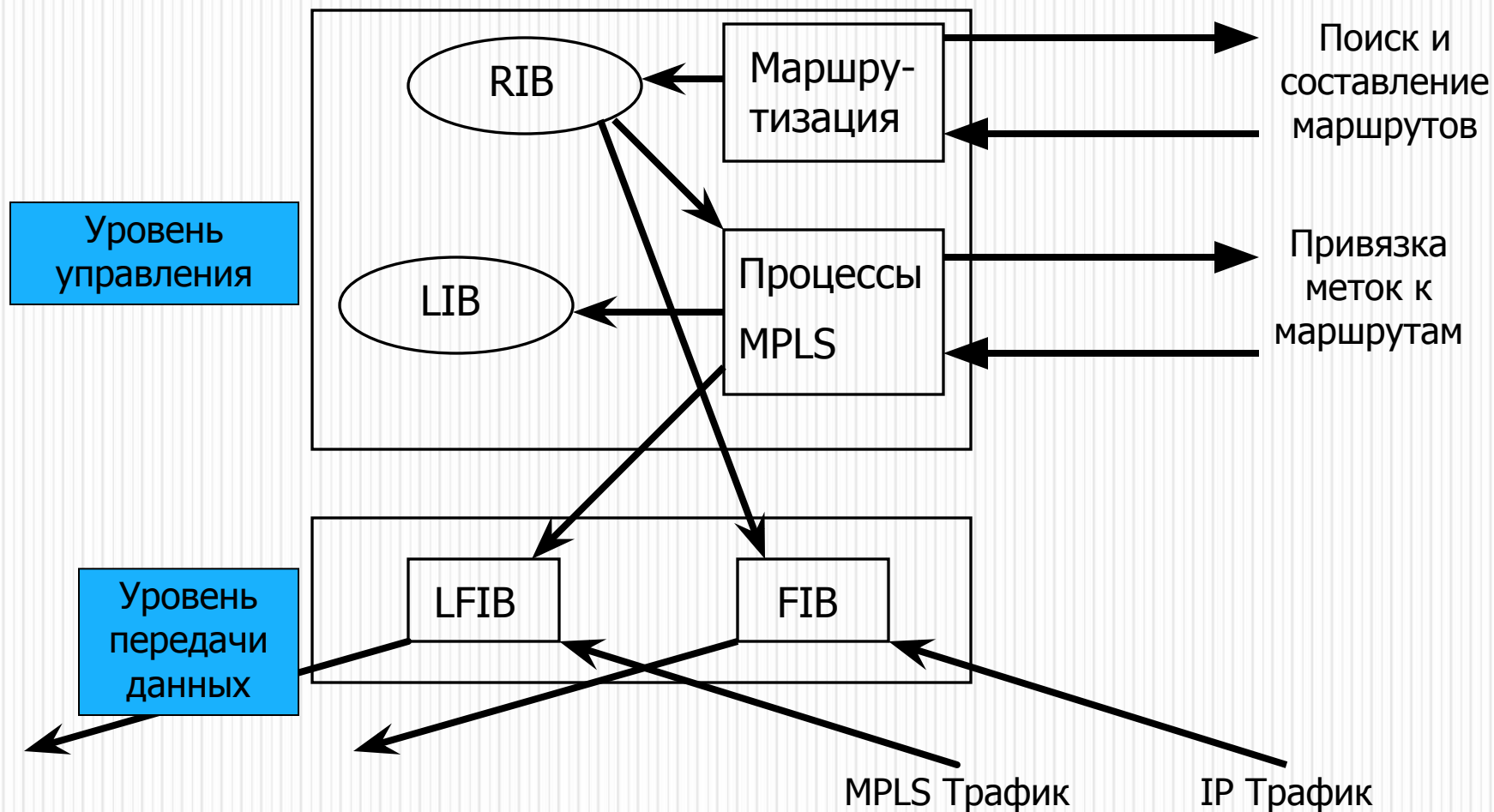
LSR – коммутатор, способный анализировать метки и на их основании принимать решение о направлении передачи данных

LSP – путь коммутации по меткам, представляет собой последовательность узлов и меток в узлах на пути следования потока от отправителя к получателю

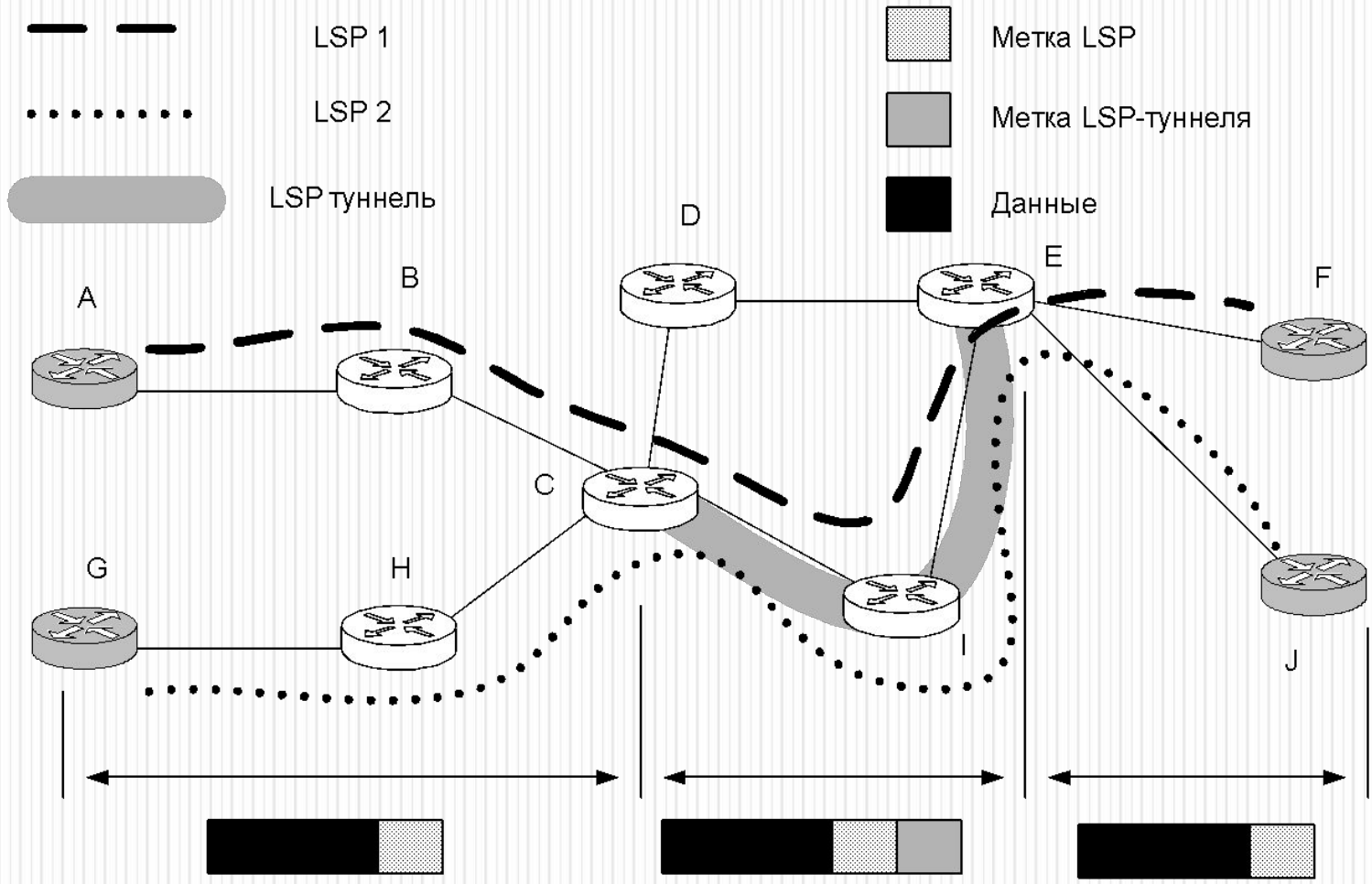
LSP на сети



Уровень управления и уровень передачи данных

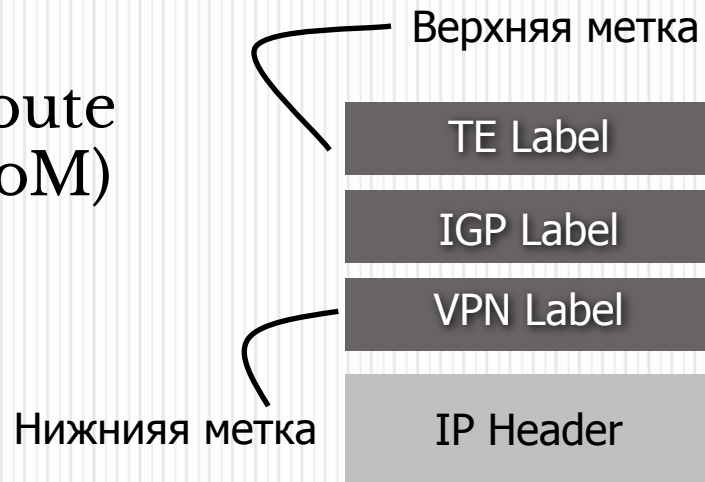


Стек меток и LSP-туннели

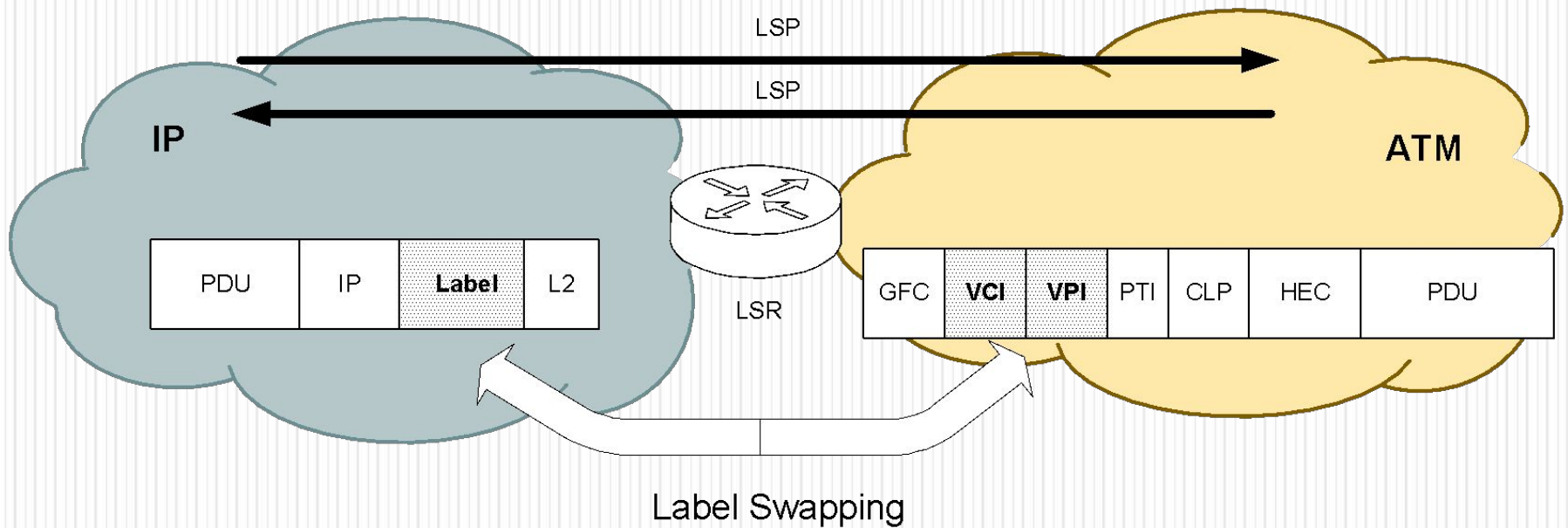


Стек меток

- Несколько подряд идущих меток составляют стек
- Нижние метки могут идентифицировать услуги/ФЕС и т.д.
 - например VPN, fast re-route, альтернативные маршруты
- Верхние метки используются для маршрутизации трафика
 - (так в VPN, верхняя метка может использоваться для передачи трафика по магистральной сети, а нижняя для доставки к конкретной VPN заказчика).
- Делает возможным следующие услуги:
 - MPLS VPN
 - Traffic engineering и fast re-route
 - Any transport over MPLS (AToM)



Сопряжение IP и ATM



Установление LSP

- На базе традиционных протоколов маршрутизации
- Явная маршрутизации

Topology vs. Data vs. Control

- Что побуждает LSR создавать привязку между меткой и FEC?
- Получение пакетов данных, которые должны быть маршрутизированы LSR
- Указание от модуля маршрутизации
- Указание сигнальных протоколов CR-LDP и RSVP-TE
- Три режима привязки меток
 - **Data-driven** : вызывается пакетами данных
 - **Topology-driven** вызывается пакетами маршрутных протоколов.
 - **Control-driven**: вызывается сообщениями протоколов управления

Традиционная маршрутизация

IGP (протокол внутреннего шлюза):

- OSPF
- IS-IS

EGP (протокол внешнего шлюза):

- BGP

Протокол LDP

- Label Distribution Protocol (LDP)
- Набор процедур, при помощи которых LSR устанавливают LSP
- Привязка информации маршрутизации к путям коммутации по меткам
- Для обмена информацией о привязке меток устанавливаются LDP сессии

Режимы работы LDP

Режимы распределения меток:

- *Unsolicited downstream*
- *Downstream-on-demand*

Режимы приёма меток:

- *Консервативный*
- *Либеральный*

Пространства меток

- Используются при назначении меток
- Два типа пространств меток
 - На **интерфейсной основе** – метки, специфичные для некоторого интерфейса, возможно используют ресурсы интерфейса
 - На **платформенной основе** – несколько интерфейсов платформы делят одно пространство меток

Типы сообщений LDP

- Сообщения обнаружения (*discovery messages*)
- Сеансовые сообщения (*session messages*)
- Сообщения-объявления (*advertisement messages*)
- Уведомляющие сообщения (*notification messages*)

Сообщения LDP

Сообщения-объявления

- Label Request
- Label Abort Request
- Label Mapping
- Label Withdraw
- Label Release

Сеансовые сообщения

- Initialization
- Shutdown
- Address
- Address Withdraw

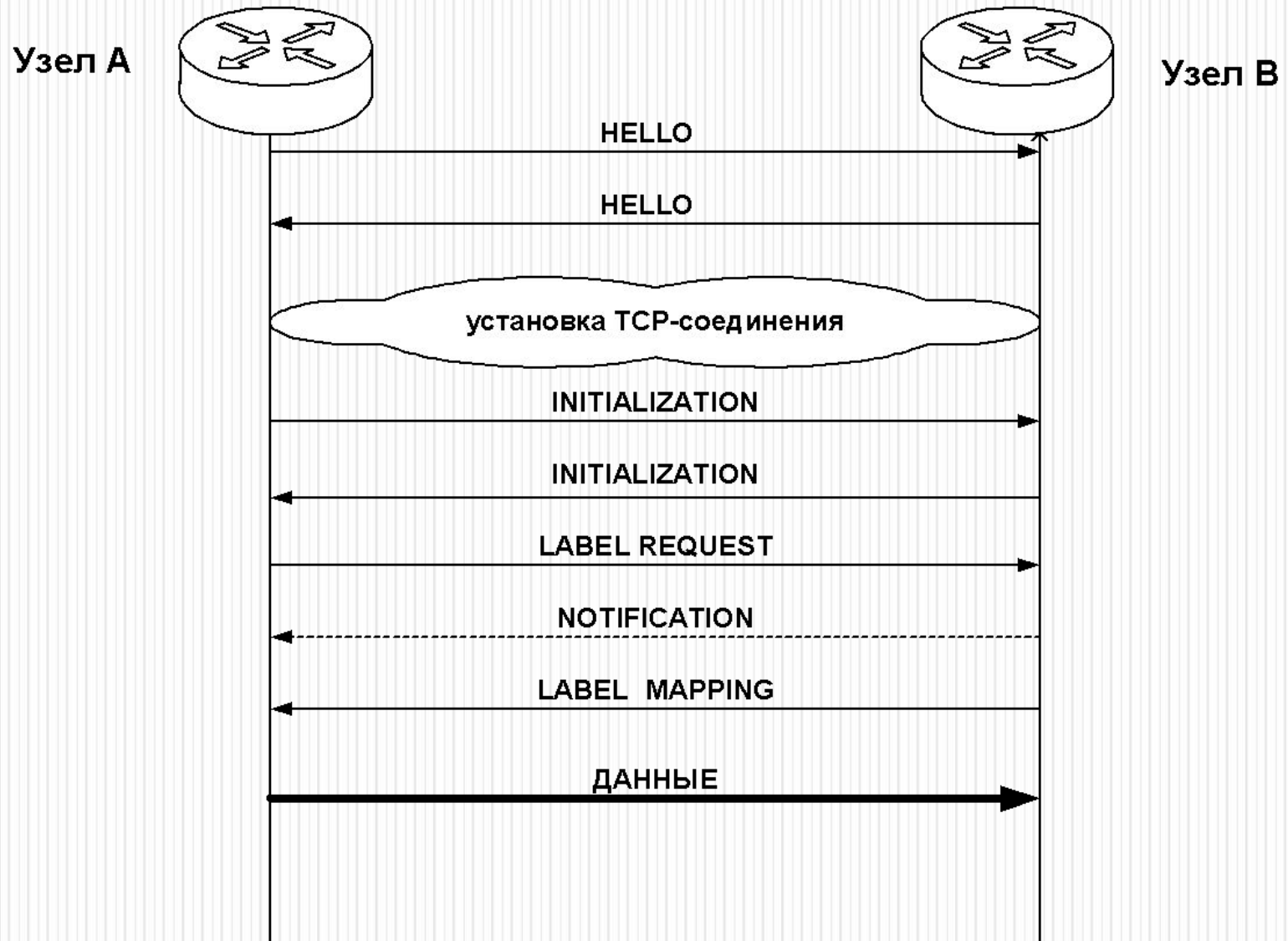
Сообщения обнаружения:

- Hello
- KeepAlive

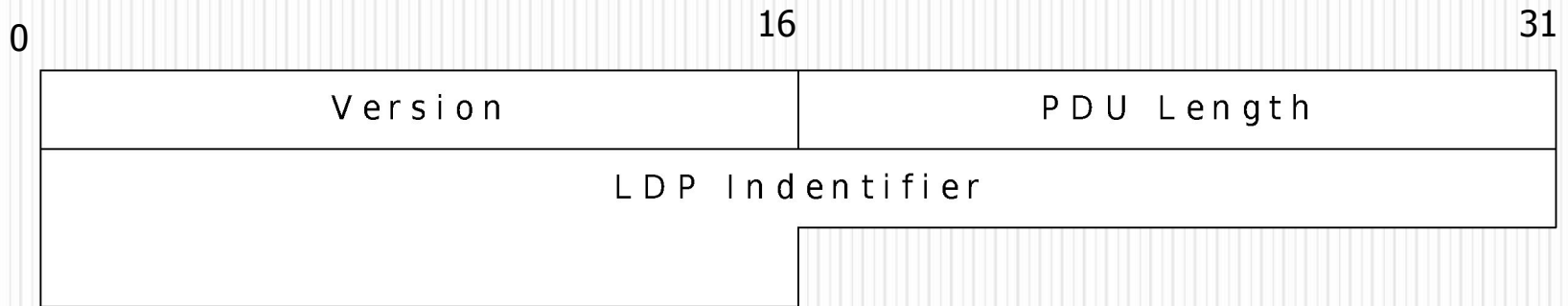
Уведомляющие сообщения:

- Notification

Работа протокола LDP

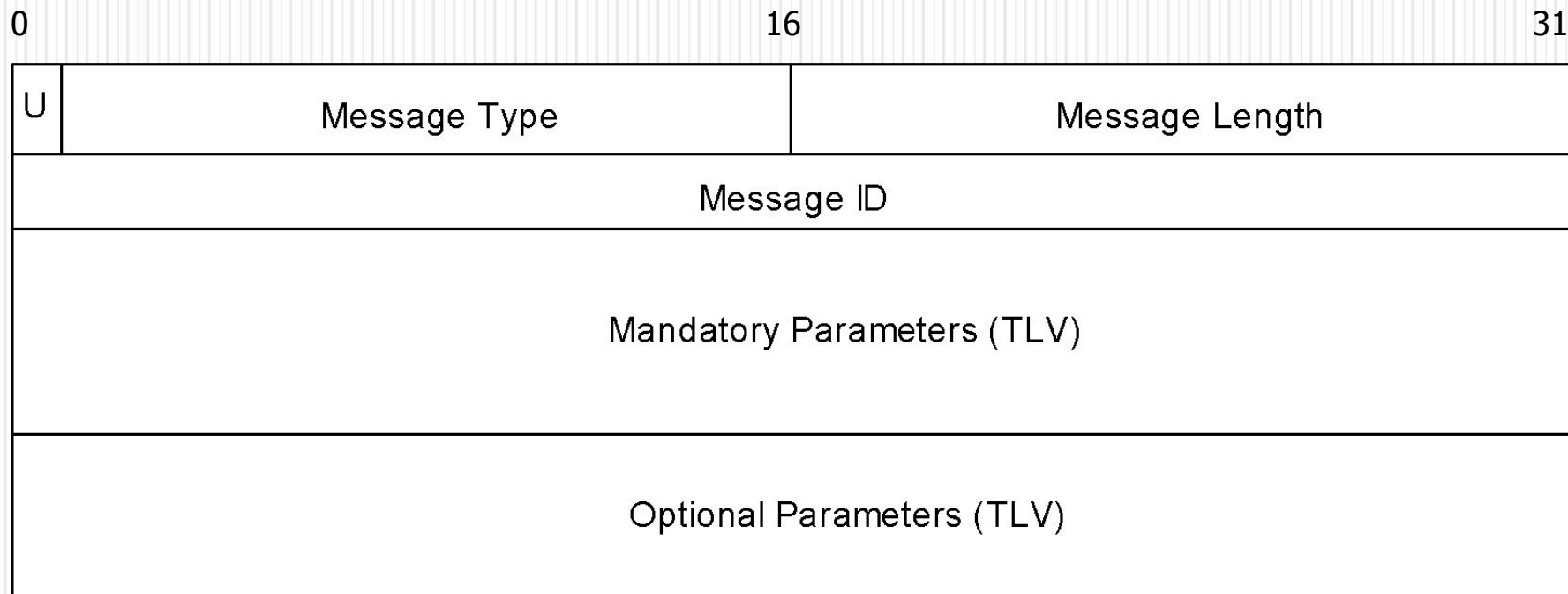


Заголовок PDU



- **LDP** идентификатор – указывает пространство меток
- 4 байта – IP адрес LSR
- 2 байта – идентификатор пространства меток
- Для меток на платформенной основе идентификатор пространства меток заполняется нулями

Формат сообщений LDP



U - Unknown

MPLS-TE

Технология MPLS поддерживающая Traffic Engineering

История

- Начало 1990-х:
 - Маршрутизаторы ядра сети соединены трактами E1/T1 и E3/T3
 - Небольшая часть маршрутизаторов и звеньев управляема
 - Конфигурация сети производится вручную
 - Достаточно IGP протокола с SPF моделью

История

- Середина 1990х
 - ISP хотят увеличения магистральных сетей IP
 - Ожидается рост трафика
 - Маршрутизаторы слишком медленны
 - Метрики IGP усложняются
 - Расчёт маршрута IGP относительно топологии, а не относительно трафика

Цель (RFC 2702)

«...Основная цель Traffic Engineering в Интернет – добиться эффективного и надёжного функционирования сети, одновременно оптимизируя загрузку и производительность сетевых ресурсов»

Traffic Engineering

Traffic Engineering - *методы и механизмы достижения сбалансированности загрузки всех ресурсов сети за счет рационального выбора путей прохождения трафика через сеть*

Два аспекта TE

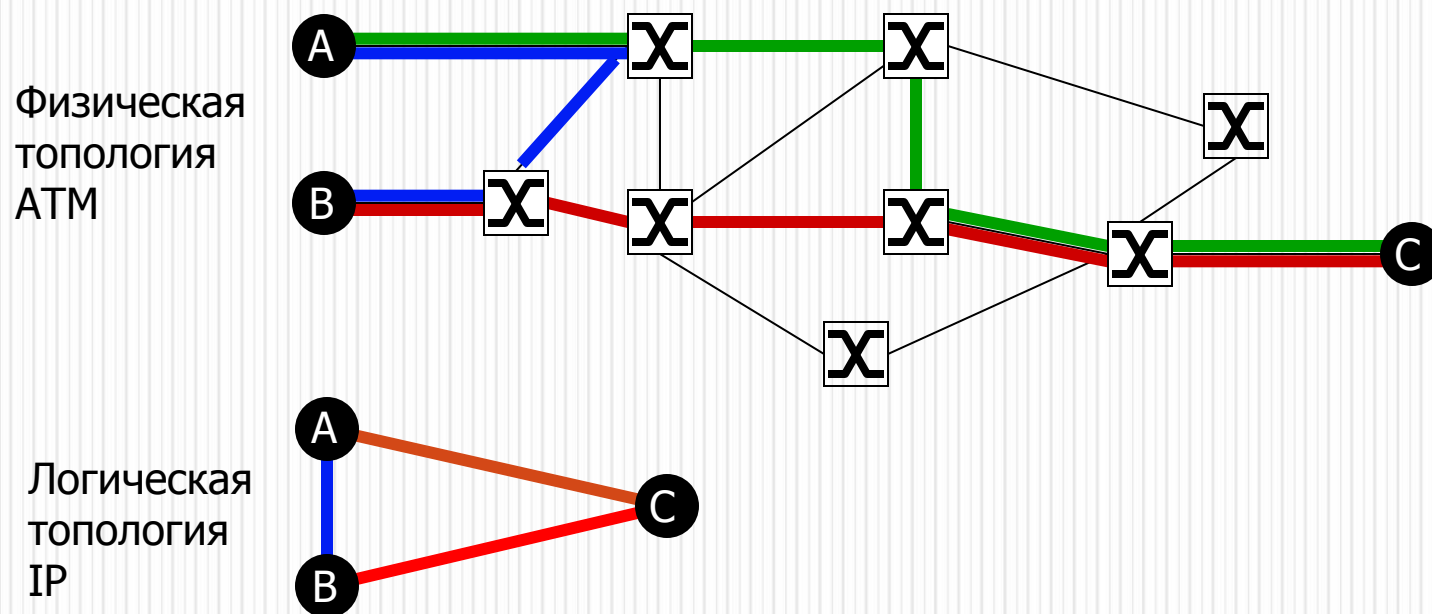
- ***Трафик ориентированный*** – повышение QoS потоков трафика и минимизация потерь пакетов
- ***Ресурсно-ориентированный*** – оптимизация загрузки и эффективное управление полосой пропускания

Наложенные сети

- Коммутаторы АТМ имеют предсказуемую производительность
- ISP создают «наложенные» сети, предоставляющие виртуальную топологию граничным маршрутизаторам
- С использованием виртуальных каналов АТМ, виртуальная сеть может быть реконфигурирована без изменения физической топологии
- Преимущества:
 - Полный контроль над трафиком
 - Статистика для каждого звена
 - Балансировка нагрузки

Пример наложенной сети

- АТМ ядро с IP маршрутизаторами на границе сети

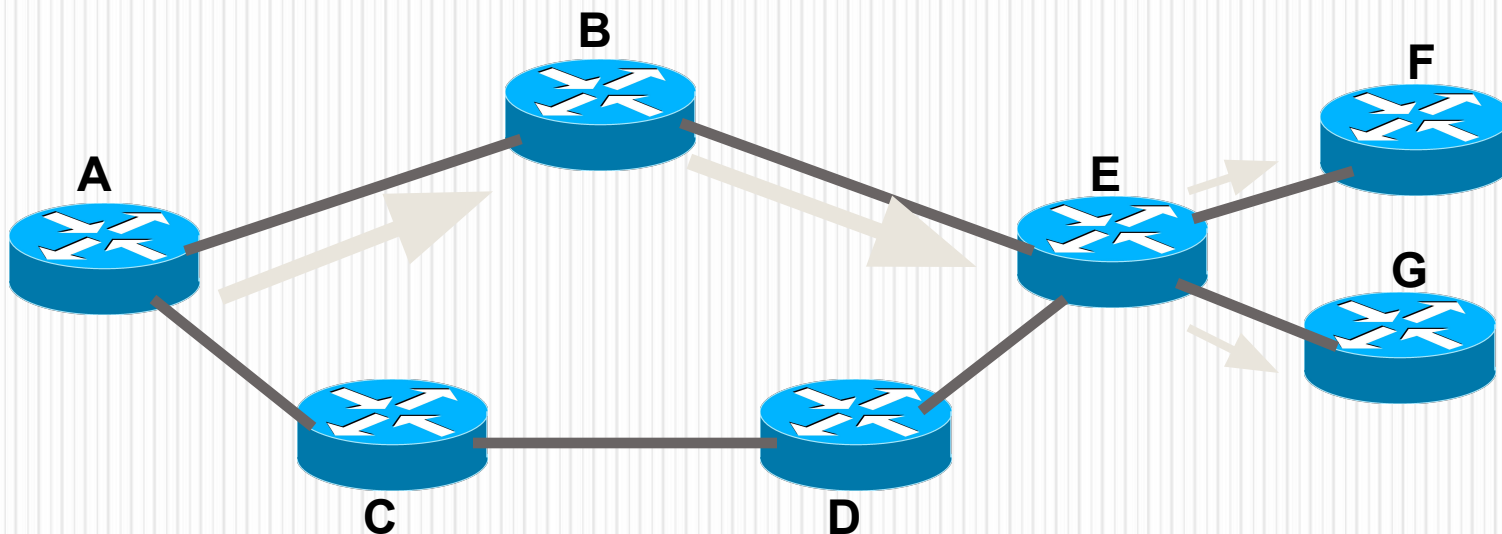


Недостатки наложенной сети

- Рост виртуальных каналов АТМ (PVC) в зависимости от размеров сети
 - 5 маршрутизаторов, добавляем 1 => 10 новых PVC
 - 200 маршрутизаторов, добавляем 1 => 400 новых PVC
 - Протоколы IGP исчерпали свои возможности
- Перегрузка из-за служебной информации АТМ – до 20% ЦП

Недостаток SPF. «Рыба»

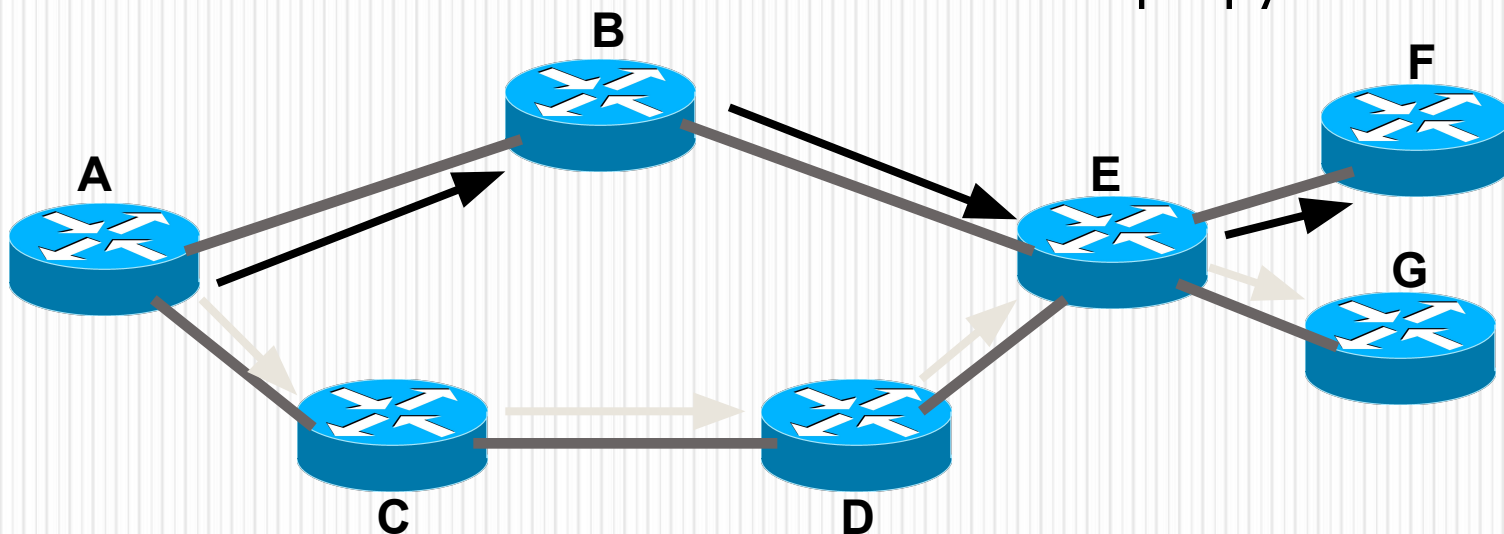
- Все звенья имеют одинаковые значения метрики
- Весь трафик от А к Е, F и G, согласно SPF идёт через маршрутизатор В
- Маршрут А->В->Е перегружен
- Ресурс А->С->D->Е используется неэффективно



Traffic Engineering

Node	Next-Hop	Cost
B	B	10
C	C	10
D	C	20
E	B	20
F	Tunnel0	30
G	Tunnel1	30

- «A» анализирует загруженность звеньев
- «A» рассчитывает маршрут по ограничениям, отличный от SP
- Нет перегрузок!



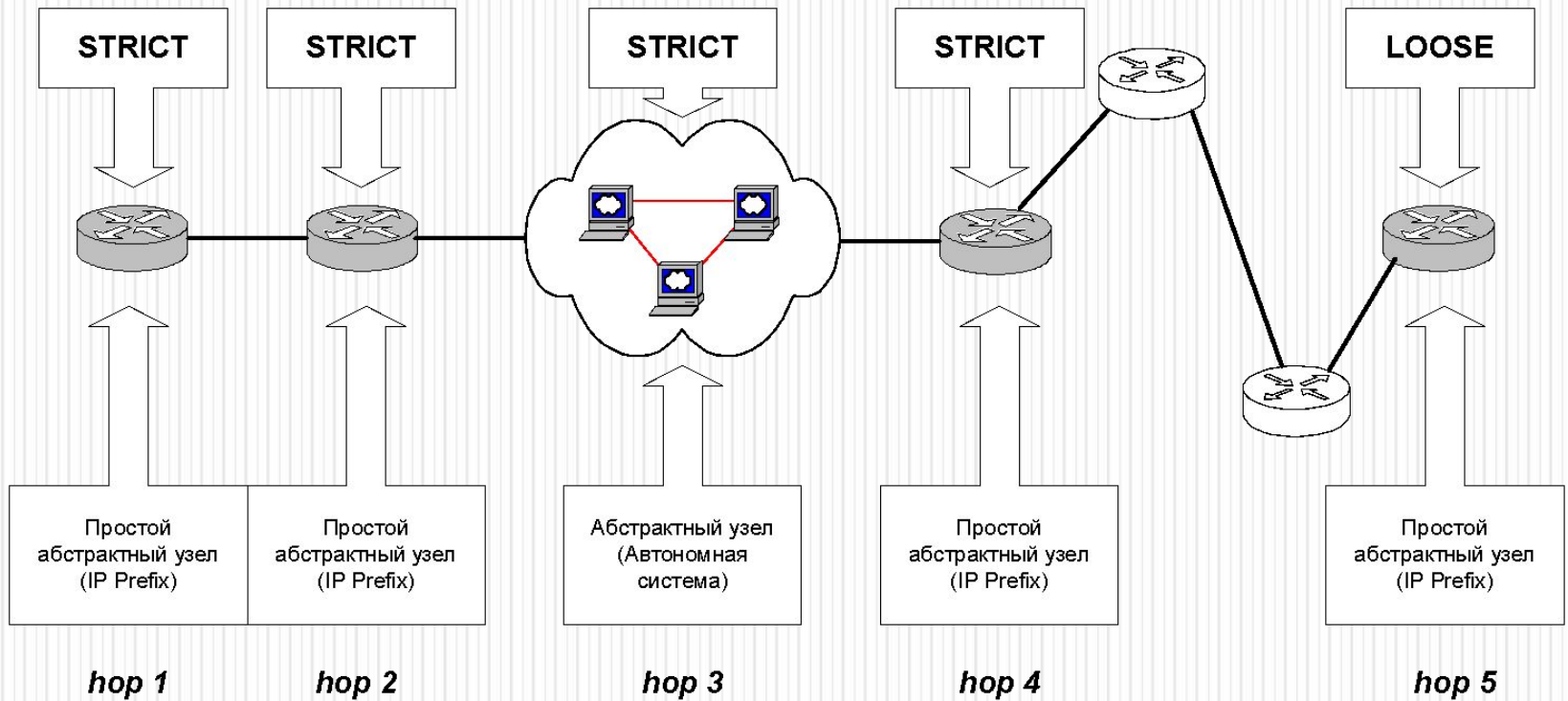
Traffic Engineering. Теория

- MPLS-TE позволяет направлять трафик по маршруту отличному от SPF
- Возможности traffic engineering ATM/FR в IP сети
- Установление соединений с учётом имеющейся пропускной способности.
- Виртуальная выделенная линия
 - Гарантированная пропускная способность
 - Гарантированные задержки

Фундаментальные требования

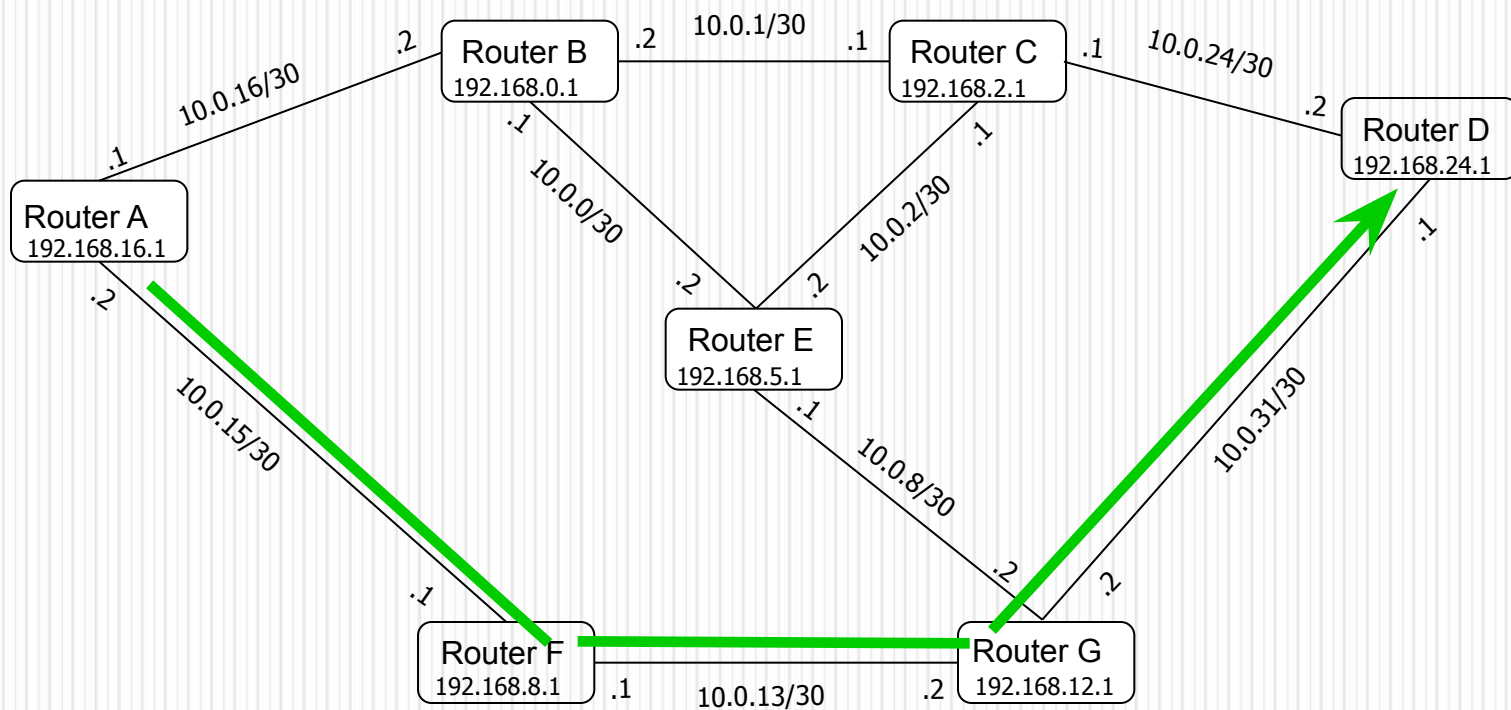
- Направлять трафик на LSP
- Измерять трафик
- Назначать явный маршрут для LSP
 - Полностью известный маршрут
 - Частично известный маршрут
- Определять параметры LSP
 - Полоса пропускания
 - Приоритеты
 - Поддержка «цветов»
- Ремаршрутизация или выбор альтернативного LSP

Явно заданный LSP



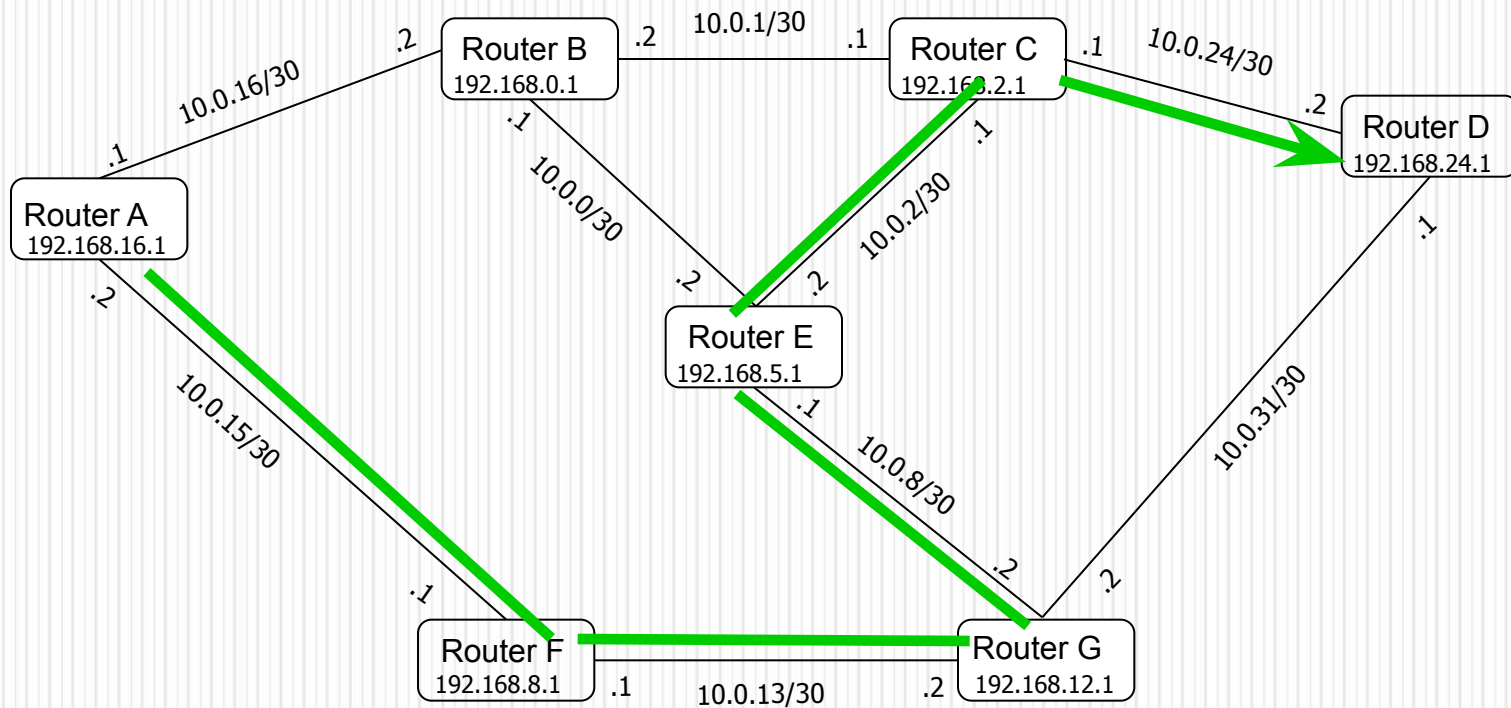
Нестрогий маршрут

- «Loose» пересылка до G , затем G-D
- Маршрут до G рассчитывает IGP



Строгий маршрут

- A-F-G-E-C-D



Основные компоненты подсистемы TE в MPLS

- Пользовательский интерфейс для управления политикой Traffic Engineering
- IGP-компонент
(расширенная версия OSPF или IS-IS)
- Маршрутизация на основе ограничений (напр. мод. алг. Дейкстры)
- Компонент сигнализации
(RSVP-TE или CR-LDP)
- Компонент пересылки данных

OSPF-TE и IS-IS-TE

Оба протокола распространяют одинаковую информацию:

- Идентификация звена
- Метрики TE
- Информация о полосе пропускания (максимальная ПП, максимальная доступная для резервирования ПП)

Алгоритм поиска маршрута по ограничениям

- Модифицированный SPF
- Находит кратчайший маршрут по метрикам IGP, но удовлетворяющий ограничениям
- Интегрированная TED
 - IGP топология
 - Доступная пропускная способность
 - Цвет ресурсв
- Возможные ограничения
 - Максимальное количество пересылок
 - Полоса пропускания
 - Строгий/не строгий маршрут

Сигнализация в MPLS-TE

- CR-LDP – добавить LDP функции обеспечения QoS
- RSVP-TE – добавить RSVP функции распространения меток

CR-LDP

Новые возможности:

- явная маршрутизация
- спецификация параметров трафика
- резервирование ресурсов
- закрепление маршрута (*route pinning*)
- механизм приоритетного вытеснения LSP
- введён LSPID
- введены классы (цвета) сетевых ресурсов

RSVP-TE

Новые возможности:

- Запрос/объявление меток
- Явная маршрутизация
- Обнаружение петель
- Приоритетность сеансов
- Работа с туннелями
- Сообщения Hello
 - Hello
 - Hello Request
 - Hello Ack
 - Src_Instance
 - Dst_Instance

SESSION (IPv4/IPv6)

Работа с виртуальными каналами:

- Адрес выходного узла туннеля
- Идентификатор туннеля (16 бит)
- Расширенный идентификатор туннеля
 - IP адрес входного узла

Sender Template (IPv4/IPv6)

- Адрес отправителя данных туннеля
- LSP ID
- Такой же формат у LSP TUNNEL FILTER SPEC (IPv4/IPv6)

Основные отличия RSVP-TE и CR-LDP

- Направление резервирования
- Транспортный протокол
- Жесткое и нежесткое состояние
- Способ закрепления маршрута
- Устойчивость к отказам

Приоритетное вытеснение

- Определяет относительную важность LSP на маршрутизаторе LSR
- Модуль маршрутизации использует приоритеты чтобы оптимизировать маршруты
- Более приоритетные LSP
 - Устанавливаются в первую очередь
 - Прокладываются по оптимальному маршруту
 - Могут вытеснять неэксприоритетные при ремаршрутизации
- Управляется приоритетами вытеснения и удержания

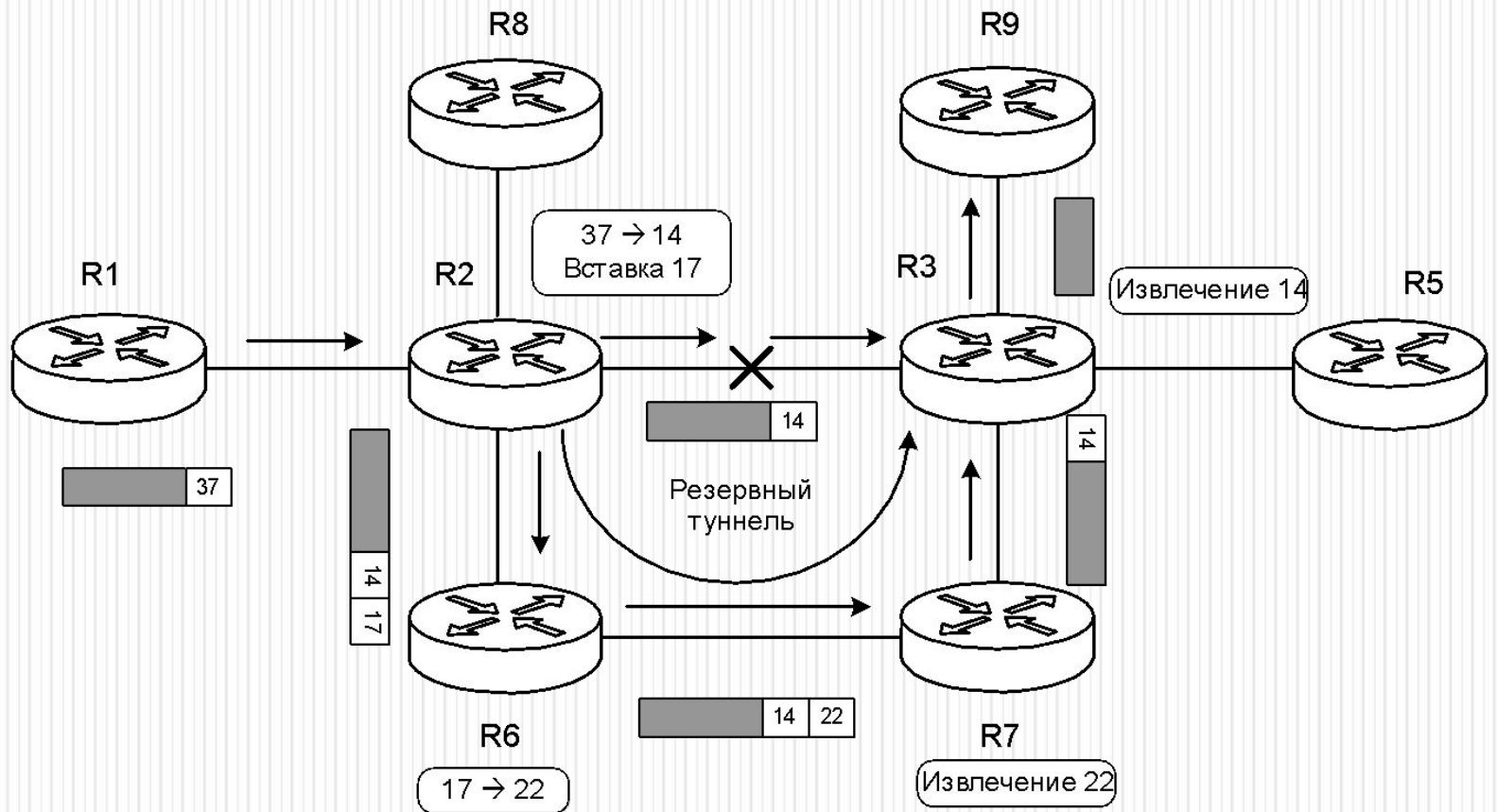
Балансировка трафика LSP

- При наличии равноценных маршрутов
 - Выбирается один маршрут для LSP
 - Случайно
 - Наиболее загруженный
 - Наименее загруженный
 - Балансировка трафика по нескольким LSP

Fast ReRoute

- Кратковременное решение для уменьшения потерь пакетов
- Ремаршрутизация трафика на резервный путь
~100 мс
- Резервный маршрут рассчитывается по TED
- Если узел или звено выходит из строя, верхний узел
 - Немедленно ремаршрутизирует трафик
 - Извещает о аварии граничный узел

Fast ReRoute



Ремаршрутизация LSP

- Иницируется входным LSR
- Причины
 - Доступен новый оптимальный маршрут
 - Сбой вдоль LSP
 - Произошло приоритетное вытеснение
 - Конфигурация вручную
- Алгоритм
 - Установить новый LSP с SE фильтром
 - Направить трафик на новый LSP
 - Разорвать старый LSP

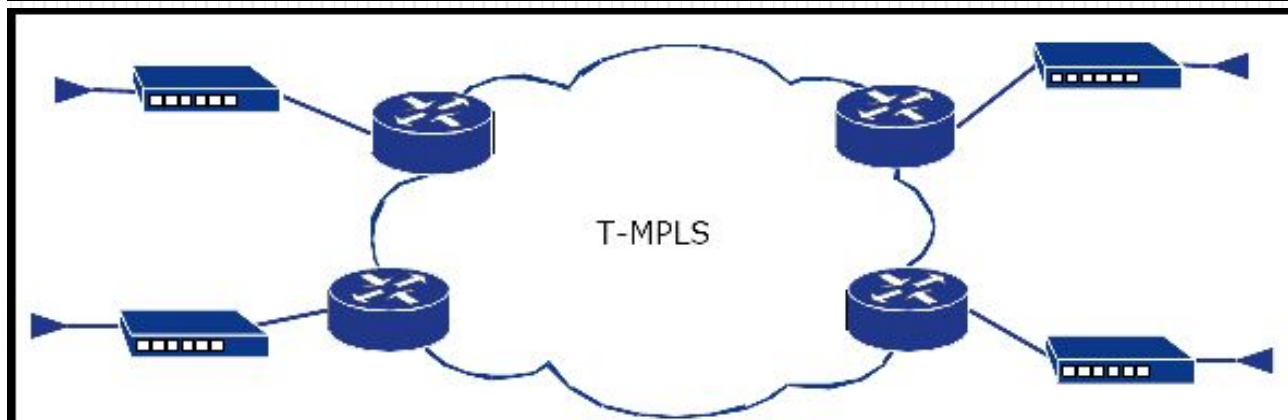
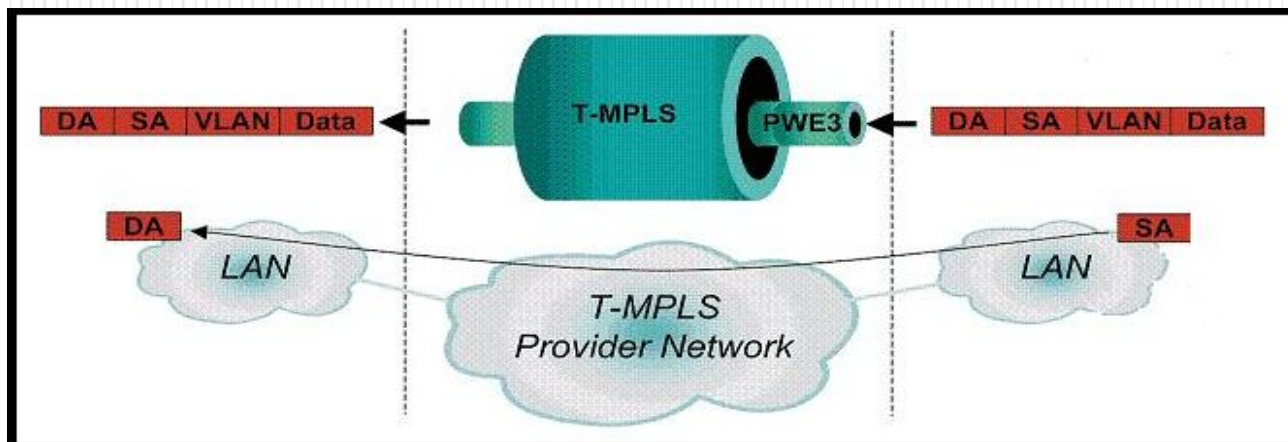
T-MPLS (*Transport Multiprotocol Label Switching*)

Концепция распределённого коммутационного поля

Предпосылки T-MPLS

- В крупных транспортных сетях используются оптические каналы
- Транспортная сеть должна быть масштабируемой
- В транспортной сети небольшое количество долговременных соединений с широкой полосой пропускания
- Транспортная сеть предъявляет повышенные требования к надёжности

T-MPLS как транспорт



Кадры Ethernet переносятся в неизменном состоянии
через туннель псевдолиний PWE3.

T-MPLS

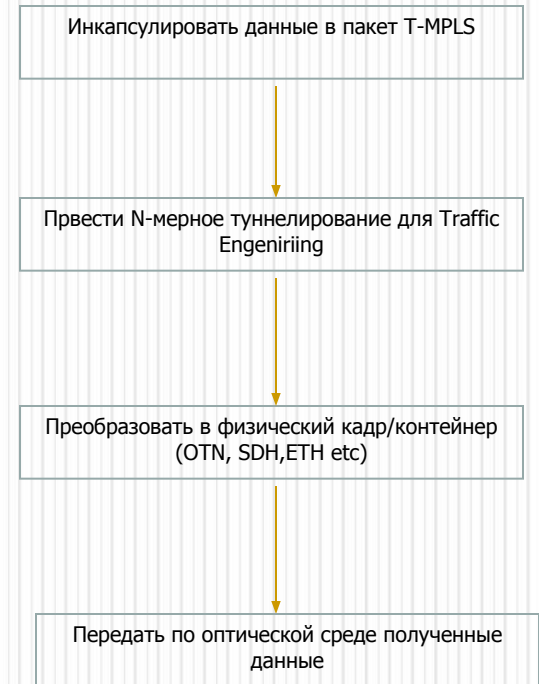
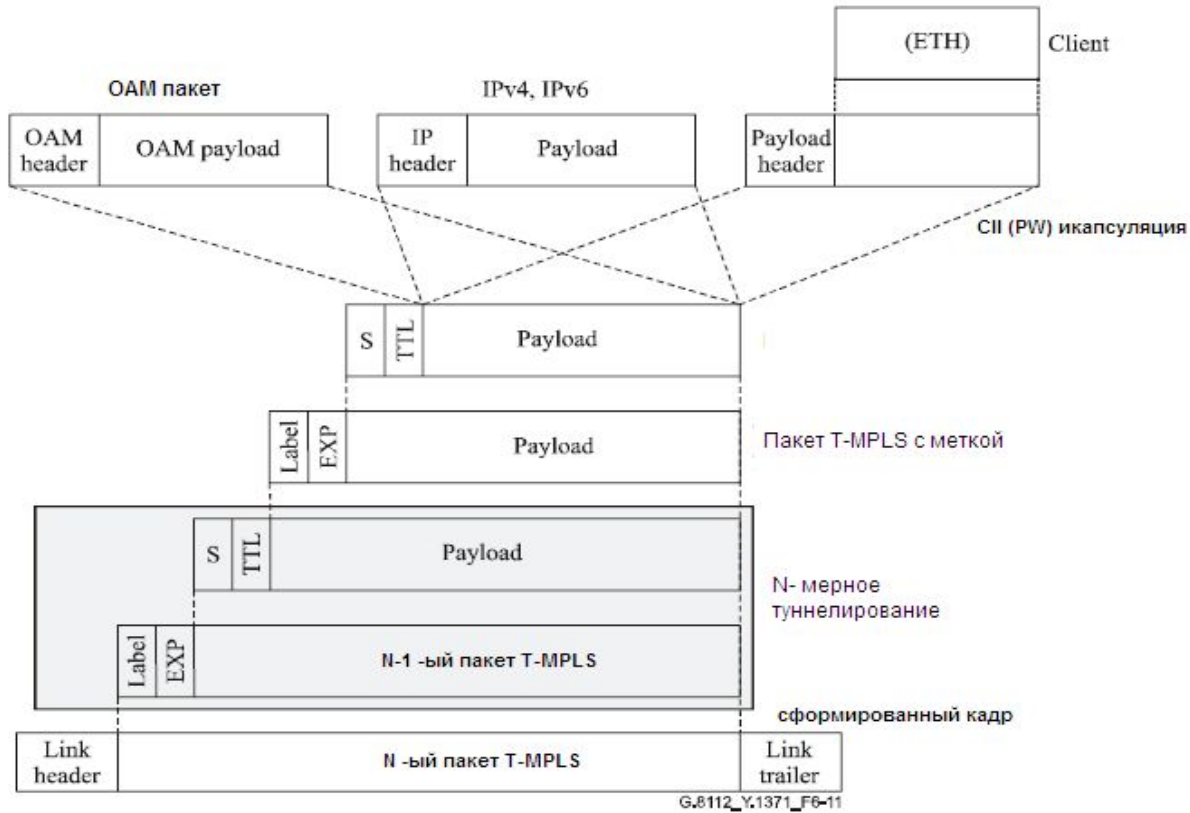
- T-MPLS это пакетная транспортная технология, требующая предварительного установления соединения. Централизованная система управления устанавливает соединения типа «точка – точка».
- Архитектура T-MPLS базируется на модели G.805
- T-MPLS избавлена от протоколов маршрутизации, протоколов распределения меток (OSPF, BGP, LDP, RSVP-TE)
- Единый Control Plane
- Поддержка традиционных методик OAM
- Поддержка защитного переключения 50 мск. Кольцевые и линейные схемы защиты в соответствии с ITU-T Y.1720
- Нет ограничений на наложенные сети. Любые технологии «сверху» и «снизу»

Стандарты T-MPLS

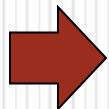
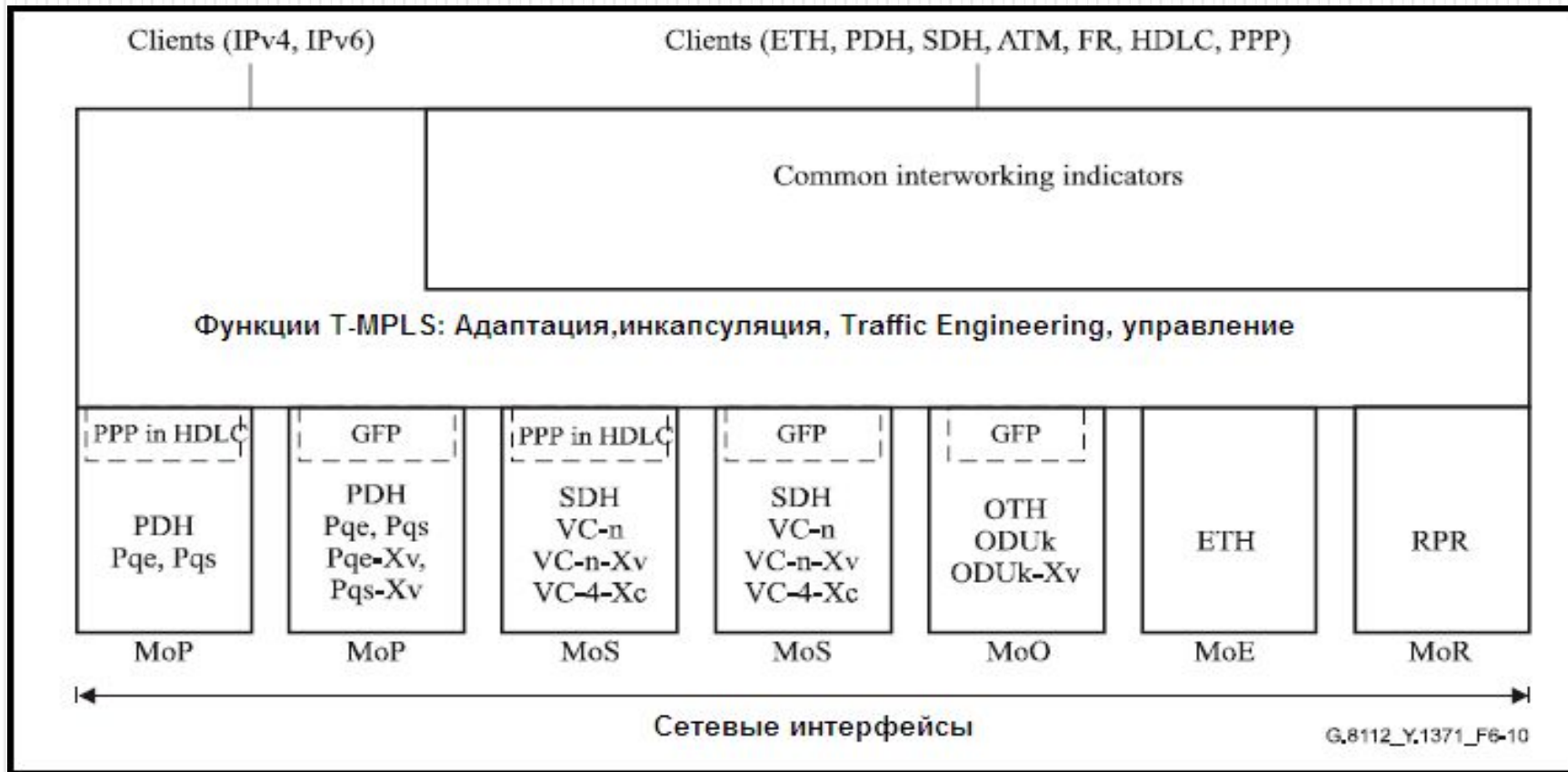
- G.8110.1 основные принципы архитектуры
- G.8112 - Интерфейсы для иерархии T-MPLS
- G.8121 - Характеристики функциональных блоков оборудования T-MPLS
- G.8131 - Защитное переключение для сетей T-MPLS.
- G.8151 - Аспекты управления сетью T-MPLS

Инкапсуляция T-MPLS

Инкапсуляция данных Ethernet, IP, OAM в пакеты T-MPLS

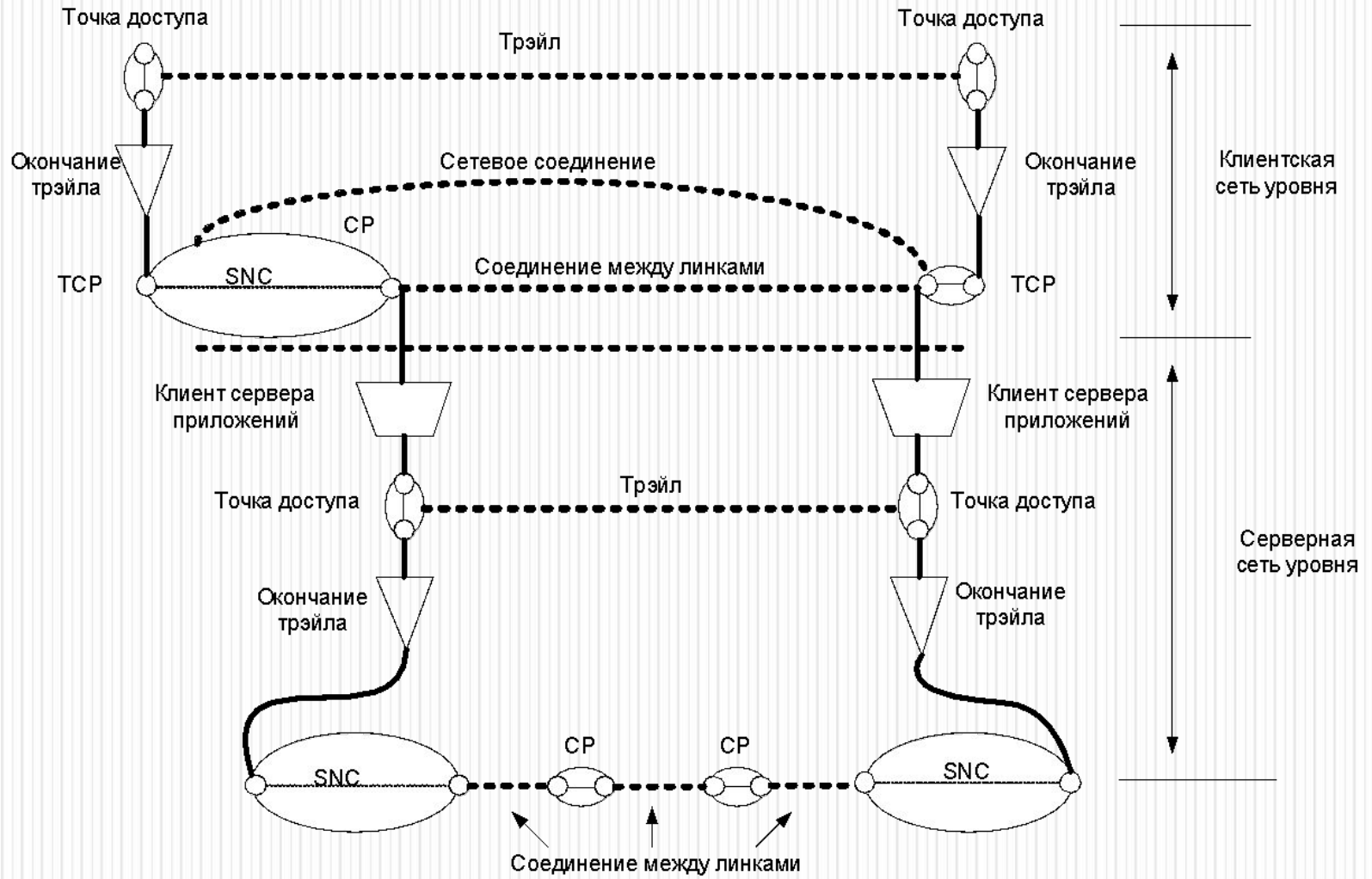


Структура интерфейсов

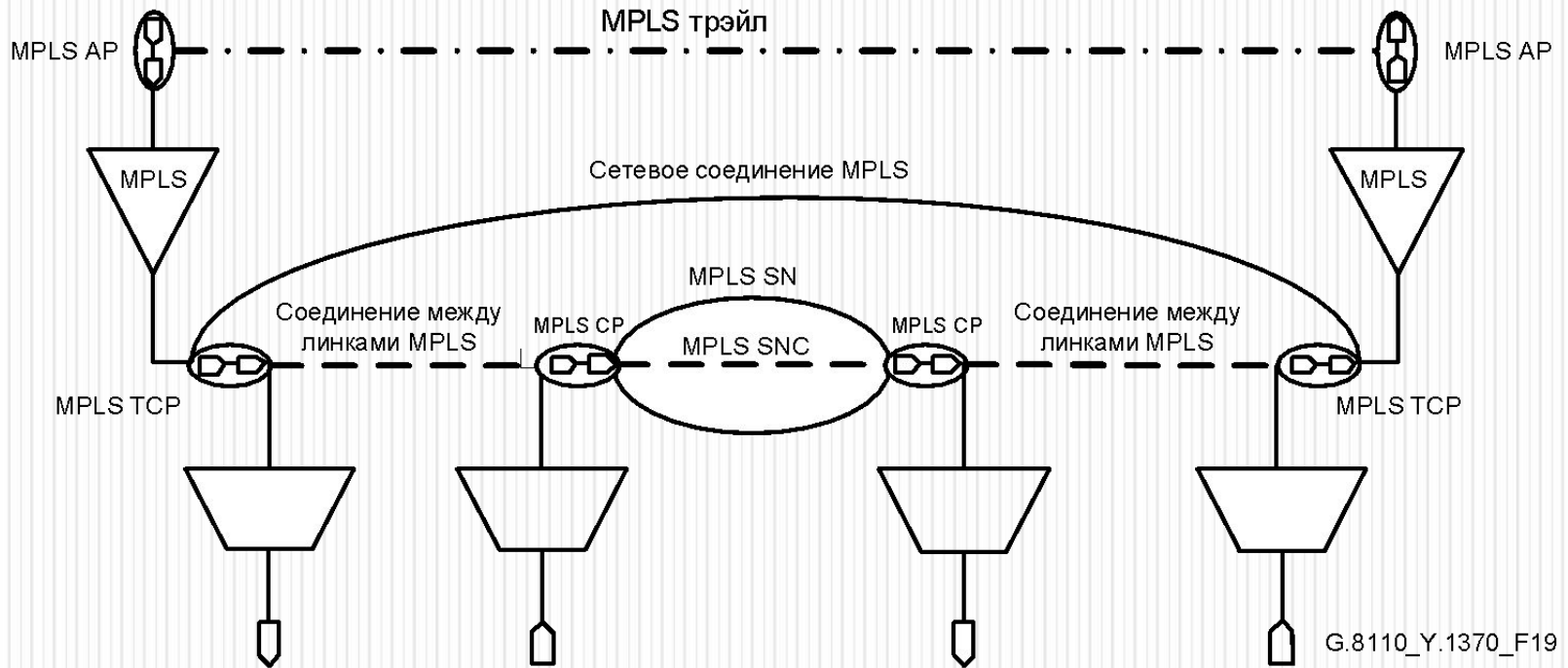


T-MPLS допускает использование любого физического стандарта и интерфейса
 T-MPLS не накладывает ограничений на технологию, для которой она является транспортом

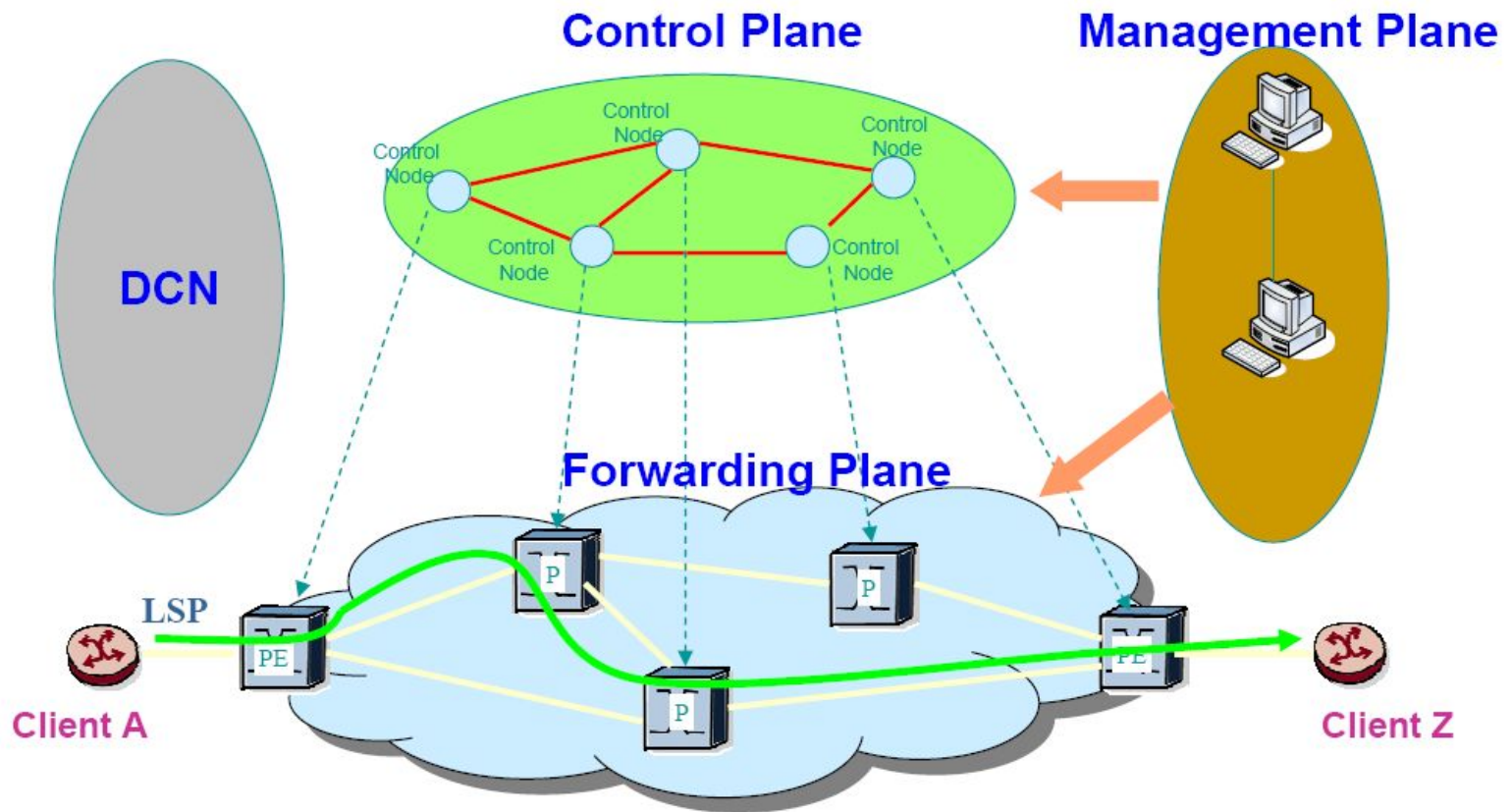
Модель G.805



Сеть уровня MPLS



Управление сетью T-MPLS

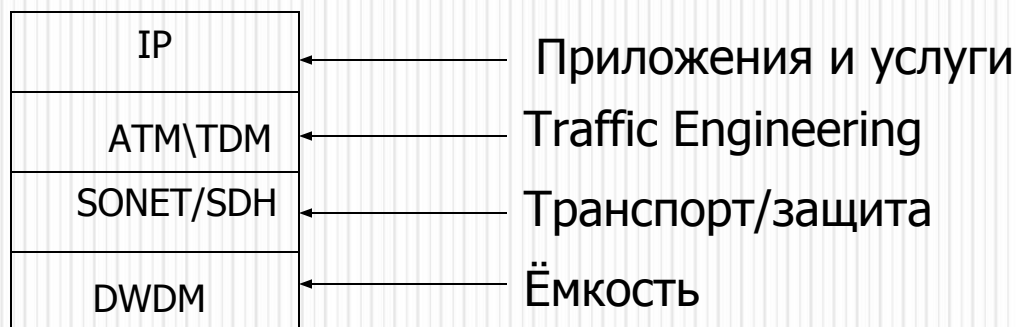


GMPLS

Generalized MultiProtocol Label
Switching

Зачем GMPLS?

- *Generalized Multi-Protocol Label Switching* – универсальная MPLS
- GMPLS – технология оптических сетей
- Что хотят провайдеры:



- Проблемы
 - Сложность в управлении несколькими уровнями
 - Неэффективное использование полосы пропускания
- Решение: устранить средние уровни IP/WDM

Суть GMPLS

- В GMPLS специфицируются объекты и процедуры, позволяющие MPLS функционировать в окружении «не пакетных» интерфейсов
- Единый **Control Plane** для всех транспортных уровней

GMPLS и MPLS

- GMPLS – развитие MPLS
 - Применение техник уровня управления MPLS в оптических коммутаторах и алгоритмов IP маршрутизации для управления трактами оптической сети
- Изменения
 - Отделение сигнального канала и канала данных
 - Поддержка большего количества интерфейсов
 - И т.д.

Интерфейсы

Поддержка интерфейсов:

- *Packet-Switch Capable (PSC)*
 - Маршрутизатор/АТМ коммутатор/FR коммутатор
- *Time-Division Multiplex Capable (TDM)*
 - SONET/SDH
- *Lambda Switch Capable (LSC)*
 - Оптический кросс-коннектор
- *Fiber-Switch Capable (FSC)*

Что необходимо добавить?

- Новый протокол LMP для оптической коммутаторов
- Расширения для OPSF
- Расширения для RSVP и LDP
- Улучшение масштабируемости:
 - Hierarchical LSP
 - Объединение каналов “link bundling”
 - Адресация к узлам и каналам «не-IP»

GMPLS и MPLS: плоскость управления

Сходства

- Поддержка пакетной передачи
 - GMPLS тоже работает!
- Канал управления через IP
- Поддержка QoS
 - GMPLS напрямую с WDM
- Устойчивость
 - FRR только для пакетов
 - Альтернативы для оптики
- Общая архитектура
 - Протоколы IGP с TE для маршрутизации
 - Модели Peer vs Overlay

Различия

- Метки могут не изменяться по пути LSP
 - Например длина волны
- Двухнаправленные LSP
- Ограничение на диапазон меток
- Сигнализация Out of Band
 - control plane <> data plane - разные физ. среды
- + Протокол LMP
 - Появились не-PSC интерфейсы и каналы

GMPLS и MPLS: плоскость данных

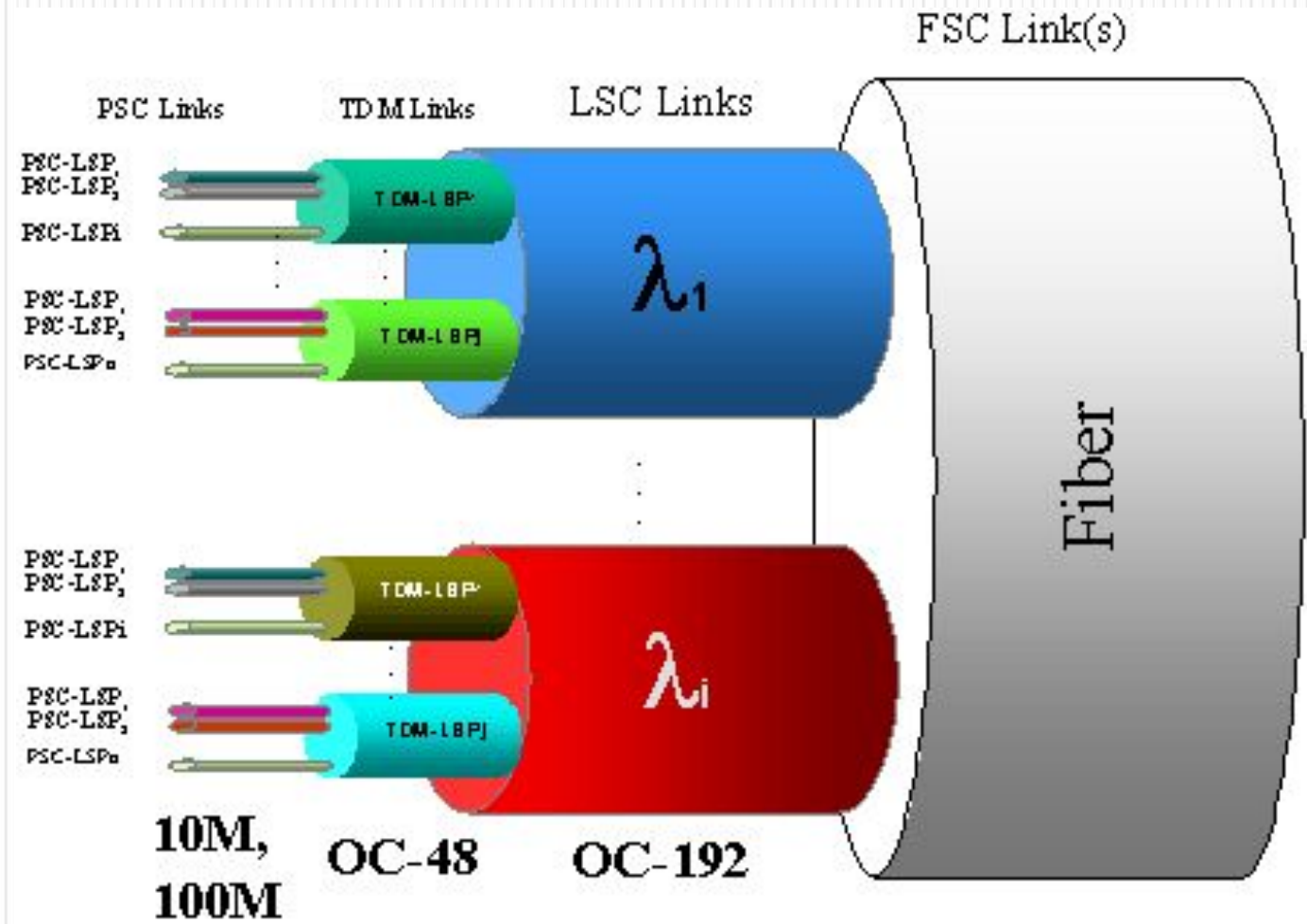
Сходства

- Для пакета IP ничего не изменилось
- Метку можно вставить
 - Shim header работает!
- Псевдолинии PW3
 - Можно организовать и в GMPLS

Различия

- Поддержка без пакетных интерфейсов и коммутаций
 - Лямбда, порт, vlan, тайм-слот
- Метка как часть формата данных
 - напр. Поля Ethertype, VID, MAC
- + Иерархия LSP
 - С помощью overlay
 - С помощью Forwarding Adjacency

Иерархия LSP



Иерархия LSP: Peer vs Overlay

Overlay (Наложенная сеть)

1. Оптический домен прозрачен для маршрутизаторов
2. Маршрутизатор – клиент оптической сети
3. data plane layer : control plane inst = **n:n**
4. Один экземпляр control plane для установления LSP
5. Еще один экземпляр использует этот LSP как канал TE
6. Маршрутизатор PE контактирует только с соседним core - роутером
7. Не обязательно делать upgrade PE до GMPLS

Иерархия LSP: Peer vs Overlay

Peer (Одноранговая модель)

1. Все участники GMPLS сети «равноправны» с точки зрения маршрутизации
2. Граничные маршрутизаторы участвуют в маршрутизации, известна топология core сети
3. data plane layer : control plane inst = **n:1**
4. Иерархия благодаря **Forwarding Adjacencies** Один экземпляр control plane для установления LSP

Forwarding Adjacency – LSP, который объявляется и участвует в маршрутизации, как один канал TE. Записи в таблицах роутеров обычных каналов и FA – равноправны.

Техника требует расширений протоколов OSPF и RSVP

Сложности

- Маршрутизация
 - Ограниченное количество меток
 - Большое количество звеньев
 - Идентификация звена
 - Масштабируемость маршрутных протоколов
- Сигнализация
 - Большое время конфигурации метки
 - Необходимость двунаправленных LSP
- Управление
 - Обнаружение сбоев
 - Защита от сбоев и восстановление

Универсальная метка

Объект *Generalized Label* может переносить метку идентифицирующую конкретное волокно в пучке, частотный диапазон в волокне, определённую длину волны в частотном диапазоне (или волокне), временные интервалы, переносимые некоторой длиной волны, традиционную метку MPLS, метки Frame Relay и ATM.

Запрос универсальной метки

Дополнительно:

LSP encoding type (8 бит) - тип кодирования LSP

Switching Type (8 бит) - тип коммутации на звене

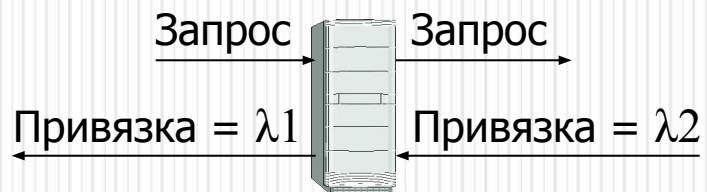
Generalized PID (16 бит) – тип передаваемой нагрузки

Предлагаемая метка

Suggested Label – посылается верхним LSR нижнему. Это позволяет верхнему узлу начинать конфигурировать оборудование до объявления метки нижним узлом. Нижний LSR может подтвердить использование предлагаемой метки или назначить другую.

Предлагаемая метка

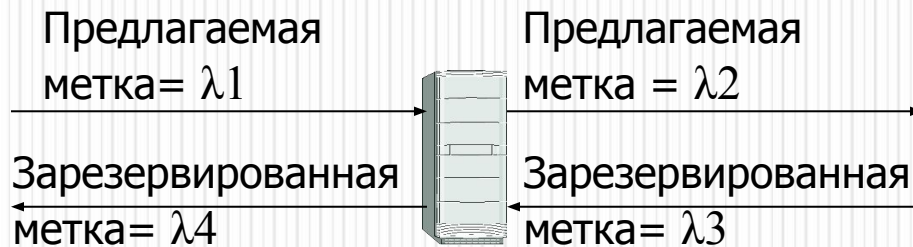
Без предлагаемой метки



Коммутация $\lambda_1 \times \lambda_2$

С предлагаемой меткой

Коммутация $\lambda_1 \times \lambda_2$



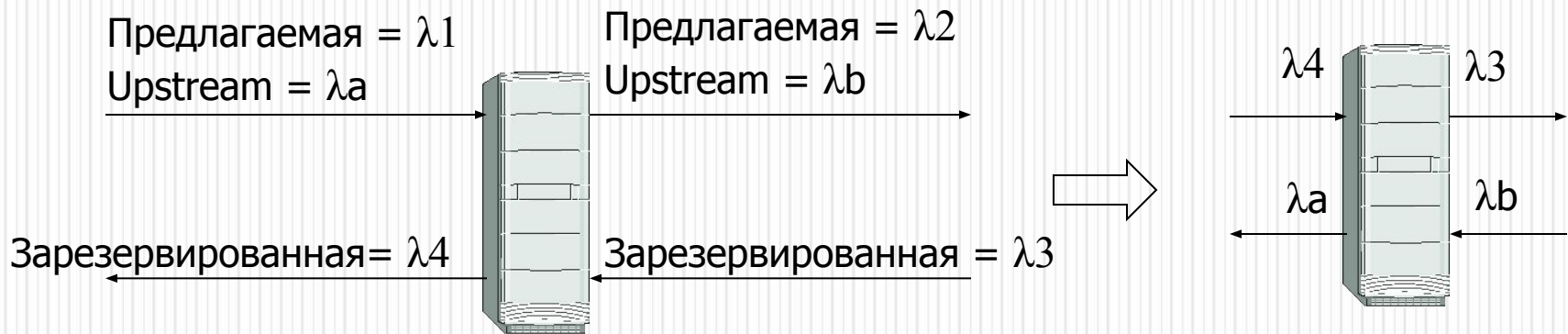
Убедиться в готовности

Двунаправленные LSP

Преимущества:

- Снижается время установления двусторонней связи, а также время её восстановления при сбоях
- Используется меньше служебных сообщений
- Заключается в одновременном назначении меток для передачи данных **Upstream** и **Downstream**

Установка двунаправленных LSP



Разделение контрольного канала

В GMPLS возможно объединение каналов таким образом, чтобы затем объявлять их протоколам маршрутизации как единый объект.

При этом используется общий контрольный канал, в котором реализуется идентификация каналов данных, к которым относится переносимая служебная информация

Расширения OSPF, RSVP:

- Адресация к IP unnumbered каналам
- Маршрутизация для вторичных каналов, созданных поверх других (Иерархия LSP)
- Обнаружение резервного маршрута
- Коммутация диапазонов длин волн

Link Management Protocol

- Проблемы
 - Как локализовать неисправность?
 - Как убедиться в связности узлов?
- LMP:
 - Управление контрольным каналом
 - Проверка целостности соединения
 - Корреляция свойств звена
 - Управление ошибками
 - Аутентификация

Дополнительные возможности GMPLS

- Назначение инициатором связи меток на явно заданных маршрутах
- Запрос типа защиты необходимой для устанавливаемого LSP