

# Аппаратное и программное обеспечение ЭВМ и сетей

## Раздел 6 Технологии глобальных сетей

Тема 37(36) Технология MPLS. Базовые принципы и механизмы. Протокол LDP. Мониторинг состояния путей LSP. Инжиниринг трафика в MPLS. Отказоустойчивость путей MPLS.

□ **Ключевые слова:** *многопротокольная коммутация с помощью меток, коммутирующий по меткам маршрутизатор, IP-коммутация, коммутация на основе тегов, таблица продвижения, протокол распределения меток, путь коммутации по меткам, пограничный коммутирующий по меткам маршрутизатор, стек меток, технологии MPLS IGP, MPLS TE и MPLS VPN, ускоренная MPLS-коммутация, класс эквивалентного продвижения, строгий и свободный TE-туннели, протокол RSVP TE.*

- Технология многопротокольной коммутации с помощью меток (Multiprotocol Label Switching, MPLS) считается сегодня одной из самых перспективных транспортных технологий. Эта технология объединяет технику виртуальных каналов с функциональностью стека TCP/IP.

Объединение происходит за счет того, что одно и то же сетевое устройство, называемое коммутирующим по меткам маршрутизатором (Label Switch Router, LSR), выполняет функции как IP-маршрутизатора, так и коммутатора виртуальных каналов. Причем это не механическое объединение двух устройств, а тесная интеграция, когда функции каждого устройства дополняют друг друга и используются совместно.

- Много протокольность технологии MPLS состоит в том, что она может использовать протоколы маршрутизации не только стека TCP/IP, но и любого другого стека, например IPX/SPX. В этом случае вместо протоколов маршрутизации RIP IP, OSPF и IS-IS будут применяться протоколы RIP IPX или NLSP, а общая архитектура LSR останется такой же.

## Совмещение коммутации и маршрутизации в одном устройстве

- В начале 90-х Компания Ipsilon, начала выпускать комбинированные устройства IP/ATM. Компания Ipsilon предложила встроить во все ATM-коммутаторы блоки IP-маршрутизации. Эти блоки строили таблицы маршрутизации с помощью стандартных для стека TCP/IP протоколов RIP, OSPF и IS-IS.
- Передача IP-пакета осуществлялась по сети Ipsilon следующим образом. Пакет поступал из узла-отправителя на комбинированное устройство IP/ATM, которое разбивало этот пакет на ATM-ячейки. Каждая ячейка затем в соответствии с технологией IP-коммутации передавалась от одного устройства IP/ATM к другому, а затем к адресату по маршруту, определяемому обычными таблицами маршрутизации IP, хранящимися в этих устройствах.
- Для реализации своей технологии компания Ipsilon встроила в устройства IP/ATM фирменные протоколы, ответственные за распознавание длительности потоков данных и установление виртуальных каналов для долговременных потоков. Эти протоколы были оформлены в виде проектов стандартов Интернета, но стандартами Интернета не стали.

## Совмещение коммутации и маршрутизации в одном устройстве

По сети Ipsilon «ATM виртуальное соединение» между устройствами IP/ATM не устанавливалось, за счет чего передача кратковременных IP- потоков существенно ускорялась. Долговременные потоки передавались устройствами IP/ATM традиционным для ATM способом — с помощью виртуальных каналов. Так как топология сети является одной и той же, как для протоколов IP, так и для протоколов ATM, это позволяет использовать один и тот же протокол маршрутизации для обеих частей

комбинированного устройства.

- технология IP-коммутации была разработана для сетей операторов связи. Эти сети принимают на границе с другими сетями IP-трафик и ускоренно передают его через свою магистраль. Важным обстоятельством здесь является то, что одни ISP могут применять эту технологию независимо от других, оставаясь для внешнего мира операторами обычной IP-сети.

## Совмещение коммутации и маршрутизации в одном устройстве

- Технология IP-коммутации была сразу замечена операторами связи и стала достаточно популярной. Инициативу Ipsilon развила компания Cisco Systems, создав собственную технологию коммутации на основе тегов (tag switching), которая явилась значительным шагом вперед на пути объединения протоколов IP с техникой виртуальных соединений, однако она, так же как и IP-коммутация, не стала стандартной технологией.
- На основе этих фирменных технологий рабочая группа IETF, состоящая из специалистов различных компаний, создала в конце 90-х годов технологию MPLS.

## LSR и таблица продвижения данных

- Главный принцип технологий-предшественниц в MPLS был сохранен.

Протоколы маршрутизации используются для определения топологии сети, а для продвижения данных внутри границ сети одного поставщика услуг применяется техника виртуальных каналов.

- На рис. 6-36.1 показана упрощенная архитектура стандартного IP-маршрутизатора,

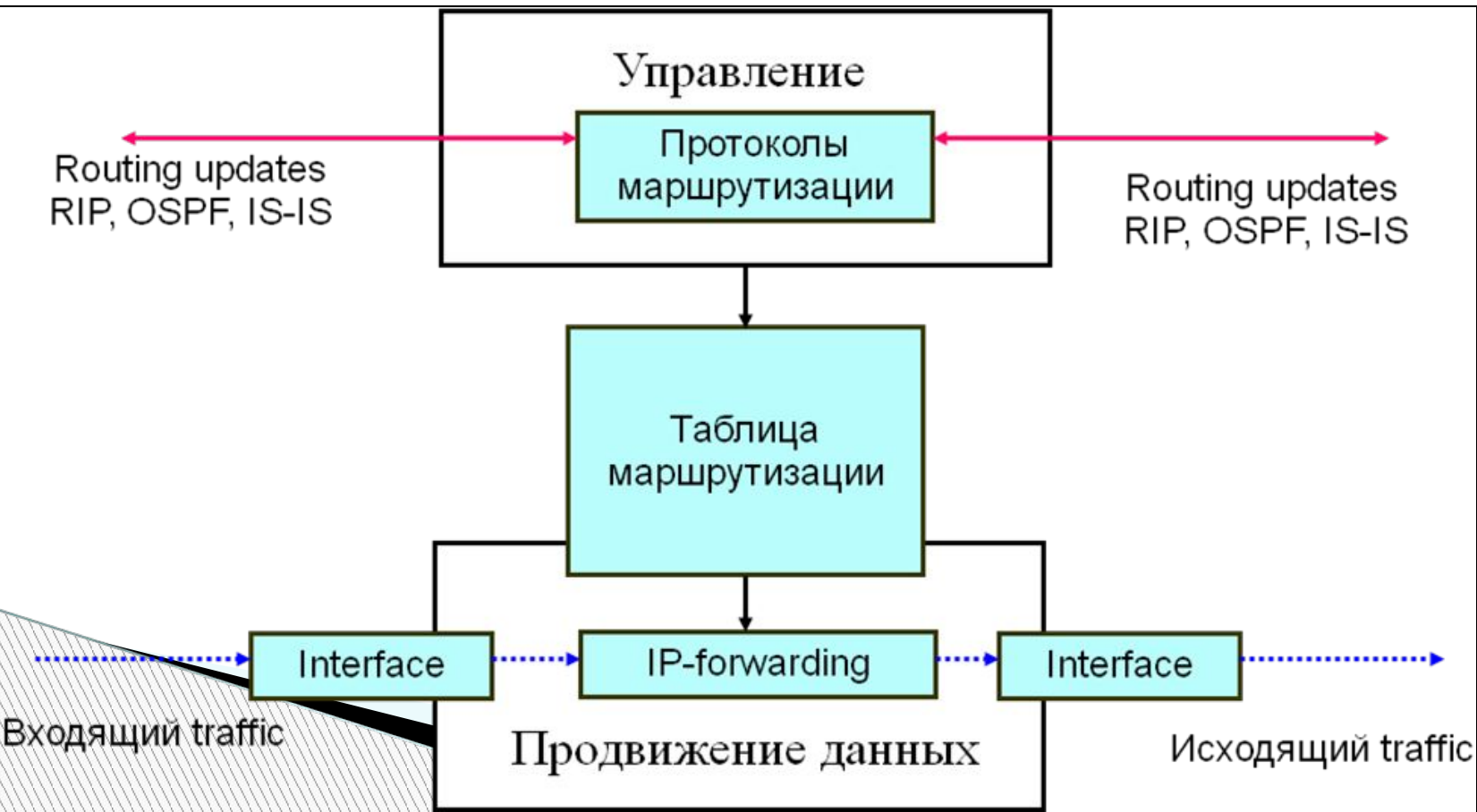


Рис. 6-36.1. Архитектура IP-маршрутизатора

Протоколы маршрутизации используются для определения топологии сети, а для продвижения данных внутри границ сети одного поставщика услуг применяется техника виртуальных каналов.

- на 6-36.2— архитектура комбинированного устройства LSR, поддерживающего технологию MPLS.

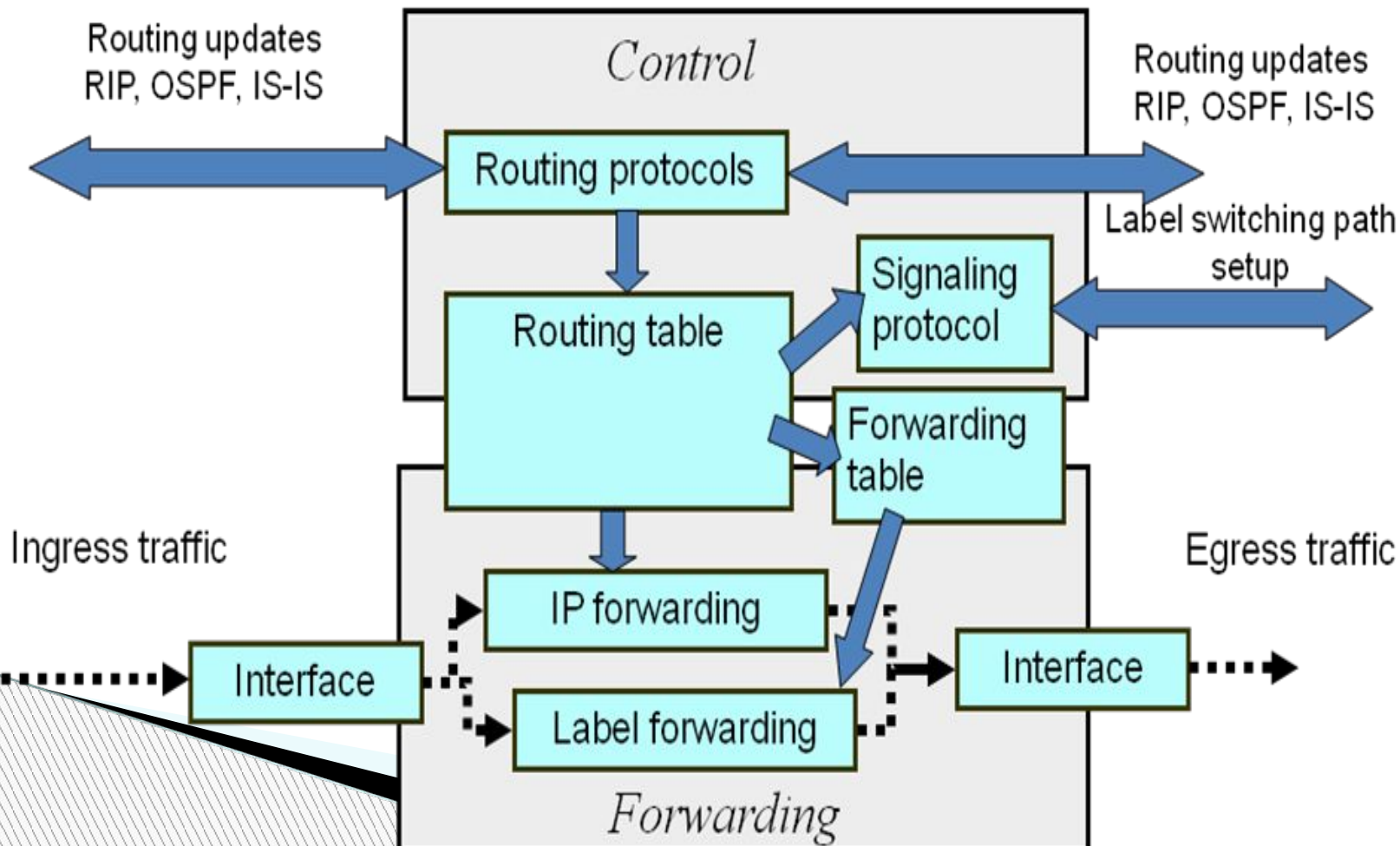


Рис. 6-36.1. Архитектура LSR



# LSR и таблица продвижения данных

- Так как устройство LSR выполняет все функции IP- маршрутизатора, оно содержит все блоки последнего, а для поддержки функций MPLS в LSR включен ряд дополнительных блоков, относящихся как к управлению, так и к продвижению данных.
- В качестве примера можно указать на блок продвижения по меткам, который передает IP-пакет не на основе IP-адреса назначения, а на основе поля метки. При принятии решения о выборе следующего хопа блок продвижения по меткам использует таблицу коммутации, которая в стандарте MPLS носит название таблицы продвижения. Таблица продвижения в технологии MPLS похожа на аналогичные таблицы других технологий, основанных на технике виртуальных каналов (табл. 6-36.1).
- **Таблица 6-36. 1 Пример таблицы продвижения в технологии MPLS**

Входной интерфейс	Метка	Следующий хоп	Действия
S0	245	S1	256
S0	27	S2	45
	...	...	...

# LSR и таблица продвижения данных

- Данная таблица в общем похожа на таблицу коммутации виртуальных каналов, представленной на рис. 6-34.1.

**Таблица коммутации коммутатора S1**

Входной порт	Входная метка	Выходной порт	Выходная метка
1	102	3	106
3	106	1	102

- Фрагмент Рис 6-34.1. Лекция: «Тема\_34 \_ Технология виртуальных каналов. Сети Frame Relay»

# LSR и таблица продвижения данных

- Действительно, вместо поля выходного интерфейса здесь поле следующего хопа, а вместо поля выходной метки — поле действий. В большинстве случаев обработки MPLS-кадров эти поля в точности повторяют поля обобщенной таблицы коммутации виртуальных каналов. То есть значение поля следующего хопа является значением интерфейса, на который нужно передать кадр, а значение поля действий — новым значением метки. Однако в некоторых случаях эти поля используются в других целях, о чем будет сказано позже.
- Эти таблицы для каждого устройства LSR формируются сигнальным протоколом, который в MPLS имеет название протокол распределения меток (Label Distribution Protocol. LDP). Он функционально аналогичен сигнальным протоколам технологий ATM и Frame Relay.
- Формируя таблицы продвижения на LSR, протокол LDP уже знакомым нам образом прокладывает через сеть виртуальные маршруты, которые в технологии MPLS называют путями коммутации по меткам (Label Switching Path, LSP.)

# LSR и таблица продвижения данных

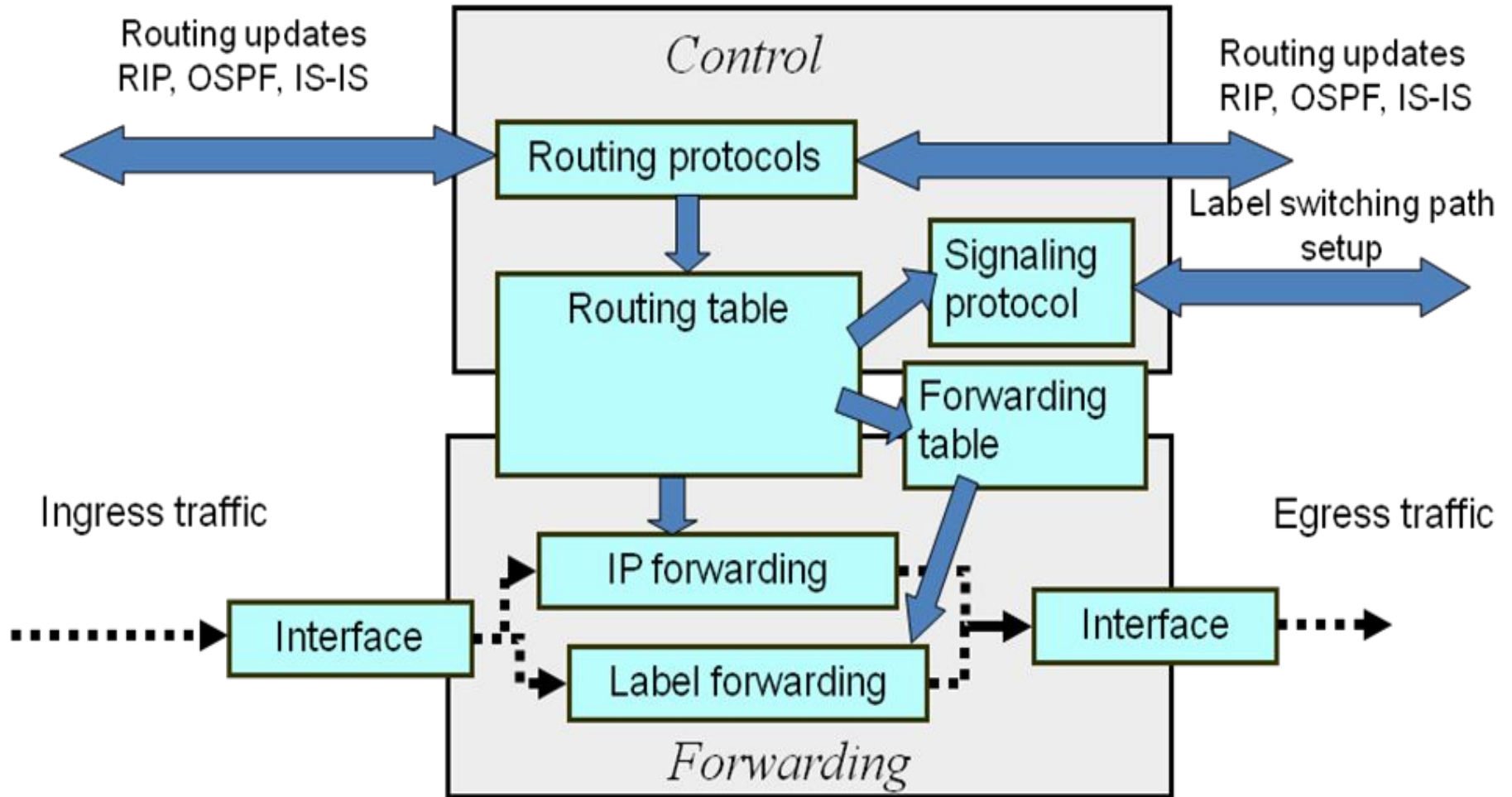


Рис. 6-36.2. Архитектура LSR

## Пути коммутации по меткам

- На [рис. 6-36.3](#) показана MPLS-сеть, взаимодействующая с несколькими IP-сетями.

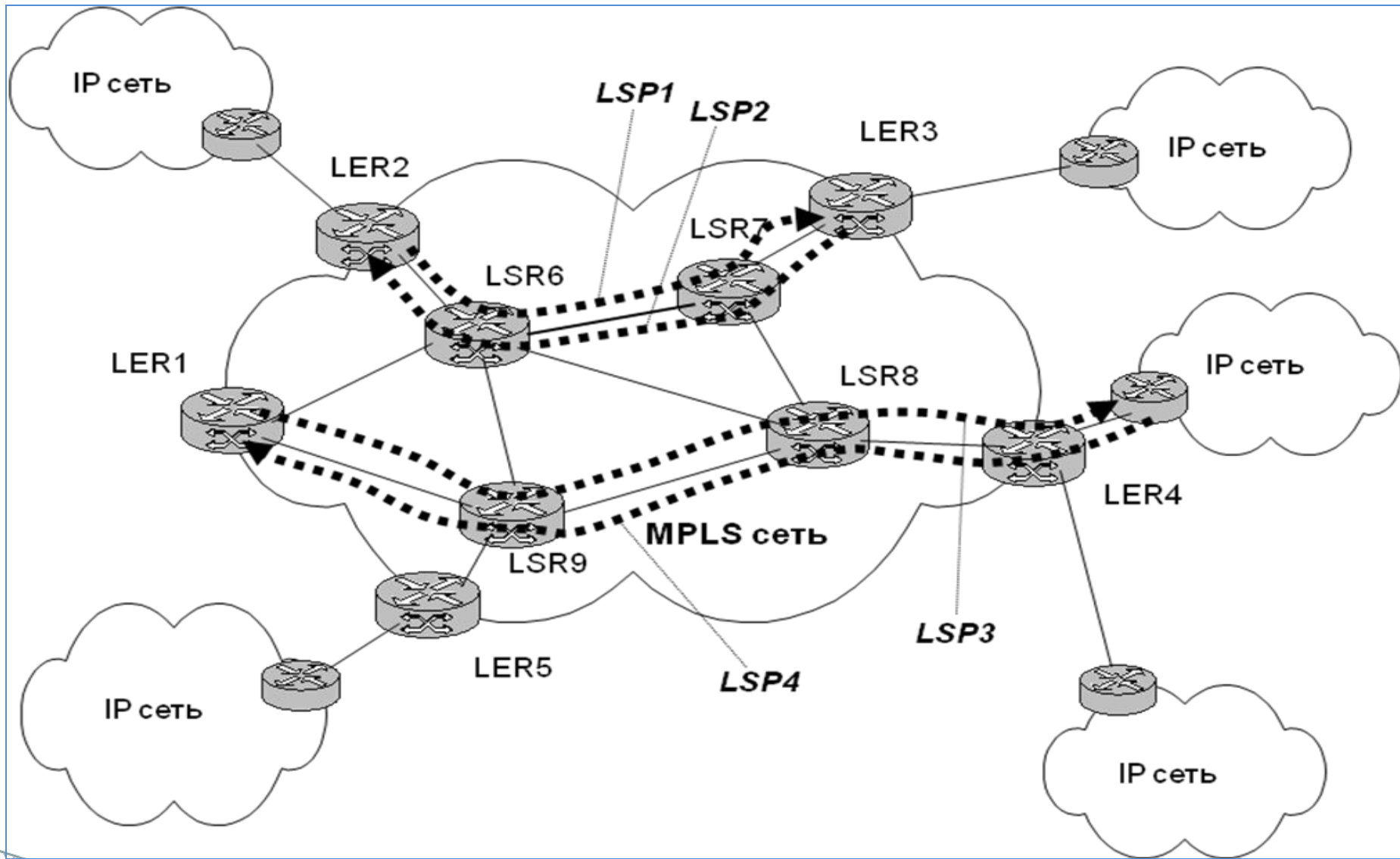
Пограничные устройства LSR в технологии MPLS имеют специальное название — пограничные коммутирующие по меткам маршрутизаторы (Label switch Edge Routers, LER). (Edge - >обрамлять).

- Устройство LER, являясь функционально более сложным, принимает трафик от других сетей в форме стандартных IP-пакетов, а затем добавляет к нему метку и направляет вдоль соответствующего пути к выходному устройству LER через несколько промежуточных устройств LSR. При этом пакет продвигается не на основе IP-адреса назначения, а на основе метки.
- Как и в других технологиях, использующих технику виртуальных каналов, метка имеет локальное значение в пределах каждого устройства LER и LSR, то есть при передаче пакета с входного интерфейса на выходной выполняется смена значения метки.
- Пути LSP прокладываются в MPLS не при появлении долговременного потока данных, как в технологии IP-коммутации, а предварительно в соответствии с топологией межсетевых соединений.

## Пути коммутации по меткам

- LSP представляет собой однонаправленный виртуальный канал, поэтому для передачи трафика между двумя устройствами LER нужно установить, по крайней мере, два пути коммутации по меткам — по одному в каждом направлении. [На рис. 6-36.3](#) показаны две пары путей коммутации по меткам, соединяющие устройства LER2 и LER3, а также LER1 и LER4. Очевидно, что для обеспечения связи между всеми сетями этого недостаточно.
- Устройства LER с помощью путей коммутации по меткам должны образовывать полно связную структуру, которая имеет место в реальных MPLS-сетях и на рисунке не показана.
- Выходное устройство LER, выполнив удаление метки, передает пакет в следующую сеть уже в стандартной IP-форме. Таким образом, технология MPLS остается прозрачной для остальных IP-сетей.
- При взаимодействии LSR и LER, т.е. если LSR продвигает пакет в сторону конечного LER, то новая метка не назначается, так как выходное устройство LER, будет продвигать пакет на основе значения IP-адреса. Это небольшое изменение алгоритма продвижения кадра позволяет сэкономить одну операцию над MPLS-кадром. В противном случае последнее вдоль пути устройство должно было бы удалить метку, а уже затем выполнить просмотр таблицы IP-маршрутизации.

# Пути коммутации по меткам



□ Рис. 6-36.3. MPLS-сеть

## Заголовок MPLS и технологии канального уровня

- Заголовок MPLS состоит из нескольких полей ([рис. 6-36.4](#)).
  - Метка (20 бит) используется для выбора соответствующего пути коммутации по меткам.
  - Время жизни (TTL). Это поле, занимающее 8 бит, дублирует аналогичное поле IP-пакета. Это необходимо для того, чтобы устройства LSR могли отбрасывать «заблудившиеся» пакеты только на основании информации, содержащейся в заголовке MPLS, не обращаясь к заголовку IP.
  - Класс услуги (Class of Service, CoS). Поле CoS, занимающее 3 бита, первоначально было зарезервировано для развития технологии, но в последнее время используется в основном для указания класса трафика, требующего определенного показателя QoS.
  - Признак дна стека меток — S (1 бит).
- Рассмотрим ситуацию, когда заголовок MPLS включает только одну метку.
- Как видно из рисунка, технология MPLS поддерживает несколько типов кадров: PPP, Ethernet, Frame Relay и ATM. Это не означает, что под слоем MPLS работает какая-либо из перечисленных технологий, например Ethernet. Это означает только то, что в технологии MPLS используются форматы кадров этих технологий для помещения в них пакета сетевого уровня, которым почти всегда сегодня является IP-пакет.



# Заголовок MPLS и технологии канального уровня

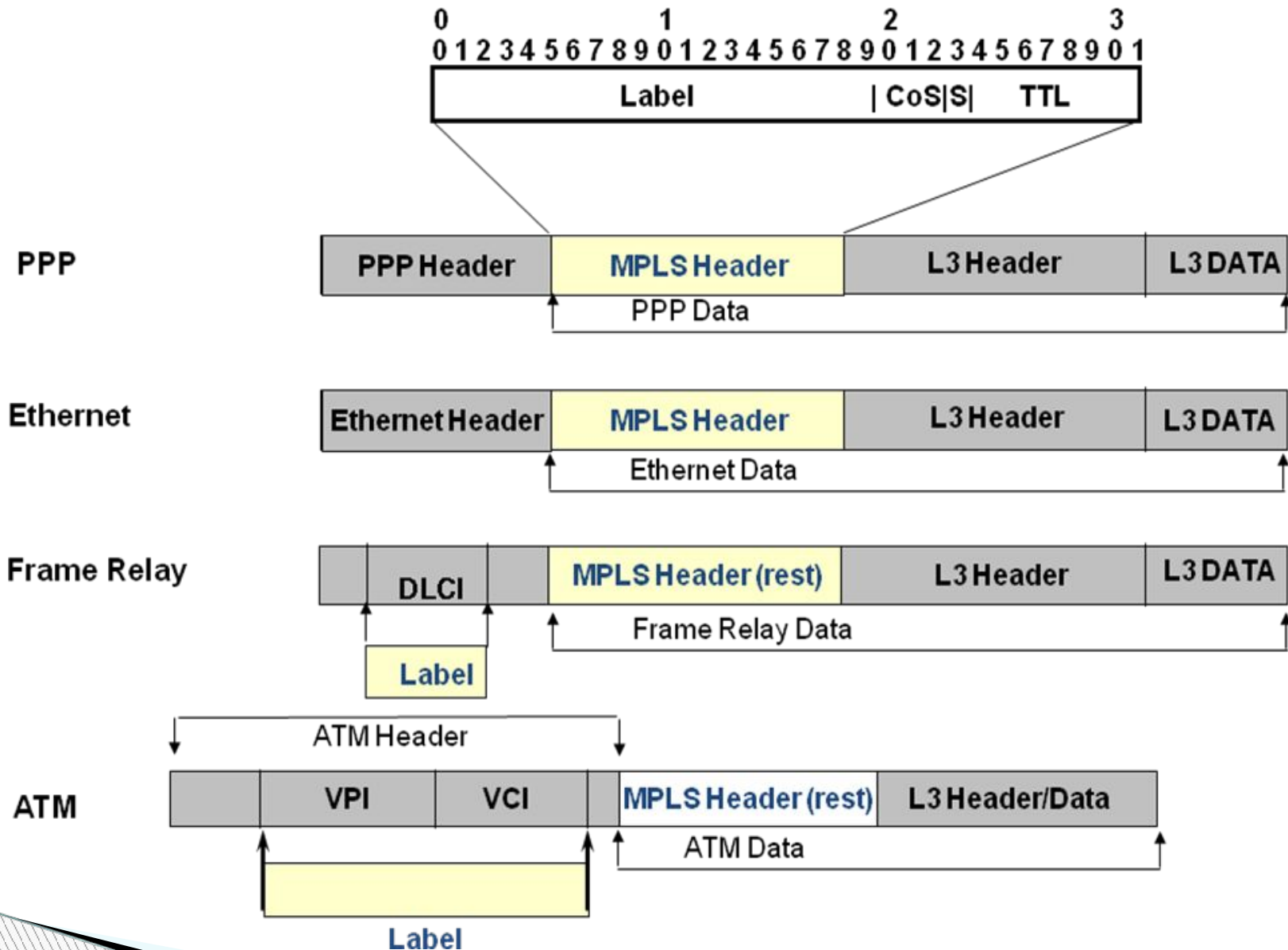


Рис. 6-30.4 Форматы заголовков нескольких разновидностей технологии MPLS

## Заголовок MPLS и технологии канального уровня

- Продвижение кадра в MPLS-сети происходит на основе метки MPLS и техники LSP, а не на основе адресной информации и техники той технологии, формат кадра которой MPLS использует. Таким образом, если в MPLS применяется кадр Ethernet, то MAC- адреса источника и приемника хотя и присутствуют в соответствующих полях кадра Ethernet, но для продвижения кадров не задействуются.
- В кадрах PPP, Ethernet и Frame Relay заголовок MPLS помещается между оригинальным заголовком и заголовком пакета 3-го уровня. С ячейками ATM технология MPLS поступает по-другому: она пользуется имеющимися полями VPI/ VCI в заголовках этих ячеек для меток виртуальных соединений. Поля VPI/VCI используются только для хранения поля метки, остальная часть заголовка MPLS с полями CoS, S и TTL размещается в поле данных ATM-ячеек и не используется при передаче ячеек ATM-коммутаторами, поддерживающими MPLS.
- Далее для определенности при рассмотрении примеров мы будем подразумевать, что используется формат кадров MPLS/PPP.

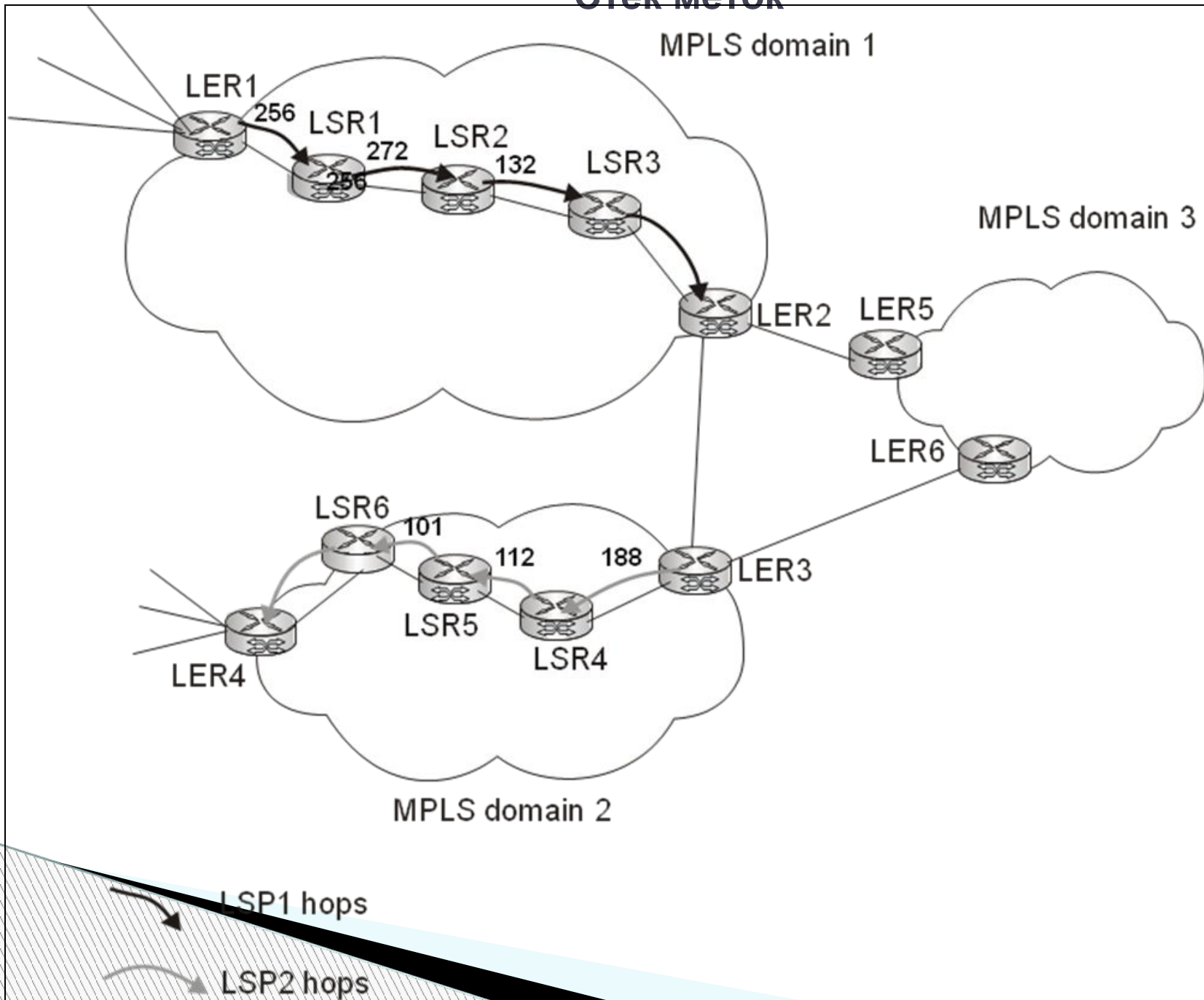
## Стек меток

- Наличие стека меток является одним из оригинальных свойств MPLS. Концепция стека меток является развитием концепции двухуровневой адресации виртуальных путей с помощью меток VPI/VCI, принятой в ATM.
- Стек меток позволяет создавать систему агрегированных путей LSP с любым количеством уровней иерархии. Для поддержки этой функции MPLS-кадр, который перемещается вдоль иерархически организованного пути, должен включать столько заголовков MPLS, сколько уровней иерархии имеет путь. Напомним, что заголовок MPLS каждого уровня имеет собственный набор полей: метка, CoS, TTL и S. Последовательность заголовков организована как стек, так что всегда имеется метка, находящаяся на вершине стека, и метка, находящаяся на дне стека, при этом последняя сопровождается признаком  $S = 1$ . Над метками выполняются следующие операции, задаваемые в поле действий таблицы продвижения:
  - **Push** — поместить метку в стек. В случае пустого стека эта операция означает простое присвоение метки пакету. Если же в стеке уже имеются метки, в результате этой операции новая метка сдвигает «старые» в глубь стека, сама оказываясь на вершине.
  - **Swap** — заменить текущую метку новой.
  - **Pop** — выталкивание (удаление) верхней метки, в результате чего все остальные метки стека поднимаются на один уровень.

## Стек меток

- Продвижение MPLS-кадра всегда происходит на основе метки, находящейся в данный момент на вершине стека. Рассмотрим сначала продвижение MPLS-кадра по *одноуровневому* пути в MPLS-сети, показанной на [рис. 6-36](#). пути в MPLS-сети, показанной на рис. 6-36.5.
- Сеть состоит из трех MPLS-доменов. На рисунке показан путь LSP1, проложенный в домене 1, и путь LSP2 в домене 2. LSP1 соединяет устройства LER1 и LER2, проходя через устройства LSR1, LSR2 и LSR3. Пусть начальной меткой пути LSP1 является **метка 256**, которая была присвоена пакету пограничным устройством LER1. На основании этой метки пакет поступает на устройство **LSR1**, которое по своей таблице продвижения определяет новое значение метки пакета (**272**) и переправляет его на вход **LSR2**. Устройство LSR2, действуя аналогично, присваивает пакету новое значение метки (**132**) и передает его на вход LSR3. Устройство LSR3, будучи предпоследним устройством в пути LSP1, выполняет операцию Pop и удаляет метку из стека. Устройство LER2 продвигает пакет уже на основании IP-адреса.
- На рисунке также показан путь LSP2 в домене 2. Он соединяет устройства LER3 и LER4, проходя через устройства LSR4, LSR5 и LSR6, и определяется последовательностью меток 188, 112, 101.

# Стек меток



**Рис. 6-36.5** Пути LSP1 и LSP2, проложенные в доменах 1 и 2 MPLS-сети

## Стек меток

- Для того чтобы IP-пакеты могли передаваться на основе техники MPLS не только внутри каждого домена, но и между доменами (например, между устройствами LER1 и LER4), существует два принципиально разных решения.
- Первое решение состоит в том, что между LER1 и LER4 устанавливается один *одноуровневый путь коммутации по меткам*, соединяющий пути LSP1 и LSP2 (которые в этом случае становятся одним путем). Это простое, на первый взгляд, решение плохо работает в том случае, когда MPLS-домены принадлежат разным поставщикам услуг, не позволяя им действовать независимо друг от друга.
- Вторым более перспективным решением является применение *многоуровневого подхода* к соединению двух MPLS-доменов, принадлежащих, возможно, разным поставщикам услуг.
- В данном примере в соответствии со вторым подходом был создан путь коммутации по меткам второго уровня (LSP3), соединяющий устройства LER1 и LER4. Этот путь определяет последовательность хопов *между доменами*, а не между внутренними устройствами LSR каждого домена. Так, LSP3 состоит из хопов LER1 — LER2 — LER3 — LSR4. В этом отношении многоуровневый подход MPLS концептуально очень близок подходу протокола BGP, определяющего путь между автономными системами.

## Стек меток

- Рассмотрим более детально, как работает технология MPLS в случае путей коммутации по меткам двух уровней ([рис. 6-36.6](#)).
- В устройстве LER1 начинается два пути — LSP1 и LSP3, что обеспечивается соответствующей записью в таблице продвижения устройства LER1 (табл. 6-36.2).
- IP-пакеты, поступающие на интерфейс S0 устройства LER1, продвигаются на его выходной интерфейс S1, где для них создается заголовок MPLS, включающий метку 315 верхнего уровня (LSP3), которая на этот момент является верхушкой стека меток. Затем эта метка проталкивается на дно стека (действие Push), а верхней становится метка 256, относящаяся к LSP1.
- **Таблица 6-36. 2 Запись в таблице продвижения LER1**

Входной интерфейс	Метка	Следующий хоп	Действия
...	...	...	...
S0		S1	315 Push 256
...	...		...

# Стек меток

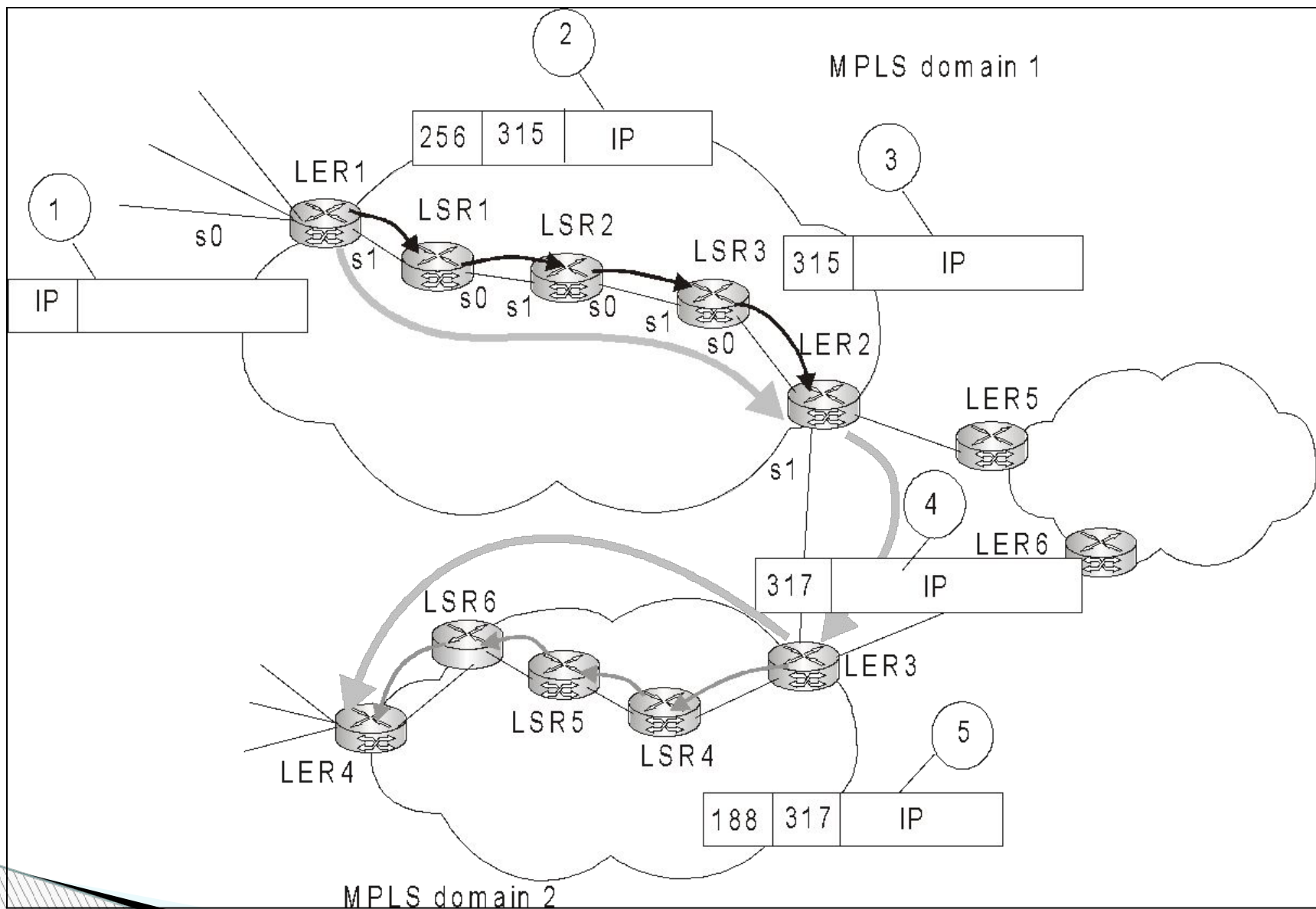


Рис. 6-36.6. Использование стека меток иерархией путей



## Стек меток

- Далее MPLS-кадр с меткой 256 поступает на выходной интерфейс S1 пограничного устройства LER1 и передается на вход LSR1. Устройство LSR1 обрабатывает кадр в соответствии со своей таблицей продвижения (табл. 6-36.3). Метка 256, находящаяся на вершине стека, заменяется меткой 272. (Заметьте, что метка 315, находящаяся ниже в стеке, игнорируется устройством LSR1.)
- Таблица 6-36.3 Запись в таблице продвижения LSR1. 3**

Входной интерфейс	Метка	Следующий хоп	Действия
...			...
S0	256	S1	256 Swap 272
...	...	...	...

- Аналогичные действия выполняет устройство LSR2, которое заменяет метку меткой 132 и отправляет кадр следующему по пути устройству LSR3 (табл. 6-36.4).

## Стек меток

### Таблица 6-36.4 Запись в таблице продвижения LSR3

Входной интерфейс	Метка	Следующий хоп	Действия
	...	...	...
S0	132	S1	Pop
...			

- Работа устройства LSR3 несколько отличается от работы устройств LSR1 и LSR2, так как оно является предпоследним устройством LSR для пути LSP1. В соответствии с записью в табл. 6-36.4 устройство LSR3 выполняет выталкивание (Pop) из стека метки 132, относящейся к пути LSP1. В результате верхней меткой стека становится метка 315, принадлежащая пути LSP3. Операция выталкивания метки предпоследним устройством называется Hop Popping (PHP).

## Стек меток

- Устройство LER2 продвигает поступивший на его входной интерфейс S0 кадр на основе своей записи таблицы продвижения (табл. 6-36.5). Устройство LER2 сначала заменяет метку 315 пути LSP3 значением 317, затем проталкивает ее на дно стека и помещает на вершину стека метку 188, которая является меткой пути LSP2, внутреннего для домена 2. Перемещение кадра вдоль пути LSP2 происходит аналогичным образом.
- **Таблица 6-36. 5 Запись в таблице продвижения LER2**

Входной интерфейс	Метка	Следующий хоп	Действия
...	...	...	...
S0	315	S1	317 Push 188
...	...		...

- Описанная модель двухуровневого пути легко может быть расширена для любого количества уровней.

## Области применения технологии MPLS

- В настоящее время существует несколько областей практического применения MPLS, в которых рассмотренные выше принципы дополняются специфическими механизмами и протоколами, необходимыми для достижения необходимой функциональности. Ниже перечислены области применения MPLS, получившие наибольшее распространение.
- MPLS IGP. В данном случае технология MPLS применяется только для ускорения продвижения пакетов сетевого уровня, следующих вдоль маршрутов, выбираемых стандартными внутренними шлюзовыми протоколами (IGP), которые и дали название этой области применения MPLS.
- MPLS TE. В этом случае пути коммутации по меткам выбираются для решения задач инжиниринга трафика (TE) на основе модифицированных протоколов маршрутизации. Техника MPLS TE не только позволяет обеспечить рациональную и сбалансированную загрузку всех ресурсов сети поставщика услуг, но и создает хорошую основу для предоставления транспортных услуг с гарантированными параметрами QoS.
- MPLS VPN. Эта область применения позволяет поставщику предоставлять услуги виртуальных частных сетей (VPN) на основе разграничения трафика без обязательного шифрования информации.
- В данной лекции рассмотрим первые две области применения MPLS. Заметим, что все три «ипостаси» технологии MPLS могут сосуществовать в одной сети, что позволяет предоставлять пользователю комбинированные услуги.

## Технология MPLS IGP

- Главной целью технологии MPLS IGP является ускорение продвижения пакетов через сеть поставщика услуг за счет замены маршрутизации коммутацией. Поэтому данная область применения называется также ускоренной MPLS-коммутацией.
- При использовании технологии MPLS IGP пути коммутации по меткам прокладываются в соответствии с существующей топологией IP-сетей и не зависят от интенсивности трафика между этими сетями. Это свойство иллюстрирует рис. 6-36.6.
- Все устройства LSR поддерживают сигнальный протокол распределения меток (LDP). Кроме того, каждое устройство LSR должно поддерживать один из стандартных протоколов IGP, например RIP, IS-IS или OSPF.
- В результате работы протоколов маршрутизации или же после ручной модификации администратором сети в таблице маршрутизации устройства LSR может появиться запись о новой сети назначения, для которой в сети поставщика услуг еще не проложен путь коммутации по меткам. В этом случае данное устройство автоматически инициирует процедуру прокладки нового пути. Для прокладки нового пути коммутации по меткам устройства LSR используют обычный алгоритм продвижения пакета в IP-сети на основе таблиц маршрутизации.

# Технология MPLS IGP

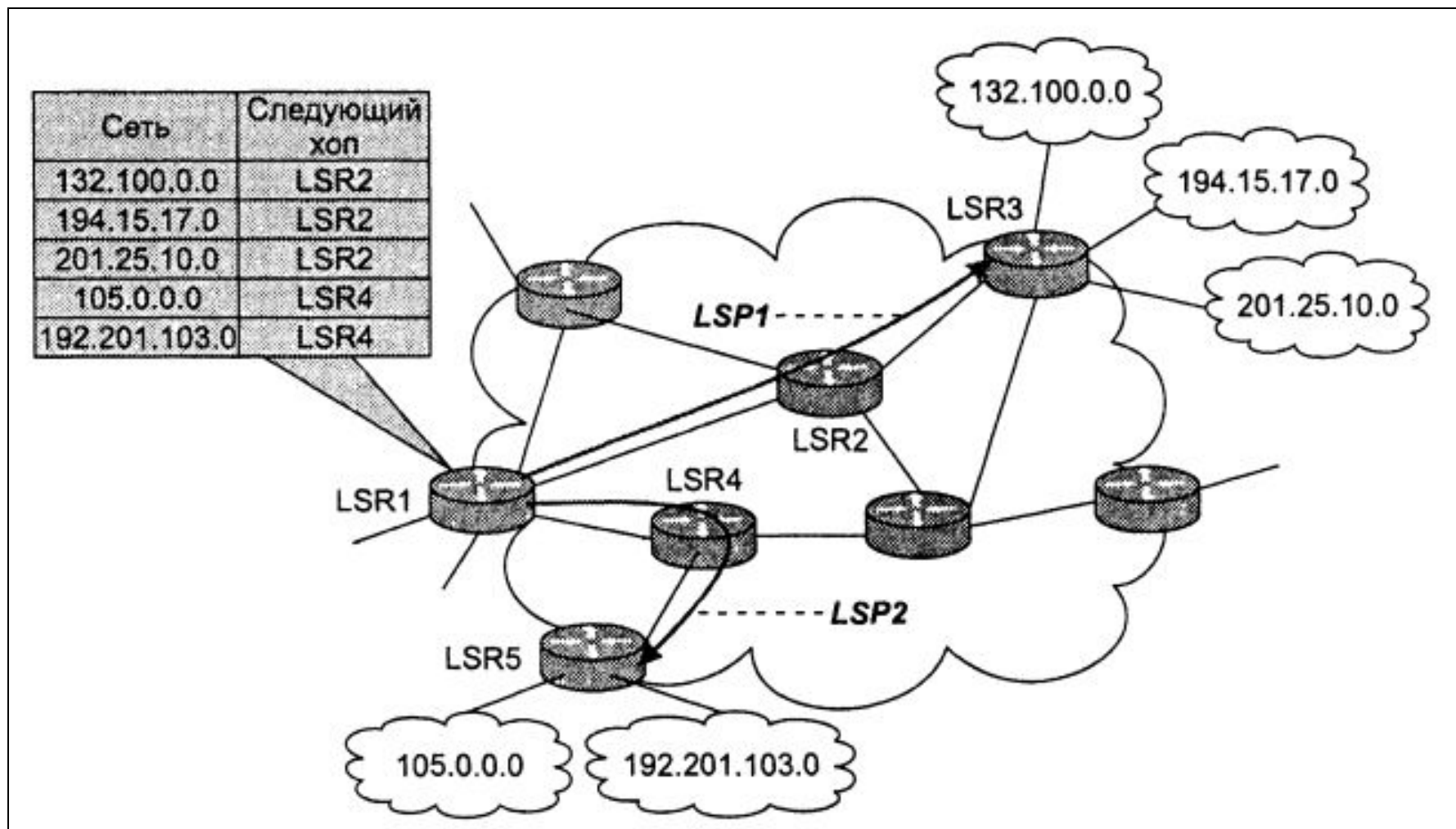


Рис. 6-36.7. Прокладка пути коммутации по меткам с помощью протокола LDP

## Технология MPLS IGP

- Пусть, например, устройство LSR1 обнаруживает, что в его таблице маршрутизации появилась новая запись о сети назначения 132.100.0.0, и в качестве следующего хопа указано устройство LSR2. В то же время виртуальный путь к этой сети не проложен, так как в таблице продвижения, отсутствует соответствующая запись. LSR1 становится инициатором прокладки пути к сети 132.100.0.0 и посылает LDP-запрос устройству LSR2. В этом запросе указывается IP-адрес сети назначения (132.100.0.0), к которой нужно проложить новый путь. Этот запрос принимается и обрабатывается устройством LSR2 на основе информации, имеющейся в его таблицах маршрутизации и продвижения. Если маршрутизатор LSR2 находит, что у него также нет проложенного пути к сети 132.100.0.0, он передает LDP-запрос следующему устройству LSR, адрес которого указан в его таблице маршрутизации как следующий хоп для сети 132.100.0.0. В примере, показанном на рис. 22.13, таким устройством является LSR3, на котором путь коммутации по меткам должен закончиться, так как следующий хоп ведет за пределы сети поставщика услуг.
- ПРИМЕЧАНИЕ -
- Возникает вопрос: как устройство LSR3 узнает о том, что является последним в сети поставщика услуг на пути к сети 132.100.0.0? Дело в том, что LDP является протоколом, ориентированным на соединение, и при установлении логического LDP-соединения возможно применение автоматической аутентификации устройств, так что LDP-сеансы устанавливаются только между устройствами одного поставщика услуг, который задает для всех принадлежащих его сети устройств LSR соответствующую информацию для взаимной аутентификации.

## Технология MPLS IGP

- Устройство LSR3, обнаружив, что для пути к сети 132.100.0.0 оно является пограничным, назначает для прокладываемого пути метку, еще не занятую его входным интерфейсом S0, и сообщает об этой метке устройству LSR2 в LDP-объявлении. В свою очередь, LSR2 назначает неиспользуемую его интерфейсом S0 метку и сообщает об этом в LDP-объявлении устройству LSR1. После этого новый путь коммутации по меткам, ведущий от LSR1 к сети 132.100.0.0, считается проложенным, и вдоль него пакеты начинают передаваться уже на основе меток и таблиц продвижения, а не IP-адресов и таблиц маршрутизации.
- Было бы нерационально прокладывать отдельный путь для каждой сети назначения каждого маршрутизатора. Поэтому устройства LSR стараются строить агрегированные пути коммутации по меткам и передавать вдоль них пакеты, следующие к некоторому набору сетей. Так, LSR1 передает по пути LSP1 пакеты, следующие не только к сети 132.100.0.0, но и к сетям 194.15.17.0 и 201.25.10.0, так как пути к этим сетям совпадают в пределах MPLS-сети поставщика услуг.



## Технология MPLS IGP

- Для передачи пакетов узлам сетей 105.0.0.0 и 192.201.103.0 у устройства LSR1 имеется другой путь, а именно LSP2. С помощью протокола LDP можно агрегировать также пути, которые совпадают не для всей последовательности устройств LSR от входного пограничного устройства до выходного, а имеют только часть общих устройств LSR. Все адреса сетей назначения, имеющие один и тот же следующий хоп, образуют так называемый класс эквивалентного продвижения (Forwarding Equivalence Class, FEC) для данного устройства LSR.
- Протокол MPLS IGP ускоряет продвижение пакетов за счет сокращения просматриваемых таблиц, так как обычно таблица маршрутизации содержит гораздо больше записей, чем таблица продвижения. Особенно ощутима эта разница для крупных магистралей, где маршрутизаторы могут оперировать с таблицами маршрутизации размером в несколько десятков тысяч записей. Другим фактором, влияющим на ускорения продвижения пакетов, является отсутствие этапов замены кадров канального уровня каждым маршрутизатором, что характерно для технологии IP.

## Технология MPLS TE

- Технология MPLS TE служит для прокладки в сети путей коммутации по меткам, обеспечивающих гарантированную среднюю пропускную способность в соответствии с принципами инжиниринга трафика, описанными, например в книге Олифера В. в главе 7. В этом заключается основное отличие технологии MPLS TE от технологии MPLS IGP, которая обеспечивает прокладку путей коммутации по меткам, исходя из известной топологии составной сети, а трафик при этом игнорируется.
- Кроме того, в отличие от MPLS IGP в технологии MPLS TE пути коммутации по меткам, называемые здесь TE- туннелями, не прокладываются автоматически. TE-туннели прокладываются только по инициативе администратора сети, и в этом отношении TE-туннели подобны каналам PVC в технологиях ATM и Frame Relay.
- MPLS TE поддерживает туннели двух типов:
  - строгий TE- туннель определяет все промежуточные узлы между двумя пограничным устройствами;
  - свободный TE- туннель определяет только часть промежуточных узлов от одного пограничного устройства до другого, а остальные промежуточные узлы выбираются устройством LSR самостоятельно.
- На рис. **6-36.8** показаны оба типа туннелей.

# Технология MPLS TE

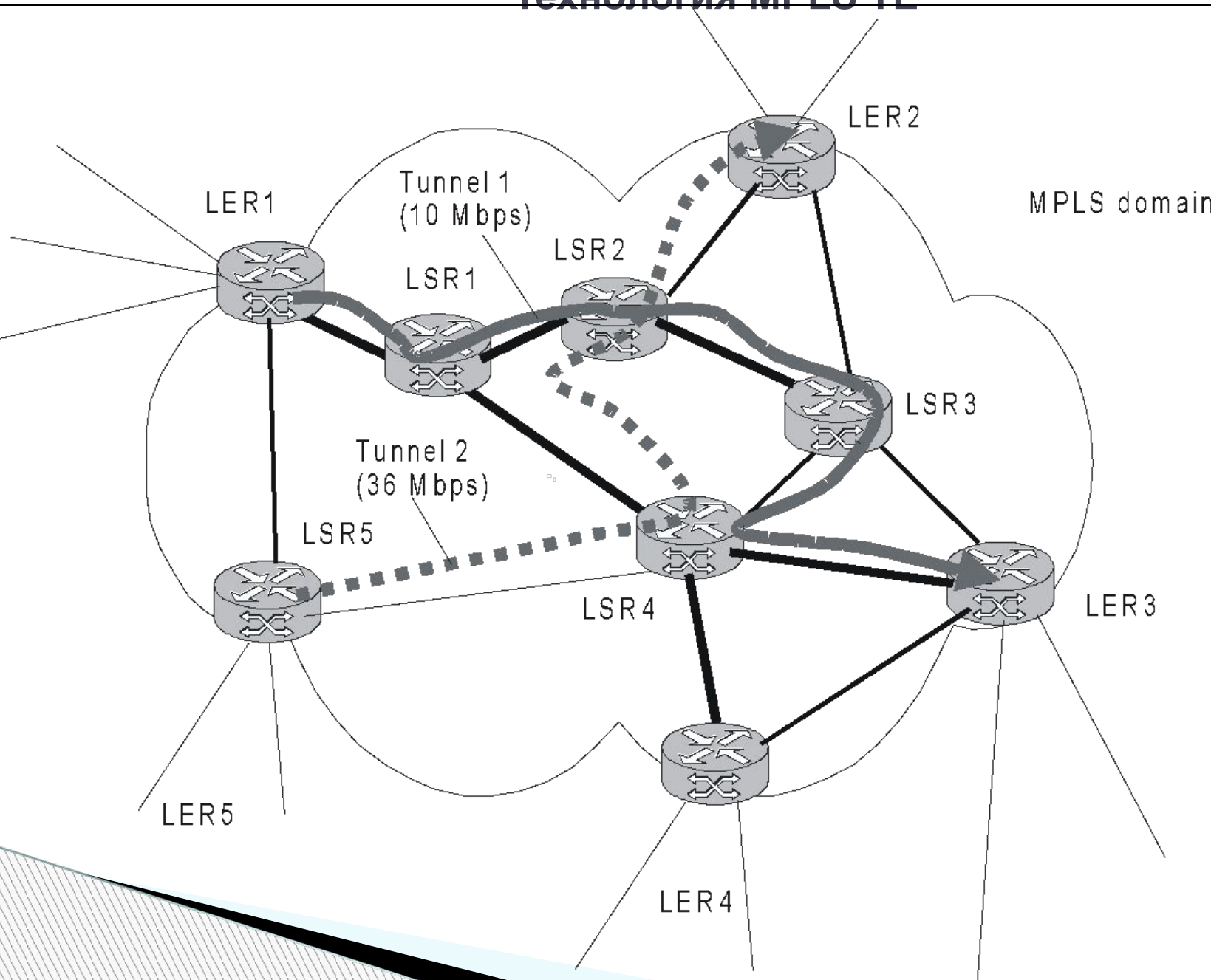


Рис. .6-36.8 Два типа TE-туннелей в технологии MPLS

## Технология MPLS TE

- Туннель 1 является примером строгого туннеля, при его задании администратор указал как начальный и конечный узлы туннеля, так и все промежуточные узлы, то есть последовательность IP-адресов для устройств LER1, LSR1, LSR2, LSR3, LER3. Таким образом, администратор сам решил задачу инжиниринга трафика, выбрав путь, вдоль которого существует достаточная неиспользуемая пропускная способность. Администратор при установлении туннеля задает не только последовательность адресов, но и требуемую пропускную способность. Несмотря на то, что выбор пути происходит в автономном режиме, все устройства сети вдоль туннеля 1 проверяют, действительно ли они обладают запрошенной неиспользуемой пропускной способностью, и только в случае положительного ответа туннель устанавливается.
- При установке туннеля 2 (свободного) администратор задает только начальный и конечный узлы туннеля, то есть устройства LER5 и LER2. Промежуточные устройства LSR4 и LSR2 находятся автоматически начальным узлом туннеля 2, то есть устройством LER5, а затем с помощью сигнального протокола устройство LER5 сообщает этим, и конечным устройствам о необходимости установления туннеля.

## Технология MPLS TE

- Независимо от типа туннеля он всегда обладает таким параметром, как резервируемая пропускная способность. В нашем примере туннель 1 резервирует для трафика 10 Мбит/с, а туннель 2 — 36 Мбит/с. Эти значения определяются администратором, и технология MPLS TE никак не влияет на их выбор, она только обрабатывает запрошенное резервирование. Чаще всего администратор оценивает резервируемую для туннеля пропускную способность на основании измерений трафика в сети, тенденций изменения трафика, а также собственной интуиции. Некоторые реализации MPLS TE позволяют затем автоматически скорректировать величину зарезервированной пропускной способности на основании автоматических измерений реальной интенсивности трафика, проходящего через туннель.
- Однако само по себе установление в MPLS-сети TE- туннеля еще не означает передачу по нему трафика. Оно означает только то, что в сети действительно существует возможность передачи трафика по туннелю со средней скоростью, не превышающей зарезервированное значение. Для того чтобы данные были переданы по туннелю, администратору предстоит еще одна ручная процедура: задание для начального устройства туннеля условий, определяющих, какие именно пакеты должны передаваться по туннелю. Условия могут быть весьма разнообразными. В качестве признаков агрегированного потока, который должен передаваться по туннелю, могут выступать все традиционные признаки: IP-адрес назначения и источника, тип протокола, номера TCP- и UDP-портов, номер интерфейса входящего трафика, значения приоритета в протоколах DSCP и IP и т. д.

## Технология MPLS TE

Таким образом, устройство LER должно сначала провести классификацию трафика, затем выполнить профилирование, удостоверившись, что средняя скорость потока не превышает зарезервированную, и наконец, начать маркировать пакеты, используя начальную метку TE-туннеля, чтобы передавать трафик через сеть с помощью техники MPLS. В этом случае расчеты, выполненные на этапе выбора пути для туннеля, дадут нужный результат — баланс ресурсов сети при соблюдении средней скорости для каждого потока.

- Однако мы еще не рассмотрели специфический набор протоколов, которые устройства LER и LSR сети используют для прокладки свободных туннелей или проверки работоспособности созданных администратором строгих туннелей.
- Для выбора и проверки путей через туннели в технологии MPLS TE используются расширения протоколов маршрутизации, работающих на основе алгоритма состояния связей.

## Технология MPLS TE

- Сегодня такие расширения стандартизованы для протоколов OSPF и IS-IS. Для решения задачи TE, в протоколы OSPF и IS-IS включены новые типы объявлений для распространения по сети информации о номинальной и незарезервированной (доступной для TE- потоков) величинах пропускной способности каждой связи. Таким образом, ребра результирующего графа сети, создаваемого в топологической базе каждого устройства LER или LSR, будут маркированы этими двумя дополнительными параметрами. Располагая таким графом, а также параметрами потоков, для которых нужно определить TE-пути, устройство LER может найти рациональное решение, удовлетворяющее одному из сформулированных в главе 7 ограничений на использование ресурсов сети. Чаще всего решение ищется по наиболее простому критерию, который состоит в минимизации максимального значения коэффициента использования вдоль выбранного пути, то есть критерием оптимизации пути является значение  $\min \{K_{\max i}\}$  для всех возможных путей.
- В общем случае администратору необходимо проложить несколько туннелей для различных агрегированных потоков. Для упрощения задачи оптимизации выбор путей для этих туннелей обычно осуществляется по очереди, причем администратор определяет очередность на основе своей интуиции. Очевидно, что поиск TE- путей по очереди снижает качество решения — при одновременном рассмотрении всех потоков в принципе можно добиться более рациональной загрузки ресурсов.

## **Список использованных источников**

- В.Г. Олифер, Н.А. Олифер Компьютерные сети, 3-е издание, 2009г.