**GMPLS – универсальный механизм коммутации.**

*Технология мультипротокольной коммутации меток (MultiPro­tocol Label Switching — MPLS) за сравнительно короткий срок существования стала активно использоваться для передачи IP-трафика. Успех MPLS натолкнул на идею разработки некой обобщенной технологии коммутации, которая бы функционировала согласно принципам, заложенным в MPLS, и унифицировала функции управления различных технологий передачи данных.*

MPLS — метки вместо IP-адресов

|  |
| --- |
| [http://itc.ua/img/ko/2004/27/small/gmpls_pic_1.gif](http://itc.ua/img/ko/2004/27/gmpls_pic_1.gif) |
| Рис. 1 |

В конце 90-х годов прошлого столетия сразу несколько производителей оборудования (Ipsilon, Cisco, Toshiba и др.) предложили ряд решений под общим названием IP-коммутация. Идеи, заложенные в них, базировались либо на концепции потока, либо на использовании тегов, которые ассоциировались с маршрутами. В конце концов усилия, направленные на замену существующего алгоритма маршрутизации пакетов более быстрым, реализовались в начале 2001 г., когда комитет IETF опубликовал документ RFC 3031, где были описаны общие положения, архитектура и протоколы технологии мультипротокольной коммутации с использованием меток — MPLS. Эта технология разрабатывалась прежде всего для магистральных участков сети, где принципиально важ-но время обработки пакета. MPLS-маршрутизаторы, или LSR (Label Switched Router), образуют область, называемую доменом, в пределах которой пакеты маршрутизируются на основании меток. Идея заключалась в том, чтобы для более быстрого -выбора следующего шага при пересылке пакета ввести между канальным и сетевым уровнями (рис. 1) промежуточный, который добавлял бы к пакету некий идентификатор, содержащий минимум информации, необходимой для выбора маршрута без анализа IP-заголовка.

|  |
| --- |
| [http://itc.ua/img/ko/2004/27/small/gmpls_pic_2.gif](http://itc.ua/img/ko/2004/27/gmpls_pic_2.jpg) |
| Рис. 2 |

При поступлении пакетов на границу MPLS-домена пограничный маршрутизатор (LER — Label Edge Router) анализирует IP-заголовок и присваивает пакету идентификатор, называемый меткой (label). Пакеты с одинаковым значением метки принадлежат одному эквивалентному классу пересылки (FEC — Forwarding Equivalence Class). Концепция FEC — это, по сути, агрегирование потоков, т. е. объединение нескольких единичных потоков с одинаковой меткой в один с заданным качеством обслуживания. Такой подход дает возможность организовать пре-доставление дифференциро-ванных услуг (Differentiated Services) агрегированным потокам. В пределах домена пересылка пакета производится на основании метки без разбора и анализа IP-заголовка. Каждый промежуточный LSR содержит таблицу соответствия входного порта, значения входящей/исходящей метки и выходного порта. При получении пакета (рис. 2) LSR анализирует метку, затем удаляет ее, добавляет свою метку и пересылает пакет далее.

Для прохождения пакетов через MPLS-сеть необходимо предварительно создать маршруты (LSP — Label Switched Path), по которым будут пересылаться пакеты. Для формирования LSP и обмена сигнальной информацией используются тра-диционные протоколы маршрутизации с расширениями для поддержки трафик-инжиниринга (OSPF-TE и IS-IS-TE) и протоколы обмена метками — LDP (Label Distribution Protocol). В настоящее время широко применяются два протокола обмена метками — CR-LDP (Constraint Routing — Label Distribution Protocol) и RSVP-TE (Reservation Protocol — Traffic Engineering). Для создания LSP входной LER отсылает пакет с запросом по направлению к выходному LER. При прохождении ответа в обратном направлении каждый промежуточный LSR настраивает локальную таблицу маршрутизации для добавления соответствующей метки пакетам, принадлежащим данному потоку.

Стандартом предусмотрено, что маршрутизатор может добавлять несколько меток, которые образуют стек. Последний является не чем иным, как явно заданным маршрутом или виртуальным каналом! Таким образом, MPLS сочетает в себе гибкость дейтаграммного IP и виртуальных каналов MPLS с поддержкой трафик-инжиниринга, что открывает принципиально новые возможности -использования протокола IP в современных сетях, которые ранее были технически не осуществимы.

Итак, отличительными особенностями MPLS-TE являются:

1. Высокая масштабируемость.
2. Поддержка QoS.
3. Универсальность по отношению к протоколам сетевого уровня.
4. Значительное упрощение процедур маршрутизации.
5. Универсальность по отношению к транспортным технологиям (ATM, Ethernet, POS и т. п.).

Применение технологии MPLS позволяет перейти на новый уровень обслуживания и организовать предоставление услуг более высокого качества. Особенно перспективным является использование этой технологии для создания VPN и перехода к мультисервисным сетям на основе IP.

Коммутация меток для всего

Успех MPLS дал толчок для создания универсальной технологии коммутации с использованием меток. В настоящий момент IP-трафик в магистральных сетях передается поверх ATM и/или SDH/SONET. На каждом из уровней решения по маршрутизации, управлению, распределению сетевых ресурсов выполняются независимо друг от друга. Как следствие, общая производительность зависит от эффективности каждого из уровней. Поэтому одним из основных требований при разработке стала унификация функций управления. Новая технология получила название Generalized MPLS (GMPLS). Она расширяет и унифицирует функции (маршрутизации и сигнализации) MPLS для любых транспортных технологий канального и физического уровней.

Технология GMPLS определяется как набор протоколов, которые расширяют MPLS-TE, работающую в режиме коммутации пакетов (PSC — Packet Switching Capable), для поддержки устройств, использующих для передачи трафика различные технологии канального и физического уровней, такие как L2SC (Layer 2 Switching Capable), TDM (Time Division Multiplex), DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), коммутация оптических портов FSC (Fiber Switch Capable). Архитектура однозначно разделяет компонент, или плоскость (совокупность функций) управления (control plane), и компонент (плоскость) пересылки данных (data plane). Помимо этого, плоскость управления разделяется на две части — плоскость сигнализации, которая включает в себя протоколы сигнализации, и плоскость маршрутизации, содержащую протоколы маршрутизации. При проектировании технологии обобщенной мультипротокольной коммутации меток ставились следующие цели:

1. Уменьшение количества уровней коммутации и использование унифицированных функций управления.
2. Независимость функций управления и функций передачи данных.
3. Использование протоколов стека MPLS-TE в качестве протоколов сигнализации (RSVP-ТЕ или CR-LDP) и протоколов маршрутизации (OSPF или IS-IS) для создания и поддержки новых типов LSP.
4. Обобщение принципов коммутации меток для поддержки разных технологий передачи данных.
5. Расширение механизмов трафик-инжиниринга.
6. Использование IP-адресации.

Расширения плоскости управления

Плоскость управления GMPLS состоит из нескольких блоков, представленных в виде соответствующих протоколов. Как было отмечено выше, для сигнализации используются протоколы RSVP-ТЕ и/или CR-LDP, функционально расширенные для поддержки новых типов интерфейсов (RFC-3473 и RFC-3472). В рамках GMPLS также применяются традици-онные протоколы для внутри-доменной маршрутизации — OSPF-TE и IS-IS-TE с соответствующими расширениями. Воз-можность использования протоколов междоменной маршрутизации (таких как BGP) в -настоящее время изучается, а окончательный документ находится на стадии предварительного стандарта (draft).

|  |
| --- |
| [http://itc.ua/img/ko/2004/27/small/gmpls_pic_3.gif](http://itc.ua/img/ko/2004/27/gmpls_pic_3.gif) |
| Рис. 3 |

Дополнительно был разработан единственный специфический протокол сигнализации — LMP (Link Management Protocol) — для управления соединениями смежных узлов. LMP обеспечивает поддержку управляющего канала, проверку целостности физического соединения, предоставляет информацию о свойствах канала, обнаруживает ошибки и сообщает о них. Уникальное свойство LMP — возможность локализации ошибок. Для работы системы сигнализации GMPLS необходим как минимум один двунаправленный канал, даже если между смежными узлами установлены однонаправленные соединения. Архитектура не определяет, как должны быть реализованы эти каналы, но для передачи маршрутной и сигнальной информации следует использовать IP. Таким образом, стек протоколов GMPLS перекрывает четыре нижних уровня семиуровневой модели ISO/OSI (рис. 3).

Модель адресации и обобщенная метка GMPLS

В GMPLS сохраняется IP-адресация. Это подразумевает, что для идентификации интерфейсов используются адреса в стандартах IPv4 и/или IPv6. Такая адресация применяется не только для интерфейсов IP-узлов, но также для идентификации любых PSC- и не PSC-интерфейсов.

Для поддержки различных типов интерфейсов в GMPLS предусмотрена расширенная обобщенная метка. Новый формат ее содержит информацию, которая позволяет принимающему устройству создавать LSP и осуществлять пересылку данных независимо от его конструкции (пакетные сети, TDM и т. п.). Такая метка может представлять собой -одиночную волну, оптическое волокно или временной TDM-слот. Традиционные MPLS-метки ATM, Virtual Channel Connection (VCC), IP-shim также поддерживаются. Обобщенная метка содержит как минимум тип LSP, определяющий, какой тип метки будет передаваться (пакетный, SDH/SONET и т. д.), вид пересылки, который показывает, предполагает ли узел использовать коммутацию пакетов, временные слоты, световую волну или FSC, и обобщенный идентификатор нагрузки, отображающий тип нагрузки, переносимой через LSP (виртуальные трибутарные потоки, DS-3, ATM, Ethernet и т. п.).

Иерархия LSP

|  |
| --- |
| [http://itc.ua/img/ko/2004/27/small/gmpls_pic_4.jpg](http://itc.ua/img/ko/2004/27/gmpls_pic_4.jpg) |
| Рис. 4 |
| [http://itc.ua/img/ko/2004/27/small/gmpls_pic_5.gif](http://itc.ua/img/ko/2004/27/gmpls_pic_5.jpg) |
| Рис. 5 |

Для формирования пакетного LSP необходимо последовательно за-просить ресурсы на нижестоящих уровнях. Таким образом, в рамках GMPLS вводится понятие иерархии LSP (рис. 4). Это понятие является ключевым моментом при создании обобщенного LSP (G-LSP).

Рассмотрим процедуры реализации пакетного LSP (рис. 5) в сети GMPLS. Так, сети с коммутацией пакетов подключены через STM-4 к SDH-кольцу. Кольца SDH объединены с оптическими кросс-коннекторами (OXC1, OXC2). Между кросс-коннекторами находится оптическая линия с пропускной способностью STM-64. Необходимо создать LSP и передать данные от LSR1 к LSR4. Для образования пакетного LSP (рис. 5, LSP pc) требуется сформировать пакетный туннель через LSP более низкого уровня иерархии. Для этого посылается запрос PATH (RSVP-TE) или Label Request (CR-LDP) на более низкий уровень иерархии. Сообщение содержит обобщенный запрос с указанием типов LSP и нагрузки (пакет, TDM-слот и т. д.), а также ряд служебных параметров. После обработки запроса нижестоящий узел пересылает в обратном направлении сообщение RESV/Label Mapping, содержащее обобщенную метку, которую необходимо использовать для данного LSP. Поскольку в RSVP-ТЕ получатель инициирует образование соединения, то в случае пакетного LSP будут созданы:

1. LSP между OXC1 и OXC2 (LSP l).
2. LSP между DSC2 и DSC3 (пограничными узлами), затем после распространения информации о полученных метках в пределах домена — LSP между DSC1 и DSC4 (LSP TDM).
3. LSP между пограничными маршрутизаторами пакетной сети LSR2-LSR3 и путь LSR1-LSR4 согласно передаваемой в пределах домена информации о полученных метках.

Решения для повышения масштабируемости

Для работы GMPLS необходимо пересылать значительные объемы трафика протоколов сигнализации и маршрутизации. Помимо этого, ожидается, что с ростом пропускной способности оптических каналов потребуется создавать и поддерживать информацию о большом количестве соединений. Для сохранения высокой масштабируемости в рамках архитектуры GMPLS были добавлены несколько механизмов:

1. Безадресные (unnumbered) -соединения (или интерфейсы). Соединения (или интерфейсы), не имеющие IP-адресов. Поскольку такие интерфейсы не определяются IP-адресом, необходимо ввести идентификатор, локальный для LSR, к которому он принадлежит. Для создания LSP смежные маршрутизаторы обмениваются локальными идентификаторами. Пересылка идентификаторов может быть осуществлена с помощью протокола LMP.
2. Группировка (bundling) каналов. Когда смежные маршрутизаторы имеют множество связей (записей в таблице состояний OSPF/IS-IS), существует возможность объединить несколько (или все) из этих соединений в одну запись OSPF/IS-IS. Результирующий логический канал однозначно определяется тремя параметрами: идентификатором группового канала, идентификатором составного канала и меткой.
3. Агрегирование нескольких LSP в один для повышения масштабируемости, которое может выполняться несколькими способами. Специфический для GMPLS метод агрегирования — Forwarding Adjacency (FA) — заключается в следующем. Узел объявляет LSP как TE-канал в существующей таблице OSPF/IS-IS, если в ней есть запись, определяющая требуемый маршрут для этого LSP. После добавления FA OSPF/IS-IS обновляет и рассылает информацию о состоянии каналов. FA представляют как адресные, так и безадресные каналы. FA может быть группированным (bundled) каналом между двумя узлами. Такой подход позволяет улучшить использование пропускной способности соединения в случае, если она распределяется динамически. С другой стороны, объединяя множество LSP в один, нет необходимости в поддержке большого количества информации о состоянии связи.

В перспективе GMPLS рассматривается как технология для построения сетей передачи данных следующего поколения, которые позволят предоставлять принципиально новые услуги, такие как пропускная способность по требованию и оптические VPN (OVPN). Несмотря на то что по ряду технологических вопросов необходимы дополнительные исследования, согласно оценкам западных экспертов, в течение ближайших пяти лет технология GMPLS будет внедрена.