

Тема6 Протоколы динамической маршрутизации

Масштаб сетей данных, которые мы используем в повседневной жизни для учёбы, работы или в развлекательных целях, варьируется от небольших локальных сетей до крупных глобальных объединённых сетей. В домашних условиях пользователь может установить маршрутизатор, а также два или более компьютеров. В рамках организации речь может идти об использовании нескольких маршрутизаторов и коммутаторов, обеспечивающих обмен данными между сотнями или даже тысячами компьютеров.

Маршрутизаторы выполняют пересылку пакетов, используя данные таблицы маршрутизации. Информацию о маршрутах к удалённым сетям маршрутизатор получает посредством статических и динамических маршрутов.

В большой сети, состоящей из нескольких сетей и подсетей, настройка и обслуживание статических маршрутов между этими сетями требует частого административного вмешательства и значительных непроизводительных затрат. Непроизводительные затраты особенно возрастают при необходимости внесения изменений в сеть, например, при сбое в работе канала или реализации новой подсети. Использование протоколов динамической маршрутизации может уменьшить объём задач по настройке и обслуживанию и обеспечить большую масштабируемость сети.

Принцип работы протоколов динамической маршрутизации

Протоколы динамической маршрутизации используются в сетях с конца 80-х гг. XX в. Одним из первых протоколов маршрутизации был протокол маршрутной информации (RIP). Первая версия протокола RIP (RIPv1) была выпущена в 1988 г., однако отдельные базовые алгоритмы протокола использовались ещё в сети ARPANET, созданной Агентством Министерства обороны США по перспективным исследованиям в 1969 г.

Наряду с развитием и усложнением сетей, возникла необходимость в новых протоколах маршрутизации — таким образом появилась обновлённая версия протокола маршрутизации RIP, названная RIPv2. Однако даже обновлённая версия RIP не предоставляет возможностей масштабирования при реализации современных сетей большего размера. В соответствии с требованиями сетей большего размера были разработаны два усовершенствованных протокола маршрутизации: протокол маршрутизации «алгоритм кратчайшего пути» (OSPF) и протокол маршрутизации IS-IS. Компания Cisco разработала внутренний протокол маршрутизации шлюзов (IGRP) и усовершенствованный протокол IGRP (EIGRP), которые также обеспечивают хорошую масштабируемость при реализации сетей большего размера.

Помимо перечисленных требований, возникла необходимость в соединении разных сетей и осуществлении маршрутизации между ними. В настоящее время для связи между сетями интернет-провайдеров используется протокол BGP. Протокол BGP также обеспечивает обмен данными маршрутизации между интернет-провайдерами и их крупными частными клиентами.

	Протоколы внутренней маршрутизации				Протоколы внешней маршрутизации
	Дистанционно-векторный		Состояние канала		Вектор пути
IPv4	RIPv2	EIGRP	OSPFv2	IS-IS	BGP-4
IPv6	RIPng	EIGRP для IPv6	OSPFv3	IS-IS для IPv6	BGP-MP

С появлением многочисленных устройств, использующих IP-адреса, адресное пространство IPv4 оказалось практически исчерпанным, что привело к появлению протокола IPv6. Для обмена данными на основе протокола IPv6 были разработаны новые версии протоколов IP-маршрутизации (см. строку IPv6 на рисунке).

Протокол RIP представляет собой простейший протокол динамической маршрутизации, который приводится в рамках данного раздела для разъяснения базовых принципов работы протокола маршрутизации.

Протоколы маршрутизации упрощают обмен информацией о маршрутах между маршрутизаторами. Протокол маршрутизации представляет собой набор процессов, алгоритмов и сообщений, используемых для обмена данными маршрутизации и наполнения таблицы маршрутизации оптимальными путями. Протоколы динамической маршрутизации используются для решения следующих задач:

- обнаружение удаленных сетей;
- обновление данных маршрутизации;
- выбор оптимального пути к сетям назначения;
- поиск нового оптимального пути в случае, если текущий путь недоступен.

Протоколы динамической маршрутизации включают в себя следующие компоненты:

- **Структуры данных** — как правило, для работы протоколов маршрутизации используются таблицы или базы данных. Данная информация хранится в ОЗУ.
- **Сообщения протокола маршрутизации** — протоколы маршрутизации используют различные типы сообщений для обнаружения соседних маршрутизаторов, обмена информацией о маршрутах и выполнения других задач, связанных с получением актуальной информации о сети.
- **Алгоритм** — алгоритм представляет собой определённый список действий, используемых для выполнения задачи. Протоколы маршрутизации используют алгоритмы, упрощающие обмен данными маршрутизации и определение оптимального пути.
-



Протоколы маршрутизации позволяют маршрутизаторам динамически обмениваться данными об удалённых сетях и автоматически добавлять эти данные в собственные таблицы маршрутизации.

Протоколы маршрутизации определяют оптимальный путь или маршрут к каждой сети. Затем маршрут добавляется в таблицу маршрутизации. Основным преимуществом протоколов динамической маршрутизации является то, что они обеспечивают обмен данными маршрутизации между маршрутизаторами в случаях изменений в топологии. Подобный обмен данными позволяет маршрутизаторам автоматически получать информацию о новых сетях, а также находить альтернативные пути в случае сбоя канала к текущей сети.

По сравнению со статической маршрутизацией протоколы динамической маршрутизации требуют меньшего вмешательства со стороны администратора. Тем не менее, к издержкам использования протоколов динамической маршрутизации можно отнести тот факт, что часть ресурсов маршрутизатора выделяется для работы протокола (включая время ЦП и полосу пропускания сетевого канала). Несмотря на преимущества динамической маршрутизации, статическая маршрутизация по-прежнему находит применение. В отдельных случаях рекомендуется использовать именно статическую маршрутизацию, равно как в других предпочтительней выбрать динамическую маршрутизацию. Для сетей среднего уровня можно настроить как статическую, так и динамическую маршрутизацию.

Динамическая маршрутизация в сравнении со статической маршрутизацией

В таблице на рисунке показаны основные преимущества и недостатки статической маршрутизации. Реализация статической маршрутизации в небольшой сети не представляет сложностей. Статические маршруты остаются неизменными, благодаря чему устранить неполадки, связанные с ними, относительно просто. Статические маршруты не отправляют сообщения об обновлении и, таким образом, не требуют больших затрат вычислительных ресурсов.

Недостатки статической маршрутизации:

- Реализация статических маршрутов в больших сетях сопряжена с определёнными сложностями.
- Управление настройками статических маршрутов отнимает много времени.
- В случае сбоя канала статический маршрут не может использоваться для повторной маршрутизации трафика.

Преимущества и недостатки статической маршрутизации

Преимущества	Недостатки
Простота внедрения в небольшой сети.	Подходит только для простых топологий или специальных задач (например, статический маршрут по умолчанию). Сложность конфигурации значительно возрастает по мере роста сети.
Высокий уровень безопасности. В отличие от протоколов динамической маршрутизации отправка объявлений не выполняется.	Сложность конфигурации значительно возрастает по мере роста сети.
Маршрут к месту назначения остаётся неизменным.	При необходимости изменения маршрутизации конфигурирование выполняется вручную.
Алгоритм маршрутизации или механизм обновления не требуется, следовательно, нет необходимости в дополнительных ресурсах (ЦП или ОЗУ).	

Протоколы динамической маршрутизации позволяют сетевому администратору управлять трудоёмкими процессами настройки и обслуживания статических маршрутов.

Представьте себе выполнение настройки статической маршрутизации на семи маршрутизаторах.

Теперь представьте, что компания выросла и теперь необходимо обслуживать четыре региона и 28 маршрутизаторов. Что произойдёт в случае сбоя канала? Как обеспечить доступность резервных маршрутов?

Динамическая маршрутизация является оптимальным выбором для одной из больших сетей, показанной на рисунке.

В таблице на рисунке представлены основные преимущества и недостатки динамической маршрутизации. Протоколы динамической маршрутизации идеально подходят для сетей любого типа, содержащих несколько маршрутизаторов. Протоколы обеспечивают высокий уровень масштабируемости, а также автоматически определяют оптимальные маршруты при изменениях в топологии. Несмотря на то, что настройка протоколов динамической маршрутизации требует больше временных затрат, их проще настраивать в рамках большой сети.

При использовании динамической маршрутизации есть некоторые недостатки: Для реализации динамической маршрутизации требуется знание дополнительных команд. В сравнении со статической маршрутизацией динамическая маршрутизация демонстрирует более низкий уровень безопасности, поскольку интерфейсы, определённые протоколом маршрутизации, выполняют отставку сообщений об обновлениях маршрутов. Маршруты могут отличаться в зависимости от пакетов. Алгоритм маршрутизации использует дополнительные ресурсы ЦП, ОЗУ и полосы пропускания канала.

Обратите внимание, как динамическая маршрутизация позволяет устранить недостатки статической маршрутизации.

Преимущества и недостатки динамической маршрутизации

Преимущества	Недостатки
Подходит для работы во всех топологиях, где требуется наличие нескольких маршрутизаторов.	Реализация может предполагать высокий уровень сложности.
Обычно не зависит от размера сети.	Менее безопасна. Для обеспечения более высокого уровня безопасности требуется дополнительная настройка.
Автоматически изменяет, если это возможно, таблицу маршрутизации при изменении сетевой топологии.	Маршрут зависит от текущей топологии.
	Требуются дополнительные ресурсы ЦП, ОЗУ и полосы пропускания канала.

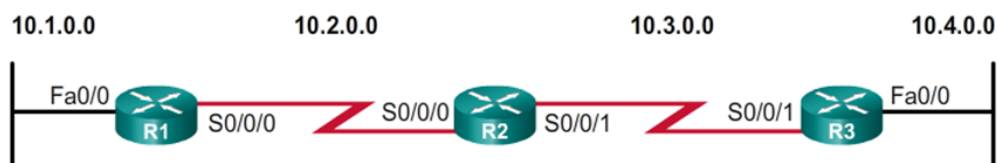
Принципы работы протоколов маршрутизации

Все протоколы маршрутизации разработаны для получения данных об удалённых сетях и быстрой адаптации к любым изменениям в топологии. Метод, используемый протоколом маршрутизации для выполнения этих задачи, зависит от выбранного алгоритма и эксплуатационных характеристик протокола.

В целом, работу протокола динамической маршрутизации можно описать следующим образом:

1. Маршрутизатор отправляет и принимает сообщения маршрутизации на свои интерфейсы.
2. Маршрутизатор предоставляет общий доступ к сообщениям маршрутизации и данным о маршрутах для других маршрутизаторов, использующих тот же протокол маршрутизации.
3. Маршрутизаторы осуществляют обмен данными маршрутизации для получения информации об удалённых сетях.
4. При обнаружении маршрутизатором изменений в топологии, протокол маршрутизации может объявить это изменение для других маршрутизаторов.

Обнаружены напрямую подключённые сети



Сеть	Интерфейс	Переход
10.1.0.0	Fa0/0	0
10.2.0.0	S0/0/0	0

Сеть	Интерфейс	Переход
10.2.0.0	S0/0/0	0
10.3.0.0	S0/0/1	0

Сеть	Интерфейс	Переход
10.3.0.0	S0/0/1	0
10.4.0.0	Fa0/0	0

Все протоколы маршрутизации работают по одной схеме. В качестве примера рассмотрим следующий сценарий, в котором все три маршрутизатора работают по протоколу RIPv2.

При включении питания у маршрутизатора нет данных о топологии сети. Кроме того, у него нет данных о наличии устройств на другом конце каналов. Маршрутизатору доступна лишь информация из его собственного файла конфигурации, сохранённого в энергонезависимом ОЗУ (NVRAM). После успешной загрузки маршрутизатор применяет сохранённую конфигурацию. Если IP-адресация настроена верно, первоначально маршрутизатор выполняет обнаружение напрямую подключённых сетей.

Обратите внимание, что маршрутизаторы выполняют процедуру загрузки, после чего выполняют обнаружение всех напрямую подключённых сетей и масок подсетей. Информация добавляется в таблицы маршрутизации следующим образом:

- R1 добавляет сеть 10.1.0.0, доступную через интерфейс FastEthernet 0/0, и сеть 10.2.0.0 становится доступной через интерфейс Serial 0/0/0.
- R2 добавляет сеть 10.2.0.0, доступную через интерфейс Serial 0/0/0, и сеть 10.3.0.0 становится доступной через интерфейс Serial 0/0/1.
- R3 добавляет сеть 10.3.0.0, доступную через интерфейс Serial 0/0/1, и сеть 10.4.0.0 становится доступной через интерфейс FastEthernet 0/0.

Имея эту исходную информацию, маршрутизаторы выполняют поиск дополнительных источников маршрутов для заполнения таблиц маршрутизации.

После начальной загрузки и обнаружения источников маршрутов, выполняется обновление таблицы маршрутизации с добавлением всех напрямую подключённых сетей и интерфейсов, на которых размещены эти сети.

Если настроен протокол маршрутизации, на следующем этапе маршрутизатор начинает обмен данными о корректировке маршрутов для получения информации обо всех удалённых маршрутах.

Маршрутизатор отправляет пакет обновления из всех включённых на нём интерфейсов. Обновление содержит данные из таблицы маршрутизации, в которой на данный момент имеются данные о напрямую подключённых сетях.

В то же время маршрутизатор принимает и обрабатывает аналогичные пакеты обновлений от других подключённых маршрутизаторов. После получения

обновления маршрутизатор проверяет пакет на наличие данных о новых сетях. Он добавляет все сети, не прописанные в таблице маршрутизации.

Для ознакомления с топологией между маршрутизаторами R1, R2 и R3, обратитесь к рисунку. Исходя из представленной топологии, ниже приводится список различных обновлений, которые маршрутизаторы R1, R2 и R3 отправляют и получают в процессе первоначальной сходимости.

Маршрутизатор R1:

- отправляет обновление о сети 10.1.0.0 из интерфейса Serial0/0/0;
- отправляет обновление о сети 10.2.0.0 из интерфейса FastEthernet0/0;
- принимает обновление от R2 о сети 10.3.0.0 и увеличивает число переходов на 1;
- сохраняет сеть 10.3.0.0 в таблице маршрутизации с метрикой 1.

Маршрутизатор R2:

- отправляет обновление о сети 10.3.0.0 из интерфейса Serial0/0/0;
- отправляет обновление о сети 10.2.0.0 из интерфейса Serial0/0/1;
- принимает обновление от R1 о сети 10.1.0.0 и увеличивает число переходов на 1;
- сохраняет сеть 10.1.0.0 в таблице маршрутизации с метрикой 1;
- принимает обновление от R3 о сети 10.4.0.0 и увеличивает число переходов на 1;
- сохраняет сеть 10.4.0.0 в таблице маршрутизации с метрикой 1.

Маршрутизатор R3:

- отправляет обновление о сети 10.4.0.0 из интерфейса Serial0/0/1;
- отправляет обновление о сети 10.3.0.0 из интерфейса FastEthernet0/0;
- принимает обновление от R2 о сети 10.2.0.0 и увеличивает число переходов на 1;
- сохраняет сеть 10.2.0.0 в таблице маршрутизации с метрикой 1.

Для просмотра анимации, демонстрирующей первоначальный обмен данными между маршрутизаторами R1, R2 и R3, нажмите кнопку «Воспроизведение».

После первого этапа обмена обновлениями каждый из маршрутизаторов имеет данные о подключённых соседних устройствах. Вы заметили, что у маршрутизатора R1 пока нет данных о сети 10.4.0.0, а у маршрутизатора R3 - данных о сети 10.1.0.0? Получение всех данных и создание сошедшейся сети невозможны до тех пор, пока не состоится этап обмена данными маршрутизации.

На этом этапе у маршрутизаторов есть данные о собственных напрямую подключённых сетях, а также о подключённых сетях ближайших к ним соседних устройств. Продолжая процесс сходимости, маршрутизаторы выполняют обмен периодическими обновлениями. Каждый из маршрутизаторов ещё раз проверяет обновления на предмет наличия новых данных.

Для ознакомления с топологией между маршрутизаторами R1, R2 и R3, обратитесь к рисунку. По завершении начального обнаружения каждый из маршрутизаторов продолжает участвовать в процессе сходимости, отправляя и принимая следующие обновления.

Маршрутизатор R1:

- отправляет обновление о сети 10.1.0.0 из интерфейса Serial0/0/0;
- отправляет информацию об обновлениях сетей 10.2.0.0 и 10.3.0.0 из интерфейса FastEthernet0/0;

- принимает обновление от R2 о сети 10.4.0.0 и увеличивает число переходов на 1;
- сохраняет сеть 10.4.0.0 в таблице маршрутизации с метрикой 2.
- То же обновление от маршрутизатора R2 содержит данные о сети 10.3.0.0 с метрикой 1. Никаких изменений не обнаружено; таким образом, данные маршрутизации остаются прежними.

Маршрутизатор R2:

- отправляет обновление, содержащее данные о сетях 10.3.0.0 и 10.4.0.0 из интерфейса Serial 0/0/0;
- отправляет обновление, содержащее данные о сетях 10.1.0.0 и 10.2.0.0 из интерфейса Serial 0/0/1;
- принимает обновление от маршрутизатора R1, содержащее данные о сети 10.1.0.0; никаких изменений не обнаружено; таким образом, данные маршрутизации остаются прежними;
- принимает обновление от маршрутизатора R3, содержащее данные о сети 10.4.0.0; никаких изменений не обнаружено; таким образом, данные маршрутизации остаются прежними.

Маршрутизатор R3:

- отправляет обновление о сети 10.4.0.0 из интерфейса Serial0/0/1;
- отправляет информацию об обновлениях сетей 10.2.0.0 и 10.3.0.0 из интерфейса FastEthernet0/0;
- принимает обновление от R2 о сети 10.1.0.0 и увеличивает число переходов на 1;
- сохраняет сеть 10.1.0.0 в таблице маршрутизации с метрикой 2;
- то же обновление от маршрутизатора R2 содержит данные о сети 10.2.0.0 с метрикой 1: никаких изменений не обнаружено; таким образом, данные маршрутизации остаются прежними.

Дистанционно-векторные протоколы, как правило, предотвращают появление петли маршрутизации с помощью метода разделения горизонта. Метод разделения горизонта запрещает отправку данных из того же интерфейса, от которого они были получены. Например, маршрутизатор R2 не отправляет обновление, содержащее сеть 10.1.0.0, из интерфейса Serial 0/0/0, поскольку маршрутизатор R2 получил данные о сети 10.1.0.0 через интерфейс Serial 0/0/0.

После завершения процесса сходимости маршрутизаторов в сети, маршрутизатор может использовать данные из таблицы маршрутизации для определения оптимального пути к адресу назначения. Различные протоколы маршрутизации используют различные способы расчёта оптимального пути.

Сходимость сети

Сходимость сети считается достигнутой, когда все маршрутизаторы получили полные и точные данные обо всей сети. Время сходимости - время, требуемое маршрутизатору для обмена данными, расчёта оптимальных путей и обновления таблиц маршрутизации. Сеть не является полностью рабочей до момента полной сходимости. Таким образом, для большинства сетей имеет важное значение время сходимости.

Сходимость подразумевает как совместную, так и самостоятельную работу устройств. Маршрутизаторы обмениваются данными друг с другом, однако они

должны самостоятельно определять влияние изменений в топологии на собственные маршруты. Поскольку маршрутизаторы реагируют на изменения в топологии независимо друг от друга, этот процесс называют сходимостью.

К свойствам сходимости относятся скорость распространения данных маршрутизации и расчёт оптимальных путей. Скорость распространения соотносится со временем, необходимым для отправки информации о маршрутизации от маршрутизаторов внутри сети.

Протоколы маршрутизации можно оценивать по скорости сходимости — чем быстрее выполняется сходимость, тем более эффективным является протокол маршрутизации. Как правило, более ранние версии протоколов, например, протокол RIP, отличаются низкой скоростью сходимости, в то время как современные протоколы, например, EIGRP и OSPF, обеспечивают более быструю сходимость.

Типы протоколов маршрутизации

Протоколы маршрутизации можно классифицировать по различным группам в соответствии с их характеристиками. В частности, протоколы маршрутизации можно классифицировать по следующим признакам:

- **Назначение** — протокол внутренней маршрутизации (IGP) или протокол внешней маршрутизации (EGP)
- **Принцип работы** — дистанционно-векторный протокол, по состоянию канала или векторов маршрутов
- **Поведение** — протоколы классовой маршрутизации (устаревший метод) или бесклассовой маршрутизации

Например, протоколы маршрутизации IPv4 можно классифицировать следующим образом:

- **RIPv1 (устаревший)** — дистанционно-векторный классовой протокол внутренней маршрутизации;
- **IGRP (устаревший)** — дистанционно-векторный классовой протокол внутренней маршрутизации, разработанный компанией Cisco (не используется после выхода IOS 12.2 и более поздних версий);
- **RIPv2** — дистанционно-векторный бесклассовый протокол внутренней маршрутизации;
- **EIGRP** — дистанционно-векторный бесклассовый протокол внутренней маршрутизации, разработанный компанией Cisco;
- **OSPF** — бесклассовый протокол внутренней маршрутизации, по состоянию канала;
- **IS-IS** — бесклассовый протокол внутренней маршрутизации, по состоянию канала;
- **BGP** — бесклассовый протокол внешней маршрутизации, по вектору маршрута.

Протоколы классовой маршрутизации RIPv1 и IGRP являются устаревшими протоколами и используются только в старых сетевых топологиях. Позднее эти протоколы были усовершенствованы в протоколы бесклассовой маршрутизации — RIPv2 и EIGRP. По своей природе протоколы маршрутизации по состоянию канала относятся к протоколам бесклассовой маршрутизации.

Классификация протоколов маршрутизации



На рис. 1 приводится иерархическое представление классификации протоколов динамической маршрутизации.

Понятие автономной системы

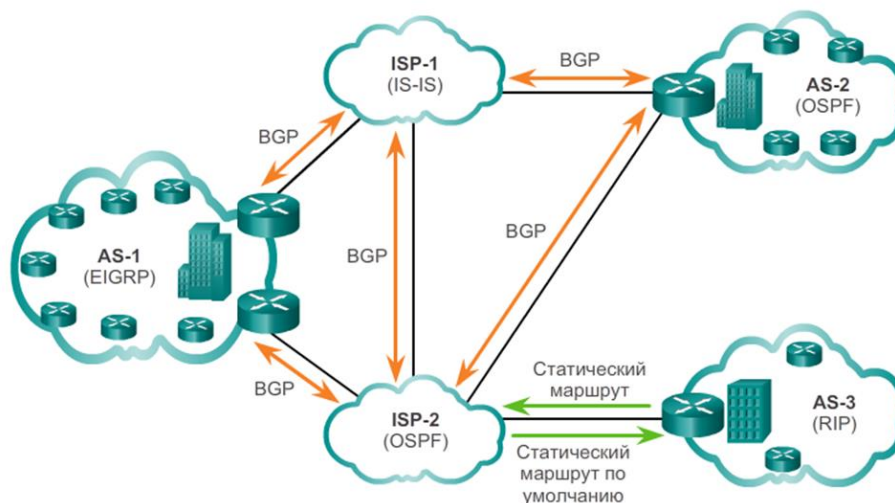
Автономная система (AS) представляет собой систему маршрутизаторов, управляемых одним оператором, например компанией или организацией. Автономную систему также называют доменом маршрутизации. К стандартным примерам автономной системы можно отнести внутреннюю сеть компании и сеть интернет-провайдера.

Сеть Интернет основана на концепции автономной системы, в связи с чем она требует протоколы маршрутизации двух типов:

- **Протоколы внутренней маршрутизации**, используемые для маршрутизации внутри автономной системы. Данный тип маршрутизации также называют внутренней маршрутизацией автономной системы. Компании, организации и даже операторы связи используют протоколы внутренней маршрутизации в своих внутренних сетях. К протоколам внутренней маршрутизации относятся протоколы RIP, EIGRP, OSPF и IS-IS.
- **Протоколы внешней маршрутизации**, используемые для маршрутизации между автономными системами. Маршрутизацию данного типа также называют внешней маршрутизацией автономной системы. Взаимодействие между сетями операторов связи и крупных компаний может осуществляться посредством протокола внешней маршрутизации. На данный момент протокол BGP представляет собой единственный практически выполнимый и официальный протокол маршрутизации, используемый в сети Интернет.

Примечание. Поскольку протокол BGP является единственным доступным протоколом внешней маршрутизации, термин «протокол внешней маршрутизации» используется редко. Вместо этого термина сетевые специалисты используют термин протокол BGP.

Сравнение протоколов маршрутизации IGP и EGP



В примере на рисунке представлены простые сценарии, демонстрирующие развёртывание протоколов внутренней маршрутизации, протоколов BGP и протоколов статической маршрутизации:

- **ISP-1** является автономной системой, использующей протокол IS-IS в качестве протокола внутренней маршрутизации. Она подключается к другим автономным системам и провайдерам услуг с помощью протокола BGP, чтобы контролировать процесс маршрутизации трафика.
- **ISP-2** является автономной системой, использующей протокол OSPF в качестве протокола внутренней маршрутизации. Она подключается к другим автономным системам и провайдерам услуг с помощью протокола BGP, чтобы контролировать процесс маршрутизации трафика.
- **AS-1** является крупной организацией, использующей протокол EIGRP в качестве протокола внутренней маршрутизации. Поскольку такая сеть является сетью с множественной адресацией (т. е. она подключена к двум различным операторам связи), она использует протокол BGP для того, чтобы контролировать приём и отправку трафика из автономной системы.
- **AS-2** является крупной организацией, использующей протокол OSPF в качестве протокола внутренней маршрутизации. Эта система также имеет множественную адресацию, таким образом, она использует протокол BGP для непосредственного управления способами приёма и отправки трафика из автономной системы.
- **AS-3** является небольшой организацией, использующей ранние версии маршрутизаторов в автономной системе. Такая система использует протокол RIP в качестве протокола внутренней маршрутизации. Использование протокола BGP не требуется, так как система подключена к одному оператору связи. Вместо BGP между автономной системой и оператором связи реализована статическая маршрутизация.

Дистанционно-векторный протокол

«Дистанционно-векторный» означает, что маршруты объявляются путём указания двух характеристик:

- **Расстояние** — определяет удалённость сети назначения; основывается на таких метриках, как число переходов, стоимость, полоса пропускания, значение задержки и т. д.
- **Вектор** - определяет направление маршрутизатора следующего перехода или выходного интерфейса маршрута для доступа к адресу назначения.
-

Дистанционно-векторное значение



В примере на рисунке маршрутизатор R1 располагает данными о том, что расстояние до сети 172.16.3.0/24 равно одному переходу в направлении от интерфейса S0/0/0 к маршрутизатору R2.

Маршрутизатор, использующий дистанционно-векторный протокол, не имеет данных обо всём пути к сети назначения. Дистанционно-векторные протоколы используют маршрутизаторы в качестве указательных знаков на пути к конечной точке назначения. Единственные данные, которые известны маршрутизатору об удалённой сети — расстояние или метрика до такой сети, а также путь или интерфейс, используемые для доступа к ней. Дистанционно-векторные протоколы не имеют фактической карты топологии сети.

Существует четыре дистанционно-векторных протокола внутренней маршрутизации IPv4:

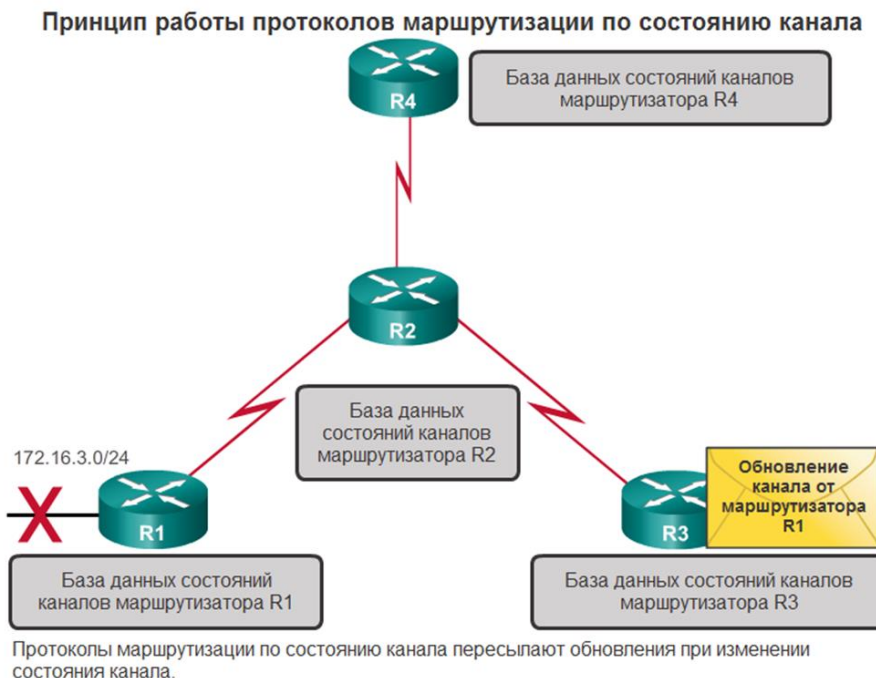
- **RIPv1** — устаревшая версия протокола первого поколения;
- **RIPv2** — простой дистанционно-векторный протокол;
- **IGRP** — запатентованный протокол Cisco первого поколения (на сегодняшний день также устаревший, заменён протоколом EIGRP);
- **EIGRP** — расширенная версия дистанционно-векторного протокола.

Протокол маршрутизации по состоянию канала

В отличие от маршрутизаторов, настроенных для работы дистанционно-векторного протокола, маршрутизаторы, использующие протокол маршрутизации по состоянию канала, могут создавать полное представление или топологию сети путём сбора данных от остальных маршрутизаторов.

Продолжая аналогию с указательными знаками, можно сказать, что использование протокола маршрутизации по состоянию канала похоже на использование подробной карты топологии сети. Указательные знаки на пути от

источника к пункту назначения не обязательны, поскольку все маршрутизаторы, работающие с учётом состояния канала, используют идентичную карту сети. Маршрутизатор на базе протокола по состоянию канала использует данные о состоянии канала для создания карты топологии и выбора оптимального пути ко всем сетям назначения в топологии.



Маршрутизаторы, использующие протокол RIP, регулярно отправляют соседним устройствам обновления своих данных маршрутизации. Протоколы маршрутизации по состоянию канала не используют регулярные обновления. По завершении сходимости сети обновление состояния канала отправляется только в случае изменений в топологии сети. Применение протоколов маршрутизации по состоянию канала является целесообразным в следующих случаях:

- Сеть имеет иерархическую структуру, что, как правило, характерно для крупных сетей.
- Быстрая сходимость сети имеет критическое значение.
- Администраторы хорошо разбираются в работе протокола маршрутизации по состоянию канала.

Существует два протокола внутренней маршрутизации IPv4 по состоянию канала:

- **OSPF** — широко используемый стандартный протокол;
- **IS-IS** — протокол, распространённый в сетях операторов связи.

Классовые и бесклассовые протоколы

Главное различие между классовыми и бесклассовыми протоколами маршрутизации заключается в том, что классовые протоколы маршрутизации не отправляют данные о маске подсети в обновлениях маршрутизации. Бесклассовые протоколы маршрутизации включают в обновления маршрутизации данные о маске подсети.

Изначально было разработано два протокола маршрутизации IPv4 — RIPv1 и IGRP. Они были созданы в то время, когда сетевые адреса выделялись с учётом

класса (например класса А, В или С). В то время протоколу маршрутизации не требовалось включать маску подсети в пакет обновлений маршрутизации, так как маску сети можно было определить по первому октету сетевого адреса.

Примечание. К классовым протоколам маршрутизации относятся только протоколы RIPv1 и IGRP. Все остальные протоколы маршрутизации IPv4 и IPv6 являются бесклассовыми протоколами. В протоколе IPv6 никогда не использовалась классовая адресация.

Тот факт, что протоколы RIPv1 и IGRP не включают данные о маске подсети в свои обновления, означает, что эти протоколы не могут предоставлять маски подсети переменной длины (VLSM) и соответственно не могут использоваться в бесклассовой междоменной маршрутизации (CIDR).

Классовые протоколы маршрутизации также создают определённые в проблемы в «разорванных» сетях. Сеть считается «разорванной» в том случае, когда подсети в рамках одной классовой основной сети разделены другим классовым сетевым адресом.

Недостатки классовой маршрутизации проиллюстрированы в топологии на рис. 1. Обратите внимание, что сети LAN маршрутизаторов R1 (172.16.1.0/24) и R3 (172.16.2.0/24) являются подсетями одной сети класса В (172.16.0.0/16). Они разделены другими классовыми сетевыми адресами (192.168.1.0/30 и 192.168.2.0/30).

Когда маршрутизатор R1 пересылает обновление на маршрутизатор R2, протокол RIPv1 не включает в это обновление маску подсети, а пересылает только сетевой адрес класса В 172.16.0.0.

Маршрутизатор R2 принимает и обрабатывает обновление, после чего он создаёт и добавляет запись для сети класса В 172.16.0.0/16 в таблицу маршрутизации, как показано на рис. 2.

На рис. 3 показано, что при пересылке маршрутизатором R3 обновления на маршрутизатор R2, протокол также не включает данные о маске подсети и, таким образом, пересылает только классовой сетевой адрес 172.16.0.0.

На рис. 4 маршрутизатор R2 принимает и обрабатывает обновление и добавляет в свою таблицу маршрутизации ещё одну запись для классовой сетевой адреса 172.16.0.0/16. При наличии в таблице маршрутизации двух записей с идентичными метриками маршрутизатор распределяет нагрузку трафика равномерно по двум каналам. Описанный выше процесс называют распределением нагрузки.

*Как показано на рис. 5, распределение нагрузки негативно сказывается на работе «разорванных» сетей. Обратите внимание на ошибочное «поведение» команд **ping** и **traceroute**.*

В современных сетях классическая IP-адресация больше не используется, и маски подсети невозможно определить по значению первого октета. Бесклассовые протоколы маршрутизации IPv4 (RIPv2, EIGRP, OSPF и IS-IS) включают в обновления маршрутизации данные о маске подсети наряду с сетевым адресом. Бесклассовые протоколы маршрутизации поддерживают использование VLSM и CIDR.

Протоколы маршрутизации IPv6 являются бесклассовыми. Различать классические и бесклассовые протоколы маршрутизации имеет смысл только при

использовании протоколов маршрутизации IPv4. Все протоколы маршрутизации IPv6 считаются бесклассовыми, так как включают длину префикса наряду с IPv6-адресом.

Характеристики протоколов маршрутизации

Протоколы маршрутизации можно сравнить на основе следующих характеристик:

	Дистанционно-векторный				Состояние канала	
	RIPv1	RIPv2	IGRP	EIGRP	OSPF	IS-IS
Скорость сходимости	Медленная	Медленная	Медленная	Быстрая	Быстрая	Быстрая
Масштабируемость-Размер сети	Ограниченная	Ограниченная	Ограниченная	Широкая	Широкая	Широкая
Использование VLSM	Нет	Да	Нет	Да	Да	Да
Потребление ресурсов	Низкое	Низкое	Низкое	Среднее	Высокое	Высокое
Реализация и обслуживание	Простое	Простое	Простое	Сложное	Сложное	Сложное

- **Скорость сходимости** — определяет скорость обмена данными маршрутизации и достижения согласованности данных между маршрутизаторами в рамках сетевой топологии. Чем выше скорость сходимости, тем предпочтительней протокол. Петли маршрутизации могут возникать в случаях, когда несогласованные таблицы маршрутизации не обновляются по причине медленной сходимости в изменяющейся сети.
- **Масштабируемость** — определяет максимально возможный размер сети с учётом используемого протокола маршрутизации. Чем больше размер сети, тем больше возможностей для масштабирования должно быть предусмотрено протоколом маршрутизации.
- **Классовые или бесклассовые протоколы (использование VLSM):** классовые протоколы маршрутизации не включают маску подсети и не поддерживают использование VLSM. Бесклассовые протоколы маршрутизации включают в обновления маску подсети. Бесклассовые протоколы маршрутизации поддерживают использование VLSM и обеспечивают более качественное объединение маршрутов.
- **Потребление ресурсов** — включает такие требования протокола маршрутизации, как объём памяти (ОЗУ), потребление ресурсов ЦП и полосы пропускания канала. Чем выше требования к ресурсам, тем более мощное аппаратное обеспечение требуется для поддержки работы протокола маршрутизации (помимо процессов пересылки пакетов).
- **Реализация и обслуживание** — характеристика, описывающая уровень знаний, требуемый сетевому администратору для реализации и обслуживания сети на базе развёрнутого протокола.

Метрика протокола маршрутизации

В отдельных случаях протокол маршрутизации получает более одного маршрута до одной точки назначения. Для выбора оптимального маршрута протокол маршрутизации должен уметь оценивать и различать возможные пути. Эта задача выполняется посредством использования метрик маршрутизации.

Метрика представляет собой измеряемое значение, которое назначается протоколом маршрутизации различным маршрутам с учётом полезности того или иного маршрута. В ситуациях, когда доступно несколько маршрутов к одной удалённой сети, метрики маршрутизации используются для определения общей «стоимости» пути от источника до места назначения. Протоколы маршрутизации определяют оптимальный путь, исходя из маршрута с наименьшей стоимостью.

Различные протоколы маршрутизации используют различные метрики. Метрики, используемые в одном протоколе маршрутизации, не применимы к другому протоколу. Два различных протокола маршрутизации могут выбирать различные пути к одной точке назначения.

Описание дистанционно-векторного протокола

Дистанционно-векторные протоколы осуществляют обмен обновлениями с соседними устройствами. К соседним устройствам относятся маршрутизаторы, которые совместно используют канал и работают на базе одного протокола маршрутизации. Маршрутизатору известны только сетевые адреса собственных интерфейсов и адреса удалённых сетей, доступ к которым он может осуществлять через соседние устройства. Маршрутизаторы, использующие дистанционно-векторную маршрутизацию, не имеют данных о топологии сети.

Некоторые дистанционно-векторные протоколы регулярно отправляют обновления. Например, протокол RIP каждые 30 секунд отправляет обновление всем соседним устройствам. Протокол RIP продолжает отправлять обновления даже в том случае, если топология сети не изменялась. Протокол RIPv1 осуществляет доступ ко всем соседним устройствам посредством отправки обновлений на IPv4-адрес всех узлов в сети 255.255.255.255 (широковещательная рассылка).

Широковещательная рассылка регулярных обновлений не является эффективной, поскольку обновления потребляют полосу пропускания и ресурсы ЦП сетевого устройства. Каждое сетевое устройство должно обработать сообщение широковещательной рассылки. В свою очередь, протоколы RIPv2 и EIGRP используют групповые адреса, поэтому обновления получают только те соседние устройства, которым они требуются. Протокол EIGRP также может отправлять одноадресные сообщения только тому соседнему устройству, которое в этом «заинтересовано». Кроме того, протокол EIGRP отправляет обновление только при необходимости, а не регулярно.

Как показано на рисунке, существует два современных дистанционно-векторных протокола маршрутизации IPv4: RIPv2 и EIGRP. Протоколы RIPv1 и IGRP приводятся в рамках материала исключительно в целях соблюдения хронологической точности.

В основе дистанционно-векторного протокола лежит алгоритм маршрутизации. Данный алгоритм используется для расчёта оптимальных путей и последующей отправки данных соседним устройствам.

Алгоритм, используемый для протоколов маршрутизации, определяет следующие процессы:

- механизм отправки и получения данных маршрутизации;
- механизм расчёта оптимальных путей и добавления маршрутов в таблицу маршрутизации;
- механизм обнаружения и реагирования на изменения в топологии.

Назначение алгоритмов маршрутизации

- Отправка и приём обновлений
- Расчёт оптимального пути и установка маршрута
- Обнаружение и реагирование на изменения в топологии



Маршрутизаторы R1 и R2 настроены для использования протокола маршрутизации RIP. Алгоритм отправляет и принимает обновления. Затем маршрутизаторы R1 и R2 «забирают» новые данные из обновления. В этом случае каждый из маршрутизаторов получает данные о новой сети. Алгоритм на каждом маршрутизаторе самостоятельно выполняет вычисления и добавляет в таблицу маршрутизации новые данные. В случае сбоя сети LAN на маршрутизаторе R2, алгоритм выполняет построение обновления по событию, после чего отправляет его на маршрутизатор R1. После этого маршрутизатор R1 удаляет сеть из таблицы маршрутизации.

Различные протоколы маршрутизации используют различные алгоритмы для установки маршрутов в таблицу маршрутизации, отправки обновлений соседним устройствам и принятия решений об определении пути.

- Протокол RIP использует алгоритм Беллмана-Форда в качестве алгоритма маршрутизации. Он основан на двух алгоритмах, разработанных в 1958 и 1956 гг. Ричардом Беллманом (Richard Bellman) и Лестером Фордом-мл. (Lester Ford, Jr).
- Протоколы IGRP и EIGRP используют алгоритм DUAL, разработанный доктором Дж. Дж. Гарсия-Луна-Асевес (SRI International).

Таблица маршрутизации

Части записи маршрута IPv4

Топология, используется как справочная топология в рамках данного раздела. Следует отметить, что в рассматриваемой топологии:

- маршрутизатор R1 является пограничным маршрутизатором, подключённым к сети Интернет. Таким образом, маршрутизатор передаёт статический маршрут по умолчанию на маршрутизаторы R2 и R3.
- Маршрутизаторы R1, R2 и R3 содержат «разорванные» сети, разделенные другой классовой сетью.
- Маршрутизатор R3 также вводит маршрут суперсети 192.168.0.0/16.

Примечание. Иерархия таблицы маршрутизации в Cisco IOS изначально реализована с использованием схемы классовой маршрутизации. Хотя таблица маршрутизации включает классовую и бесклассовую адресацию, общая структура по-прежнему строится на основе классовой схемы.

Таблица маршрутизации маршрутизатора R1

```
R1# show ip route | begin Gateway
Gateway of last resort is 209.165.200.234 to network 0.0.0.0

S* 0.0.0.0/0 [1/0] via 209.165.200.234, Serial0/0/1
    is directly connected, Serial0/0/1
    172.16.0.0/16 is variably subnetted, 5 subnets, 3 masks
C    172.16.1.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/0
L    172.16.1.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/0
R    172.16.2.0/24 [120/1] via 209.165.200.226, 00:00:12, Serial0/0/0
R    172.16.3.0/24 [120/2] via 209.165.200.226, 00:00:12, Serial0/0/0
R    172.16.4.0/28 [120/2] via 209.165.200.226, 00:00:12, Serial0/0/0
R   192.168.0.0/16 [120/2] via 209.165.200.226, 00:00:03, Serial0/0/0
    209.165.200.0/24 is variably subnetted, 5 subnets, 2 masks
C    209.165.200.224/30 is directly connected, Serial0/0/0
L    209.165.200.225/32 is directly connected, Serial0/0/0
R    209.165.200.228/30 [120/1] via 209.165.200.226, 00:00:12,
        Serial0/0/0
C    209.165.200.232/30 is directly connected, Serial0/0/1
L    209.165.200.233/30 is directly connected, Serial0/0/1
R1#
```

Как показано на рис. 1, таблица маршрутизации маршрутизатора R1 содержит три напрямую подключённые сети. Обратите внимание, что две записи таблицы маршрутизации создаются автоматически при настройке интерфейса активного маршрутизатора с использованием IP-адреса и маски подсети.

Показана одна из записей таблицы маршрутизации на маршрутизаторе R1 для напрямую подключённой сети 172.16.1.0. Эти записи автоматически добавлены в таблицу маршрутизации при настройке и активации интерфейса GigabitEthernet 0/0. Записи содержат следующие сведения:

- **Источник маршрута** — определяет, каким способом был получен маршрут. Напрямую подключённые интерфейсы содержат два кода источника маршрута. Код **C** определяет напрямую подключённую сеть. Напрямую подключённые сети создаются автоматически, когда интерфейс настраивается с IP-адресом и активируется. Код **L** определяет локальный маршрут. Локальные сети создаются автоматически, когда интерфейс настраивается с IP-адресом и активируется.
- **Сеть назначения** — адрес удалённой сети и тип её подключения.
- **Выходной интерфейс** — определяет выходной интерфейс, который будет использоваться при пересылке пакетов в сеть назначения.

Для маршрутизатора, как правило, настроено несколько интерфейсов. Таблица маршрутизации содержит данные о напрямую подключённых и удалённых сетях. Как и в случае с напрямую подключёнными сетями, источник маршрута

определяет способ получения данных о маршруте. К распространённым кодам для удалённых сетей относятся следующие коды:

- **S** — определяет, что маршрут был создан администратором вручную для доступа к отдельной сети. Такой маршрут называется статическим.
- **D** — определяет, что данные о маршруте получены динамически от другого маршрутизатора посредством протокола маршрутизации EIGRP.
- **O** — определяет, что данные о маршруте получены динамически от другого маршрутизатора посредством протокола маршрутизации OSPF.
- **R** — определяет, что данные о маршруте получены динамически от другого маршрутизатора посредством протокола маршрутизации RIP.

На рисунке показана запись в таблице маршрутизации IPv4 на маршрутизаторе R1 для маршрута к удалённой сети 172.16.4.0 на маршрутизаторе R3. Запись определяет следующие сведения:

- **Источник маршрута** — определяет, каким способом был получен маршрут.
- **Сеть назначения** — определение адреса удаленной сети.
- **Административная дистанция** — определение надёжности источника маршрута.
- **Метрика** — определяет значения, назначенные для доступа к удалённой сети. Предпочтительные маршруты имеют низкие значения.
- **Следующий переход** — указывает IPv4-адрес следующего маршрутизатора, на который будет отправлен пакет.
- **Временная метка маршрута** — определяет время последнего отклика маршрутизатора.
- **Выходной интерфейс** — определяет выходной интерфейс для отправки пакета к конечному пункту назначения.

Динамически получаемые маршруты IPv4

Как видно из рисунка, динамически созданная таблица маршрутизации предоставляет достаточный объём данных. Следовательно, критически важно понимать выходные данные, создаваемые таблицей маршрутизации. При обсуждении содержимого таблицы маршрутизации используются специальные термины.

Таблица IP-маршрутизации Cisco не является плоской базой данных. Таблица маршрутизации фактически является иерархической структурой, которая используется для ускорения процедуры поиска маршрутов и пересылки пакетов. В пределах этой структуры существует несколько иерархических уровней.

Маршруты обсуждаются с использованием следующих критериев:

- Окончательный маршрут
- Маршрут 1-го уровня
- Родительский маршрут 1-го уровня
- Дочерний маршрут 2-го уровня

Окончательный маршрут представляет собой запись в таблице маршрутизации, содержащую либо IPv4-адрес следующего перехода, либо выходной интерфейс. Напрямую подключённые, динамически получаемые и локальные маршруты являются окончательными.

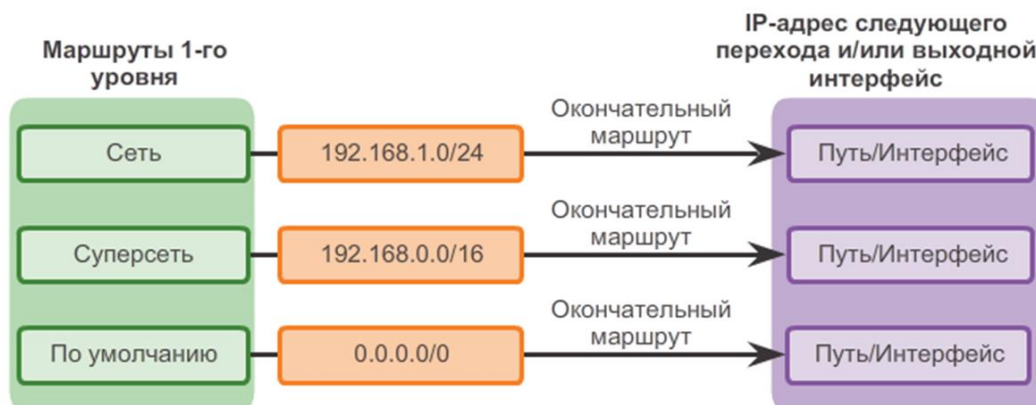
Выделенные области на рисунке представляют собой примеры окончательных маршрутов. Обратите внимание, что эти маршруты указывают либо IPv4-адрес следующего перехода, либо выходной интерфейс.

Маршрут 1-го уровня представляет собой маршрут с маской подсети, значение которой равно или меньше значения классовой маски сетевого адреса. Следовательно, маршрут 1-го уровня может рассматриваться как:

- **сетевой маршрут** — сетевой маршрут, содержащий маску подсети со значением, равным значению маски класса;
- **маршрут суперсети** — маршрут суперсети представляет собой сетевой адрес с маской, значение которой меньше значения маски класса (например, суммарный адрес);
- **маршрут по умолчанию** — маршрут по умолчанию представляет собой статический маршрут с адресом 0.0.0.0/0.

Источником маршрута 1-го уровня может быть напрямую подключённая сеть, статический маршрут или протокол динамической маршрутизации.

Источники маршрутов 1-го уровня



На рисунке показано, как маршруты 1-го уровня могут также использоваться в качестве окончательных маршрутов.

Родительские маршруты 1-го уровня на маршрутизаторе R1

```
R1# show ip route | begin Gateway
Gateway of last resort is 209.165.200.234 to network
0.0.0.0

S*    0.0.0.0/0 [1/0] via 209.165.200.234, Serial0/0/1
      is directly connected, Serial0/0/1
      172.16.0.0/16 is variably subnetted, 5 subnets, 3
      masks
C      172.16.1.0/24 is directly connected,
GigabitEthernet0/0
L      172.16.1.1/32 is directly connected,
GigabitEthernet0/0
R      172.16.2.0/24 [120/1] via 209.165.200.226,
00:00:12, Serial0/0/0
R      172.16.3.0/24 [120/2] via 209.165.200.226,
00:00:12, Serial0/0/0
R      172.16.4.0/28 [120/2] via 209.165.200.226,
00:00:12, Serial0/0/0
R      192.168.0.0/16 [120/2] via 209.165.200.226, 00:00:03,
Serial0/0/0
      209.165.200.0/24 is variably subnetted, 5 subnets, 2
      masks
C      209.165.200.224/30 is directly connected,
Serial0/0/0
```

Как показано на рисунке, родительский маршрут 1-го уровня — это маршрут 1-го уровня сети, разделенной на подсети. Родительский маршрут никогда не может быть окончательным маршрутом.

Примеры дочерних маршрутов 2-го уровня

```
R1# show ip route | begin Gateway
Gateway of last resort is 209.165.200.234 to network
0.0.0.0

S*    0.0.0.0/0 [1/0] via 209.165.200.234, Serial0/0/1
      is directly connected, Serial0/0/1
      172.16.0.0/16 is variably subnetted, 5 subnets, 3
      masks
C      172.16.1.0/24 is directly connected,
GigabitEthernet0/0
L      172.16.1.1/32 is directly connected,
GigabitEthernet0/0
R      172.16.2.0/24 [120/1] via 209.165.200.226,
00:00:12, Serial0/0/0
R      172.16.3.0/24 [120/2] via 209.165.200.226,
00:00:12, Serial0/0/0
R      172.16.4.0/28 [120/2] via 209.165.200.226,
00:00:12, Serial0/0/0
R      192.168.0.0/16 [120/2] via 209.165.200.226, 00:00:03,
Serial0/0/0
      209.165.200.0/24 is variably subnetted, 5 subnets, 2
      masks
C      209.165.200.224/30 is directly connected,
Serial0/0/0
```


На рисунке показаны родительские маршруты 1-го уровня в таблице маршрутизации маршрутизатора R1. В таблице маршрутизации такой маршрут, как правило, предоставляет заголовок для отдельных подсетей, которые в нём содержатся. В каждой записи отображается классовый сетевой адрес, число подсетей и число разных масок подсети, на которые поделен классовый адрес.

Дочерний маршрут 2-го уровня представляет собой маршрут, являющийся подсетью классowego сетевого адреса. Как показано на рис. 1, родительский маршрут 1-го уровня — это маршрут 1-го уровня сети, разделенной на подсети. Как видно из рис. 2, родительские маршруты 1-го уровня содержат дочерние маршруты 2-го уровня.

Как и в случае с маршрутом 1-го уровня, источником маршрута 2-го уровня может быть напрямую подключённая сеть, статический маршрут или динамически полученный маршрут. Дочерние маршруты 2-го уровня также являются окончательными маршрутами.

Иерархия таблицы маршрутизации в Cisco IOS использует схему классовой маршрутизации. Родительский маршрут 1-го уровня представляет собой классовый сетевой адрес маршрута подсети. Это относится даже к тем случаям, когда протокол бесклассовой маршрутизации является источником маршрута подсети.