

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Рассмотрим принципы, на основании которых в сетях IP происходит выбор маршрута передачи пакета между сетями.

*Сначала необходимо обратить внимание на тот факт, что **не только маршрутизаторы, но и конечные узлы - компьютеры - должны принимать участие в выборе маршрута.***

Маршрутизация с помощью IP-адресов

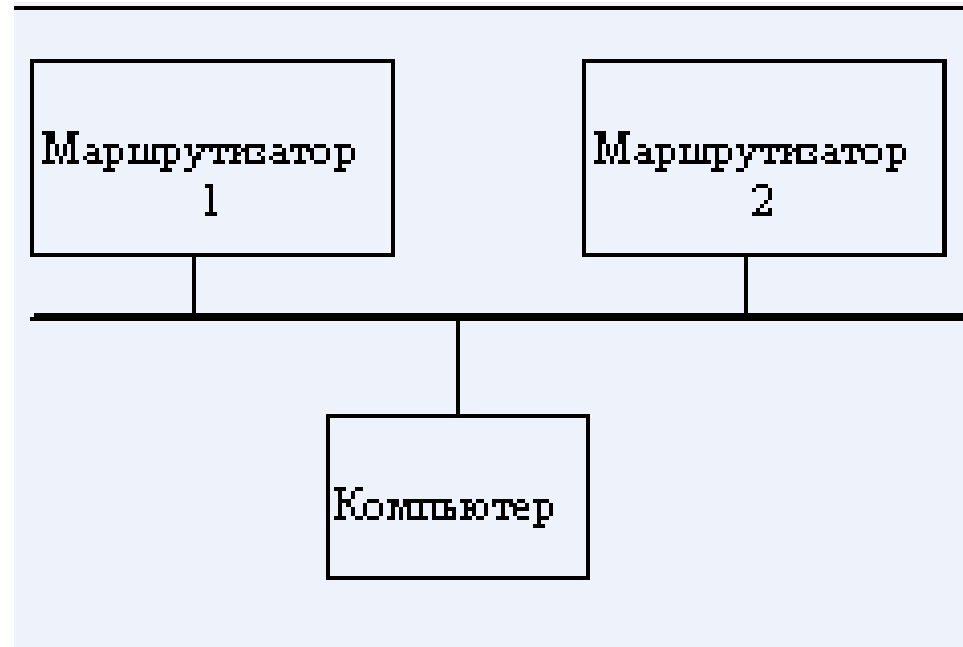


Рис. - Выбор маршрутизатора конечным узлом

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Длина маршрута может существенно измениться в зависимости от того, какой маршрутизатор выберет компьютер для передачи своего пакета в другую сеть.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

В стеке TCP/IP маршрутизаторы и конечные узлы принимают решения о том, кому передавать пакет для его успешной доставки узлу назначения, на основании таблиц маршрутизации (routing tables).

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Следующая таблица представляет собой типичный пример таблицы маршрутов, использующей IP-адреса сетей:

Адрес сети назначения	Адрес следующего маршрутизатора	Номер выходного порта	Расстояние до сети назначения
56.0.0.0	198.21.17.7	1	20
56.0.0.0	213.34.12.4	2	130
116.0.0.0	213.34.12.4	2	1450
129.13.0.0	198.21.17.6	1	50
198.21.17.0	-	2	0
213. 34.12.0	-	1	0
default	198.21.17.7	1	-

```
H:\Сети-ЭКМ10>route print
```

IPv4 Route Table

Interface List

```
0x1 ..... MS TCP Loopback interface
0x2 ...00 18 f3 fd 3c a2 ..... NVIDIA nForce Networking Controller
0x20004 ...00 53 45 00 00 00 ..... WAN (PPP/SLIP) Interface
```

Active Routes:

Network	Destination	Netmask	Gateway	Interface	Metric
	0.0.0.0	0.0.0.0	10.10.47.1	10.10.47.122	21
	0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.47.122	192.168.47.122	1
	10.0.0.0	255.0.0.0	10.10.47.1	10.10.47.122	1
	10.10.47.0	255.255.255.0	10.10.47.122	10.10.47.122	20
	10.10.47.122	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	20
	10.11.11.3	255.255.255.255	10.10.47.1	10.10.47.122	1
	10.50.50.2	255.255.255.255	10.10.47.1	10.10.47.122	1
	10.255.255.255	255.255.255.255	10.10.47.122	10.10.47.122	20
	91.201.176.0	255.255.252.0	10.10.47.1	10.10.47.122	1
	127.0.0.0	255.0.0.0	127.0.0.1	127.0.0.1	1
	172.16.0.0	255.240.0.0	10.10.47.1	10.10.47.122	1
	192.168.0.1	255.255.255.255	192.168.47.122	192.168.47.122	1
	192.168.47.122	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	50
	192.168.47.255	255.255.255.255	192.168.47.122	192.168.47.122	50
	195.2.204.0	255.255.255.240	10.10.47.1	10.10.47.122	1
	224.0.0.0	240.0.0.0	10.10.47.122	10.10.47.122	20
	224.0.0.0	240.0.0.0	192.168.47.122	192.168.47.122	1
	255.255.255.255	255.255.255.255	10.10.47.122	10.10.47.122	1
	255.255.255.255	255.255.255.255	192.168.47.122	192.168.47.122	1

Default Gateway: 192.168.47.122

Persistent Routes:

None

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Таблица маршрутизации обычно содержит:

- адрес сети или узла назначения, либо указание, что маршрут является *маршрутом по умолчанию*
- маску сети назначения (для IPv4-сетей маска /32 (255.255.255.255) позволяет указать единственный узел сети)

Маршрутизация с помощью IP-адресов

- шлюз, обозначающий адрес маршрутизатора в сети, на который необходимо отправить пакет, следующий до указанного адреса назначения
- интерфейс (в зависимости от системы это может быть порядковый номер, GUID или символьное имя устройства)

Маршрутизация с помощью IP-адресов

- **метрику** — числовой показатель, задающий предпочтительность маршрута. Чем меньше число, тем более предпочтителен маршрут (интуитивно представляется как расстояние).

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Метрикой может быть:

- количество транзитных маршрутизаторов в данном маршруте (количество хопов от hop - прыжок),
- время прохождения пакета по линиям связи,
- надежность линий связи, или другая величина, отражающая качество данного маршрута по отношению к конкретному классу сервиса.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

- В таблице может быть один, а в некоторых операционных системах и несколько шлюзов по умолчанию. Такой шлюз используется для сетей, для которых нет более конкретных маршрутов в *таблице маршрутизации*.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

GUID (Globally Unique Identifier) — статистически уникальный 128-битный идентификатор. Его главная особенность — уникальность, которая позволяет создавать расширяемые сервисы и приложения без опасения конфликтов, вызванных совпадением идентификаторов. Хотя уникальность каждого отдельного GUID не гарантируется, общее количество уникальных ключей настолько велико (2^{128} или $3,4028 \times 10^{38}$), что вероятность того, что в мире будут независимо сгенерированы два совпадающих ключа, достаточно мала.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

В компьютерных сетях сетевым интерфейсом называют:

- Точку соединения между компьютером пользователя и частной или общественной сетью;
- Сетевую карту компьютера (наиболее частое использование термина);
- Точку соединения коммутируемой телефонной сети общественного пользования и телефона;
- Точку соединения двух сетей между собой.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

В стеке TCP/IP принят так называемый *одношаговый подход* к оптимизации маршрута продвижения пакета (next-hop routing) - каждый маршрутизатор и конечный узел принимает участие в выборе только одного шага передачи пакета.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Поэтому в каждой строке таблицы маршрутизации указывается не весь маршрут в виде последовательности IP-адресов маршрутизаторов, через которые должен пройти пакет, а только один IP-адрес - адрес следующего маршрутизатора, которому нужно передать пакет.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Одношаговый подход к маршрутизации означает распределенное решение задачи выбора маршрута. Это снимает ограничение на максимальное количество транзитных маршрутизаторов на пути пакета.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Альтернативой одношаговому подходу является указание в пакете всей последовательности маршрутизаторов, которые пакет должен пройти на своем пути. Такой подход называется маршрутизацией от источника - Source Routing.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

В этом случае выбор маршрута производится конечным узлом или первым маршрутизатором на пути пакета, а все остальные маршрутизаторы только отрабатывают выбранный маршрут, осуществляя коммутацию пакетов, то есть передачу их с одного порта на другой. **Алгоритм Source Routing** применяется в сетях IP только для отладки, когда маршрут задается в поле Резерв (IP OPTIONS) пакета.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

В случае, если в таблице маршрутов имеется более одной строки, соответствующей одному и тому же адресу сети назначения, то при принятии решения о передаче пакета используется та строка, в которой указано наименьшее значение в поле "Расстояние до сети назначения".

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Если маршрутизатор поддерживает несколько классов сервиса пакетов, то таблица маршрутов составляется и применяется отдельно для каждого вида сервиса (критерия выбора маршрута).

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Для отправки пакета следующему маршрутизатору требуется знание его локального адреса, но в стеке TCP/IP в таблицах маршрутизации принято использование только IP-адресов для сохранения их универсального формата, не зависящего от типа сетей, входящих в интерсеть. **Для нахождения локального адреса по известному IP-адресу необходимо воспользоваться протоколом ARP.**

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Решение о том, что этот пакет нужно вообще маршрутизировать, компьютер принимает в том случае, когда он видит, что адрес сети назначения пакета отличается от адреса его собственной сети.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Когда компьютер выбрал следующий маршрутизатор, то он просматривают кэш-таблицу адресов своего протокола ARP и, может быть, находит там соответствие IP-адреса следующего маршрутизатора его MAC-адресу. Если же нет, то по локальной сети передается широковещательный ARP-запрос и локальный адрес извлекается из ARP-ответа.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

После этого компьютер формирует кадр протокола, используемого на выбранном порте, например, кадр Ethernet, в который помещает MAC-адрес маршрутизатора. Маршрутизатор принимает кадр Ethernet, извлекает из него пакет IP и просматривает свою таблицу маршрутизации для нахождения следующего маршрутизатора. При этом он выполняет те же действия, что и конечный узел.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Одношаговая маршрутизация обладает еще одним преимуществом - она позволяет сократить объем таблиц маршрутизации в конечных узлах и маршрутизаторах за счет использования в качестве номера сети назначения так называемого маршрута по умолчанию - `default`, который обычно занимает в таблице маршрутизации последнюю строку. Если в таблице маршрутизации есть такая запись, то все пакеты с номерами сетей, которые отсутствуют в таблице маршрутизации, передаются маршрутизатору, указанному в строке *default*.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Поэтому маршрутизаторы часто хранят в своих таблицах ограниченную информацию о сетях, пересылая пакеты для остальных сетей в порт и маршрутизатор, используемые по умолчанию. Подразумевается, что маршрутизатор, используемый по умолчанию, передаст пакет на магистральную сеть, а маршрутизаторы, подключенные к магистральной, имеют полную информацию о составе интерсети.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Особенно часто приемом маршрутизации по умолчанию пользуются конечные узлы. Хотя они также в общем случае имеют в своем распоряжении таблицу маршрутизации, ее объем обычно незначителен, так как маршрутизация для компьютера - не основное занятие. Главная роль в маршрутизации пакетов в концепции протокола IP отводится, естественно, маршрутизаторам, которые должны обладать гораздо более полными таблицами маршрутизации, чем конечные узлы.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Конечный узел часто вообще работает без таблицы маршрутизации, имея только сведения об IP-адресе маршрутизатора по умолчанию. При наличии одного маршрутизатора в локальной сети этот вариант - единственно возможный для всех конечных узлов. Но даже при наличии нескольких маршрутизаторов в локальной сети, когда проблема их выбора стоит перед конечным узлом, задание маршрута по умолчанию часто используется в компьютерах для сокращения объема их маршрутной таблицы.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Другим способом разгрузки компьютера от необходимости ведения больших таблиц маршрутизации является получение от маршрутизатора сведений о рациональном маршруте для какой-нибудь конкретной сети с помощью протокола ICMP.

Кроме маршрута default, в таблице маршрутизации могут встретиться два типа специальных записей - запись о специфичном для узла маршруте и запись об адресах сетей, непосредственно подключенных к портам маршрутизатора.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Специфичный для узла маршрут содержит вместо номера сети полный IP-адрес, то есть адрес, имеющий ненулевую информацию не только в поле номера сети, но и в поле номера узла. Предполагается, что для такого конечного узла маршрут должен выбираться не так, как для всех остальных узлов сети, к которой он относится.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

В случае, когда в таблице есть разные записи о продвижении пакетов для всей сети N и ее отдельного узла, имеющего адрес N,D, при поступлении пакета, адресованного узлу N,D, маршрутизатор отдаст предпочтение записи для N,D.

Записи в таблице маршрутизации, относящиеся к сетям, непосредственно подключенным к маршрутизатору, в поле "Расстояние до сети назначения" содержат нули.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Еще одним отличием работы маршрутизатора и конечного узла при выборе маршрута является способ построения таблицы маршрутизации. Если маршрутизаторы обычно автоматически создают таблицы маршрутизации, обмениваясь служебной информацией, то для конечных узлов таблицы маршрутизации создаются, как правило, вручную администраторами, и хранятся в виде постоянных файлов на дисках.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Существуют различные алгоритмы построения таблиц для одношаговой маршрутизации. Их можно разделить на три класса:

- алгоритмы фиксированной маршрутизации,
- алгоритмы простой маршрутизации,
- алгоритмы адаптивной маршрутизации.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Независимо от алгоритма, используемого для построения таблицы маршрутизации, результат их работы имеет единый формат. За счет этого в одной и той же сети различные узлы могут строить таблицы маршрутизации по своим алгоритмам, а затем обмениваться между собой недостающими данными, так как форматы этих таблиц фиксированы. Поэтому маршрутизатор, работающий по алгоритму адаптивной маршрутизации, может снабдить конечный узел, применяющий алгоритм фиксированной маршрутизации, сведениями о пути к сети, о которой конечный узел ничего не знает.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Фиксированная маршрутизация

Этот алгоритм применяется в сетях с простой топологией связей и основан на ручном составлении таблицы маршрутизации администратором сети. Алгоритм часто эффективно работает также для магистралей крупных сетей, так как сама магистраль может иметь простую структуру с очевидными наилучшими путями следования пакетов в подсети, присоединенные к магистрالي.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Различают одномаршрутные таблицы, в которых для каждого адресата задан один путь, и многомаршрутные таблицы, определяющие несколько альтернативных путей для каждого адресата. При использовании многомаршрутных таблиц должно быть задано правило выбора одного из них. Чаще всего один путь является основным, а остальные - резервными.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Простая маршрутизация

Алгоритмы простой маршрутизации подразделяются на три подкласса:

- Случайная маршрутизация - пакеты передаются в любом, случайном направлении, кроме исходного.
- Лавинная маршрутизация - пакеты передаются во всех направлениях, кроме исходного (применяется в мостах для пакетов с неизвестным адресом доставки).

Маршрутизация с помощью IP-адресов

- **Маршрутизация по предыдущему опыту** - таблицы маршрутов составляются на основании данных, содержащихся в проходящих через маршрутизатор пакетах. Именно так работают прозрачные мосты, собирая сведения об адресах узлов, входящих в сегменты сети. Такой способ маршрутизации обладает медленной адаптируемостью к изменениям топологии сети.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Адаптивная маршрутизация

Это основной вид алгоритмов маршрутизации, применяющихся маршрутизаторами в современных сетях со сложной топологией. Адаптивная маршрутизация основана на том, что маршрутизаторы периодически обмениваются специальной топологической информацией об имеющихся в интерсети сетях, а также о связях между маршрутизаторами. Обычно учитывается не только топология связей, но и их пропускная способность и состояние.

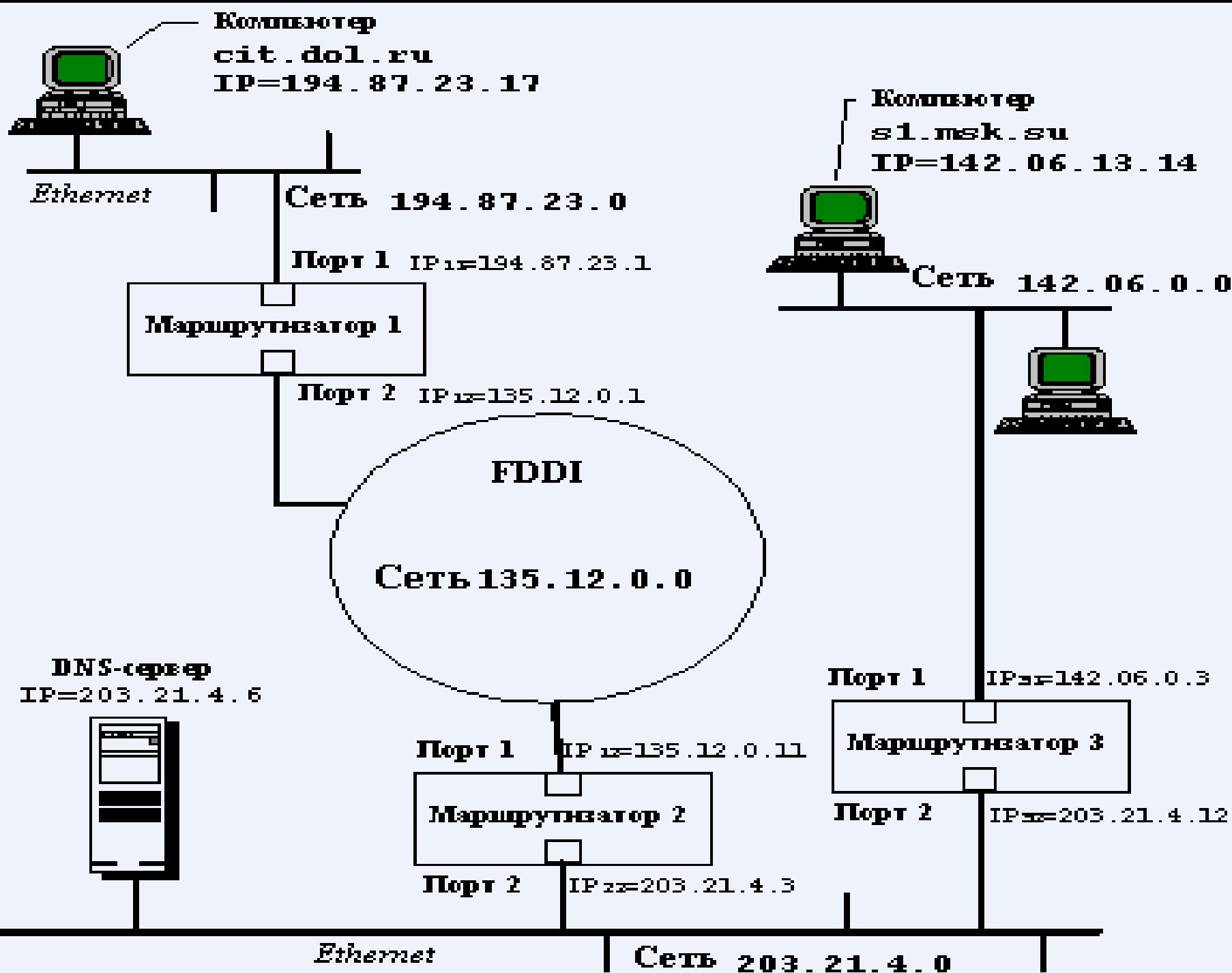
Маршрутизация с помощью IP-адресов

Адаптивные протоколы позволяют всем маршрутизаторам собирать информацию о топологии связей в сети, оперативно отрабатывая все изменения конфигурации связей. Эти протоколы имеют распределенный характер, который выражается в том, что в сети отсутствуют какие-либо выделенные маршрутизаторы, которые бы собирали и обобщали топологическую информацию: эта работа распределена между всеми маршрутизаторами.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Пример взаимодействия узлов с использованием протокола IP

Рассмотрим на примере интерсети, приведенной на рисунке, каким образом происходит взаимодействие компьютеров через маршрутизаторы и доставка пакетов компьютеру назначения.



Маршрутизация с помощью IP-адресов

Пусть в приведенном примере пользователь компьютера cit.dol.ru, находящийся в сети Ethernet с IP-адресом 194.87.23.0 (адрес класса C), хочет взаимодействовать по протоколу FTP с компьютером s1.msk.su, принадлежащем сети Ethernet с IP-адресом 142.06.0.0 (адрес класса B). Компьютер cit.dol.ru имеет IP-адрес 194.87.23.1.17, а компьютер s1.msk.su - IP-адрес 142.06.13.14.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

1. Пользователь компьютера cit.dol.ru знает символьное имя компьютера s1.msk.su, но не знает его IP-адреса, поэтому он набирает команду

```
> ftp s1.msk.su
```

для организации ftp-сеанса.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

В компьютере cit.doi.ru должны быть заданы некоторые параметры для стека TCP/IP, чтобы он мог выполнить поставленную перед ним задачу.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

В число этих параметров должны входить собственный IP-адрес, IP-адрес DNS-сервера и IP-адрес маршрутизатора по умолчанию.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Так как к сети Ethernet, к которой относится компьютер cit.dol.ru, подключен только один маршрутизатор, то таблица маршрутизации конечным узлам этой сети не нужна, достаточно знать IP-адрес маршрутизатора по умолчанию. В данном примере он равен 194.87.23.1.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

Стек должен **сделать запрос к серверу DNS по имеющемуся у него IP-адресу**, но обычно каждый компьютер сначала просматривает свою собственную таблицу соответствия символьных имен и IP-адресов. Такая таблица хранится чаще всего в виде текстового файла простой структуры - каждая его строка содержит запись об одном символьном имени и его IP-адресе. **Обращение к файлу HOSTS.**

Маршрутизация с помощью IP-адресов

2. Если есть файл HOSTS, а в нем есть строка
142.06.13.14 s1.msk.su.

Разрешение имени выполняется локально, так что протокол IP может теперь формировать IP-пакеты с адресом назначения 142.06.13.14.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

3. Протокол IP компьютера cit.doi.ru проверяет, нужно ли маршрутизировать пакеты для адреса 142.06.13.14. Так как адрес сети назначения равен 142.06.0.0, а адрес сети, к которой принадлежит компьютер, равен 194.87.23.0, то маршрутизация необходима.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

4. **Компьютер cit.dol.ru начинает формировать кадр Ethernet для отправки IP-пакета маршрутизатору по умолчанию с IP-адресом 194.87.23.1. Для этого ему нужен MAC-адрес порта маршрутизатора, подключенного к его сети. Этот адрес скорее всего уже находится в кэш-таблице протокола ARP компьютера.**

Маршрутизация с помощью IP-адресов

5. В результате компьютер cit.dol.ru отправляет по локальной сети кадр Ethernet, имеющий следующие поля:

DA (Ethernet)	...	DESTINATION IP
MAC ₁₁		142.06.13.14		

Маршрутизация с помощью IP-адресов

6. Кадр принимается портом 1 маршрутизатора 1 в соответствии с протоколом Ethernet, так как MAC-узел этого порта распознает свой адрес MAC11. Протокол Ethernet извлекает из этого кадра IP-пакет и передает его программному обеспечению маршрутизатора, реализующему протокол IP. **Протокол IP извлекает из пакета адрес назначения и просматривает записи своей таблицы маршрутизации.** Пусть маршрутизатор 1 имеет в своей таблице маршрутизации запись

142.06.0.0 135.12.0.11 2 1, которая говорит о том, что пакеты для сети 142.06. 0.0 нужно передавать маршрутизатору 135.12.0.11, подключенному к той же сети, что и порт 2 маршрутизатора 1.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

7. Маршрутизатор 1 просматривает параметры порта 2 и находит, что он подключен к сети FDDI. Так как сеть FDDI имеет значение максимального транспортируемого блока MTU больше, чем сеть Ethernet, то фрагментация поля данных IP-пакета не требуется. Поэтому маршрутизатор 1 формирует кадр формата FDDI, в котором указывает MAC-адрес порта маршрутизатора 2, который он находит в своей кэш-таблице протокола ARP:

DA (FDDI)	...	DESTINATION IP
MAC ₂₁		142.06.13.14		

Маршрутизация с помощью IP-адресов

8. Аналогично действует маршрутизатор 2, формируя кадр Ethernet для передачи пакета маршрутизатору 3 по сети Ethernet с IP-адресом 203.21.4.0:

DA (Ethernet)	...	DESTINATION IP
MAC ₃₂		142.06.13.14		

Маршрутизация с помощью IP-адресов

9. После того, как пакет поступил в маршрутизатор сети назначения - маршрутизатор 3, появляется возможность передачи этого пакета компьютеру назначения. Маршрутизатор 3 видит, что пакет нужно передать в сеть 142.06.0.0, которая непосредственно подключена к его первому порту.

Маршрутизация с помощью IP-адресов

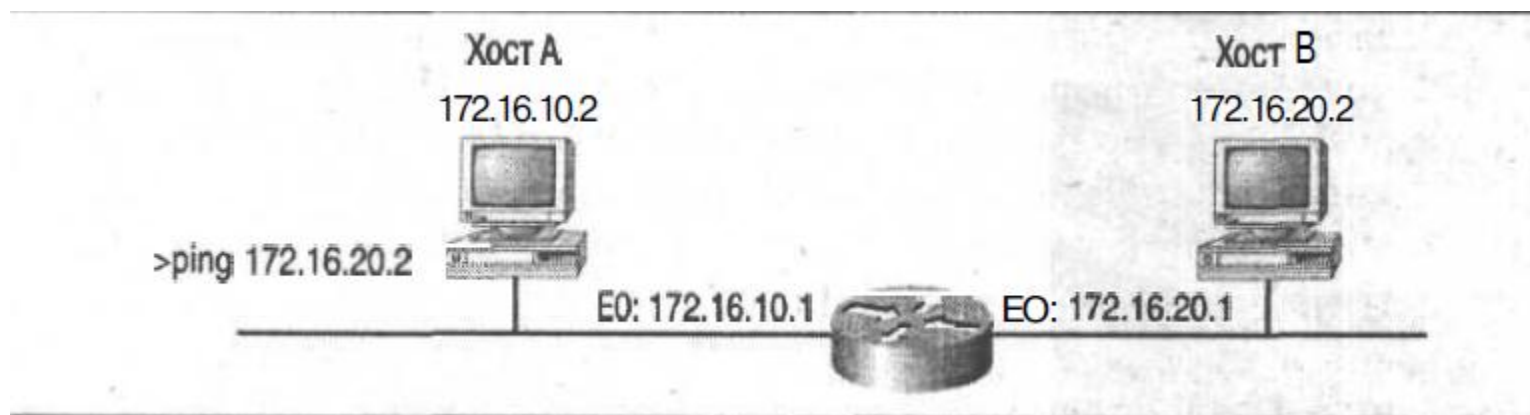
Маршрутизатор посылает ARP-запрос по сети Ethernet с IP-адресом компьютера s1.msk.ru (считаем, что этой информации в его кэше нет), получает ответ, содержащий адрес MACs1, и формирует кадр Ethernet, доставляющий IP-пакет по локальной сети адресату.

DA (Ethernet)	...	DESTINATION IP
MAC _{s1}		142.06.13.14		

Пример 2

Например, на рисунке ниже показан процесс пошагового взаимодействия хоста А с хостом В в другой сети.

Пример IP-маршрутизации для двух хостов и одного маршрутизатора



В примере пользователь хоста А запрашивает по Ping IP-адрес хоста В.

Дальнейшие операции не так просты, поэтому рассмотрим их подробнее:

1. В командной строке пользователь вводит `ping 172.16.20.2`. На хосте А генерируется пакет с помощью протоколов сетевого уровня IP и ICMP.

2. Пакет не предназначен хосту локальной сети, поэтому пакет должен быть направлен маршрутизатору для перенаправления в нужную удаленную сеть.

3. Чтобы хост А смог послать пакет маршрутизатору, хост должен знать аппаратный адрес интерфейса маршрутизатора, подключенный к локальной сети. (просмотр ARP-кэша)

Сетевой уровень передает пакет и аппаратный адрес назначения канальному уровню для деления на кадры и пересылки локальному хосту. Для получения аппаратного адреса хост ищет местоположение точки назначения в собственной памяти, называемой кэшем ARP.

4. Если IP-адрес еще не был доступен и не присутствует в кэше ARP, хост посылает широковещательную рассылку ARP для поиска аппаратного адреса по IP-адресу 172.16.10.1. Именно поэтому первый запрос Ping обычно заканчивается тайм-аутом, но четыре остальные запроса будут успешны. После кэширования адреса тайм-аута обычно не возникает.

5. Маршрутизатор отвечает и сообщает аппаратный адрес интерфейса Ethernet, подключенного к локальной сети. Теперь хост имеет всю информацию для пересылки пакета маршрутизатору по локальной сети.

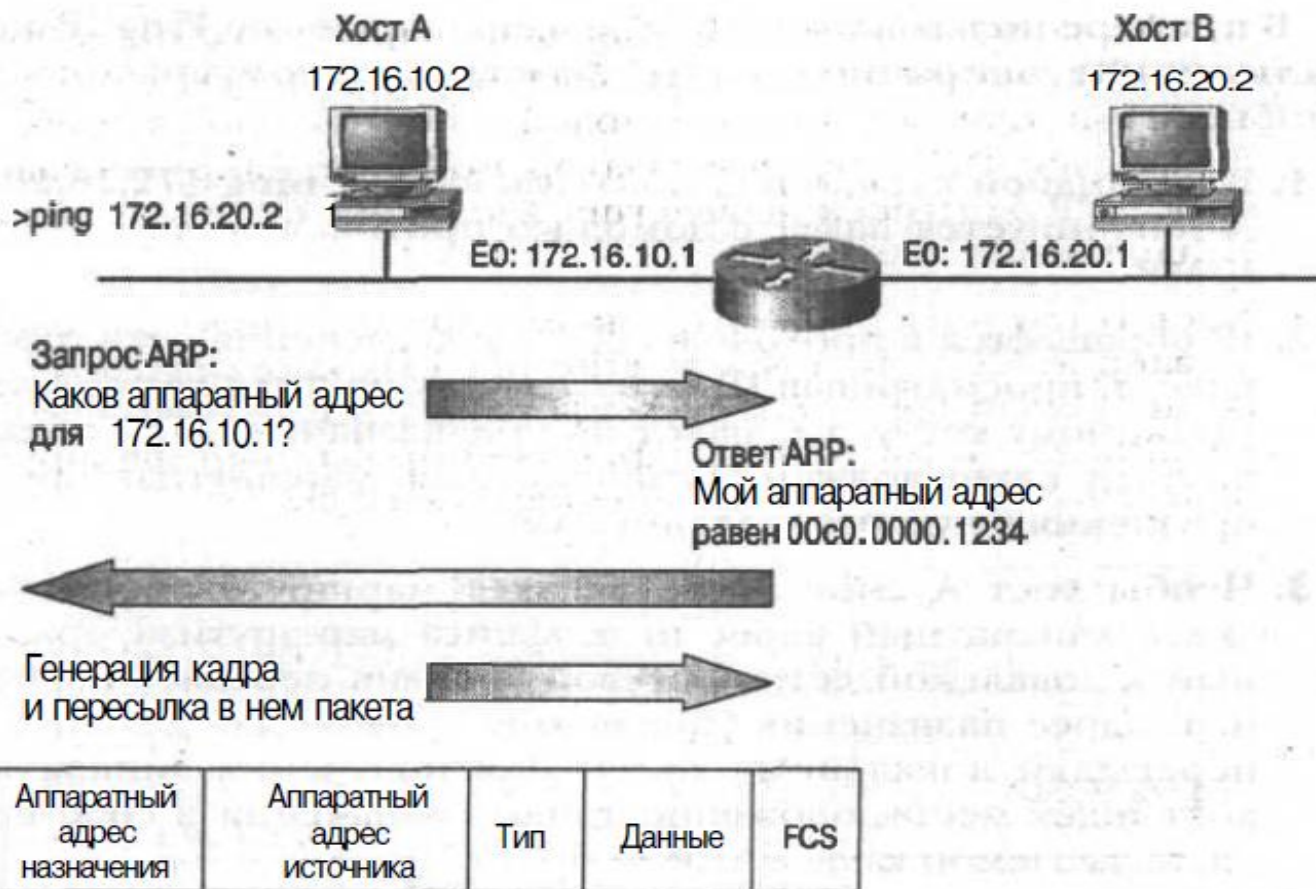
Сетевой уровень спускает пакет вниз для генерации эхо-запроса ICMP (Ping) на канальном уровне, дополняя пакет аппаратным адресом, по которому хост должен послать пакет. Пакет имеет IP-адреса источника и назначения вместе с указанием на тип пакета (ICMP) в поле протокола сетевого уровня.

6. Канальный уровень формирует кадр, в котором инкапсулируется пакет вместе с управляющей информацией, необходимой для пересылки по локальной сети.

К такой информации относятся аппаратные адреса источника и назначения, а также значение в поле типа, установленное протоколом сетевого уровня (это будет поле типа, поскольку IP по умолчанию пользуется кадрами Ethernet_II). Рис. Ниже показывает кадр, генерируемый на канальном уровне и пересылаемый по локальному носителю.

На рисунке ниже показана вся информация, необходимая для взаимодействия с маршрутизатором: аппаратные адреса источника и назначения, IP-адреса источника и назначения, данные, а также контрольная сумма CRC кадра, находящаяся в поле FCS (Frame Check Sequence).

Кадр, сгенерированный хостом А



7. Канальный уровень хоста А передает кадр физическому уровню. Там выполняется кодирование нулей и единиц в цифровой сигнал с последующей передачей этого сигнала по локальной физической сети.

8. Сигнал достигает интерфейса Ethernet 0 маршрутизатора.

Интерфейс маршрутизатора после построения кадра проверяет CRC, а в конце приема кадра сравнивает полученное значение с содержимым поля FCS.

Кроме того, он проверяет процесс передачи на отсутствие фрагментации и конфликтов носителя.

9. Проверяется аппаратный адрес назначения. Поскольку он совпадает с адресом маршрутизатора, анализируется поле типа кадра для определения дальнейших действий с этим пакетом данных. В поле типа указан протокол IP, поэтому маршрутизатор передает пакет процессу протокола IP, исполняемому маршрутизатором. Кадр удаляется. Исходный пакет (сгенерированный хостом А) помещается в буфер маршрутизатора.

10. Протокол IP смотрит на IP-адрес назначения в пакете, чтобы определить, не направлен ли пакет самому маршрутизатору. Поскольку IP-адрес назначения равен 172.16.20.2, маршрутизатор определяет по своей таблице маршрутизации, что сеть 172.16.20.0 непосредственно подключена к интерфейсу Ethernet 1.

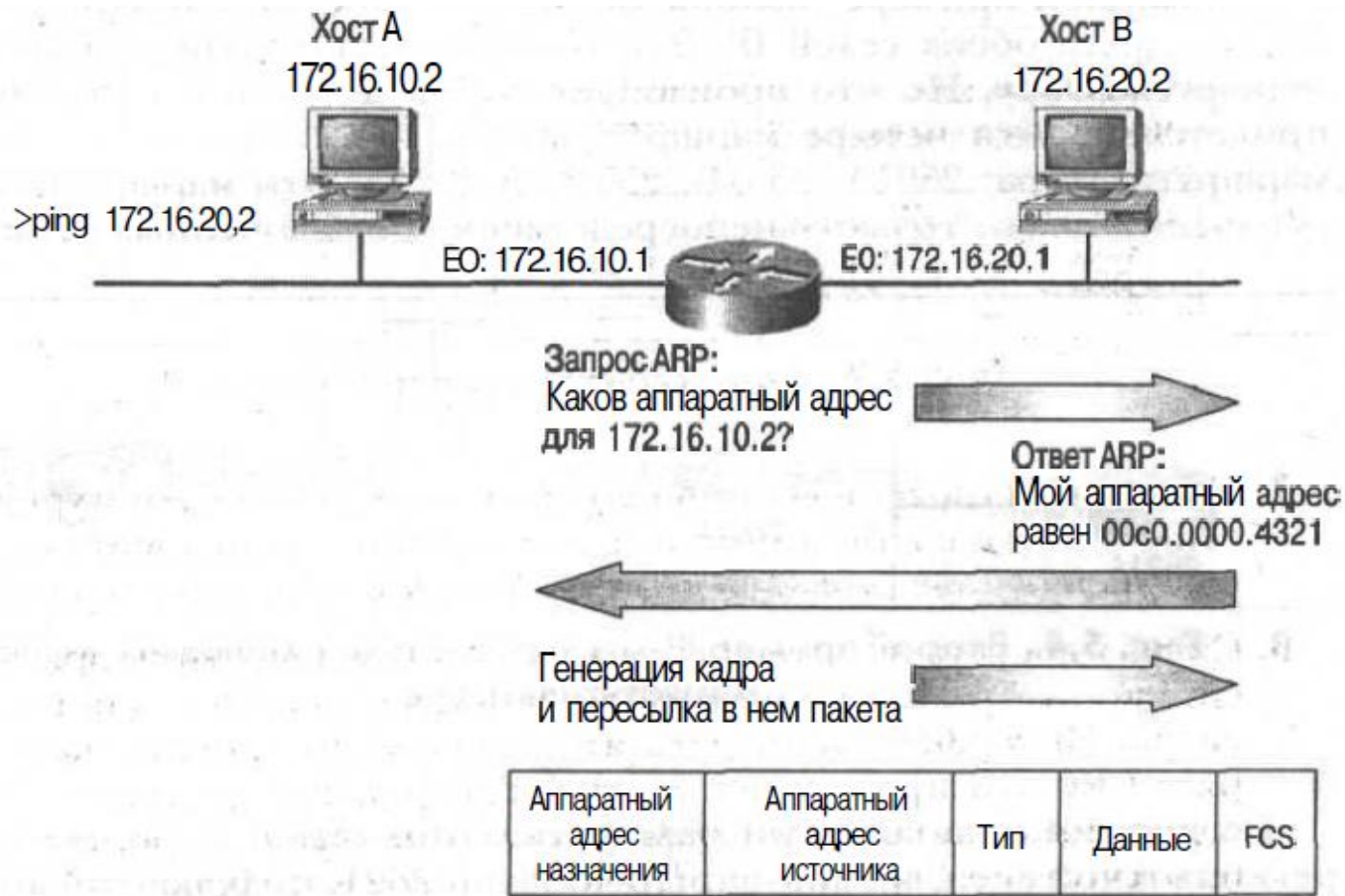
11. Маршрутизатор передает пакет из буфера в интерфейс Ethernet 1. Маршрутизатору необходимо сформировать кадр для пересылки пакета хосту назначения. (ARP)

Сначала маршрутизатор проверяет свой кэш ARP, чтобы определить, был ли уже разрешен аппаратный адрес во время предыдущих взаимодействий с данной сетью. Если адреса нет в кэше ARP, маршрутизатор посылает широковещательный запрос ARP в интерфейс Ethernet 1 для поиска аппаратного адреса для IP-адреса 172.16.20.2.

12. Хост В откликается аппаратным адресом своего сетевого адаптера на запрос ARP. Интерфейс Ethernet 1 маршрутизатора теперь имеет все необходимое для пересылки пакета в точку окончательного приема.

Рисунок ниже показывает кадр, сгенерированный маршрутизатором и переданный по локальной физической сети.

Кадр, сгенерированный маршрутизатором



Кадр, сгенерированный интерфейсом Ethernet 1 маршрутизатора, имеет аппаратный адрес источника от интерфейса Ethernet 1 и аппаратный адрес назначения для сетевого адаптера хоста В.

Важно отметить, что, несмотря на изменения аппаратных адресов источника и назначения, в каждом передавшем пакет интерфейсе маршрутизатора, IP-адреса источника и назначения никогда не изменяются. Пакет никоим образом не модифицируется, но меняются кадры.

13. Хост В принимает кадр и проверяет CRC. Если проверка будет успешной, кадр удаляется, а пакет передается протоколу IP. Он анализирует IP-адрес назначения. Поскольку IP-адрес назначения совпадает с установленным в хосте В адресом, протокол IP исследует поле протокола для определения цели пакета.

14. В нашем пакете содержится эхо-запрос ICMP, поэтому хост В генерирует новый эхо-ответ ICMP с IP-адресом источника, равным адресу хоста В, и IP-адресом назначения, равным адресу хоста А. Процесс запускается заново, но в противоположном направлении. Однако аппаратные адреса всех устройств по пути следования пакета уже известны, поэтому все устройства смогут получить аппаратные адреса интерфейсов из собственных кэшей ARP.

В крупных сетях процесс происходит аналогично, но пакету придется пройти больше участков по пути к хосту назначения.

Динамическая маршрутизация

Динамическая маршрутизация — это процесс использования протокола для поиска и обновления таблиц маршрутизации в устройствах.

Динамическая маршрутизация проще статической, но требует существенных ресурсов процессора маршрутизатора и полосы пропускания сетевых линий связи.

Протокол маршрутизации определяет набор правил, используемых маршрутизаторами для взаимодействия с соседними маршрутизаторами.

Протоколы маршрутизации

RIP (Routing Information Protocol — протокол информации о маршрутизации) и

IGRP (Interior Gateway Routing Protocol
Enhanced Interior Gateway Routing Protocol
(**EIGRP**))

Open Shortest Path First (**OSPF**)

В объединенных сетях используются два типа протоколов маршрутизации: IGP (Interior Gateway Protocol — протокол внутреннего шлюза) и EGP (Exterior Gateway Protocol — протокол внешнего шлюза).

Протокол маршрутизации IGP служит для обмена информацией о путях между маршрутизаторами одной автономной системы AS (autonomous system).

Автономная система AS — это набор сетей в пределах общего административного домена.

Протокол EGP нужен для взаимодействия между автономными системами AS. Примером протокола типа EGP является BGP (Border Gateway Protocol — протокол граничного шлюза)

Административное расстояние

Во время настройки протокола маршрутизации необходимо позаботиться об административном расстоянии AD (administrative distance).

Это значение определяет степень доверия к информации о маршрутизации, полученной маршрутизатором от соседнего устройства.

Административное расстояние выражено целым числом в диапазоне от 0 до 255, где 0 означает наибольшее доверие, а 255 — запрет передачи трафика по данному пути.

В таблице ниже показаны административные расстояния по умолчанию, которыми пользуются маршрутизаторы Cisco во время выбора пути к удаленной сети.

Административные расстояния по умолчанию

Источник пути	Расстояние по умолчанию
Подключенный интерфейс	0
Статический путь	1
EIGRP	90
IGRP	100
OSPF	110
RIP	120
Внешний EIGRP	170
Неизвестен	255 (этот путь не будет использован)

Если сеть подключена непосредственно к маршрутизатору, то всегда используется интерфейс подключения.

Если администратор установит статический путь, маршрутизатор всегда будет предпочитать его всем другим путям к той же сети. Можно изменить административное расстояние для статического пути, но по умолчанию оно равно 1.

Протоколы маршрутизации

Существуют три класса протоколов маршрутизации:

- **Вектора расстояния (Distance vector) Протоколы маршрутизации по вектору расстояния** используют для поиска наилучшего пути расстояние до удаленной сети. Каждое перенаправление пакета маршрутизатором называется участком (hop).

Наилучшим считается путь к удаленной сети с наименьшим количеством участков. Вектор определяет направление к удаленной сети. **Примерами протоколов маршрутизации по вектору расстояния являются RIP и IGRP.**

- Состояние связи (Link state) Обычно называется — "первым - кратчайший путь" (shortest path first).

Каждый маршрутизатор создает три отдельные таблицы. Одна из них отслеживает непосредственно подключенных соседей, вторая — определяет топологию всей объединенной сети, а третья является таблицей маршрутизации. Устройство, действующее по протоколу типа состояния связи, имеет больше сведений об объединенной сети, чем любой протокол вектора расстояния. **Примером IP-маршрутизации по состоянию связи является протокол OSPF.**

- **Гибридный (Hybrid)** Использует отдельные характеристики протоколов состояния связи и вектора расстояния (например, EIGRP).

Не существует единого способа конфигурации протоколов маршрутизации в любой произвольной сетевой среде. Эта задача решается с учетом особенностей конкретной сети. Однако знание различий в действии разных протоколов маршрутизации поможет выбрать наилучшее решение.

Протоколы маршрутизации по вектору расстояния

Алгоритм маршрутизации по вектору расстояния предполагает пересылку всей таблицы маршрутизации соседним устройствам.

После этого соседний маршрутизатор объединяет полученную таблицу с собственной таблицей маршрутизации для построения полной карты сети. Это можно назвать маршрутизацией "за счет распространения слухов", поскольку маршрутизатор, получивший обновление от соседа, должен полностью полагаться на достоверность принятых от соседа данных об удаленной сети и не пытаться искать эту сеть самостоятельно.

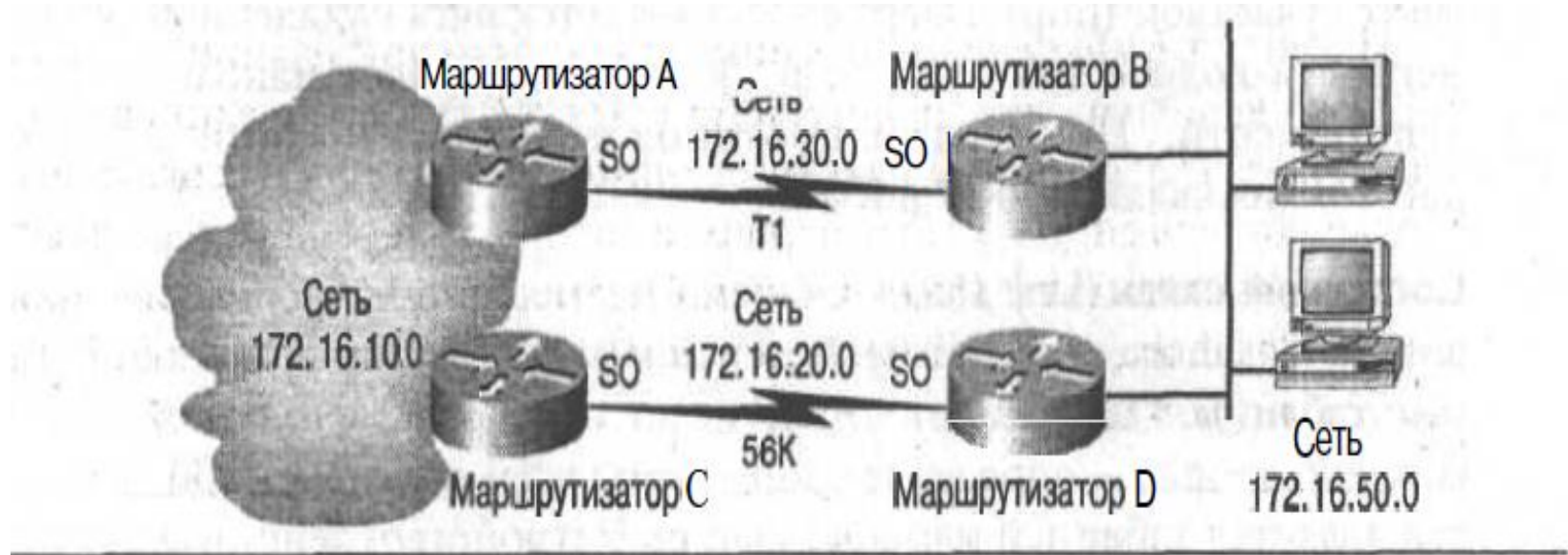
Вполне возможно, что в сети существует несколько путей к одной удаленной сети. В этом случае сначала сравниваются административные расстояния путей. При совпадении значений, наилучший путь определяется по другим метрикам.

Протокол RIP пользуется при определении наилучшего пути в объединенной сети только счетчиком участков. Если RIP находит несколько путей к одной удаленной сети с одинаковыми счетчиками участков, автоматически выполняется циклическое чередование путей (карусельная балансировка нагрузки — round-robin load balance).

RIP способен сбалансировать нагрузку по шести связям с одинаковой стоимостью.

Однако при использовании в маршрутизации этого типа метрики проблема возникает, когда два пути к удаленной сети имеют одинаковые счетчики участков, но разную полосу пропускания. На рис. ниже показан пример двух связей с удаленной сетью 172.16.50.0.

Перегрузка по «узкому месту»



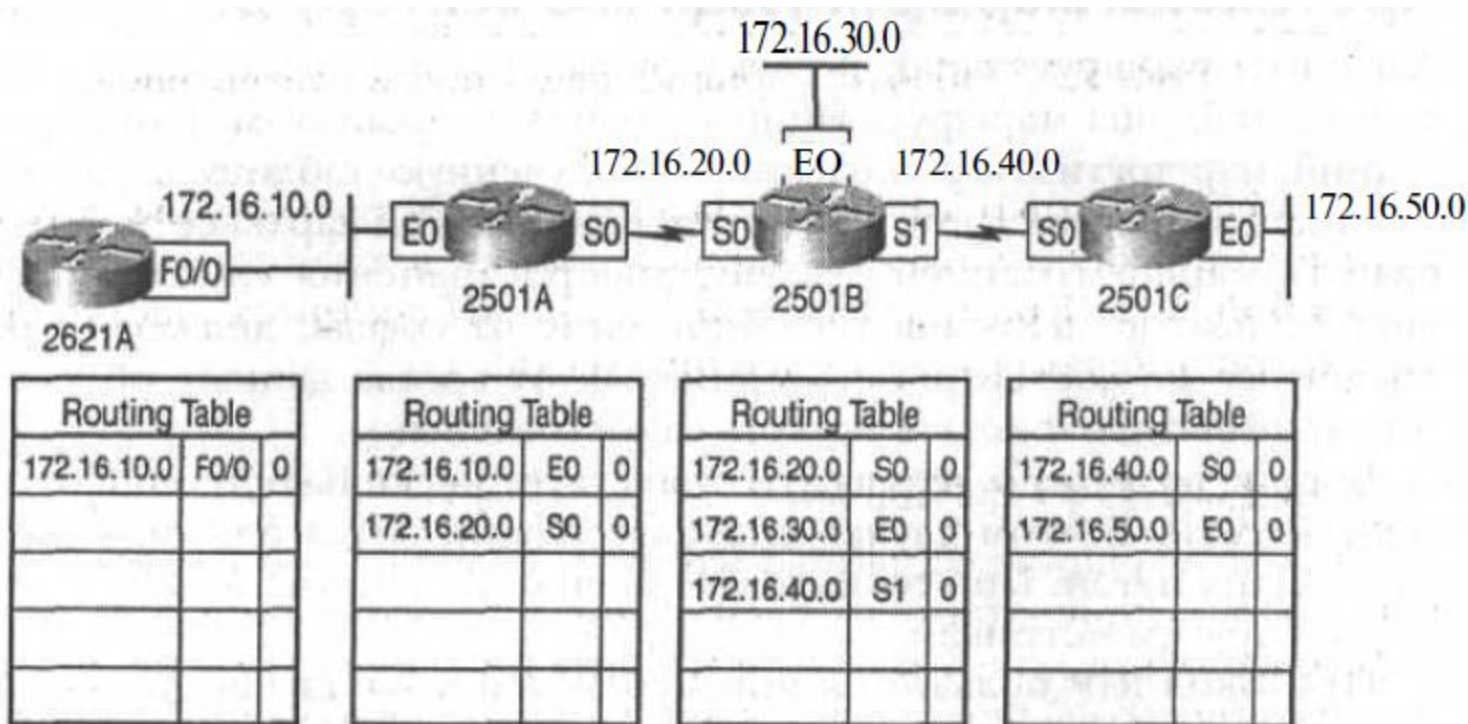
Сеть 172.16.30.0 является линией T1 с полосой пропускания

1.544 Мбит/с, а сеть 172.16.20.0 — линией 56К, поэтому маршрутизатор должен выбрать T1, а не связь 56К. Однако в маршрутизации по протоколу RIP единственной метрикой является счетчик участков, поэтому обе связи считаются одинаковыми по "весу". Такая ситуация называется перегрузкой по "узкому месту" (pinhole congestion).

Важно хорошо понять процедуру начала работы протокола маршрутизации по вектору расстояния. На рис. ниже показано, как четыре маршрутизатора начинают работу в состоянии, когда в таблице маршрутизации присутствуют сведения только о непосредственно подключенных сетях.

После запуска протокола маршрутизации по вектору расстояния на *каждом маршрутизаторе таблицы обновляются за счет добавления сведений о путях, собранных у соседних маршрутизаторов.*

Объединенная сеть с маршрутизацией по вектору расстояния



Routing Table - Таблица маршрутизации

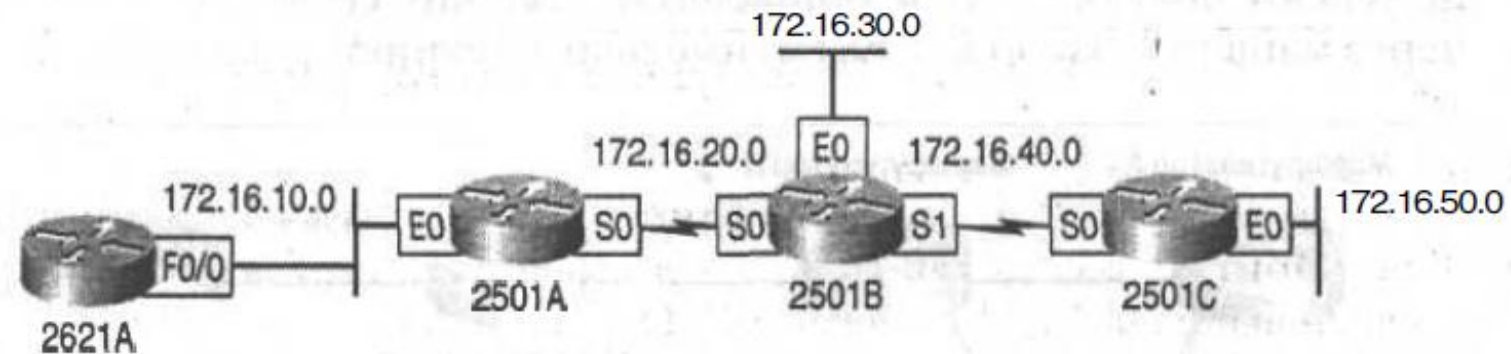
Как видно на рисунка выше, каждый маршрутизатор имеет в таблице только записи о непосредственно подключенных сетях. Каждый маршрутизатор отправляет эту таблицу во все свои активные интерфейсы к другим маршрутизаторам. Таблица маршрутизации сопровождается данными о номере сети, выходном интерфейсе и счетчике участков.

На рисунке ниже завершено создание таблиц маршрутизации, поскольку в них уже включена вся информация обо всех сетях объединенной сети.

Это завершился процесс конвергенции (convergence, согласования).

После конвергенции в сети маршрутизаторы завершают пересылку данных из своих таблиц. Поэтому, чем быстрее пройдет конвергенция, тем лучше. Заметим, что одним из основных недостатков протокола RIP является медленная конвергенция.

Таблицы маршрутизации после конвергенции



Routing Table		
172.16.10.0	F0/0	0
172.16.20.0	F0/0	1
172.16.30.0	F0/0	2
172.16.40.0	F0/0	2
172.16.50.0	F0/0	3

Routing Table		
172.16.10.0	E0	0
172.16.20.0	S0	0
172.16.30.0	S0	1
172.16.40.0	S0	1
172.16.50.0	S0	2

Routing Table		
172.16.20.0	S0	0
172.16.30.0	E0	0
172.16.40.0	S1	0
172.16.10.0	S0	1
172.16.50.0	S1	1

Routing Table		
172.16.40.0	S0	0
172.16.50.0	E0	0
172.16.10.0	S0	2
172.16.20.0	S0	1
172.16.30.0	S0	1

В таблице маршрутизации каждого устройства указаны сетевой номер, интерфейс, в который маршрутизатор должен направить пакет к удаленной сети. Кроме того, задано значение счетчика участков (метрики), которое характеризует удаленную сеть.

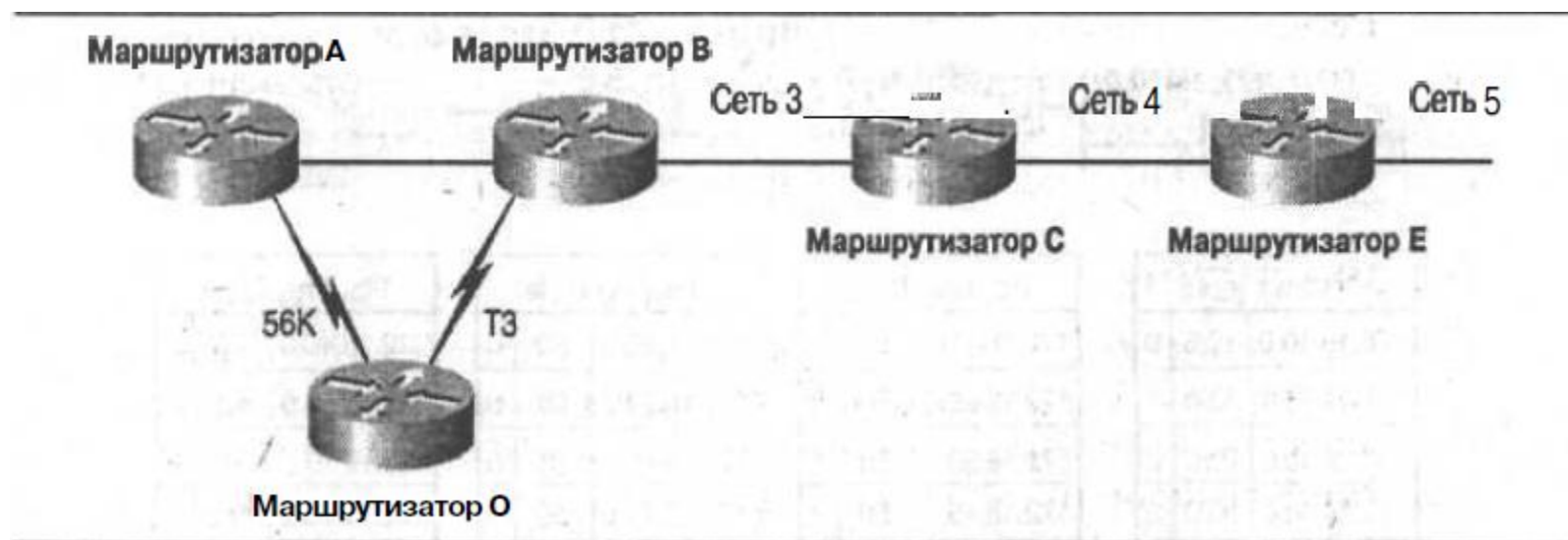
Петля маршрутизации

Протокол "маршрутизация по вектору расстояния" отслеживает все изменения в объединенной сети за счет периодической широковещательной рассылки обновлений во все активные интерфейсы маршрутизации.

В широковещательную рассылку включено все содержимое таблицы маршрутизации. Этот метод прекрасно работает, хотя требует процессорных циклов и полосы пропускания линий связи. Однако во время сбоя в сети могут возникнуть проблемы.

Низкое время конвергенции протокола "маршрутизация по вектору расстояния" приводит к несогласованности таблиц маршрутизации и возникновению петель маршрутизации (routing loop).

Пример формирования петли



Петли (зацикливание пакетов) возникают из-за неодновременного обновления информации во всех маршрутизаторах.

Предположим, отказал интерфейс к сети 5 на рисунке выше. Все маршрутизаторы знают, что сеть 5 достижима через маршрутизатор Е. Маршрутизатор А в своей таблице имеет запись о пути в сеть 5 через маршрутизаторы В, С и Е. Когда отказывает сеть 5, маршрутизатор Е сообщает об этом маршрутизатору С. В свою очередь, маршрутизатор С останавливает маршрутизацию в сеть 5 через маршрутизатор Е.

Однако маршрутизаторы A, B и D еще не знают об отказе сети 5, поэтому продолжают посылать информацию об обновлении, которая уже стала некорректной. Маршрутизатор C может послать такое обновление, что приведет к *остановке маршрутизатором B процесса маршрутизации* в сеть 5, но, возможно, что маршрутизаторы A и D еще не успеют получить такое обновление. Для них сеть 5 все еще доступна через маршрутизатор B с путем, имеющим метрику, равную трем.

Маршрутизатор А посылает свое регулярное сообщение об обновлении через 30 с: "Привет, я все еще здесь — ниже перечислены связи, о которых мне известно". Причем в сообщении указано о достижимости сети 5. Маршрутизаторы В и D получают эту новость и поверят, что сеть 5 можно достичь через маршрутизатор А, поэтому отправят эту некорректную новость о доступности сети 5. Любой пакет к сети 5 будет направляться в маршрутизатор А, затем в В, а далее опять в А. Это и называется петлей маршрутизации. Возникает вопрос: "Как остановить этот процесс?".

Максимальный счетчик участков

Рассмотренная выше проблема с петлей маршрутизации часто называется *счетом до бесконечности (counting to infinity)* и связана с распространением в объединенной сети "слухов" о некорректных путях. Без внешнего воздействия на этот процесс счетчик участков в пакете будет увеличиваться до бесконечности, за счет добавления единицы при проходе пакета через любой маршрутизатор.

Решить проблему позволит ограничение максимального значения в счетчике участков. Протокол вектора расстояния (RIP) предполагает счет участков до 15, поэтому любой путь с количеством участков 16 считается недостоверным (недостижимым). Следовательно, после подсчета до 15 участков сеть 5 считается отказавшей.

Это означает, что устранение подсчета до бесконечности позволит устранить постоянное перемещение пакетов по петлям маршрутизации. Это решение действительно, но не устраняет саму причину формирования петель маршрутизации.

Пакеты все же будут какое-то время перемещаться по петлям, поскольку вместо оперативной проверки пакеты удаляются (отбрасываются) после достижения счетчиком участков значения 16.

Деление (расщепление) горизонта

Другим решением проблемы петель маршрутизации является *деление горизонта (split horizon)*. **Этот процесс устраняет некорректную информацию о маршрутизации и о перегрузке в протоколе вектора расстояния за счет установки правила.**

Согласно ему информация о маршрутизации не может передаваться в обратном направлении относительно направления, по которому она была получена.

Деление горизонта не позволит маршрутизатору А послать обновление сведений обратно в маршрутизатор В, если они были получены от маршрутизатора В.

Порча путей

Еще одной проблемой несогласованности обновлений является *порча путей (route poisoning)*. Например, когда отказывает сеть 5, маршрутизатор E сознательно инициирует порчу путей за счет вноса в таблицу записей для сети 5 со значением 16, т.е. устанавливает для этой сети состояние недостижимости (иногда называемое "бесконечным расстоянием" — infinite).

За счет такого искажения пути к сети 5 маршрутизатор С перестает воспринимать некорректные обновления информации о путях в сеть 5.

Когда маршрутизатор С получает сообщение о порче пути от маршрутизатора Е, то возвращает маршрутизатору Е специальное обновление, называемое "опасный реверс" (poison reverse). Это гарантирует, что все пути в его сегменте получили информацию о порче пути к удаленной сети.

Порча путей совместно с удержанием (см. ниже) позволяет ускорить время конвергенции, поскольку соседние маршрутизаторы могут не ждать 30 перед объявлением о порче пути.

Удержание

Удержание (holddown) предотвращает регулярные обновления о восстановлении пути, который был некоторое время недоступным, а также не допускает слишком быстрое изменение за счет установки определенного времени ожидания перед началом рассылки информации о восстановленном пути, либо стабилизации работы некоторой сети.

Подобная задержка не позволяет слишком быстро начать изменение сведений о наилучших путях. Маршрутизаторам предписывается ограничить на определенный период времени рассылку любых изменений, которые могут воздействовать на переключение состояния недавно удаленных путей. Это предотвращает преждевременное изменение таблиц маршрутизации за счет сведений о временно неработоспособных маршрутизаторах.

Когда маршрутизатор получает от своего соседа сообщение, указывающее, что ранее работоспособная сеть стала недоступной или выключенной, запускается таймер удержания.

Если от соседа вскоре будет получено сообщение с лучшей метрикой доступа, чем для исходного пути к сети, состояние удержания заканчивается и возобновляется пересылка данных.

Если же сообщение от соседнего маршрутизатора будет получено до сброса таймера удержания и оно определит меньшую метрику, чем у исходного пути, то такое сообщение игнорируется, а действие таймера удержания не прерывается. За счет удержания старых сведений увеличивается время конвергенции в сети.

В процессе удержания используются триггерные обновления. Они сбрасывают счетчики удержания для уведомления соседнего, маршрутизатора об изменениях в сети. А отличие от сообщений об обновлении от соседнего маршрутизатора заключается в том, что триггерные обновления инициируют создание новой таблицы маршрутизации, которая немедленно рассылается всем соседним устройствам. Подобное обновление определяет изменение топологии сети.

Существуют три условия, определяющие сброс счетчика удержания при получении триггерного обновления:

1. Закончилось время удержания.
2. Маршрутизатор нагружен заданиями по обработке пропорционально количеству связей в объединенной сети.
3. Другое обновление указывает на изменение статуса (состояния) сети.