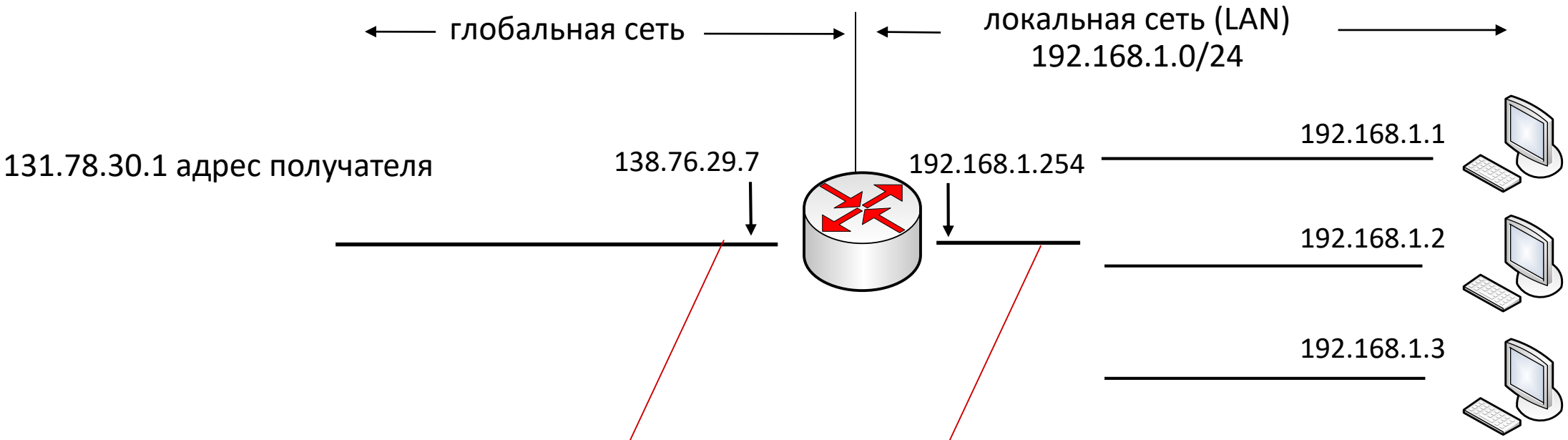
Лекция IX. NAT, IPv6

Курс читает Рогозин Н.О.

Система трансляции адресов/NAT (RFC 1918)

- Все устройства локальной сети используют один внешний IP-адрес



Все дейтаграммы, покидающие сеть, имеют один адрес: 138.76.29.7, но разные номера портов

Все дейтаграммы внутри сети имеют разный адрес отправителя и получателя из сети 192.168.1.0/24

Система трансляции адресов/NAT (RFC 1918)

- Все устройства в сети получают т.н. частные адреса из одного из трех диапазонов в сетях 10.0.0.0/8, 172.16.0.0/16, 192.168.1.0/254
- Преимущества:
  - Провайдеру требуется выделить только 1 адрес для всех устройств
  - Адреса в пределах локальной сети могут изменяться без уведомления устройств в глобальной сети
  - Можно сменить провайдера, не изменяя существующую систему выделения адресов в локальной сети
  - Безопасность: устройства за NAT недоступны и невидимы для устройств в глобальной сети

Система трансляции адресов/NAT (RFC 1918)

Маршрутизатор должен:

- Для каждой исходящей дейтаграммы: заменить (IP-адрес источника, порт) на (NAT IP адрес, новый порт)
  - удаленные клиенты/сервера отвечают, используя (NAT IP адрес, новый порт) в качестве адреса назначения
- Запомнить в таблице трансляции NAT каждую пару (IP адрес источника, порт) на (NAT IP адрес, новый порт)
- Для каждой полученной дейтаграммы: заменить (NAT IP адрес, новый порт) на (IP адрес источника, порт) из таблицы трансляции NAT

NAT: преимущества и недостатки

- Недостатки:
  - маршрутизаторы должны вести обработку только на сетевом уровне согласно своей роли
  - проблему нехватки адресов решает IPv6
  - изменения номеров портов нарушают принцип двухстороннего соединения сетевого уровня
  - Проблема доступа к серверу за NAT для клиента

Тем не менее, NAT активно используется в локальных и корпоративных сетях, 4G/5G, и в ближайшее время сохранится

Цели модернизации протокола IP

- Создание масштабируемой схемы адресации
- Развитие способности сети к автоконфигурированию
- Сокращение объема работы, выполняемой маршрутизаторами
- Предоставление гарантий качества транспортных услуг
- Обеспечение защиты данных, передаваемых по сети

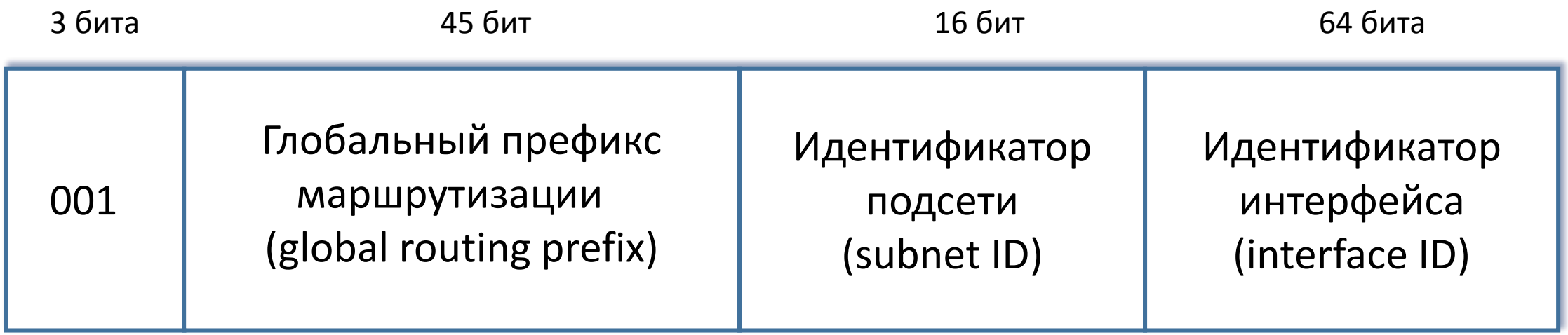
IPv6 (RFC 4291)

- Длина адреса - 128 бит (16 байт). Обычно первые 64 бита задают номер сети, а вторые 64 бита - номер хоста.
- Часто в качестве номера хоста или его компонента в адресе IPv6 получается на основе MAC-адреса или другого идентификатора интерфейса.
- Количество адресов IPv6 в 10^{28} (79 228 162 514 264 337 593 543 950 336) раз больше числа адресов IPv4. В текстовом виде адрес IPv6 записывается как xxxx:xxxx:xxxx:xxxx:xxxx:xxxx:xxxx:xxxx, где каждая буква x - это шестнадцатиричная цифра, представляющая 4 бита.

Три типа адресов

- Индивидуальный адрес (делятся на глобальные индивидуальные адреса и индивидуальные адреса уровня линии связи)
- Групповой адрес
- Адрес произвольной рассылки

Формат глобального индивидуального адреса



IPv6, способы записи адреса

- 1900:0ac5:0000:0000:0000:0000:0000:1
- Можно преобразовать в
- 1900:0ac5:0:0:0:0:0:1
- Последовательность нулей можно заменить двойным двоеточием (только в одном месте адреса)
- 1900:0ac5::1
- Если есть две группы, сокращают более длинную. Если две одинаковые, то сокращают левую.

IPv6, формат адреса

- **Глобальный префикс маршрутизации (45 бит)** - общую часть адресов, которыми располагает организация или поставщик услуг Интернета, наделяющие адресами клиентов.
- **Идентификатор подсети (16 бит)** предназначен для адресации подсетей отдельного клиента, например подсетей одной корпоративной сети. Эта работа выполняется администратором сети.
- **Идентификатор интерфейса (64 бита)** предназначен для адресации отдельного интерфейса в пределах подсети.

IPv6, формат адреса

- **Старшая часть адреса**, состоящая из глобального префикса маршрутизации и идентификатора подсети, является аналогом номера сети IPv4 и используется для маршрутизации.
- **Оставшиеся 64 бит** отводятся под идентификатор интерфейса, который здесь является аналогом номера узла в IPv4.

Адресная часть хоста в IPv6

- В IPv6 размерность поля идентификатора интерфейса фиксирована и всегда равна 64 битам
- В полное распоряжение клиента поступают 2 байта для нумерации сетей и 8 байт для нумерации узлов. Имея такой огромный диапазон адресов, администратор получает широкие возможности. Для сравнительно небольшой сети он может выбрать плоскую организацию, назначая каждой имеющейся подсети произвольные неповторяющиеся значения из диапазона в 65 535 адресов, игнорируя оставшиеся.
- В крупных сетях более эффективным способом (сокращающим размеры таблиц корпоративных маршрутизаторов) может оказаться иерархическая структуризация сети на основе агрегирования адресов.

Идентификатор интерфейса

- Идентификатор интерфейса может быть назначен вручную администратором, либо получен от DHCP-сервера, либо сгенерирован автоматически на основе MAC-адреса сетевого адаптера.
- Идентификатор интерфейса имеет длину, позволяющую поместить туда MAC-адреса стандартов IEEE 802 (48 бит) или EUI-64 (64 бита), адрес конечного узла ATM (48 бит) или просто серийный номер устройства.

Автоконфигурирование интерфейсов

- Младшую часть адреса — идентификатор интерфейса — узел узнает от аппаратуры (сетевого адаптера и т. п.), а старшую — префикс — ему сообщает маршрутизатор.
- Во-первых, между двумя частями MAC-адреса вставляются дополнительные два байта FF и FE, и во-вторых, меняется значение одного бита старшего байта.
- Такое усложнение объясняется тем, что два десятка лет назад, когда возникли первые опасения относительно воз можного истощения 6-байтового адресного пространства MAC-адресов, институт IEEE разработал другой стандарт адресации сетевых интерфейсов — EUI-64 64-Bit (Extended Unique Identifier), в соответствии с которым в качестве канальных адресов используются 8-байтовые числа.
- Он все еще не поддерживается технологией Ethernet — адреса всех сетевы адаптеров и соответствующие поля в кадре Ethernet по-прежнему имеют длину 6 байт, однако применяется в IPv6 для получения идентификатора интерфейса (RFC 2373)

Формат адреса уровня линии связи

10 бит	54 бита	64 бита
Префикс формата 1111 1110 10	Нулевое поле 0000000...0	Идентификатор интерфейса

Адрес уровня линии связи

- Адреса данного типа не маршрутизируются — они используются локально, то есть при передаче трафика в пределах подсети. Областью действия (scope) адреса уровня линии связи является эта же линия связи. Они автоматически назначаются каждому интерфейсу IPv6, даже тому, который не имеет глобального индивидуального адреса1.
- Для примера, в котором идентификатор интерфейса имеет значение 0280:48FF:FEEB:7E60, индивидуальный адрес уровня линии связи будет выглядеть следующим образом: **FE80**::0280:48FF:FEEB:7E60, где **FE80::/64** — стандартный префикс формата для адресов данного типа.

Формат группового адреса

Групповые адреса (RFC 7346)

- Используются таким же образом, что и в IPv4, но играют более важную роль, хотя бы потому что здесь они используются вместо широковещательной рассылки.
- Поле флагов состоит из 4 бит, из которых в настоящее время используется только один: установленный в 1, он указывает, что номер группы в этом адресе является постоянным,а в 0 — временным.
- Имеет явно указываемый признак scope, отсутствующий в групповом адресе версии IPv4. Значения первых двух признаков, Interface-Local и Link-Local, устанавливаются автоматически, а двух оставшихся — вручную, в процессе конфигурирования линий связи

Групповые адреса (RFC 7346)

- Идентификатор группы может быть постоянным (**well known**) или временным (**transient**).
- Примером постоянной группы является ::1 (все узлы) и ::2 (все маршрутизаторы).
- С учетом префикса и значения битов, указывающих на область действия группового адреса, получаем:
  - **FF02::l** — адрес группы, состоящей из всех узлов линии связи;
  - **FF02::2** — адрес группы, состоящей из всех маршрутизаторов линии связи.
- Из определения следует, что адрес **FF02::1** заменяет широковещательный адрес 255.255.255.255 IPv4.

Групповой адрес запрашиваемого узла (Solicited-Node Multicast Address, SNMA)

- Адрес этого типа используется в тех случаях, когда некоторый узел делает запрос к другому узлу, для которого знает только индивидуальный IP-адрес, но не знает MAC-адрес.
- В IPv4 такого рода запросы посылаются с широковещательным MAC-адресом.
- В результате все сетевые адаптеры в локальном сегменте получают кадр с этим запросом, извлекают IP-пакет, передают его «наверх» для анализа IP-адреса назначения. После этого все узлы, кроме узла назначения, отбрасывают пакет. Таким образом, запрос «беспокоит» все узлы данного сегмента локальной сети (включая даже те, на которых не установлен протокол IP).

Групповой адрес запрашиваемого узла (Solicited-Node Multicast Address, SNMA)

- В IPv6 данная процедура выполняется более эффективно. Вместо широковещания на канальном уровне здесь используется особый вид групповой рассылки.
- Запрашиваемому узлу (solicited node) назначается групповой IP-адрес SNMA, определяющий группу,в которую с высокой степенью вероятности входит только один этот узел. Как и всякий другой групповой IP-адрес, адрес SNMA отображается на соответствующий групповой MAC-адрес.
- Адрес SNMA автоматически генерируется для каждого индивидуального адреса, назначенного интерфейсу, путем присоединения префикса FF02:0:0:0:0:l:FF00::/104 к трем его младшим байтам. По значению префикса можно увидеть, что адреса этого типа являются локальными, то есть действительны в области, ограниченной одной линией связи.

Групповой адрес запрашиваемого узла (Solicited-Node Multicast Address, SNMA)

- Если некоторому интерфейсу назначается индивидуальный адрес 2001:630::0A98:7654:3210, то он сразу получает и соответствующий групповой адрес запрашиваемого узла, который в данном случае равен FF02:0:0:0:l:FF54:3210.
- Тем самым интерфейс автоматически становится членом группы, идентификатор которой включает часть его индивидуального адреса.
- Эта группа, скорее всего, состоит только из него самого, хотя вероятность того, что в данной локальной сети может обнаружиться другой узел, у которого три младших байта имеют то же самое значение, не нулевая.

Типичный набор IPv6 адресов

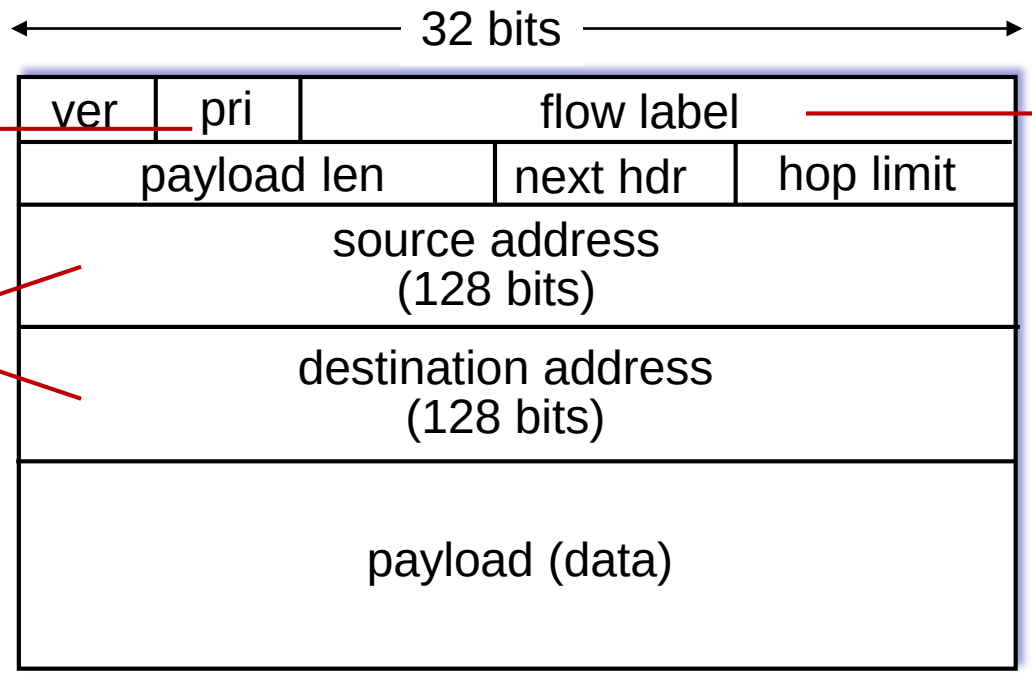
- Хост оснащен одним сетевым адаптером с MAC-адресом **00:2A:0F:32:5E:Dl**
- Состоит в двух подсетях — **2001:A:B:C::/64 и 2001:A:B:1::/64**
- Участвует в группе **FF15::1:2:3**

Тип адреса	Пример адреса
Индивидуальный адрес уровня линии связи (link-local unicast)	FE80::22A:FFF:FE32:5EDl
Назначенные или сконфигурированные индивидуальные адреса (unicast)	Два сконфигурированных адреса 2001:A:B:C:22A:FFF:FE32:5EDl и 2001:A:B:l:22A:FFF:FE32:5EDl
Назначенные или сконфигурированные групповые адреса (multicast)	Сконфигурированный групповой адрес FF15::1:2:3
Адрес обратной петли (loopback)	::1
Групповой адрес для стандартной группы «все узлы» (all-nodes multicast)	FF01::l (область действия — интерфейс) и FF02:: 1 (область действия — линия связи)
Групповой адрес запрашиваемого узла (solicited-nodemulticast)	FFO2::1:FF32:5ED1

Формат пакета IPv6

приоритет:
определить
приоритет среди
пакетов в потоке

128-бит
IPv6 адреса источника
и получателя



метка потока:
определяет пакеты в
потоке

Отсутствуют:

- контрольная сумма (для ускорения обработки)
- фрагментация/сборка и соотв. поля
- опции

Метка потока

- Поток — это последовательность пакетов, посылаемых отправителем определённому адресату.
- При этом предполагается, что все пакеты данного потока должны быть подвергнуты определённой обработке. Характер данной обработки задаётся дополнительными заголовками.
- Результаты обработки пакета с заголовками записываются в локальном кэше.

Метка потока

- Указывает на принадлежность пакета к тому или иному потоку.
- Позволяет выделить из общего трафика индивидуальные потоки и обслуживать их отличным от других пакетов способом.
- Отличие может заключаться в обеспечении индивидуального уровня QoS или же в индивидуальном маршруте потока. В узле-источнике всем пакетам потока, для которого требуется особое обслуживание, присваивается значение метки, вычисленное как ненулевое псевдослучайное число.

Метка потока

- Маршрутизатор, получив пакет с ненулевым и неизвестным ему значением поля метки, обрабатывает этот пакет так же, как и пакеты с нулевой меткой. Он просматривает все заголовки пакета и на основе полученной информации выполняет требуемые действия.
- Например, по адресу назначения маршрутизатор определяет адрес следующего маршрутизатора, анализируя поле класса трафика, решает, в какую приоритетную очередь поместить пакет, и т. п.
- Затем на основании предписанной ему политики маршрутизатор решает, обслуживать ли все пакеты с такой меткой, как поток.

Метка потока

- Если да, то вносит в кэш-памяти запись, содержащую сведения об обработке этого пакета, позволяющие выполнить обработку следующих пакетов с этой же меткой ускоренным образом.
- Запись индексируется значением метки и адресом источника. Когда следующий пакет потока поступает на маршрутизатор, из кэша извлекается соответствующая запись и для пакета выполняется ускоренная процедура обработки
- Время жизни записи в кэш-памяти ограничено несколькими секундами; затем запись удаляется, метка снова становится неизвестной маршрутизатору, и вся процедура повторяется с самого начала

Индивидуальный адрес (unicast)

- Является уникальным идентификатором отдельного интерфейса конечного узла или маршрутизатора.
- Существуют несколько типов индивидуальных адресов. Некоторые из них (site-local, IPv4-Compatible адреса) уже успели устареть и не рекомендуются к использованию в новых разработках, другие — как, например, глобальный индивидуальный адрес или адрес уровня линии связи (Link-Local unicast) — активно используются.

Групповой адрес (multicast)

- Аналогичен по назначению групповому адресу IPv4 — он идентифицирует группу интерфейсов, относящихся, как правило, к разным узлам.
- Пакет с таким адресом доставляется всем интерфейсам, имеющим аналогичный адрес.
- Групповые адреса в некоторых случаях выполняют функцию отсутствующих в IPv6 широковещательных адресов.

Адрес произвольной рассылки (anycast)

- Как и групповой адрес, определяет группу интерфейсов, но, в отличие от группового адреса, пакет, в поле адреса назначения которого стоит адрес произвольной рассылки, доставляется одному из интерфейсов группы, как правило, «ближайшему» в соответствии с метрикой, используемой протоколами маршрутизации.
- Синтаксически адрес произвольной рассылки ничем не отличается от индивидуального адреса — он назначается из того же диапазона адресов, что и индивидуальные адреса. Адрес произвольной рассылки может быть назначен только интерфейсам маршрутизатора.
- Интерфейсы маршрутизаторов, входящие в одну группу адресов произвольной рассылки, имеют помимо индивидуальных адресов еще и общий для всех них адрес произвольной рассылки.

Особые адреса

- **Неопределенный адрес (unspecified address)** 010:0:0:0:0:0:0 никогда не назначается и обозначает отсутствие адреса. Например, все пакеты, посылаемые хостом, который находится в состоянии инициализации и еще не имеет адреса, содержат в поле адреса источника неопределенный адрес — 128 нулей.
- Неопределенный адрес не может быть использован в качестве адреса назначения.
- **Адрес обратной петли (loopback address)** 0:0:0:0:0:0:0:1 в IPv6 используется узлом для того, чтобы посылать пакеты самому себе. Пакеты с адресом обратной петли в поле адреса источника или адреса назначения отбрасываются маршрутизаторами.

IPv6

- Фрагментация не осуществляется маршрутизаторами, только хостами, инициировавшими передачу.
- В IPv6 функции определения физ. адреса являются встроенными. Они реализованы в алгоритмах автоматической настройки адресов и поиска соседей, в которых применяется протокол ICMPv6. В связи с этим протокол ARP6 не был разработан.
- Длина заголовка составляет ровно 40 байт. В заголовке IP никакие дополнительные параметры не указываются. Вместо этого добавляются заголовки расширения.

Дополнительные заголовки IPv6

- **Заголовок транзитных опций (hop-by-hop options)** — параметры, используемые при обработке пакетов маршрутизаторами;
- **Заголовок опций места назначения (destination option)** — дополнительная информация для промежуточных или финального узлов назначения;
- **Заголовок маршрутизации (routing**) содержит в поле данных последовательность IPv6- адресов всех промежуточных узлов, которые должен пройти пакет на пути от источника до места назначения; такой способ задания маршрута называют маршрутизацией от источника;

Дополнительные заголовки IPv6

- **Заголовок фрагментации (fragment)** — информация, относящаяся к фрагментации IP- пакета (поле обрабатывается только в конечных узлах)
- **Заголовок аутентификации (authentication)** — информация, необходимая для аутентификации конечных узлов и обеспечения целостности содержимого IP-пакетов
- **Заголовок поля безопасных вложений (encapsulating security payload)** — информация, необходимая для обеспечения конфиденциальности передаваемых данных путем шифрования и дешифрирования

Опция сверхбольшого поля данных

- В сверхскоростных сетях возможно использование крупных сообщений- джамбограмм (с помощью опции *jumbo payload* в расширенном заголовке *Hop-By-Hop Options*.
- Опция позволяет обмениваться пакетами с размером полезных данных на 1 байт меньшим чем $2^{32} - 1 = 4294967295$ байт.
- Для поддержки джамбограмм требуется реализация модифицированных протоколов транспортного уровня.
- MTU должно составлять более, чем 65583 октетов (более 65 535 октетов для полезных данных, 40 октетов для фиксированного заголовка и 8 октетов для расширенного заголовка *Hop-By-Hop Options*).

IPv6

- ICMP Router запросы заменены на ICMPv6 Router Solicitation и Router Advertisement сообщения (включающие информацию о сетевом префиксе, адресе шлюза, адресах рекурсивных DNS серверов, MTU и множестве других параметров). Эта опция является обязательной.
- При инициализации сетевого интерфейса ему назначается локальный IPv6-адрес, состоящий из префикса fe80::/10 и идентификатора интерфейса, размещённого в младшей части адреса. В качестве идентификатора интерфейса часто используется 64-битный расширенный уникальный идентификатор EUI-64, часто ассоциируемый с MAC-адресом.
- Локальный адрес действителен только в пределах сетевого сегмента канального уровня и используется для обмена информационными ICMPv6 пакетами.

Снижение нагрузки на маршрутизаторы

- **Отказ от обработки необязательных параметров заголовка**. В IPv4 обработка пакета включает просмотр и анализ всех полей заголовка, даже если они не несут полезной информации. Например, при обработке нефрагментированных пакетов просматриваются все поля, относящиеся к фрагментации.
- **Перенесение функций фрагментации с маршрутизаторов на конечные узлы**. Конечные узлы в версии IPv6 обязаны найти минимальное значение MTU вдоль всего пути, соединяющего исходный узел с узлом назначения (эта техника под названием Path MTU Discovery уже используется в IPv4).
- Маршрутизаторы IPv6 не выполняют фрагментацию, а только посылают ICMP-сообщение о слишком длинном пакете конечному узлу, который должен уменьшить размер пакета.

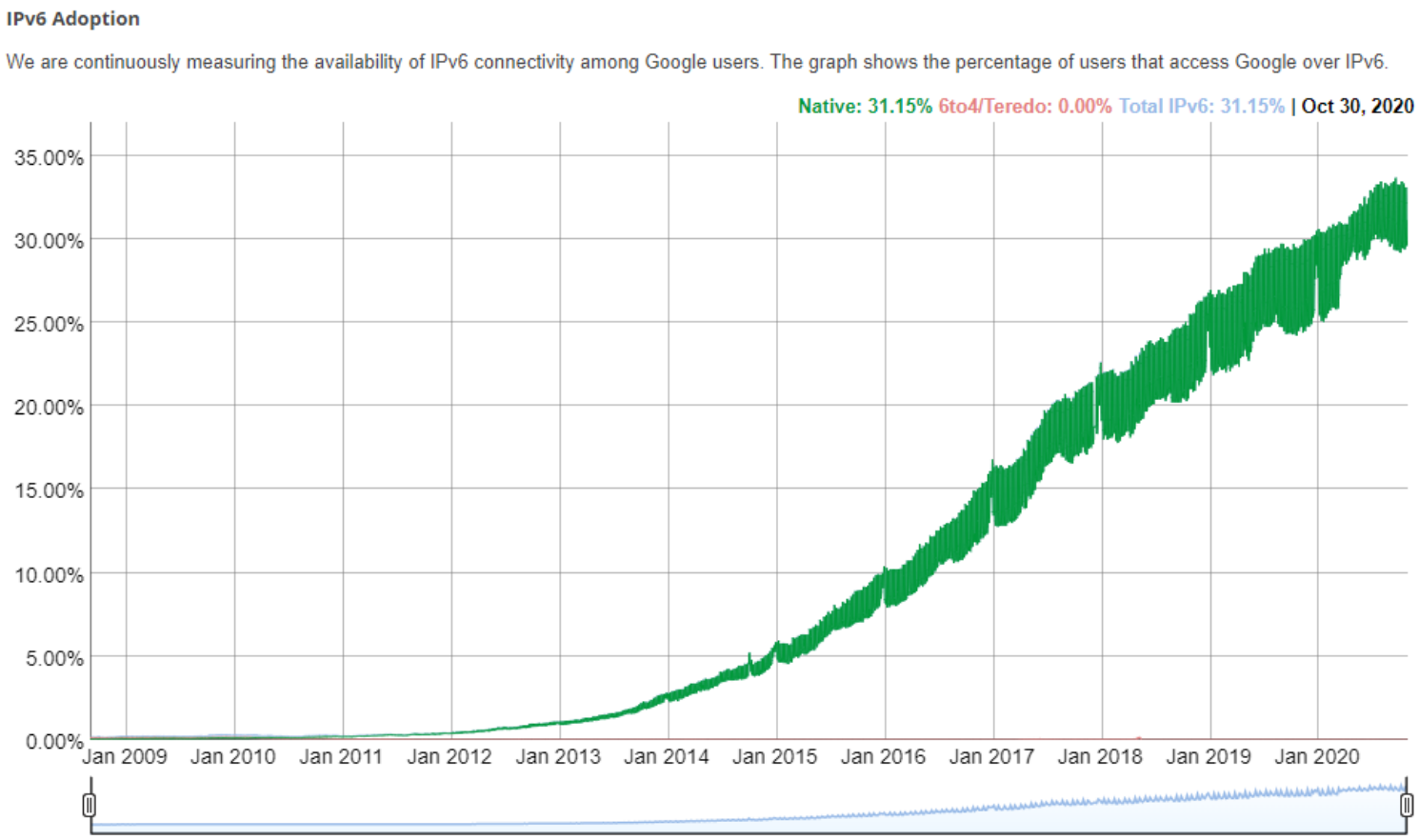
Снижение нагрузки на маршрутизаторы

- **Широкое использование маршрутизации от источника.** При маршрутизации от источника узел-источник задает полный маршрут прохождения пакета через сети. Такая техника освобождает маршрутизаторы от необходимости просмотра адресных таблиц при выборе следующего маршрутизатора.
- **Отказ от подсчета контрольной суммы.** В заголовке пакета IPv6 нет поля контрольной суммы. Поскольку контрольная сумма вычисляется как на вышележащем (TCP, UDP), так и нижележащем уровне (Ethernet), было решено, что вычисление контрольной суммы на сетевом уровне избыточно.

Снижение нагрузки на маршрутизаторы

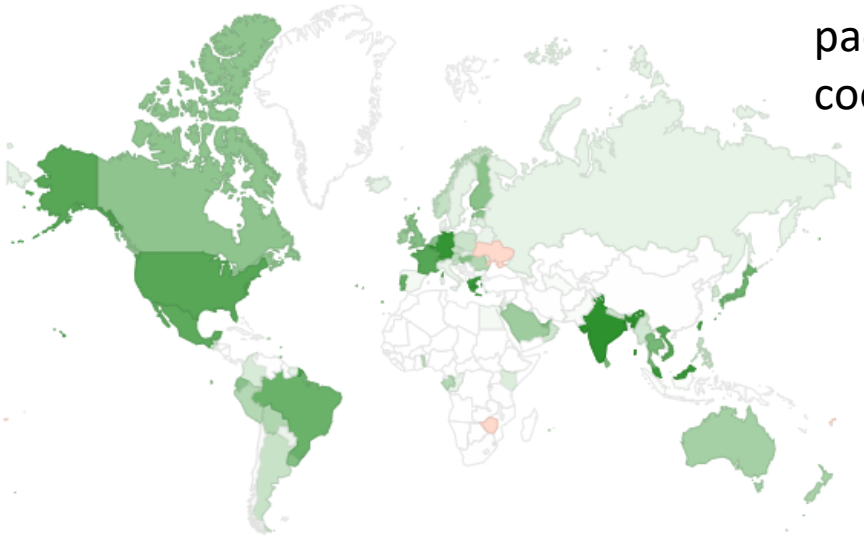
- **Агрегирование адресов** ведет к уменьшению размера адресных таблиц маршрутизаторов, а значит, и к сокращению времени просмотра и обновления таблиц. При этом также сокращается служебный трафик, порождаемый протоколами маршрутизации.
- **Отказ от использования технологии NAT**. Одной из целей технологии NAT является уменьшение необходимого адресного пространства путем отображения большого числа частных адресов на несколько публичных. В IPv6 такая экономия адресов теряет смысл. Упрощает маршрутизацию, дает выигрыш в производительности, решает проблему идентификации пользователей.
- Принципиальная **возможность использования в качестве номера узла его MAC-адреса** избавляет маршрутизаторы от необходимости применять процедуру разрешения адресов.

Статистика принятия IPv6 (Google)



Статистика принятия IPv6 (Google)

Per-Country IPv6 adoption



В России процент распространения составляет 5.81

World | Africa | Asia | Europe | Oceania | North America | Central America | Caribbean | South America

The chart above shows the availability of IPv6 connectivity around the world.

- Regions where IPv6 is more widely deployed (the darker the green, the greater the deployment) and users experience infrequent issues connecting to IPv6-enabled websites.
- Regions where IPv6 is more widely deployed but users still experience significant reliability or latency issues connecting to IPv6-enabled websites.
- Regions where IPv6 is not widely deployed and users experience significant reliability or latency issues connecting to IPv6-enabled websites.

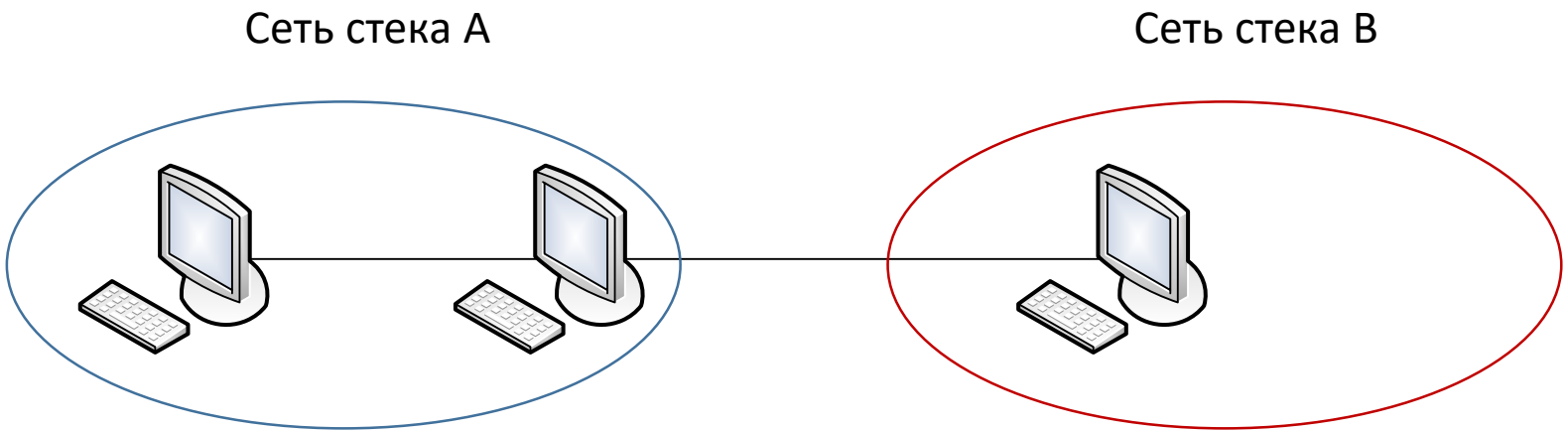
Статистика принятия IPv6 (Google)

- Общая доля IPv6-запросов к 2019/2020 году достигла почти 30%
- Хотя эти данные носят частный характер, отражая трафик запросов к поисковой системе Google, на их основе эксперты делают оценки темпов перехода на IPv6.
- Собранные статистические данные интерпретируются разными специалистами по-разному: одни отмечают большой прогресс, другие, напротив, считают, что этап относительно быстрого роста за 2015-2018 годы сменился замедлением, и предсказывают, что эти 30 % станут финальным уровнем распространения IPv6.

Интеграция IPv6 и IPv4

- **Двойной стек протоколов** (или мультиплексирование стеков)
- **Трансляция**
- **Туннелирование** (инкапсуляция)

Двойной стек



Прикладной
Транспортный
Межсетевой (IPv4)
Интерфейсный

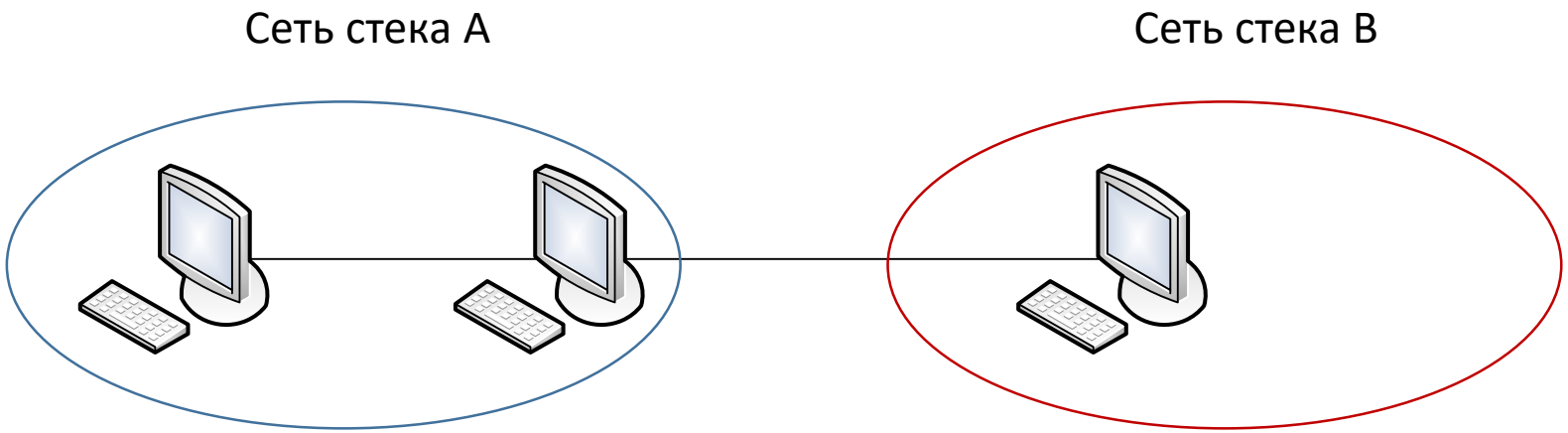
Прикладной	Прикладной
Транспортный	Транспортный
Межсетевой (IPv4)	Межсетевой (IPv6)
Интерфейсный	Интерфейсный

Прикладной
Транспортный
Межсетевой (IPv6)
Интерфейсный

Двойной стек

- Чтобы запрос от прикладного процесса был правильно обработан и направлен через соответствующий стек, необходимо наличие специального программного элемента — **мультиплексора протоколов**, называемого также **менеджером протоколов**.
- Менеджер должен уметь определять, к какой сети направляется запрос клиента. Для этого может использоваться служба имен сети, в которой отмечается принадлежность того или иного ресурса определенной сети с соответствующим стеком протоколов.
- В общем случае на каждом уровне вместо одного протокола появляется целый набор протоколов, и может существовать несколько мультиплексоров, выполняющих коммутацию между протоколами.

Трансляция



Транслятор IPv4-IPv6

Прикладной	Прикладной	Прикладной	Прикладной
Транспортный	Транспортный	Транспортный	Транспортный
Межсетевой (IPv4)	Межсетевой (IPv4)	Межсетевой (IPv6)	Межсетевой (IPv6)
Интерфейсный	Интерфейсный	Интерфейсный	Интерфейсный

Трансляция

- **Транслирующий элемент**, в качестве которого могут выступать, например, программный или аппаратный шлюз, мост, коммутатор или маршрутизатор, размещается между взаимодействующими сетями и служит посредником в их «диалоге».
- Трансляция протоколов сетевого уровня (например, IPv4 в IPv6) представляет собой сложный интеллектуальный процесс, включающий не только преобразование форматов сообщений, но и отображение адресов сетей и узлов, различным образом трактуемых в этих протоколах.

Трансляция

- Как и всякий централизованный ресурс, шлюз с транслятором снижает надежность сети.
- Кроме того, при обработке запросов в шлюзе возможны относительно большие временные задержки, во-первых, из-за затрат времени на собственно процедуру трансляции, во-вторых, из-за задержек запросов в очереди к разделяемому всеми клиентами шлюзу, особенно если запросы поступают с большой интенсивностью.

Применение

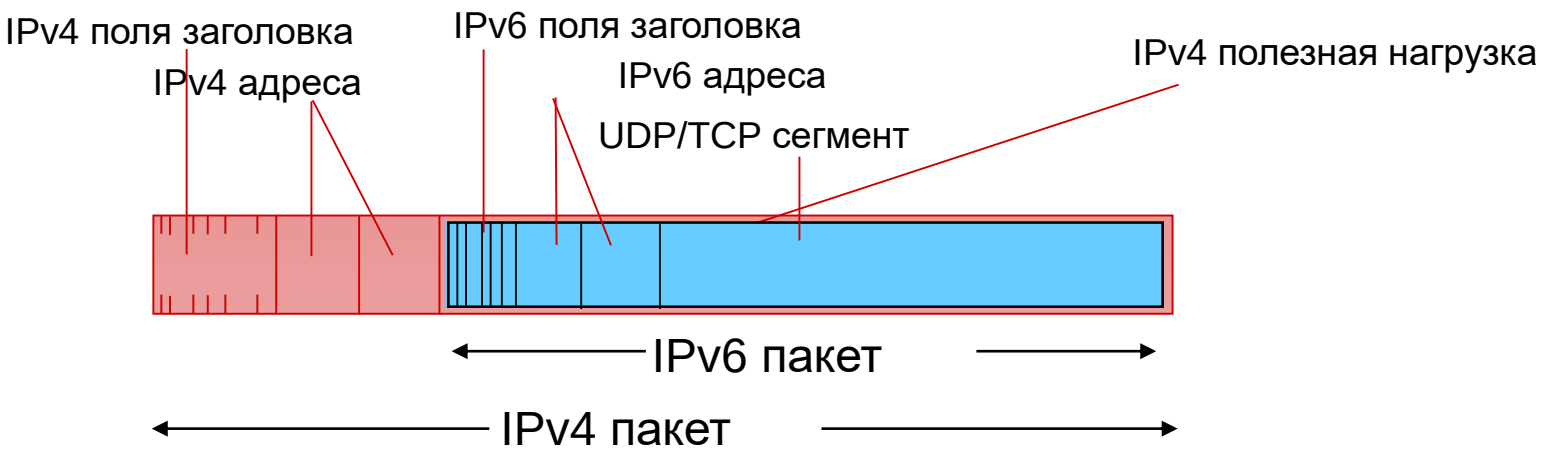
- В настоящее время практически все операционные системы, а также многие приложения и сетевые службы оснащены полнофункциональными версиями стеков IPv4 и IPv6.
- Рассмотрим в качестве примера работу веб-браузера Firefox. Когда пользователь обращается к некоторому сайту, браузер делает запросы типа A и AAAA к DNS-серверу и получает в ответ два адреса, IPv4 и IPv6.
- Далее запускается процедура выбора предпочтительного адреса, а следовательно, и предпочтительного стека на основе алгоритма Happy Eyeballs (RFC 6555). В соответствии с этим алгоритмом браузер делает два запроса по обоим адресам, а затем сравнивает время ответа. Для использования выбирается тот стек, который дал более короткое время. Очевидно, что время ответа зависит от того, насколько окружаю щая сетевая инфраструктура поддерживает тот или иной стек.

Туннелирование (инкапсуляция)

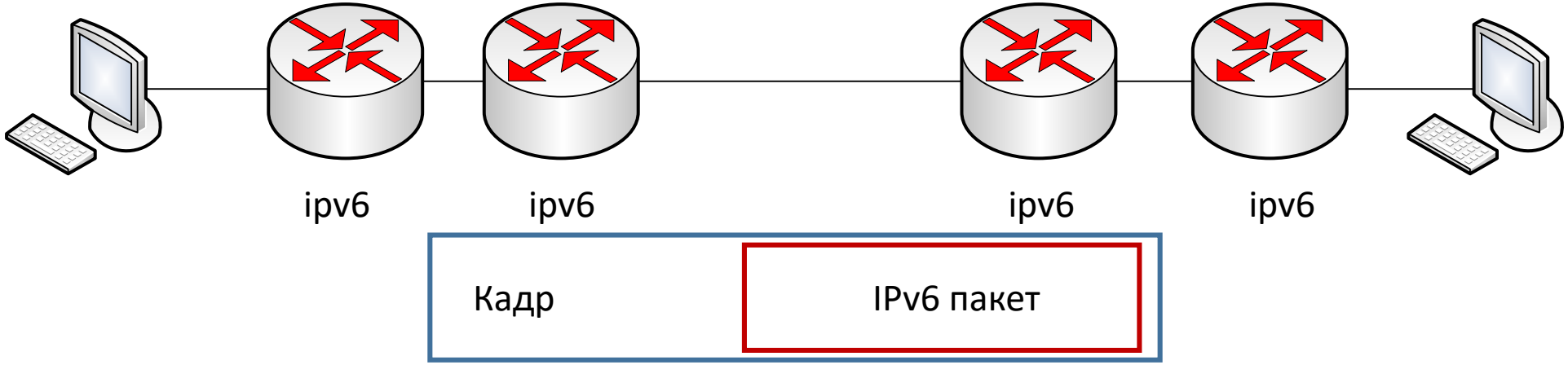
- Инкапсуляцию выполняет **пограничное устройство** (маршрутизатор или шлюз), оснащенное двумя стеками протоколов, которое располагается на границе между исходной и транзитной сетями.
- Извлечение пакетов-пассажиров из несущих пакетов выполняет **второе пограничное устройство**, находящееся на границе между транзитной сетью и сетью назначения.
- Пограничные устройства указывают в несущих пакетах свои адреса, а не адреса из пакетов вложенных протоколов. Недостаток способа заключается в том, что узлы связываемых сетей не имеют возможности взаимодействовать с узлами транзитной сети.
- Недостаток способа заключается в том, что узлы связываемых сетей не имеют возможности взаимодействовать с узлами транзитной сети.

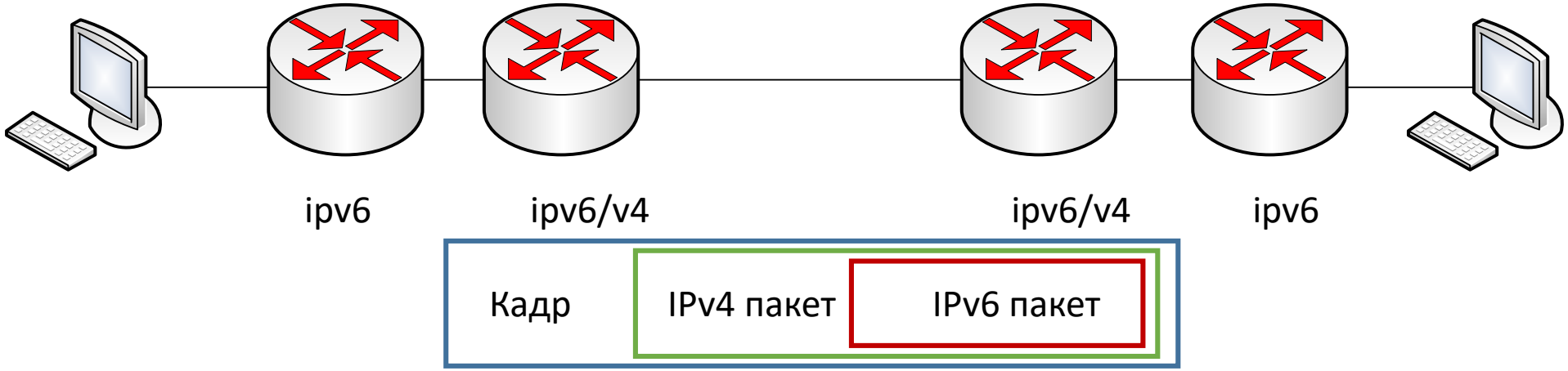
Туннелирование (инкапсуляция)

- Туннелирование: IPv6 пакет помещается в поле польз. данных в пакет IPv4
  - активно используется в 4G/5G



Туннель через IPv4





Применение

- Может быть применено в тех случаях, когда две сети IPv6 необходимо соединить через транзитную сеть IPv4 (или наоборот).
- Часто используется большими компаниями, которые не хотят тратить слишком много времени и средств, чтобы перевести их большие сети полностью на IPv6 или поддерживать на всех узлах двойной стек.
- Однако туннелирование становится слишком громоздким и дорогостоящим методом с ростом числа сетей, которые требуется соединять друг с другом с помощью туннелей (особенно это справедливо для топологий, близких к полносвязной).

Использованные источники

- В. Олифер, Н. Олифер “Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы”
- Д. Куроуз, К. Росс “Компьютерные сети. Нисходящий подход.”