Лекция 14. Технологии глобальных компьютерных сетей

План лекции:

1. Технология IP в глобальных сетях.
2. Структура глобальной IP-сети.
3. Двухточечные протоколы.
4. Функционирование IP-сети поверх сетей ATM и Frame Relay.

1. Технология IP в глобальных сетях

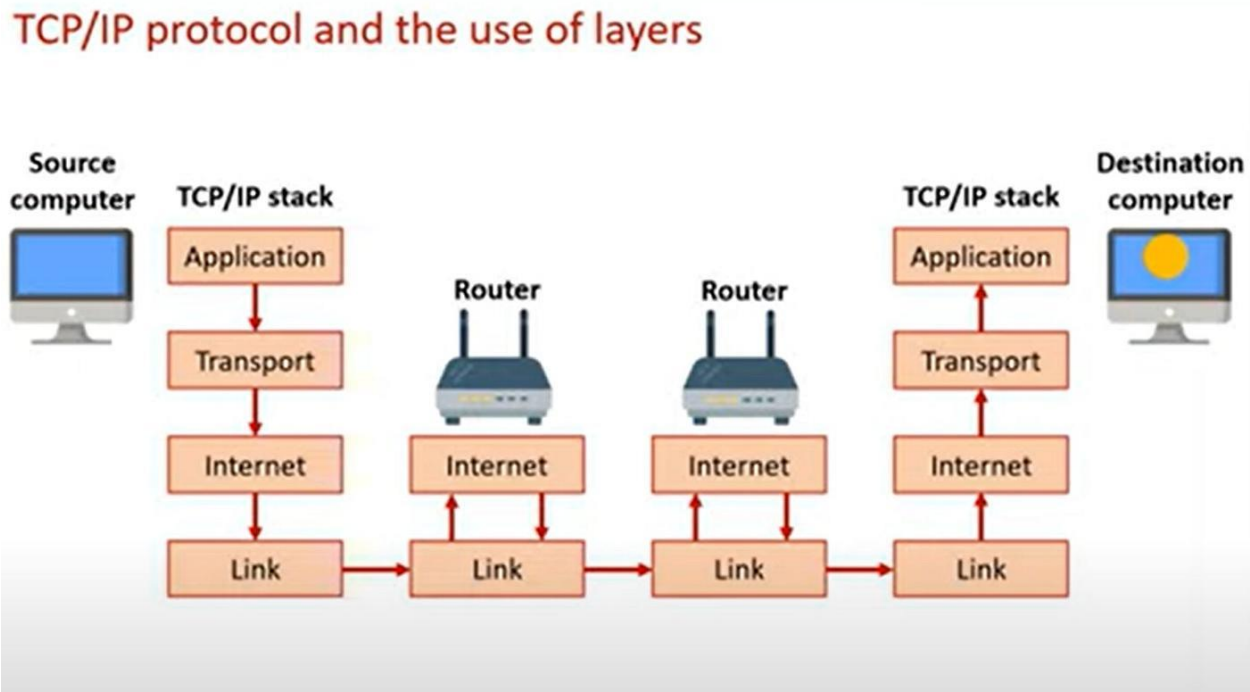
1.1. Понятие IP-технологии

IP (Internet Protocol) представляет собой основной сетевой протокол, который обеспечивает передачу пакетов данных между устройствами в компьютерных сетях.

Протокол IP используется как в локальных, так и в глобальных компьютерных сетях. Он позволяет объединять отдельные сети в единую информационную инфраструктуру.

Основная задача IP заключается в доставке пакетов от отправителя к получателю на основе IP-адресов.

IP не устанавливает предварительное соединение между отправителем и получателем. Передача осуществляется по принципу дейтаграмм: каждый пакет обрабатывается маршрутизаторами на основании адреса назначения.



1.2. Основные функции протокола IP

Протокол IP выполняет следующие функции:

1. Логическая адресация сетевых устройств.
2. Формирование и обработка IP-пакетов.
3. Передача пакетов между различными сетями.
4. Фрагментация IPv4-пакетов при определённых условиях.
5. Определение маршрута передачи с помощью маршрутизаторов.
6. Обеспечение взаимодействия между сетями различных технологий.

Важно отметить, что IP сам по себе не гарантирует доставку пакетов, сохранение их порядка или отсутствие потерь. Эти задачи могут решаться протоколами транспортного уровня, например TCP.

1.3. Версии протокола IP

Существуют две основные версии протокола IP.

IPv4 (Internet Protocol version 4)

IPv4 использует 32-битную адресацию. Адрес записывается в виде четырёх десятичных чисел, разделённых точками.

Пример:

```
192.168.1.10
```

Основные характеристики:

- длина адреса составляет 32 бита;
- поддерживается около 4,3 миллиарда адресов;
- используется десятичная запись;
- поддерживается широковещательная передача;
- широко применяется в Интернете и корпоративных сетях.

IPv6 (Internet Protocol version 6)

IPv6 использует 128-битную адресацию.

Пример:

```
2001:db8:1234::10
```

Основные характеристики:

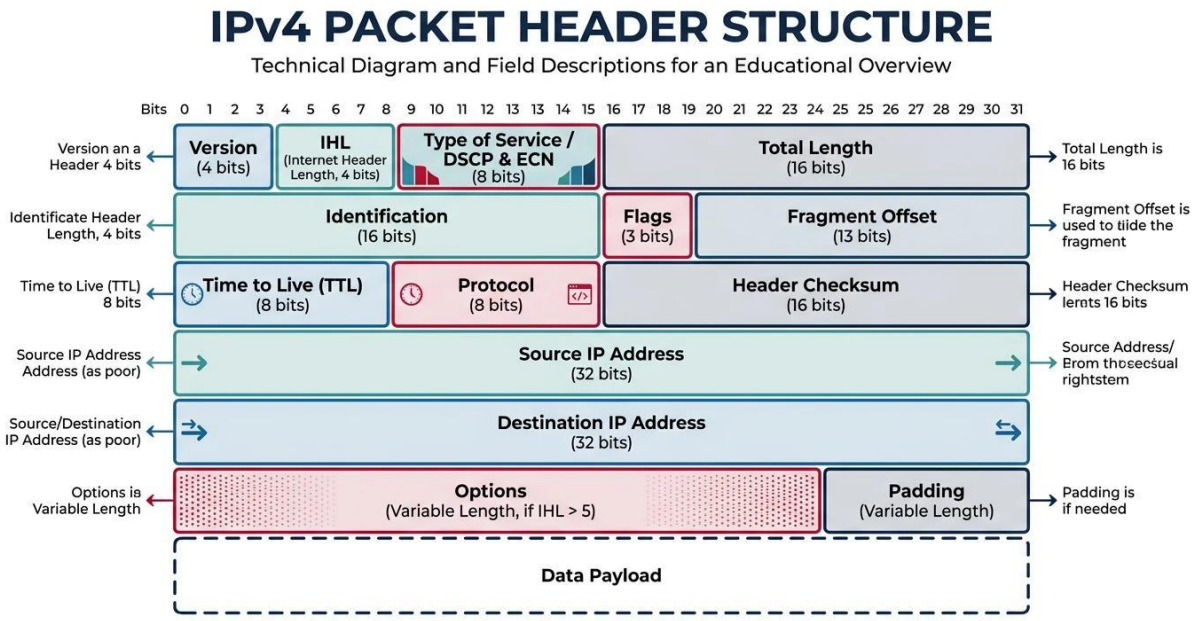
- длина адреса составляет 128 бит;
- значительно увеличено адресное пространство;
- используется шестнадцатеричная запись;
- отсутствует традиционная широковещательная передача;
- предусмотрены механизмы автоматической настройки адресов.

1.4. Структура IP-пакета

При передаче информации по глобальной сети данные помещаются в IP-пакет.

IP-пакет состоит из двух основных частей:

- заголовок (Header);
- данные (Payload).



Основные поля заголовка IPv4:

Поле	Назначение
Version	Версия протокола IP
IHL	Длина заголовка
DSCP	Классификация трафика и приоритет обслуживания
Total Length	Общая длина пакета
Identification	Идентификатор пакета при фрагментации
Flags	Управление фрагментацией
Fragment Offset	Смещение фрагмента
TTL	Ограничение времени жизни пакета
Protocol	Тип протокола верхнего уровня
Header Checksum	Контрольная сумма заголовка
Source Address	IP-адрес отправителя
Destination Address	IP-адрес получателя

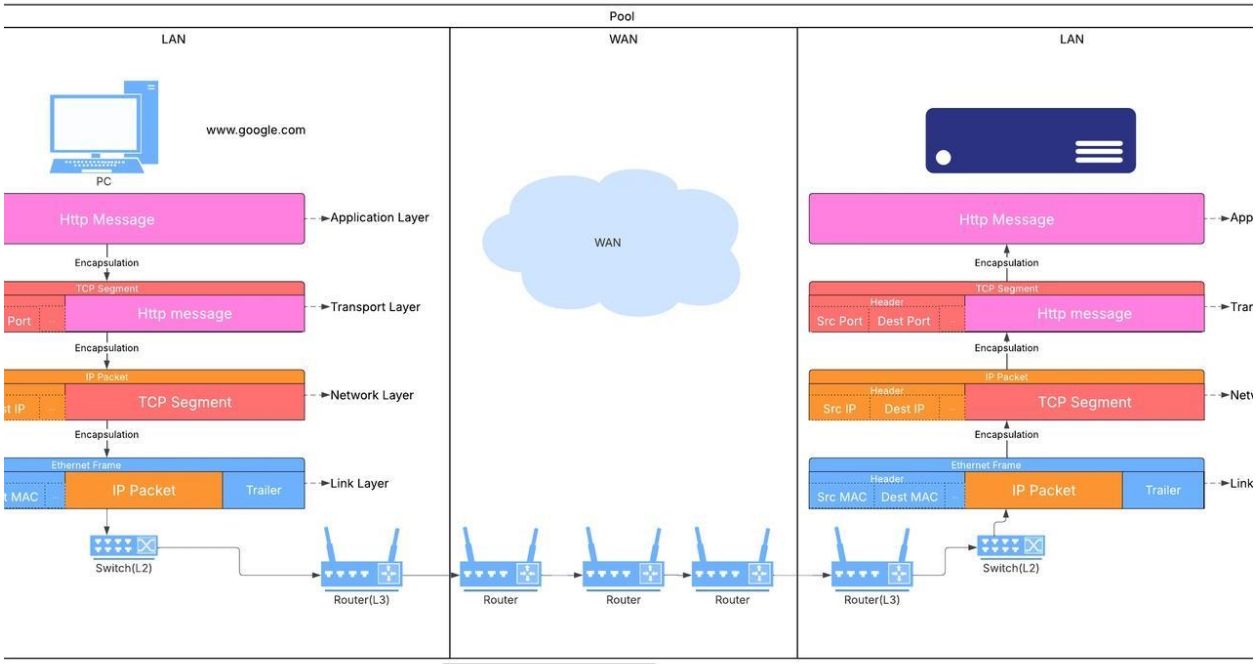
Особое значение имеет поле TTL (Time To Live). Оно ограничивает количество маршрутизаторов, через которые может пройти пакет.

При прохождении каждого маршрутизатора значение TTL уменьшается на единицу. Если оно достигает нуля, пакет удаляется.

Это предотвращает бесконечное перемещение пакетов при ошибках маршрутизации.

1.5. Принцип передачи IP-пакетов

Рассмотрим передачу данных между двумя компьютерами, которые находятся в разных городах.



Последовательность передачи:

1. Компьютер отправителя формирует данные.
2. Транспортный протокол TCP или UDP подготавливает транспортный сегмент или дейтаграмму.
3. Протокол IP добавляет заголовок с адресами отправителя и получателя.
4. Пакет передаётся маршрутизатору.
5. Маршрутизаторы анализируют адрес назначения.
6. Пакет проходит через глобальную сеть.
7. На стороне получателя данные передаются протоколам верхних уровней.

Таким образом, IP обеспечивает независимость передачи данных от конкретной технологии физической сети.

2. Структура глобальной IP-сети

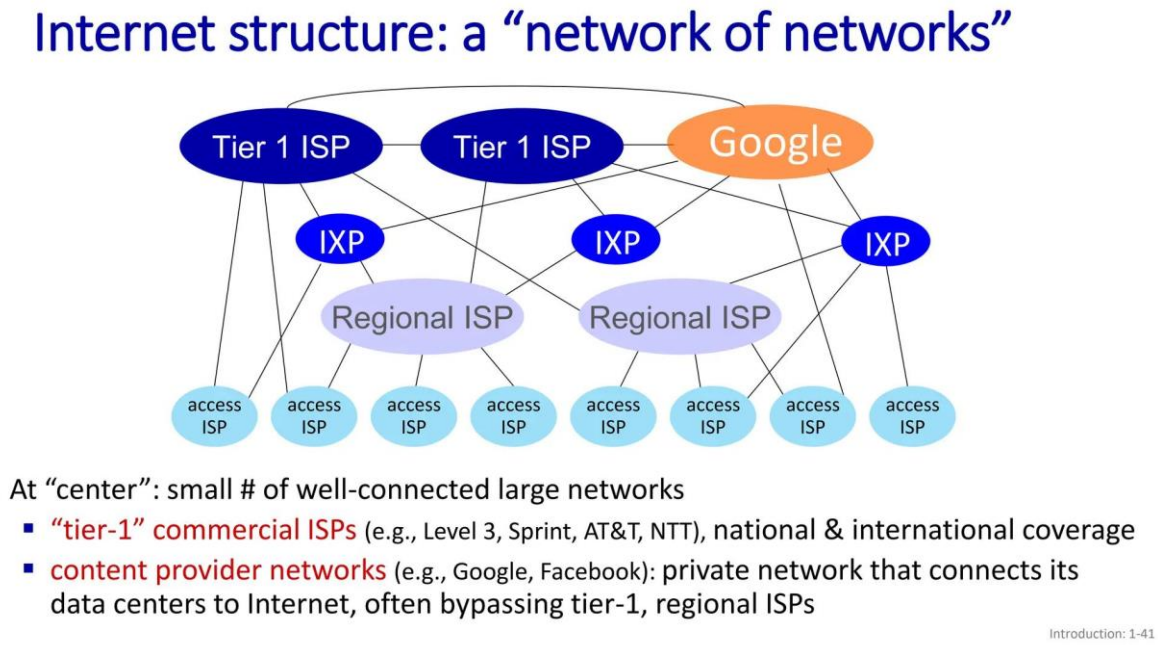
2.1. Общие сведения

Глобальная IP-сеть представляет собой совокупность взаимосвязанных сетей, которые используют протокол IP для передачи информации.

Интернет является крупнейшим примером такой сети.

В структуре глобальной IP-сети можно выделить:

- сети пользователей;
- корпоративные сети;
- сети операторов связи;
- магистральные сети;
- центры обработки данных;
- точки обмена интернет-трафиком;
- маршрутизаторы и каналы связи.



2.2. Основные уровни глобальной IP-сети

Для понимания организации глобальной сети рассмотрим её основные структурные уровни.

1. Уровень доступа (Access Network).

Обеспечивает подключение конечных пользователей к сети оператора связи.

Для этого используются:

- оптоволоконные линии;
- Ethernet;
- DSL;
- Wi-Fi;
- мобильные сети 4G и 5G.

Например, домашний компьютер подключается к Интернету через маршрутизатор, который связан с оборудованием провайдера.

2. Региональный уровень (Regional Network).

Объединяет сети доступа в пределах определённого региона или города.

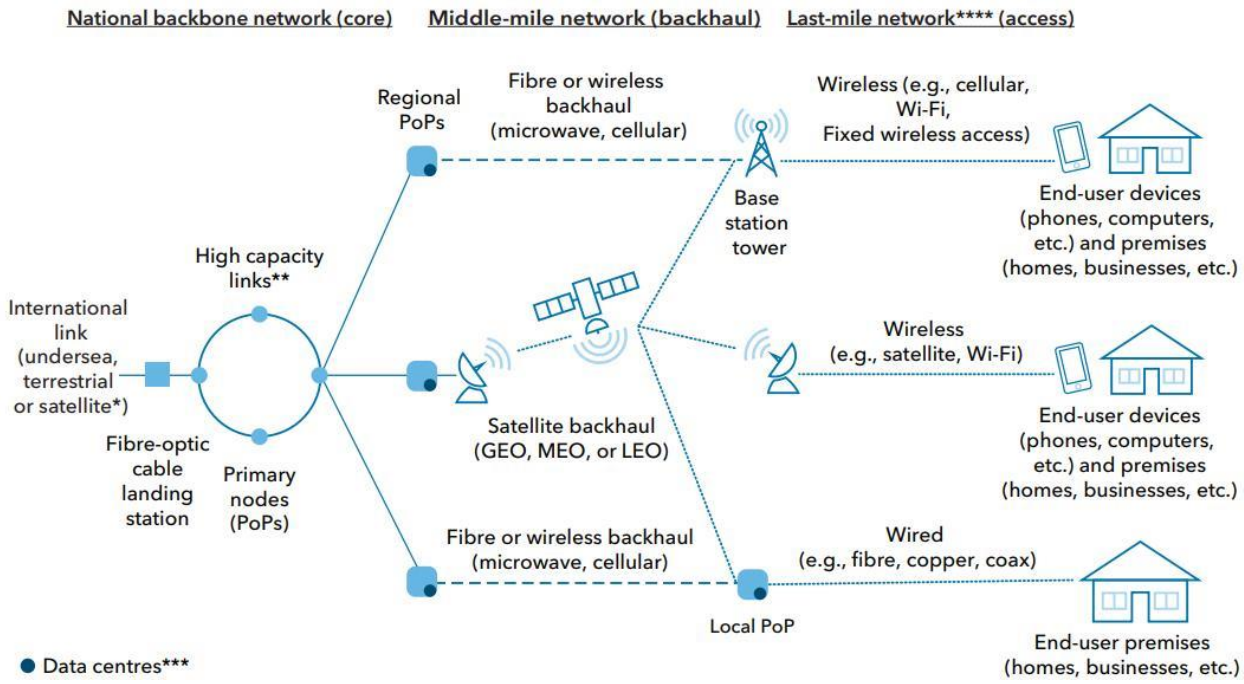
На этом уровне происходит передача данных между отдельными районами, организациями и сетевыми узлами.

3. Магистральный уровень (Backbone Network).

Представляет собой высокоскоростную основу глобальной сети.

Магистральные сети объединяют крупные узлы операторов связи и обеспечивают передачу больших объёмов информации на значительные расстояния.

Для их организации широко используется оптоволоконная связь.



2.3. Автономные системы в глобальной сети

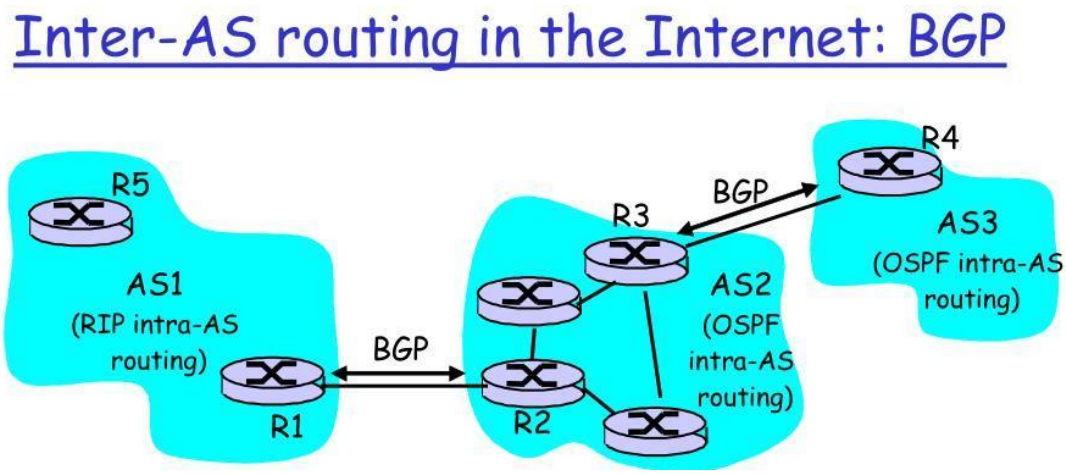
В Интернете отдельные сети объединяются в автономные системы (AS, Autonomous Systems).

Автономная система представляет собой совокупность IP-сетей и маршрутизаторов, которые находятся под единым административным управлением и используют общую политику маршрутизации.

Каждая автономная система имеет уникальный номер ASN (Autonomous System Number).

Например, крупный интернет-провайдер может иметь собственную автономную систему, через которую осуществляется обмен данными с другими операторами.

Для обмена маршрутной информацией между автономными системами применяется протокол BGP.



2.4. Взаимодействие сетей операторов связи

Различные операторы связи объединяют свои сети для обеспечения обмена информацией между пользователями.

Для этого используются:

- прямые соединения между операторами;
- точки обмена интернет-трафиком (IXP);
- магистральные каналы;
- протокол BGP;
- резервные маршруты.

Точка обмена интернет-трафиком позволяет нескольким сетям обмениваться данными непосредственно, без необходимости передавать весь трафик через сторонние сети.

2.5. Принцип маршрутизации в глобальной IP-сети

Когда пользователь открывает веб-сайт, его компьютер отправляет IP-пакеты к серверу.

Маршрут может проходить через несколько автономных систем и множество маршрутизаторов.

Каждый маршрутизатор принимает решение о передаче пакета на основании своей таблицы маршрутизации.

Основные этапы:

1. Определяется IP-адрес сервера.
2. Компьютер передаёт пакет своему маршрутизатору.
3. Маршрутизатор определяет следующий узел.
4. Пакет передаётся в сеть провайдера.
5. При необходимости пакет проходит через другие автономные системы.
6. Пакет достигает сети, в которой находится сервер.
7. Сервер получает запрос и отправляет ответ.

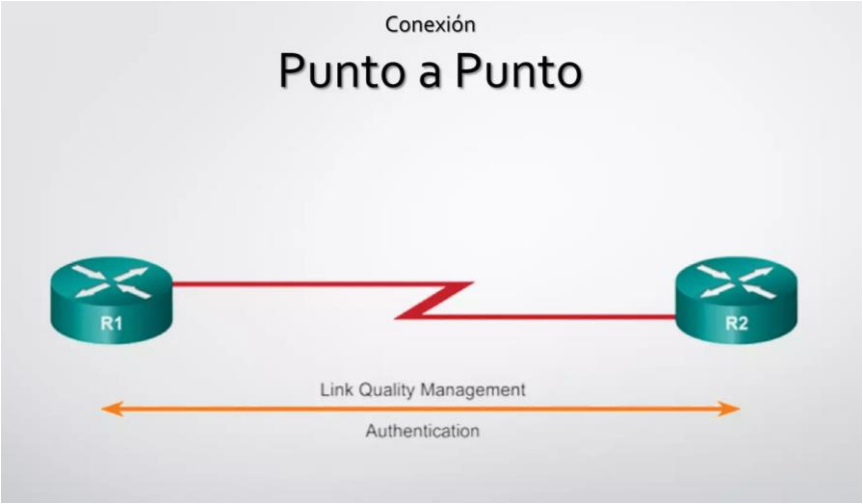
3. Двухточечные протоколы

3.1. Понятие двухточечного соединения

Двухточечное соединение (Point-to-Point) представляет собой прямое соединение двух сетевых устройств через отдельный канал связи.

Такое соединение применяется для передачи данных между маршрутизаторами, компьютерами, серверами и другим сетевым оборудованием.

В глобальных сетях двухточечные соединения используются для организации каналов между филиалами организаций и узлами операторов связи.



Для организации двухточечных соединений применяются специальные протоколы канального уровня.

Основные задачи таких протоколов:

- инкапсуляция сетевых пакетов;
- определение типа передаваемого протокола;
- проверка ошибок передачи;
- установление и завершение соединения;
- управление параметрами канала.

3.2. Протокол HDLC

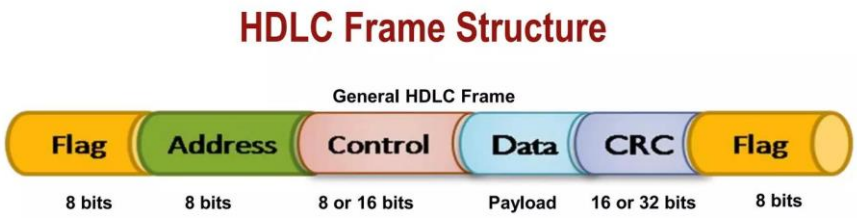
HDLC (High-Level Data Link Control) представляет собой бит-ориентированный протокол канального уровня.

Он используется для передачи данных по синхронным каналам связи.

Основные функции HDLC:

1. Формирование кадров.
2. Управление передачей информации.
3. Контроль ошибок.
4. Определение границ кадров.
5. Организация взаимодействия между устройствами.

Структура кадра HDLC включает следующие поля:



- Flag – Identifies the beginning and end of a frame – 01111110 (7E Hex)
- Address – Address of the station: Single byte
- Control – Defines the frame type and is protocol dependent
- Data – Data field may vary in length depending upon the protocol using the frame. Layer 3 frames are carried in the data field
- FCS – Frame Check Sequence is used to verify the data integrity

Поле	Назначение
Flag	Начало и конец кадра
Address	Адрес получателя
Control	Управляющая информация
Information	Передаваемые данные
FCS	Контроль ошибок кадра

Флаг обычно имеет значение `01111110` и используется для определения границ кадра.

HDLC применяется в каналах связи между сетевыми устройствами. В оборудовании Cisco также используется собственный вариант HDLC, который поддерживает идентификацию сетевого протокола.

3.3. Протокол PPP

PPP (Point-to-Point Protocol) представляет собой протокол канального уровня, который предназначен для передачи сетевых пакетов через двухточечные соединения.

PPP может использоваться для передачи пакетов IPv4 и IPv6.

Основные возможности PPP:

- установление двухточечного соединения;
- инкапсуляция сетевых пакетов;
- согласование параметров канала;
- проверка качества соединения;
- аутентификация пользователей;
- поддержка нескольких сетевых протоколов.

PPP and CHAP Configuration Example




```
hostname RouterX
username RouterY password sameone
!
int serial 0
 ip address 10.0.1.1 255.255.255.0
 encapsulation ppp
 ppp authentication chap
```

```
hostname RouterY
username RouterX password sameone
!
int serial 0
 ip address 10.0.1.2 255.255.255.0
 encapsulation ppp
 ppp authentication chap
```

3.4. Структура кадра PPP

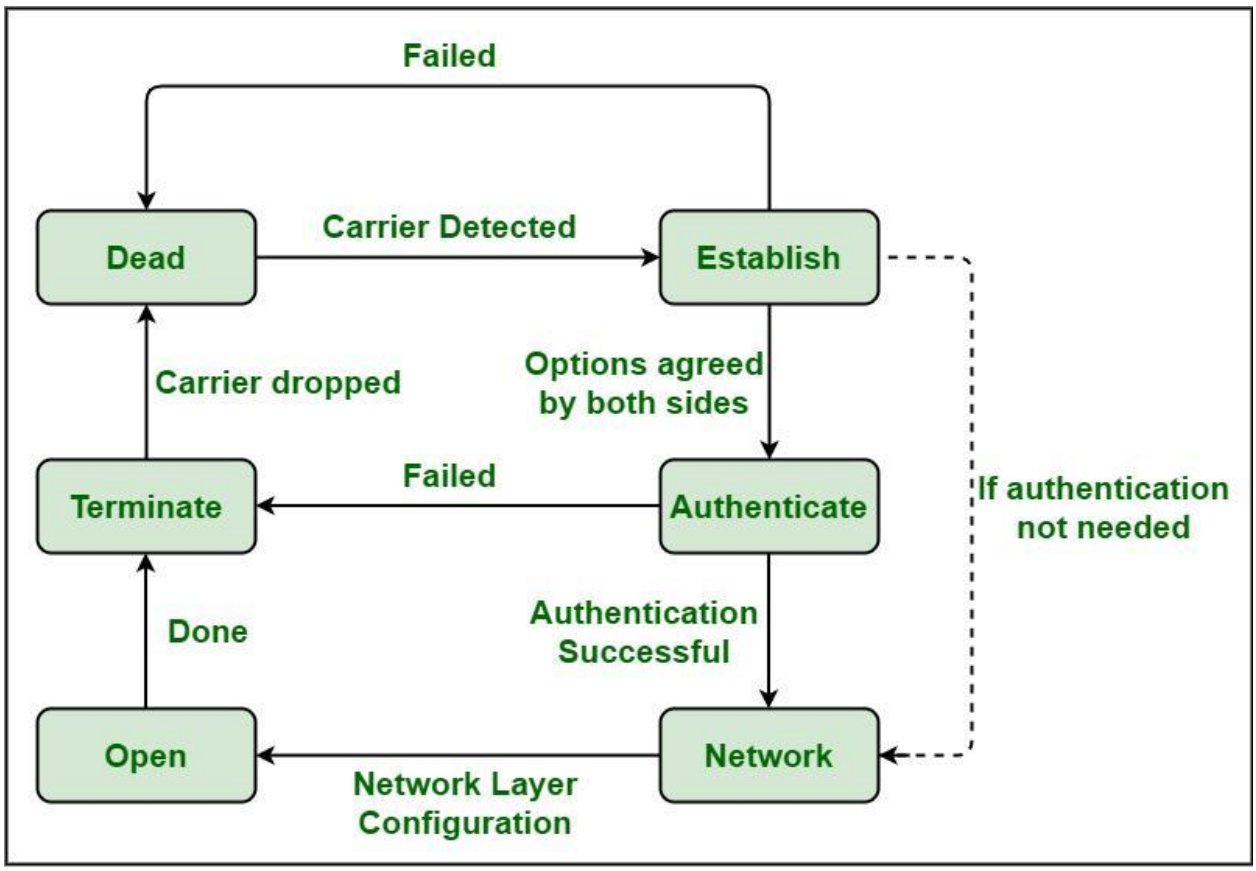
Кадр PPP построен на основе формата HDLC-подобной инкапсуляции.

Он содержит следующие поля:

Поле	Размер	Назначение
Flag	1 байт	Начало и конец кадра
Address	1 байт	Адресное поле
Control	1 байт	Управляющее поле
Protocol	2 байта	Тип передаваемого протокола
Information	Переменный	Полезные данные
FCS	2 или 4 байта	Контроль ошибок

3.5. Этапы установления PPP-соединения

Работа PPP включает несколько последовательных этапов.



Transition Phases

Этап 1. Установление физического соединения.

Между двумя устройствами создаётся физический канал связи.

Этап 2. Согласование параметров (LCP).

Протокол LCP (Link Control Protocol) устанавливает и настраивает параметры соединения.

Этап 3. Аутентификация.

При необходимости проверяется подлинность пользователя или устройства.

Для этого могут использоваться протоколы PAP или CHAP.

Этап 4. Настройка сетевого уровня (NCP).

Протоколы NCP (Network Control Protocol) согласуют параметры сетевых протоколов.

Например, IPCP используется для настройки IPv4, а IPv6CP предназначен для настройки IPv6.

Этап 5. Передача данных.

После согласования параметров начинается передача пользовательской информации.

Этап 6. Завершение соединения.

После завершения работы соединение закрывается с помощью механизмов LCP.

3.6. Протоколы аутентификации PAP и CHAP

В PPP могут применяться два основных протокола проверки подлинности.

PAP (Password Authentication Protocol)

PAP представляет собой простой протокол аутентификации.

Пользователь передаёт имя и пароль для проверки.

Особенности:

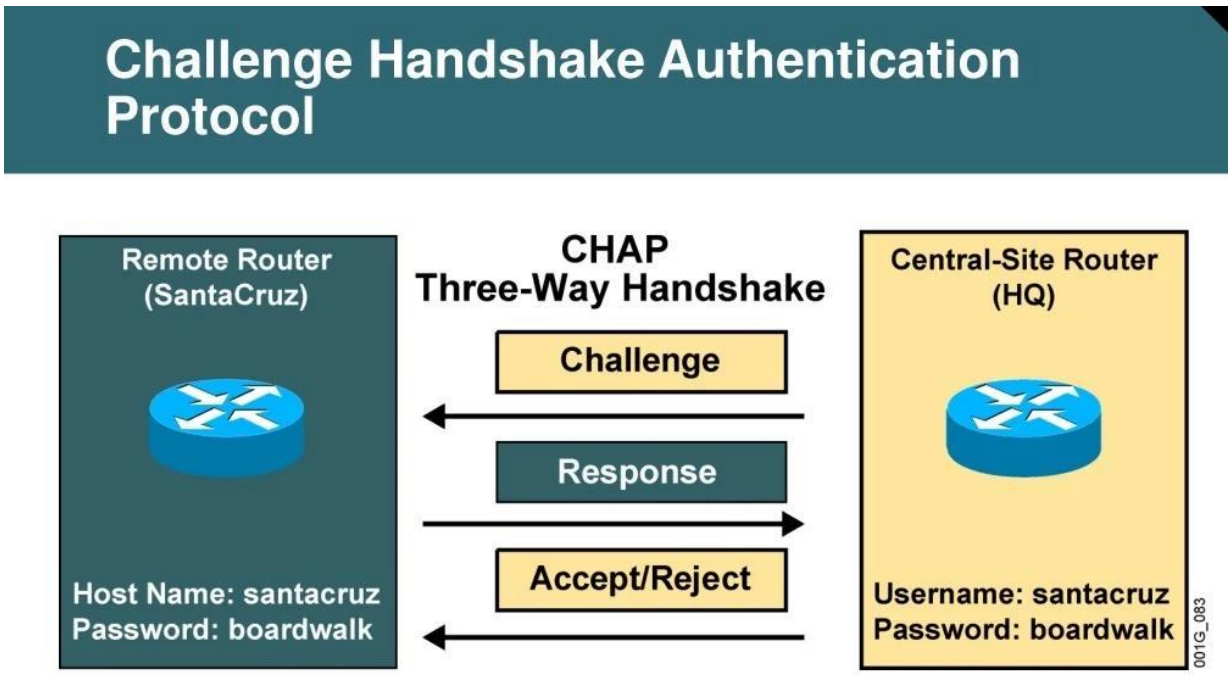
- простая реализация;
- передача пароля без криптографической защиты;
- невысокий уровень безопасности;
- может использоваться только в защищённой среде с дополнительными мерами защиты.

CHAP (Challenge Handshake Authentication Protocol)

CHAP использует механизм проверки с помощью запроса и ответа.

Принцип работы:

1. Сервер отправляет клиенту случайное значение (Challenge).
2. Клиент формирует ответ на основе полученного значения и секретного ключа.
3. Сервер выполняет собственный расчёт.
4. Полученные результаты сравниваются.
5. При совпадении проверка считается успешной.



- **Hash values, not actual passwords, are sent across the link.**
- **The local router or external server is in control of attempts.**

CHAP обеспечивает более безопасную проверку подлинности, чем PAP, но сам по себе не обеспечивает шифрование всего передаваемого трафика.

3.7. Сравнение HDLC и PPP

Характеристика	HDLC	PPP
Тип	Канальный протокол	Канальный протокол
Основное назначение	Передача кадров	Передача сетевых пакетов
Поддержка IPv4	Зависит от реализации	Да
Поддержка IPv6	Зависит от реализации	Да
Аутентификация	Не является стандартной функцией базового HDLC	PAP, CHAP
Согласование параметров	Ограниченное	LCP, NCP
Применение	Каналы между сетевыми устройствами	Двухточечные WAN-соединения

4. Функционирование IP-сети поверх сети ATM/FR

4.1. Общие сведения

Для передачи IP-пакетов могут использоваться различные технологии канального и физического уровней.

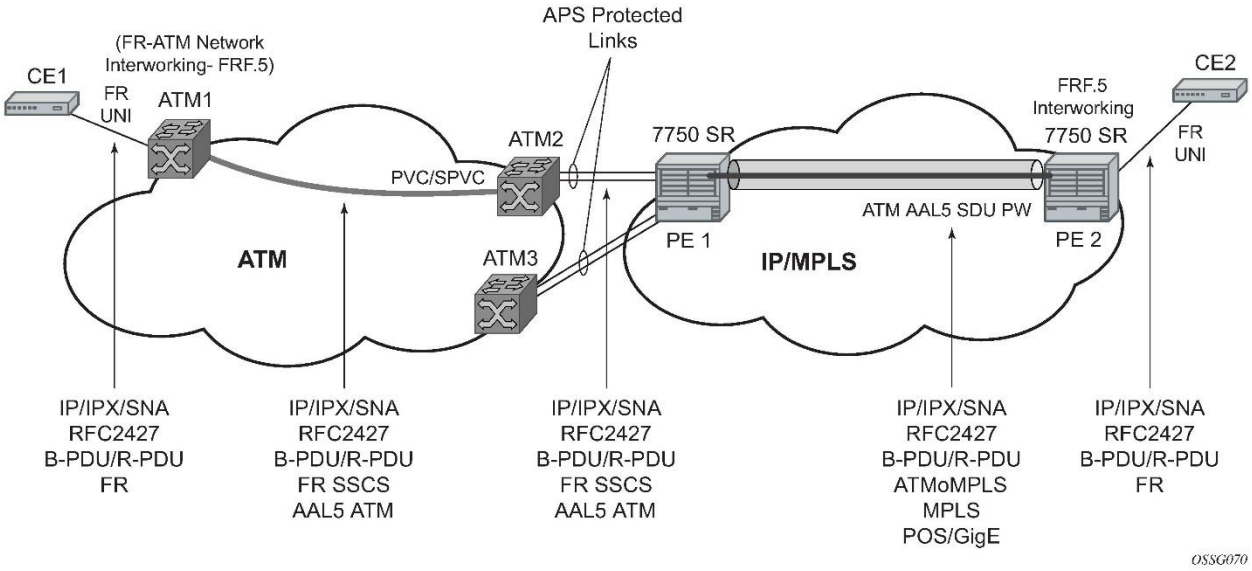
В частности, IP-сеть может функционировать поверх:

- **ATM (Asynchronous Transfer Mode);**

- **Frame Relay (FR).**

В этом случае IP выполняет функции сетевого уровня, а ATM или Frame Relay обеспечивают передачу информации через соответствующую инфраструктуру.

Иными словами, IP-пакеты помещаются в специальные структуры данных нижележащей технологии.



4.2. Технология IP поверх ATM

ATM представляет собой технологию передачи информации в виде ячеек фиксированного размера.

Размер одной ячейки составляет 53 байта:

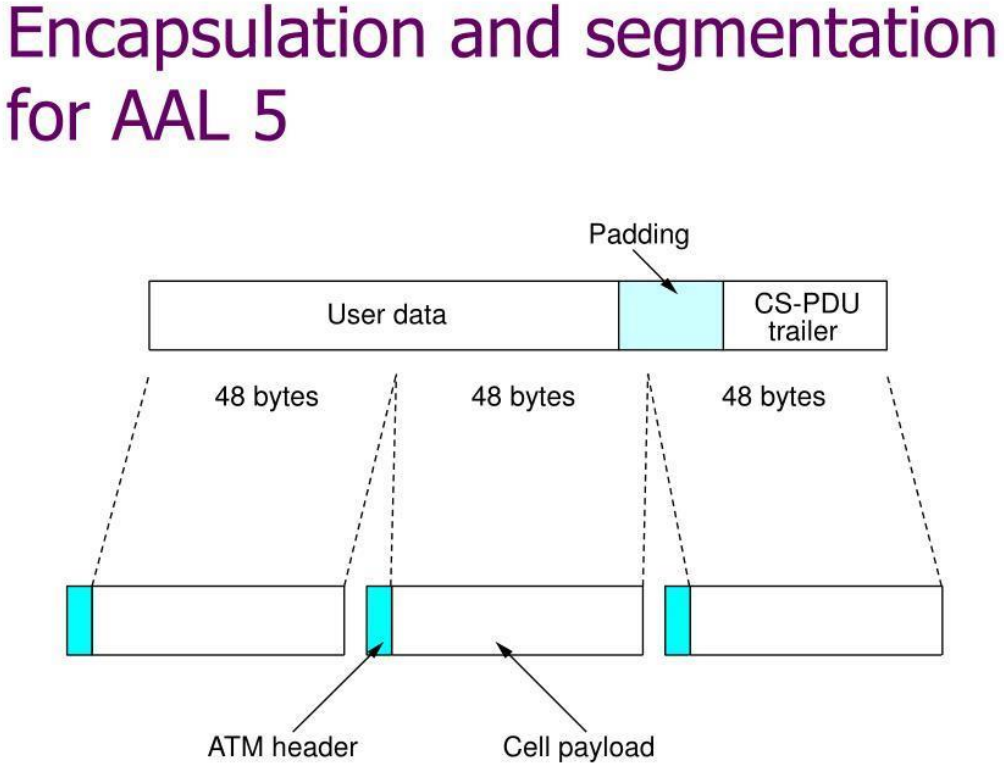
- 5 байт занимает заголовок;
- 48 байт занимает поле данных.

Для передачи IP-пакетов через ATM используется механизм инкапсуляции.

Одним из распространённых способов является LLC/SNAP Encapsulation в рамках AAL5.

Принцип работы:

1. Компьютер формирует IP-пакет.
2. Пакет передаётся на уровень адаптации ATM.
3. AAL5 подготавливает пакет к передаче.
4. Данные разделяются на части по 48 байт.
5. Каждая часть помещается в поле данных ATM-ячейки.
6. Ячейки передаются через ATM-коммутаторы.
7. На принимающей стороне выполняется сборка исходного пакета.



Роль AAL5

AAL5 (ATM Adaptation Layer 5) обеспечивает адаптацию пакетов сетевого уровня для передачи через ATM.

Он выполняет:

- сегментацию данных;
- сборку полученных частей;
- контроль целостности блока данных;
- формирование завершающей информации.

В отличие от передачи отдельных IP-пакетов непосредственно по Ethernet, ATM использует ячейки фиксированной длины.

4.3. Технология IP поверх Frame Relay

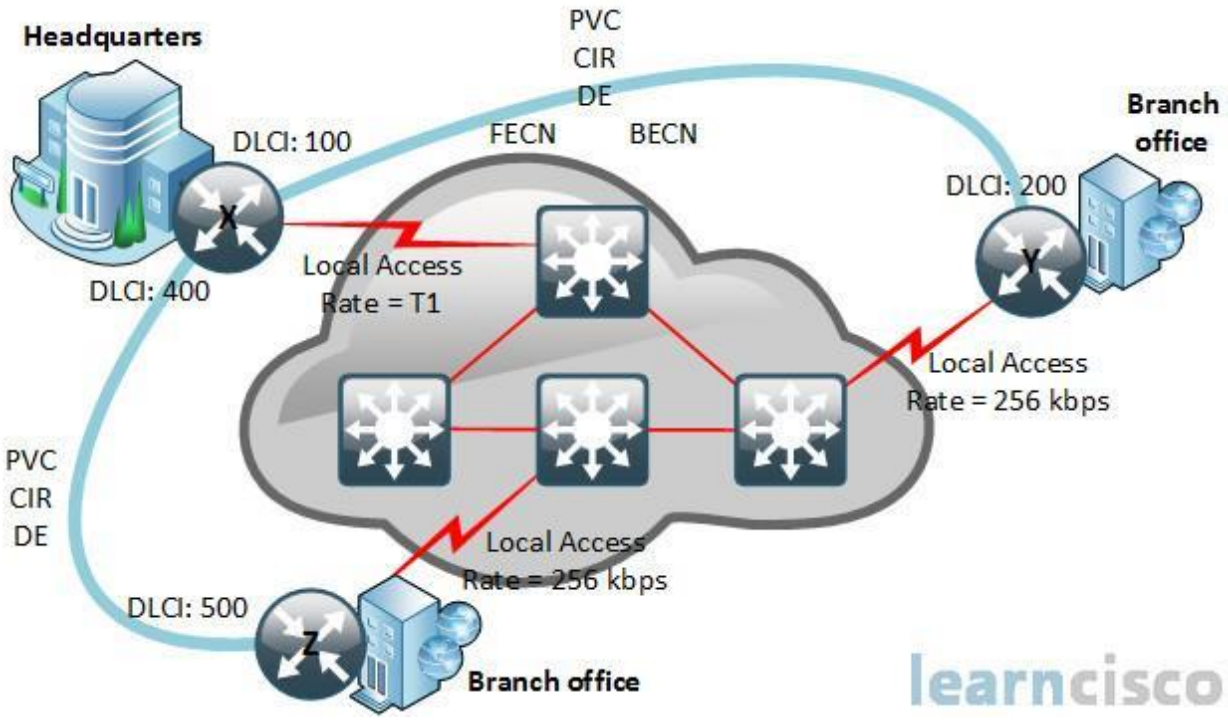
Frame Relay (FR) представляет собой технологию передачи данных по виртуальным каналам через сеть оператора связи.

Она предназначена для объединения удалённых локальных сетей и передачи информации между ними.

Основные особенности Frame Relay:

- использование виртуальных соединений;
- передача кадров переменной длины;
- применение идентификаторов DLCI;
- коммутация кадров в сети оператора;

- возможность объединения нескольких удалённых объектов.



4.4. Виртуальные каналы Frame Relay

Frame Relay использует виртуальные каналы для передачи данных.

Различают два основных вида:

PVC (Permanent Virtual Circuit)

Постоянный виртуальный канал, который заранее настраивается оператором связи.

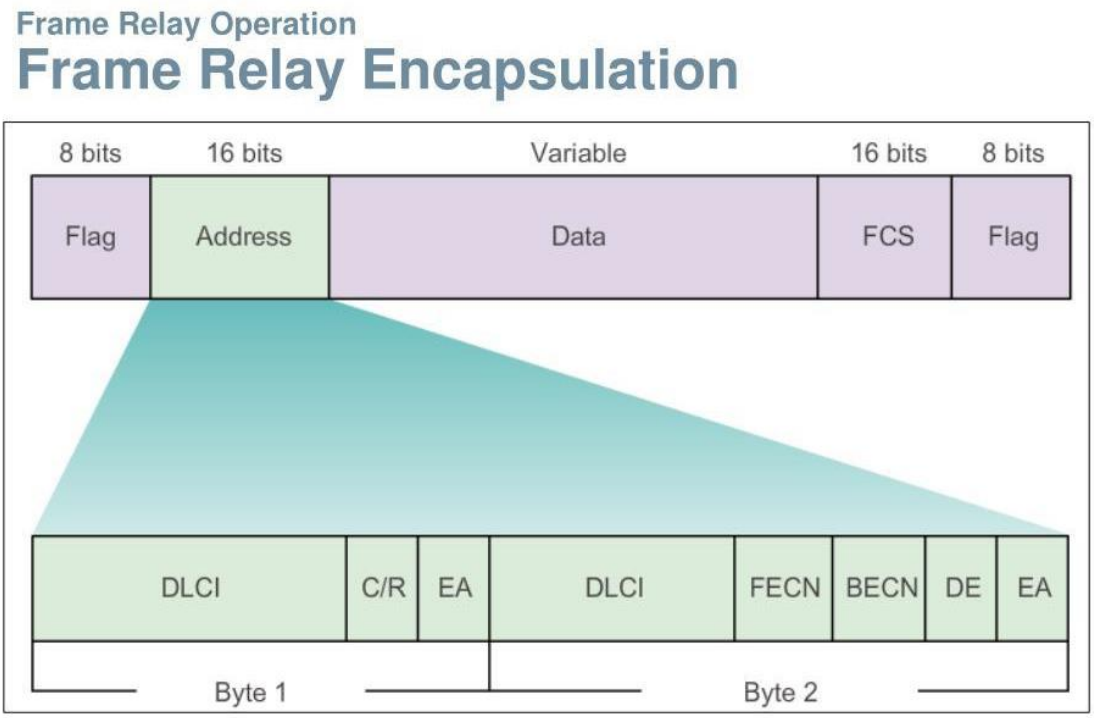
SVC (Switched Virtual Circuit)

Коммутируемый виртуальный канал, который создаётся по запросу и освобождается после завершения передачи.

Для идентификации виртуального соединения используется поле DLCI (Data Link Connection Identifier).

DLCI определяет виртуальный канал на определённом интерфейсе Frame Relay.

4.5. Структура кадра Frame Relay



Кадр Frame Relay содержит следующие элементы:

Поле	Назначение
Flag	Обозначение начала и конца кадра
Address	Адресная информация, включая DLCI
Information	Полезные данные
FCS	Контроль ошибок

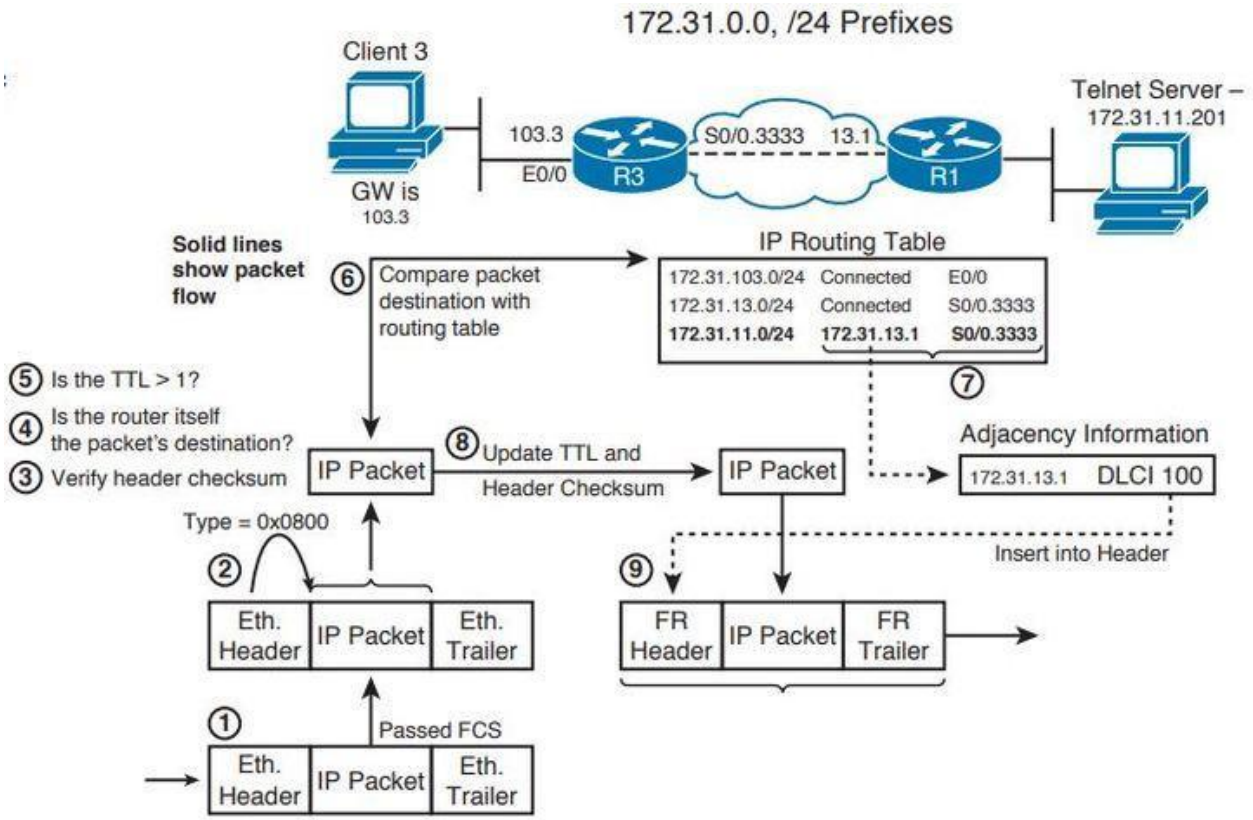
В отличие от ATM, Frame Relay передаёт кадры переменной длины.

4.6. Передача IP-пакетов через Frame Relay

Для передачи IP-пакетов через Frame Relay используется инкапсуляция.

Основные этапы:

1. Компьютер формирует IP-пакет.
2. Пакет передаётся маршрутизатору.
3. Маршрутизатор помещает IP-пакет в кадр Frame Relay.
4. В адресной информации указывается идентификатор DLCI.
5. Кадр поступает в сеть оператора.
6. Коммутаторы Frame Relay передают кадр по виртуальному каналу.
7. На стороне получателя кадр обрабатывается, а IP-пакет извлекается.



Для сопоставления IP-адресов и идентификаторов DLCI может применяться протокол Inverse ARP.

Он позволяет маршрутизатору определить IP-адрес удалённого устройства, связанного с определённым виртуальным каналом.

4.7. Сравнение ATM и Frame Relay

Характеристика	ATM	Frame Relay
Единица передачи	Ячейка	Кадр
Размер	53 байта	Переменный
Поле полезных данных	48 байт	Переменное
Идентификатор соединения	VPI/VCI	DLCI
Тип соединения	Виртуальные каналы	Виртуальные каналы
Контроль ошибок	HEC для заголовка, контроль AAL5 для блока данных	FCS
Основная особенность	Фиксированный размер ячеек	Кадры переменной длины

4.8. Сравнение способов передачи IP-пакетов

Рассмотрим три варианта передачи IP-пакетов.

Технология	Способ передачи	Роль в сети
IP over Ethernet	IP-пакет помещается в Ethernet-кадр	Локальные и глобальные сети
IP over ATM	IP-пакет адаптируется и передаётся в ATM-ячейках	Магистральные сети ATM

IP over Frame Relay	IP-пакет помещается в кадр Frame Relay	Корпоративные WAN

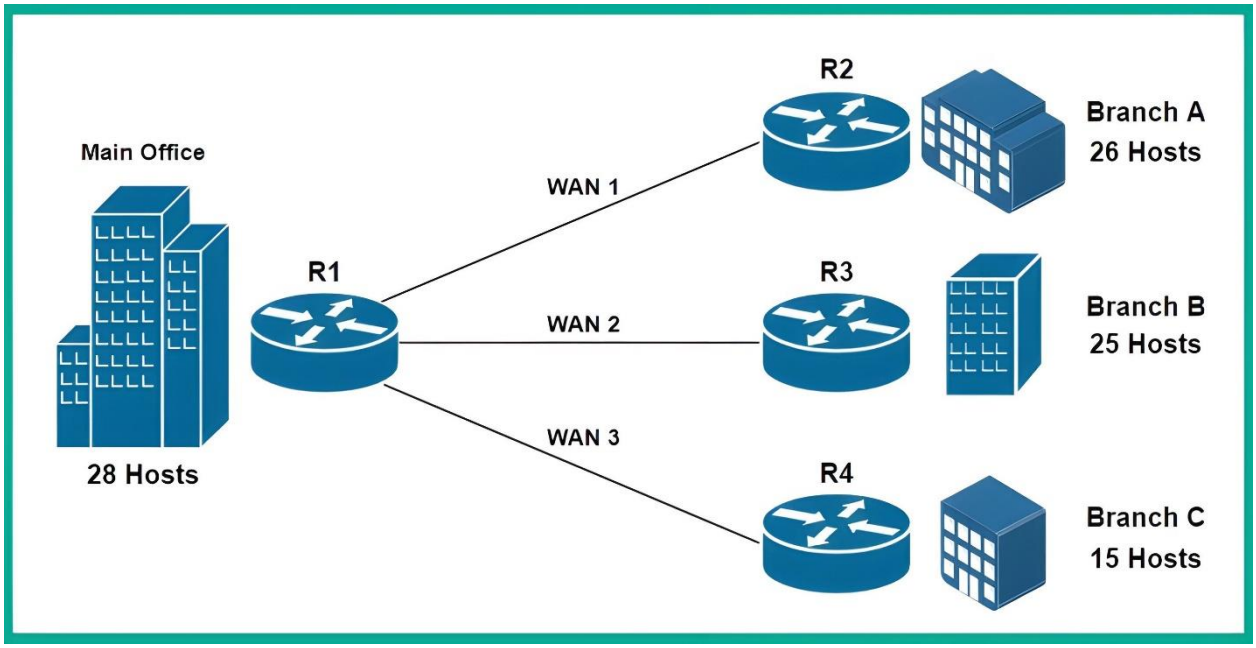
Таким образом, IP может работать поверх различных технологий канального уровня. Это позволяет использовать единую адресацию и маршрутизацию независимо от физической инфраструктуры сети.

5. Практический пример организации глобальной IP-сети

Рассмотрим предприятие, которое имеет головной офис и два филиала в разных городах.

Для организации связи используются следующие технологии:

- IP для адресации и передачи пакетов;
- PPP для организации двухточечного соединения;
- маршрутизаторы для передачи пакетов между сетями;
- оптоволоконные каналы для связи между городами.



Каждый филиал имеет собственную локальную сеть. Маршрутизаторы обеспечивают обмен IP-пакетами между подразделениями.

При необходимости оператор может использовать ATM или Frame Relay в качестве транспортной технологии для передачи IP-пакетов.

В результате сотрудники всех подразделений получают доступ к общим информационным ресурсам предприятия.

6. Заключение

Технология IP является основой современных глобальных компьютерных сетей. Она обеспечивает адресацию устройств и передачу пакетов между территориально удалёнными сетями.

Структура глобальной IP-сети включает сети доступа, региональные сети, магистральные каналы и автономные системы.

Для организации прямых соединений между сетевыми устройствами применяются двухточечные протоколы HDLC и PPP. Они обеспечивают инкапсуляцию данных, настройку соединений и контроль передачи.

IP может функционировать поверх различных технологий канального уровня, в том числе ATM и Frame Relay. При этом IP сохраняет свои функции адресации и маршрутизации, а нижележащая технология обеспечивает передачу пакетов через конкретную сетевую инфраструктуру.

7. Контрольные вопросы

1. Что такое протокол IP?
2. Какие функции выполняет IP в глобальной сети?
3. Чем IPv4 отличается от IPv6?
4. Из каких основных частей состоит IP-пакет?
5. Для чего предназначено поле TTL?
6. Какие уровни входят в структуру глобальной IP-сети?
7. Что такое автономная система AS?
8. Какую функцию выполняет протокол BGP?
9. Что представляет собой двухточечное соединение?
10. Какие функции выполняет протокол HDLC?
11. Для чего предназначен протокол PPP?
12. Какие этапы включает установление PPP-соединения?
13. Чем PAP отличается от CHAP?
14. Как осуществляется передача IP-пакетов через ATM?
15. Какую функцию выполняет AAL5?
16. Что представляет собой технология Frame Relay?
17. Для чего используется идентификатор DLCI?
18. Чем IP over ATM отличается от IP over Frame Relay?

8. Практические задания

Задание 1. Анализ IP-пакета.

Изучите структуру IPv4-пакета и определите назначение следующих полей:

- Version;
- Total Length;
- TTL;
- Protocol;
- Source Address;
- Destination Address.

Задание 2. Изучение PPP.

Составьте схему установления PPP-соединения между двумя маршрутизаторами.

Укажите назначение протоколов:

- LCP;
- PAP;
- CHAP;
- NCP.

Задание 3. Сравнение ATM и Frame Relay.

Заполните таблицу:

Критерий	ATM	Frame Relay
Единица передачи		
Размер блока		
Идентификатор канала		
Способ передачи IP		
Особенности		

Задание 4. Схема глобальной сети.

Разработайте схему предприятия с тремя филиалами.

Требуется:

1. Назначить IP-адреса локальным сетям.
2. Разместить маршрутизаторы.
3. Организовать двухточечные соединения.
4. Указать протокол PPP.
5. Показать путь передачи IP-пакета.
6. Объяснить, как изменится передача данных, если вместо PPP будет использована технология ATM или Frame Relay.

Дополнительная задача

IP-пакет размером 1500 байт необходимо передать через ATM с использованием AAL5.

Определите:

1. Сколько ATM-ячеек потребуется?
2. Какой объём полезных данных будет передан?
3. Какой общий объём составят все ячейки с учётом заголовков?

Подсказка: полезная нагрузка одной ATM-ячейки составляет 48 байт, общий размер ячейки составляет 53 байта. Для AAL5 необходимо учитывать дополнительный завершающий трейлер и выравнивание до границы ячейки.