

## Физический уровень

Физический уровень (Physical layer) имеет дело с передачей битов по физическим каналам связи, таким, как коаксиальный кабель, витая пара, оптоволоконный кабель или цифровой территориальный канал.

Физический уровень:

- передача битов по физическим каналам ;
- формирование электрических сигналов ;
- кодирование информации;
- синхронизация ;
- модуляция.

Реализуется аппаратно.

Функции физического уровня реализуются во всех устройствах, подключенных к сети. Со стороны компьютера функции физического уровня выполняются сетевым адаптером или последовательным портом.

## Канальный уровень

На физическом уровне просто пересылаются биты. При этом не учитывается, что в тех сетях, в которых линии связи используются (разделяются) попеременно несколькими парами взаимодействующих компьютеров, физическая среда передачи может быть занята.

Поэтому одной из задач канального уровня ( Data Link layer ) является проверка доступности среды передачи.

Другая задача канального уровня — реализация механизмов обнаружения и коррекции ошибок. Для этого на канальном уровне - биты группируются в наборы, называемые кадрами ( frames ).

**Канальный уровень обеспечивает корректность передачи каждого кадра помещая специальную последовательность бит в начало и конец каждого кадра, для его выделения, а также вычисляет контрольную сумму, обрабатывая все байты кадра определенным способом, и добавляет контрольную сумму к кадру.** Когда кадр приходит по сети, получатель снова вычисляет контрольную сумму полученных данных и сравнивает результат с контрольной суммой из кадра. Если они совпадают, кадр считается правильным и принимается. Если же контрольные суммы не совпадают, то фиксируется ошибка. Канальный уровень может не только обнаруживать ошибки, но и исправлять их за счет повторной передачи поврежденных кадров. Необходимо отметить, что функция исправления ошибок для канального уровня не является

обязательной, поэтому в некоторых протоколах этого уровня она отсутствует, например в Ethernet и frame relay.

### **Функции канального уровня**

Надежная доставка пакета:

1. Между двумя соседними станциями в сети с произвольной топологией.
2. Между любыми станциями в сети с типовой топологией:
  - проверка доступности разделяемой среды;
  - выделение кадров из потока данных, поступающих по сети; формирование кадров при отправке данных;
  - подсчет и проверка контрольной суммы.

Реализуются программно-аппаратно.

В локальных сетях протоколы канального уровня используются компьютерами, мостами, коммутаторами и маршрутизаторами. В компьютерах функции канального уровня реализуются совместными усилиями сетевых адаптеров и их драйверов.

Канальный уровень обеспечивает передачу пакетов данных, поступающих от протоколов верхних уровней, узлу назначения, адрес которого также указывает протокол верхнего уровня. Протоколы канального уровня оформляют переданные им пакеты в кадры собственного формата, помещая указанный адрес назначения в одно из полей такого кадра, а также сопровождая кадр контрольной суммой.

Другой областью действия протоколов канального уровня являются связи типа "точка-точка" глобальных сетей, когда протокол канального уровня ответственен за доставку кадра непосредственному соседу.

### **Сетевой уровень**

Сетевой уровень ( Network layer ) служит для образования единой транспортной системы, объединяющей несколько сетей, причем эти сети могут использовать различные принципы передачи сообщений между конечными узлами и обладать произвольной структурой связей.

Протоколы канального уровня локальных сетей обеспечивают доставку данных между любыми узлами только в сети с соответствующей типовой топологией, например топологией иерархической звезды.

На сетевом уровне сам термин "**сеть**" наделяют специфическим значением. В данном случае под сетью понимается совокупность компьютеров, соединенных между собой в соответствии с одной из стандартных типовых топологий и использующих для передачи данных один из протоколов канального уровня, определенный для этой топологии.

Внутри сети доставка данных обеспечивается соответствующим канальным уровнем, а вот доставкой данных между сетями занимается сетевой уровень, который и поддерживает

возможность правильного выбора маршрута передачи сообщения даже в том случае, когда структура связей между составляющими сетями имеет характер, отличный от принятого в протоколах канального уровня.

Сети соединяются между собой специальными устройствами, называемыми маршрутизаторами.

**Маршрутизатор** — это устройство, которое собирает информацию о топологии межсетевых соединений и пересылает пакеты сетевого уровня в сеть назначения. Чтобы передать сообщение от отправителя, находящегося в одной сети, получателю, находящемуся в другой сети, нужно совершить некоторое количество транзитных передач между сетями, или хопов (от слова hop — прыжок), каждый раз выбирая подходящий маршрут. Таким образом, **маршрут** представляет собой последовательность маршрутизаторов, через которые проходит пакет.

Сетевой уровень — доставка пакета:

- между любыми двумя узлами сети с произвольной топологией;
- между любыми двумя сетями в составной сети ;
- сеть — совокупность компьютеров, использующих для обмена данными единую сетевую технологию;
- маршрут — последовательность прохождения пакетом маршрутизаторов в составной сети .

Проблема выбора наилучшего пути называется **маршрутизацией**, и ее решение является одной из главных задач сетевого уровня. Эта проблема осложняется тем, что самый короткий путь — не всегда самый лучший.

Сетевой уровень также решает задачи согласования разных технологий, упрощения адресации в крупных сетях и создания надежных и гибких барьеров на пути нежелательного трафика между сетями.

Сообщения сетевого уровня принято называть **пакетами ( packet )**. При организации доставки пакетов на сетевом уровне используется понятие "номер сети". В этом случае адрес получателя состоит из старшей части — номера сети и младшей — номера узла в этой сети. Все узлы одной сети должны иметь одну и ту же старшую часть адреса, поэтому термину "сеть" на сетевом уровне можно дать и другое, более формальное, определение: сеть — это совокупность узлов, сетевой адрес которых содержит один и тот же номер сети.

На сетевом уровне определяется два вида протоколов. Первый вид — сетевые протоколы (routed protocols) — реализуют продвижение пакетов через сеть. Именно эти протоколы обычно имеют в виду, когда говорят о протоколах сетевого уровня. Однако часто к сетевому уровню относят и другой вид протоколов, называемых протоколами обмена маршрутной информацией или просто протоколами маршрутизации (routing protocols). С помощью этих протоколов маршрутизаторы собирают информацию о топологии межсетевых соединений. Протоколы сетевого уровня

реализуются программными модулями операционной системы, а также программными и аппаратными средствами маршрутизаторов.

На сетевом уровне работают протоколы еще одного типа, которые отвечают за отображение адреса узла, используемого на сетевом уровне, в локальный адрес сети. Такие протоколы часто называют протоколами разрешения адресов — Address Resolution Protocol, ARP . Иногда их относят не к сетевому уровню, а к канальному, хотя тонкости классификации не изменяют сути.

Примерами протоколов сетевого уровня являются протокол межсетевого взаимодействия IP стека TCP/IP и протокол межсетевого обмена пакетами IPX стека Novell.

### **Транспортный уровень**

На пути от отправителя к получателю пакеты могут быть искажены или утеряны. Хотя некоторые приложения имеют собственные средства обработки ошибок, существуют и такие, которые предпочитают сразу иметь дело с надежным соединением. Транспортный уровень ( Transport layer ) обеспечивает приложениям или верхним уровням стека — прикладному и сеансовому — передачу данных с той степенью надежности, которая им требуется.

Транспортный уровень — обеспечение доставки информации с требуемым качеством между любыми узлами сети:

- разбивка сообщения сеансового уровня на пакеты, их нумерация ;
- буферизация принимаемых пакетов ;
- упорядочивание прибывающих пакетов ;
- адресация прикладных процессов ;
- управление потоком.

Как правило, все протоколы, начиная с транспортного уровня и выше, реализуются программными средствами конечных узлов сети — компонентами их сетевых операционных систем. В качестве примера транспортных протоколов можно привести протоколы TCP и UDP стека TCP/IP и протокол SPX стека Novell.

Протоколы четырех нижних уровней обобщенно называют сетевым транспортом или транспортной подсистемой, так как они полностью решают задачу транспортировки сообщений с заданным уровнем качества в составных сетях с произвольной топологией и различными технологиями. Остальные три верхних уровня решают задачи предоставления прикладных сервисов на основании имеющейся транспортной подсистемы.

### **Сеансовый уровень**

Сеансовый уровень ( Session layer ) обеспечивает управление диалогом: фиксирует, какая из сторон является активной в настоящий момент, предоставляет средства синхронизации. Последние позволяют вставлять контрольные точки в длинные передачи, чтобы в случае отказа можно было вернуться назад к последней контрольной точке, а не начинать все сначала. На

практике немногие приложения используют сеансовый уровень, и он редко реализуется в виде отдельных протоколов, хотя функции этого уровня часто объединяют с функциями прикладного уровня и реализуют в одном протоколе.

Сеансовый уровень — управление диалогом объектов прикладного уровня:

- установление способа обмена сообщениями ( дуплексный или полудуплексный );
- синхронизация обмена сообщениями;
- организация " контрольных точек " диалога.

### **Представительный уровень**

Представительный уровень ( Presentation layer ) имеет дело с формой представления передаваемой по сети информации, не меняя при этом ее содержания. За счет уровня представления информация, передаваемая прикладным уровнем одной системы, всегда понятна прикладному уровню другой системы. С помощью средств данного уровня протоколы прикладных уровней могут преодолеть синтаксические различия в представлении данных или же различия в кодах символов, например в кодах ASCII и EBCDIC. На этом уровне может выполняться шифрование и дешифрование данных, благодаря которому секретность обмена данными обеспечивается сразу для всех прикладных служб. Примером такого протокола является протокол Secure Socket Layer (SSL), который обеспечивает секретный обмен сообщениями для протоколов прикладного уровня стека TCP/IP.

Уровень представления — согласовывает представление (синтаксис) данных при взаимодействии двух прикладных процессов:

- преобразование данных из внешнего формата во внутренний;
- шифрование и расшифровка данных.

### **Прикладной уровень**

Прикладной уровень ( Application layer ) — это в действительности просто набор разнообразных протоколов, с помощью которых пользователи сети получают доступ к разделяемым ресурсам, таким как файлы, принтеры или гипертекстовые Web-страницы, а также организуют совместную работу, например с помощью протокола электронной почты. Единица данных, которой оперирует прикладной уровень, обычно называется сообщением ( message ).

Прикладной уровень — набор всех сетевых сервисов, которые предоставляет система конечному пользователю:

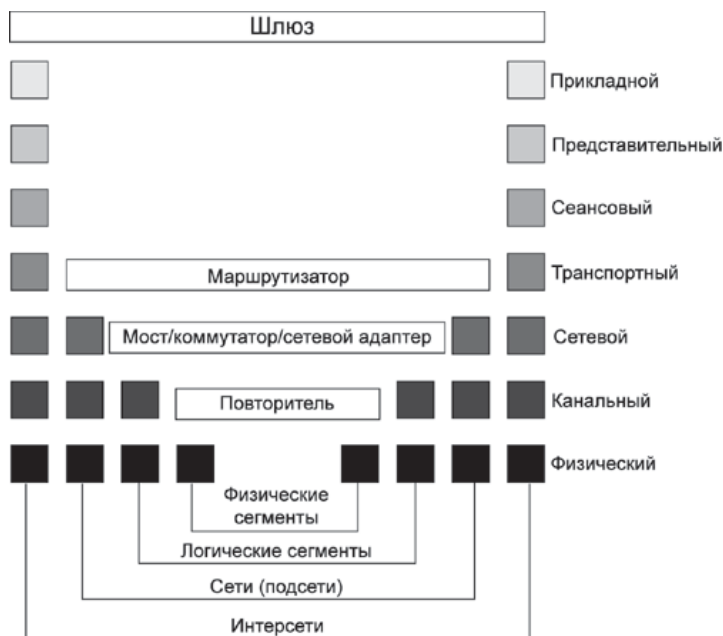
- идентификация, проверка прав доступа;
- принт- и файл-сервис, почта, удаленный доступ...

Существует очень много различных служб прикладного уровня. Приведем в качестве примера хотя бы несколько наиболее распространенных реализаций файловых служб: NCP в операционной системе Novell NetWare, SMB в Microsoft Windows NT, NFS, FTP и TFTP, входящие в стек TCP/IP.

Три нижних уровня — физический, канальный и сетевой — являются сетезависимыми, то есть протоколы этих уровней тесно связаны с технической реализацией сети и используемым коммуникационным оборудованием. Например, переход на оборудование FDDI означает полную смену протоколов физического и канального уровней во всех узлах сети.

Три верхних уровня — прикладной, представительный и сеансовый — ориентированы на приложения и мало зависят от технических особенностей построения сети. На протоколы этих уровней не влияют какие бы то ни было изменения в топологии сети, замена оборудования или переход на другую сетевую технологию. Так, переход от Ethernet к высокоскоростной технологии 100VG-AnyLAN не потребует никаких изменений в программных средствах, реализующих функции прикладного, представительного и сеансового уровней.

Транспортный уровень является промежуточным, он скрывает все детали функционирования нижних уровней от верхних. Это позволяет разрабатывать приложения, не зависящие от технических средств непосредственной транспортировки сообщений.



**Рис. 11.10.** Соответствие функций различных устройств сети уровням модели OSI.

1. Прикладной уровень (Application)	WWW, FTP, TFTP, SNMP, Telnet, SMTP, DNS, DHCP, WINS
2. Транспортный уровень (Transport)	TCP, UDP
3. Уровень межсетевого взаимодействия (Internet)	ARP, IP, ICMP, RIP, OSPF
4. Уровень сетевого интерфейса (Network Interface)	Не регламентируется спецификациями стека TCP/IP (Ethernet, Token Ring, FDDI, ATM, X.25, Frame Relay, SLIP, PPP)

## Преимущества стека протоколов TCP/IP

- Основное достоинство стека протоколов TCP/IP в том, что он обеспечивает надежную связь между сетевым оборудованием от различных производителей.
- Независимость от сетевой технологии — стек только определяет элемент передачи, дейтаграмму, и описывает способ ее движения по сети.
- Всеобщая связанность — стек позволяет любой паре компьютеров, которые его поддерживают, взаимодействовать друг с другом. Каждому компьютеру назначается логический адрес, а каждая передаваемая дейтаграмма содержит логические адреса отправителя и получателя. Промежуточные маршрутизаторы используют адрес получателя для принятия решения о маршрутизации.
- Подтверждения. Протоколы стека обеспечивают подтверждения правильности прохождения информации при обмене между отправителем и получателем.
- Стандартные прикладные протоколы. Протоколы стека TCP/IP включают в свой состав средства поддержки основных приложений, таких как электронная почта, передача файлов, удаленный доступ и т.д.

Кратко опишем уровни модели TCP/IP.

1. Уровень сетевого интерфейса не регламентирован спецификациями стека TCP/IP и фактически к стеку TCP/IP относят уровни с 1-го по 3-й модели TCP/IP. Данный уровень соответствует физическому и канальному уровням модели OSI.
2. Уровень межсетевого взаимодействия. На данном уровне функционирует целое семейство протоколов. Основная задача данного уровня — доставка пакетов от одного узла-отправителя к узлу-получателю
  - Эту задачу выполняет протокол IP (Internet Protocol, протокол межсетевого взаимодействия). Протокол IP — базовый протокол стека TCP/IP и основной протокол сетевого уровня. Отвечает за передачу информации по сети. В его основе заложен дейтаграммный метод, который не гарантирует доставку пакета.
  - Протокол ARP (Address Resolution Protocol, протокол разрешения физических адресов) — служит связующим звеном между уровнем межсетевого взаимодействия и уровнем сетевого интерфейса. Он преобразует IP-адреса сетевых узлов в физические MAC-адреса соответствующих сетевых адаптеров. Протокол ARP предполагает, что каждое устройство знает как свой IP-адрес, так и свой физический адрес. ARP динамически связывает их и заносит в специальную таблицу, где хранятся пары "IP-адрес – физический адрес" (обычно каждая запись в ARP-таблице имеет время жизни 10 мин.).
  - Протокол ICMP (Internet Control Message Protocol, протокол межсетевых управляющих сообщений) — служит для обмена информацией об ошибках. С

помощью специальных пакетов ICMP сообщает сетевым узлам информацию о невозможности доставки пакета, о превышении времени жизни пакета и др.

- Протоколы RIP (Routing Internet Protocol) и OSPF (Open Shortest Path First) служат для построения таблиц маршрутизации и вычисления маршрутов при отправке пакетов между различными IP-сетями.

### 3. Транспортный уровень.

- Протокол TCP (Transmission Control Protocol, протокол управления передачей) обеспечивает, базируясь на услугах протокола IP, надежную передачу сообщений между сетевыми узлами с помощью образования соединений (сеансов) между данными узлами. Такие протоколы прикладного уровня, как HTTP и FTP, передают протоколу TCP свои данные для транспортировки. Поэтому скоростные характеристики TCP оказывают непосредственное влияние на производительность приложений. Кроме того, протокол TCP используется для обработки запросов на вход в сеть, разделения ресурсов и т.д. На протокол TCP, в частности, возложена задача управления потоками и перегрузками. Он отвечает за согласование скорости передачи данных с техническими возможностями рабочей станции-получателя и промежуточных устройств в сети.
- Протокол UDP (User Datagram Protocol, протокол дейтаграмм пользователя) обеспечивает передачу прикладных пакетов дейтаграммным способом (т.е. не гарантирующим доставку пакетов). Работа этого протокола аналогична IP, но основной его задачей является связь сетевого протокола и различных приложений.

### 4. Прикладной уровень. Приложения, перечисленные в [табл. 1.2](#), специально разрабатывались для функционирования в сетях TCP/IP.

- Протоколы для формирования сетевой инфраструктуры (DNS, DHCP, WINS) будут рассмотрены в следующих разделах данного курса.
- Приложения WWW (World Wide Web, Всемирная паутина) — основа для работы современной сети Интернет. Протокол FTP (File Transfer Protocol, протокол передачи файлов) реализует удаленную передачу файлов между узлами сети.
- Протокол TFTP (Trivial File Transfer Protocol, простейший протокол пересылки файлов) — более простой передачи файлов, в отличие от FTP не требующий аутентификации пользователя на удаленном узле и использующий протокол UDP для передачи информации.
- Протокол SNMP (Simple Network Management Protocol, простой протокол управления сетью) используется для организации управления сетевыми узлами.