

Сетевые протоколы

Протокол (protocol) - набор правил, алгоритм обмена информацией между абонентами сети.

Протоколы (protocols) - это правила и технические процедуры, позволяющие нескольким компьютерам при объединении в сеть общаться друг с другом.

Три основных момента, касающихся протоколов.

1. Существует множество протоколов. И хотя все они участвуют в реализации связи, каждый протокол имеет различные цели, выполняет различные задачи, обладает своими преимуществами и ограничениями.
2. Протоколы работают на разных уровнях модели OSI. Функции протокола определяются уровнем, на котором он работает.
3. Если, например, какой-то протокол работает на Физическом уровне, то это означает, что он обеспечивает прохождение пакетов через плату сетевого адаптера и их поступление в сетевой кабель.
4. Несколько протоколов могут работать совместно. Это так называемый стек, или набор, протоколов.

Как сетевые функции распределены по всем уровням модели OSI, так и протоколы совместно работают на различных уровнях стека протоколов. Уровни в стеке протоколов соответствуют уровням модели OSI. В совокупности протоколы дают полную характеристику функциям и возможностям стека.

Работа протоколов

Передача данных по сети, с технической точки зрения, должна быть разбита на ряд последовательных шагов, каждому из которых соответствуют свои правила и процедуры, или протокол. Таким образом, сохраняется строгая очередность в выполнении определенных действий.

Кроме того, эти действия (шаги) должны быть выполнены в одной и той же последовательности на каждом сетевом компьютере. На компьютере-отправителе эти действия выполняются в направлении сверху вниз, а на компьютере-получателе - снизу вверх.

Компьютер-отправитель

Компьютер-отправитель в соответствии с протоколом выполняет следующие действия:

- разбивает данные на небольшие блоки, называемые пакетами, с которыми может работать протокол;
- добавляет к пакетам адресную информацию, чтобы компьютер-получатель мог определить, что эти данные предназначены именно ему;
- подготавливает данные к передаче через плату сетевого адаптера и далее - по сетевому кабелю.

Компьютер-получатель

Компьютер-получатель в соответствии с протоколом выполняет те же действия, но только в обратном порядке:

- принимает пакеты данных из сетевого кабеля;
- через плату сетевого адаптера передает пакеты в компьютер;
- удаляет из пакета всю служебную информацию, добавленную компьютером-отправителем;
- копирует данные из пакетов в буфер - для их объединения в исходный блок данных;
- передает приложению этот блок данных в том формате, который оно использует.

И компьютеру-отправителю, и компьютеру-получателю необходимо выполнять каждое действие одинаковым способом, с тем чтобы пришедшие по сети данные совпадали с отправленными. Если, например, два протокола будут по-разному разбивать данные на пакеты и добавлять информацию (о последовательности пакетов, синхронизации и для проверки ошибок), тогда компьютер, использующий один из этих протоколов, не сможет успешно связаться с компьютером, на котором работает другой протокол.

Маршрутизируемые и немаршрутизируемые протоколы

До середины 80-х годов большинство локальных сетей были изолированными. Они обслуживали один отдел или одну компанию и редко объединялись в крупные системы. Однако, когда локальные сети достигли высокого уровня развития и объем передаваемой ими коммерческой информации возрос, ЛВС стали компонентами больших сетей.

Данные, передаваемые из одной локальной сети в другую по одному из возможных маршрутов, называются маршрутизируемыми. Протоколы, которые поддерживают передачу данных между сетями по нескольким маршрутам, называются маршрутизируемыми (routable) протоколами. Так как маршрутизируемые протоколы могут использоваться для объединения нескольких локальных сетей в глобальную сеть, их роль постоянно возрастает.

Протоколы в многоуровневой архитектуре

Несколько протоколов, которые работают в сети одновременно, обеспечивают следующие операции с данными:

1. подготовку;
2. передачу;
3. прием;
4. последующие действия.

Работа различных протоколов должна быть скоординирована так чтобы исключить конфликты или незаконченные операции. Этого можно достичь с помощью разбиения на уровни.

Стеки протоколов

Стек протоколов (protocol stack) - это комбинация протоколов. Каждый уровень определяет различные протоколы для управления функциями связи или ее подсистемами. Каждому уровню присущ свой набор правил.

Привязка

Процесс, который называется привязка, позволяет с достаточной гибкостью настраивать сеть, т.е. сочетать протоколы и платы сетевых адаптеров, как того требует ситуация. Например, два стека протоколов, IPX/SPX и TCP/IP, могут быть привязаны к одной плате сетевого адаптера. Если на компьютере более одной платы сетевого адаптера, то стек протоколов может быть привязан как к одной, так и к нескольким платам сетевого адаптера.

Порядок привязки определяет очередность, с которой операционная система выполняет протоколы. Если с одной платой сетевого адаптера связано несколько протоколов, то порядок привязки определяет очередность, с которой будут использоваться протоколы при попытках установить соединение. Обычно привязку выполняют при установке операционной системы или протокола. Например, если TCP/IP - первый протокол в списке привязки, то именно он будет использоваться при попытке установить связь. Если попытка неудачна, компьютер попытается установить соединение, используя следующий по порядку протокол в списке привязки.

Стандартные стеки

В компьютерной промышленности в качестве стандартных моделей протоколов разработано несколько стеков. Вот наиболее важные из них:

- набор протоколов ISO/OSI;
- IBM System Network Architecture (SNA);
- Digital DECnet;
- Novell NetWare;
- Apple AppleTalk;
- набор протоколов Интернета, TCP/IP.

Протоколы этих стеков выполняют работу, специфичную для своего уровня. Однако коммуникационные задачи, которые возложены на сеть, приводят к разделению протоколов на три типа:

1. прикладной;
2. транспортный;
3. сетевой.

Схема расположения этих типов соответствует модели OSI.

Прикладные протоколы

Прикладные протоколы работают на верхнем уровне модели OSI. Они обеспечивают взаимодействие приложений и обмен данными между ними. К наиболее популярным прикладным протоколам относятся:

- APPC (Advanced Program-to-Program Communication) - одноранговый SNA-протокол фирмы IBM, используемый в основном на AS/400;
- FTAM (File Transfer Access and Management) - протокол OSI доступа к файлам;
- X.400 - протокол CCITT для международного обмена электронной почтой;
- X.500 - протокол CCITT служб файлов и каталогов на нескольких системах;
- SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) - протокол Интернета для обмена электронной почтой;
- FTP (File Transfer Protocol) - протокол Интернета для передачи файлов;
- SNMP (Simple Network Management Protocol) - протокол Интернета для мониторинга сети и сетевых компонентов;
- Telnet - протокол Интернета для регистрации на удаленных хостах и обработки данных на них;
- Microsoft SMBs (Server Message Blocks, блоки сообщений сервера) и клиентские оболочки или редиректоры;
- NCP (Novell NetWare Core Protocol) и клиентские оболочки или редиректоры фирмы Novell;
- Apple Talk и Apple Share - набор сетевых протоколов фирмы Apple;
- AFP (AppleTalk Filling Protocol) - протокол удаленного доступа к файлам фирмы Apple;
- DAP (Data Access Protocol) - протокол доступа к файлам сетей DECnet.

Транспортные протоколы

Транспортные протоколы поддерживают сеансы связи между компьютерами и гарантируют надежный обмен данных между ними. К популярным транспортным протоколам относятся:

- TCP (Transmission Control Protocol) - TCP/IP-протокол для гарантированной доставки данных, разбитых на последовательность фрагментов;
- SPX - часть набора протоколов IPX/SPX (Internetwork Packet Exchange/Sequential Packet Exchange) для данных, разбитых на последовательность фрагментов, фирмы Novell;
- NWLink - реализация протокола IPX/SPX от фирмы Microsoft;
- NetBEUI [NetBIOS (Network Basic Input/Output System) Extended User Interface - расширенный интерфейс пользователя] - устанавливает сеансы связи между компьютерами (NetBIOS) и предоставляет верхним уровням транспортные услуги (NetBEUI);
- ATP (AppleTalk Transaction Protocol), NBP (Name Binding Protocol) - протоколы сеансов связи и транспортировки данных фирмы Apple.

Сетевые протоколы

Сетевые протоколы обеспечивают услуги связи. Эти протоколы управляют несколькими типами данных: адресацией, маршрутизацией, проверкой ошибок и запросами на повторную передачу. Сетевые протоколы, кроме того, определяют правила для осуществления связи в конкретных сетевых средах, например Ethernet или Token Ring. К наиболее популярным сетевым протоколам относятся:

- IP (Internet Protocol) - TCP/IP-протокол для передачи пакетов;
- IPX (Internetwork Packet Exchange) - протокол фирмы NetWare для передачи и маршрутизации пакетов;
- NWLink - реализация протокола IPX/SPX фирмой Microsoft;
- NetBEUI - транспортный протокол, обеспечивающий услуги транспортировки данных для сеансов и приложений NetBIOS;
- DDP (Datagram Delivery Protocol) - AppleTalk-протокол транспортировки данных.

Стандартные стеки коммуникационных протоколов

Важнейшим направлением стандартизации в области вычислительных сетей является стандартизация коммуникационных протоколов. В настоящее время в сетях используется большое количество стеков коммуникационных протоколов. Наиболее популярными являются стеки: TCP/IP, IPX/SPX, NetBIOS/SMB, DECnet, SNA и OSI. Все эти стеки, кроме SNA на нижних уровнях - физическом и канальном, - используют одни и те же хорошо стандартизованные протоколы Ethernet, Token Ring, FDDI и некоторые другие, которые позволяют использовать во всех сетях одну и ту же аппаратуру. Зато на верхних уровнях все стеки работают по своим собственным протоколам. Эти протоколы часто не соответствуют рекомендуемой модели OSI разбиению на уровни. В частности, функции сеансового и представительного уровня, как правило, объединены с прикладным уровнем. Такое несоответствие связано с тем, что модель OSI появилась как результат обобщения уже существующих и реально используемых стеков, а не наоборот.

Стек OSI

Следует четко различать модель OSI и стек OSI. В то время как модель OSI является концептуальной схемой взаимодействия открытых систем, стек OSI представляет собой набор вполне конкретных спецификаций протоколов. В отличие от других стеков протоколов стек OSI полностью соответствует модели OSI, он включает спецификации протоколов для всех семи уровней взаимодействия, определенных в этой модели. На нижних уровнях стек OSI поддерживает Ethernet, Token Ring, FDDI, протоколы глобальных сетей, X.25 и ISDN, - то есть использует разработанные вне стека протоколы нижних уровней, как и все другие стеки. Протоколы сетевого, транспортного и сеансового уровней стека OSI специфицированы и реализованы различными производителями, но распространены пока мало. Наиболее популярными протоколами стека OSI являются прикладные протоколы. К ним относятся: протокол передачи файлов FT AM, протокол эмуляции терминала VTP, протоколы справочной службы X.500, электронной почты X.400 и ряд других.

Стек OSI - международный, независимый от производителей стандарт. Его поддерживает правительство США в своей программе GOSIP, в соответствии с которой все компьютерные сети, устанавливаемые в правительственных учреждениях США после 1990 года, должны или непосредственно поддерживать стек OSI, или обеспечивать средства для перехода на этот стек в будущем. Тем не менее стек OSI более популярен в Европе, чем в США, так как в Европе осталось меньше старых сетей, работающих по своим собственным протоколам.

Стек TCP/IP

Стек TCP/IP был разработан по инициативе Министерства обороны США более 25 лет назад для связи экспериментальной сети ARPAnet с другими сетями как набор общих протоколов для разнородной вычислительной среды. Большой вклад в развитие стека TCP/IP, который получил свое название по популярным протоколам IP и TCP, внес университет Беркли, реализовав протоколы стека в своей версии ОС UNIX. Популярность этой операционной системы привела к широкому распространению протоколов TCP, IP и других протоколов стека. Сегодня этот стек используется для связи компьютеров всемирной информационной сети Internet, а также в огромном числе корпоративных сетей.

Стек TCP/IP на нижнем уровне поддерживает все популярные стандарты физического и канального уровней: для локальных сетей - это Ethernet, Token Ring, FDDI, для глобальных - протоколы работы на аналоговых коммутируемых и выделенных линиях SLIP, PPP, протоколы территориальных сетей X.25 и ISDN.

Стек IPX/SPX

Этот стек является оригинальным стеком протоколов фирмы Novell, разработанным для сетевой операционной системы NetWare еще в начале 80-х годов. Протоколы сетевого и сеансового уровней Internetwork Packet Exchange (IPX) и Sequenced Packet Exchange (SPX), которые дали название стеку, являются прямой адаптацией протоколов XNS фирмы Xerox, распространенных в гораздо меньшей степени, чем стек IPX/SPX. Популярность стека IPX/SPX непосредственно связана с операционной системой Novell NetWare, которая еще сохраняет мировое лидерство по числу установленных систем, хотя в последнее время ее популярность несколько снизилась и по темпам роста она отстает от Microsoft Windows NT.

Стек NetBIOS/SMB

Этот стек широко используется в продуктах компаний IBM и Microsoft. На физическом и канальном уровнях этого стека используются все наиболее распространенные протоколы Ethernet, Token Ring, FDDI и другие. На верхних уровнях работают протоколы NetBEUI и SMB.

Протокол NetBIOS (Network Basic Input/Output System) появился в 1984 году как сетевое расширение стандартных функций базовой системы ввода/вывода (BIOS) IBM PC для сетевой программы PC Network фирмы IBM. В дальнейшем этот протокол был заменен так называемым протоколом расширенного пользовательского интерфейса NetBEUI - NetBIOS Extended User Interface. Для обеспечения совместимости приложений в качестве интерфейса к протоколу NetBEUI был сохранен интерфейс NetBIOS. Протокол NetBEUI разрабатывался как эффективный протокол, потребляющий немного ресурсов и предназначенный для сетей, насчитывающих не более 200 рабочих станций. Этот протокол содержит много полезных сетевых функций, которые можно отнести к сетевому, транспортному и сеансовому уровням модели OSI, однако с его помощью невозможна маршрутизация пакетов. Это ограничивает применение протокола NetBEUI локальными сетями, не разделенными на подсети, и делает невозможным его использование в составных сетях. Некоторые ограничения NetBEUI снимаются реализацией этого протокола NBF (NetBEUI Frame),, которая включена в операционную систему Microsoft Windows NT.

Протокол SMB (Server Message Block) выполняет функции сеансового, представительного и прикладного уровней. На основе SMB реализуется файловая служба, а также службы печати и передачи сообщений между приложениями.

Стеки протоколов SNA фирмы IBM, DECnet корпорации Digital Equipment и AppleTalk/AFP фирмы Apple применяются в основном в операционных системах и сетевом оборудовании этих фирм.

Реализация межсетевого взаимодействия средствами TCP/IP

В настоящее время стек TCP/IP является самым популярным средством организации составных сетей. До 1996 года бесспорным лидером был стек IPX/SPX компании Novell, но затем картина резко изменилась - стек TCP/IP по темпам роста числа установок намного стал опережать другие стеки, а с 1998 года вышел в лидеры и в абсолютном выражении. Именно поэтому дальнейшее изучение функций сетевого уровня будет проводиться на примере стека TCP/IP.

В стеке TCP/IP определены 4 уровня. Каждый из этих уровней несет на себе некоторую нагрузку по решению основной задачи - организации надежной и производительной работы составной сети, части которой построены на основе разных сетевых технологий.

Таблица 1. Многоуровневая архитектура стека TCP/IP

Уровень 1	Прикладной уровень
Уровень 2	Основной (транспортный) уровень
Уровень 3	Уровень межсетевого взаимодействия
Уровень 4	Уровень сетевых интерфейсов

Уровень межсетевого взаимодействия

Стержнем всей архитектуры является уровень межсетевого взаимодействия, который реализует концепцию передачи пакетов в режиме без установления соединений, то есть дейтаграммным способом. Именно этот уровень обеспечивает возможность перемещения пакетов по сети, используя тот маршрут, который в данный момент является наиболее рациональным. Этот уровень также называют уровнем internet, указывая тем самым на основную его функцию - передачу данных через составную сеть.

Основным протоколом сетевого уровня (в терминах модели OSI) в стеке является протокол IP (Internet Protocol). Этот протокол изначально проектировался как протокол передачи пакетов в составных сетях, состоящих из большого количества локальных сетей, объединенных как локальными, так и глобальными связями. Поэтому протокол IP хорошо работает в сетях со сложной топологией, рационально используя наличие в них подсистем и экономно расходуя пропускную способность низкоскоростных линий связи. Так как протокол IP является дейтаграммным протоколом, он не гарантирует доставку пакетов до узла назначения, но старается это сделать.

К уровню межсетевого взаимодействия относятся и все протоколы, связанные с составлением и модификацией таблиц маршрутизации, такие как протоколы сбора маршрутной информации RIP (Routing Internet Protocol) и OSPF (Open Shortest Path First), а также протокол межсетевых управляющих сообщений ICMP (Internet Control Message Protocol). Последний протокол предназначен для обмена информацией об ошибках между маршрутизаторами сети и узлом-источником пакета. С помощью специальных пакетов ICMP сообщает о невозможности доставки пакета, о превышении времени жизни или продолжительности сборки пакета из фрагментов, об аномальных величинах параметров, об изменении маршрута пересылки и типа обслуживания, о состоянии системы и т. п.

Основной уровень

Поскольку на сетевом уровне не устанавливаются соединения, то нет никаких гарантий, что все пакеты будут доставлены в место назначения целыми и невредимыми или придут в том же порядке, в котором они были отправлены. Эту задачу - обеспечение надежной информационной связи между двумя конечными узлами - решает основной уровень стека TCP/IP, называемый также транспортным. На этом уровне функционируют протокол управления передачей TCP (Transmission Control Protocol) и протокол дейтаграмм пользователя UDP (User Datagram Protocol). Протокол TCP обеспечивает надежную передачу сообщений между удаленными прикладными процессами за счет образования логических соединений. Этот протокол позволяет равноправным объектам на компьютере-отправителе и компьютере-получателе поддерживать обмен данными в дуплексном режиме. TCP позволяет без ошибок доставить сформированный на одном из компьютеров поток байт в любой другой компьютер, входящий в составную сеть. TCP делит поток байт на части - сегменты и передает их ниже лежащему уровню межсетевого взаимодействия. После того как эти сегменты будут доставлены средствами уровня межсетевого взаимодействия в пункт назначения, протокол TCP снова соберет их в непрерывный поток байт.

Протокол UDP обеспечивает передачу прикладных пакетов дейтаграммным способом, как и главный протокол уровня межсетевого взаимодействия IP, и выполняет только функции связующего звена (мультиплексора) между сетевым протоколом и многочисленными службами прикладного уровня или пользовательскими процессами.

Прикладной уровень

Прикладной уровень объединяет все службы, предоставляемые системой пользовательским приложениям. За долгие годы использования в сетях различных стран и организаций стек TCP/IP накопил большое количество протоколов и служб прикладного уровня. Прикладной уровень реализуется программными системами, построенными в архитектуре клиент-сервер, базирующимися на протоколах нижних уровней. В отличие от протоколов остальных трех уровней, протоколы прикладного уровня занимаются деталями конкретного приложения и "не интересуются" способами передачи данных по сети. Этот уровень постоянно расширяется за счет присоединения к старым, прошедшим многолетнюю эксплуатацию сетевым службам типа Telnet, FTP, TFTP, DNS, SNMP сравнительно новых служб таких, например, как протокол передачи гипертекстовой информации HTTP.

Уровень сетевых интерфейсов

Идеологическим отличием архитектуры стека TCP/IP от многоуровневой организации других стеков является интерпретация функций самого нижнего уровня - уровня сетевых интерфейсов. Протоколы этого уровня должны обеспечивать интеграцию в составную сеть других сетей, причем задача ставится так: сеть TCP/IP должна иметь средства включения в себя любой другой сети, какую бы внутреннюю технологию передачи данных эта сеть не использовала. Отсюда следует, что этот уровень нельзя определить раз и навсегда. Для каждой технологии, включаемой в составную сеть подсети, должны быть разработаны собственные интерфейсные средства. К таким интерфейсным средствам относятся протоколы инкапсуляции IP-пакетов уровня межсетевого взаимодействия в кадры локальных технологий. Например, документ RFC 1042 определяет способы инкапсуляции IP-пакетов в кадры технологий IEEE 802. Для этих целей должен использоваться заголовок LLC/ SNAP, причем в поле Type заголовка SNAP должен быть указан код 0x0800. Только для протокола Ethernet в RFC 1042 сделано исключение - помимо заголовка LLC/ SNAP разрешается использовать кадр Ethernet DIX, не имеющий заголовка LLC, зато имеющий поле Type. В сетях Ethernet предпочтительным является инкапсуляция IP-пакета в кадр Ethernet DIX.

Соответствие уровней стека TCP/IP семиуровневой модели ISO/OSI

Так как стек TCP/IP был разработан до появления модели взаимодействия открытых систем ISO/OSI, то, хотя он также имеет многоуровневую структуру, соответствие уровней стека TCP/IP уровням модели OSI достаточно условно. Рассматривая многоуровневую архитектуру TCP/IP, можно выделить в ней, подобно архитектуре OSI, уровни, функции которых зависят от конкретной технической реализации сети, и уровни, функции которых ориентированны на работу с приложениями.

Протоколы прикладного уровня стека TCP/IP работают на компьютерах, выполняющих приложения пользователей. Даже полная смена сетевого оборудования в общем случае не должна влиять на работу приложений, если они получают доступ к сетевым возможностям через протоколы прикладного уровня.

Протоколы транспортного уровня уже более зависят от сети, так как они реализуют интерфейс к уровням, непосредственно организующим передачу данных по сети. Однако, подобно протоколам прикладного уровня, программные модули, реализующие протоколы транспортного уровня, устанавливаются только на конечных узлах. Протоколы двух нижних уровней являются сетезависимыми, а следовательно, программные модули протоколов межсетевого уровня и уровня сетевых интерфейсов устанавливаются как на конечных узлах составной сети, так и на маршрутизаторах.

Каждый коммуникационный протокол оперирует с некоторой единицей передаваемых данных. Названия этих единиц иногда закрепляются стандартом, а чаще просто определяются традицией. В стеке TCP/IP за многие годы его существования образовалась устоявшаяся терминология в этой области.

Потоком называют данные, поступающие от приложений на вход протоколов транспортного уровня TCP и UDP.

Протокол TCP нарезает из потока данных сегменты.

Единицу данных протокола UDP часто называют дейтаграммой (или датаграммой). Дейтаграмма - это общее название для единиц данных, которыми оперируют протоколы без установления соединений. К таким протоколам относится и протокол межсетевого взаимодействия IP.

Дейтаграмму протокола IP называют также пакетом.

В стеке TCP/IP принято называть кадрами (фреймами) единицы данных протоколов, на основе которых IP-пакеты переносятся через подсети составной сети. При этом не имеет значения, какое название используется для этой единицы данных в локальной технологии.