

1. 4 网络协议与网络体系结构

计算机网络由多个互连的节点组成,节点之间要不断地交换数据和控制信息。要做到有条不紊地交换数据,每个节点就必须遵守一整套合理而严谨的规则, 在计算机网络的定义中也阐述了网络互连必须遵循某些约定和规则,这就是计算机网络互连协议。解决计算机互连和资源共享是一个复杂的理论和技术问题,而将一个比较复杂的问题分解成若干个相对比较容易处理的子问题是设计方法常用的手段之一,协议层次化就是解决网络互连复杂性的系统分解方法。

由此我们给出计算机网络体系结构的定义。计算机网络体系结构是计算机网络的分层及其服务和协议的集合,也就是它们所应完成的所有功能的定义,是用户进行网络互连和通信系统设计的基础。因此,体系结构是一个抽象的概念,它只从功能上描述计算机网络的结构,而不涉及每层的具体组成和实现细节。网络体系结构的出现,极大地推动了计算机网络的发展。

1. 4. 1 通信协议与分层体系结构

在讨论协议与层次体系结构之前,先来看一个现实生活中的例子。图 1-3 是发信人向收信人寄一封信。首先发信人采用某种语言写成一封信,按照某种格式填好地址,投入到信箱中。邮局收集信件,按照目的地址进行分类打包,并送到邮政处理中心。处理中心汇集各个邮包,并进行再次分类,送到铁路等运输部门。运输部门将邮包送到目的地的邮政处理中心。目的地的邮政处理中心解包后根据目的地址,将信件送到相应的邮政分理处。分理处将信件送到收信人。收信人最终拆开信封,阅读信函。

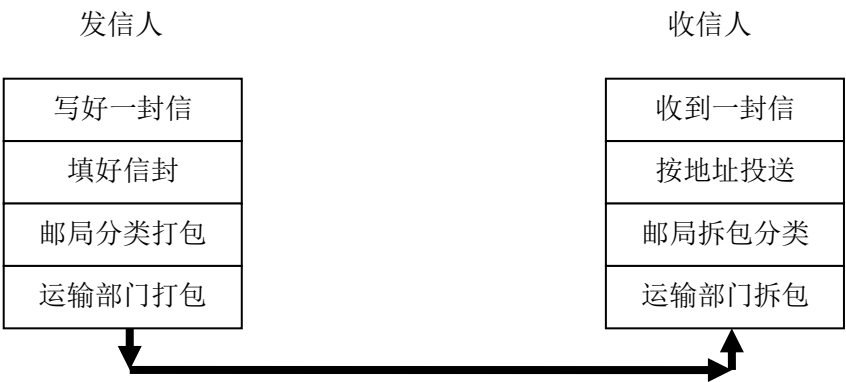


图 1-3 信件传统处理过程

在这个过程中包含了两个概念,一是每个部门完成相应的工作,既相互独立,又存在内在联系。如运输部门负责邮包的运输,邮政处理中心负责邮件的打包等,这就是分层的概念。二是信件的书写、地址的格式、邮政分理处覆盖的范围等都有约定,保证了信函被准确地送到目的地,同时使收信人能正确阅读信函内容。因此,为了保证计算机之间能够相互通信,它们之间必须要遵循一定的协议,下面就讨论计算机互连协议等问题。

1. 网络协议

网络中计算机的硬件和软件存在各种差异,为了保证相互通信及双方能够正确地接收信息,必须事先形成一种约定,即网络协议。协议代表着标准化,是一组规则的集合,是进行交互的双方必须遵守的约定。网络协议是计算机通信与网络不可缺少的组成部分。

(1) 网络协议的定义

简单地说,协议是指通信双方必须遵循的、控制信息交换的规则集合,是一套语义和语法规则,用来规定有关功能部件在通信过程中的操作,它定义了数据发送和接收工作中必经的过程。协议规定了网络中使用的格式、定时方式、顺序和差错控制。

(2) 网络协议的组成

一般说,一个网络协议主要由语法、语义和同步三个要素组成。

语法:指数据与控制信息的结构或格式,确定通信时采用的数据格式,编码及信号电平等。即对所表达内容的数据结构形式的一种规定,也即"怎么讲"。例如,在传输一份数据报文时数据格式,传输一封信函的地址格式等。

语义:协议的语义是指对构成协议的协议元素含义的解释,也即"讲什么"。不同类型的协议元素规定了通信双方所要表达的不同内容(含义)。例如,在基本型数据链路控制协议中规定,协议元素 **SOH** 的语义表示所传输报文的报头开始;而协议元素 **ETX** 的语义,则表示正文结束等。

同步:规定了事件的执行顺序,例如在双方通信时,首先由源站发送一份数据报文,如果目标站收到的是正确的报文,就应遵循协议规则,利用协议元素 **ACK** 来回答对方,以使源站知道其所发出的报文已被正确接收。

(3) 协议的特点

网络通信协议的特点是层次性、可靠性和有效性。

在设计和选择协议时,不仅要考虑网络系统的拓扑结构、信息的传输量、所采用的传输技术、数据存取方式,还要考虑到其效率、价格和适应性等问题。因此,协议的分层可以将复杂的问题简单化。通信协议可被分为多个层次,在每个层次内又可分成若干子层次,协议各层次有高低之分。每一层和相邻层有接口,较低层通过接口向它的上一层提供服务,但这一服务的实现细节对上层是屏蔽的。较高层又是在较低层提供的低级服务的基础上实现更高级的服务。

采用层次化方法的优点是:各层之间相互独立,即不需要知道低层的结构,只要知道是通过层间接口所提供的服务;灵活性好,是指只要接口不变就不会因层的变化(甚至是取消该层)而变化;各层采用最合适的技术实现而不影响其他层;有利于促进标准化,是因为每层的功能和提供的服务都已经有了精确的说明。

协议可靠性和有效性是正常和正确通信的保证,只有协议可靠和有效,才能实现系统内各种资源共享。如果通信协议不可靠就会造成通信混乱和中断。

2. 协议层次模型

正如前面指出,协议层次化的结构具有许多的优点,本节将讨论协议的层次模型。图 1-4 显示了计算机网络协议的层次模型。协议中包含实体和接口。

实体(Entity):是通信时能发送和接收信息的任何软硬件设施;

接口(Interface):是指网络分层结构中各相邻层之间的通信接口。

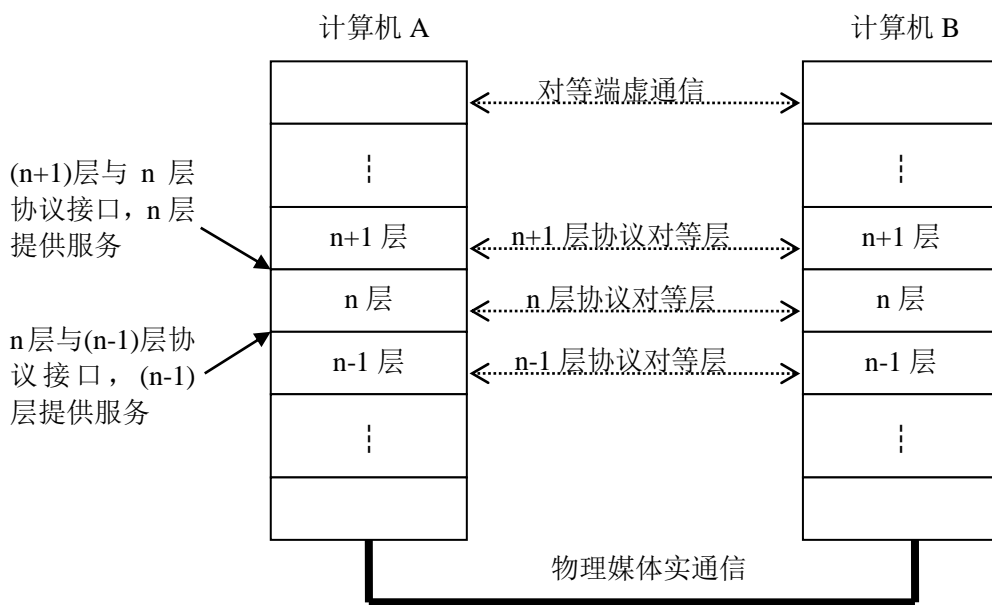


图 1-4 计算机网络的层次模型

在图 1-4 所示的一般分层结构中,n 层是 n-1 层的用户,又是 n+1 层的服务提供者。n+1 层虽然只直接使用了 n 层提供的服务,实际上它通过 n 层还间接地使用了 n-1 层以及以下所有各层的服务。当然如何分层可以遵循一些原则:

- 1) 每层的功能应是明确的,并且相互独立。当某一层的具体实现方法更新时,只要保持层间接口不变,就不会对邻层造成影响。
- 2) 层间接口清晰,跨越接口的信息量应尽可能少。
- 3) 层数要适中。若太少,则层间功能划分不明确,多种功能会混杂在一起,造成每一层的协议太复杂;若太多,则体系结构过于复杂,各层间的交互过于频繁。

1. 4. 2 OSI-RM 体系结构

开放系统互连基本参考模型(OSI-RM)是由国际标准化组织制定的标准化开放式计算机网络层次结构模型。要把世界上不同年代,不同厂家,不同型号的计算机系统互连起来,就需要一个统一的互连标准,使系统彼此开放。所谓开放系统就是遵守互联标准协议的系统。OSI-RM 体系结构是一种分层的结构,它遵循协议分层的原则。

1. OSI-RM

OSI-RM 包括了体系结构,服务定义和协议规范三级抽象。在体系结构方面,定义了一个七层模型,用以进行进程间的通信,并作为一个框架来协调各层标准的制定;在服务定义方面,描述了各层所提供的服务,以及层与层之间的抽象接口和交互用的服务原语;在各层的协议规范方面,精确地定义了应当发送何种控制信息及何种过程来解释该控制信息。

需要强调的是,OSI-RM 模型并非具体实现的描述,它只是一个为制定标准机而提供的概念性框架。

如图 1-5 所示, OSI-RM 的七层模型从下到上分别为物理层(Physical Layer),数据链路层(Data Link Layer),网络层(Network Layer),传输层(Transport Layer),会话层(Session Layer),表示层(Presentation Layer)和应用层(Application Layer)。各层的功能简单概括如下:

物理层: 利用传输介质为通信的网络节点之间建立、维护和释放物理连接,实现比特流的透明传输,进而为数据链路层提供数据传输服务。

数据链路层: 在物理层提供服务的基础上,在通信的实体间建立数据链路连接,传输以帧(frame)为单位的数据包,并采取差错控制和流量控制方法,使有差错的物理线路变成无差错的数据链路。

网络层: 为分组交换网络上的不同主机提供通信服务,为以分组(packet)为单位的数据包通过通信子网选择适当的路由,并实现拥塞控制、网络互连等功能。

传输层: 向用户提供端到端(end-to-end)的数据传输服务,解决对上层屏蔽低层的数据传输问题。

会话层: 负责维护通信中两个节点之间的会话连接的建立、维护和断开,以及数据的交换。

表示层: 用于处理在两个通信系统中交换信息的表示方式,主要包括数据格式变换、数据的加密与解密、数据压缩与恢复等功能。

应用层: 为应用程序提供网络服务,它包含了各种用户使用的协议。

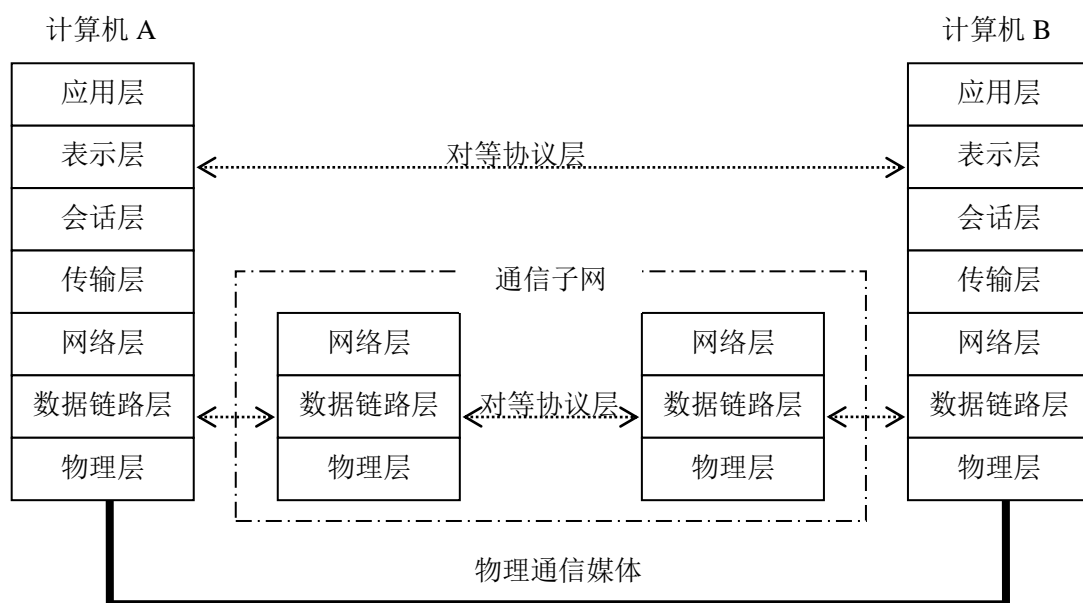


图 1-5 OSI-RM 层次模型

从图中可见,整个开放系统环境由作为信源和信宿的端开放系统及若干中继开放系统通过物理媒体连接构成。这里的端开放系统和中继开放系统,是国际标准 OSI 7498 中使用的术语.通俗地说,它们相当于终端系统中的主机和通信子网中的结点机(IMP)。只有在主机中才可能需要包含所有七层的功能,而在通信子网中的结点机上一般只需要最低三层甚至只要最低两层的功能，实现对等实体间的通信过程及信息流动。

层次结构模型中数据的实际传送过程如图 1-6 所示。图中发送进程送给接收进程和数据,实际上是经过发送方各层从上到下传递到物理媒体；通过物理媒体传输到接收方后,再经过从下到上各层的传递,最后到达接收进程。

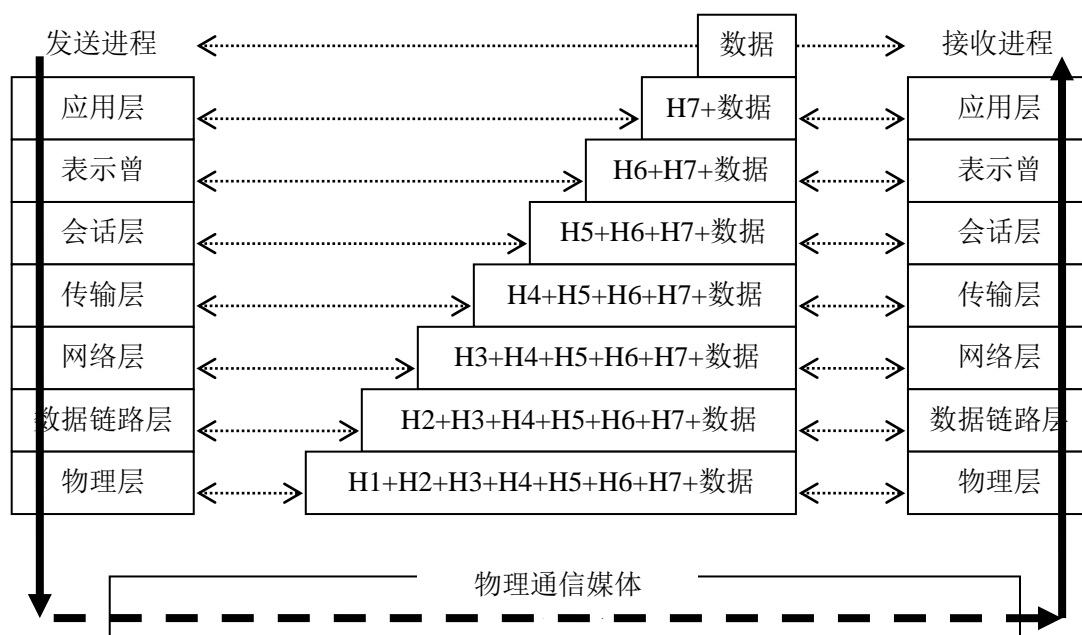


图 1-6 数据的传递过程

必须指出的是在发送方从上到下逐层传递的过程中,每层都要加上适当的控制信息,即图中的 H7、H6、...、H1 统称为报头。到最后层成为由"0"或"1"组成的数据比特流,然后再转换为电信号在物理媒体上传输至接收方。接收方在向上传递时过程正好相反,要逐层剥去发送方相应层加上的控制信息。而如何加上这些包头将是我们后继章节要讨论的主要问题。

另一个方面因接收方的某一层不会收到底下各层的控制信息,而高层的控制信息对于它来说又只是透明的数据,所以它只阅读和去除本层的控制信息,并进行相应的协议操作。发送方和接收方的对等实体看到的信息是相同的,就好像这些信息通过虚拟通路直接给了对方一样。

2. OSI 中的服务访问点和协议数据单元

OSI 各层间存在信息交换,一个系统中的相邻两个层次间的信息交换是通过服务访问点 (Service Access Point, SAP) 这样的接口实现的。SAP 实际上就是(N)层实体和上一层(N+1)层实体之间的逻辑接口。过程如图 1-7 所示。

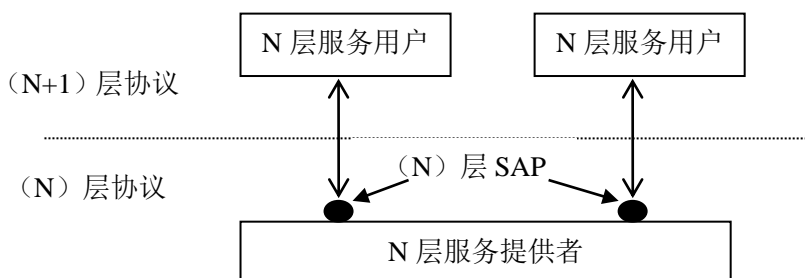


图 1-7 访问 SAP 的过程

(N+1)层实体通过访问 SAP 向(N)层实体发送协议数据单元 PDU(Protocol Data Unit)。PDU 由两部分造成,如(N)层 PDU 的构成如图 1-8 所示。一部分为本层用户的数据,记为(N)用户数据;另一部分为本层的协议控制信息,记为(N)PCI(Protocol Control Information)。PCI 就是前面讲到的每一层传递过程中加上的包头。

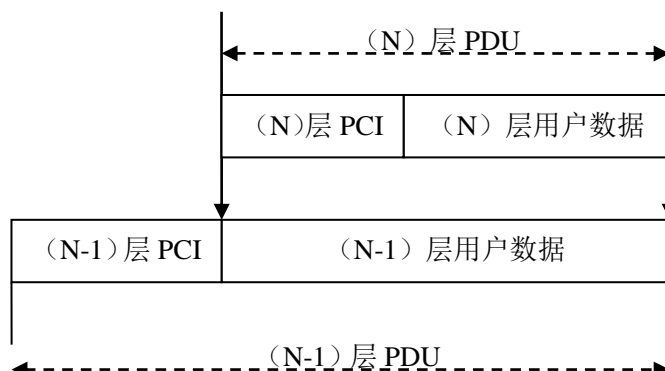


图 1-8 PDU 的组成

3. OSI 中的服务原语

前面已经指出,当(N+1)层实体向(N)层实体请求服务时,服务请求者与服务提供者之间

要进行一些交互，而这种交互将通过原语来实现。服务原语用于表明要求本地或远端的对等实体需要做哪些事情。OSI 规定了每一层都可以使用的四种服务原语，其类型和含义如表 1-2 所示。

表 1-2 四种服务原语类型和含义

| 服务原语类型 | 名称 | 含义 |
|------------|----|------------------|
| request | 请求 | 一个实体希望获得某种服务 |
| indication | 指示 | 把关于某种事件的信息告诉某一实体 |
| response | 回应 | 一个实体对某一事件的回应 |
| confirm | 确认 | 一个实体对某一事件的确认 |

如图 1.10 和图 1.11 所示，服务原语的相互关系有两种表示方法，分别为层次表示法和序列表示法。假定系统 A 中的(N+1)层用户 A 要与系统 B 中的(N+1)层用户 B 进行通信，于是用户 A 就先向 A 系统中的(N)层实体发出 request 原语，以调用服务提供者的某个进程，这就引起系统 A 中的(N)层实体向其对等的 B 系统的(N)层实体发出一个 PDU。当系统 B 中的(N)层实体收到这个 PDU 后，就向其服务用户 B 发送原语 indication，用户 B 再向 B 系统中的(N)层实体发送原语 response，以调用服务提供者的某个进程，这就引起系统 B 中的(N)层实体向其对等的 A 系统的(N)层实体发出一个 PDU，当系统 A 中的(N)层实体收到这个 PDU 后，就向其服务用户 A 发送原语 confirm。过程如图 1-9 和图 1-10 所示。

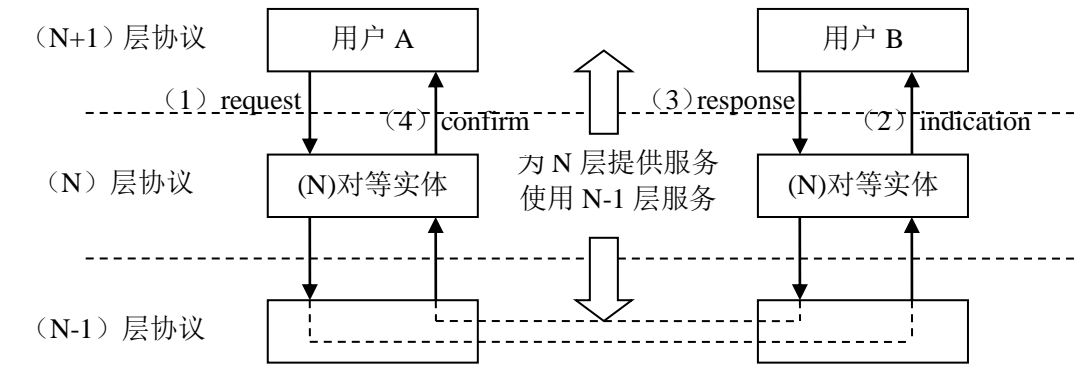


图 1-9 服务原语交互的层次表示法

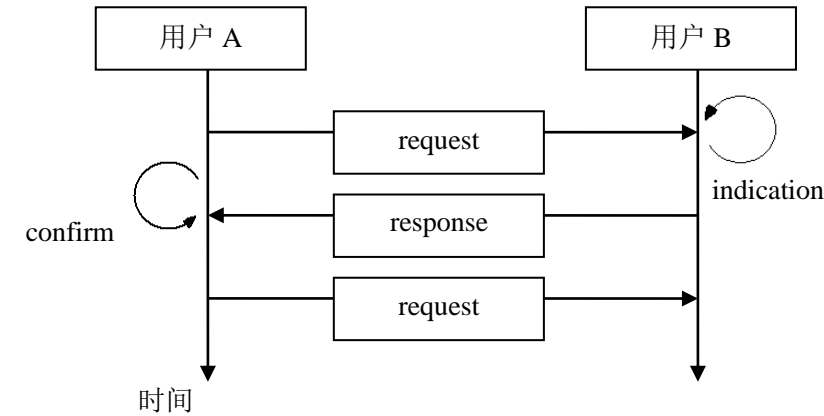


图 1-10 服务原语交互的序列表示法

1. 4. 3 TCP/IP 体系结构

除了 OSI 参考模型外,在市场上流行的网络体系结构还有 TCP/IP,IBM 公司的 SNA 和 Digital 公司的 DNA。这三种体系结构的开发都先于 OSI,实际上 OSI 参考模型的制定吸收了它们的成功经验,它们都是层次结构。

TCP/IP(Transmission control protocol/Internet protocol)协议是于 1977 年至 1979 年形成的协议规范,是美国 ARPANET 上使用的运输层和网络层协议。由于在 ARPANET 上运行的协议很多,因此人们常常将这些相关协议称为 TCP/IP 体系结构,或简称 TCP/IP。现在的国际互联网(Internet)就是以 TCP/IP 协议为核心的网络系统。

类似于 OSI-RM 层次模型, TCP/IP 的层次结构如图 1-11 所示。它包含了四个层次,从下到上分别为网络接入层(Host to Network Layer)、互连网络层(Internet Layer)、传输层(Transport Layer)和应用层(Application Layer)。只有在端系统主机中才可能需要包含所有四层的功能,而在通信子网中的处理设备一般只需要最低二层的功能,实现对等实体间的通信过程及信息流动。目前,可以归纳到 TCP/IP 模型中的协议如图 1-12 所示。

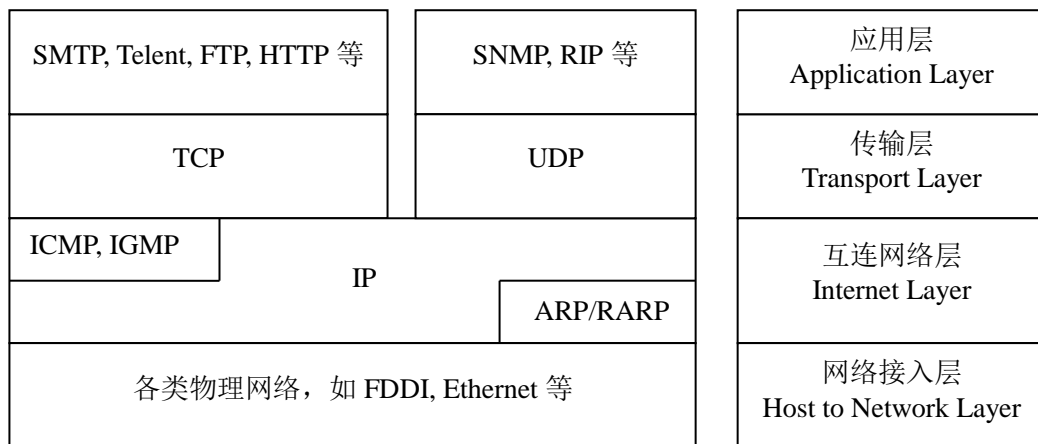


图 1-11 TCP/IP 层次模型与协议族

说明:

- 1) 应用层的协议相对较多, 分别使用 UDP(User Data Protocol)和 TCP 协议进行承载, 它们位于各自的上方。UDP 和 TCP 的具体内容和区别将在后继章节讨论。
- 2) 网络层除核心协议 IP 外, 还有 ICMP(Internet Control Message Protocol)、ARP(Address Resolution Protocol)和 RARP(Reverse Address Resolution Protocol), 分别位于 IP 协议的上下方。
- 3) TCP/IP 模型中的核心协议是 TCP、UDP 和 IP, 且呈现漏斗状, IP 协议处于漏斗的最窄处。因此, 所有的高层数据将被封装成 IP 数据包, 而 IP 数据包可以采用多种低层的协议进行处理。

1. 4. 4 OSI-RM 和 TCP/IP 体系结构的比较

OSI-RM 和 TCP/IP 体系结构的对应关系如图 1-12 所示, TCP/IP 体系结构的应用层对应

于 OSI-RM 体系结构的上三层, 其他没有变化。



图 1-12 OSI-RM 和 TCP/IP 体系结构的对应关系

TCP/IP 与 OSI-RM 的差别主要体现在以下两方面:

1) 出发点不同

OSI-RM 是作为国际标准而制定的,不得不兼顾各方,考虑各种情况,造成 OSI-RM 相对比较复杂,协议的数量和复杂性都远高于 TCP/IP。早期 TCP/IP 协议是为军用网 ARPANET 设计的体系结构,一开始就考虑了一些特殊要求,如可用性,残存性,安全性,网络互联性以及处理瞬间大信息量的能力等。此外,TCP/IP 是最早的互联协议,它的发展顺应社会需求,来自实践,在实践中不断改进与完善,有成熟的产品和市场,为人们所广泛接受。

2) 对以下问题的处理方法不相同

①对层次间的关系。OSI-RM 是严格按"层次"关系处理的,两个(N)实体通信必须通过下一层的(N-1)实体,不能越层。而 TCP/IP 则不同,它允许越层直接使用更低层次所提供的服务。因此,这种关系实际上是"等级"关系,这种等级关系减少了一些不必要的开销,提高了协议的效率。②对异构网互连问题。TCP/IP 一开始就考虑对异构网络的互连,并将互连协议 IP 单设一层。但 OSI-RM 最初只考虑用一个标准的公用数据网互联不同系统,后来认识到互联协议的重要性,才在网络层中划出一个子层来完成 IP 任务。③OSI-RM 开始只提供面向连接的服务,而 TCP/IP 一开始就将面向连接和无连接服务并重,因为无连接的数据报服务,对互联网中的数据传送和分组话音通信是很方便的。此外,TCP/IP 有较好的网络管理功能,而 OSI-RM 也是到后来才考虑这个问题。

1. 4. 5 网络通信标准化组织

网络通信涉及不同设备之间的交互,要使得这些不同的制造商生产的设备能够实现交互,必须遵循一些标准。目前在国际上最著名的两个国际标准化组织分别是 ISO 和 ITU-T。OSI 的前身是国际标准化协会(International Standards Association, ISA)。OSI 的宗旨是开展有关的标准化活动,在世界范围内促成国际标准的制定等。2008 年 ISO 有 128 个成员国、

184 个技术委员会、587 个分委会。与网络通信关系比较密切的两个分委会分别是系统间远程通信和信息交换分委会（Telecommunication and Information exchange between Systems）和信息技术设备互连分委会（Interconnection of Information Technology Equipment）。国际电信联盟 ITU-T 主要负责电话和数字通信领域的建议和标准。表 1-3 列出了部分 OSI 的标准，以及对应的 CCITT 标准。

因特网的标准化工作由称为 IAB（Internet Activities Board）的组织负责，下设 Task Force 负责具体的某一方面标准，如 IETF（Internet Engineering Task Force）负责因特网近期发展的工程与标准问题。有关文档成为 RFC（Request For Comments）。如著名的 IP 协议和 TCP 协议的文档为 RFC791 和 RFC793。

必须指出的是国际电气电子工程师协会 IEEE 也曾致力于一些标准的制定工作，如表 1-3 中的局域网标准最初就是该协会在提出的，也称为 IEEE 802 标准。同时，美国电子工业协会 EIA 制定的一些标准目前也在使用中，如有关物理层的标准 EIA-RS-232C，给出了目前计算机串行接口的标准规范。

表 1-3 部分 OSI 和 CCITT 标准

| 标准分类 | OSI 标准 | CCITT 标准 | 说明 |
|-------|----------------|-------------------------|---------------|
| 应用层 | 8571 | | 文件传送、访问和管理 |
| | 10021 | X.400 | 电子邮件 |
| | 9040、9041 | | 虚拟终端服务定义和协议规范 |
| 表示层 | 8822、8823 | X.216、X.226 | 服务定义和协议规范 |
| 会话层 | 8326、8327 | X.215、X.225 | 服务定义和协议规范 |
| 运输层 | 8072、8073 | X.214、X.224 | 服务定义和协议规范 |
| 网络层 | 8348 | X.213、X.25 | 服务定义和分组协议规范 |
| 数据链路层 | | X.25 | 数据链路级协议 |
| | 3309、4335、7809 | | 高级数据链路控制规程 |
| | 8802 | | 局域网标准 |
| 物理层 | 2110、2593、4902 | | 机械规范 |
| | | V.28、V.35、 V.10、V.11 | 电气规范 |
| | | V.24 | 功能规范 |
| | | V.20、V.21 | 过程规范 |
| 模型 | 7498 | V.200 | OSI 基本参考模型 |

本章总结

1. 计算机网络的发展主要经历了四个阶段,可概括为:第一阶段为面向终端的计算机网络,第二阶段为多个计算机互连的计算机网络,第三阶段面向标准化的计算机网络,第四阶段为全球互连网络的形成与发展。

2. 计算机网络可定义为把分布在不同地点且具有独立功能的多个计算机,通过通信设备和线路连接起来,在功能完善的网络软件运行环境下,以实现网络中资源共享为目标的系统。它由端系统和通信子网组成。

3. 计算机网络可以根据不同的分类方法进行分类,根据网络覆盖的地理范围可以将计算机网络分为互连网、广域网、城域网、局域网和个人区域网。根据网络的拓扑结构,可以将网络分为星型、树型、总线型、环型和网络型。

4. 计算机网络体系结构是计算机网络的各层及其服务和协议的集合,也就是它们所应完成的所有功能的定义,是用户进行网络互连和通信系统设计的基础。

5. 网络中计算机的硬件和软件存在各种差异,为了保证相互通信及双方能够正确地接收信息,必须事先形成一种约定,即网络协议。协议是指通信双方必须遵循的、控制信息交换的规则集合,是一套语义和语法规则,用来规定有关功能部件在通信过程中的操作,它定义了数据发送和接收工作中必经的过程。协议规定了网络中使用的格式、定时方式、顺序和差错控制。一般说,一个网络协议主要由语法、语义和同步三个要素组成。

6. OSI 七层模型从下到上分别为物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层。类似于 OSI-RM 层次模型, TCP/IP 的层次结构包含了四个层次,从下到上分别为网络接入层、互连网络层、传输层和应用层。它们有一定的对应关系。

7. 协议各层间存在信息交换,一个系统中的相邻两个层次间的信息交换是通过服务访问点这样的接口实现的。每一层和相邻层有接口,较低层通过接口向它的上一层提供服务,但这一服务的实现细节对上层是屏蔽的。较高层又是在较低层提供的低级服务的基础上实现更高级的服务。

8. 目前在国际上最著名的两个国际标准化组织分别是 ISO 和 ITU-T。ITU-T 主要负责电话和数字通信领域的建议和标准。因特网的标准化工作由称为 IAB 的组织负责,下设 Task Force 负责具体的某一方面标准,如 IETF 负责因特网近期发展的工程与标准问题。有关文档成为 RFC。如著名的 IP 协议和 TCP 协议的文档为 RFC791 和 RFC793。

练习题

1.1 什么是计算机网络?

1.2 试分析阐述计算机网络与分布式系统的异同点。

1.3 计算机网络的拓扑结构种类有哪些?各自的特点是什么?

1.4 从逻辑功能上看,计算机网络由哪些部分组成?各自的内涵是什么?

1.5 由 n 个结点构成的星型拓扑结构的网络中,共有多少个直接连接?对由 n 个节点构成的环状拓扑结构的网络中呢?对由 n 个节点构成的全连接网络中呢?

- 1.6 在广播式网络中，当多个节点试图同时访问通信通道时，信道将会产生冲突，所有节点都无法发送数据，形成信道容量的浪费。假设可以把时间分割成时间片， n 个节点中每个节点在每个时间片试图使用信道的概率为 p ，试计算由于冲突而浪费的时间片的百分比。
- 1.7 什么是网络体系结构？为什么要定义网络的体系结构？
- 1.8 什么是网络协议？由哪几个基本要素组成？
- 1.9 试分析协议分层的理由。
- 1.10 OSI 参考模型的层次划分原则是什么？画出 OSI—RM 模型的结构图，并说明各层次的功能。
- 1.11 在 OSI 参考模型中各层的协议数据单元(PDU)是什么？
- 1.12 试比较 OSI-RM 与 TCP/IP 模型的对应关系及异同点。
- 1.13 设有一个系统具有 n 层协议，其中应用进程生成长度为 m 字节的数据，在每层都加上长度为 h 字节的报头，试计算传输报头所占用的网络带宽百分比。