

计算机网络协议与体系结构

计算机网络是一个十分复杂的系统,涉及计算机技术、通信技术、多媒体技术等多个领域。这样一个复杂而庞大的系统要高效、可靠地运转,网络中的各个部分必须遵守一套合理而严谨的结构化管理规则,采用功能分层原理即可以实现它。本章将从介绍网络体系结构和网络协议的基本概念入手,详细讨论 OSI 参考模型和 TCP/IP 参考模型的层次结构和层次功能,并对两类参考模型进行比较。

本章学习目标:

- 了解计算机网络协议
- 了解网络系统的分层体系结构
- 掌握 OSI 参考模型
- 掌握 TCP/IP 参考模型
- 掌握 TCP/IP 模型与 OSI 参考模型的比较

3.1 网络协议

3.1.1 网络协议的本质

当前,计算机技术飞速发展的一个标志就是计算机网络化,于是有人提出了“网络就是计算机”的概念。那么计算机怎样才能构成网络呢?网络的本质是什么?为了解决上述问题,用户首先要了解的就是网络协议。

网络中的计算机之间进行通信时,它们之间必须使用一种双方都能理解的语言,这种语言称为协议。协议就是网络的语言,只有遵守这种语言规范的计算机才能在网络上与其他计算机彼此通信。正是由于有了协议,网络上各种规模、结构、操作系统、处理能力及厂家的产品才能够连接起来,互相通信,实现资源共享。从这个意义上讲,协议就是网络的本质。

协议定义了网络上各种计算机和设备之间相互通信和进行数据管理、数据交换的整套规则。通过这些规则,网络上的计算机才有了彼此通信的“共同语言”。

3.1.2 协议的中心任务

在计算机网络的一整套规则中,任何一个协议都需要解决如下三方面的问题。

1. 协议的语法(如何讲)

协议定义了如何进行通信,即对通信双方采用的数据格式、编码等进行定义,例如,报文

中内容的组织形式等。这就是协议的语法要解决的问题。

2. 协议的语义(讲什么)

协议应解决在什么层次上定义通信、其内容是什么,即对发出的请求、执行的动作以及对对方的应答做出的解释。例如对于报文,它由什么部分组成,哪些部分用于控制数据,哪些部分是真正的通信内容,就是协议的语义要解决的问题。

3. 协议的定时(讲话次序)

定时(又称时序)协议定义了何时进行通信、先后顺序及速度等,这就是定时问题。例如,是采用同步传输还是异步传输。

总之,协议必须在解决好语义、语法和定时这3个部分的问题之后,才算比较完整地构成了数据通信的语言。因此,又将语义、语法和定时称为网络的3要素。

3.1.3 协议的功能和种类

1. 协议的功能

从整体看,作为计算机数据交换语言的协议必须具备以下一些功能。

1) 分割与重组

协议的分割功能是将较大的数据单元分割成较小的数据包,其反过程称为重组,如图3.1所示。

2) 寻址

协议的寻址功能使得设备彼此可以识别,同时可以进行路径选择,如图3.2所示。

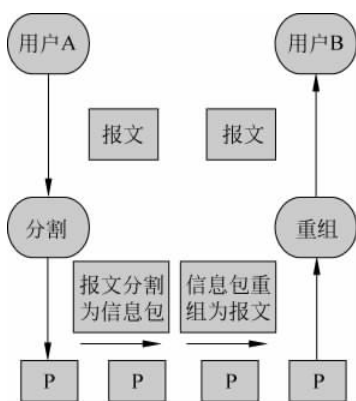


图 3.1 分割与重组

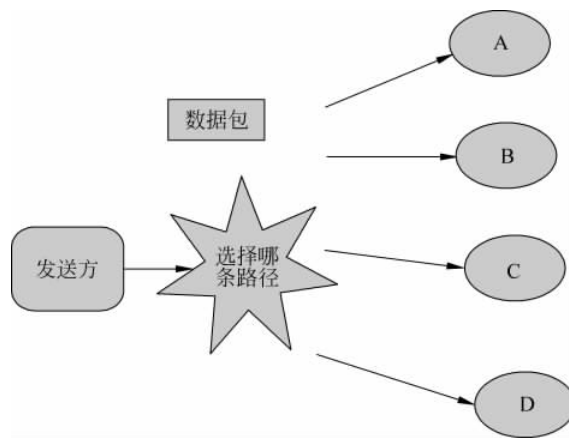


图 3.2 路径选择(寻址)

3) 封装与拆装

协议的封装功能是指在数据单元的始端或者末端增加控制信息,其相反过程是拆装,如图3.3所示。

4) 排序

协议的排序功能是指对报文发送与接收顺序的控制,如图3.4所示。

5) 信息流控制

协议的流量控制是指信息流过大时所采取的一系列措施,如图3.5所示。

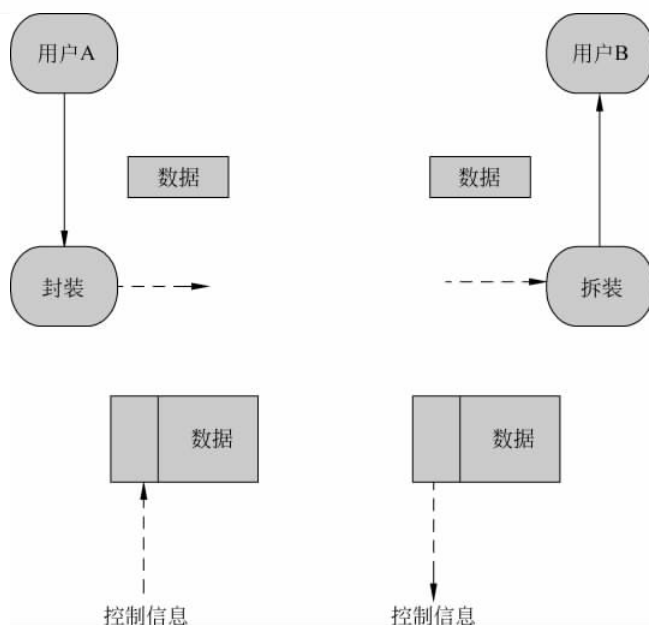


图 3.3 数据封装与拆装

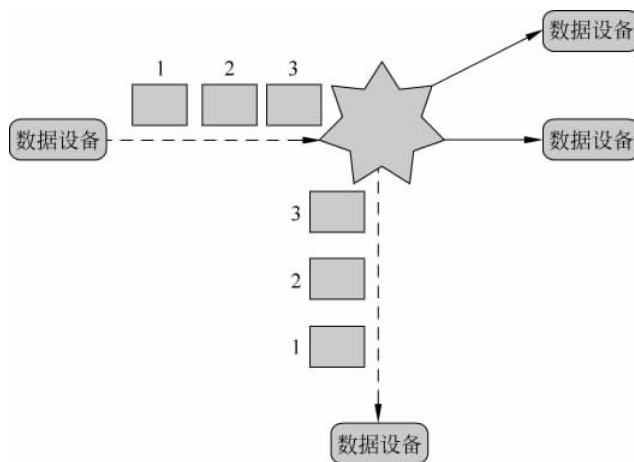


图 3.4 排序

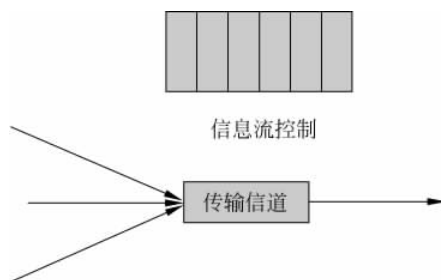


图 3.5 信息流控制

6) 差错控制

差错控制功能能使得数据按误码率要求的指标,在通信线路中正确地传输。

7) 同步

协议的同步功能可以保证收发双方在数据传输时的一致性。

8) 干路传输

协议的干路传输功能可以使多个用户信息共用干路。

9) 连接控制

协议的连接控制功能可以控制通信实体之间建立和终止链路的过程。

对于网络学习,其关键是掌握网络的各种协议及其关系,而掌握协议的重点在于把握协议的语义、语法和定时的实现机制,尤其是协议的各种功能特性的实现技巧以及这些实现技巧所适应的环境和条件。

2. 协议的分类

协议有很多种,按其特性不同可以分为以下几种。

1) 标准或非标准协议

标准协议涉及各类通信环境;而非标准协议只涉及专用环境。

2) 直接或间接协议

设备之间可以通过专线进行连接,也可以通过公用通信网络相连接。若要求数据顺利地传输,连接双方必须遵循某种协议。当设备直接进行通信时,需要一种直接通信协议;设备之间间接通信时,则需要一种间接通信协议。

3) 整体的协议或分层的协议

整体协议,即一个协议就是一整套的规则。实施时,这个协议作为一个整体。而分层的结构化协议则可为多个实施单位,这样的协议由多个部分复合而成。从这个意义上讲,分层的结构化协议的整套规则由各层次协议组合而成的。

3.2 计算机网络体系结构

3.2.1 网络体系结构的概念

体系结构(Architecture)是研究系统各部分组成及相互关系的技术科学。计算机网络体系结构是指整个网络系统的逻辑组成和功能分配,定义和描述了一组用于计算机及其通信设施之间互联的标准和规范。研究计算机网络体系结构的目的在于定义计算机网络各个组成部分的功能,以便在统一的原则指导下进行计算机网络的设计、建造、使用和发展。

3.2.2 计算机网络体系结构的概念

计算机网络通信系统与邮政通信系统的工作过程十分类似,它们都是一个复杂的分层系统。面对日益复杂化的计算机网络系统,只有采用结构化的方法来描述网络系统的组织、结构与功能,才能更好地研究、设计和实现网络系统。开放系统互连参考模型就是在这种背景下产生、发展并逐步完善起来的。

1. 层次化体系结构的基本概念

1) 协议

协议(protocol)是一种通信约定。例如,在邮政通信系统中,对写信的格式、信封的标准和书写格式、信件打包以及邮包封面格式等都要进行实现约定。与之类似,在计算机网络通信过程中,为了保证计算机之间能够准确地进行数据通信,也必须制定通信的规则,这就是通信协议。

2) 层次

层次(layer)是人们对复杂问题的一种基本处理方法。当人们遇到一个复杂的问题时,通常习惯先将其分解为若干个小问题,再一一进行处理。

例如邮政通信系统,第一,将全国的邮政系统划分为各个不同地区的邮政系统,这些系统都有相同的层次,每层都规定了各自的功能;第二,不同系统之间的同等层次具有相同的功能;第三,高层使用低层提供的服务时,并不需要知道该层的具体实现方法。全国邮政通信系统与计算机网络通信系统使用的层次化体系结构有很多相似之处,其实质是对复杂问题采取的“分而治之”的模块化的处理方法。层次化处理方法可以大大降低问题的处理难度,因而是网络中研究各种分层模型的主要手段。因此,“层次”概念又是网络体系结构中的重点和难点,需要很好的理解和掌握。

3) 接口

接口(interface)就是同一节点内相邻层之间交换信息的连接点。例如在邮政系统中,邮筒(或邮局)与发信人之间、邮局信件打包部门和转运部门、转运部门与运输部门之间,都有双方所规定好的接口。由此可知,同一节点内的各相邻层之间都应有明确的接口,高层通过接口向低层提出服务请求,低层通过接口向高层提供服务。

4) 层次化模型结构

一个功能完善的计算机网络系统,需要使用一整套复杂的协议集。对于复杂系统来说,由于采用了层次结构,因此,每层都会包含一个或多个协议。为此,将网络层次化结构模型与各层次协议的集合定义为计算机网络的体系结构。

5) 实体

在网络分层体系结构中,每一层都由一些实体(entity)组成。这些实体就是通信时的软件(如进程或程序)或硬件元素(如智能的输入/输出芯片)。因此,实体就是通信时能发送和接收信息的具体的软硬件设施。例如,当客户机用户访问 WWW 服务器时,使用的实体就是 IE 浏览器,Web 服务器中接受访问的是 Web 服务器程序,这些程序都是执行功能的具体实体。

6) 数据单元

在邮政系统中,每层处理的邮包是不同的,例如,分发部门处理的是带有发件人和收件人地址的信件,转运部门处理的是标有地区名称的大邮包等。与邮政系统类似,计算机网络系统中不同节点内的对等层传送的是相同名称的数据包。这种网络中传输的数据包称为数据单元。因为每一层完成的功能不同,处理的数据单元的大小、名称和内容也就各不相同。

2. 网络体系结构的研究意义与划分原则

1974年,美国的IBM公司提出了世界上第一个网络体系结构SNA之后,凡是遵循

SNA 结构的设备就可以方便地进行互联。接下来,各公司纷纷推出自己的网络体系结构,例如,Digital 公司的 DNA、ARPANET 的参考模型 ARM 等。这些网络体系结构的共同之处在于都采用了“层次”技术,而各层次的划分、功能、采用的技术术语等却各不相同。采用层次化网络体系结构具有以下特点:

(1) 各层之间相互独立。某一高层只需知道如何通过接口向下一层提出服务请求,并使用下层提供的服务;而不需要了解下层的执行细节。

(2) 结构上独立分割。由于各层独立划分,因此,每层都可以选择适合自己的技术。

(3) 灵活性好。如果某一层发生变化,只要接口的条件不变,则以上各层和以下各层的工作不会受影响,有利于模型的更新和升级。

(4) 易于实现和维护。由于整个系统被分割为多个容易实现和维护的小部分,所以,整个庞大而复杂的系统变得容易实现、管理和维护。

(5) 有益于标准化的实现。由于每一层都有明确的定义,即功能和所提供的服务都很明确,因此,十分有利于标准化的实施。

总之,计算机网络体系结构描述了网络系统各部分应完成的功能、各部分之间的关系以及它们是怎么联系到一起的。网络体系结构划分的基本原则是:把应用程序和网络通信管理程序分开;同时又按照信息在网络中的传输过程,将通信管理程序分为若干个模块;把原来专用的通信接口转变为公用的、标准化的通信接口,从而使网络具有更大的灵活性,也使得网络系统的建设、改造和扩建工作更加简化,大大降低了网络系统运行和维护的成本,提高了网络的性能。

3.3 OSI 参考模型

国际标准化组织(International Standards Organization,ISO)是世界上最著名的国际标准化组织之一,它主要由美国国家标准组织(American National Standards Institute,ANSI)以及其他各国的标准化组织的代表组成。ISO 对网络最主要的贡献是建立并于 1981 年颁布了开放系统互连参考模型(Open System Interconnection Reference Model/Reference Model,OSI/RM),即七层网络通信模型,通常简称为七层模型。它的颁布促使所有的计算机网络走向标准化,从而具备了开放和互连的条件。

1. OSI 参考模型的基本知识

OSI/RM 体系结构模型分为 7 层,从上到下依次为应用层、表示层、会话层、传输层、网络层、数据链路层和物理层,如图 3.6 所示。

2. OSI 参考模型各层的功能

下面依次介绍 OSI 参考模型每层协议完成的具体功能、处理的数据单元以及包头中的地址信息等。

1) 物理层

(1) 功能:为上一层(数据链路层)提供一个物理连接。物理层规定了传输的电平、线速和电缆管脚,在介质上传送二进制的比特流。这层定义了以下 4 个特性,用来确定如何使用物理传输介质实现两个节点之间的物理连接。

- 机械特性:接口的形状,几何尺寸、引脚数目和排列方式等。

- 电气性能：接口规定信号的电压、电流、阻抗、波形、速率及平衡性等。
- 工程规范：接口引脚的意义、特性、标准。
- 工作方式：确定二进制数据位流的传输方式，如单工、半双工或全双工。

(2) 物理层的协议：有如下几种。

- 美国电子工业协会(EIA)：RS-232、RS-422、RS-423 和 RS-485 等。
- 国际电报电话咨询委员会(CCITT)：X.25 和 X.21 等。
- IEEE 802：802.3 和 802.5 等局域网的物理层规范。

(3) 处理的数据：二进制比特信号，例如二进制的基带信号或模拟信号。

(4) 处理的地址：直接面向物理端口的各个管脚，例如 RS-232 的管脚。

2) 数据链路层

(1) 功能：负责在两个相邻节点间的线路上无差错地传送以帧为单位的数据。该层在物理层服务的基础上，通过各种控制协议，将有差错的实际物理信道变为无差错的、能可靠传输数据的数据链路。

(2) 处理的数据单元：数据帧。

(3) 处理的地址：硬件的物理地址，如网卡的 MAC 地址“20-D4-FF-0A-2C-0B”。

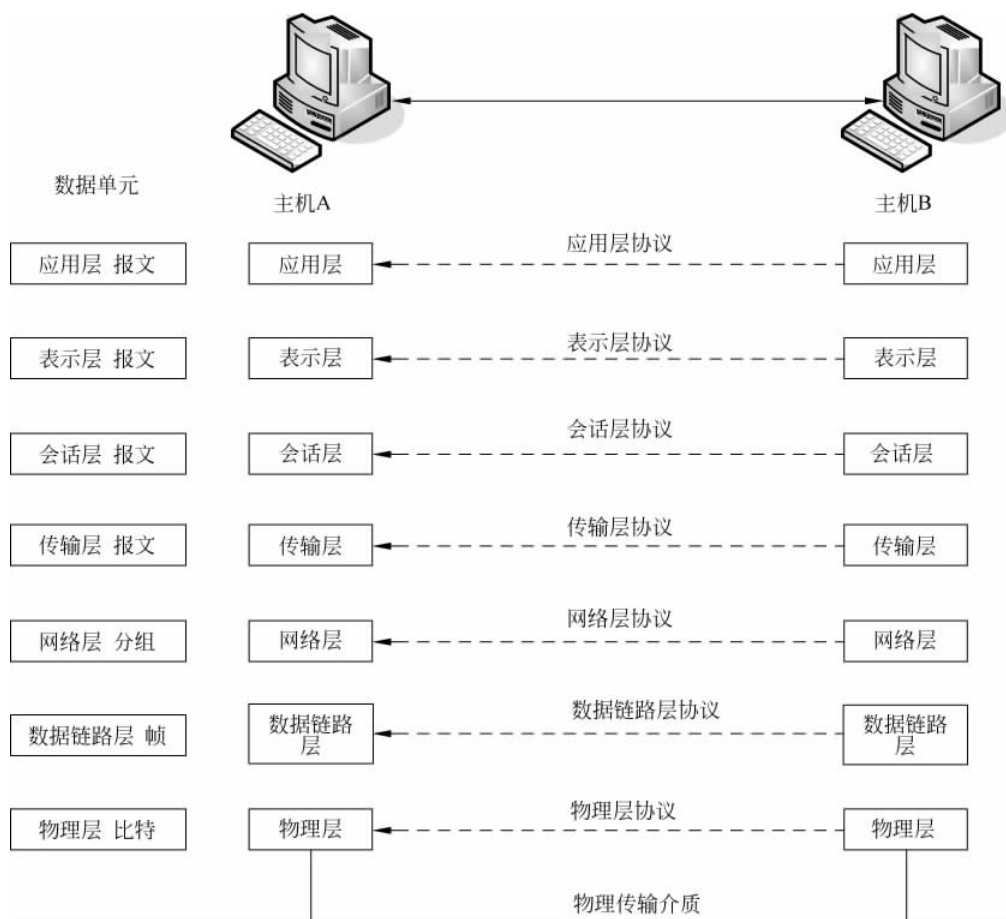


图 3.6 OSI 参考模型结构示意图

3) 网络层

(1) 功能：使用逻辑地址(IP 地址)进行寻址,通过路由选择算法为数据分组通过通信子网选择最适当的路径,并提供网络互联及拥塞控制功能。

(2) 处理的数据单元：分组(又称 IP 数据报或数据包)。

(3) 处理的地址：逻辑地址,如计算机或路由器端口的 IP 地址“192.168.0.1”。

4) 传输层

(1) 功能：负责主机中两个进程之间的通信,即在两个端系统(源站点和目的站点)的会话层之间建立一条可靠或不可靠的传输连接,以透明的方式传送报文。

(2) 处理的数据单元：报文段。

(3) 处理的地址：进程标识,如 TCP 和 UDP 端口号。

5) 会话层

(1) 功能：组织并协调两个应用进程之间的会话,在不同主机的应用进程之间建立和维持联系,并管理它们之间的数据交换。

(2) 会话的含义：一个会话可能是一个用户通过网络登录到服务器,或在两台主机之间传递文件。会话在开始时可以进行身份的验证、确定会话的通信方式、建立会话;当会话建立后,其任务就是管理和维持会话;会话结束时,负责断开会话。

(3) 处理的单元：报文。

6) 表示层

(1) 功能：保证一个系统应用层发出的信息能够为另一个系统的应用层理解,即处理节点间或通信系统间的信息表示方式,如数据格式的转换、压缩与恢复以及加密与解密等。

(2) 处理的数据单元：报文。

7) 应用层

(1) 功能：为了满足用户的需要,根据进程之间的通信性质,负责完成各种程序或网络服务的接口工作,例如用户通过 Excel 程序来获得表格处理及文件传输服务。

(2) 处理的数据单元：报文。

(3) 处理的地址：进程标识,即端口号,例如 80 代表 HTTP 协议使用的程序代码。

3. OSI 参考模型的各个部分

网络管理员在处理网络管理中的问题时,请务必注意 OSI 参考模型的不同部分解决不同的问题。

1) OSI 模型在功能上分为 3 个部分

(1) 第 1、2 层：物理层和数据链路层解决网络信道问题。

(2) 第 3、4 层：网络层和传输层解决传输问题。

(3) 第 5、6、7 层：会话层、表示层和应用层解决与应用进程之间访问的问题。

2) OSI 模型从控制上分为两个部分

(1) 第 1、2、3 层：物理层、数据链路层和网络层属于通信子网,负责处理数据的传输、转发、交换等通信方面的问题。

(2) 第 4、5、6、7 层：传输层、会话层、表示层和应用层属于资源子网,负责数据处理、网络服务、网络资源的访问和服务方面的问题。

4. 对 OSI 参考模型的小结

由于 OSI 是一个理想的模型,因此,一般网络系统只涉及其中的几层,很少有系统能够包含完整的 7 层,并完全遵循它的规定。在七层模型中,每一层都提供一个特殊的网络功能,从网络整体功能的角度总结如下:

(1) 下面 3 层(物理层、数据链路层、网络层)主要提供数据传输和交换功能,即以节点到节点之间的通信为主,例如,负责数据如何通过传输介质经过网络互联设备到达对方。

(2) 第 4 层(传输层)作为上下两部分的桥梁,是整个网络体系结构中最关键的部分。

(3) 上 3 层(会话层、表示层和应用层)为用户提供与应用程序之间的信息访问、数据处理的功能,例如,处理用户与计算机或网络的接口、数据的格式,并访问应用程序。

3.4 TCP/IP 参考模型

3.4.1 TCP/IP 参考模型概述

随着 Internet 技术在世界范围内的迅猛发展,TCP/IP 协议得到了广泛应用。其由来要追溯到计算机网络的鼻祖 ARPANET。ARPANET 是美国国防部高级研究项目组的一个网络,主要为了改变集中控制的运作方式,使网络中的主机、通信控制器和通信线路能够相对独立,当一部分受到破坏时,其他部分可以照常工作,而不至于使整个网络瘫痪。TCP/IP 也希望实现满足从报文的传送到数据实时传输等不同需求的网络传输方式,这就要求整个网络系统的体系结构必须相当灵活。

最初的 ARPANET 工作情况良好,不过偶尔有周期性的瘫痪状态出现,而且运行成本很高,因此人们继续设计了各种更加可靠地通信协议。20 世纪 70 年代,人们相继提出了一些 TCP/IP 协议,并研究和设计了 TCP/IP 参考模型。1974 年,Kahn 定义了最初的 TCP/IP 参考模型;1985 年,Leiner 等人对其进行了补充;1988 年,Clark 讨论了此模型的设计思想。

TCP/IP 参考模型分为 4 层,分别为网络接口层、网际层、传输层和应用层,如图 3.7 所示。主机和网络设备可以根据实际需要决定其工作的最高层次,主机需要达到应用层,路由器需要达到网络层,交换机只需要达到网络接口层。

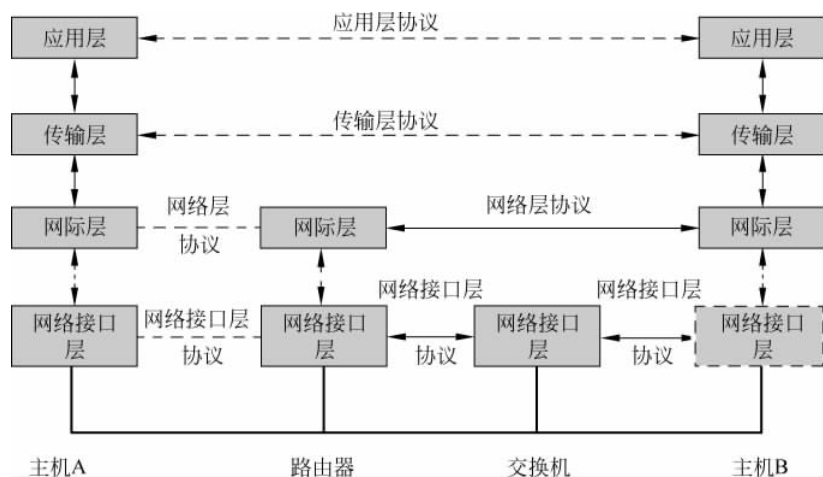


图 3.7 TCP/IP 参考模型

1. 网络接口层

网络接口层是 TCP/IP 参考模型的核心,它没有对网络接口层进行详细的描述,只是指出网络接口层可以通过某种协议与网络连接,以便传输 IP 数据包。它支持的各种协议有 Ethernet 802.3(以太网)、Token Ring 802.5(令牌环)、X.25(公用分组交换网)、Frame Relay(帧中继)、PPP(点对点),至于协议如何定义和实现,TCP/IP 参考模型并不深入讨论。

2. 网际层

网际层是 TCP/IP 参考模型的核心,负责 IP 数据包的产生以及 IP 数据包在逻辑网络上的路由转发。在 TCP/IP 参考模型中,网际层提供了数据报的封装、分片和重组以及路由选择和拥塞控制机制。但是网际层只提供无连接不可靠的通信服务。网际层中包含的主要协议具体功能如下。

(1) 网际协议(Internet Protocol,IP):其任务是为 IP 数据包进行寻址和路由选择,它使用 IP 地址确定收发端,并将数据报从一个网络转发到另一个网络。

(2) 网际控制报文协议(Internet Control Message Protocol,ICMP):用于处理路由,并协助 IP 层实现报文传送的控制机制,为 IP 协议提供差错报告。

(3) 地址解析协议(Address Resolution Protocol,ARP):用于完成主机 IP 地址向物理地址的转换,这种转换又称为映射。

(4) 逆向地址解析协议(Reverse Address Resolution Protocol,RARP):用来完成主机物理地址到 IP 地址的转换或映射功能。

3. 传输层

传输层又称为运输层,它在 IP 层服务的基础上提供端到端的可靠或不可靠的通信服务。端到端的通信服务通常是指网络节点间应用程序之间的连接服务。传输层包含两个主要协议,它们都是建立在 IP 协议基础上的,功能如下。

(1) 传输控制协议(Transmission Control Protocol,TCP):是一种面向连接的、高可靠性的、提供流量与拥塞控制的传输层协议。

(2) 用户数据报协议(User Datagram Protocol,UDP):是一种面向无连接的、不可靠的、不提供流量控制的传输层协议。

(3) TCP 和 UDP 端口号(port):在一台计算机中,不同的进程用进程号或进程标识唯一地标识出来。在 TCP/IP 协议簇中,这种进程标识符就是端口号,也称为进程地址。表 3.1 和表 3.2 分别列出了常用的 TCP 和 UDP 端口号。

表 3.1 TCP 端口

端口号	服务进程	说明
20	FTP	文件传输协议(数据连接)
21	FTP	文件传输协议(控制连接)
23	Telnet	远程登录
25	SMTP	简单邮件传输协议
53	DNS	域名服务
80	HTTP	超文本传输协议
110	POP	邮局协议
111	RPC	远程过程调用