

下一代互联网 核心通信协议

——IPv6原理及应用



傅光轩 高鸿峰 卢朝晖 编著

贵州教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

下一代互联网核心通信协议:IPv6 原理及应用/傅光
轩编著. —贵阳:贵州教育出版社,2004.11
ISBN 7-80650-534-2

I. 下… II. 傅… III. 因特网—通信协议
IV. TN915.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 111551 号

下一代互联网核心通信协议

——IPv6 原理及应用

傅光轩 高鸿峰 卢朝晖 编著

出版发行 贵州教育出版社

地 址 贵阳市中华北路 289 号(邮编:550004)

印 刷 贵州兴隆印务有限责任公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印张字数 15.75 印张 380 千字

版次印次 2004 年 11 月第 1 版 2004 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN7-80650-534-2/TN·1 定价:35.00 元

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与印刷厂联系调换。

厂址:贵阳市金丰路 5 号 电话:6774152 邮编:550004

前 言

以因特网为代表的计算机互联网络已经渗透到人类社会的各个领域,成为国家进步和社会发展的重要支柱。因特网的广泛使用,得益于它所采用的通信协议——TCP/IP 协议。可以说,TCP/IP 协议是因特网的基础,它主要由两个协议构成,即 IP 协议和 TCP 协议。目前我们使用的 IP 协议是第 4 版,通常称为 IPv4。随着互联网的飞速发展,IPv4 已经不能满足需要。因此,IETF 工作组于 1995 年 12 月提出了 RFC2460 标准协议规范,这就是 IPv6 最早的文档。为了对 IPv6 协议特性进行研究并积累 IPv6 组网经验,IETF 于 1996 年建立了全球范围的 IPv6 实验床 6Bone。经过几年的实践和修改,到 1998 年 IPv6 得到进一步的完善。IPv6 是 IPv4 的升级和优化,是下一代互联网的核心通信协议。

IPv4 过渡到 IPv6,只是时间问题。因此不少人都渴望了解有关 IPv6 的知识。本书的宗旨就是较全面地、通俗地介绍 IPv6,使读者通过阅读本书,能对 IPv6 有一个比较全面的了解。本书的特点是注重基础,强调应用,理论联系实际。在讲清 IPv6 原理的前提下,结合我们建立 IPv6 实验床的实践,较详细地介绍了 IPv6 的各种应用系统及其实现方法。

本书由 17 章组成。第 1 章简要介绍计算机网络体系结构的概念;第 2 章简要介绍著名的 ISO/OSI 体系结构;第 3 章介绍 TCP/IP 协议族;第 4 章介绍 IPv6 产生的背景;从第 5 章到第 11 章较系统地介绍了 IPv6 的原理;第 12 章到第 14 章介绍 IPv6 的主要应用系统及实现技术;第 15 章介绍了 IPv6 下的 Socket 编程及其应用实例;第 16 章简要介绍从 IPv4 到 IPv6 的过渡技术;第 17 章介绍如何建设 IPv6 试验床。

本书由傅光轩教授主编,高鸿峰、卢朝晖参加编写。傅光轩拟定编写大纲,并编写了第 1、2、3、4、5、6、7、8、10、11、16 章。高鸿峰编写了第 9、12、13、14、17 章。卢朝晖编写了第 15 章和 13.5 节。全书由傅光轩教授审阅定稿。

本书可作为高等学校计算机及相关专业的本科生、研究生的教材或教学参考书,也可作为有关人员学习了解 IPv6 用书。

在本书编写过程中,我们参考了有关著作和文献,在此一并表示感谢。

IPv6 出现的时间毕竟不太长,并且 IPv6 的许多特性还处在研究、完善和发展中,加之对 IPv6 的实践也不多,因此,书中缺点与错误在所难免,欢迎读者批评指正。

编 者

2004 年 6 月

目 录

(81)	.....	1.4
(81)	.....	1.4
(81)	.....	1.4
(81)	.....	1.4
(81)	.....	1.4
(81)	.....	1.4
第1章 计算机网络体系结构的概念	.....	(1)
1.1 网络协议	.....	(1)
1.2 协议分层与计算机网络体系结构	.....	(2)
1.3 接口和服务	.....	(3)
1.4 协议数据单元	.....	(3)
1.5 服务原语	.....	(4)
第2章 ISO/OSI 体系结构	.....	(6)
2.1 ISO/OSI 的协议层次	.....	(6)
2.2 物理层	.....	(7)
2.3 数据链路层	.....	(8)
2.4 网络层	.....	(8)
2.5 传输层	.....	(9)
2.6 会话层、表示层和应用层	.....	(10)
2.7 ISO/OSI 模型中数据传输过程	.....	(10)
第3章 TCP/IP 协议简介	.....	(12)
3.1 TCP/IP 协议的发展	.....	(12)
3.2 TCP/IP 体系结构	.....	(13)
3.2.1 网络接口层	.....	(13)
3.2.2 互联网络层(IP 层)	.....	(13)
3.2.3 传输控制层	.....	(14)
3.2.4 应用层	.....	(14)
3.3 TCP/IP 的特点	.....	(15)
第4章 IPv6 产生的背景	.....	(16)
4.1 IPv4 的局限性	.....	(16)
4.1.1 网络地址短缺	.....	(16)
4.1.2 网络号码匮乏	.....	(16)
4.1.3 路由表急剧膨胀	.....	(16)
4.1.4 缺乏网络安全机制	.....	(17)
4.1.5 服务质量问题	.....	(17)
4.1.6 暂时缓解 IPv4 危机的措施	.....	(17)
4.2 IPv6 的产生	.....	(18)

4.3 IPv6 的主要特点	(18)
4.3.1 无限的地址空间	(18)
4.3.2 数据报头部的简化和可扩展性	(18)
4.3.3 完善的服务种类和 QoS 能力	(19)
4.3.4 良好的安全性	(19)
4.3.5 支持“即插即用”	(19)
4.3.6 支持良好的可移动性	(20)
4.3.7 高效的路由寻址	(20)
第5章 IPv6 的编址方案	(21)
5.1 IPv4 编址方案回顾	(21)
5.2 IPv6 的地址方案	(23)
5.2.1 IPv6 地址表示形式	(23)
5.2.2 IPv6 地址前缀的表示	(24)
5.2.3 IPv6 地址的总体划分	(25)
5.3 IPv6 地址类型	(26)
5.3.1 单目地址(Unicast)	(26)
5.3.2 任播地址(Anycast)	(30)
5.3.3 组播地址(Multicast)	(31)
第6章 IPv6 的报文格式	(34)
6.1 IPv4 的报文格式回顾	(34)
6.2 IPv6 数据报文格式	(36)
6.2.1 IPv6 基本报头	(36)
6.2.2 IPv6 的扩展报头	(38)
6.2.3 扩展报头的选项	(40)
6.2.4 Hop-by-Hop 选项扩展报头	(41)
6.2.5 源路径选项扩展报头	(42)
6.2.6 分片扩展报头	(44)
6.2.7 目的选项扩展报头	(47)
6.2.8 认证报头和封装安全载荷报头	(48)
第7章 IPv6 的控制报文协议 ICMP	(51)
7.1 IPv4 的 ICMP 简介	(51)
7.2 ICMPv6 报文	(52)
7.2.1 ICMPv6 报文格式	(53)
7.2.2 ICMPv6 报文信源地址的确定	(54)
7.2.3 ICMPv6 报文处理规则	(55)
7.3 ICMPv6 差错报文	(56)

7.3.1	目的不可到达报文	(56)
7.3.2	数据报文过长	(57)
7.3.3	超时报文	(57)
7.3.4	参数错误报文	(58)
7.4	ICMPv6 信息报文	(59)
7.4.1	网络诊断信息	(59)
7.4.2	组播组管理信息	(60)
7.4.3	邻居发现报文	(60)
7.4.4	路由请求和路由广告报文	(62)
7.4.5	重定向报文	(63)
7.5	ICMPv6 报文的安全性	(65)
第 8 章	邻居发现与即插即用功能	(66)
8.1	邻居发现功能的实现	(66)
8.2	地址自动配置	(67)
8.2.1	无状态自动配置	(67)
8.2.2	有状态自动配置	(68)
第 9 章	IPv6 路由技术	(73)
9.1	路由器简介	(73)
9.1.1	路由器	(73)
9.1.2	路由器的组成	(74)
9.2	IPv4 路由技术概述	(74)
9.3	IPv6 路由	(76)
9.3.1	IPv6 网络路由模型	(76)
9.3.2	IPv6 路由的新特点	(77)
9.3.3	IPv6 路由算法	(77)
9.3.4	IPv6 路由协议	(83)
9.4	IPv6 地址和路由之间的关系	(87)
9.5	IPv6 组播路由	(88)
第 10 章	IPv6 的安全性	(89)
10.1	计算机网络的安全问题	(89)
10.2	IPsec 提供的网络安全保障	(90)
10.3	IPsec 的结构	(91)
10.4	安全关联	(92)
10.5	安全策略	(93)
10.6	IPsec 的认证机制	(93)
10.6.1	AH 的结构	(93)

10.6.2	认证过程	(94)
10.6.3	认证算法	(95)
10.7	IPsec 的加密机制	(96)
10.7.1	ESP 的结构	(96)
10.7.2	数据加密的实现	(97)
10.7.3	认证与加密	(98)
10.8	密钥管理	(99)
10.8.1	因特网简单密钥管理协议 SKIP	(99)
10.8.2	因特网安全互联与密钥管理协议	(100)
10.9	IPsec 的应用	(100)
10.9.1	防火墙与安全通道	(100)
10.9.2	安全主机	(102)
第 11 章	IPv6 到物理网络的映射	(103)
11.1	IPv6 在以太网上运行	(103)
11.2	在 FDDI 上运行 IPv6	(104)
11.3	在令牌环上运行 IPv6	(105)
11.4	通过 PPP 传送 IPv6 报文	(107)
11.5	通过 ATM 运行 IPv6	(108)
第 12 章	IPv6 在不同操作系统上的实现	(111)
12.1	IPv6 在 Windows 上的实现	(111)
12.1.1	在 Windows 2000 上实现 IPv6 协议	(112)
12.1.2	在 Windows XP 上实现 IPv6 协议	(119)
12.1.3	IPv6 在 Windows XP (Service Pack 1) 和 Windows 2003 Server Family	(120)
	上的实现	(120)
12.1.4	在 Windows 下 IPv6 协议的配置	(121)
12.1.5	Windows 下 IPv6 常用工具	(124)
12.2	IPv6 在 Linux 上的实现	(127)
12.2.1	Linux 上 IPv6 协议栈的安装	(128)
12.2.2	Linux 系统下 IPv6 协议的配置	(129)
12.2.3	Linux 下 IPv6 的常用工具	(130)
第 13 章	IPv6 的域名系统及其实现	(135)
13.1	域名系统 DNS 概述	(135)
13.2	DNS 的服务系统	(136)
13.3	IPv6 的 DNS 扩展	(139)
13.4	IPv6 域名服务的实现	(142)
13.5	IPv6 下动态域名系统的实现	(146)

13.5.1	动态 DNS 的基本原理	(147)
13.5.2	动态 DNS 的配置	(147)
第 14 章 IPv6 下的通用服务系统 (150)		
14.1	IPv6 下的 WWW 服务	(150)
14.1.1	WWW 服务器概述	(150)
14.1.2	WWW 服务器的安装	(151)
14.1.3	WWW 服务器的配置	(154)
14.1.4	与 IPv6 密切相关的参数设置	(160)
14.2	IPv6 下的 Telnet 服务	(160)
14.2.1	Telnet 服务概述	(160)
14.2.2	Telnet 服务器的安装	(161)
14.2.3	Telnet 服务器的配置	(162)
14.3	IPv6 下的 FTP 服务	(163)
14.3.1	FTP 概述	(163)
14.3.2	FTP 服务器的安装	(163)
14.3.3	FTP 服务器配置	(164)
14.4	IPv6 下的 SSH	(169)
14.4.1	SSH 概述	(169)
14.4.2	SSH 安装	(169)
14.4.3	SSH 密钥	(169)
14.4.4	配置 SSH	(170)
14.4.5	用 SSH 设置加密通道	(170)
14.5	服务启动与管理	(171)
14.6	服务器测试	(171)
14.7	IPv6 下的 Email 服务	(173)
14.7.1	邮件服务器概述	(173)
14.7.2	Sendmail 邮件服务器的原理	(173)
14.7.3	IPv6 邮件服务器的安装	(175)
14.7.4	IPv6 邮件服务器的常用设置	(179)
14.7.5	POP3 服务支持	(180)
第 15 章 Socket 编程及其应用实例 (182)		
15.1	客户、服务器和协议	(182)
15.2	Berkeley 套接口基础	(183)
15.2.1	套接口分析	(183)
15.2.2	套接口寻址	(185)
15.2.3	字节排序函数	(187)

15.2.4	地址转换函数	(188)
12.2.5	域名与地址转换函数	(189)
15.2.6	双协议栈主机	(191)
15.3	TCP 套接口编程	(193)
15.3.1	socket 函数	(194)
15.3.2	与套接字选项设置相关的函数	(194)
15.3.3	bind 函数	(195)
15.3.4	listen 函数	(196)
15.3.5	accept 函数	(196)
15.3.6	connect 函数	(196)
15.3.7	getsockname 和 getpeername 函数	(197)
15.3.8	传送数据	(198)
15.3.9	close 函数	(198)
15.3.10	fork 函数	(199)
15.3.11	一个客户与服务器 TCP 连接的例子	(199)
15.4	UDP 套接口编程	(213)
15.4.1	socket 函数	(214)
15.4.2	传送数据	(214)
15.4.3	一个使用 UDP 协议的客户/服务器编程例子	(214)
第 16 章	IPv4 向 IPv6 的过渡	(229)
16.1	双协议栈 (Dual Stack)	(229)
16.2	隧道技术 (Tunnel)	(229)
16.3	地址/协议翻译 (NAT-PT) 技术	(231)
第 17 章	IPv6 实验床的实现	(232)
17.1	建立实验床的准备工作	(232)
17.2	实验床实现	(238)
参考书目和文献		(242)

第1章 计算机网络体系结构的概念

在一个计算机网络中,计算机之间的通信必须协调进行,这种“协调”是相当复杂的。为了减少网络设计的复杂性,网络设计的专家们提出了协议分层的思想。1974年,IBM公司提出了它的“系统网络体系结构”SNA(System Network Architecture),成为世界上较为广泛使用的一种网络体系结构。DEC公司也提出了自己的网络体系结构“数字网络体系结构”DNA(Digital Network Architecture)。后来,国际标准化组织ISO提出了不同网络互联的标准框架,即著名的“开放系统互联参考模型”(Open System Interconnection Reference Model),简称OSI/RM。ISO的OSI/RM的推出,表明网络发展走向标准化。标准化的最大体现就是Internet的飞速发展。在本章,我们将简要介绍计算机网络体系结构的概念。

1.1 网络协议

计算机网络的一个重要功能就是实现资源共享,交换信息。不同计算机之间要实现资源共享,交换信息,它们必须有一些规则和约定,并且进行通信的双方必须遵守这些规则和约定。在计算机网络中,通信双方必须遵守的规则或约定的集合,通常称之为“通信协议”(或者叫做网络协议)。

一个计算机网络协议有3大要素:语法、语义和时序。

所谓“语法”,就是对信息的数据结构所作的规定,即对数据和控制信息的结构与格式的约定。

所谓“语义”,就是对协议元素含义的解释。比如对各种控制信息以及完成的动作和做出何种应答等的解释。

所谓“时序”,即对事件实现顺序的详细说明。

协议对计算机网络是必不可少的。不同的网络、不同厂家的网络产品,可能使用的协议不一样。但是,为了实现不同网络、不同网络产品之间的互联互通,它们必须遵守一些共同的标准,这就是所谓的协议标准化问题。目前流行的网络协议很多,但最主要的有国际标准化组织ISO提出的“开放系统互联参考模型”OSI/RM(Open Systems Interconnection Reference Model),即通常所说的ISO/OSI模型,美国电气工程师协会提出的IEEE802协议系列和Internet广泛使用的TCP/IP协议簇。

1.2 协议分层与计算机网络体系结构

计算机网络是一个十分复杂的系统,如何使一个复杂系统便于理解、便于实现和管理呢?通常的办法是采取“分而自治”的思想,使复杂的问题简单化。因此,人们为了减少网络系统在实现时的复杂性,提出了网络系统协议“分层”的思想。这样做的目的是使得协议的设计、分析、实现、编程、测试、修改和维护变得简单、容易。

协议分层的方法很多,但都基于一个基本思想:信宿机第 n 层所收到的对象应当与信源机第 n 层所发出的对象完全一致。

协议分层,每层应具有其特定的功能,且每层都建立在下层之上,下层向上层提供服务。在每一对相邻层之间有一个接口(软接口),定义下层向上层提供的操作和服务。如何实现这种服务的细节对上层是屏蔽的。不同的网络,分层的数量、各层的名称、每层的内容和功能等都不尽相同。

在计算机网络中,两台主机如何进行通信呢?从逻辑上讲,是一台主机的第 n 层与另一台主机的第 n 层进行通信,通过第 n 层协议。不同主机上所包含的对应层实体通常叫“对等实体”。也就是说,两台主机之间的通信,就是对等实体利用协议进行通信。但是,从物理上看,数据不是从一台主机的第 n 层直接传送到另一台主机的第 n 层,而是每一层都把数据和控制信息传给它的下一层,这样一层一层往下传,直到最底层,最终通过物理介质把数据传送给信宿

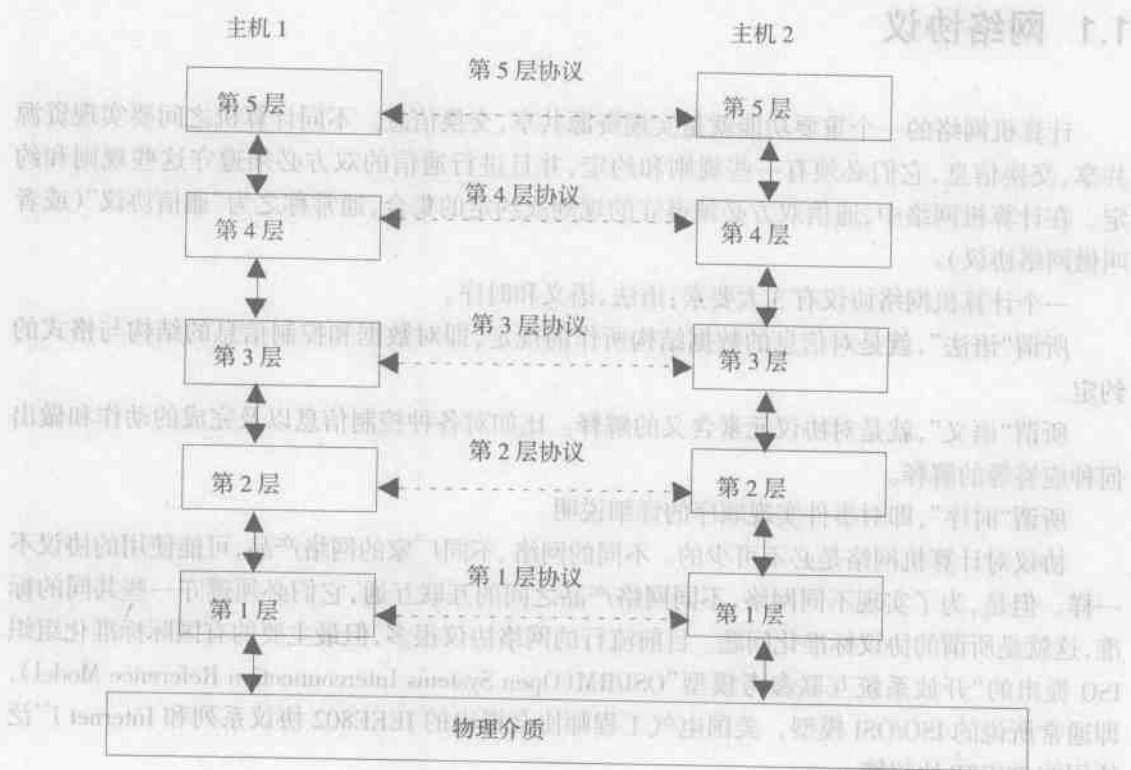


图 1.1 两台主机之间的通信过程

机。两台计算机之间的通信过程如图 1.1 所示,图中我们假设协议分为 5 层。

通常把协议和分层的集合称为计算机网络的体系结构 (Computer Network Architecture)。也就是说,计算机网络体系结构是关于网络如何分层,每一层应当提供哪些功能的精确定义。至于这些功能如何实现(包括软件和硬件),不属于网络体系结构范畴,而属于计算机网络体系结构的实现。计算机网络体系结构是抽象的,而实现是具体的。

1.3 接口和服务

前面我们提到,在分层结构的网络体系结构中,每层都向它的上层提供服务。上下层之间如何实现服务呢?为此,我们先介绍几个术语。

(1) 实体 (Entity): 任何可发送或接收信息的硬件或软件,在计算机网络中统称为“实体”。

(2) 对等实体 (Peer Entity): 在网络层次体系结构中,不同主机上居于同一层的实体,称为“对等实体”。

(3) 服务 (Service): 是各层向它的上一层提供的一组操作。

N 层实体实现的服务被 N+1 层所利用。在这种情况下,N 层实体被称为服务提供者 (Service Provider), N+1 层被称为服务用户 (Service User)。

服务通过什么来实现呢?通过服务访问点 SAP 来实现。N 层的服务访问点就是 N+1 层可以访问 N 层服务的地方。每个 SAP 都有一个唯一标识的地址。

在计算机网络中,服务通常有两种形式:面向连接的服务和无连接的服务。

面向连接的服务 (Connection-oriented Service): 两实体在进行通信之前,通信双方必须先建立连接,然后才能进行数据传输,数据传输完成后,要释放连接。这个过程类似于使用电话进行通话的过程。

无连接服务 (Connectionless Service): 两实体在进行通信之前,通信双方不需事先建立连接,在数据传输时动态分配网络资源,每个要传输的数据单位都携带有信宿地址,在系统中独立传送。这种服务可以看成邮政服务模式的抽象。在这种服务模式,先发出的数据不一定先到达目的地,因为不同的数据可能选择不同的路径到达目的地。无连接的服务不保证报文传输的可靠性。

要注意,协议和服务是有联系又有区别的两个概念。协议的实现保证了能够向上层提供的服务,服务用户只能看见服务提供者所提供的服务而无法看见协议,协议对上层的服务用户来说是透明的。协议是“水平”的,即是控制对等实体之间通信的规则;而服务是“垂直”的,即是下层向上层通过接口提供的。

1.4 协议数据单元

同等层实体之间交换信息的基本单元叫做“协议数据单元”PDU (Protocol Data Unit)。每

个 PDU 一般包括两部分内容:协议控制信息 PCI(Protocol Control Information)和来自上层的服务数据单元 SDU(Service Data Unit)。协议数据单元与服务数据单元的关系如图 1.2 所示。

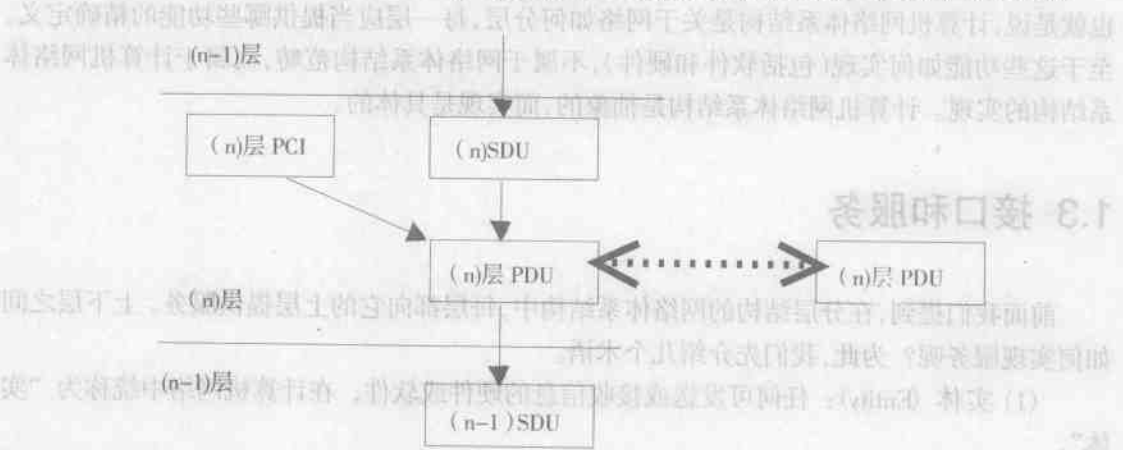


图 1.2 协议数据单元

在有些网络体系中,把网络层的 PDU 叫做数据报文(简称报文)或者分组(Packet),在本书中,我们也使用数据报文。链路层的 PDU 叫做数据帧(Frame)(通常简称为“帧”)。

1.5 服务原语

服务是通过一组原语来描述的,(n)层实体所提供的服务用服务原语(Service Primitive)来表示。原语可划分为 4 类,即请求、指示、响应和确认,如表 1.1 所示。

表 1.1 四类服务原语

原 语	含 义
请求(request)	用户实体发出请求服务的要求
指示(indicate)	告诉用户实体某事件发生
响应(response)	实体对某事件的响应
确认(confirm)	对请求的答复

“请求”原语是用于服务用户提出某项服务的请求,比如请求建立连接、发送数据等。服务提供者执行这一请求后,将用“指示”原语通知接收方的用户实体。例如,某实体发出“连接请求”(CONNECT.request)原语之后,该原语地址段内所指向的接收方的对等实体将得到一个“连接指示”(CONNECT.indicate)原语,告诉它有实体要与之建立连接。收到连接指示原语的实体用“连接响应”(CONNECT.response)原语给予响应,表示是否愿意接受建立连接的请求。无论接收方是否愿意建立连接,请求建立连接的一方都可以通过接受“连接确认”(CONNECT.

第2章 ISO/OSI 体系结构

2.1 ISO/OSI 的协议层次

ISO/OSI 体系结构从逻辑上将计算机网络功能划分为 7 个层次,如图 2.1 所示。

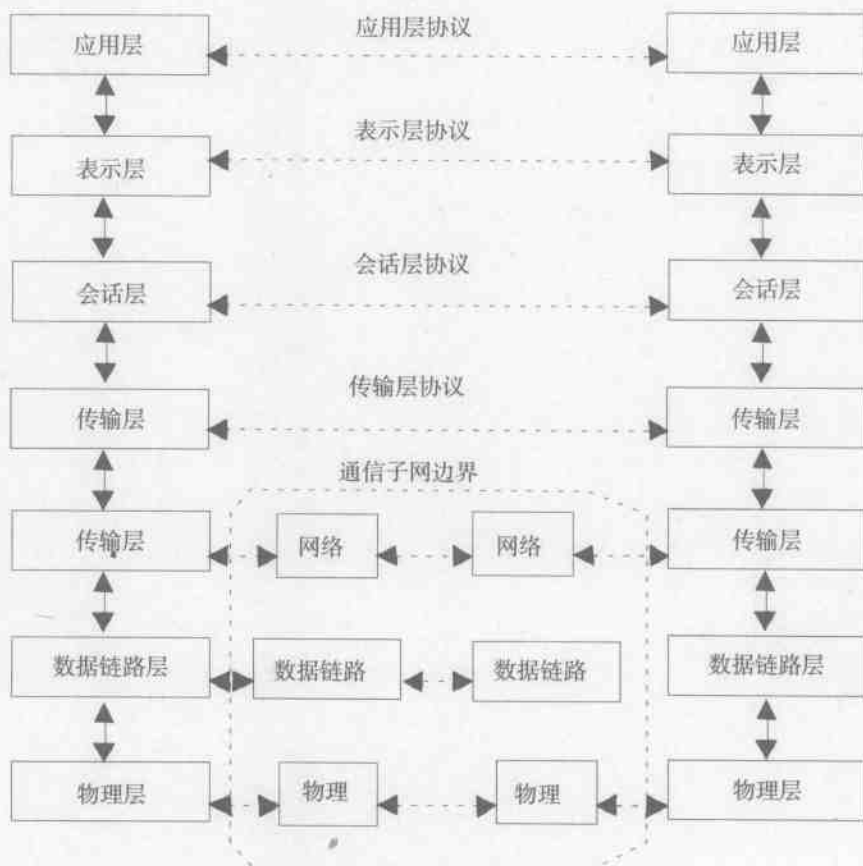


图 2.1 ISO/OSI 参考模型

从底向上分别是:物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层。下面简要介绍一下各层的功能。

2.2 物理层

物理层是七层协议的最底层,它的功能主要是定义物理链路的机械、电气、功能特性,通过与物理介质建立、维持和拆除物理连接,给数据链路实体之间提供数据位流的透明传输。

物理层有如下 4 个重要特性:机械特性(比如接口的形状、插针的分配、引线的数目和排列等);电气特性(比如接口电缆的某条线上电压、电平等等);功能特性(即接口电路的功能规定,比如某一电平电压的含义等);规程特性(比如接口电路所使用的规程、协议标准、各种可能事件的出现顺序等)。

物理层的主要功能有:

- ◆为数据端接设备提供传输数据的物理通路。无论何种通信,通信双方都得通过物理传输介质来连接,计算机间的通信也如此。

- ◆传输数据的功能。为使数据能够在物理介质上有效传输,可能对传输的数据要进行适当转换,转换成在通信链路上可以传输的格式。另外,要为数据的传输提供足够的带宽。数据传输方式可以是点到点方式、点对多点方式,串行或并行方式,全双工或半双工通信方式,同步或异步方式传输等。

- ◆提供各种必要的服务质量参数和故障状态信息,比如传输误码率、速率、延时、服务可用性、时序等。

- ◆编码,0 和 1 在可用的信号系统中如何表示。

最常见的物理层的接口标准有:RS-232-C 接口标准、RS-449 接口标准等。RS-232-C 是美国电子工业协会 EIA 制订的物理层接口标准,它是 DTE(Data Terminal Equipment)与 DCE(Data Circuit Equipment)之间的接口标准,采用 25 根插针的标准连接器。RS-232-C 接口标准的数据传输速率较低(小于 20Kb/s),连接电缆的最大长度不超过 15m。因此,EIA 又制订了一个新的标准 RS-449。RS-449 实际上由 3 个标准构成,即 RS-449、RS-423-A 和 RS-422-A 电气标准。RS-449 规定接口的机械特性、功能特性,采用 37 根引脚的插头座,在 CCITT 的建议中,相当于 V.35;RS-422-A 标准是平衡方式的,最高速率可达 10Mb/s(当电缆长度在 10m 时);RS-423-A 标准是非平衡方式的,比 RS-232-C 有更大的电缆长度和更高的速率。

在计算机网络中,最常用的传输介质有:双绞线、同轴电缆、光纤、微波、红外线等。

双绞线一般分为屏蔽双绞线 STP(Shielded Twisted Pair)和非屏蔽双绞线 UTP(Unshielded Twisted Pair)两大类。目前计算机网络中,双绞线主要用于室内数据传输。屏蔽双绞线 STP 比非屏蔽双绞线 UTP 有更好的特性,特别是具有较好的抗干扰能力和保密性能,一般用于对保密性要求较高的场合。但是,在大多数网络环境下,都使用非屏蔽双绞线。对于数据传输来说,最常用的非屏蔽双绞线是 5 类双绞线和超 5 类双绞线。

室外的传输介质用得最多的是光纤,它具有传输损耗小、容量大、距离远、抗干扰(雷电、电磁干扰)能力强、保密性好、体积小、重量轻等优点,是计算机网络最好的一种传输介质。光纤分多模和单模两种,单模光纤比多模光纤的传输距离更长,具有更高的数据传输速率。在计算机