

高等学校计算机科学与技术
专业工程应用型规划教材

计算机网络



鲁士文 编著

清华大学出版社

高等学校计算机科学与技术专业工程应用型规划教材

计算机网络

鲁士文 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本教程主要为满足考研的本科学生对计算机网络课程教材的需求而编写,全书共分8章,内容包括计算机网络体系结构、数据信号传输和物理层协议、面向点对点信道的数据链路层、局域网、网络层和广域网、IP网络、传输层、应用层。每一章都通过通俗易懂的描述和具有实际意义的图表阐明原理、算法、标准和关键技术,通过内容丰富的例题与解析以及同步练习题,帮助学生消化理解相关的知识点,同时培养他们运用这些知识解决实际问题的能力。

本书可供计算机相关专业的学生和教师用作教材或教学参考书,特别适合于准备考研的学生精读,也可供从事计算机网络工作的在职人员阅读使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络/鲁士文编著. —北京:清华大学出版社,2010.12

(高等学校计算机科学与技术专业工程应用型规划教材)

ISBN 978-7-302-22582-9

I. ①计… II. ①鲁… III. ①计算机网络—高等学校—教材 IV. ①TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 075021 号

责任编辑:梁 颖 徐跃进

责任校对:时翠兰

责任印制:孟凡玉

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954, jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 1/32 印 张:15.75 字 数:375 千字

版 次:2010 年 12 月第 1 版 印 次:2010 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:25.00 元

产品编号:035301-01

前言

FOREWORD

计算机网络是计算机技术和通信技术密切结合的产物,并已发展成在信息社会中得到广泛应用的一门综合性学科,是计算机发展的重要方向之一。计算机网络技术已成为计算机专业学生学习的一门重要课程,以及从事有关计算机研究和应用人员必须掌握的重要知识。

计算机网络涉及的技术内容比较广泛。本教程主要为满足考研的本科学生对计算机网络课程教材的需求而编写,其目标是让参加该课程学习的学生能够掌握计算机网络的基本概念、基本原理和基本方法;掌握计算机网络的体系结构和典型网络协议,了解典型网络设备的组成和特点,理解典型网络设备的工作原理;并能够运用计算机网络的基本概念、基本原理和基本方法,进行网络系统的分析、设计和应用。

为了便于学习和阅读,本书以国际标准化组织的开放系统互连(ISO/OSI)参考模型和TCP/IP 协议体系为线索进行编写,着重讲清楚其基本原理,并注意了理论和实际的兼顾。

全书共分8章,包括计算机网络体系结构、数据信号传输和物理层协议、面向点对点信道的数据链路层、局域网、网络层和广域网、IP 网络、传输层、应用层。每一章都通过通俗易懂的描述和具有实际意义的图表阐明原理、算法、标准和关键技术,并通过内容丰富的例题与解析以及同步练习题,帮助学生消化理解相关的知识点,同时培养他们运用这些知识解决实际问题的能力。

本书可供计算机相关专业的学生和教师用作教材或教学参考书,特别适合于准备考研的同学用作精读材料,也可供从事计算机网络工作的在职人员阅读使用。限于时间与水平,不当之处欢迎批评指正,联系方式:liangying@tup.tsinghua.edu.cn。

作 者

2010年7月

于北京

目 录

CONTENTS

第 1 章 计算机网络体系结构	1
1.1 计算机网络概述	1
1.1.1 计算机网络的基本概念	1
1.1.2 计算机网络的功能与组成	2
1.1.3 计算机网络的分类	3
1.1.4 计算机网络与互联网的发展历史	3
1.1.5 计算机网络的相关标准	3
1.2 计算机网络体系结构	4
1.2.1 计算机网络分层结构	4
1.2.2 计算机网络协议、接口和服务的区别	5
1.3 ISO/OSI 参考模型	7
1.4 TCP/IP 协议体系	11
1.5 例题与解析	13
1.5.1 单项选择题	13
1.5.2 综合应用题	15
1.6 同步练习题	17
1.6.1 单项选择题	17
1.6.2 综合应用题	19
1.7 同步练习参考答案	19
1.7.1 单项选择题答案	19
1.7.2 综合应用题答案	20
第 2 章 数据信号传输和物理层协议	21
2.1 数据通信的基本概念	21
2.1.1 信源、信道与信宿	21
2.1.2 信号、带宽、码元、波特、速率等概念	22

2.1.3 奈奎斯特定理与香农定理	22
2.2 传输介质	23
2.2.1 双绞线	23
2.2.2 同轴电缆	24
2.2.3 光纤	25
2.2.4 无线介质	26
2.3 编码与调制	27
2.3.1 模拟信号传输模拟数据	27
2.3.2 模拟信号传输数字数据	28
2.3.3 数字信号传输数字数据	31
2.3.4 数字信号传输模拟数据	32
2.4 多路复用技术	34
2.4.1 频分多路复用	34
2.4.2 时分多路复用	34
2.4.3 波分多路复用	35
2.4.4 码分多路复用	35
2.5 物理层接口示例	37
2.6 例题与解析	45
2.6.1 单项选择题	45
2.6.2 综合应用题	46
2.7 同步练习题	50
2.7.1 单项选择题	50
2.7.2 综合应用题	50
2.8 同步练习参考答案	51
2.8.1 单项选择题答案	51
2.8.2 综合应用题答案	52
第3章 面向点对点信道的数据链路层	54
3.1 数据链路层的功能	54
3.2 组帧	55
3.3 差错控制	56
3.3.1 检错编码	56
3.3.2 纠错编码	57
3.4 可靠传输与滑动窗口机制	58
3.5 单帧滑动窗口与停止-等待协议	60
3.6 多帧滑动窗口与后退 N 帧协议	61
3.7 多帧滑动窗口与选择重传协议	62
3.8 流量控制	63
3.9 HDLC 协议	64

3.10	PPP 协议	68
3.11	例题与解析	69
3.11.1	单项选择题	69
3.11.2	综合应用题	70
3.12	同步练习题	72
3.12.1	单项选择题	72
3.12.2	综合应用题	73
3.13	同步练习参考答案	74
3.13.1	单项选择题答案	74
3.13.2	综合应用题答案	75
第 4 章	局域网	77
4.1	传统局域网的体系结构	78
4.2	逻辑链路控制	79
4.3	对随机访问介质的访问控制	81
4.3.1	ALOHA 协议	81
4.3.2	CSMA 协议	82
4.3.3	CSMA/CD 协议	83
4.3.4	CSMA/CA 协议	84
4.4	以太网与 IEEE 802.3	84
4.4.1	10Mbps 以太网线缆	84
4.4.2	IEEE 802.3 介质访问控制方法	86
4.4.3	以太网的帧结构	88
4.4.4	中继器	90
4.4.5	集线器	90
4.4.6	快速以太网和吉位以太网	91
4.5	令牌传递协议	94
4.6	令牌环网	94
4.7	网桥	95
4.7.1	网桥的概念	95
4.7.2	基本操作	96
4.7.3	透明网桥与生成树算法	96
4.8	局域网交换机及其工作原理	97
4.9	半双工和全双工以太网	98
4.10	万兆位以太网	99
4.11	无线局域网和 IEEE 802.11 标准	100
4.12	例题与解析	103
4.12.1	单项选择题	103
4.12.2	综合应用题	104

4.13	同步练习题	105
4.13.1	单项选择题	105
4.13.2	综合应用题	107
4.14	同步练习参考答案	108
4.14.1	单项选择题答案	108
4.14.2	综合应用题答案	109
第5章	网络层和广域网	112
5.1	网络层的功能	113
5.1.1	路由与转发	113
5.1.2	拥塞控制	113
5.1.3	异构网络互联	113
5.2	广域网的基本概念	114
5.3	电路交换、报文交换与分组交换	114
5.4	数据报与虚电路	115
5.5	路由算法	116
5.5.1	静态路由与动态路由	117
5.5.2	Dijkstra 最短通路搜索算法	117
5.5.3	距离-向量路由算法	119
5.5.4	链路状态路由算法	121
5.5.5	层次路由	124
5.6	网络层设备	125
5.6.1	路由器的组成和功能	125
5.6.2	路由表与路由转发	126
5.7	例题与解析	127
5.7.1	单项选择题	127
5.7.2	综合应用题	128
5.8	同步练习题	129
5.8.1	单项选择题	129
5.8.2	综合应用题	130
5.9	同步练习参考答案	131
5.9.1	单项选择题答案	131
5.9.2	综合应用题答案	131
第6章	IP 网络	134
6.1	IP 地址	135
6.2	IP 分组	137
6.3	地址解析协议	140
6.4	IP 路由协议	141

6.4.1 自治系统	141
6.4.2 域内路由与域间路由	141
6.4.3 RIP 协议	142
6.4.4 OSPF 协议	143
6.4.5 BGP 路由协议	145
6.5 互联网控制报文协议	146
6.6 子网划分与子网掩码	147
6.7 IP 路由选择	149
6.8 无类别域间路由选择	151
6.9 DHCP 协议	152
6.10 网络地址转换	152
6.11 IP 组播	153
6.11.1 组播的概念	153
6.11.2 IP 组播地址	153
6.11.3 组播路由算法	154
6.12 移动 IP	155
6.12.1 移动 IP 的概念	155
6.12.2 移动 IP 通信过程	155
6.13 IPv6	156
6.13.1 IPv6 的主要特点	156
6.13.2 IPv6 地址	157
6.14 在 SONET/SDH 上的 IP	158
6.15 例题与解析	159
6.15.1 单项选择题	159
6.15.2 综合应用题	160
6.16 同步练习	166
6.16.1 单项选择题	166
6.16.2 综合应用题	168
6.17 同步练习参考答案	170
6.17.1 单项选择题答案	170
6.17.2 综合应用题答案	170
第 7 章 传输层	174
7.1 传输层提供的服务	174
7.1.1 传输层的功能	174
7.1.2 传输层寻址与端口	175
7.1.3 无连接服务与面向连接服务	175
7.2 传输控制协议	176
7.2.1 TCP 的可靠传输服务	176

7.2.2	TCP 报文段的格式	176
7.2.3	TCP 连接的建立、拆除和重置	178
7.2.4	TCP 流量控制与拥塞控制	180
7.3	用户数据报协议	182
7.3.1	UDP 数据报	182
7.3.2	UDP 检验和	182
7.4	互联网关于端口号的约定	183
7.5	例题与解析	183
7.5.1	单项选择题	183
7.5.2	综合应用题	184
7.6	同步练习题	189
7.6.1	单项选择题	189
7.6.2	综合应用题	190
7.7	同步练习参考答案	191
7.7.1	单项选择题答案	191
7.7.2	综合应用题答案	191
第 8 章	应用层	195
8.1	网络应用模型	195
8.1.1	客户-服务器模型	195
8.1.2	P2P 模型	196
8.2	DNS 系统	196
8.2.1	层次域名空间	197
8.2.2	域名服务器	199
8.2.3	域名解析过程	200
8.3	FTP	202
8.3.1	FTP 协议的工作原理	202
8.3.2	控制连接与数据连接	203
8.4	电子邮件	203
8.4.1	电子邮件系统的组成结构	203
8.4.2	电子邮件格式与 MIME	204
8.4.3	SMTP 协议与 POP3 协议	208
8.5	WWW	212
8.5.1	WWW 的概念与组成结构	212
8.5.2	HTTP 协议	213
8.6	例题与解析	214
8.6.1	单项选择题	214
8.6.2	综合应用题	215
8.7	同步练习题	219

8.7.1 单项选择题	219
8.7.2 综合应用题	220
8.8 同步练习参考答案	222
8.8.1 单项选择题答案	222
8.8.2 综合应用题答案	222
附录 A 2009 年全国计算机专业考试题及解答(网络部分)	226
附录 B 计算机学科专业基础综合考试大纲(网络部分,2010 版)	229
附录 C 2010 年全国计算机专业考试题及解答(网络部分)	233
参考文献	235

第1章 计算机网络体系结构

对于结构化的网络协议设计,一般将层和协议的集合叫做网络体系结构。制定通信协议的主要目的是要保证两个通信实体能够发送、接收并解释它们想要交换的信息。网络体系结构定义大的框架;协议功能在该框架中被适当地定义。体系结构对于减少存在于端到端通信任务中固有的概念复杂性很有价值。现今大多数的体系结构都是基于层次的概念。在这种体系结构中,一个端到端的通信任务是通过逐次地在每个协议层中不断增加“确切含义”来完成的。

多年来国际标准化组织、学术团体、各个国家的许多研究机构和大的公司都十分重视对计算机网络体系结构的研究和开发。目前比较著名的体系结构是国际标准化组织(ISO)提出的开放系统互连(OSI)参考模型和美国国防部研制的 TCP/IP 协议架构。

本章要点

- 计算机网络的定义和功能;
- 计算机网络的组成和结构;
- 计算机网络的类型;
- 计算机网络的发展过程;
- 网络协议标准化(ISO/OSI、IEEE 802 系列、TCP/IP);
- 计算机网络分层结构;
- 计算机网络协议、接口和服务的概念;
- ISO/OSI 参考模型和 TCP/IP 协议架构。

1.1 计算机网络概述

1.1.1 计算机网络的基本概念

从计算机与通信技术相结合的广义观点出发,可以把计算机网络定义为“计算技术与通信技术相结合,实现远程信息处理和进一步共享资源的系统”。从物理结构上看,计算机网络又可定义为在协议控制下,由若干计算机、终端设备、数据传输设备和通信控制处理机等组成的系统集合。该定义强调计算机网络是在协议控制下,通过通信系统实现计算机之间

的连接,网络协议是区别计算网络与一般的计算机互连系统的标志。根据目前流行的观点,还可以把计算机网络定义为:按照网络协议,以共享资源为主要目的,将地理上分散且独立的计算机互相连接起来形成的集合体。通常根据人们所处环境和研究的着眼点不同,可采用不同术语。当着重研究网络资源共享问题时,可称作计算机网络;当着重研究和分析通信方面问题时,常称作计算机通信网络。然而在许多情况下,人们对这两个术语不加严格区分,一般都称作计算机网络。目前最庞大的计算机网络是因特网(Internet),它由非常多的计算机网络通过许多路由器互联而成,因此因特网也称为“网络的网络”。

在此应该指出,计算机网络与分布式计算机系统之间有相同之处,但二者并不等同。分布式计算机系统各计算机对用户是透明的。对用户来说,这种分布式计算机系统就好像只有一台计算机一样。用户通过输入命令就可以运行程序,使用文件系统,但用户不知道是哪一台计算机在为他运行程序或处理文件。实际上是操作系统为用户选择一台最合适的计算机来为他服务,并将服务的结果传送到合适的地方,这些都不需要用户的干预。而计算机网络则不同,用户必须先要在要为其执行计算或处理功能的计算机上登录,然后按照该计算机的地址,将命令、数据或程序传送到该计算机上去处理或运行,最后,服务方计算机将结果传送到指定的计算机。计算机网络与分布式计算机系统之间主要的区别是软件的不同。一般说来,分布式计算机系统是计算机网络的一个特例。当然,也有一些分布式计算机系统根本就不是计算机网络(如分布式计算机)。

1.1.2 计算机网络的功能与组成

计算机网络是一个复合系统,它是由各自具有自主功能而又通过各种通信手段连接起来以便进行信息交换、资源共享或协同工作的计算机组成的。计算机网络的功能是为用户提供交流信息的途径,提供人际通信手段,让用户可以做远程信息处理,可以在本地也可以跨地域地共享软件、硬件和数据资源,提高可靠性,节省费用,便于扩充以及协同处理等。

一个计算机网络应当有3个主要的组成部分:

- 若干个主机,它们向各用户提供服务;
- 一个通信子网,它由一些专用的路由/交换机节点和连接这些节点的通信链路所组成;
- 一系列的协议,这些协议是为在主机之间、通信子网内节点之间,或者主机和子网之间的通信而建立的。

根据传统的概念,计算机网络由通信子网和资源子网两部分构成。通信子网负责计算机间的数据通信,也就是信息的传输。一个通信子网可以由政府部门或某个电信公司所拥有,但向社会公众开放服务,就像电话交换网那样。拥有主机资源的单位只要遵循子网所要求的接口标准,提出申请并付一定的费用,就可以接入这样的通信子网,利用它提供的服务来实现该单位要使用的资源子网的通信任务。这类通信子网通常称为公用网(Public Network),由于它传输的是数字化的数据,为了与电话交换网那样的模拟网相区别,有时也叫做公用数据网。

通过通信子网连接在一起的计算机则负责运行对信息进行处理的应用程序,它们是网络中信息流动的源和宿,向网络用户提供可共享的硬件、软件和信息资源,构成资源子网。

在采用广播型传输介质的局域网中,上网的计算机构成资源子网,集线器、桥接器

(LAN 交换机)和通信线缆构成通信子网。

网络中的通信是指在不同系统中的实体之间的通信。所谓实体,是指能发送和接收信息的任何东西,包括终端、应用软件、通信进程等。跟人与人之间交流一样,实体之间通信需要一些规则和约定,例如,传送的信息块采用何种编码和怎样的格式?如何识别收发者的名称和地址?传送过程中出现错误如何处理?发送和接收速率不一致怎么办?简单地讲,通信双方在通信时需要遵循的一组规则和约定就是协议。协议主要由语义、语法和定时三部分组成,语义规定通信双方准备“讲什么”,亦即确定协议元素的种类;语法规则规定通信双方“如何讲”,确定数据的信息格式、信号电平等;定时则包括速度匹配和排序等。

1.1.3 计算机网络的分类

按地理范围分类,可以分为局域网、广域网、城域网和接入网(局域网和城域网之间的桥接区网络)。

按网络的使用者分类,可以分为公用网和专用网。电信部门建造的网络属于公用网,如电话网、X.25 网、帧中继网等;军用部门、铁路部门和电力部门的计算机网络等则属于专用网。

按传输介质分类,可分为有线网络(使用的介质包括双绞线、同轴电缆和光纤等)、无线网络和混合介质网络(同时包含有线介质和无线介质)。

按拓扑结构分类,可分为星状、总线状、环状和不规则状。星状、总线状和环状多用于局域网,不规则状多用于广域网。

从网络的交换功能分类,可分为线路交换网络、报文交换网络、分组交换网络和混合交换网络。

1.1.4 计算机网络与互联网的发展历史

第1代计算机网络实际上是以单个计算机为中心的远程联机系统。1946 年第一台电子数字计算机诞生,20 世纪 50 年代出现远程联机系统,计算机与通信技术开始互相结合。

第2代计算机网络是多台主计算机通过通信线路连接起来为用户提供服务,产生所谓计算机-计算机网络,这种计算机网络于 20 世纪 60 年代后期开始兴起。

第3代计算机网络是开放式标准化网络。1984 年 ISO 正式颁布开放系统互连参考模型(ISO/OSI);而从 1983 年被美国国防部正式规定为其网络的统一标准起,TCP/IP 逐步发展成为事实上的国际标准。

随着因特网的迅速普及,现在已开始进入网络计算的新时代。计算机网络向高速化发展;其传输内容由先前主要是数字、文字和程序等数据发展为越来越多的图形、图像、声音和影像等多媒体信息,对实时性、等时性、服务质量等提出了更高的要求;三网融合甚至多网融合成为重要的发展方向。这里所说的“三网”是指电信网络(主要的业务是电话)、有线电视网络(单向电视节目的传送网络)和计算机网络。虽然这三种网络在信息化过程中都起到重要的作用,但其中发展最快的并起到核心作用的是计算机网络。

1.1.5 计算机网络的相关标准

下面简单列出一些常见的计算机网络标准。

ISO/OSI——国际标准化组织制定的开放系统互连参考模型；

IEEE802 系列——美国电气电子工程师协会制定的局域网标准；

TCP/IP——事实上的国际标准，以 RFC 的形式在因特网上发表，并非每个 RFC (Request For Comments) 都是因特网标准，RFC 要上升为因特网标准还要经过“草案”→“建议标准”→“草案标准”→“正式标准”4 个阶段。

1.2 计算机网络体系结构

1.2.1 计算机网络分层结构

两个系统中实体间的通信是一个十分复杂的过程，为了减少协议设计和调试过程的复杂性，大多数网络的实现都按分层的方式来组织，每一层完成一定的功能，每一层又都建立在下层之上。不同的网络，其层的数量，各层的名字、内容和功能不尽相同，然而在所有网络中，每一层都是通过层间接口向上一层提供一定的服务，而把这种服务是如何实现的细节对上层加以屏蔽。

分层有许多好处：

- 由于每一层只实现一种相对独立的功能，可将一个难以处理的复杂问题分解为若干个容易处理的较小问题，这样就降低了处理整个问题的难度。某一层不需要知道它的下一层是如何实现的，而仅仅需要知道该层通过层间接口所提供的服务，这就使得实现和调试一个庞大而又复杂的系统变得容易多了，因为整个系统已被分解为若干个相对独立的子系统。
- 由于分层把整体结构分割开，各层都可以采用最合适的技术来实现，一层技术上的改变不会对其他层有多大的影响。
- 灵活性好。当对任何一层进行修改时，只要层间接口关系保持不变，则在这层以上或以下各层均不受影响。此外，对某一层提供的服务也可以进行修改。当某层提供的服务不再需要时，甚至可以将这层取消。
- 能促进标准化工作，因为每一层的功能及其所提供的服务都可以有精确的说明。

分层时应注意使每一层的功能非常明确，层数要适中。若层数太少，就会使每一层的协议太复杂。但层数太多又会在描述和综合各层功能的系统工程任务时遇到较多的困难。分层本身也有一些缺点，例如有些功能往往难免在不同的层次中重复出现，因而产生了额外的开销。

具体地讲，层次结构包括以下几个含义：

- 第 N 层的实体在实现自身定义的功能时，只使用 $N-1$ 层提供的服务。
- N 层向 $N+1$ 层提供服务，此服务不仅包括 N 层本身所执行的功能，还包括由下层服务提供的功能总和。
- 最低层只提供服务，是提供服务的基础；最高层只是用户，是使用服务的最高层；中间各层既是下一层的用户，又是上一层服务的提供者。
- 仅在相邻层间有接口，且下层所提供服务的实现细节对上层完全屏蔽。

1.2.2 计算机网络协议、接口和服务的区别

N 层中的活动元素通常称为 N 层实体,不同机器上同一层的实体叫做对等实体。 N 层实体实现的服务为 $N+1$ 层所利用,在这种情况下, N 层被称为服务提供者, $N+1$ 层是服务用户。服务在服务访问点(Service Access Point, SAP)提供给上层使用, N 层 SAP 就是 $N+1$ 层可以访问 N 层服务的地方(参见图 1-1)。每个 SAP 都有一个能够唯一地标识它的地址。在同样的意义上,可以把电话系统中的电话插孔看成是一种 SAP,而 SAP 地址就是这些插孔的电话号码。要想和他人通话,就必须知道他的 SAP 地址(电话号码);类似地,在邮政系统中,SAP 地址是街名和信箱,发一封信,必须知道收信人的 SAP 地址。

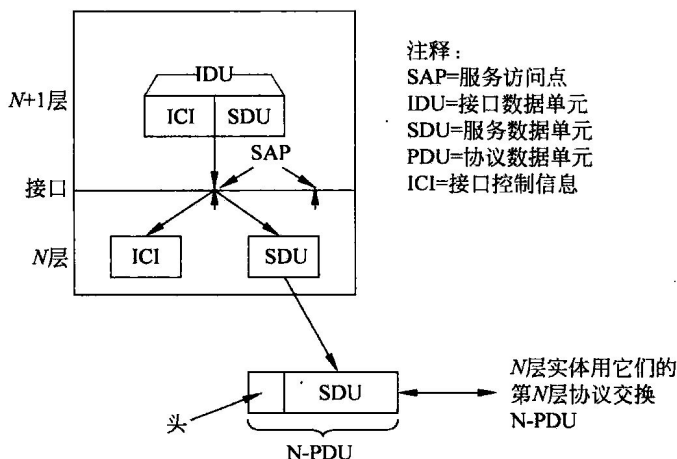


图 1-1 在接口处上下层之间的关系

事实上, $N+1$ 层可以有多个不同的协议实体,在每一次通信中只能选用其中的一个,它们复用 N 层协议实体。也就是说,如果把 N 层协议看成是实现了一个逻辑的通信通道,那么在源发方来自不同的 $N+1$ 层协议的数据单元要在这个通道上复用,而到了目的地它们又要被分离前往正确的 $N+1$ 层协议实体。由于分离的过程主要依靠 SAP,因此 SAP 也被称为解复用键。为了表示解复用键,一些协议使用一个 8 位的段(意味着仅支持 256 个上层协议),另一些协议则使用 16 或 32 位的段。

相邻层之间要交换信息,在接口处也必须遵循一定的规则。如图 1-1 所示,在典型的接口上, $N+1$ 层实体通过 SAP 把一个接口数据单元(Interface Data Unit, IDU)传递给 N 层实体。IDU 由服务数据单元(Service Data Unit, SDU)和一些控制信息组成。SDU 是即将要跨越网络传递给远方对等实体,然后上交给远方 $N+1$ 层的信息。控制信息被下层实体用来指导其功能任务的执行,但不是发送给远方对等实体的内容。

为了传送 SDU, N 层实体可能把 SDU 分成几段,每一段加上一个头之后作为一个独立的协议数据单元(Protocol Data Unit, PDU)送出。PDU 被对等实体用于执行对等协议。对等实体根据 PDU 头部的信息分辨哪些 PDU 包含数据,哪些 PDU 包含控制信息,以及哪些 PDU 提供顺序号和计数等。

下层向上层提供的服务可以划分为面向连接的和无连接的两大类。面向连接的服务

类似于打电话。要和某个人通话,先拿起电话,拨号码,谈话,然后挂断。同样,在使用面向连接的服务时,用户首先要建立连接,传送数据,然后释放连接。连接本质上像个管道,发送者在管道的一端放入物体,接收者在另一端以同样的次序取出物体。

相反,无连接服务类似于邮政系统中普通信件投递。每个报文(信件)带有完整的目标地址,并且每一个报文都独立于其他报文,经由系统选定的路线传递。在正常情况下,当两个报文发往同一目的地时,先发的先收到。但是,也有可能先发的报文在途中延误了,后发的报文反而先收到。而这种情况在面向连接的服务中是绝不可能发生的。

人们用服务质量(Quality of Service, QoS)来评价每种服务的特征。通常,可靠的服务是由接收方确认收到的每一份报文,使发送方确信它发送的报文已经到达目的地这一方法来实现的。确认和有错时重传的处理过程增加了额外的开销和延迟,在许多情况下这是值得的,但有时也不尽然。对于文件传输这样的应用,比较适合使用带有确认的面向连接的服务。文件的主人希望所有的信息都按发送的次序正确地到达目的地。想要传输文件的顾客不会喜欢一个虽然传输速度快但会不时发生混乱或丢失信息的服务。对于另外一些应用,由确认和重传引起的延误则是不可接受的。数字化声音的传输就是一个例子。电话用户宁可听到线路上的一点杂音,或偶尔混淆的语音,也不喜欢等待确认造成的延误。同样,在传输电影时,错了几个像素不会有伤大雅,但是电影突然停顿以等待传输错误的纠正却是很令人恼火的。

另外,也不是所有的应用程序都需要连接。例如,网上广告越来越普及,电子散发宣传品的发送者可能不希望仅仅为了传一条消息而去经历建立和拆除连接的麻烦。

无确认无连接的服务称作数据报服务。电报服务与此类似,它不向发送者发回确认消息。在某些情况下,可能既希望免除建立连接的麻烦,又要求确保信息传送的可靠。此时,可以选用有确认的数据报服务。这很像寄出的一封挂号信又要求回执一样。当收到回执时,寄信人有绝对的把握相信信件已到达目的地而没有在途中丢失。

还有一种服务叫做“请求-应答”服务。使用这种服务时,发送者传送一个查询数据报,应答数据报则包含回答信息。例如,向图书馆询问某本书是否已经借出就属于这类情况。“请求-应答”服务通常被用于客户-服务器模式下的通信:客户发出一个请求,服务器作出响应。

服务在形式上是由一组原语(primitive)来描述的。这些原语供用户和其他实体访问该服务时调用。它们通知服务提供者采取某些行动或报告某个对等实体的活动。服务有“有证实”和“无证实”之分。有证实服务包括请求、指示、响应和证实4个原语,而无证实服务则只有请求和指示两个原语。CONNECT服务总是有证实的服务,因为远程对等实体必须同意才能建立连接。在另一方面,数据传输可以有证实的,也可以是无证实的,这取决于发送方是否要求确认。

为了使服务的概念更清楚,下面举一个简单的面向连接服务的例子,它使用了如下所述的8个原语。

- (1) CONNECT. request: 请求建立连接。
- (2) CONNECT. indication: 向被呼实体指示连接请求。
- (3) CONNECT. response: 被呼方用以表示接受或拒绝连接请求。
- (4) CONNECT. confirm: 通知呼叫方建立连接的请求是否被接受。