

北京科海培训中心

○ 计算机专业数学辅导丛书

计算机网络

——习题与解析

鲁士文 编著



清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



► 计算机专业教学辅导丛书

计算机网络——习题与解析

鲁士文 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 提 要

本书根据计算机网络教学大纲的要求,通过对典型习题的解答和分析,深化对网络基本概念和关键技术的理解,提高求解网络问题的思路和解决问题的能力。

全书共分 8 章内容,按照网络自底向上的层次结构,每章先给出主题内容概述,然后给出习题与解析。习题分为基本选择题、填充题和综合应用题 3 个部分。选择题和填充题是一些基本概念方面的题目,只给出答案;对于综合应用题则给出解题思路或解答的完整过程。

书中习题覆盖面广,既收集了一些较容易的题目,也收集了大量难度适中和少数较高难度的题目。本书不仅可以作为计算机专业研究生、大学高年级学生学习计算机网络课程的参考书,也适用于计算机网络课程自学者和计算机等级考试者研习。

版权所有,盗版必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

书 名: 计算机网络——习题与解析

作 者: 鲁士文

出版者: 清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编 100084)

印刷者: 北京朝阳科普印刷厂

发行者: 新华书店总店北京科技发行所

开 本: 787×1092 1/16 印张: 20.875 字数: 508 千字

版 次: 2001 年 6 月第 1 版 2001 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 0001~5000

书 号: ISBN 7-302-04534-8/TP·2683

定 价: 28.00 元

序 言

就学科而言, 计算机网络涉及的内容比较广泛, 它是计算机和通信密切结合的产物, 正在成为迅速发展并在信息社会中得到广泛应用的一门综合性学科。计算机网络是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。正是由于计算机网络知识的集成性和综合性, 使得初学的人感到概念繁多, 算法复杂, 协议和标准也是五花八门, 在解计算机网络的习题时往往感到无从下手。本书的目的就是要通过对典型习题的解答和分析, 使读者充分掌握计算机网络的原理以及求解计算机网络问题的思路与方法, 深化对基本概念和关键技术的理解, 提高分析与解决问题的能力。

本书按照计算机网络自底向上的层次结构编写, 内容共分 8 章: 第 1 章是计算机网络基本概念, 包括 ISO 开放系统互连的 7 层协议模型和 TCP/IP 协议体系; 第 2 章是物理层, 包括物理媒体、数字信号技术、多路复用技术、交换技术、电话系统和同步光纤网络, 以及 RS-232-C 接口协议等内容; 第 3 章是数据链路控制, 涉及异步传输、同步传输、差错控制、流量控制, BSC 和 HDLC 协议, 以及协议的描述和验证; 第 4 章是局域网络和媒体访问协议, 讨论局域网体系结构、ALOHA 协议、CSMA 协议、以太网、令牌总线网、令牌环网、FDDI、分布式队列双总线, 以及无线网等; 第 5 章是网络层运行机制和广域公用数据网, 讨论路由选择算法、路由交换协议、网络拥塞控制, 以及 X.25、ISDN、帧中继和 ATM 网; 第 6 章是 IP 网络协议和相关技术, 涉及互联网基本结构、路由器、IP 协议、互联网控制报文协议、子网划分和无类别域间路由选择等内容; 第 7 章是传输层, 包括 OSI 传输协议以及 Internet 传输控制协议 (TCP) 和用户数据报协议 (UDP); 第 8 章是面向应用的协议和软件, 讨论 OSI 会话层和表示层、网络安全性、Internet 应用层、SNMP 协议和多媒体通信等内容。

每章开头的“主题内容概述”精选该章所论及的计算机网络的主要概念、算法、协议和关键技术。每章的习题分为选择题、填充题和综合应用题 3 个部分。由于选择题和填充题是一些基本概念方面的题目, 所以只给出答案而没有解析。对于综合应用题则每道题都给出解题思路或解答的完整过程。

本书是在中国科学院研究生院连续 7 年讲授计算机网络课程的经验的基础上编写的, 习题覆盖面较广, 既收集了一些较容易的题目, 也收集了大量难度适中和少数较高难度的题目。因此本书不仅可以作为计算机专业研究生、大学高年级学生计算机网络课程的学习参考书, 同时也适合于计算机网络课程自学者和计算机等级考试者研习。

由于习题较多, 解答上可能存在不准确或不完整的地方, 内容编排上的疏漏之处也在所难免, 敬请广大读者批评指正。

作者

于中科院计算所

2001 年 3 月

目 录

第 1 章 计算机网络基本概念	1
1.1 主题内容概述	1
1.1.1 计算机网络定义	1
1.1.2 协议的分层结构	2
1.1.3 OSI 参考模型	6
1.1.4 TCP/IP 参考模型	11
1.2 基本习题与解答	13
1.3 综合应用题	15
第 2 章 物理层	21
2.1 主题内容概述	21
2.1.1 数据通信的理论基础	21
2.1.2 有线传输介质	25
2.1.3 无线传输	32
2.1.4 多路复用技术	33
2.1.5 交换技术	34
2.1.6 电话系统和 SONET/SDH	38
2.1.7 EIA RS-232-C 接口标准	41
2.2 基本习题与解答	44
2.3 综合应用题	50
第 3 章 数据链路控制	67
3.1 主题内容概述	67
3.1.1 数据链路层所提供的服务	67
3.1.2 异步传输和同步传输	68
3.1.3 差错控制	70
3.1.4 流量控制和窗口机制	75
3.1.5 自动重复请求	77
3.1.6 面向字符的同步协议 BSC	79
3.1.7 面向比特的协议 HDLC	84
3.1.8 协议描述和验证	90
3.2 基本习题与解答	93
3.3 综合应用题	95

第 4 章 局域网和媒体访问协议	113
4.1 主题内容概述	113
4.1.1 局域网的体系结构	113
4.1.2 逻辑链路控制	114
4.1.3 ALOHA 协议	117
4.1.4 CSMA 协议	121
4.1.5 以太网	124
4.1.6 令牌总线网	127
4.1.7 令牌环网	131
4.1.8 光纤分布式数据接口 (FDDI) 网络	135
4.1.9 分布式队列双总线网络	142
4.1.10 自适应树遍历协议	149
4.1.11 波分多路访问协议	150
4.1.12 无线局域网协议	152
4.1.13 数字蜂窝式无线电网	154
4.2 基本习题与解答	160
4.3 综合应用题	163
第 5 章 网络层运行机制和广域公用数据网	178
5.1 主题内容概述	178
5.1.1 通信子网	178
5.1.2 路由选择算法和路由信息交换协议	180
5.1.3 X.25 网	185
5.1.4 ISDN 和帧中继	188
5.1.5 宽带 ISDN 和 ATM	196
5.1.6 网络拥塞控制	205
5.2 基本习题与解答	208
5.3 综合应用题	209
第 6 章 IP 网络协议和相关技术	227
6.1 主题内容概述	227
6.1.1 互联网的基本结构	227
6.1.2 IP 地址	229
6.1.3 地址映射	231
6.1.4 子网的划分	233
6.1.5 IP 分组格式	234
6.1.6 IP 路由选择	237
6.1.7 互联网控制报文协议	240
6.1.8 可变长子网掩码和无类别域间路由选择	242

6.1.9	IPV6 和 ICMPV6	243
6.1.10	路由器	251
6.2	基本习题与解答	252
6.3	综合应用题	254
第 7 章	传输层	259
7.1	主题内容概述	259
7.1.1	传输层的基本功能	259
7.1.2	OSI 传输协议	259
7.1.3	Internet 传输协议 TCP	264
7.1.4	Internet 传输协议 UDP	270
7.2	基本习题与解答	273
7.3	综合应用题	274
第 8 章	面向应用的协议和软件	287
8.1	主题内容概述	287
8.1.1	OSI 会话层概念	287
8.1.2	表示层概念和 ASN.1	288
8.1.3	网络安全性	290
8.1.4	Internet 中的应用层	292
8.1.5	简单网络管理协议	299
8.1.6	多媒体	302
8.2	基本习题与解答	306
8.3	综合应用题	308
参考文献		326

第 1 章 计算机网络基本概念

1.1 主题内容概述

1.1.1 计算机网络定义

从计算机与通信技术相结合的广义观点出发，我们可以把计算机网络定义为“计算机与通信技术相结合，实现远程信息处理和进一步共享资源的系统”。照此定义，20 世纪 50 年代的“远程终端-计算机网”，60 年代的“计算机-计算机网络”以及目前发展的分布式网络均属于计算机网络。美国信息处理学会联合会（AFIPS）在 1970 年从共享资源出发，把计算机网络定义为“以能够相互共享资源（硬件、软件和数据库等）的方式连接起来，并各自具备独立功能的计算机系统的集合”。随着“远程终端-计算机”通信发展到“计算机-计算机”通信，后来人们又提出通信网的定义：在计算机之间以传输信息为目的连接起来的计算机系统的集合，称为计算机通信网。

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、终端设备和通信控制处理机组成的系统集成。该定义强调计算机网是在协议控制下，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机网络与一般计算机互连系统的标志。

综上所述，根据目前流行的观点，我们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，可采用不同的术语。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。本书对这两个术语将不加严格区分，虽然也要谈及资源共享问题，但是将把讨论的重点放在计算机通信网络方面。

基本的通信硬件包括了在计算机之间传送位串序列的机制。但是，仅仅使用硬件来进行通信就好像用 0 和 1 二进制编程那样难以实现。为了方便网络程序设计，计算机通常都是连到使用复杂的软件的网络上。这些软件为应用程序提供了方便的高层接口，自动处理大多数底层的通信细节和问题。因此，大多数应用程序依靠网络软件通信，并不直接与网络硬件打交道。

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，是指能发送和接受信息的任何东西，包括终端、应用软件、通信进程等。与在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些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；语法规规定通信双方“如何讲”，确定数据的信息格式、信号电平；定时则包括速度匹配和排序等。

涉及两台或更多计算机的应用所需要的基本条件是提供适当的数据通信设施。然而，在实践中可以利用的通信设施的类型是多种多样的，每一种都对应一个具体的应用领域，例如，需要把一个数据文件从一台计算机传送到在同一房间或办公室的另一台类似的计算机，那么所使用的通信设施比起在不同场点不同计算机之间传送数据就要简单得多。

一般地，依据网络的规模，网络技术可分为以下 3 类：

- (1) 能跨越一栋大楼或一个园区的局域网 (LAN)；
- (2) 能跨越一个城市的城域网 (MAN)；
- (3) 能连接多个城市、国家或大洲的广域网 (WAN)。

局域网的地理范围一般在 10km 以内，至少具有几个 Mb/s 的总数据速率，并且为一个单位或组织所完全拥有。局域网组建方便、使用灵活，是目前计算机网络发展中最活跃的分支。

作为对比，广域网覆盖的范围大，一般在几十 km 至几万 km，例如，一个城市、一个国家或洲际网络，采用点到点的连接，用于通信的传输装置和介质多数由电信部门提供，能实现广大范围内的资源共享。

位于 LAN 和 WAN 之间的是城市区域网（简称城域网），其范围通常覆盖一个城市或地区，距离从几十 km 到上百 km，但它使用局域网的技术。作为例子，一个大学可以有一个城域网，连接同一个城市内部不同场点的相距 20km~30km 的分校的校园。

局域网技术和广域网技术的关键区别是，广域网的设计者总是为法律、经济或政治原因所驱使，去使用现存的公共载体通信网络，而不管它技术上的适用性。形成对比的是，没有东西阻止局域网的设计者铺设它们自己的高带宽线缆，并且他们几乎总是这样做。另一个不同点是，局域网的线缆是高度可靠的，差错率比广域网低 1000 倍是很普通的事。

1.1.2 协议的分层结构

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层次的方式来组织，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，然而在所有的网络中，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。

更具体地讲，如图 1-1 所示，层次结构包括以下几个含义。

- (1) 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。
- (2) 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。
- (3) 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。
- (4) 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。

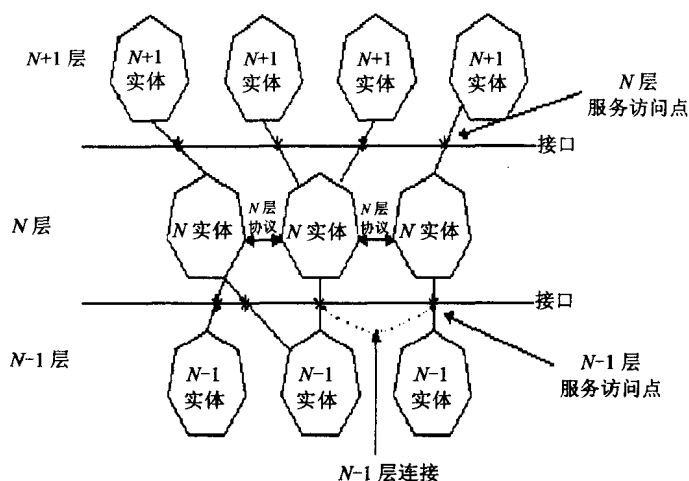


图 1-1 分层的概念

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。服务是在服务访问点（SAP）提供给上层使用的。 N 层 SAP 就是 $N+1$ 层可以访问 N 层服务的地方。每个 SAP 都有一个能够惟一地标识它的地址。在同样的意义上，我们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。

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 1-2 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（IDU）传递给 N 层实体。IDU 由服务数据单元（SDU）和一些控制信息组成。SDU 是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。

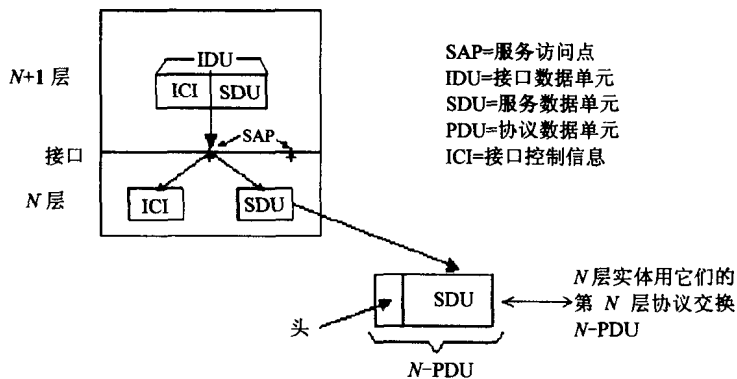


图 1-2 在接口处上下层之间的关系

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 (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, 我们先拿起电话, 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的投递。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 (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比特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比特的服务。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, 电子邮件越来越普及, 电子邮箱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, 我们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。服务原语可以划分为如表 1-1 所示的 4 类。现在我们以连接的建立为例, 说明原语的用法。当一个实体发出连接请求 (CONNECT.request) 之后, 一个 PDU (俗称分组) 就被发送出去。

表 1-1 4 类服务原语

原语	意义
Request	用户实体请求服务做某种工作
Indication	用户实体被告知某事件发生
Response	用户实体表示对某事件的响应
Confirm	用户实体收到关于它的请求的答复

接收方会收到一个连接指示 (CONNECT. indication), 被告知某处的一个实体希望和它建立连接。收到连接指示的实体使用连接响应 (CONNECT. response) 原语表示它是否愿意建立连接。但无论是哪一种情况, 请求建立连接的一方都能够通过连接证实 (CONNECT. confirm) 原语获知接收方的态度。

原语大多数都带有参数。例如, 连接请求的参数可能指明要与哪台机器连接、需要的服务类别和在该连接上使用的最大报文长度。连接指示原语的参数可能包含呼叫者标识、需要的服务类别和建议的最大报文长度。如果被呼实体不同意呼叫实体所建议的最大报文长度, 它可以在响应原语中作出一个反建议, 呼叫方可从证实原语中获悉该反建议。这一协商的细节就是协议的内容。例如, 在两个建议的最大报文长度不一致的情况下, 协议就可能规定选择较小的值。

服务有“有证实”和“无证实”之分。有证实服务包括请求、指示、响应和证实四个原语, 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。

在典型的情况下, 当接收到一个服务原语时, 一层的协议实体读原语中的参数, 并把它们与附加的协议控制信息相结合形成该层的 PDU。所产生的 PDU 再放到带有附加参数的服务原语的用户数据段中, 以传递给相邻下层。这可以用图 1-3 来说明。

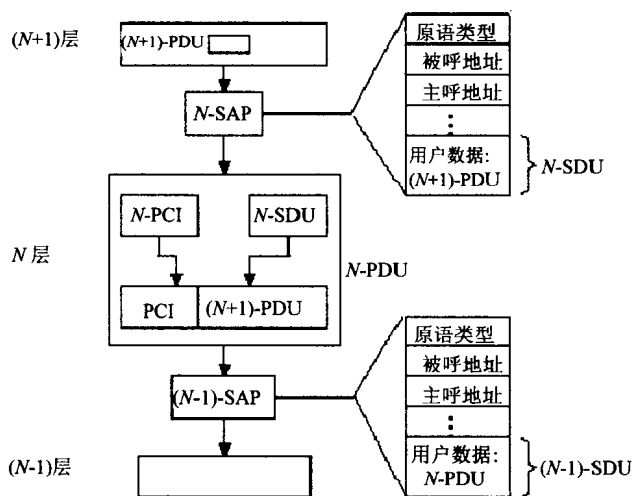


图 1-3 上下层之间的交互作用

应该指出，服务和协议是完全不同的概念，但二者又常常被混淆在一起。它们之间的区别是如此重要，以致于我们在此必须再强调一次。服务是各层向它的上层提供的一组原语。尽管服务定义了该层能够为它的上层完成的操作，但丝毫也未涉及这些操作是如何完成的。服务定义了两层之间的接口，上层是服务用户，下层是服务提供者。

与之相对比，协议是定义在相同层次的对等实体之间交换的帧、分组和报文的格式及含义的一组规则。实体利用协议来实现它们的服务定义。只要不改变提供给用户的服务，实体可以任意地改变它们的协议。这样，服务和协议就被完全地分离开来。

我们可以把服务与程序设计语言相类比。服务就像程序设计语言中的抽象数据类型。抽象数据类型定义了能在一个目标上执行的操作，但并不说明这些操作是如何实现的。协议关系到服务的实现，但对服务的用户来说是不可见的。

1.1.3 OSI 参考模型

如图 1-4 所示，OSI 参考模型把整个通信子系统划分为 7 个层次，每层执行一种明确定义的功能。从概念上讲，这些层可以被看成执行两类功能，即依赖于网络的功能和面向应用的功能。由此产生了下列 3 种不同的操作环境：

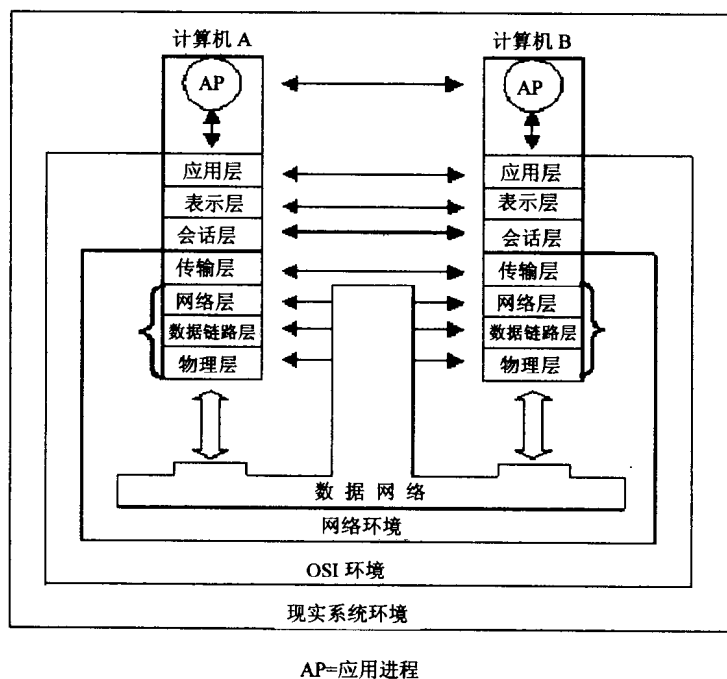


图 1-4 OSI 参考模型总体结构

(1) 网络环境

涉及与不同类型的下层数据通信网络有关的协议和标准。

(2) OSI 环境

包括网络环境和面向应用的协议和标准，允许末端系统（计算机）以开放的方式互相通信。

(3) 现实系统环境

建立在 OSI 环境之上, 参与一个厂商自己的专有软件和服务, 通过这种软件和服务完成特别的分布式信息处理任务。

OSI 模型依赖于网络的和与网络无关的这两个成分都实现为若干个协议层的形式, 每一协议层之间的边界, 以及每一层所执行的功能根据早先标准化活动中所得到的经验产生。

在总体通信策略的指导下, 每一层都执行一种明确定义的功能。它根据某种定义了的协议来运行, 用户数据和附加的控制信息以报文形式 (PDU) 在本地层和远方系统的对应层之间进行交换。每一层在它自己和紧挨着的上层和下层之间都有明确定义的接口, 这样就使一个特别协议层的实现独立于所有其他层。

在图 1-4 所示的 7 个 OSI 层次中, 最低 3 层 (1~3) 是依赖网络的, 牵涉到将两台通信计算机链接在一起所使用的数据通信网的相关协议。高 3 层 (5~7) 是面向应用的, 牵涉到允许两个末端用户应用进程交互作用的协议, 通常是由本地操作系统提供的一套服务。中间的传输层为面向应用的上 3 层遮蔽了与网络有关的下 3 层的详细操作。本质上讲, 它建立在由下 3 层提供的服务上, 为面向应用的高层提供网络无关的信息交换服务。

每一层的功能以协议形式正规描述, 协议定义了某层与另一 (远方) 系统中的一个类似层 (对等层) 通信所使用的一套规则和约定。每一层向相邻上层提供一套确定的服务, 并且使用由相邻下层提供的服务向远方对等层传输与该层协议相关的信息单元。例如, 传输层为它上面的会话层提供可靠的网络无关的信息传输服务, 并且使用其下面网络层所提供的服务将与传输层协议有关的一组信息单元传送给另一系统中的一对等传输层。在概念上, 每一层都根据一个明确定义的协议与一个远方系统中的一个类似对等层通信, 但在实际上该层所产生的协议信息单元是借助于相邻下层所提供的服务传送的。

有了上述基本概念之后, 下面我们就从最下层开始, 逐次讨论 OSI 参考模型的各层。请注意, OSI 模型本身并未确切地描述用于各层的具体服务和协议, 它仅仅告诉我们每一层应该做什么。不过, ISO 确实已为各层制定了一些标准, 但它们并不是参考模型的一部分, 它们作为独立的国际标准公布的。

1. 物理层

物理层 (physical layer) 涉及到通信在信道上传输的原始比特流。设计上必须保证一方发出二进制 “1” 时, 另一方收到的也是 “1” 而不是 “0”。这里的典型问题是用多少伏特电压表示 “1”, 多少伏特电压表示 “0”; 一个比特持续多少微秒; 传输是否在两个方向上同时进行; 最初的物理连接如何建立和完成通信后连接如何终止; 网络接插件有多少针以及各针的用途。这里的设计主要是处理机械的、电气的和过程的接口, 以及物理层下面的物理传输介质问题。

2. 数据链路层

数据链路层 (data link layer) 指定在网络上沿着网络链路在相邻结点之间移动数据的技术规范。它的主要任务是加强物理层传输原始比特的功能, 使之对网络层显现为一条无错线路。发送方把输入数据分装在数据帧 (data frame) 里 (典型的帧为几百字节或几千字节), 按顺序传送各帧, 并且有可能要处理接收方回送的确认帧 (acknowledgement frame)。因为物理层仅仅接收和传送比特流, 并不关心它的意义和结构, 所以只能依赖各链路层来

产生和识别帧边界。可以通过在帧的前面和后面附加上特殊的二进制编码模式来达到这一目的。如果这些二进制编码偶然在数据中出现,则必须采取特殊措施以避免混淆。

传输线路上突发的噪声干扰可能把帧完全破坏掉。在这种情况下,发送方机器上的数据链路软件可能要重传该帧。然而,相同帧的多次重传也可能使接收方收到重复帧,比如接收方给发送方的确认丢失以后,就可能收到重复帧。数据链路层要解决由于帧的破坏、丢失和重复所出现的问题。数据链路层可能向网络层提供几类不同的服务,每类都有不同的服务质量和价格。

数据链路层要解决的另一个问题(在大多数其他层上也存在)是防止高速的发送方的数据把低速的接收方“淹没”。因此需要某种流量调节机制,使发送方知道当前接收方还有多少缓存空间。通常流量调节和出错处理的功能同时完成。

如果线路能用于双向传输数据,数据链路软件还必须处理新的麻烦,即从 A 到 B 数据帧的确认帧将同从 B 到 A 的数据帧竞争线路的使用权的问题。捎带技术(piggybacking)就是解决此问题的一种巧妙的方法,我们将在以后讨论它。

广播式网络在数据链路层还要处理新的问题,即如何控制对共享信道的访问。数据链路层的一个特殊的子层——媒体访问子层,就是专门处理这个问题的。

3. 网络层

网络层(network layer)关系到子网的运行控制,其中一个关键问题是确定分组从源端到达目的端的路由。路由选择可以使用网络中固定的静态路由表,路由几乎保持不变;也可以在每一次会话开始时决定(例如通过终端对话决定);还可以根据当前网络的负载状况,高度灵活地为每一个分组决定路由。

如果在子网中同时出现过多的分组,它们将相互阻塞通路,形成瓶颈。此类拥塞控制也属于网络层的功能范围。

因为拥有子网的人总是希望他们提供的子网服务能得到报酬,所以网络层常常设有记账功能。最低限度,软件必须对每一个顾客究竟发送了多少分组、多少字符或多少比特进行记数,以便于生成账单。当分组跨越国界时,由于双方税率可能不同,记账则更加复杂。

当分组不得不跨越一个网络以到达目的地时,新的问题又会产生。第二个网络的寻址方法可能和第一个网络完全不同;第二个网络可能由于进来的分组太长而无法正确接收;两个网络使用的协议也可能不同。网络层必须解决这些问题才能够实现异种网络的互联。

在广播网络中,选择路由问题变得很简单,因此网络层很弱,甚至不存在。

4. 传输层

传输层(transport layer)的基本功能是从会话层接收数据,并且在必要时把它分成较小的单位,传递给网络层,并确保到达对方的各段信息正确无误,而且,这些任务都必须高效率地完成。从某种意义上讲,传输层使会话层不受硬件技术变化的影响。

通常,会话层每请求建立一个传输连接,传输层就为其创建一个独立的网络连接。如果传输连接需要较高的信息吞吐量,传输层也可以为之创建多个网络连接,让数据在这些网络连接上分流,以提高吞吐量。另一方面,如果创建或维持一个网络连接不合算,传输层可以将几个传输连接复用到一个网络连接上,以降低费用。然而,在任何情况下,都要求传输层能使多路复用对会话层透明。

传输层也要决定向会话层提供什么样的服务。最流行的传输连接是一条无错的、按发送顺序传输报文或字节的点到点的信道。但是，还有的传输服务是不能保证传输次序的独立报文传输和多目标的报文广播。究竟采用哪种服务是在建立连接时确定的。

传输层是真正的从源到目标的“端到端”的层。源端机上的某程序，利用报文头和控制报文与目标机上的类似程序进行对话。而在传输层以下的各层中，协议是每台机器包括中间结点都要参照执行的协议，而不是最终的源端机与目标机之间的协议。通常在它们中间可能还有多个路由器，这些路由器都要对路过的信息块进行 1~3 层的处理。也就是说，1~3 层是链接起来的，4~7 层是端到端的。

很多主机有多道程序在运行，这意味着这些主机有多条连接进出，因此需要有某种方式来区别报文属于哪条连接。识别这些连接的信息可以放入传输层的报文头。

除了将几个报文流多路复用到一条通道上，传输层还必须解决跨网络连接的建立和拆除。这需要某种命名机制，使机器内的进程可以讲明它希望与谁会话。另外，还需要一种机制以调节通信量，使高速主机不会发生过快地向低速主机传输数据的现象。这样的机制称为流量控制（flow control），在传输层（同样在其他层）中扮演着关键角色。

5. 会话层

会话层（session layer）允许不同机器上的用户建立会话（session）关系。会话层允许进行类似传输层的普通数据传输，并提供了对某些应用有用的增强服务会话，也可被用于远程登录到分时系统或在两台机器间传递文件。

会话层服务之一是管理对话。会话层允许信息同时双向传输，或任一时刻只能单向传输。若属于后者，则类似于单线铁路，会话层将记录此时该轮到哪一方了。

一种与会话有关的服务是令牌管理（token management）。有些协议保证双方不能同时进行同样的操作，这一点很重要。为了管理这些活动。会话层提供了令牌。令牌可以在会话双方之间交换，只有持有令牌的一方可以执行某种关键操作。

另一种会话服务是同步（synchronization）。如果网络平均每小时出现一次大故障，而两台计算机之间要进行长达两小时的文件传输时该怎么办？每一次传输中途失败后，都不得不重新传输这个文件。而当网络再次出现故障时，又可能半途而废了。为了解决这个问题，会话层提供了一种方法，即在数据流中插入检查点。每次网络崩溃后，仅需要重传最后一个检查点以后的数据。

6. 表示层

表示层（presentation layer）完成某些特定的功能，由于这些功能常被请求，因此人们希望找到通用的解决办法，而不是让每个用户来实现。值得一提的是，表示层以下的各层只关心可靠地传输比特流，而表示层关心的是所传输的信息的语法和语义。

表示层服务的一个典型的例子是用一种大家一致同意的标准方法对数据编码。大多数用户程序之间并不是交换随机的比特流，而是诸如人名、日期、货币数量和发票之类的信息。这些对象是用字符串、整型、浮点数的形式，以及由几种简单类型组成的数据结构来表示的。不同的机器用不同的代码来表示字符串（如 ASCII 和 Unicode）和整型（如二进制反码和二进制补码）等。为了让采用不同表示法的计算机之间能进行通信，交换中使用的数据结构可以用抽象的方式来定义，并且使用标准的编码方式。表示层管理这些抽象数

