

网络通信原理

陈相宁 编著



科学出版社

014013062

网络通信原理

陈相宁 编著



科学出版社
北京

TN915
129



北航 C1699919

01010302

内 容 简 介

本书分7章介绍了现代网络通信的基本原理,包括网络通信的核心问题和性能评价、局域网组成原理、终端网络编址和寻址技术原理、网络流量和拥塞控制、网络服务质量的性能评估,阐述了现代通信网络的主要种类、各自特点、组成结构、设计原理和网络协议原理,并在最后一章总结介绍了OSI协议参考模型各协议层的功能定义和有关基本概念,以及电信网络与计算机网络协议参考模型之间的差异。

通过本书的学习,学生应能较全面地理解主流通信网络的概念、原理和分类,掌握设计新型通信网络的基本原理,理解通信协议栈的概念和协议体系结构,为从事通信网络工程领域的相关工作打下较为坚实的理论基础。

本书可作为计算机、电子工程、通信工程等网络相关专业本科生和研究生的教材,也可作为对互联网、物联网、计算机网络等通信网络技术感兴趣的工程技术人员的网络通信基础知识学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

网络通信原理 / 陈相宁编著. —北京: 科学出版社, 2014. 1
ISBN 978-7-03-039478-1

I. 网… II. ①陈… III. 计算机通信网 IV. ①TN915

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 314127 号

责任编辑:潘斯斯 张丽花 / 责任校对:宋玲玲
责任印制:闫 磊 / 封面设计:迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京市文林印务有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 1 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2014 年 1 月第一次印刷 印张:11 1/2

字数:232 000

定价:29.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

作者从事网络通信教学多年,一直苦于没有合适的教材。

网络通信界前辈谢希仁教授主持编著的网络通信系列教材非常经典,但用做专业课教材时,受课时数的限制,很难讲透全部内容。其他内容精简一些的相关教材,选题视角多侧重于某些应用领域,与作者授课思路不完全吻合。国内也曾组织翻印或翻译过一些经典的国外网络通信类教材,这些译著对于开阔网络通信类教学视野给予了很大的帮助,但是毕竟中外国情不同,教学内容很难完全照搬。

我们认为,大学本科教育至今仍然有必要继续以基本概念和基本原理为主。应当鼓励学生在弄懂基本原理的基础上举一反三,多做习题和练习,掌握相关领域分析问题和解决问题的基本方法。只有这样才能以不变应万变,毕业后较快地理解和适应不断涌现的崭新技术,建立起在科学原理基础上的创新能力。

作者在先后更换了4本教材以后,于2008年开始策划自编讲义,从2009年开始使用自编讲义授课。课程假定读者已经学过了模拟电路、数字电路和通信原理,掌握了点对点通信的基本原理和方法,了解点对点通信设备的硬件工作原理。经过3年的教学实践和不断修改完善,基本上满足了大学三年级专业基础课的教学要求。

因此希望本书能正式出版,并请网络通信领域的授课教师批评指正,以帮助进一步改进和提高网络通信教学质量。

特别感谢刘杰风助理、郝丽芳助理、张杰、张自科、毛若羽和惠伟等同学,他们在前3年最初讲义的编撰过程中完成了大量文字录入、润色和校对工作。感谢陈明教授和沈连丰教授,他们审阅了本书正式成稿后的最初版本,并提出了许多有益的改进意见。

由于作者水平有限,书中不足之处在所难免,望读者批评指正。

作 者

2013年2月

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 通信网络	1
1.1.1 交换机的诞生	1
1.1.2 节点交换技术	2
1.1.3 网络拓扑结构	3
1.2 通信协议	5
1.2.1 协议定义	5
1.2.2 历史进展	6
1.3 网络通信的核心问题	7
1.3.1 连通性问题	7
1.3.2 寻路问题	7
1.3.3 服务质量问题	8
本章小结	10
习题	10
第 2 章 局域网	12
2.1 传统以太网	12
2.1.1 总线拓扑局域网	12
2.1.2 载波监听多点接入/碰撞检测协议	13
2.1.3 争用期和指数退避	14
2.1.4 传统以太网的信道利用率	15
2.1.5 传统以太网的媒体选项	16
2.2 高速以太网	18
2.2.1 快速以太网	18
2.2.2 千兆以太网和万兆以太网	20
2.3 无线局域网	20
2.3.1 有中心网络和自组织网络	20
2.3.2 媒体访问帧格式	22
2.3.3 载波监听多点接入/碰撞避免协议	26
2.3.4 无线局域网物理媒体规约	27

2.4 扩展局域网	31
2.4.1 在物理层扩展局域网	31
2.4.2 在链路层扩展局域网	33
本章小结	36
习题	36
第3章 终端网络地址	38
3.1 电话号码	38
3.1.1 国际公用电信号码结构	38
3.1.2 按地理范围分配的国际公用电信号码	39
3.1.3 按全球业务分配的国际公用电信号码	40
3.1.4 按网络分配的国际公用电信号码	41
3.1.5 中国电信号码计划	41
3.2 数字网编址计划	44
3.2.1 术语和概念	44
3.2.2 基本地址结构	45
3.2.3 主要数字网地址格式	45
3.3 因特网网际协议地址	46
3.3.1 因特网 IP 地址及其表示	46
3.3.2 因特网传统 IP 地址结构	46
3.3.3 专用网际协议地址	47
3.3.4 IP 地址与硬件地址的转换	48
3.4 IPv4 无分类编址	49
3.4.1 划分子网	49
3.4.2 构造超网	51
3.5 域名系统	53
3.5.1 因特网中的域名结构	54
3.5.2 域名解析过程	55
3.6 虚拟专网和网络地址转换	57
3.6.1 虚拟专用网	57
3.6.2 网络地址转换	58
3.7 IPv6 编址计划	60
3.7.1 IPv6 的首部开销	60
3.7.2 IPv6 的地址空间	61
3.7.3 全球单播地址结构	63
3.7.4 IPv6 与 IPv4 的混合使用	64

本章小结	69
习题	69
第4章 寻路协议	72
4.1 寻路的概念	72
4.1.1 网络中间系统	73
4.1.2 软交换寻路	75
4.1.3 理想的寻路算法	77
4.1.4 分层寻路协议	78
4.2 ICMP 因特网报文控制协议	79
4.2.1 IPv4 下的 ICMP	79
4.2.2 IPv6 下的 ICMP	80
4.3 基本数学工具	81
4.3.1 简单图	82
4.3.2 有向图和加权图	83
4.3.3 树和生成树	84
4.3.4 生成树算法	84
4.4 最短路径长度计算	86
4.4.1 Dijkstra 算法	86
4.4.2 Bellman-Ford 算法	88
4.4.3 两种算法的比较	90
4.5 距离向量协议	91
4.5.1 RIP 协议报文格式	91
4.5.2 距离向量算法	92
4.6 OSPF 路径状态协议	93
4.6.1 OSPF 协议概述	93
4.6.2 链路状态数据库	94
4.6.3 OSPF 协议报文格式	99
4.6.4 OSPF 的操作	101
4.7 路径向量协议	102
4.7.1 边界网关协议概述	103
4.7.2 BGP 路径信息库	104
4.7.3 BGP 报文格式	104
4.7.4 BGP 协议操作	105
本章小结	105
习题	106

第 5 章 流量和拥塞控制	109
5.1 链路层的概念	109
5.1.1 HDLC 高级数据链路控制协议	111
5.1.2 点对点协议	112
5.2 运输层的概念	113
5.2.1 用户数据报协议	116
5.2.2 传输控制协议	116
5.3 差错和流量控制	119
5.3.1 差错和流量控制机制	120
5.3.2 停止等待协议的定量分析	127
5.3.3 窗口重传协议的定量分析	128
5.4 拥塞控制	128
5.4.1 拥塞的概念	129
5.4.2 拥塞控制的概念	130
5.4.3 TCP 流量和拥塞控制	130
5.4.4 ATM 基于合约的拥塞控制	136
本章小结	138
习题	138
第 6 章 流量排队分析	141
6.1 排队分析概念	141
6.1.1 一般排队过程	142
6.1.2 排队系统的组成和特征	143
6.1.3 排队模型的分类	145
6.2 排队模型	146
6.2.1 排队系统模型	146
6.2.2 排队参数	147
6.2.3 基本排队关系	148
6.3 生灭过程	149
6.3.1 马尔可夫链	149
6.3.2 生灭过程	152
6.4 $M/M/1$ 排队状态	154
6.4.1 稳态概率分布	154
6.4.2 平均滞留顾客数	154
6.4.3 稳态逗留时间分布	154
6.4.4 主要关系结论	155

6.5 多服务员排队	156
6.5.1 稳态概率分布	157
6.5.2 Erlang C 公式	157
6.5.3 其他主要结论	157
6.6 排队论应用	158
6.6.1 计算百分位	158
6.6.2 一个多服务员的问题	159
本章小结.....	161
习题.....	161
第7章 经典通信网络协议体系	163
7.1 网络协议体系的原理	163
7.2 开放系统互联协议体系	165
7.3 综合业务数字网协议体系	166
7.4 TCP/IP 因特网协议体系	169
本章小结.....	172
习题.....	172
参考文献	173

第 1 章 概 述

网络通信离不开“网络”和“通信”，其核心是“协议”。这 3 个概念都比较抽象，需要深入思考才能领悟。本书试图通过对网络通信基本问题的梳理分析，使读者理解网络通信的基本原理，从而方便理解网络通信中不断涌现且比较抽象的新名词、新概念和新技术。

1.1 通信网络

通信网络是从实践中逐渐发展成熟的。其基本原理，从交换机的诞生中更容易理解。

1.1.1 交换机的诞生

可常见小朋友拿着一对玩具电话对讲，两个电话之间有一条电话线相连，并且通话效果还不错，如图 1-1(a)所示。这可以算是最简单的通信系统了。

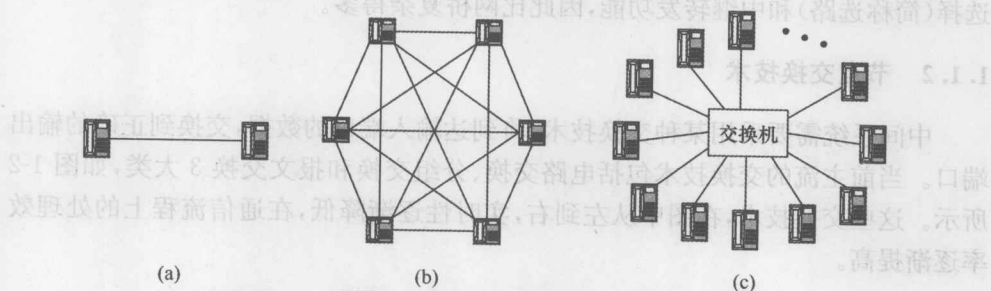


图 1-1 通信网络的概念

这个通信系统的缺点是显而易见的，只能两个人通话，系统很难扩展。如果安装多部电话，并且两两之间都用一条电话线互连起来，如图 1-1(b)所示，理论上可以实现系统的扩展。但这存在两个问题：一是要求打电话的人必须知道该接哪条线，二是连线的数量近似平方关系增长，布线成本导致系统不可实现。例如，仅 1000 用户的小区，就需要 50 万对电话线互连。显然直接两两相连的方案，实际上是不可行的。

唯一的解决办法是设立一个交换中心。所有用户的电话线不直接相连，而是全部连接到交换中心。当需要通话时，由交换中心临时将需要通话的双方连接在

一起。最初交换中心的这种连接工作由话务员人工完成,现在可以由电子设备实现。这个电话公司用来临时连接通话电路的局端电子设备,最典型的就是局用交换机,如图 1-1(c)所示。

这样一来,通话过程就变得复杂起来。首先,主叫方需要以某种方式告知交换中心被叫是谁;然后,交换中心需要确认被叫线路空闲,并且被叫已经准备好接听来电;最后,交换中心才将从主叫到被叫的电路连接起来,主被叫双方开始通话。这个过程必须事先确定,并且交换中心和每一个通话用户均须认同,否则通话就无法实现。描述这个通话过程的共同规则称为通信协议。

图 1-1(c)所示的系统是最简单的通信系统。为了描述方便,称用户端的电话为终端设备或端系统;在端系统之间提供数据传送服务的通信线路和局端设备统称为通信网络。

两个通信网络可以通过 IS(Intermediate System)中间系统互连在一起,成为更大的通信网络。这时称原来的通信网络为通信子网。如果将连接端系统的通信线路也视为通信子网,那么图 1-1(c)中的局端交换机也可以视为一种中间系统。

根据互连的通信子网是否使用相同的通信协议,中间系统可以分为连接同类子网和异构子网的两类设备。只能连接同类子网的中间系统称为网桥,可以连接异构子网的中间系统称为路由器或路探器。路探器需要在不修改任何通信子网结构的前提下,适应不同子网的通信协议,在互连的异构通信子网之间提供传输路径选择(简称选路)和中继转发功能,因此比网桥复杂得多。

1.1.2 节点交换技术

中间系统需要采用某种交换技术,将到达输入端口的数据,交换到正确的输出端口。当前主流的交换技术包括电路交换、分组交换和报文交换 3 大类,如图 1-2 所示。这些交换技术,在图中从左到右,实时性逐渐降低,在通信流程上的处理效率逐渐提高。

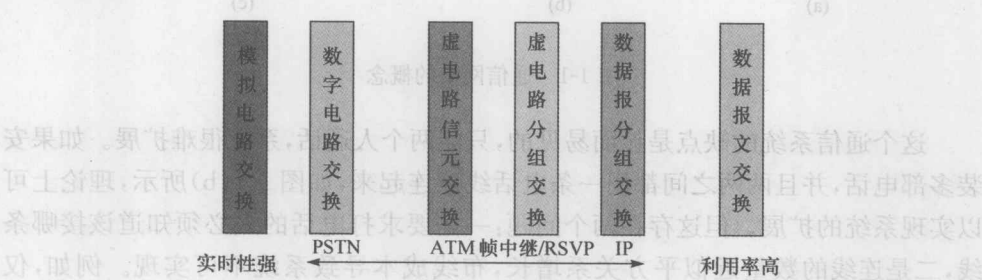


图 1-2 主流电子交换技术

电路交换又可以细分为模拟电路交换和数字电路交换。模拟电路交换使用物理媒介实时实现输入端到输出端模拟信号的传输。但是模拟信号传输媒介必须独

占使用,所以对信道管理要求较高,不容易做到高效率。数字电路交换处理的是模拟信号的数字采样。数字信号便于存储与加工,可以不完全实时。这样数字电路交换的灵活性和利用率都比模拟电路交换有所提高。程控数字交换机至今仍然是固定电话网的主要局用设备。

数据报文交换是与电路交换完全不同的交换技术。采用数据报文交换技术进行通信时,不需要事先建立连接。它将接收地址(或称为投寄地址、目的地址,简称宿地址)与报文数据打包在一起同时传输,通信结束后也不需要拆除连接。这样在通信流程上就没有建立连接的时间损失。但是为了让中间系统知道该如何处理“数据报文”,数据报中必须增加一些与用户数据无关的开销,以表明用户数据的长度、用户数据的投寄地址、寄发数据的源端地址、发生差错时的处理方法和检测差错的校验数据等。收到数据报文的中间系统,根据与报文数据同时收到的报文开销中的宿端地址,将整个报文转发到正确的输出端口。电报是典型的数据报文交换。数据报文交换适合于传输零星数据。如果数据报文太长,就很可能在传输过程中出错,传输成功的概率就会大大降低。

分组交换是介于电路交换与数据报文交换之间的交换技术。它可以细分为虚电路信元交换、虚电路分组交换和数据报分组交换。

与电路交换类似,采用虚电路交换技术的通信系统,典型的通信过程也包括3个阶段:建立连接、交换数据、拆除连接。虚电路信元交换是一种分组长度短且固定的广义分组交换。信元分组的首部开销中包含了在“建立连接阶段”分配的虚电路号。因为分组长度短且固定,所以可以采用硬件方式解析分组开销信息,根据虚电路号实现“分组按已建立连接所指定的转发路径,从输入端顺序交换到输出端”。其典型代表是ATM交换技术。虚电路分组交换的分组长度一般较长且不固定,分组开销中包含的信息较多,需要较为复杂的操作和较长的处理延迟,才能实现“分组按已建立连接所指定的转发路径,从输入端顺序交换到输出端”。其典型代表是帧中继和RSVP技术。

数据报分组交换可以看成报文长度受限的数据报文交换。采用数据报分组交换技术进行通信时,首先将待传输的用户数据报文拆分成合适长度的数据块,然后在用户数据块首尾加上必要的分组开销,开销中包括了完整的源端和宿端地址。中间系统根据分组开销中的源地址和宿地址,将分组从输入端正确交换到输出端。因特网就是采用数据报分组交换的典型的网络通信系统。

1.1.3 网络拓扑结构

互联端系统或通信子网的布线方式构成了通信网络的拓扑结构。通信网络的拓扑结构有总线型、星型、环型和全互连4种基本类型,如图1-3所示。4种基本拓扑结构可以组合成树型、网格型等各种综合类型结构。

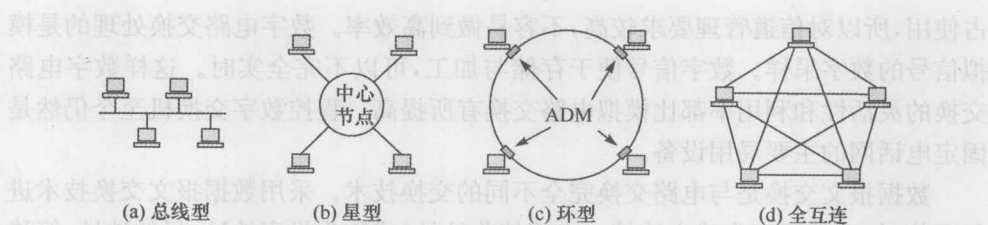


图 1-3 基本网络拓扑结构

总线型网络如图 1-3(a)所示。这种网络的所有节点(端系统或中间系统)逻辑上都连在一个共享传输媒介上。例如,无中心无线通信中的电磁波空间、以太网系统中的同轴电缆或集线器等。这种网络的特点是,总线上的节点以广播方式复用共享传输媒介相互传输信息,一个节点发出的信息其他节点都能收听到。总线型网络的优点是网络布线投资成本低,缺点是一个节点发生故障就可能阻塞整个网络,且故障诊断很困难。

星型网络如图 1-3(b)所示。这种网络的节点,逻辑上都连到一个中心节点(通常是一个中间系统)。例如,电话交换用户环网络、快速以太网、广视频分发网等。广电的视频分发网物理上是共享视频同轴传输电缆的总线型网络结构,但是在逻辑上所有住宅电视都是直接连接到光端模块的,因此仍然是星型网络;而使用集线器的以太网,尽管物理上所有计算机都连接到中间系统集线器,但是逻辑上所有计算机共享集线器总线带宽,因此却属于总线型网络。星型网络的优点是便于维护和扩展,是终端用户网的优选布线形式;缺点是布线成本稍高,如果中心节点受到攻击,系统抗毁性稍差。

环型网络如图 1-3(c)所示。这种网络将所有需要通信的节点串接成闭合回路,如令牌环网、光纤分布数据接口(Fiber Distributed Data Interface, FDDI)等。通过使用令牌来控制每个环上节点是否发送自己的数据,令牌环网可以在保留布线成本较低优点的同时,提高故障可诊断性,其缺点仍然是系统抗毁性差,多与其他拓扑结构综合使用。

全互连网络如图 1-3(d)所示。这种网络的所有节点之间均有直达链路相连,是通信效能和系统抗毁性最好的网络拓扑形式,但是布线成本较高,一般仅用于数量有限的核心节点组。

如图 1-4 所示的综合型网络中,A、B、C 三个中间系统节点分别是多个其他中间系统节点的汇聚中心,相互之间采用了全互连拓扑结构。中间系统 E 挂接了较多的终端系统,与挂接的终端系统一起构成了总线型拓扑结构。中间系统 C 与 D 和 F 构成以 C 为中心节点的星型拓扑,中间系统 F 与其服务的 3 个终端系统构成环型拓扑,中间系统 D 与中间系统 G 和 H 构成了以 D 为中心的星型拓扑,中间系统 G 和 H 分别与它们服务的终端系统构成以中间系统为中心节点的星型拓扑,整个网络可以视为以中间节点 A、B、C 为核心节点组的树型综合拓扑结构。

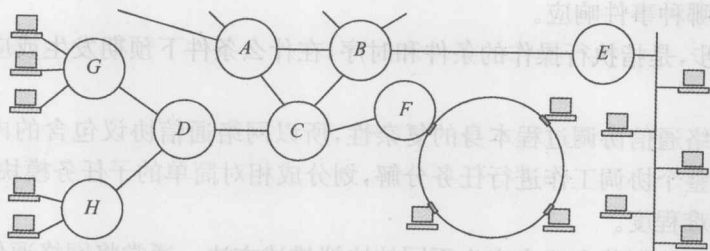


图 1-4 综合网络拓扑

1.2 通信协议

端系统之间通过网络进行通信的过程通常很复杂,必须高度协调工作才能相互通信。例如,考虑连在网络上的两台计算机要实时传送文件,典型过程包括如下任务。

- (1) 两台计算机都必须已经开机,并进入正常工作状态。
- (2) 两台计算机都必须已经通过某种物理媒介链路连接到网络上。
- (3) 两台计算机与各自网络接口之间必须能够正常收发数据。
- (4) 网络接口与各自网关之间必须可以正常传输数据。
- (5) 两台计算机必须在网络中唯一地标识自己,因而可以被找到。
- (6) 源计算机必须告诉网络如何识别并找到接收文件的宿计算机。
- (7) 网络必须能够将源计算机发出的数据送达指定的宿计算机。
- (8) 计算机和网络之间已经就如何处理差错和流量控制达成了一致。
- (9) 源计算机必须确认宿计算机同意接收自己发送的文件数据。
- (10) 两台计算机之间已经就如何识别和处理差错达成了一致。
- (11) 两台计算机之间已经就文件传输的结束方式达成了一致。
- (12) 两台计算机必须已经就文件的传输和存储方式达成了一致。
- (13) 最后才能实际地进行文件传输。

不同任务的网络通信过程也不完全相同,要适应更加普遍的通信任务情况,通信双方的协调工作将更加困难,必须事先约定好更加细致的规则。

1.2.1 协议定义

网络通信协议常简称为协议,是为进行网络中的数据交换而建立的规则、标准或约定。它由语法、语义和同步 3 个要素组成,明确规定了为完成特定目的而进行数据交换的数据格式、事件操作和时间顺序。

- (1) 语法,是关于数据与控制信息的结构或格式。
- (2) 语义,是预定任务的确切含义,包括发出哪种控制信息、完成哪种功能操

作以及做出哪种事件响应。

(3) 同步,是指执行操作的条件和时序,在什么条件下预期发生或应当生成什么事件。

由于网络通信协调过程本身的复杂性,所以网络通信协议包含的内容非常复杂。必须将整个协调工作进行任务分解,划分成相对简单的子任务模块,来降低协议设计的困难程度。

不同的模块划分方法会产生不同的协议描述方法。通常将网络通信协调工作的划分方法及各个组成部分协议内容的集合,称为通信网络的协议体系结构,不严格地也称为网络协议栈(Protocol Stack)。它是一个通信网络系统应该完成的全部功能的抽象但精确的定义。

1.2.2 历史进展

1974年,IBM公司发布了系统网络体系结构(System Network Architecture, SNA)。这是世界上最早的、比较完善的网络通信协议。经过不断的改进,它目前仍然是世界上使用较为广泛的网络通信协议体系。此后不久,其他一些公司也相继独立发布了自己的网络通信协议体系,较好地解决了各自公司通信产品之间的互联和网络通信问题。

随着全球经济的发展,购买了不同公司通信产品的用户之间也出现了联网通信的需求。能够相互通信的网络系统必须遵循相同的网络协议体系,即在分解通信协调任务时,依据“相同的任务划分方法”和“相同的规则或约定”。而现实是不同公司产品遵循的通信协议体系各不相同,因此很难互联互通。为此,国际标准化组织 ISO 于 1977 年成立了专门的机构研究这个问题。

ISO 按完成功能进行任务划分,提出了一种分层网络通信协议标准构架,即开放系统互联基本参考模型(Open System Interconnection Reference Model, OSI/RM),简称为 OSI。其正式文本于 1983 年作为 ISO 7498 国际标准发布,同时另一个通信领域的国际标准化组织——国际电报电话咨询委员会 CCITT 也制订了与 ISO 7498 基本相同的 X.200 建议书,以促进该研究成果的推广应用。

OSI 中的“开放”,是指遵循 OSI 标准的系统,可以与世界上遵循同样标准的其他系统进行通信;而“系统”是指现实系统中与互联有关的各部分。实际上,只要协议设计合理,遵循相同协议体系的系统都是可以互通的。这里“开放系统互联”是一个合理的网络协议体系参考模型的专有名词,并不是指可以实现开放系统互联的唯一方案。

1984 年,CCITT 首先按网络通信过程的执行顺序,然后再按完成功能进行任务划分,提出了综合业务数字网 ISDN 的概念。这是完全从通信运营管理的角度出发制订的另一种开放系统互联协议标准体系,具有更好的效率、性能、安全和可靠性。1988 年,随着制造技术的进步,CCITT 又在 ISDN 的基础上进一步提出了

改进的宽带综合业务数字网和异步转移模式(ATM)网络协议体系参考模型。

然而,无论 ISO 7498 还是 B-ISDN,两大法律意义上的国际标准都没有占据市场主导地位。目前得到最广泛应用的网络通信协议是最初由美国政府主导的 TCP/IP。1992 年因特网划出美国政府直接管辖后,成立了一个称为因特网协会(Internet Society, ISOC) 的国际性组织,来管理和促进采用 TCP/IP 协议的因特网的全球推广和应用。该协会下设的因特网系统结构委员会(Internet Architecture Board, IAB) 负责管理因特网有关协议的开发。IAB 又设置了两个工程部:一个是因特网推广工程部(Internet Engineer Task Force, IETF),主要研究因特网推广过程中短期和中期的工程问题,负责协议的开发和标准化,结果以 RFC 请求评论的形式在因特网上发布;另一个是因特网研究工程部(Internet Research Task Force, IRTF),主要针对需要长期考虑的问题进行理论方面的研究。

1.3 网络通信的核心问题

随着网络通信技术的进步,通信网络逐步发展扩张,已经变得无处不在。那么网络通信技术都解决了哪些问题呢?网络通信的核心问题有 3 个:①建立起终端系统到传输网络的物理传输链路;②将数据从源端点投递到正确的宿端点;③通过流量和拥塞控制确保数据传输的正确和可靠。下面逐一介绍。

1.3.1 连通性问题

第①个问题,建立终端系统到传输网络的物理传输链路,实现直连系统间的可靠数据传输,描述了两个层次的需求:①物理层,充分考虑物理媒介机械的、电气的、功能的和过程的特性,实现物理媒介上非结构化的比特流传输;②链路层,通过发送带有必要的同步、差错控制和流量控制信息的数据块,使通过物理链路的信息传送变得可靠。这是网络通信的先决条件,也是通信原理的主要研究内容。本书第 2 章以以太网为例对此予以简要介绍。

1.3.2 寻路问题

第②个问题,将数据从源端点投递到正确的宿端点,这在成对的点到点通信中是不言而喻的。在局域网或本地网中,只要加上目的地址,就可以让宿端收到源端发出的数据,似乎也算不上问题。然而随着网络的扩展,对于一个服务数以亿计终端的全球网络,将数据投递到正确的宿端点就成了一个需要认真对待的问题。因为对于如此庞大的异构网络,“广播”除了造成流量风暴和网络拥塞、导致信息泄露外,一般来说不能让期望的接收者收到发送者发出的数据。因此,将数据从源端点投递到正确的宿端点,是实现网络通信无可回避且非常关键的一步。

对于无连接网络,让数据分组找到正确的最终接收者,需要途经的每一个路探

器都了解网络的拓扑结构,并且采用合适的算法找到最佳转发路径。对于面向连接的网络,在连接建立起来以前,同样需要为用于建立连接的信令分组寻找最佳转发路径,为后续的用户数据转发挑选构成虚电路的最佳中继路线。

针对这个选路问题,本书第3和第4章,分别从终端系统编址和最佳路径选择算法两个方面,介绍网络最佳寻址的基本原理;在第4章还介绍了几种实际的路径选择协议设计。为将数据发送到指定接收者而选择合适的转发路径的工作,大致对应于OSI开放系统互联协议体系参考模型的网络层,或者ISDN综合业务数字网协议体系参考模型的控制平面。

1.3.3 服务质量问题

第③个问题,数据传输的正确和可靠,体现了通信网络的服务质量,是现代通信网所追求的设计目标。要确保数据传输的正确和可靠,必须进行流量和拥塞控制。

网络拥塞是分组网络不可避免的特征。从建造成本考虑,不能要求网络的每一条通信链路都提供无限大的容量,每一个转发节点都设置无穷大的处理能力。随着网络规模的扩大,如果较多流量汇聚到少数通信链路或转发节点,必然造成数据在这些中继节点的拥塞。网络在拥塞时,不能保证网络数据传输的正确和可靠。因此,流量和拥塞控制是网络通信不可回避的研究内容,也是评价通信网络质量的重要依据。

通常采用3个指标来评价网络通信质量:误码率(或差错率)、可用带宽和传输时延(或时延抖动),这3个指标均与网络的流量和拥塞控制密切相关。

技术上有3种情况会造成网络传输差错:①信道质量导致的误码,以及由此引起的数据丢失和误投;②网络拥塞导致的数据丢失;③协议或规则设计错误导致的数据误投或丢失。现代主要基于光纤的通信网络的信道质量普遍较高,由第2种情况导致的差错是产生网络传输差错的主要原因。

带宽本来是指某个信号具有的频谱宽度,它代表了模拟信号所占用的信道资源数量。在网络通信中则用数据率或比特率描述通信流量强度,单位是比特/秒(bit/s)。可以用最低维持速率、最大峰值速率、持续平均速率和最大突发块长来更加精确地描述网络流量特征。而网络通信中的术语“带宽”习惯指数字信道容量或传送数字信号的数据速率,可用带宽则是指信道中可用于传送数字信号的最大数据速率。

传输时延通常包括发送时延、传播时延和处理时延3种类型的延迟之和,即

$$\text{传输时延} = \text{发送时延} + \text{传播时延} + \text{处理时延} \quad (1.1)$$

因此,传输时延是由这三者共同决定的,在不同的链路上传输不同的数据块,这3种时延中的哪一种时延占主导地位需要视具体情况具体分析。

(1)“发送时延”是节点在发送数据时,数据块从节点进入传输媒介所需要的