

实用计算机网络技术丛书

广域网络

教程

陈明 编著



清华大学出版社

实用计算机网络技术丛书

广域网络教程

陈 明 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书详细和系统地介绍了当前广域网络的概念、结构及主要技术。其内容包括广域网通信基础、点对点选择、X.25 网、综合业务数字网、帧中继、光纤通道、异步传输模式、数字数据网、广域网路由、广域网方案设计等内容。

本书介绍的内容系统而全面,可作为大学计算机网络教材,也可作为计算机网络工程技术人员的参考书。

版权所有,翻印必究。

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。

图书在版编目(CIP)数据

广域网络教程/陈明编著. —北京:清华大学出版社,2004.2

(实用计算机网络技术丛书)

ISBN 7-302-07943-9

I. 广... II. 陈... III. 远程网络—高等学校—教材 IV. TP393.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 001607 号

出 版 者: 清华大学出版社

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

社总机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

责任编辑: 冯志强

封面设计: 品位数码

印 装 者: 清华大学印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印张: 21.25 字数: 528 千字

版 次: 2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-07943-9/TP·5767

印 数: 1~4000

定 价: 29.00 元

总 序

计算机科学与技术的产生与发展是 20 世纪科学发展史上最伟大的事件之一,计算机网络技术的出现是计算机应用的又一里程碑,计算机网络的发展对人类的政治、经济和文化将产生深远的影响。十几年前,Sun 公司提出了“网络就是计算机”的著名理念,在此之后,计算机网络得到了飞速发展,走过了从局域网、广域网到因特网的普及的道路。今天,随着对等计算和网格计算的兴起,网络不仅成为充当连接不同计算机的桥梁,更应成为扩展计算能力、提供公共计算服务的平台。

计算机网络技术是计算机技术和通信技术的融合和交集,因此,涉及的基础是广泛的,包括的内容是丰富的。涉及的主要内容包括信息基础设施、三网合一、因特网服务等。信息基础设施的内容包括物理网、主干网、宽带接入方式、网络安全应急响应服务、高性能网络体系结构等;三网合一是指通信网、广播网和计算机网络技术紧密结合,实现统一网络,主要内容包括数字电视系统、IP 电话、多媒体网络规划等;因特网服务主要包括电子业务和电子商务、应用基础设施提供商 AIP、互联网数据中心和应用服务提供商等。

这次推出的 6 本网络教程(《局域网络教程》、《广域网络教程》、《网络设备教程》、《网络协议教程》、《网络设计教程》和《网络安全教程》)是网络技术的重要组成部分,主要介绍网络构建方面所涉及的技术。对于较高层次透明的分布式系统没有介绍和讨论,对于基于网络环境下的各种类型的网络计算也没有涉及。

《局域网络教程》主要内容包括局域网络概述、数据通信基础、局域网络的物理介质、网络体系结构、经典局域网络、高速以太网、光纤分布数据接口、异步传输模式、光纤通道无线局域网络、城域网络、网络操作系统、网络安全和局域网络应用等。

《广域网络教程》主要内容包括广域网络通信基础、点对点选择、X.25 网、综合业务服务网、帧中继、光纤通道、异步传输模式、数字数据网、广域网络路由、广域网络方案设计等。

《网络协议教程》主要内容包括计算机网络概述、数据通信基础、网络协议和服务概述、计算机网络体系结构、物理层协议、数据链路层协议、网络层协议、运输层协议、高层协议、简单网络管理协议 SNMP 等。

《网络设备教程》主要内容包括网络设备概述、调制解调器、网络接口卡、集线器、网桥、交换机、路由器、网关、网络存储系统、网络服务器、网络打印设备。

《网络安全教程》主要内容包括网络安全概述、网络安全的基本概念、网络基础与 TCP/IP 详解、数据加密技术、网络攻击检测技术、网络攻击技术、计算机病毒与反病毒、防火墙技术、虚拟网技术、Web 安全、软件安全漏洞等。

《网络设计教程》主要内容包括网络分析与设计基础、网络分析与设计过程、网络需求分析、通信规范、逻辑网络设计、物理网络设计、网络测试、运行与维护等。

本套书是基于大专院校计算机专业和相近专业的教材而编写的,它们与计算机学科的科技参考书和专著不同,主要特点如下:

- 注重了全书的完整性、系统性、层次性。
 - 考虑到计算机网络技术的飞速发展,注重了对新技术、新方法的吸收和融合,增强了实用性和现代性。
 - 语言简洁,定义明确,对较困难和较繁琐问题的介绍深入浅出,增强了可理解性。
 - 每章都附有小结和习题,便于学习总结和自测。
 - 本书在理论上处于中等水平,因此,不仅适用于高等院校的教材,也适用于网络培训教材。
 - 在各本教程中,尽量减少内容重复,但保证每本教程的内容完整性。
 - 采用了原理和应用相结合的介绍方法,保证了教材应用的广泛性。
 - 书中结构为积木状,各章相对独立,增强了全书的开放性和独立性。
- 由于作者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

陈 明

前 言

ARPA 网络的出现,标志着以资源共享为目的的广域网络的诞生。广域网(WAN, Wide Area Network),是一种跨越大地域的网络,通常覆盖一个国家。网络上的计算机称为主机(Host),又称为端点系统(End System)。主机通过通信子网连接。通信子网的功能是把消息从一台主机传送到另一台主机。因此把网络的结构分成两部分:通信子网和资源子网。通信子网负责整个网络的通信,资源子网是各种网络资源(如主机、主机上的软件资源、打印机等)的集合。

在大多数的广域网中,通信子网由两个不同的部件组成,即传输线和交换单元。构建局域网和广域网的方法不同,构建局域网时,必须由构建局域网的单位完成传输网络的建设,传输网络的传输速率可以很高,如吉位以太网。但是因为各种条件的限制,构建广域网时,必须借助于公共传输网络。用户并不关心公共传输网络的内部结构和工作机制,所关心的仅仅是公共传输网络提供的接口,以及实现和公共传输网络之间的连接,并通过公共传输网络实现远程站点之间的报文交换的方法。因此,广域网的设计前提在于掌握各种公共传输网络的特性,以及公共传输网络和用户之间的互联技术。

目前,主要由电信部门提供公共传输网络服务,随着电信营运市场的开放,用户选择公共传输网络的服务提供者的余地就越来越大。基本上可以将公共传输网络分为两类:一类是电路交换网络,主要包括公共交换电话网(PSTN)和综合业务数字网(ISDN);另一类是分组交换网络,主要有 X.25 分组交换网、帧中继和交换式多兆位数据服务。电路交换网络的特点是:远程端点之间通过呼叫建立连接,在保持连接期间,电路由呼叫方和被呼叫方专用。经呼叫建立的连接属于物理层链路,只提供物理层承载服务,在两个端点之间传输二进制比特流。分组交换网络提供虚电路和数据报服务。虚电路又分为永久虚电路和交换式虚电路两种。永久虚电路由公共传输网络提供者设置,一旦设置完成,这种虚电路即长期存在。交换式虚电路需要由两个远程端点通过呼叫控制协议建立,在完成当前数据传输后拆除。虚电路和交换式电路的最大区别就是:虚电路只给出了两个远程端点之间的传输通路,并没有把通路上的带宽固定分配给通路两端的用户,因此其他用户的信息流可以共享传输通路上物理层链路的带宽。数据报服务不需要经过虚电路建立过程就可实现报文传送,由于没有在报文的发送端和接收端之间建立传输通路,报文中必须携带源端点和目的端点的地址。而且,公共传输网络的中间节点,必须能够根据报文的目的端点地址选择合适的路径转发报文。当然,呼叫控制协议在建立虚电路时,也必须根据用户设备地址来确定传输通路的两个端点。由于分组交换网络提供的不是物理层的承载服务,因此必须把要传输的数据信息封装在分组交换网络要求的帧或报文格式的数字字段中才能传送。

另一种属于专用线路连接的传输网是数字数据网(DDN)。DDN 可以在两个端点之间建立一条永久的、专用的数字通道,通道的带宽可以是 64 Kb/s 的倍数,一般情况下,是它的 1~30 倍。如果是它的 30 倍,该数字通道就是完整的 E1 线路。DDN 的特点是:在租用该专

用线路期间,用户独占该线路的带宽。

本书较详细地介绍了广域网络的有关内容,主要包括:广域网通信基础、点对点选择、X.25 网、综合业务数字网、帧中继、光纤通道、异步传输模式(ATM)、数字数据网、广域网路由、广域网方案设计等。

在本书的编写过程中,我的研究生宋晓艳、陈清夷、徐东燕、宋晓艳、张丽英、高雁、赵旭霞、王秀文、王永等参加了资料的搜集和整理工作。

由于作者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

陈 明

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 网络分类	1
1.2 广域网的发展	2
1.3 广域网概述	3
1.4 公共网络和专用网络	3
1.5 远程通信的解决方案	4
1.6 广域网拓扑结构	4
1.7 网络连接	6
1.7.1 点对点网络	6
1.7.2 广播信道	7
1.8 电信网络	7
1.8.1 电信网络的发展	7
1.8.2 长途电信公司	8
1.8.3 分组电信公司	9
1.9 语音网络	9
1.9.1 模拟语音网络	10
1.9.2 语音网络中的数字信号	12
1.9.3 模/数转换	13
1.9.4 频分多路复用和时分多路复用	16
1.9.5 双工通信	18
1.9.6 分组语音	19
1.10 专用线路	20
1.11 远程通信网络接口	21
1.11.1 数据通信设备(DCE)	21
1.11.2 数据终端设备到 DCE 的协议	22
1.12 电路和虚电路	22
1.12.1 电路类型	22
1.12.2 永久虚电路(PVC)和交换虚电路(SVC)	23
1.12.3 交换虚电路(SVC)信息传输	24
总结	25
习题	25

第2章 广域网通信基础	26
2.1 连接数字网络	26
2.1.1 DTE/CSU 接口	26
2.1.2 亚速率(Subrate)设备	26
2.2 多路复用器	27
2.3 调制解调器	27
2.3.1 基本概念	28
2.3.2 调制解调器的类型	28
2.3.3 URAT 接口	30
2.3.4 RS-232 标准	30
2.3.5 调制解调器信号和协议	32
2.3.6 调制解调器组件	33
2.3.7 调制	33
2.3.8 带宽和传输速率	39
2.3.9 调制解调器的同步	41
2.4 微波通信	44
2.4.1 微波通信概述	44
2.4.2 微波设备	45
2.5 卫星通信	46
2.5.1 卫星设备	46
2.5.2 卫星频率范围	46
2.5.3 卫星特征	47
2.5.4 甚小口径终端(VSAT)	48
2.6 数字用户线路(DSL)	49
2.6.1 DSL 工作原理	50
2.6.2 DSL 的不同服务类型	51
2.6.3 DSL 技术三大主流趋势	53
2.6.4 DSL 上的 IP 多播	57
2.6.5 利用 DSL 传输语音	58
2.6.6 使用 DSL 集中器扩展带宽	59
2.6.7 非对称数字用户线路(ADSL)工作原理	60
2.6.8 ADSL 在宽带接入网中的应用	61
2.7 专用分组交换机	64
2.8 路由器	65
2.8.1 路由器的作用	66
2.8.2 路由器的优缺点	66
2.8.3 路由器的功能	67
总结	68
习题	69

第3章 点对点选择	70
3.1 各种数据速率及相关应用	70
3.2 点对点选择	70
3.3 拨号线路和租用线路	71
3.3.1 拨号线路	71
3.3.2 租用线路	72
3.3.3 数字数据服务(DDS)	73
3.4 Switched-56 技术	74
3.5 T-Carrier 和 E-Carrier 技术	75
3.5.1 T-Carrier 技术	76
3.5.2 T1-fp 技术	79
3.5.3 E1 技术	80
3.6 线缆调制解调器	81
3.6.1 线缆调制解调器概述	81
3.6.2 线缆调制解调器与 ADSL 的比较	82
3.7 同步光纤网(SONET)	84
3.7.1 同步光纤网的优势	85
3.7.2 同步光纤网协议体系结构	85
3.7.3 SONET 多路复用	87
3.7.4 SONET 帧格式	87
3.7.5 SONET 网络组件	89
3.8 数据链路层协议	91
3.8.1 HDLC 协议	91
3.8.2 串行线路 Internet 协议(SLIP)	96
3.8.3 压缩后的 SLIP	97
3.8.4 点到点协议(PPP)	97
总结	100
习题	100
第4章 X.25 网	102
4.1 X.25 网的服务	102
4.2 X.25 网的协议	102
4.2.1 物理层协议	103
4.2.2 数据链路层协议	103
4.2.3 分组层协议	104
4.3 分组(包)装/拆器(PAD)	104
4.4 开销与性能	105
4.5 X.25 分组层	106
4.5.1 分组格式	106

4.5.2 虚电路服务	108
4.5.3 永久虚电路服务	112
4.5.4 多路复用	112
4.6 流量控制	113
4.7 X.25 网设备	113
总结	114
习题	114
第 5 章 综合业务数字网 (ISDN)	115
5.1 ISDN 概念	115
5.2 ISDN 服务	116
5.3 ISDN 协议	117
5.3.1 ISDN 协议	118
5.3.2 ISDN 设备	119
5.3.3 ISDN 参考点	123
5.4 ISDN 的实现	124
5.4.1 基本网络连接	124
5.4.2 远程网络连接	124
5.4.3 随时拨号远程联网	125
5.4.4 网络冗余与溢出	125
5.5 ISDN 业务	126
5.5.1 ISDN 的业务能力及分类	126
5.5.2 承载业务	127
5.5.3 用户终端业务	128
5.5.4 补充业务	129
5.6 宽带 ISDN (B-ISDN)	130
5.6.1 B-ISDN 网	130
5.6.2 实现 B-ISDN 的关键技术	131
5.6.3 B-ISDN 网络协议参考模型	132
5.6.4 B-ISDN 用户—网络接口	133
总结	133
习题	134
第 6 章 帧中继	135
6.1 帧中继概念	135
6.2 帧中继原理	136
6.3 帧中继体系结构	137
6.4 帧中继协议	138
6.4.1 永久线路和虚拟线路	138
6.4.2 帧中继帧	139

6.4.3 帧中继寻址	144
6.4.4 通过帧中继连接局域网	145
6.5 帧中继载荷控制	145
6.6 帧中继拓扑	146
6.7 帧中继的实现	147
6.7.1 帧中继实现方案	147
6.7.2 终端用户对帧中继网络的访问	149
6.7.3 帧中继和专线网的比较	150
6.7.4 公共帧中继服务	151
6.7.5 随时带宽	152
6.7.6 条件突发	152
6.7.7 运营商的选择	152
6.7.8 帧中继网络需求	153
6.8 帧中继用户接入规程和设备	153
总结	157
习题	157
第 7 章 光纤通道	158
7.1 光纤通道概述	158
7.2 光纤通道术语	159
7.3 光纤通道元素	160
7.4 光纤通道协议	161
7.5 光纤通道帧格式	163
7.6 帧控制	166
总结	167
习题	168
第 8 章 异步传输模式(ATM)	169
8.1 异步传输模式的发展背景	169
8.2 ATM 概念	171
8.3 传输模式	173
8.4 ATM 信元	174
8.5 B-ISDN 协议参考模型	177
8.5.1 物理层	179
8.5.2 ATM 层	181
8.5.3 ATM 适配层	191
8.6 ATM 的实现	196
8.6.1 虚拟通路和虚拟通道	196
8.6.2 运行中的 ATM	200
8.6.3 基于同步光纤网(SONET)的 ATM	201

8.6.4 帧中继上的 ATM	201
8.7 ATM 设备	202
8.7.1 路由器	203
8.7.2 数据服务单元	203
8.7.3 集线器	203
8.7.4 工作站网络接口卡	204
8.7.5 交换机	204
8.8 虚拟局域网和 ATM	204
8.9 局域网仿真	205
8.9.1 协议结构	206
8.9.2 仿真局域网	207
8.9.3 局域网仿真客户机和服务器	207
8.9.4 局域网仿真的实现	209
8.9.5 局域网仿真帧格式	212
8.10 MPOA 协议	213
8.10.1 MPOA 的技术成分	214
8.10.2 MPOA 的逻辑部件	215
8.10.3 MPOA 的操作过程	216
总结	218
习题	219
第 9 章 数字数据网(DDN)	220
9.1 DDN 概述	220
9.2 DDN 特点	220
9.3 DDN 网络基本组成	221
9.4 DDN 网络结构	222
9.4.1 DDN 三级网络结构	222
9.4.2 DDN 网络层次	223
9.5 DDN 网络管理和控制	224
9.6 DDN 业务	225
9.7 入网方式	228
9.7.1 DDN 接入方式	228
9.7.2 用户入网方式	232
9.8 DDN 网络的同步	232
9.9 DDN 网络的应用	234
9.10 各级网络之间的接口	235
9.11 网络互联	236
9.12 DDN 网络的发展方向	236
总结	237

习题	237
第 10 章 广域网路由	238
10.1 路由选择机制	238
10.1.1 广域网的物理地址	238
10.1.2 层次地址与路由的关系	239
10.2 广域网中的路由	240
10.3 路由算法	241
10.3.1 最优化原则	242
10.3.2 最短路径路由算法	243
10.3.3 扩散法	245
10.3.4 距离矢量路由算法	245
10.3.5 链路状态路由算法	248
10.3.6 分级路由算法	250
10.3.7 广播路由算法	251
10.4 Internet 上的路由选择协议	253
10.4.1 自治系统	253
10.4.2 路由信息协议	254
10.4.3 开放最短路径优先(OSPF)协议	258
10.4.4 边界网关协议	270
总结	277
习题	278
第 11 章 广域网方案设计	279
11.1 分组语音	279
11.1.1 概述	279
11.1.2 分组语音模型	280
11.1.3 实现分组语音技术的网络结构	281
11.1.4 分组语音的关键技术	282
11.1.5 分组语音的传输方案	285
11.1.6 分组语音技术的应用	289
11.2 防火墙技术	289
11.2.1 防火墙概念	290
11.2.2 防火墙实现技术	292
11.2.3 代理服务器	293
11.3 虚拟专用网(VPN)	298
11.3.1 VPN 概念	299
11.3.2 VPN 特点	300
11.3.3 VPN 中的协议	301
11.3.4 VPN 实现技术	303

11.3.5	VPN 类型	305
11.3.6	基于高速 DSL 建立虚拟专用网	306
11.4	网络地址转换(NAT).....	307
11.4.1	NAT 工作原理	308
11.4.2	NAT 的类型	310
11.4.3	基于 NAT 的负载平衡	312
11.4.4	应用 NAT 技术的安全策略	312
11.4.5	NAT 技术在防火墙中的应用	314
11.4.6	在使用 NAT 时需要考虑到的问题	315
11.5	广域网服务的选择	315
11.5.1	T1 租用线路	316
11.5.2	专用网与公共网的比较	317
11.5.3	帧中继设计	318
11.6	广域网总述	319
11.7	网络范例	321
总结		323
习题		323
参考文献		324

第 1 章 概 述

1.1 网络分类

根据计算机网络延伸的距离以及用于连接节点与网络的设备类型,可以将计算机网络分成以下 3 种类型。

1. 局域网

局域网(LAN)所覆盖的地理范围一般在 10 公里以内,通常是由一个部门或一个单位组建的专用网络。局域网常常被应用于连接单位内部的计算机资源,以便共享资源(如打印机或数据库等)和交换信息。LAN 的覆盖范围比较小,这表明即使是在最坏的情况下其数据传输时间也是有限的,并且可以预先知道单位数据传输时间。知道了传输的最大时间,就可以相应地采用某些特殊的设计方法(针对局域网),这正是局域网区别于其他类型网络的特点之一。

在 LAN 中,通常用一条电缆连接所有的计算机。广播式 LAN 常见的拓扑结构有总线状、环状等。局域网的特点是组建方便、使用灵活,它是计算机网络中目前最活跃的分支领域。随着信息化的不断发展,为了更好地发挥网络的作用,局域网也可以连接到广域网或公用网上。用户可以享用外部网络(如 Internet)提供商提供的许多资源。

2. 城域网

城域网(MAN)基本上是一种大型的 LAN。通常使用与 LAN 相似的技术,其范围可能覆盖一个城市,既可能是专用的也可能是公用的,传输速率通常在 10 Mb/s 以上,其作用距离约为 5 km ~ 50 km。MAN 可以支持数据和语音,并且有可能涉及到当地的有线电视网。MAN 仅使用一条或两条电缆,并且不包含交换单元(即把分组分流到几条可能的引出电缆的设备)。把 MAN 列为单独一类的主要原因是已经有了一个标准并且正在实施,这就是 IEEE 802.6 标准,及分布式队列双总线 DQDB(Distributed Queue Dual Bus)体系结构。MAN 的关键之处是仅使用了一条或两条单向总线(电缆)就将所有的计算机都连接在上面。

3. 广域网

广域网(WAN, Wide Area Network)是一种跨越大地域的网络。通常覆盖一个国家。如图 1.1 所示。网络上的计算机称为主机(Host),又称为端点系统(End System)。主机通过通信子网连接。通信子网的功能是把消息从一台主机传送到另一台主机。因此在某些文献中把网络的结构分成两部分:通信子网和资源子网。通信子网负责整个网络的纯粹通信部分;资源子网既是各种网络资源(如主机、主机上的软件资源、打印机等)的集合。

在大多数的广域网中,通信子网由两个不同的部件组成,即传输线和交换单元。传输线也称为线路、信道。

交换单元是一种特殊的计算机,用于连接两条甚至更多条传输线。当数据从传输线到达时,交换单元必须选择一条输出线以传递它们。交换单元又常被称为分组交换节点(Packet Switching Node)、中介系统(Intermediate System)、数据开关交换(Data Switching Exchange)、路由器(Router)等。在图 1.1 中,每个主机都被连接到一个带有路由器的 LAN 上,当然也可以直接连到路由器上。

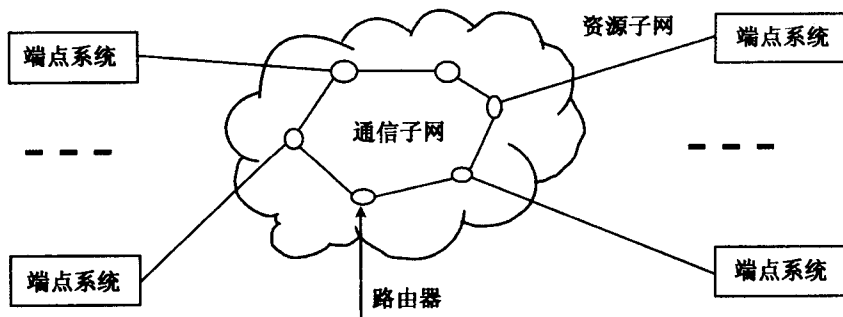


图 1.1 通信子网和资源子网

在大多数的 WAN 中,网络包含大量的缆线,每一条都连接一对路由器。如果两个路由器之间没有直接连接而又希望通信,则必须使用间接的方法,即通过其他路由器作中介。

1.2 广域网的发展

广域网的发展是从 ARPAnet 的诞生开始的。ARPAnet(阿帕网)是由美国国防高级研究计划局(ARPA)所率先组建成的计算机网络。ARPAnet 的出现,标志着以资源共享为目的的现代计算机网络的诞生。

随后的几年间,各个国家、各个公司都纷纷发展了自己的计算机网络。各大计算机公司在宣布自己网络的同时,也公布了网络体系结构,同时声称为用户提供配套服务,用户不必自己另搞一套体系。最著名的网络体系结构有:IBM 公司于 1974 年公布的“系统网络体系结构 SNA”;DEC 公司于 1975 年公布的“分布式网络体系结构 DNA”等。各大公司不断推出按照不同体系结构设计的网络,从而极大地推动了计算机网络的发展。

在发展初期,网络一般是为某一机构组建的专用网。专用网的优点是针对性强、保密性好;缺点是资源重复配置,造成资源的浪费,系统过于封闭,使系统之外的用户很难进入。

随着计算机应用的不断深入发展,一些小规模的机构甚至个人也有了联网需求。这就促使许多国家开始组建公用数据网。早期的公用数据网采用的是模拟通信电话网,进而发展成为新型的数字通信公用数据网。典型的公用数据网有美国的 Telnet、日本的 DDX、加拿大的 DATAPAC 等。我国也于 1993 年和 1996 年分别开通公用数据网 CHINAPAC 和 CHINADDN。