

计算机网络与分布计算系列规划教材

计算机广域网络教程

(第二版)

陈 明 编著



清华大学出版社

计算机网络与分布计算系列规划教材

计算机广域网络教程

(第二版)

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广域网络的概念、结构及主要技术。全书共 11 章, 主要内容包括广域网络的通信基础、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、广域网路由和广域网设计等。

本书介绍的内容系统全面、图文并茂、通俗易懂、实用性强, 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。

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

计算机广域网络教程/陈明编著. —2 版. —北京: 清华大学出版社, 2008.7

(计算机网络与分布计算系列规划教材)

ISBN 978-7-302-17266-6

I. 计… 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(2008)第 041499 号

责任编辑: 魏江江 李玮琪

责任校对: 李建庄

责任印制: 何 芊

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: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

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

印 刷 者: 北京密云胶印厂

装 订 者: 北京市密云县京文制本装订厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×260 印 张: 21.75 字 数: 528 千字

版 次: 2008 年 7 月第 2 版 印 次: 2008 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 1~4000

定 价: 29.50 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题, 请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话: (010)62770177 转 3103 产品编号: 024996-01

前言

ARPA 网络的出现,标志着以资源共享为目的的广域网络诞生。广域网(Wide Area Network, WAN)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),又名端点系统(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。

在广域网络中,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连技术。

目前,主要由电信部门提供公共传输网络服务,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位流。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,因此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据字段中才能传送。

除公共传输网络服务外,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64Kbps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、广域网路由和广域网设计方案等。

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

2008年4月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 网络分类	1
1.2 广域网络的发展	2
1.3 广域网构建基础	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	6
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	8
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	11
1.9.3 模/数转换	12
1.9.4 频分多路复用和时分多路复用	14
1.9.5 双工通信	16
1.9.6 分组语音	17
1.10 专用线路	18
1.11 远程通信网络接口	18
1.11.1 数据通信设备(DCE)	18
1.11.2 DTE 到 DCE 的协议	19
1.12 电路和虚电路	20
1.12.1 电路类型	20
1.12.2 永久虚电路(PVC)和交换虚电路(SVC)	21
1.12.3 交换虚电路(SVC)信息传输	22
总结	22
习题	22

第2章 广域网通信基础	24
2.1 连接到数字网络	24
2.1.1 DTE/CSU 接口	24
2.1.2 亚速率(Subrate)设备	24
2.2 多路复用器	25
2.3 调制解调器	25
2.3.1 基本概念	26
2.3.2 调制解调器的类型	26
2.3.3 URAT 接口	27
2.3.4 RS-232 标准	28
2.3.5 调制解调器信号和协议	29
2.3.6 调制解调器组件	30
2.3.7 调制	31
2.3.8 带宽和传输速率	35
2.3.9 调制解调器的同步	38
2.4 微波通信	41
2.4.1 微波通信概述	41
2.4.2 微波设备	42
2.5 卫星通信	43
2.5.1 卫星设备	43
2.5.2 卫星频率范围	43
2.5.3 卫星特征	43
2.5.4 甚小口径终端(VSAT)	44
2.6 数字用户线路	45
2.6.1 DSL 工作原理	46
2.6.2 DSL 的不同服务类型	47
2.6.3 DSL 技术三大主流趋势	50
2.6.4 DSL 上的 IP 多播	53
2.6.5 利用 DSL 传输语音	54
2.6.6 使用 DSL 集中器扩展带宽	56
2.6.7 非对称数字用户线路(ADSL)工作原理	56
2.6.8 ADSL 在宽带接入网中的应用	57
2.7 专用分组交换机	60
2.8 路由器	61
2.8.1 路由器的作用	61
2.8.2 路由器的优缺点	62
2.8.3 路由器的功能	63
总结	64

4.5	X.25 分组层	100
4.5.1	分组格式	101
4.5.2	虚电路服务	103
4.5.3	永久虚电路服务	107
4.5.4	多路复用	107
4.6	流量控制	108
4.7	X.25 网络设备	108
	总结	109
	习题	109
第5章	综合业务数字网	110
5.1	ISDN 概念	110
5.2	ISDN 服务	111
5.3	ISDN 协议	112
5.3.1	ISDN 协议概述	113
5.3.2	ISDN 设备	114
5.3.3	ISDN 参考点	118
5.4	ISDN 的实现	118
5.4.1	基本网络连接	119
5.4.2	远程网络连接	119
5.4.3	随时拨号远程联网	119
5.4.4	网络冗余与溢出	120
5.5	ISDN 业务	121
5.5.1	ISDN 的业务能力及分类	121
5.5.2	承载业务	121
5.5.3	用户终端业务	122
5.5.4	补充业务	123
5.6	宽带 ISDN	124
5.6.1	B-ISDN 网	124
5.6.2	实现 B-ISDN 的关键技术	125
5.6.3	B-ISDN 网络协议参考模型	126
5.6.4	B-ISDN 用户/网络接口	127
	总结	128
	习题	128
第6章	帧中继	129
6.1	帧中继概念	129
6.2	帧中继原理	130
6.3	帧中继体系结构	131

6.4	帧中继协议	132
6.4.1	永久线路和虚拟线路	132
6.4.2	帧中继帧	133
6.4.3	帧中继寻址	138
6.4.4	通过帧中继连接局域网	139
6.5	帧中继载荷控制	139
6.6	帧中继拓扑	140
6.7	帧中继的实现	141
6.7.1	帧中继实现方案	141
6.7.2	终端用户对帧中继网络的访问	143
6.7.3	帧中继和专线网的比较	144
6.7.4	公用帧中继服务	144
6.7.5	随时带宽	145
6.7.6	条件突发	146
6.7.7	运营商的选择	146
6.7.8	帧中继网络需求	147
6.8	帧中继用户接入规程和设备	147
	总结	151
	习题	151
第7章	光纤通道	152
7.1	光纤通道概述	152
7.2	光纤通道术语	153
7.3	光纤通道元素	154
7.4	光纤通道协议	155
7.5	光纤通道帧格式	157
7.6	帧控制	159
	总结	160
	习题	161
第8章	异步传输模式	162
8.1	异步传输模式的发展背景	162
8.2	ATM 概念	164
8.3	传输模式	166
8.4	ATM 信元	167
8.5	B-ISDN 协议参考模型	170
8.5.1	物理层	171
8.5.2	ATM 层	174
8.5.3	ATM 适配层	183

8.6	ATM 的实现	189
8.6.1	虚通路和虚通道	189
8.6.2	运行中的 ATM	192
8.6.3	基于同步光纤网(SONET)的 ATM	193
8.6.4	帧中继上的 ATM	194
8.7	ATM 设备	195
8.7.1	路由器	195
8.7.2	数据服务单元	195
8.7.3	集线器	196
8.7.4	工作站网络接口卡	196
8.7.5	交换机	196
8.8	虚拟局域网和 ATM	197
8.9	局域网仿真	197
8.9.1	协议结构	198
8.9.2	仿真 LAN	199
8.9.3	局域网仿真客户机和服务器	200
8.9.4	LAN 仿真的实现	201
8.9.5	LAN 仿真帧格式	204
8.10	MPOA 协议	205
8.10.1	MPOA 的技术成分	206
8.10.2	MPOA 的逻辑部件	207
8.10.3	MPOA 的操作过程	208
总结		210
习题		210
第 9 章	数字数据网	211
9.1	DDN 概述	211
9.2	DDN 特点	211
9.3	DDN 网络基本组成	212
9.4	DDN 网络结构	213
9.4.1	DDN 三级网络结构	213
9.4.2	DDN 网络层次	214
9.5	DDN 网络管理和控制	215
9.6	DDN 业务	215
9.7	虚拟专用网(VPN)	218
9.7.1	VPN 概念	219
9.7.2	VPN 特点	220
9.7.3	VPN 中的协议	221
9.7.4	VPN 实现技术的原理	223

9.7.5 VPN 类型	225
9.7.6 通过高速 DSL 建立虚拟专用网	226
9.8 入网方式	227
9.8.1 DDN 接入方式	227
9.8.2 用户入网方式	230
9.9 DDN 网络的同步	231
9.10 DDN 网络的应用	233
9.11 各级网络之间的接口	233
9.12 网络互连	234
9.13 DDN 网络的发展方向	235
总结	235
习题	236
第 10 章 广域网路由	237
10.1 路由选择机制	237
10.1.1 广域网的物理地址	237
10.1.2 层次地址与路由的关系	238
10.2 广域网中的路由	238
10.3 路由算法	240
10.3.1 最优化原则	241
10.3.2 最短路径路由算法	241
10.3.3 扩散法	243
10.3.4 距离矢量路由算法	244
10.3.5 链路状态路由算法	246
10.3.6 分级路由算法	248
10.3.7 广播路由算法	250
10.4 Internet 上的路由选择协议	252
10.4.1 自治系统	252
10.4.2 路由信息协议	252
10.4.3 开放最短路径优先(OSPF)协议	256
10.4.4 边界网关协议	268
总结	276
习题	276
第 11 章 广域网方案设计	278
11.1 分组语音	278
11.1.1 概述	278
11.1.2 分组语音模型	279
11.1.3 实现分组语音技术的网络结构	280

11.1.4	分组语音的关键技术	281
11.1.5	分组语音的传输方案	284
11.1.6	分组语音技术的应用	287
11.2	防火墙技术	288
11.2.1	防火墙概念	288
11.2.2	防火墙基本实现技术	290
11.2.3	代理服务器	292
11.3	网络地址转换	297
11.3.1	NAT 工作原理	298
11.3.2	NAT 的类型	300
11.3.3	基于 NAT 的负载平衡	302
11.3.4	应用 NAT 技术的安全策略	302
11.3.5	NAT 技术在防火墙中的应用	304
11.3.6	在使用 NAT 时需要考虑到的问题	305
11.4	广域网服务的选择	305
11.4.1	T1 租用线路	305
11.4.2	专用网与公用网的比较	306
11.4.3	帧中继设计	307
11.5	广域网总述	308
总结		311
习题		311
附录		312
实验一	通过路由器连接两个局域网	312
实验二	中小企业应用 ADSL 组网实例	331
参考文献		334

第 1 章 概 述

部分：通信子网和资源子网。通信子网负责整个网络的通信部分；资源子网是指各种网络资源（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。传输线也称为线路或信道。

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传递它们。交换单元又常被称为分组交换节点、中介系统、数据开关交换或路由器等。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。

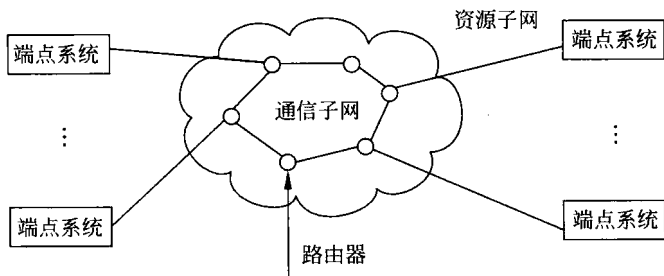


图 1.1 通信子网和资源子网

在大多数的 WAN 中，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(阿帕网)的诞生开始的。ARPAnet 是由美国国防高级研究计划局(ARPA)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各自的计算机网络。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，同时为用户提供配套服务。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。

1.3 广域网构建基础

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,如千兆(吉)位以太网。构建广域网时,因为各种条件的限制,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连技术。

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位流。

分组交换网络提供虚电路(虚拟电路)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,这种虚电路就长期存在。交换式虚电路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,因此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据字段中才能传送。

另一种属于专用线路连接的传输网络是数字数据网(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 64Kbps 的倍数,一般情况下,为 1~30 倍。如果为 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。

1.4 公共网络和专用网络

1. 公共网络

公共网络由电信部门组建,一般由电信部门管理和控制,网络内的传输和交换装置可提供(如租用)给任何部门和单位使用。

2. 专用网络

由一个组织或团体建立、控制、维护并为其服务的私有通信网络称为专用网络。一个专用网络要拥有自己的通信和交换设备,可以建立自己的线路服务,也可以向公用网络或其他

已经建立起自己的通信线路的专用网络进行租用。

专用网络的建立需要很大的投资,一个建立专用网络的机构必须要把自己的通信和交换设备进行管理,并且还要建立起利用微波或其他技术的远程传输线路,或者通过谈判以合理的价格租用。实际上,对于那些特别重视安全和数据传输控制的公司来说,拥有私有线路是实现高水平服务的唯一保障。进一步来说,如果在两个远程节点之间每天都有6小时以上的通信量,那么使用一个自己的专用网确实比使用公用网更经济而有效。

1.5 远程通信的解决方案

远程通信从两个主要技术领域发展而来:计算机领域和通信领域。因此远程通信也有两个分别来自这两个领域的基本的解决方案。一种方案称为计算机通信,另一种称为通信计算机。使用通用术语远程通信就是要包括这两种方案。

从小型的个人计算机到大型机,大多数计算机所做的工作不仅是计算,而且还与其他工具通信。通信计算机的增加对通信的发展是一个巨大的动力,并产生了所谓的计算机通信。

另一个并存的通信发展的动力是通信计算机。目前许多通信是基于计算机技术的。一个观点是,“在数据处理(计算机)和数据通信(传输和交换设备)之间没有根本差别”。目前,正在使用并被装到世界各地的数字交换机是一些特殊目的的计算机和一些有史以来建造得最为精密和强大的计算机的集合。

1.6 广域网拓扑结构

广域网的应用范围非常广泛,其通信和连接主要依靠公用通信设施。广域网的拓扑结构主要包括如下5种。

1. 集中式拓扑结构

在这种拓扑结构中,网络中的信息必须通过中心处理设备,拓扑结构为星状。网络中心处理设备的可靠性基本上决定了整个网络的可靠性。典型的集中式网络拓扑结构是面向终端的远程联机系统和需要进行集中式数据管理的、大型的专用网络系统。在集中式拓扑结构网络系统中,通常在用户终端较集中的某处设置集中器或多路复用器,利用集中器或多路复用器集中接收和发送多路数据,具有集中器和多路复用器的集中式拓扑结构网络如图1.2所示。图中的“H”是“Host”(主机)的简写;“T”是“Terminal”(终端)的简写;“NC”是“Node Computer”(节点计算机,如服务器),也称“通信控制处理机”(如复用器、交换机等)的缩写;“C”是“Concentrator”(集中器)的简写。下同,不再赘述。

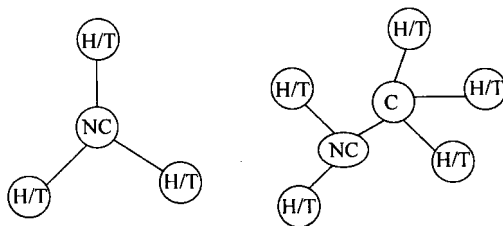


图 1.2 集中式拓扑结构