

通 信 工 程 丛 书

分 组 交 换 工 程

杜治龙 编著
汪润生 审

中国通信学会主编·人民邮电出版社出版

内 容 提 要

本书用通俗易懂的语言,全面、系统地阐述了数据通信的概念和分组交换的原理与技术。对分层结构,特别是对物理层规程, X.25、X.3、X.28、X.29 等与分组交换有关的重要协议以及我国使用的两种典型分组交换设备作了详尽的介绍。书中还阐明了网间互连方法、分组交换网的规划设计、对网络的维护测试以及网络的应用和发展等。全书内容丰富、图文书茂、是一本极好的工程实用书。

本书适用于通信和计算机专业的工程技术人员,对于相关专业的大专院校的师生也是一本极好的参考书。

分 组 交 换 工 程

通信工程丛书

杜治龙 编著

汪润生 审

责任编辑 王若珏

*

人民邮电出版社出版发行

北京朝阳门内南竹杆胡同 111 号

中国科学院印刷厂

新华书店总店科技发行所经销

*

开本:850×1168 1/32 1993 年 5 月第 1 版

印张:16.625 1996 年 3 月北京第 3 次印刷

字数:431 千字 印数:14 001—19 000 册

ISBN7-115-04910-6/TN·614

定价:26.00 元

丛 书 前 言

为了帮助我国通信工程技术人员有系统地掌握有关专业的基础理论知识，提高解决专业科技问题、做好实际工作的能力，了解通信技术的新知识和发展趋势，以便为加快我国通信建设、实现通信现代化作出应有的贡献，我会与人民邮电出版社协作，组织编写这套“通信工程丛书”，陆续出版。

这套丛书的主要读者对象是工作不久的大专院校通信学科各专业毕业生、各通信部门的助理工程师、工程师和其他通信工程技术人员。希望能够有助于他们较快地实际达到通信各专业工程师所应有的理论水平和技术水平。

这套丛书的特点是力求具有理论性、实用性、系统性和方向性。丛书内容从我国实际出发，密切结合当前通信科技工作和未来发展的需要，阐述通信各专业工程师应当掌握的专业知识，包括有关的系统、体制、技术标准、规格、指标、要求，以及技术更新等方面。力求做到资料比较丰富完备，深浅适宜，条理清楚，对专业技术发展有一定的预见性。这套丛书不同于高深专著或一般教材，不仅介绍有关的物理概念和基本原理，而且着重于引导读者把这些概念和原理应用于实际；论证简明扼要，避免繁琐的数学推导。

对于支持编辑出版这套丛书的各个通信部门和专家们，我们表示衷心感谢。殷切希望广大读者和各有关方面提出宝贵的意见和建议，使这套丛书日臻完善。

中国通信学会

前 言

在过去的 20 多年中,计算机和计算机通信网络技术的进步对人类社会变革产生了深刻的影响,使人类进入了“信息时代”。现在,许多人的工作和生活已经离不开计算机和计算机通信了。例如,民航订票、银行的存款和取款、各种各样的业务管理系统和电子信箱通信等等都依赖于计算机通信。

分组交换技术是适应计算机通信的要求而发展起来的一种先进的通信技术,它一问世就很快在计算机通信网络中获得了成功。分组交换技术能够最充分地利用通信网络资源、降低通信成本,并且能够适应各种不同类型的用户要求,提供高质量的灵活的数据通信服务。虽然目前分组交换还只是广泛应用于计算机通信网络,但分组交换技术的不断进步已经为语音、图像和其它宽带通信业务提供了美好的前景,帧中继 (Frame Relay)、快速分组交换 (Fast Packet Switching)、异步传输模式 (ATM)、与宽带综合业务数字网 (B-ISDN) 等新的通信技术都和分组交换技术有关。无论是从事计算机工作的人员还是从事通信工作的人员都对分组交换技术表现出浓厚的兴趣,都希望学习和掌握分组交换技术。

我国目前已经建立了公用和专用的分组交换网,对分组交换技术的研究、开发和应用已经进入了一个新的阶段。网络管理、维护和操作人员需要掌握分组交换的知识和管理、维护、测试的方法,广大用户需要了解分组交换数据网的性能和接口协议以及网络互连的方法,广大从事通信网络研究和科技开发,以及从事网络规划设计的人员也需要掌握分组交换技术,以开发产品、建立网络、和扩大网络的应用。

本书是为了适应上述种种要求而编写的,在编写过程中力求做到通俗易懂,并具有系统性、完整性、实用性的特点。本书包含有

较丰富的图表和数据，既有利于网络维护人员，又有利于网络用户和科技开发人员使用，也适合于大专院校师生参阅。

最后，谨向审校本书的汪润生教授和所有支持本书出版的朋友们表示深切的谢意。

杜治龙

1992. 10.

目 录

第一章 数据通信

1.1	数据通信与电话通信的比较	2
1.2	数据通信系统中的资源共享	5
1.3	通过规程分配资源	7
1.4	数据通信系统模型	8
1.5	数据终端类型	9
1.6	数据终端接口	13
1.7	数据信号的物理表示	14
1.8	接口信号波形	15
1.9	字符编码	17
1.10	数据传输速率	23
1.11	数据传输的同步	25
1.12	数据传输原理	28
1.13	数据线路、电路和链路	30
1.14	数据电路的连接方式和通信方式	31
1.15	数据交换	33

第二章 分组交换原理

2.1	分组交换的起源和早期历史	39
2.2	分组交换迅速发展的原因	40
2.3	通信线路的资源共享	41
2.3.1	预分配资源的复用	41
2.3.2	统计时分复用	43

2.4	交织传输	44
2.5	分组的形成	47
2.6	分组的传输	48
2.7	分组的交换	52
2.7.1	虚电路	53
2.7.2	数据报	54
2.8	路由选择	54
2.8.1	路由选择方法	55
2.8.2	虚电路的路由表	63
2.8.3	虚电路的重连接	64
2.9	流量控制	65

第三章 分层通信结构

3.1	计算机通信面临的问题	71
3.2	国际标准化机构	74
3.3	分层通信体系结构概念	76
3.4	层间通信	80
3.5	层的原语和协议数据单元	85
3.6	OSI 模型的功能简述	90
3.7	通过网络的 OSI 模型	91
3.8	对等层通信协议和层间服务	94

第四章 物理层规程

4.1	物理层概述	97
4.1.1	物理层的功能	97
4.1.2	物理层的位置	98
4.1.3	DCE 设备	98
4.1.4	DTE 设备	100
4.1.5	物理层规程和建议	101

4.2	V 系列建议	101
4.2.1	接口电路电气特性的 V 系列建议	101
4.2.2	接口电路功能特性的 V 系列建议	108
4.2.3	接口电路规程特性的 V 系列建议	112
4.2.4	维护测试方面的 V 系列建议	123
4.2.5	调制解调器 V 系列建议	125
4.3	接口电路的机械特性	129
4.4	EIA 接口标准	130
4.4.1	RS-232-D 接口电路	130
4.4.2	RS-232-D 操作说明	133
4.4.3	RS-232-D 接口通信规程举例	135
4.4.4	RS-449	137
4.5	X 系列建议	139
4.5.1	X. 26 和 X. 27	139
4.5.2	X. 24	139
4.5.3	X. 20	142
4.5.4	X. 21	143
4.5.5	X. 20bis	144
4.5.6	X. 21bis	145
4.6	数字网络接口建议 G. 703	
4.6.1	64kbit/s 接口	146
4.6.2	2048kbit/s 接口	150
4.6.3	G703 接口的应用	151
4.7	ISDN 网的物理层接口	151
4.7.1	I. 411	152
4.7.2	I. 430	153
4.7.3	I. 431	160

第五章 X.25

5.1 分组交换规程	161
5.2 X.25 建议概述	163
5.3 X.25 的层次	165
5.4 X.25 的物理层	166
5.5 X.25 的数据链路层	167
5.5.1 HDLC 的帧结构	168
5.5.2 X.25 链路层操作规程	179
5.5.3 LAPB 链路建立过程	183
5.5.4 信息传输	185
5.5.5 链路的断开过程	187
5.5.6 链路层的例外状态和恢复	188
5.5.7 多链路规程	193
5.5.8 链路层和分组层的接口	199
5.6 X.25 分组层	200
5.6.1 分组层的功能	200
5.6.2 分组和 I 帧的关系	201
5.6.3 分组头	201
5.6.4 虚电路和逻辑信道	205
5.6.5 逻辑信道的状态	206
5.6.6 呼叫建立过程	207
5.6.7 数据传输阶段	211
5.6.8 分组层恢复规程	219
5.6.9 诊断分组的使用	224
5.6.10 呼叫清除	226
5.6.11 永久虚电路的复位	228
5.7 X.25 用户业务功能	229
5.7.1 基本业务和可选业务	229

5.7.2	用户可选业务功能的实现	230
5.7.3	可选业务功能格式	231
5.7.4	可选业务功能的描述	232

第六章 X.3/X.28/X.29

6.1	PAD 功能	248
6.2	PAD 的位置	251
6.3	PAD 的状态	252
6.4	X.3 建议	253
6.4.1	X.3 参数	253
6.4.2	X.3 参数的建立	267
6.5	X.28 建议	268
6.5.1	服务的建立	268
6.5.2	PAD 命令信号	268
6.5.3	PAD 服务信号	269
6.5.4	呼叫建立过程	271
6.5.5	数据传输	272
6.5.6	清除呼叫	274
6.5.7	PAD 的操作	275
6.6	X.29 建议	280
6.6.1	X.29 的功能	280
6.6.2	X.29 和 X.25 的关系	281
6.6.3	X.29 报文格式	281

第七章 分组交换网实例

7.1	北方电信公司的分组交换网	286
7.1.1	DPN-100 分组交换机	286
7.1.2	DPN-100 呼叫过程	294
7.1.3	DPN-100 网络管理系统	296

7.2 SPRINT 公司的分组交换网	298
7.2.1 TP4900 分组交换机	299
7.2.2 TP8000 分组交换机	307
7.2.3 SPRINT 网络控制和管理系统	309
7.2.4 SPRINT 网络的增强功能	317

第八章 网间互连

8.1 网间互连需要解决的问题	319
8.2 网间互连方法	320
8.3 公用分组交换网之间的互连—X.75	324
8.4 公用分组交换网编号—X.121	328
8.5 公用分组交换网与专用分组交换网的互连	331
8.6 X.25 分组交换网与局域网的互连	333
8.6.1 局域网概述	333
8.6.2 通过 IP 实现局域网和分组交换网的互连	334
8.6.3 通过逐跳法实现局域网和分组交换网的互连	336
8.7 分组交换网与电话网的互连	337
8.8 X.25 终端通过电话网的连接—X.32	340
8.8.1 X.32 的功能	340
8.8.2 X.32 链路接入规程	344
8.8.3 X.32 分组层	346
8.9 分组交换网与用户电报网的互连	346
8.10 分组交换网与 ISDN 的互连	347
8.11 分组交换网与卫星通信网的互连	349
8.12 X.25 分组交换网与 SNA 网的互连	351
8.12.1 SNA 体系结构	351
8.12.2 SNA 的网络节点	354
8.12.3 SNA 网络的逻辑环境	355
8.12.4 SNA 网络和 X.25 网络的互连	360

8.13 X.25 分组交换网与 DNA 网络的互连	364
8.13.1 数字网络体系结构	364
8.13.2 DNA 网络和分组交换网的互连	367

第九章 分组交换网规划设计

9.1 网络结构	372
9.1.1 典型的网络拓扑结构	373
9.1.2 分组交换网网络拓扑结构的考虑	375
9.2 网络图	378
9.2.1 网络图和它的矩阵表示	378
9.2.2 网络图的优化设计	380
9.3 网络的连通性和可靠性	382
9.3.1 连通性	383
9.3.2 连通度和割集	383
9.3.3 网络可靠性分析	384
9.4 网络信息流量分析	385
9.5 网络时延分析	390
9.6 系统响应时间的分配和计算	392
9.7 中继线容量的分配和计算	396
9.8 系统可用性计算	399
9.9 网络设计	400
9.9.1 网络类型	400
9.9.2 网络设计步骤	401
9.9.3 网络的修改和扩充	403

第十章 无线分组网

10.1 无线分组网的特点和应用	404
10.1.1 无线分组网的特点	404
10.1.2 无线分组网的应用	405

10.2	无线分组网的构成	405
10.2.1	无线分组网的基本构成	405
10.2.2	无线分组网的设备	407
10.3	无线信道的访问方式	409
10.3.1	ALOHA 方式	410
10.3.2	CSMA (载波侦听) 访问方式	412
10.3.3	SRMA (信道分割预约) 访问方式	413
10.3.4	MSAP (小时隙优先权交替) 访问方式	413
10.4	卫星信道的访问方式	414
10.4.1	TDMA (时分多址) 访问方式	415
10.4.2	分组预约方式	416

第十一章 分组交换网维护测试

11.1	概述	417
11.1.1	测试目的	417
11.1.2	网络维护的基本经验	418
11.1.3	测试方法	418
11.2	信道测试	420
11.2.1	用于数据传输的优质模拟信道	421
11.2.2	信道测试仪表	425
11.2.3	信道特性测试方法	426
11.3	数据电路测试	428
11.3.1	数据电路测试的内容	428
11.3.2	数据电路测试仪表	430
11.3.3	数据电路测试方法	431
11.4	规程测试	434
11.4.1	X.25 规程测试	434
11.4.2	规程测试仪	435
11.4.3	规程测试方法	436

11.5 网络性能测试	439
11.5.1 网络时延测试	439
11.5.2 虚呼叫建立时间测试	441
11.5.3 分组吞吐量测试	442
11.5.4 呼叫处理能力测试	443
11.5.5 网络可用性和可靠性测试	444

第十二章 分组交换技术的应用与发展

12.1 国际 X.25 分组交换网概况	445
12.1.1 国际 X.25 分组交换网概况	445
12.1.2 国际 X.25 分组交换网业务状况	446
12.2 积极发展远程信息通信业务	450
12.2.1 电子信箱 (E-MAIL)	451
12.2.2 电子数据交换 (EDI)	465
12.2.3 可视图文 (videotex)	471
12.3 分组交换技术的发展	474
12.3.1 以 CCITT X.25 建议为基础的分组交换技术的 演变	475
12.3.2 快速分组交换 (FPS) 的发展	476
12.3.3 帧中继 (FRAME RELAY) 技术	477
12.3.4 异步传输模式 (ATM)	486
附录 A X.25 链路层参数	491
附录 B X.25 分组层计时器参考值	492
附录 C X.25 网络诊断码	493
附录 D X.25 可选业务功能码	496
附录 E 国家和地区分组交换网编码 (DNIC)	498
附录 F 与数据通信有关的标准	501
附录 G CCITT 建议类别	510
主要参考资料	512

第一章 数据通信

随着社会的不断进步和技术的发展，人们对通信的要求越来越迫切，范围越来越广泛，形式越来越多样化。人们不仅需要远程对话，还需要传递文字和图像，不仅要传递静止的图像还要传递活动的图像，于是发展了电报，传真和电视通信技术。今天，相隔千山万水的人们可以利用现代通信技术举行会议，就像他们都坐在同一个房间里一样，不但可以听到声音还可以看到与会者。每一种新的通信技术的出现就使人类之间的信息交流进入一种新的境界，大大增强了人的工作效率和应变的能力，推动着社会的飞速发展。

我们有了电话、电报、传真、电视等多种通信手段，为什么还要发展数据通信？

数据通信是在本世纪 60 年代随着计算机的发展和广泛应用而发展起来的一种新的通信技术。计算机具有运算器、存储器和输入输出设备。它的工作速度之快、记忆能力之强和信息处理的准确性是人脑远远不及的，它可以帮助人们完成人本身无法完成的任务，因此计算机一出现就获得广泛的应用。在现代社会里，人的工作和生活已经不能没有计算机了。

计算机的应用经历了从单机到多机，从近距离到远距离的过程。初期，人们必须要到计算机机房里去使用计算机，感到很不方便，而且计算机的强大的处理能力不能获得充分的利用、产生了远距离使用计算机的要求。随着计算机技术和信息处理技术的发展，人们需要使用在不同地点的计算机共同完成一些工作任务，这就需要在计算机之间用通信手段交换信息，产生了计算机和计算机之间以及人和计算机之间进行远程通信的要求。数据通信就是为了适应这种通

信要求而发展起来的。现在，数据通信已经成为人类进行信息交流的十分重要的通信手段，并且在人类进入信息社会的进程中起着越来越重要的作用。

1.1 数据通信与电话通信的比较

由于电话通信已经有了一百多年的历史，应用比较普及，而数据通信是在近 20 多年的时间里才有了比较快速的发展，熟悉它的人还不算很多，因此我们把它同电话通信进行一些比较，以便于了解数据通信的特点和发展数据通信的必然性。

1. 数据通信是实现计算机和计算机之间以及人和计算机之间的通信，而电话通信是实现人和人之间的通信。尽管计算机具有超越于人的能力，但是计算机不具有人脑的思维和应变能力，计算机完成的每件工作都需要由人预先编好程序，计算机的智能来自人的智能。计算机之间的通信过程需要定义出严格的通信协议或标准，而电话通信就不必如此复杂。

2. 数据传输的可靠性要求高。数据通常以二进制“1”和“0”的组合编码表示，如果一个码组中的一个比特（“1”或“0”）在传输过程中产生错误，则在接收端可能被理解为完全不同，甚至是相反的含义。特别是对于像银行业务或军事上用的自动控制系统，数据的差错可能引起严重的后果，因此数据通信要达到很低的误码率。表 1.1 列出了数据和其它一些通信业务对传输误码率的基本要求。由表可见，数据通信可接受误码率和误组率为最小。在实际应用中，可能出现高于或低于表 1.1 所列数据的要求。目前分组交换网提供的数据传输误码率一般都低于 10^{-10} 。

3. 数据通信的“用户”是各种各样的计算机和终端设备，它们在通信速率、编码格式、同步方式和通信规程等方面都会有很大的差异，为了能够实现它们之间的互相通信，数据通信网应当提供足够灵活的接口能力，适应各种用户的需要。表 1.2 提供了在各种不

表 1.1

各种通信业务的误码率要求

通 信 业 务	可 接 受 误 码 率	可 接 受 误 组 率
数 据	$<10^{-8}$	$<10^{-10}$
话 音	$<10^{-2}$	$<10^{-3}$
电 视	$<10^{-2}$	$<10^{-3}$
压缩电视	$<10^{-6}$	$<10^{-9}$
图 片	$<10^{-4}$	$<10^{-9}$

同工作环境下数据通信速率的平均值和高峰值。其中终端到计算机和计算机到终端的情况是根据民航订票系统得出的；远程作业录入通常都是在终端把大量的数据处理作业组合在一起送远地的计算机处理；计算机和计算机之间的数据传输通常是由于计算机之间的负载分担，或者是大型的分布式信息系统传输计算数据。从表中可以看出数据通信的平均速率相当低，而它们的瞬时高峰速率却可能高出上百倍。为了避免发送和接收的数据的时延超过要求，在设计数据通信系统时通信线路的传输速率应当符合高峰速率的要求。从这里我们也可以看出，由单一的终端或计算机专用的通信线路，其资源利用率是很低的。这导致了在数据通信网中通信资源共享技术的广泛研究和开发，分组交换就是其中的一项重要成果。从表 1.2 中看出，PCM 数字话音的高峰速率大约是平均值的 3 倍，比数据通信的情况小得多。

表 1.2

不同工作环境的数据通信速率

工 作 环 境	平 均 速 率	高 峰 速 率
终端到计算机	1bit/s	100bit/s
计算机到终端	10bit/s	10 000bit/s
远程作业录入	100bit/s	10 000bit/s
计算机到计算机	10 000bit/s	1 000 000bit/s
PCM 数字话音	20 000bit/s	64 000bit/s

4. 数据通信的信息传输效率很高。比如在一条模拟电话信道上