



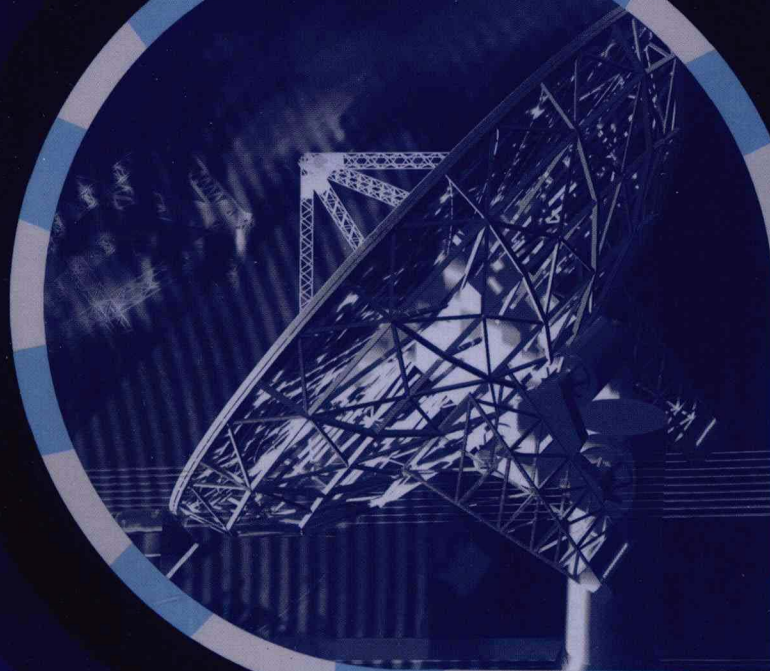
高等院校电子信息科学与工程类

• 通信工程专业教材 •

现代交换技术

钱渊 蔡勇 马志强 刘振霞 魏伟 编著

XIANDAI JIAOHUAN JISHU



05



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

TN915.05
Q265

高等院校电子信息科学与工程类
• 通信工程专业教材 •

现代交换技术

钱 渊 蔡 勇 马志强 编著
刘振霞 魏 伟

TN915.05
Q265

北京邮电大学出版社
• 北京 •

内 容 简 介

交换技术是通信网络中的关键技术,它决定了网络的性能以及向用户提供何种服务。本书介绍了在现代通信网络中使用的各种交换技术的原理、相关协议和应用。第1章对目前网络中常用的各种交换技术进行了介绍,并介绍了数据通信中使用的关键技术原理;第2章介绍了电话通信中使用的电路交换技术;第3章介绍了电信网信令系统;第4章介绍了数据通信中使用的分组交换技术和帧中继技术;第5章介绍了宽带交换中使用的ATM技术;第6章介绍了计算机网络中使用的二层交换、IP交换和MPLS技术;第7章介绍了光交换技术;第8章介绍了最新的软交换及NGN技术。

本书内容翔实,深入浅出,可以作为高等院校通信和计算机网络专业的高年级本科生的教材或参考用书,也可供从事通信专业的其他技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

现代交换技术/钱渊等编著. —北京:北京邮电大学出版社,2009.11

ISBN 978-7-5635-1950-7

I. 现… II. 钱… III. 通信交换 IV. TN91

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第175280号

书 名: 现代交换技术

作 者: 钱 渊 蔡 勇 马志强 刘振霞 魏 伟

责任编辑: 张珊珊

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路10号(邮编:100876)

发 行 部: 电话:010-62282185 传真:010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市梦宇印务有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 19.5

字 数: 484千字

印 数: 1—3 000册

版 次: 2009年11月第1版 2009年11月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-1950-7

定 价: 33.00元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

前 言

随着通信技术和计算机技术的不断发展,人们要求网络能够提供多种业务,而传统的电路交换技术已经满足不了用户对于各种新业务的要求,因此各种交换技术应运而生,以满足人们不同的业务要求。本书全面介绍了现代通信网络中使用的各种交换技术的基本概念、工作原理和实现方法。

本书共分8章,第1章对于目前使用的各种交换技术及交换技术的发展进行了介绍,为了方便读者对于后续内容的理解,介绍了数据通信中使用的关键技术;第2章介绍了电话网络中使用的电路交换技术,包括数字交换网络、程控交换机的软硬件实现、呼叫处理流程、电话通信网络规程等内容;第3章介绍了电信网信令系统,包括信令的基本原理、随路信令和共路信令等内容,其中共路信令在其他通信网络中也被广泛使用,是现代网络中的关键技术;第4章介绍了数据通信中使用的分组交换技术和帧中继技术,分组交换技术是现代网络技术的基础,分组交换的基本原理广泛使用在各种通信网络中,帧中继是对分组交换技术的改进,为用户提供了更高速率的通信服务;第5章介绍了宽带网络中使用的异步传递模式ATM技术,主要包括了ATM协议参考模型、ATM交换技术、流量控制技术、宽带网络信令等内容;第6章介绍了计算机网络中的二层交换技术和IP交换技术,MPLS技术是ATM技术与IP技术的融合,兼顾了IP技术的灵活性和ATM技术的高服务质量等优点,在本章也做了介绍;第7章介绍了光交换技术,随着光纤技术的发展,光纤的使用已经十分普及,为了提高网络工作效率,产生了光交换技术,本章介绍了光交换原理、光交换技术和光交换网络等内容;第8章介绍了下一代网络技术和软交换技术,主要包括了软交换原理、软交换协议和软交换网络等内容。

本书内容翔实,概念清楚,以交换技术的发展为脉络对现代网络中使用的各种交换技术进行了介绍,在编写时注重了实用性和可读性,强调了基本概念和工作原理,简明扼要,深入浅出。为了便于教学和自学,在每章末尾都有小结和复习思考题,以此加强对于重点内容的学习和巩固。

对于本书所引用的参考文献中的作者及单位,作者深表谢意。

本书可以作为高等院校通信和计算机网络专业的高年级本科生的教材或参考用书,也可供从事通信专业的其他技术人员阅读。

由于时间仓促和编者的水平有限,书中难免有错误和不当之处,敬请读者批评指正。

作 者

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 交换技术概述	1
1.2 交换技术	3
1.2.1 基本交换技术	3
1.2.2 交换技术的发展	7
1.3 数据通信原理	9
1.3.1 网络体系结构.....	10
1.3.2 差错控制与流量控制.....	17
1.3.3 网络拓扑.....	23
本章小结	25
复习思考题	26
第 2 章 电路交换技术	27
2.1 电路交换技术概述.....	27
2.1.1 电话通信的起源.....	27
2.1.2 电话交换机与电话通信网.....	28
2.1.3 电话交换机的发展与分类.....	29
2.1.4 数字程控交换机简介.....	30
2.2 数字交换网络.....	33
2.2.1 话音信号数字化和多路时分复用.....	33
2.2.2 交换网络结构设计.....	37
2.2.3 数字交换网络的基本结构和工作原理.....	41
2.2.4 多级交换网络.....	49
2.3 数字程控交换机的硬件结构.....	51
2.3.1 话路系统.....	52
2.3.2 控制系统.....	55
2.3.3 处理机间通信.....	58
2.4 数字程控交换机的软件.....	59
2.4.1 数字程控交换机软件结构.....	59
2.4.2 软件工具语言.....	61
2.4.3 程序的执行管理.....	61
2.5 呼叫处理的基本原理.....	67
2.5.1 基本的呼叫处理过程.....	67
2.5.2 稳定状态与状态转移.....	68

2.5.3 任务处理的工作模式	69
2.6 电话通信网规程	77
2.6.1 电话通信网概念	77
2.6.2 电话通信网路由规程	79
2.6.3 本地电话网	81
2.6.4 电话通信网号码规程	83
2.6.5 电话通信网传输规程	84
2.6.6 电话通信网同步规程	86
本章小结	89
复习思考题	89
第3章 电信网信令系统	92
3.1 信令系统概述	92
3.1.1 电信网对信令系统的要求	92
3.1.2 信令的定义和分类	92
3.1.3 用户线信令	93
3.1.4 局间信令	95
3.2 随路信令——中国1号信令	96
3.2.1 线路监测信令	96
3.2.2 记发器信令	101
3.3 公共信道信令——No.7信令	106
3.3.1 公共信道信令概念	106
3.3.2 No.7信令系统组成	107
3.3.3 No.7信令链路单元格式	114
3.3.4 No.7信令网的结构	116
本章小结	118
复习思考题	118
第4章 分组交换技术与帧中继	120
4.1 分组交换原理	120
4.1.1 概述	120
4.1.2 多路复用技术	121
4.1.3 分组的形成、传输与交换	122
4.1.4 路由选择	123
4.1.5 分组网络的性能指标与服务质量	124
4.2 X.25协议	126
4.2.1 X.25协议的应用环境和系统结构	126
4.2.2 物理层	127
4.2.3 数据链路层	128
4.2.4 分组层	132
4.2.5 X.25用户业务功能	135

4.3 帧中继原理与帧中继网络	136
4.3.1 帧中继与 X.25 比较	136
4.3.2 帧中继基本功能和带宽管理	137
4.3.3 帧中继协议	139
4.3.4 帧中继的虚电路	141
4.3.5 帧中继网络的设备及应用	142
本章小结	143
复习思考题	144
第5章 ATM 交换	145
5.1 概述	145
5.1.1 宽带综合业务数字网的发展	145
5.1.2 宽带综合业务数字网的业务	146
5.2 B-ISDN 协议参考模型	149
5.2.1 B-ISDN 协议参考模型概述	149
5.2.2 B-ISDN 分层功能	149
5.2.3 ATM 信元	150
5.3 物理层	153
5.3.1 物理媒体子层	153
5.3.2 传输汇聚子层	154
5.4 ATM 层	156
5.4.1 ATM 层功能	156
5.4.2 ATM 连接	157
5.5 ATM 适配层	159
5.5.1 ATM 适配层基本原理	159
5.5.2 AAL1	162
5.5.3 AAL2	165
5.5.4 AAL3/4	165
5.5.5 AAL5	168
5.6 ATM 交换原理	171
5.6.1 ATM 交换基本原理	171
5.6.2 基本 ATM 交换单元	173
5.6.3 ATM 交换机构和交换系统	178
5.6.4 典型的交换机构	182
5.7 ATM 流量控制技术	184
5.7.1 ATM 网络拥塞及拥塞控制	184
5.7.2 ATM 业务量控制	185
5.7.3 业务量合约	186
5.7.4 ATM 流量控制功能	187
5.8 宽带网络信令	190
5.8.1 ATM 信令的基本概念	190

5.8.2	ATM 网信令协议	190
5.8.3	ATM 地址	192
5.8.4	用户网络接口信令	193
5.8.5	网络接口信令	196
5.9	ATM 网络实例	199
	本章小结.....	200
	复习思考题.....	200
第 6 章	IP 交换和局域网交换	202
6.1	概述	202
6.2	TCP/IP 协议	203
6.2.1	TCP/IP 协议参考模型	203
6.2.2	互联网协议 IP	204
6.2.3	地址解析协议 ARP	207
6.2.4	反向地址解析协议 RARP	208
6.2.5	因特网报文控制协议 ICMP	208
6.2.6	路由选择协议	209
6.2.7	IP 分组传送	211
6.2.8	IPv6	212
6.3	局域网	213
6.3.1	局域网基本技术	213
6.3.2	交换以太网	216
6.4	IP 交换技术	218
6.4.1	三层交换机	218
6.4.2	三层交换机的主要技术	219
6.4.3	三层交换的应用	219
6.5	MPLS 网络技术	220
6.5.1	MPLS 基本原理	220
6.5.2	MPLS 的优点	224
6.5.3	基于 MPLS 的虚拟专用网 VPN	225
6.5.4	通用 MPLS 技术	226
	本章小结.....	227
	复习思考题.....	227
第 7 章	光交换技术.....	229
7.1	光交换技术概述	229
7.1.1	光交换的必要性	229
7.1.2	光交换技术的分类	230
7.2	光交换器件	232
7.2.1	光开关	232
7.2.2	波长变换器	234

7.2.3 光存储器	235
7.3 光交换原理	235
7.3.1 空分光交换	236
7.3.2 时分光交换	237
7.3.3 波分光交换	238
7.3.4 光分组交换	239
7.3.5 光突发交换	243
7.3.6 光标记分组交换	247
7.4 自动交换光网络	251
7.4.1 ASON 概述	251
7.4.2 ASON 体系结构	252
7.4.3 ASON 功能层面	256
7.4.4 ASON 的路由与组网	258
本章小结	261
复习思考题	262
第 8 章 NGN 与软交换	263
8.1 NGN 概述	263
8.1.1 NGN 出现的背景和需求	263
8.1.2 NGN 的定义和特征	264
8.1.3 NGN 体系结构	264
8.2 软交换组网技术	269
8.2.1 软交换与 PSTN 的互通	269
8.2.2 软交换网络和 H.323 网络的互通	270
8.2.3 软交换网络与 No.7 信令网的互通	271
8.2.4 软交换网络与 SIP 网络的互通	272
8.2.5 软交换网络的组网路由技术	273
8.3 软交换网络协议	275
8.3.1 媒体网关控制协议 MGCP	275
8.3.2 H.248/MEGACO 协议	276
8.3.3 SIGTRAN 协议栈	278
8.3.4 SIP 协议	280
8.3.5 H.323 协议	283
8.3.6 BICC 协议	285
8.3.7 Parlay API	286
8.4 NGN 网络解决方案	289
本章小结	290
复习思考题	291
缩略语	292
参考文献	302

交换技术是通信网络中的关键技术,本章从交换的产生和发展入手,介绍了目前广泛使用的各种交换技术以及未来交换技术的发展方向。为了保证读者对后续内容的理解和掌握,本章还介绍了数据通信中的基本原理和关键技术。

1.1 交换技术概述

交换技术是随着电话通信的发展和使用而出现的通信技术。1876年,贝尔发明了电话。人类的声音第一次转换为电信号,并通过电话线实现了远距离传输。电话刚开始使用时,只能实现固定的两个人之间的通话,如图 1.1 所示,随着用户的增加,人们开始研究如何构建连接多个用户的电话网络,以实现任意两个用户之间的通信。

构成一个任意两个用户之间可以通信的电话网,最直接的方法就是使用全互连网络,如图 1.2 所示,在全互连网络中,任意两个用户之间通过一对电话线连通。如果有 N 个用户,则需要 $N(N-1)/2$ 对电话线。全互连网络结构非常容易理解,但是存在的最大问题是,随着用户数目 N 的增加,所需电话线的数目急剧增加,造成建网成本的增加,而且每个用户都有 $N-1$ 对电话线,造成使用的不便。因此全互连网络对于实际电话网络的构成没有实际意义。



图 1.1 两个用户之间互连

如果在用户分布中心放置一个中心设备,所有用户通过电话线与中心设备相连,这时 N 个用户只需要 N 条电话线,如图 1.3 所示,中心设备和电话之间构成了星形连接。在这种结构中,用户想与网内的其他用户通信,需要由中心设备完成电话的连接,从而实现网内任意两个用户之间的通信,通信结束后由中心设备断开连接。在图 1.3 所示的网络结构中,中心设备称为交换机,而连接交换机和用户之间的电话线称为用户线。采用这种结构尽管增加了交换设备的成本,但是由于网络结构简单,随着用户数量的增加,与全互连网络相比较,网络总的投资成本是下降的,而且维护费用也比较低。

一个交换机覆盖和管理的用户数目始终是有限的。随着用户数量增加和使用范围的扩大,需要多个交换机来覆盖更大的范围,管理更多的用户。如图 1.4 所示,每台交换机管理若干个用户,而交换机之间通过通信线路连接,这种通信线路称为中继线。如果交换机之

间的距离相对较远,在中继线上传输信号需要使用传输设备。

电话网构成了现代通信网的基础,现代通信网由三大部分构成,分别是终端设备,传输设备和交换设备。

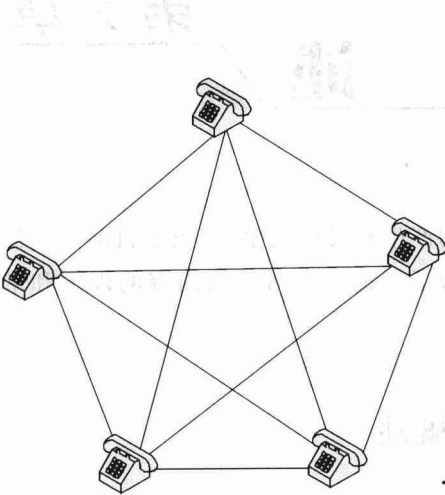


图 1.2 多个用户之间全互连

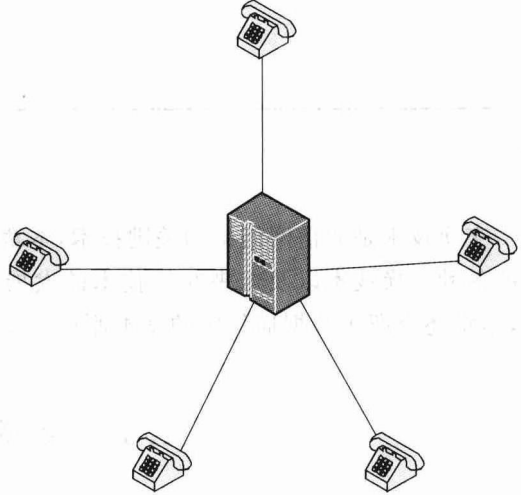


图 1.3 用户通过交换机互连成为电话网

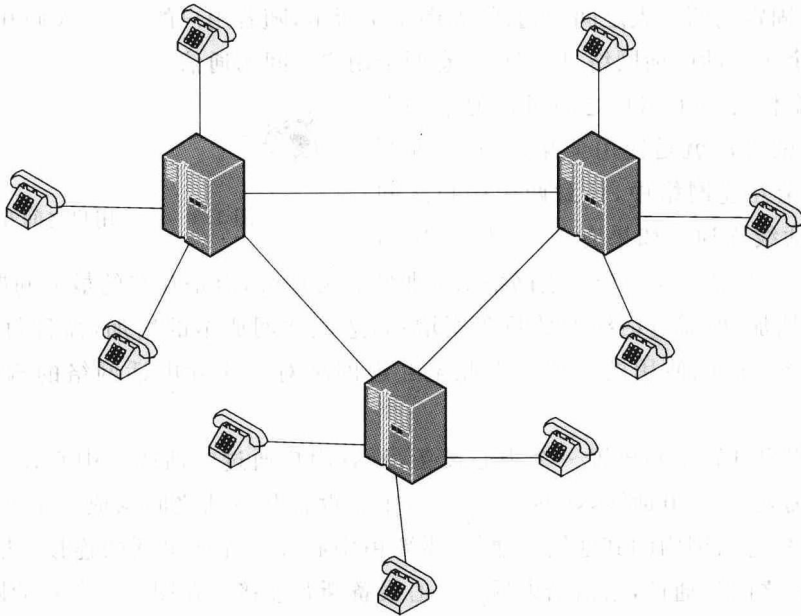


图 1.4 交换机互连成为更大范围的电话网

终端设备直接面向用户,主要功能是完成将需要传送的信息转换为线路上可以传输的电信号以及完成相反的工作,终端设备提供给用户所需的各种服务通常分为语音服务和非语音服务,语音服务就是电话通信,而非语音服务包括的种类非常多,目前常用的有传真业务、数据业务、多媒体业务等。

传输设备是连接交换机与交换机之间的通信线路,常用的传输媒介包括架空明线、电缆、光缆和无线电波等。传输设备的重要功能是延长传输距离,实现长途通信,为了提高传输效率,复用是传输设备的另一项重要功能,复用技术包括频分复用、时分复用、波分复用和码分复用等技术,目前使用的传输系统有 PCM 准同步数字系列(Plesiochronous Digital Hierarchy,PDH)、同步数字系列(Synchronous Digital Hierarchy,SDH)等。

交换设备是整个通信网的核心,它的基本功能是实现将连接到交换设备的所有信号进行汇集、转发和分配,从而完成信息的交换。最初的交换设备主要完成话音交换,而由于现代通信网络中需要传输的信息种类很多,包括话音、数据、传输、图像、视频等,并且各种信息对于网络的要求又各不相同,因此,根据信息种类的不同而使交换设备采用了不同的交换技术。常用的交换技术有电路交换、报文交换、分组交换、ATM 交换、多协议标签交换、软交换等。

1.2 交换技术

由于电话通信具有传输速率恒定、时延低等特性,电路交换技术较好地满足了电话通信的要求。随着计算机技术的发展,数据业务越来越多,数据业务具有突发性强、可靠性要求高、实时性要求较低等特点,电路交换技术因为对于数据业务的支持不好,已经不能满足这些要求,因此数据交换技术应运而生,它较好地满足了数据业务的要求,并获得了长足的发展,可以说,分组交换技术是现代计算机网络的基础通信技术。由于分组交换技术传输速率较低,实时性较差,不能满足视频通信和实时通信的要求,因此人们对于分组交换技术进一步改进,研究出了帧中继技术、快速分组交换技术,直到异步传递模式 ATM 交换技术。ATM 技术采用了面向连接的通信方式,具有高带宽、实时性好、服务质量高等特性,但存在通信效率较低、管理复杂等问题。计算机网络中使用的 IP 技术采用了面向无连接的通信方式,具有灵活高效等优点,但服务质量较差是它的主要问题之一。人们经过研究,将这两种技术融合到一起,吸收了两种技术的优点而克服其缺点,获得了一种新的交换技术,称为多协议标签交换技术 MPLS。MPLS 技术既有 ATM 的高速性能,又有 IP 技术的灵活性和可扩充性,可以在同一网络中同时提供 IP 和 ATM 服务。随着技术的不断进步,网络的融合成为网络发展的大趋势,下一代网络(NGN)在兼容了目前的各类通信网络的基础上为用户提供更加灵活的新型业务,软交换是 NGN 的核心技术,负责呼叫控制、承载控制、资源分配、协议处理等功能,软交换技术是一种分布的软件系统,可以基于采用不同协议的网络之间提供无缝的互操作功能。

1.2.1 基本交换技术

1. 电路交换

(1) 电路交换的工作原理

电路交换(Circuit Switching)是在电话网络中使用的一种交换技术,在需要通信时,通信双方动态建立一条专用的通信线路。电路交换工作分为 3 个阶段:呼叫建立、信息传送和

呼叫释放。

电路交换是固定带宽分配,在通信的全部时间内,通信的双方始终占用端到端的固定传输带宽。电路交换适合于实时且带宽固定的通信。

如果使用电路交换来传输计算机数据时,其线路的传输效率往往很低,这是由于数据通信的突发性造成的,在一段时间内有数据传送,而在另一段时间内可能没有数据传送,这时的传输通道虽然没有数据传送,但也不能为其他用户提供服务。

电路交换为每个业务连接分配固定的带宽。如果按业务的峰值速率分配带宽,虽然可以满足其服务质量,但会造成一定的资源浪费。如果按平均速率为连接分配带宽,则将会造成业务峰值速率时的信息丢失,引起服务质量的下降。

(2) 电路交换的特点

通过预先建立连接,在连接建立后传送信息,信息传送完毕后拆除连接。电路交换传送时延小且固定,适合于实时通信,但由于建立连接具有一定的时延,而且在拆除连接时同样需要一定的时延,因此传送短信息时,建立连接和拆除连接的时间可能大于通信的时间,网络利用率低。

在电路交换中,信息透明地传输,交换机对信息不做任何处理,同时也没有差错控制功能,不能保证数据的准确性。电路交换适合于电话交换、高速传真、文件传送,但不适合数据通信。

2. 报文交换

(1) 报文交换的工作原理

报文交换(Message Switching)传送的数据单元称为报文,一份报文包括3部分:报头(源端地址、目的端地址等)、用户信息和报尾。

报文交换采用了存储转发的工作方式。如果源端有数据发送给目的端,源端首先将发送数据封装为报文,然后发送给相连接的交换节点,交换节点将所接收的报文暂时缓存,分析其目的地址进行路由选择,并在相应的输出线上排队,等到输出线空闲时将该报文传送给下一个交换节点,每个交换节点完成类似的工作直到报文发送到目的端。

(2) 报文交换的特点

报文交换适合于非实时信息的、对差错敏感的数据业务,不适合于实时性要求高的数据业务。

报文交换的优点有:报文交换不需要建立源端到目的端的连接,按照统计时分复用的方式共享交换节点之间的通信线路,大大提高了线路利用率;报文交换是无连接的通信,健壮性强,部分节点和线路发生故障不会造成全网瘫痪;报文交换具有差错控制功能,保证数据的准确性;报文交换可以实现多目的端的报文传输。

报文交换的缺点有:信息传送时经过多个交换节点,交换时延大而且时延变化大,不适合于实时通信和交互式实时数据通信;报文的长度不固定,要求交换节点具有高速处理能力和较大的存储空间,造成交换机的成本提高。

3. 分组交换

分组交换(Packet Switching)综合了电路交换和报文交换的优点,同时对它们的缺点进行改进,分组交换比较好地支持了数据通信,是现代通信网络的基础交换技术。

(1) 分组交换的工作原理

分组交换依然采用了存储转发工作模式,传送以分组为单位的数据。在发送报文前,先将

用户发送的报文分割为多个比较短的等长或不等长的数据段,在每个数据段前加上必要的控制信息,称为分组头,分组头和数据段构成了分组,分组又称为包。分组头中包括源地址、目的地址、差错控制字段、分组同步信息等,用于完成选择路由、差错控制和流量控制等功能。相对于报文交换,分组长度较短,而且具有统一的格式,便于交换节点进行存储和处理,大大减少了交换节点的处理时间,分组交换的传输时延很短,能够满足数据通信的实时性要求。

在分组交换中,分组长度的大小对于分组交换的性能有着十分重要的影响。通过比较报文交换和分组交换的时延可知,分组交换将报文分割为多个分组独立传送,交换节点收到一个分组后就进行转发,显著降低了交换时延,因此分组交换的时延小于报文交换,但是也是由于分为多个分组,开销也增加了,降低了传送效率。分组长度长则时延增大而开销减少,分组长度短则时延减少而开销增大,因此分组长度的确定需要兼顾到时延和开销两个方面。

在传送分组时,为了保证数据的准确性而采用了多种差错控制技术。为了保证分组交换网的可靠性,常采用网状拓扑结构,当少数节点或链路发生故障时,可以灵活地改变路由而保证网络的正常工作。此外,通信网络的主干线路由高速链路构成,可以以较高速率传送数据。

由于分组交换采用了存储转发工作模式,同时采用了统计时分复用的方式共享线路,非常适合于数据通信,而且通信线路的利用率大大提高。

(2) 分组交换的特点

分组交换的主要优点有:

- 高效,在分组交换过程中动态分配带宽,提高线路利用率;
- 迅速,以分组为单位传送数据,每个节点处理时间短;
- 灵活,可以对每个分组根据实际情况进行独立的路由选择;
- 可靠,采用了完善的网络协议,是一种分布式多路由分组交换网,网络具有很好的生存性。

分组交换也有一些问题:分组在各个节点进行存储转发会造成时延,而且当网络负载较重时,时延会比较大;由于每个分组必须携带相应的控制信息,因此造成了一定的开销;为了保证网络的正常运行而需要比较复杂的管理和控制机制,此外为了保证数据传送的准确性而采用了比较复杂的差错控制技术,这种技术制约了传输速率的提高。

由于早期铜线电缆链路质量低,误码率高,分组交换方式为了保证在网络的各条链路上提供可靠的端到端通信,在连接的每段链路上都执行复杂的协议,以完成差错和流量控制等功能。每个转接节点都完成 OSI 协议模型中下三层的功能,这样协议复杂,交换机处理速度慢,交换时延大,很难用于实时业务。尤其是当分组出错时,网络差错协议要求重传分组,增大了端到端的时延,无法满足实时性要求。

由于分组长度可变,这就要求交换机内完成复杂的缓冲器管理。如果工作速度不太高,软件缓冲器管理还是有可能的,但是在宽带网中,分组以极快的速率流入网络,如果仍然采取这种软件管理方法来处理复杂的协议,处理速率跟不上信息传输速度,系统将无法正常工作。可行性研究表明 X.25 协议的可工作速率限制在 2 Mbit/s 左右。

(3) 虚电路和数据报

根据交换机对分组的不同的处理方式,分组交换可以分为虚电路和数据报两种工作

模式。

① 虚电路

虚电路(Virtual Circuit)方式提供面向连接的服务,在用户传送数据前需要通过发送呼叫请求建立端到端的通路,称为虚电路,虚电路建立后,所有的用户数据通过这条虚电路传送到目的端,数据的接收顺序与发送顺序一致,通信完毕后,通过呼叫清除请求拆除连接。

虚电路与电路交换的区别在于电路交换中建立的源端到目的端的通路是专用的,在通信过程中这个通路上的资源其他用户不能共享,而在虚电路方式中,按照统计时分复用的方式建立通路,通路上的资源是共享的,根据用户的数据量大小来占用线路资源,更好地满足了数据通信的突发性要求。

虚电路有两种:交换虚电路(Switched Virtual Circuit,SVC)和永久虚电路(Permanent Virtual Circuit,PVC)。交换虚电路根据用户请求动态建立虚电路,通信完成后拆除。永久虚电路是由网络运营者应用户的预约而建立的固定的虚电路,用户如果需要直接进入数据传送阶段而不需要通过呼叫建立虚电路。

② 数据报

数据报(Datagram)提供无连接的服务,发送时不需要建立一条逻辑通路,每个分组都有完整的地址信息,每个分组在网络中的传播途径完全由网络节点根据网络当时的状况来决定,这样当分组到达目的端时,顺序可能会发生变化,目标主机必须对收到的分组重新排序后才能恢复原来的信息。

③ 虚电路与数据报的比较

按虚电路方式通信,要求接收方要对正确收到的分组给予确认,通信双方要进行流量控制和差错控制,以保证按顺序接收,所以虚电路可以提供可靠通信服务。数据报提供的是无连接的服务,不能保证分组顺序,不能提供可靠的通信服务。

虚电路中的分组中只含有对应于所建立的虚连接的逻辑信道标识,每个分组根据建立连接时在每个交换节点建立的路由表进行路由选择;而数据报中的分组包含详细的目的地地址信息,每个分组都要进行独立的路由选择。

虚电路的通信过程需要经过建立连接、传送数据和拆除连接3个阶段,如果传送数据量不大的话,虚电路方式的工作效率不如数据报高,也不如数据报灵活。

虚电路在线路发生故障时,会引起通信中断,需要重新建立连接。对于数据报,由于每个分组独立选择路由,对网络故障的适应性强,可以提供较高的可靠性。

综上所述,虚电路方式适合连续的数据流传输,为数据传输时间远大于呼叫连接时间的通信提供较好的服务,如文件传送和传真业务等;数据报方式适合传送短报文数据,如面向事务的询问/响应型数据业务。这两种方式在数据通信中均被广泛使用,例如在IP网络中使用的是数据报方式,ATM网络中使用的是虚电路方式。

4. 3种交换方式的比较

电路交换、报文交换和分组交换具有各自的优点和缺点,适合不同要求的通信业务。如果传送数据量比较大、实时性要求高,则可以采用电路交换方式;报文交换和分组交换采用统计时分复用方式,可以提高网络的信道利用率,适合于突发性强的数据传输。分组交换的时延小于报文交换,灵活性高,采用了数据报和虚电路方式分别满足不同的通信业务需求,

因此将分组交换作为数据通信的基本交换技术。表 1.1 为 3 种交换方式的比较。

表 1.1 3 种交换方式比较

分 类	电路交换	报文交换	分组交换
接续时间	较长,平均 15 s	较短	较短,虚电路小于 1 s
传输时延	短	长,标准 1 s	较短,小于 200 ms
数据可靠性	一般	较高	高
电路利用率	低	高	高
对业务过载反应	拒绝接收呼叫	信息存在交换机,传输时延大	进行流量控制,时延增大
支持异种终端	不支持	支持	支持
支持实时业务	支持	不支持	轻负荷支持
交换机费用	较低	高	高

1.2.2 交换技术的发展

1. 多速率电路交换

为了克服简单电路交换只采用一个固定速率信道造成的不灵活性,人们提出了改进的电路交换技术——多速率电路交换。

多速率电路交换的基本思想是采用电路交换中时分复用(Time Division Multiplexing, TDM)原理,允许同时以多种不同速率来进行电路交换,以支持各种速率的业务。

多速率电路交换的方法有两种:完全多速率电路交换和改进型多速率电路交换。

(1) 完全多速率电路交换

完全多速率电路交换是固定一个基本信道的速率,在建立连接时根据业务速率大小分配 $n(n \geq 1)$ 个基本信道,这 n 个基本信道在网络中“捆绑”在一起传送和交换,采用这种方式就可以支持不同速率要求的各种业务,但存在的主要问题是信道间的同步比较复杂。

(2) 改进型多速率交换

针对完全多速率电路交换中基本信道速率的选择以及信道管理和同步等问题,人们提出了改进型多速率交换。

改进型多速率交换定义了多种速率的基本信道,即将一个基本的同步传输帧划分成若干不同长度的时隙,针对不同的业务采用不同速率的信道。

不管是完全多速率电路交换,还是改进型多速率交换,都没有摆脱原有电路交换的思路,仍然用固定速率来传递信息,用固定时隙来完成基本信道,这样的方式不能有效地处理突发特性强的数据通信。

2. 快速电路交换

为了将电路交换应用到具有波动性和突发性业务传输的数据通信,人们提出了快速电路交换(Fast Circuit Switching, FCS)。快速电路交换的核心思想是,当用户有数据传送时分配网络资源,而没有数据传送时则释放资源。

快速电路交换的工作原理是:在呼叫建立时,用户根据业务要求请求一个带宽为基本速率的整数倍的连接。此时网络并不分配资源,而是将通信所需要的带宽、目的地址信息等存入交换机中,并在信令信道中分配一个头标志来表示这个连接,当用户发送信息时,交换机

根据头标志来迅速分配资源,完成信息传送。

快速电路交换可以提高网络资源的利用率,但是这种技术要求网络必须在很短的时间内建立和拆除连接,这就需要有非常高的速率来处理大量信令,造成了这个系统管理和控制的复杂性。

3. 帧中继

随着光纤传输线路大量铺设,整个通信网络的传输质量大大提高,线路误码率从过去采用铜缆时的 10^{-6} 到采用光缆的 10^{-9} 以下。因此原先使用的复杂的差错控制功能可以从网络节点上移走,放到通信终端上完成。帧中继(Frame Relay, FR)进一步改进了分组交换技术,它适用于处理突发信息和较高速的信息。

帧中继交换节点包括 OSI/RM 的下两层结构,在数据链路层上使用简化的方式传送和交换数据单元,没有第三层结构。帧中继网络交换节点不具有流量控制和差错控制的功能,仅执行基于 CRC 的差错检查功能,以便丢弃出错的帧,因为继续传送这些出错的帧是没有用处的。纠错及所需的用户帧重传以端到端方式(在用户终端之间)进行。此外帧中继也不含分组级的复用功能。帧中继提供面向连接的虚电路服务,能充分利用网络资源,因而帧中继具有吞吐量高、时延低、适合突发性业务等特点。

4. 快速分组交换

快速分组交换对于帧中继技术进一步简化和改进获得了更高的传送速率,具有更高的效率,能够适应不同业务的要求。在欧洲把这种传递方式叫做异步时分复用(Asynchronous Time Division, ATD),在美国称快速分组交换(Fast Packet Switching, FPS)。CCITT 则将其命名为异步传递模式(Asynchronous Transfer Mode, ATM)。

5. 异步传递模式

异步传递模式中将分组称为信元(Cell),其中信元头(Cell Header)为 5 B,信息域(Payload)为 48 B。ATM 具有如下基本特点。

(1) 采用了面向连接的工作方式

ATM 采用了分组交换中的虚电路工作方式,即面向连接的工作方式,在数据传送之前首先建立源端到目的端的连接,由源端向网络发出建立连接的请求,请求中包括目的端地址和传输所需资源等信息,网络根据当前状态决定是否为用户建立连接。如果网络有足够的资源可用,则接纳该连接,否则就拒绝这个连接。数据传输完毕后,网络拆除连接,释放网络资源。采用面向连接的工作方式可以保证为用户提供满意的服务质量。

(2) 网络功能进一步简化

ATM 网络的运行环境是误码率很低的光纤通信网络,而且采用了面向连接的预分配资源方式,所以 ATM 技术进一步简化了差错控制方式,取消了基于逐段链路的差错控制和流量控制,而且用户信息在网络节点上也不做错误检测,只是完全透明地穿过网络。在 ATM 网络中,差错控制和流量控制是由网络边缘的终端设备完成的。在网络节点中只对信元头进行有限的差错控制,而对于用户信息提供透明的传输,信息的差错控制由终端完成,根据用户信息的不同要求可以采用不同的差错控制技术。

(3) ATM 信元头功能降低

为了保证网络能够高速处理信元,ATM 信元头的功能非常有限,其主要功能之一是虚连接的标识符,该标识符在建立连接时产生,用以表示信元传输经过的路径。网络节点根据