

电子信息工程系列教材

现代交换技术

叶磊 曾钦源 王晓静 主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

电 子 信 息 工 程 系 列 教 材

现代交换技术

主 编	叶 磊	曾钦源	王晓静
副主编	龚 斌	曲箫扬	赵 源
	吴妮妮	耿晶晶	陈 娜



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代交换技术/叶磊,曾钦源,王晓静主编. —武汉:武汉大学出版社, 2008.6

电子信息工程系列教材

ISBN 978-7-307-06229-0

I. 现… II. ①叶… ②曾… ③王… III. 通信交换—高等学校—教材 IV. TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 063607 号

责任编辑:黄金文 夏炽元

责任校对:黄添生

版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:湖北新华印务股份有限公司

开本:720 × 1000 1/16 印张:10.875 字数:267 千字

版次:2008 年 6 月第 1 版 2008 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-06229-0/TN · 28 定价:19.00 元

版权所有,不得翻印;凡购我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

电子信息工程系列教材

编 委 会

主 任: 王化文

编 委: (以姓氏笔画为序)

王代萍 王加强 李守明 余盛武 殷小贡 唐存琛

章启俊 焦淑卿 熊年禄

执行编委: 黄金文, 武汉大学出版社计算机图书事业部主任, 副编审



内 容 简 介

本书介绍各种交换技术的基本概念和工作原理。全书共分 8 章，内容涵盖目前通信网中应用到的各类交换技术。主要包括：交换的基本概念，各类交换技术的原理和发展演进；交换网络的种类与结构；电路交换的工作原理和各种接口电路的作用；信令的基础知识和 No. 7 信令系统；分组交换原理与体系结构；ATM 交换的基础知识和实现的机理；路由器与 IP 交换技术的工作原理及实现方法；下一代网络和软交换，基于软交换的网络体系结构，软交换的基本技术、主要协议及其组网应用；光交换技术及其发展。

本书可作为通信与电子类专业（重点使用对象为独立学院和职业技术学院）高年级学生及通信工程技术人员培训教材或参考资料。



前言



社会需求的日益增长和科技水平的不断提高,深刻地改变着传统的电信观念和体系架构。为了达到经济、快速且满足服务质量要求的信息转移之目的,各种交换技术层出不穷。本教材把当前已出现的或将要出现的交换技术,按其发展先后,由浅入深,理论与技术并重,综合成一本有关现代交换技术的专门教材,内容涵盖了目前通信网中应用到的各类交换技术。

本书按四部分来组织,第一部分为交换的基础概念与原理,第二部分为电路交换及信令,第三部分为分组交换原理和体系结构,第四部分为新的交换技术原理及其发展。

第一部分包括第1章,系统地讲解整个交换技术的基础,重点在于从交换的发展和历史背景讲解为什么需要交换,交换的作用是什么,交换在通信系统中处在什么样的地位;各类交换技术的原理和发展演进;交换网络的种类和结构。

第二部分包括第2~3章,主要讲解应用最广、发展最成熟的电路交换系统的工作原理和各种接口电路的作用;信令的基础知识,并介绍了作为当前通信网重要支撑技术的 No.7 信令系统。

第三部分包括第4章,主要讲解分组交换的原理和体系结构。分组交换是目前各种具体交换技术的公共基础,分组交换使得传送话音业务的电路交换网络和传送数据业务的分组交换网络两大网络共存的局面。

第四部分包括第5~8章,主要讲解异步传送模式(ATM)的基础知识和实现的机理,它提供电路交换和分组交换的优点,并且同时向用户提供统一的服务;路由器与IP交换技术的工作原理及实现方法;下一代网络和软交换,基于软交换的网络体系结构,软交换的基本技术、主要协议及其组网应用;光交换技术及其发展。

在本书的编写过程中,力求做到内容新颖、知识全面、通俗易懂,注重基本概念和基本原理。本书可作为通信与电子类专业(重点使用对象为独立学院)高年级学生及通信工程技术人员培训教材或参考资料。

本书在编写过程中得到中国地质大学信工学院侯自良教授、武汉大学李守明教授、熊年禄教授的关心和支持,作者在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在一些不妥和错误,殷切希望广大读者批评指正。

作者

2008年3月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 交换的引入	1
1.2 交换系统的基本功能	2
1.3 交换方式	3
1.3.1 电路交换	3
1.3.2 多速率电路交换	4
1.3.3 快速电路交换	4
1.3.4 报文交换	4
1.3.5 分组交换	5
1.3.6 快速分组交换——帧中继	6
1.3.7 ATM 交换	8
1.3.8 IP 交换技术	9
1.3.9 光交换	10
1.3.10 软交换	10
小结	11
习题	11
第 2 章 电路交换技术	12
2.1 电路交换技术的发展	12
2.1.1 电路交换技术的发展	12
2.1.2 电路交换技术的分类	13
2.2 电路交换系统的基本功能	14
2.2.1 电路交换呼叫接续过程	14
2.2.2 电路交换系统的基本功能	15
2.2.3 控制系统的结构	17
2.3 电路交换系统的接口电路	19
2.3.1 模拟用户电路	20
2.3.2 数字用户线接口电路	23
2.3.3 模拟中继接口电路	24
2.3.4 数字中继接口电路	25
2.3.5 数字多频信号的发送和接收	27
小结	29
习题	29

第 3 章 信令系统	30
3.1 信令的概念与分类	30
3.1.1 信令的定义与分类	30
3.1.2 信令方式	31
3.2 No.1 信令和 No.7 信令	32
3.3 No.7 信令的分层结构	33
3.3.1 No.7 信令功能结构	33
3.3.2 No.7 信令四个功能级	39
3.3.3 No.7 信令四级结构和 OSI 七层结构的比较	40
3.4 交换信令网的组成结构	41
3.4.1 No.7 信令网的概念	41
3.4.2 我国 No.7 信令网络结构	41
小结	42
习题	43
第 4 章 分组交换与分组交换网	44
4.1 分组交换技术的产生	44
4.1.1 数据通信系统的构成	44
4.1.2 分组交换技术的产生	45
4.2 分组交换原理	45
4.3 分组交换帧结构	47
4.4 分组交换网组成结构	49
4.4.1 分组交换中的各种技术	49
4.4.2 分组交换网的结构	51
4.4.3 X.25 建议	53
小结	54
习题	54
第 5 章 ISDN 交换与 ATM 交换	55
5.1 ISDN 的基本概念	55
5.2 ISDN 的业务	57
5.3 ISDN 的用户-网络接口	59
5.4 ISDN 的交换技术	62
5.4.1 数字用户接口	62
5.4.2 ISDN 协议	63
5.4.3 分组呼叫处理	65
5.5 ATM 基本概念	69
5.5.1 ATM 产生及发展	69
5.5.2 ATM 信元结构	69
5.5.3 B-ISDN 协议参考模型	71



5.5.4 ATM 地址格式	75
5.6 ATM 交换	76
5.6.1 ATM 交换基本原理	76
5.6.2 ATM 交换实现技术	79
5.6.3 ATM 信令	85
5.6.4 ATM 交换的特点	87
5.6.5 ATM 通信量管理	87
小结	90
习题	90
第 6 章 路由与 IP 交换技术	91
6.1 TCP/IP 协议	91
6.1.1 TCP/IP 的网络体系结构	91
6.1.2 TCP/IP 模型各层功能	92
6.2 路由器工作原理	93
6.2.1 路由器的功能	93
6.2.2 路由器的报文转发原理	94
6.2.3 互联网通信实例	96
6.2.4 路由选择表的生成和维护	97
6.2.5 路由器的结构	98
6.3 IP 交换技术	99
6.3.1 IP 交换技术的发展	99
6.3.2 IP 交换的基本构成及工作原理	100
6.3.3 IP 交换中所使用的协议	103
6.3.4 IP 交换的优缺点	104
6.4 标记交换技术	104
6.4.1 标记交换的工作原理	104
6.4.2 标记交换的性能	105
6.4.3 标记交换的优缺点	106
6.5 IP 电话原理	107
6.5.1 IP 电话的由来	107
6.5.2 IP 电话的概念	108
6.5.3 IP 电话的基本技术	109
小结	111
习题	111
第 7 章 下一代网络与软交换	112
7.1 下一代网络	112
7.1.1 下一代网络 (NGN) 产生的背景	112
7.1.2 下一代网络的定义	112

7.1.3 下一代网络的特点	113
7.1.4 NGN 的体系结构	113
7.1.5 NGN 的主要技术	115
7.2 软交换技术	116
7.2.1 软交换概述	116
7.2.2 软交换的定义	116
7.2.3 软交换的体系结构	117
7.2.4 软交换的主要特点	121
7.2.5 软交换组网设备	122
7.2.6 软交换组网方式	124
7.3 软交换支持的主要协议	125
7.3.1 媒体网关控制协议	126
7.3.2 IP 电话协议	127
7.3.3 软交换间互通协议	127
7.3.4 SIGTRAN 协议	128
7.4 软交换网络的业务与运营模式	129
7.4.1 基本业务	129
7.4.2 补充业务	129
7.4.3 增强业务	129
7.4.4 软交换网络提供业务的优势	130
7.4.5 软交换网络业务的开发运营模式	130
7.5 软交换主要应用	131
小结	132
习题	132
第 8 章 光交换	134
8.1 光纤通信简介	134
8.2 光网络中的交换	135
8.3 全光网中的光交换	135
8.3.1 全光网的概念	135
8.3.2 全光网中的光交换	137
8.3.3 光交换的分类	141
小结	149
习题	149
附 录 电信英文缩略语	150
参考文献	160



第1章 概 述



交换设备是通信网的重要组成部分,交换技术的发展与通信网的发展是分不开的,即交换技术与终端业务、传输技术必须相适应。本章从目前通信网的现状,简要介绍各类交换技术的特点及其发展。

1.1 交换的引入

通信的目的是实现信息的传递。在电信系统中,信息是以电信号的形式传输的。一个电信系统至少应由终端和传输媒介组成,如图 1-1 所示。终端将含有信息的信息,如语音、图像、计算机数据等转换成可被传输媒介接受的电信号形式,同时将来自传输媒介的电信号还原成原始信息;传输媒介则把电信号从一个地点传送至另一地点。这样一种只有两个用户终端和连接这两个终端的传输线路构成通信系统,这种通信系统所实现的通信方式,我们称之为点到点通信方式,如图 1-1 所示。

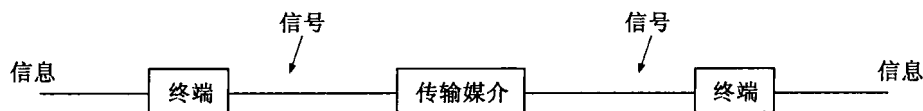


图 1-1 点到点通信方式

显然,两个终端之间必须有一对连线才能进行通信,这样的一种连接方式称为全互连式。全互连式存在下列一些缺点:

- (1) 当存在 N 个终端时需用线对数为 $N(N-1)/2$, 即线对数量随终端数的平方增加。
- (2) 当这些终端分别位于相距很远的两地时,两地间需要大量的长途线路。
- (3) 每个终端都有 $N-1$ 对线与其他终端相接,因而每个终端需要 $N-1$ 个线路接口。
- (4) 增加第 $N+1$ 个终端时,必须增设 N 对线路。

因此,在实际中,全互连式仅适合于终端数目较少,地理位置相对集中,且可靠性要求很高的场合。

这些问题将随着用户数量增加而增加。为解决这些问题,可以设想在用户分布的区域中心设置一个公用设备,每一个用户的电话机或其他终端设备都有一对线路与该设备相连。这样,当任意两个用户之间要交换信息时,主动呼叫方先通知该设备,然后由该设备通知被叫方,并在设备内部将他们之间的线路连通,以便开始通信;在通信完毕时,公共设备在内部将双方的连接拆断。从这可以看出,该设备能够完成任意两个用户之间交换信息的任务,所以称其为交换设备。有了交换设备,对 N 个用户只需要 N 对线就可以满足要求,使线路的投

资费用大大降低。尽管增加了交换设备的费用，但它的利用率很高，相比之下，总的投资费用将下降。

1.2 交换系统的基本功能

最简单的通信网仅由一台交换机组成，每一台电话机或通信终端通过一条专门的用户环线（或简称用户线）与交换机中的相应接口连接。

当终端数目很多，且分散在相距很远的几处时，可用交换机组成通信网。通信网中通信接续的类型，即交换节点需要控制的基本接续类型主要有 4 种：即本局接续、出局接续、入局接续和转接（汇接）接续，如图 1-2 所示。

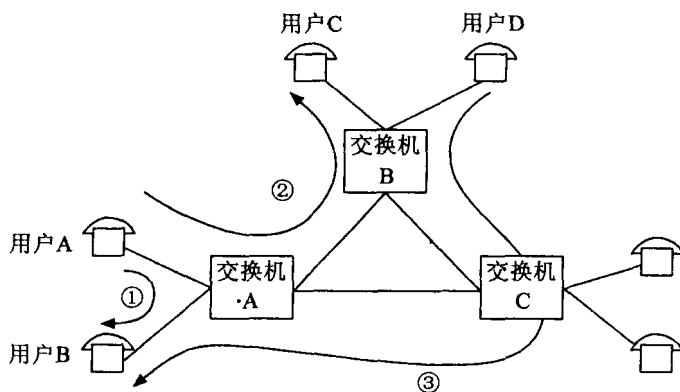


图 1-2 交换系统的接续类型

（1）本局接续。

本局接续是只在本局用户之间建立的接续，即通信的主、被叫都在同一个交换局。图 1-2 中的交换机 A 的两个用户 A 和 B 之间建立的接续①就是本局接续。

（2）出局接续。

出局接续是主叫用户线与出中继线之间建立的接续，即通信的主叫在本交换局，而被叫在另一个交换局，图 1-2 中交换机 A 的用户 A 与交换机 B 的用户 C 之间建立的接续②，对于交换机 A 来说就是出局接续。

（3）入局接续。

入局接续是被叫用户线与入中继线之间建立的接续，即通信的被叫在本交换局，而主叫在另一个交换局，图 1-2 中交换机 A 的用户 A 与交换机 B 的用户 C 之间建立的接续②，对于交换机 B 来说就是入局接续。

（4）转接（汇接）接续。

转接接续是入中继线与出中继线之间建立的接续，即通信的主被叫都不在本交换局，图 1-2 中的交换机 B 的用户 D 与交换机 A 的用户 B 之间建立的接续③，对于交换机 C 来说就是转接接续。

通过分析交换系统所要完成的 4 种接续类型，我们可以得出交换系统必须具备的最基本



的功能是:

- (1) 能正确识别和接收从用户线或中继线发来的通信发起信号。
- (2) 能正确接收和分析从用户线或中继线发来的通信地址信号。
- (3) 能按目的地址正确地进行选路以及在中继线上转发信号。
- (4) 能控制连接的建立与拆除。
- (5) 能控制资源的分配与释放。

1.3 交换方式

按照信息传送模式的不同, 可将交换方式分为电路传送模式 (CTM, Circuit Transfer Mode)、分组传送模式 (PTM, Packet Transfer Mode) 和异步传送模式 (ATM, Asynchronous Transfer Mode) 三大类, 如电路交换、多速率电路交换、快速电路交换属于电路传送模式, 分组交换、帧中继属于分组传送模式, 而 ATM 交换则属于异步传送模式。

1.3.1 电路交换

电路交换是针对最早的语音通信来设计的, 语音通信具有差错率要求不高, 实时性要求很高的特点。差错率要求不高, 可以从日常的语言交流中有所感觉, 对同一个词, 不同的人说, 声音都不一样, 但人们都能听懂, 即人对语音的误差有一定的容错能力。另外, 语言的交流必须具有很好的实时性, 否则, 说一句话需要很长时间才传到对方, 交流就会很困难。

针对语音通信的这个基本要求, 电路交换采用面向连接的、独占电路的方式来满足实时性的要求。电路交换的基本过程包括电路建立阶段、通话阶段、电路释放阶段三个过程。电路建立阶段是根据用户所拨的被叫号码, 由交换机负责连接一条电路, 在通话阶段该电路由该用户独占, 即使他们不讲话, 不传输信息, 该电路也不能分配给其他用户使用。

归纳起来, 电路交换主要有如下优点:

- (1) 信息的传输时延小, 对一次接续而言, 传输时延固定不变。
- (2) 信息编码方法、信息格式以及传输控制程序等都不受限制, 即可向用户提供透明的通路。
- (3) 用基于呼叫损失制的方法来处理业务流量, 业务过负荷时呼损率增加, 但不影响已建立的呼叫。

同时, 电路交换存在的主要缺点有以下几点:

- (1) 电路的接续时间较长。当传输较短信息时, 通信通道建立的时间可能大于通信时间, 网络利用率低。
- (2) 电路资源被通信双方独占, 电路利用率低。
- (3) 通信双方在信息传输、编码格式、同步方式、通信协议等方面要完全兼容, 这就限制了各种不同速率、不同代码格式、不同通信协议的用户终端直接互通。
- (4) 有呼损, 即可能出现由于对方用户终端设备忙或交换网负载过重而呼叫不通。
- (5) 物理连接的任何部分发生故障都会引起通信的中断。

由上可知, 电路交换是一种固定的资源分配方式, 且为通信用户所独占。电路交换的通信通道连接需要预先建立, 因此有一定的连接建立时延, 连接建立后的媒体信息传输时延可以忽略不计, 但是信息传输没有差错控制, 不能保证数据交换的可靠性。因此, 电路交换适



合于电话交换、文件传送、高速传真，不适合突发业务和对差错敏感的数据业务。

1.3.2 多速率电路交换

电路交换建立的连接通路通常只有一种传输速率，例如 64Kb/s。为了适应多种业务的需要，例如较高带宽的业务，可以采用多速率电路交换，也就是将几条连接捆绑起来供用户使用。

多速率电路交换还是基于固定资源分配的，它根据业务需要不同的带宽，提供多种速率，但这些速率是事先定制好的，仅限于某个基本速率（例如 8Kb/s 或 64Kb/s）的整数倍。在实际运用中，速率类型不能太多，否则其控制和交换网络会非常复杂，成本显著增加，因而这种交换方式不能真正灵活地适应突发业务。

1.3.3 快速电路交换

为了克服电路交换固定分配资源的缺点，改善对不同业务需求的适应性，在 1982 年，人们提出了快速电路交换技术，当呼叫建立时，在呼叫连接上的所有交换节点要在相应的路由上分配所需的带宽，与电路交换不同的是交换节点只记住所分配的带宽和相应路由的连接关系，而不完成实际的物理连接。当用户真正要传送信息时，才根据事先分配的带宽和建立的连接关系，建立物理连接；当没有信息传送时，则拆除该物理连接。

快速电路交换是在要传送用户信息时才连接物理传输通道，即只在信息要传送时才使用所分配的带宽和相关资源，因而它提高了带宽的利用率，但控制复杂，时延和呼损比通常的电路交换要大，灵活性也较差。

1.3.4 报文交换

20 世纪 60~70 年代，在数据通信中普遍采用报文交换方式，目前这种技术仍普遍应用在某些领域（如公众电报和电子信箱等）。为了获得较好的信道利用率，出现了存储-转发的想法，这种交换方式就是报文交换。它的基本原理是用户之间进行数据传输，主叫用户不需要先建立呼叫，而先进入本地交换机存储器，等到连接该交换机的中继线空闲时，再根据确定的路由转发到目的交换机。由于每份报文的头部都含有被寻址用户的完整地址，所以每条路由不是固定分配给某一个用户，而是由多个用户进行统计复用。

报文交换的特征是交换机要对用户的信息进行存储和处理。

报文交换的主要优点：

(1) 报文以“存储转发”方式通过交换机，输入、输出电路的速率、码型格式等可以不同，很容易实现各种不同类型终端之间的相互通信。

(2) 在报文交换（从用户 A 到用户 B）的过程中没有电路接续过程，来自不同用户的报文可以在一条线路上以报文为单位进行多路复用，线路可以以它的最高传输能力工作，大大提高了线路的利用率。

(3) 用户不需要叫通对方就可发送报文，无呼损，并可以节省通信终端操作人员的时间。如果需要，同一报文可以由交换机转发到许多不同的收信地点，即可以发送多目的地址的报文，类似于计算机通信中的多播机制。

报文交换的主要缺点：

(1) 信息通过交换机时产生的时延大，而且时延的变化也大，不利于实时通信。



(2) 交换机要有能力存储用户发送的报文, 其中有的报文可能很长, 要求交换机具有高速处理能力和大的存储容量, 一般要配备磁盘和磁带存储器。

(3) 报文交换不适用于即时交互式数据通信。

1.3.5 分组交换

随着计算机的发展, 数据通信的需求越来越大, 由于数据与语音的传输要求不同, 采用电路交换和报文交换方式都不能很好地满足数据通信的要求。为了理解不能满足要求的具体原因, 这里先来分析一下语音和数据对通信要求的区别。

语音通信的特点是差错率要求不高, 一般为连接的 10^{-6} , 但要求实时性强, 要求在毫秒级。数据通信刚好相反, 它对实时性要求不强, 可以在分钟甚至小时级, 但对差错率要求极高, 一般要求误码率达到 10^{-9} , 同时还要进行差错控制, 保证数据的完全正确, 对实时性的要求可以从发送一封电子邮件中有所体会, 发送一封电子邮件有几分钟的时间延迟, 人们都可以接受, 甚至认为是很快的了。在网页类的交互数据中, 还是需要一些实时性更高的数据通信。对差错率的要求可以从下载一个数据包得到直观的感受, 从网上下载一个 zip 文件, 若错了一个关键的位, 整个包都无法使用, 这就是数据通信和语音通信的区别。那么, 如何改进或提出新的交换方式来适应数据通信的要求呢?

前面介绍的电路交换不利于实现不同类型的数据终端设备之间的相互通信, 而报文交换信息传输时延又太长, 不满足许多数据通信系统的实时性要求(注意数据通信的实时要求是指利用计算机通信的用户可以交互传输信息, 相对于语音延迟要求, 数据实时传输延迟要求要宽松得多), 分组交换技术较好地解决了这些矛盾。

分组交换采用了报文交换的“存储-转发”方式, 但不像报文交换那样以报文为单位交换, 而是把报文划分为多个一定长度的“分组”(Packet) 进行交换和传输。每个分组前边都加上固定格式的分组标题, 用于指明该分组的发端地址、收端地址及分组序号等。由于分组长度较短, 具有统一的格式, 便于在交换机中存储和处理, “分组”进入交换机后只在主存储器中停留很短的时间, 进行排队处理, 一旦确定了新的路由, 就很快输出到下一个交换机或用户终端。“分组”穿过交换机或网络的时间很短(“分组”穿过一个交换机的时延为毫秒级), 能满足绝大多数数据通信用户对信息传输的实时性要求。

根据交换机对分组不同的处理方式, 分组交换可以分成两种工作模式: 数据报(Datagram)和虚电路(Virtual Circuit)。数据报方式类似于报文传输方式, 将每个分组作为一份报文来对待, 每个数据分组中都包含终点地址信息, 分组交换机为每一个数据分组独立地寻找路径, 因此一份报文包含的不同分组可能沿着不同的路径到达终点, 在网络终点需要重新排序。

虚电路方式是两个用户终端在开始互相发送和接收数据之前, 需要通过网络建立逻辑上的连接, 一旦这种连接建立以后, 就在网络中保持已建立的数据通路, 用户发送的数据(以分组为单位)将按顺序通过网络到达终点。当用户不需要发送和接收数据时, 可以清除这种连接。这种方式非常类似电路交换中的通信过程, 只不过此时网络中建立的是虚电路而非实际电路, 在数据通信过程中不像电路交换方式是透明传输的, 而会受到网络负载的影响, 分组可能在分组交换机中等待输出线路为空后进行信息传输。

分组交换的主要优点:

(1) 向用户提供了不同速率、不同代码、不同同步方式、不同通信控制协议的数据终端之间能够相互通信的灵活通信环境。

(2) 在网络轻负载情况下, 信息的传输时延较小, 而且变化范围不大, 能够较好地满足计算机交互业务的要求。

(3) 实现线路动态统计复用, 通信线路(包括中继线路和用户环路)的利用率很高, 在一条物理线路上可以同时提供多条信息通路。

(4) 可靠性高。每个分组在网络中传输时可以在中继线和用户线上分段进行差错校验, 使信息在分组交换网络中传输的比特差错率大大降低, 一般可以达到 10^{-10} 以下。由于“分组”在分组交换网中传输的路由是可变的, 当网中的线路或设备发生故障时, “分组”可以自动地避开故障点选择一条新的路由, 而通信不会中断。

(5) 经济性好。信息以“分组”为单位在交换机中存储和处理, 不要求交换机具有很大的存储容量, 降低了网内设备的费用。对线路的动态统计时分复用也大大降低了用户的通信费用。分组交换网通过网络控制和管理中心(NMC)对网内设备实行比较集中的控制和维护管理, 节省维护管理费用。

分组交换的主要缺点:

(1) 由网络附加的传输信息较多, 对长报文通信的传输效率比较低。我们把一份报文划分成许多分组在交换网内传输。为了保证这些分组能够按照正确的路径安全准确地到达终点, 要给每个数据分组加上控制信息(分组头)。除此之外, 我们还要设计许多不包含数据信息的控制分组, 用它们来实现数据通路的建立、保持和拆除, 并进行差错控制以及数据流量控制等。可见, 在交换网内除了有用户数据传输外, 还有许多辅助信息在网内流动, 对于较长的报文来说, 分组交换的传输效率就不如电路交换和报文交换的高。

(2) 技术实现复杂。分组交换机要对各种类型的“分组”进行分析处理, 为“分组”在网中的传输提供路由, 并且在必要时自动进行路由调整, 为用户提供速率、代码和规程的变换, 为网络的维护管理提供必要的报告信息等, 要求交换机有较高的处理能力。

相对于电路交换的固定资源分配方式, 分组交换属于动态资源分配方式, 它对链路的使用是采用统计复用的方式, 不是独占的方式, 因此其链路利用率高。同时, 它采用差错控制等措施, 使其可靠性高, 但传输时延大。当然, 这也满足了前面提出的针对数据通信的要求。计算机网络中的交换设备, 如以太网交换机、IP 网络中的路由器等, 按其主要功能, 都属于分组交换设备。

1.3.6 快速分组交换——帧中继

虽然分组交换的灵活性和网络运行的高效性较之于电路交换更适合作为将来宽带通信的交换和传输的支持, 但是无法提供高速和实时业务的传输也是它的明显不足。人们开始研究新的分组交换技术以适应新的传输和交换要求。

在讲述快速分组交换以前, 先分析一下有关分组交换协议设计的基本出发点, 即分组交换技术适合的网络运行环境。在 20 世纪 70 年代通信网络是以模拟通信为主, 可以提供传输数据的信道大多数是频分制的电话信道, 信道带宽为话带带宽 $0.3 \sim 3.4$ kHz, 传输速率一般不大于 9.6Kb/s , 误码率为 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 。这样的误码率不能满足数据通信的要求。在这种环境下设计的数据传输协议 X.25 必须兼顾以下高效和正确性的原则:

(1) 采用虚电路复用方式提高信道利用率, 减少网络传输费用。

(2) 在网络相邻节点的传输通路上执行差错控制协议, 保证相邻网络节点之间传输数据的正确性。具体地说, 只有发送节点发出一个或一组分组后, 等待接收交换节点返回正确



收到的应答消息,然后再发送下一个或一组数据,如果数据出错则重新发送。这时候在传输的分组上必须加上相应的校验序列,使接收端可以确认收到的数据是否正确。

(3) 为了保证线路上传输的数据不超过线路可以传输的容量,一般采用类似于上面停止等待协议的流量控制。

X.25 协议规定了较丰富的控制功能,获得了很高的可靠性,但是由此加重了分组交换机的处理负担,使分组交换机的分组吞吐量 and 中继线速率进一步提高受到限制,而且导致了分组通过网络的时延比较大。

20 世纪 80 年代后期以光纤为传输媒体的通信网络促进了分组交换技术的发展。光纤通信具有容量大(高速)、质量高(低误码率)的特点,数字传输误码率小于 10^{-9} ,系统能提供高达 $10\sim 100\text{ Gb/s}$ 的速率。在这样的运行环境下的分组协议显然没有必要像原来的 X.25 协议做许多精巧和繁琐的控制。

分组交换协议的改进首先是局域网(LAN)互连设计的,因为在 20 世纪 80 年代后期局域网之间的互连成为实际需要。局域网之间的通信具有与传统的语音通信以及分组数据通信不同的特点:

(1) 数据传输具有高速特性,通常局域网互连的数据传输速率至少为 1544 Kb/s 或 2048 Kb/s ,这是分组交换接入所无法达到的。所以在未出现帧中继方式之前,一般 LAN 互连是采用专线满足的。

(2) 传输信息具有突发特性,信息传输过程可能存在较长时间的空闲,但是如果 LAN 之间传送图形或图像信息时,要求较高的传输速率。在这种情况下,使用昂贵的高速租用线路以满足系统快速的响应时间,会导致资源的浪费,也阻碍了 LAN 之间互连的发展。

(3) 运行不同协议局域网之间能互相采用不同的协议。例如, TCP/IP、SNA、XNS 和 IPX 协议适合不同的网络构建方式,具有独立的端到端的差错监测和纠正功能,显然互连必须能够处理多协议通信。

针对这些问题,以及传输媒体使用光纤这样的事实,帧中继技术对 X.25 协议进行改进以实现高速数据传输,完成按需分配带宽以适应突发信息的要求,处理多协议满足不同 LAN 的互连。

帧中继的设计思想非常简单,可以概括为以下几点:

(1) 帧中继中取消了 X.25 协议规定网络节点之间、网络节点和用户设备之间每段传输链路上的数据差错控制,将本来由网络完成的数据链路上的段差错控制推到网络的边缘,由终端负责完成。网络只进行差错检查,如果发现错误则将数据单元丢失。这是由于采用了光纤作为传输手段,数据传输的误码率急剧下降,链路上出现差错的概率减小,传输信道中不必每段链路都进行差错控制。

(2) 帧中继数据传输基本数据单元是帧,帧是计算机网络分层中数据链路层的概念。相比于 X.25,帧中继中帧的格式做了简化,去掉了有关进行链路差错控制帧中的域。帧结构中的信息字段不仅可以存放原来的 X.25 分组,而且可以存放高级数据链路控制(HDLC)或同步数据链路控制(SDLC)协议数据单元,以及 LAN 中逻辑电路控制(LLC)层和媒体访问控制(MAC)层的数据,这样可以实现不同协议数据的封装和传输。

(3) 帧中继数据传输采用数据链路连接标识符(DLCI),作为网络传输数据信道标志,类似于分组交换虚电路中的逻辑信道号的概念,因此说帧结构格式中包含路由选择的信息(这是属于计算机网络分层中第 3 层——网络层的概念)。DLCI 指明数据传输的通道,填入交换