

ATM技术与 宽带综合业务网

贾世楼 王钢 杨铁军 编著



哈尔滨工业大学出版社

ATM 技术与宽带综合业务网

贾世楼 王 钢 杨铁军 编著

哈尔滨工业大学出版社
哈 尔 滨

内 容 简 介

本书系统地讲述了 ATM 技术与宽带综合业务数字网的基本理论和关键技术。全书共分十一章,分别介绍了 B-ISDN 的基本概念、ATM 交换技术、ATM 路由技术、B-ISDN 网络的基本概念和信令、ATM 网络信令、ATM 交换操作技术、ATM 网络的互连技术、ATM 主干系统容量的有效带宽分析方法、宽带业务的应用与 ATM 网络的发展策略。

本书可作为高等院校通信专业研究生和相关专业研究生的教材,也可以作为通信专业高年级本科生的教学参考书,对广大电信工作者和科技工作者也有实用参考价值。

ATM 技术与宽带综合业务网

ATM Jishu yu Kuandai Zonghe Yewuwang

贾世楼 关 钢 杨铁军 编著

哈尔滨工业大学出版社出版发行

黑龙江省教育委员会印刷厂印刷

*

开本 850×1168 1/32 印张 8.25 字数 214 千字

2000 年 5 月第 1 版 2000 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—2 000

ISBN 7-5603-1446-5/TN·52 定价 12.80 元

如发现印、装质量问题,请与本厂质量科联系调换。

地址:哈尔滨市南岗区和兴路147号 邮编:150080

前 言

ATM 技术与宽带综合业务数字网(B-ISDN)是通信网的发展趋势,异步转移方式(ATM)是 B-ISDN 的关键技术。80 年代以来,ATM 是国际上通信领域的研究热点,很多发达国家正在积极开展 ATM 技术及宽带综合业务数字网的试验。近年来,ATM 技术和 B-ISDN 在国内受到很大重视并得到迅速发展和应用。

本书就是介绍 ATM 技术与宽带综合业务数字网的基本理论和关键技术,由于该领域涉及的内容十分丰富,因此,本书不可能包括 ATM 技术与宽带综合业务数字网的全部内容。全书共分十一章:第一章主要介绍 B-ISDN 的基本概念;第二章主要介绍 B-ISDN 参考模型;第三章主要介绍 ATM 交换技术基本概念;第四章主要介绍 ATM 路由技术;第五章主要介绍 B-ISDN 网络的基本概念和信令;第六章主要介绍 ATM 网络信令;第七章主要介绍 ATM 交换操作技术;第八章主要介绍 ATM 网络的互连技术;第九章主要介绍 ATM 网络的流量控制;第十章主要介绍 ATM 主干系统容量的有效带宽分析方法;第十一章主要介绍宽带业务的应用与 ATM 网络的发展策略。

本书可作为高等院校通信专业研究生和相关专业研究生的教材,也可以作为通信专业高年级本科生的教学参考书,对广大电信工作者和科技工作者也有参考价值。

本书由哈尔滨工业大学贾世楼、王钢、杨铁军和林尚平、匡泓、刘晓锋编写。哈尔滨工业大学电子与通信工程系顾学迈审阅了本书并提出了许多宝贵意见。在编写过程中也得到了哈尔滨工业大学通信工程教研室和通信技术研究所许多同志的支持和帮助,并提出了宝贵意见,在此一并表示感谢。

作 者

1999 年 12 月 18 日

目 录

第一章 B-ISDN 的基本概念	1
1.1 ISDN 的基本概念	2
1.2 B-ISDN 和 ATM 的产生	6
1.3 ITU-T 关于 B-ISDN/ATM 的标准	10
1.4 ATM 概念	13
第二章 B-ISDN 参考模型	43
2.1 B-ISDN 参考配置	43
2.2 B-ISDN 分层模型	45
2.3 物理层	51
2.4 异步传递方式层(AMT 层)	59
2.5 ATM 适配层	63
2.6 维护功能	75
第三章 ATM 交换技术	81
3.1 ATM 交换技术的基本原理	81
3.2 ATM 交换机的基本组成	88
3.3 ATM 交换结构	89
第四章 ATM 路由技术	99
4.1 网络的物理层	99
4.2 等级网络	100
4.3 上层对等组的表示	104
4.4 完善 PNNI 路由层次	112
4.5 地址总结和可达性	116
4.6 单节点视图	122
4.7 路径选择	124

4.8	通用连接承认控制	126
第五章	B-ISDN 网络信令	128
5.1	ATM 网络连接的基本原理	128
5.2	B-ISDN 用户网络接口信令 UNI	129
5.3	B-ISDN 网络网络接口信令 NNI	143
5.4	UNI 和 NNI 的互操作过程	147
第六章	ATM 网络信令	149
6.1	ATM 信令简介	149
6.2	PNNI 的特点和相关信令	149
6.3	几个相关概念	150
6.4	如何利用返回过程建立连接	151
6.5	对有范围限制的任意播放(anycast)的支持	157
第七章	ATM 交换操作	159
7.1	ATM 交换	159
7.2	空间和时间交换	161
7.3	数字交叉连接	162
7.4	交换结构	164
7.5	多路技术和标志映射	165
7.6	交换技术	167
7.7	ATM 交换实例	174
第八章	ATM 网络互连	177
8.1	作为其他网络主干的 ATM	177
8.2	使用 Q.2931 支持协议功能(隧道)	177
8.3	宽带低层信元	180
8.4	网络间接口	182
8.5	ATM B-ISDN 互载体接口	183
8.6	特殊网络互连服务	186
8.7	LAN 的 ATM 主干网	194
8.8	RFC1483 和 RFC1577	197
第九章	ATM 网络的流量控制	205

9.1	引言	205
9.2	基本的 ATM 流量控制功能	205
9.3	流量参数规范	207
9.4	流量协议规范	210
9.5	流量协议参数的粒度	214
9.6	信元时延变化与突发容限的界限	214
9.7	UPC/NPC 性能度量法	220
9.8	附加的控制功能	222
第十章	ATM 主干系统容量的有效带宽分析	225
10.1	ATM 连接的业务流整形	225
10.2	系统模型	226
10.3	ATM 连接的无丢失有效带宽	228
10.4	ATM 连接统计复用的 Large-Deviation 分析	230
10.5	多类业务复用统计分析	232
10.6	接纳边界分析	232
10.7	仿真	235
第十一章	宽带业务的应用与 ATM 网络的发展策略	239
11.1	宽带业务的应用	240
11.2	ATM 网络与其他网络的互通 (Interworking)	244
11.3	ATM 的发展策略	246
参考文献		254

第一章 B-ISDN 的基本概念

随着信息社会的发展,社会需求的通信业务的种类也在不断增加。电信发展早期的电报、电话业务已不能满足需求,于是便出现了很多新型的电信业务,这些新型的电信业务包括声音、图像、文字、数据在内的各种信息的传输和处理业务,表 1.1 列出了一些国家已经投入运营的各种通信网。

表 1.1 通信网的种类

业务种类	网 络 类 型
电话交换网	内线电话网、市内电话网、长途电话网、国际长途电话网
电报交换网	用户电报网、电报中继交换网、国际电报网
数据通信网	分组交换网、专用数据通信网、国际数据通信网
移动通信网	汽车电话网、列车电话网、船舶通信网、飞机通信网
图像通信网	传真通信网、可视图文网、可视电话网、会议电视网
增值通信网	广域 VAN、局域 VAN、共用 VAN、情报检索网
电视信号网	无线电广播网、CATV 网、卫星直接广播系统
国家专用网	行政通信网、公安通信网、军用通信网、防火通信网
公用企事业通信网	铁路专用网、电力专用网、水陆交通网、公路通信网、气象专用网
企业通信网	银行、证券、新闻、出版等行业专用网,办公自动化(OA)、工厂自动化(FA)网
局域信息网	计算机局域网、家庭自动化(HA)网

电信网的现状是对于每一项特定的电信业务至少存在一个传输这项业务的网络,几个有代表性的网络可以描述如下:

- 电报交换网传递电报信息,最高以 300bit/s 的速率传递字符消息。

- 电话交换网传递电话业务,为用户提供双向话音通信业务,目前各国电信部门广泛利用数字程控交换技术和数字传输技术,不断提高通话质量、增加新的附加业务,使电话网逐步向综合数字网(IDN: Integrated Digital Network)过渡。

- 数据通信网由基于 X.25 协议的分组交换网传递,它不仅能够传输数据,还可利用配置在网内的计算中心进行数据处理,在电话交换网两端装有调制解调器,也可以进行低速数据的传输。

- 移动通信网是利用无线信道将汽车、船舶、飞机等移动体和电话网等固定的通信网相连的通信网。

- 图像通信网中应用最广的是传真(FAX)业务,可视图文(Videotex)业务逐渐得到普及,它能够非常便利地向人们提供电信购物、新闻检索和经济信息等服务,具有广阔的发展前景。可视电话和会议电视等动态图像业务是重要的交互型视频通信业务,可以为人们的工作节省大量的时间和经费,也大大提高了工作效率。

- 增值通信网(VAN: Value Added Network)1973 年始于美国,当时许多经营者利用从电信公司租用的线路组建分组交换网,然后再出租来获取利润。现在把具有协议变换、速率变换和存储功能的数据通信网称为 VAN。

- 电视信号有 3 种传递方式:利用地面天线的无线电广播网;利用树形同轴电缆网构成的共用天线电视(CATV)网;利用卫星构成的直接广播系统。

- 计算机局域网包括有:以太网、令牌总线网和令牌环网。

1.1 ISDN 的基本概念

由于当前每一种网络都是专门为一种特定的业务需求设计的,因此网络的传输速率和特性各不相同。而用许多专门的网络来提供不同电信业务的方式对于用户和网络管理部门来说,都存在许多弊端。从

用户的角度看,经济性差,每个网络都有专门的连接设备和专门的终端设备,连接设备和终端设备互不兼容,更不便于批量生产,因而价格昂贵;效率低、使用不便,每个网络接续过程不同,使用的用户网络接口不同,具有不同的寻址过程和单独的号码簿;和网络管理部门关系复杂,每个网络都有单独的运行机制和单独的管理部门,用户要和多个维护管理部门打交道等。从运行管理部门的角度看,大量的网络和不同的硬件软件的运行费用大增。为熟悉不同的操作过程和规则,也必须有大量维护管理人员,这又不利于形成高效率、低成本的运行管理,同时妨碍新业务的迅速引入。此外,每一网络的规模都按照一种特定的业务类型设计,即使网络有空闲的资源也不能被其他类型的业务使用。例如,电话网的高峰使用时间是每天的上午 09 时到下午 17 时,而 CATV 网的高峰使用时间是夜间,但这两种网不能共享资源,每个网必须按照高峰的业务流量来设计网络的容量。

为了克服上述网络的缺点,必须从根本上改变网络之间的隔离状况,用一个单一的网络来提供各种不同类型的业务,实现完全的开放系统互连和通信,这个单一的网络叫做综合业务数字网 ISDN(Integrated Service Digital Network)。引入 ISDN 后,用户只需提出一次申请,仅有一条用户线就可将多种业务终端接入网内并按统一的规程进行通信。

CCITT 把 ISDN 定义为:ISDN 是以提供端到端的数字连接的综合数字电话网 IDN 为基础发展而成的通信网,用以支持包括电话及非话的多种业务,用户通过一组有限的标准多用途的用户-网络接口接入网内。从 CCITT 的 ISDN 定义可以看出 ISDN 有以下三个基本特性。

1.1.1 端到端的数字连接

在 ISDN 网络中,一切信号都以数字形式进行传输和交换,即不论原始信号是语言、文字、数据还是图像,都先在终端设备中转换成数字信号,然后通过数字信道将信号送到 ISDN 网络,由 ISDN 网络负责将这些数字信号传递到通信另一方的终端设备。

ISDN 是由电话综合数字网 IDN 演变而成,主要是出于两方面的考虑:首先,电话网是目前发展最快最为普及的一种网络,它可以成为新

型的通信网的基础;其次,电话综合数字网 IDN 采用了数字传输和数字交换技术,可以方便地扩展为完全的数字网络,从而提供综合业务。

电话综合数字网 IDN 实现了网络内部的数字化,但在用户入网接口上仍然采用模拟传输,即用户线上传送的是模拟话音信号,因此从电话 IDN 向 ISDN 过渡的首要工作是实现用户线的数字化。

1.1.2 业务的综合

由于 ISDN 实现了端到端的数字连接,它能够支持包括话音、图像、文字、数据在内的各种综合业务。从理论上说,任何形式的原始信号只要能够变成数字信号,都可以利用 ISDN 来进行传送和交换,实现用户之间的通信。ISDN 的业务不仅覆盖了现有各种通信网的全部业务,而且包括了多种多样的新型业务。利用一条用户线就可以提供电话、传真、可视图文及数据通信等多种业务。表 1.2 列出了典型的业务速率。

表 1.2 典型的业务速率

业务名称	速率 (bit·s ⁻¹)	业务名称	速率 (bit·s ⁻¹)
报警/监控系统	4	处理机总线	16 ~ 64M
数字化电话编码	16 ~ 64K	彩色电视	34M
计算机终端应用	256K	FDDI 互连	100M
S ₀ 接口	144K	HDTV(未压缩)	140M
S ₁ 接口	1 536K	超高清晰度图像	512M
S ₂ 接口或图像编码	2M	HIPPI 接口	800 ~ 1 600M
块文件传送	8 ~ 32M		

通过一个标准的用户-网络接口以现有的用户电话线就可以提供两条 64kbit/s 的信息通路及一条 16kbit/s 的信令通路。它们可简称为 2B + D 通路(B 通路速率为 64kbit/s, D 通路速率为 16kbit/s)。如需传送更高速率的信息,可利用 2.048Mbit/s 或 1.544Mbit/s 的一次群通路。

由于终端到终端之间的信道已完全数字化,噪音、串音及信号衰落失真受距离与链路数增加的影响都非常小,且易于维护,便于导入智能网,提供高级业务和充实的网络运行管理功能。

1.1.3 标准的入网接口

ISDN 的另一个基本特性就是向用户提供一组标准的多用途入网接口,使不同的业务和不同的终端可以经过同一个接口(数字管道)接入网络。用户从标准的多用途入网接口进入 ISDN,得到所需的各种各样新老业务。正是由于这个多功能接口,ISDN 中的所有业务都可以采用同一个编号计划,一个号码不是分配给一个终端,而是分配给一个用户-网络接口。在 ISDN 用户-网络接口上,所有的信息都以数字复用的形式出现,而同一接口存在多个时间分割的信道,可以连接多个终端,每个信道都可独立地传送信息,向用户提供业务。例如,通话双方在讲话的同时可以传送图片或文件,或者在打电话的同时可以通过数据终端与资料中心联络,进行情报检索等。

ISDN 的用户接口和连接特性如图 1.1 所示,数字管道可以有不同的口径(即比特率),以适应不同的用户需求。例如,一个住宅用户只想将一个电话和一个可视图文终端接到 ISDN,使用一个细管道就够用了,而一个办公室用户想将很多终端设备经过一个 PBX 接到 ISDN,显然需要一个粗管道。用户以动态的信号和比特率接入网络,ISDN 需要相当复杂的控制信号来告诉网络怎样分离管道内时分复用的数据以及怎样提供用户需要的业务,这些控制信号也复用在同一数字管道上传输。

为了保证 ISDN 用户-网络接口的通用性,必须定义一整套接口的标准,使不同业务类型,不同厂家生产的终端设备都能按照这些标准连接。目前,CCITT 已经建议了几种接口的标准,对于接口上信道的速率,信道的组成,插头插座的形状,控制信号的格式及通信过程都有明确规定。接口的标准化促成了终端设备的可携带性,ISDN 标准终端可以从一个地方移到另一个地方,只要简单地改变插头位置就能完成。

接口的标准化简化了网络的管理工作,由于所有终端都按同一标

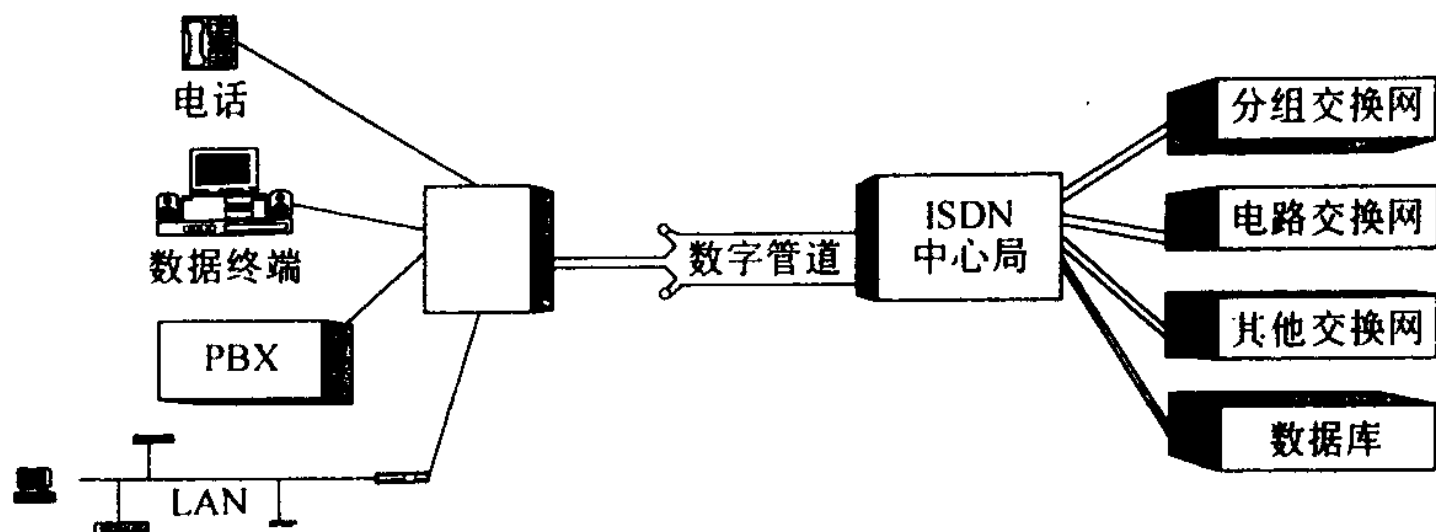


图 1.1 ISDN 的用户接口和连接特性

准接入网络,网络不必过问用户使用的是哪种类型的终端。在接口容量的许可范围内,用户可以随意地将不同业务类型的终端组合起来,连接到同一接口上,也可以随时根据需要改换终端类型,如用户拔下电话机的塞子,接上一台个人计算机,并不需要通知网络就可继续工作。由于使用单一的网络来提供各种不同的业务,ISDN 大大提高了网络资源的利用率,以低廉的费用向用户提供业务。此外,用户不必购买和安装不同的设备和线路来接入不同的网络,而只需一个接口就能得到各种所需业务,因此大大节省了投资。

1.2 B - ISDN 和 ATM 的产生

ISDN 实现了用户-网络接口(UNI)上的综合,通过 $2B + D$ 接口提供话音和数据的同步接入,ISDN 的一次群速率接口(PRA)可提供 2.048 Mbit/s (1.544 Mbit/s) 的速率接入,但对超过一次群速率的业务接入,ISDN 就无能为力了。然而,一些最吸引用户的业务(如视频业务)其速率往往都超过一次群速率。此外,ISDN 在网络结构方面存在着分离性,注重的仅是用户-网络接口上业务的综合,而在交换网内仍由电路交换和分组交换等若干分离的网络实体提供业务。显然这种综合是不完全的,并且直接影响到系统的可靠性、运行的成本及系统的维护。

为了克服 ISDN 的局限性,人们从 80 年代初期就在寻找一种更新的网络,这种网络能够提供高于 PCM 一次群速率的信道,能够适应全

部现有和未来可能的业务,这些业务有低速的(如遥控、遥测、告警、话音、传真、低速数据),中速的(如高保真度声音、可视电话、高速数据),以及高速的(如高质量图像分配、图像库、图像教育、高清晰度电视 HDTV、超高清晰度电视 SHDTV),这些业务都以同样的方式在网络中传送和交换,共享网络资源。这个网络是灵活的、高效的、经济的,能够适应新技术和新业务的需要,它的资源得到充分有效的利用。和提供同样业务的其他网络相比,它的生产、安装、运行和维护费用都比较低廉。CCITT 将这种网络定名为宽带 ISDN,又称为 B-ISDN(Broadband ISDN)。ATM(Asynchronous Transfer Mode)因综合了电路交换的简单性和分组交换的灵活性而被选为宽带 ISDN 的交换方式。

下面通过考察业务的自然特性,来说明在宽带 ISDN 中采用 ATM 技术的必要性。从表 1.2 列出的典型业务速率和图 1.2 描述的 B-ISDN 业务特性,我们可以得出“不同业务的速率和持续时间相差十分悬殊”的结论。

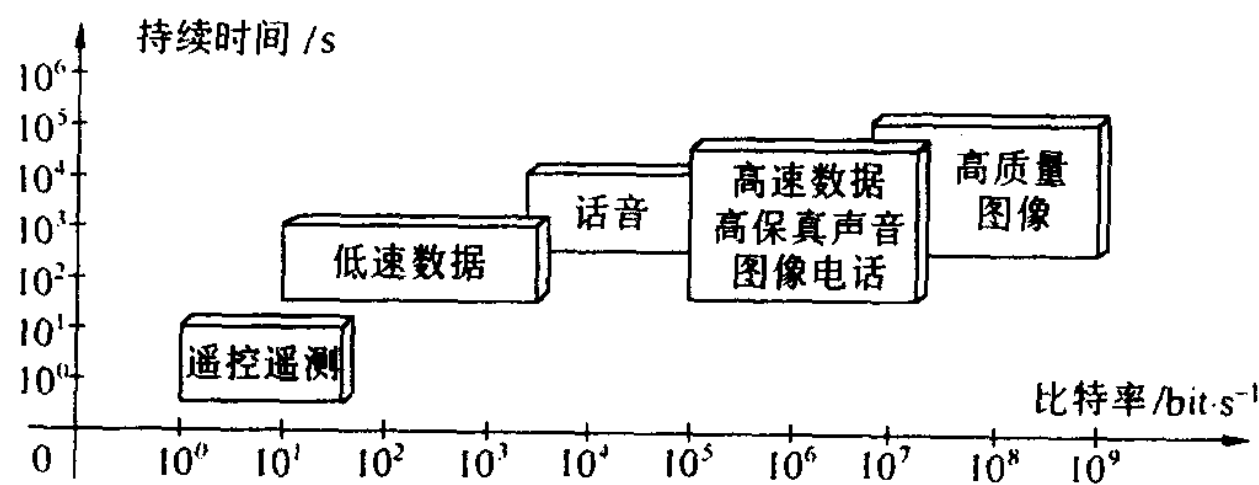


图 1.2 B-ISDN 的业务特性

一项业务更为一般的特征是自然信息率,而不是比特率。自然信息率是指在不考虑通信网功能或成本限制的条件下,信息源产生信息的速率。每种信息源(如话音、图像等)的自然信息率及其使用的编码和压缩技术有很大关系,也就是说和经济可行的信号处理及技术水平有关。自然信息率可以用一个随机过程 $s(t)$ 来表示。每个随机过程有 4 个重要的参数:峰值自然比特率 S ,平均自然比特率 $E[s(t)]$,峰值持续时间 d 和突发度 B 。图 1.3 表示这 4 个参数的含义,图中的纵坐标 s 表示比特率,横坐标 t 表示时间,曲线表示自然比特率 $s(t)$ 随时间变化的

情况。

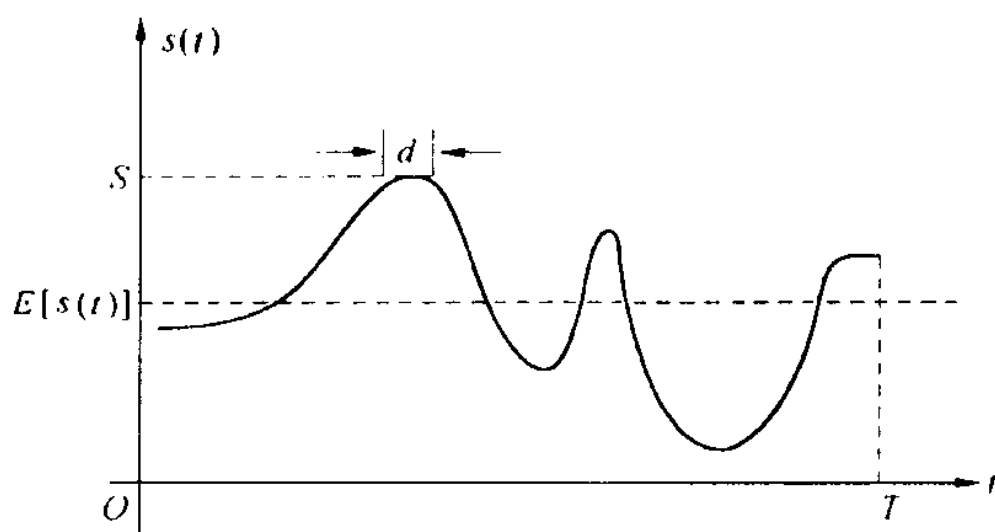


图 1.3 自然信息率 $s(t)$ 随时间变化情况

这个随机过程的持续时间 T 就是信息的传递时间。 T 可以是普通电话的通话时间、计算机之间数据通信的计算机会话时间、可视电话会议的开会时间等。

$$S = \max s(t) \tag{1.1}$$

$$E[s(t)] = \frac{1}{T} \int s(t) dt \tag{1.2}$$

我们将自然信息率的最大值 S 和平均值 $E[s(t)]$ 之比称为突发度 B ，即

$$B = \frac{S}{E[s(t)]} \tag{1.3}$$

从上述公式可以看出 4 个参数中，有几个是关联的，例如已知突发度时，信息率的最大值和平均值的关系就确定了。业务的比特率又称带宽 (Bandwidth)，表 1.3 列出一些业务的信息率平均值和突发度的大小。

表 1.3 宽带业务及其特征

业 务	$E[s(t)]$	B
话 音	32 kbit/s	2
交互式数据	1 ~ 100 bit/s	10
批量数据	1 ~ 10 Mbit/s	1 ~ 10
标准质量图像	1.5 ~ 15 Mbit/s	2 ~ 3
HDTV	15 ~ 150 Mbit/s	1 ~ 2
高质量可视电话	0.2 ~ 2 Mbit/s	5

从表 1.3 可以看出,所有业务在平均比特率和突发度方面都有不同的特性,任何业务都具有一定的突发度(B_1)。如果网络用恒定的比特率来传送业务信息,结果不是降低业务质量就是浪费网络的资源(见图 1.4a、1.4b)。因此我们必须寻找一种适合 B-ISDN 的可变速率传送方式,这就是 ATM 技术的出现,有关 ATM 技术的细节请见第三章 ATM 交换技术。

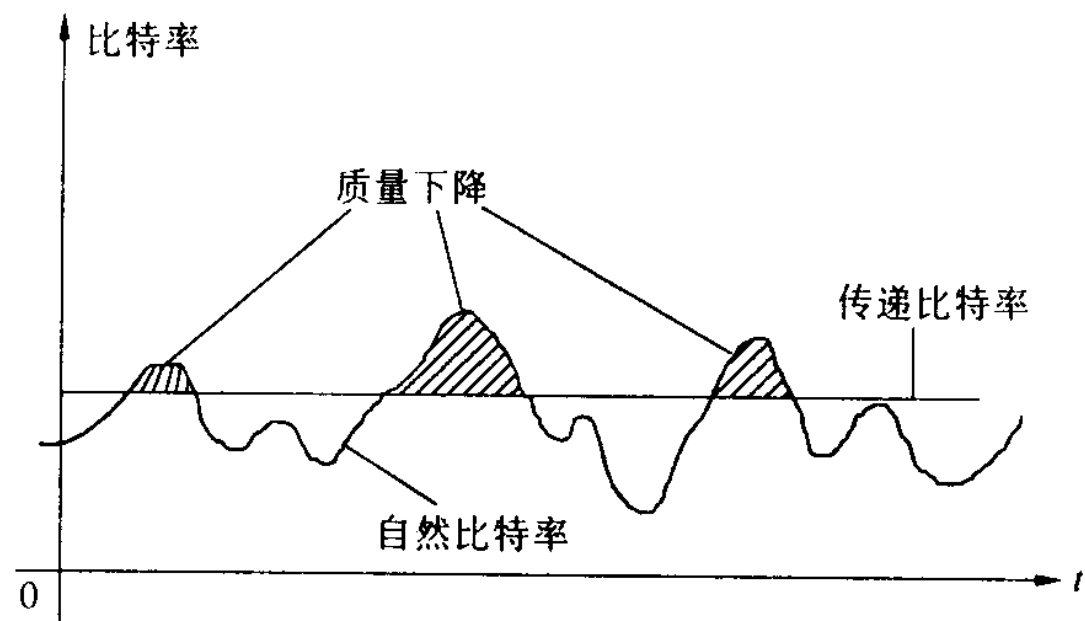


图 1.4a 峰值比特率降低引起的质量下降

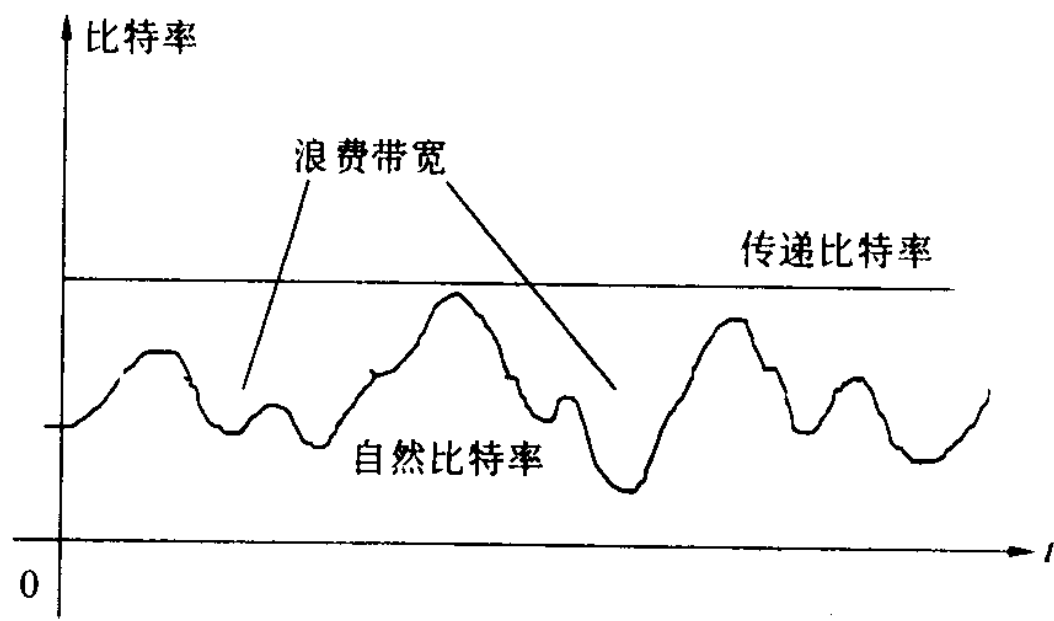


图 1.4b 按峰值比特率定位引起的带宽浪费

光纤传输技术的发展为宽带 ISDN 打下了基础。宽带 ISDN 中不论是交换结点之间的中继线,还是用户和交换机之间的用户回路,一律采用光纤传输,速率从 150Mbit/s 到几 Gbit/s。网络的技术关键就是适合

不同业务特点的高速信息传送和交换,在交换结点上,用超大规模高速集成电路器件来传递和处理信息,以全新的概念来组成网络,合理分配网络和终端设备的功能,简化网络的处理功能,使网络具有高速处理能力。宽带 ISDN 是一种全新的网络,它的信息传送方式、交换方式、用户接入方式、通信协议都是全新的。

1.3 ITU - T 关于 B - ISDN/ATM 的标准

ITU - T(国际电信联盟,原 CCITT)已制定出了若干 B - ISDN/ATM 的标准,这些标准包括 I 系列建议和 Q 系列建议。表 1.4 和表 1.5 分别列出了 ITU - T 关于 B - ISDN 的 I 系列建议和 Q 系列建议。ITU - T 的第 11、13 和 15 研究组在今后还将继续制定出关于 B - ISDN 业务、信令、网络互通、OAM、ATM 设备以及流量控制等方面的标准和建议。

表 1.4 ITU - T 对 B - ISDN 的 I 系列建议

序号及标题	内 容
I.113: B - ISDN 术语词汇	B - ISDN 使用的术语定义
I.121: B - ISDN 概貌	B - ISDN 的原则
I.150: B - ISDN 的 ATM 功能特性	• ATM 层(信头)的功能 • 虚通路连接 • 虚通道连接 • 信息域类型 • 通用流量控制(GFC)
I.211: B - ISDN 的业务概貌	• B - ISDN 业务的分类和一般描述 • 多媒体业务的网络特性 • 业务定时,同步特性 • 无连接数据服务概述 • 图像编码