

现代信息网



刘少亭 卢建军 李国民 编著



人民邮电出版社

www.cnptb.com.cn

内 容 提 要

全书分为 10 章,基本内容包括电话通信网、数据通信网、计算机通信网、综合业务数字网和宽带 IP 网等五大内容板块。书中对各类通信网的基本概念、结构原理、相关的协议和信令、工程应用及发展等进行了较全面的论述,并以体现现代信息网最新发展的宽带 IP 网为主线,对话音网、数据网和电视网趋向融合的发展方向进行了分析,其中联系了 ATM 技术、SDH 技术、DWDM 技术和 IP 技术等网络的基本要素,对下一代 IP 协议 IPv6、服务质量(QoS)、RSVP 协议和 ST2+协议等宽带协议进行了扼要的叙述。

本书内容较充实、新颖、图文并茂,既注意加强基本原理和基本概念的阐述,又用较大篇幅力图反映出现代信息网络的一些最新技术和未来的发展,同时也注重工程应用和一些必要的理论分析。

本书可作为高等院校信息工程类、通信工程类本科高年级学生用教材或教学参考书,也可供从事通信、计算机网络工作的工程技术人员学习参考。

现代信息网

◆ 编 著 刘少亭 卢建军 李国民

责任编辑 陈万寿

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@pptph.com.cn

网址 <http://www.pptph.com.cn>

北京汉魂图文设计有限公司制作

北京顺义振华印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本:787×1092 1/16

印张:32.25

字数:806 千字

2000 年 10 月第 1 版

印数:1—5 000 册

2000 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-08771-7/TN·1635

定价:47.00 元

前 言

20 世纪 90 年代以来, 电信网络技术和计算机网络技术的迅猛发展和相互结合, 已对人类社会现代化和信息化过程起到极其重要的推动作用, 尤其是 IP 网络的广泛应用和发展更促进了电话网、数据网和电视网等网络的优势互补和相互渗透, 为最终实现 B-ISDN 的基本理论和实践技术做必要的准备。本书是为了适应现代网络技术发展的需要而编写的, 首先对电话通信网、数据通信网、计算机通信网(包括 Internet 网)和综合业务数字网等几类典型网络作了详细的介绍, 让读者掌握各个网络的基本概念、结构原理、相关的协议和信令以及发展动向等基本内容; 最后对宽带 IP 网的基本概念从 IP 传输、IP 交换和高速 IP 协议等三个方面进行了系统的介绍, 让读者联系 ATM 技术、SDH 技术、DWDM 技术和 IP 技术等网络的基本要素及其相互结合, 对下一代 IP 协议 IPv6、服务质量(QoS)、RSVP 协议和 ST2+ 协议等应用有一个基本的了解, 能真正深入地理解以 IP 为基础的三网融合, 及其用以构筑未来 B-ISDN 的基本含义。

全书共分 10 章: 第一章介绍现代信息网的基本概念及其发展的趋向; 第二章到第四章讨论了以话音为主的电话通信网的基本结构、规划设计、No.7 信令及信令网、电信管理网络、移动业务通信网; 第五章介绍了专用通信网的网络结构、组网方式和集群通信网; 第六章在讨论分组交换数据网基本概念的基础上, 重点介绍了几种典型的高速数据网和通信协议; 第七章介绍了局域网、高速局域网和 Internet 的基本概念和基本原理, 还对网络安全及防火墙作了扼要的介绍; 第八章和第九章分别介绍了 N-ISDN 和 B-ISDN 的网络结构、接口、ATM 交换原理及宽带接入技术; 第十章介绍了宽带 IP 网的基本概念, 并着重讨论了宽带 IP 交换、宽带 IP 传输、高速 IP 网络协议的基本原理。

本书可以作为高等院校通信类、信息类及其相近专业本科高年级学生用教材或参考书, 建议学时数为 48~64, 其具体安排如下:

通信类专业 基本内容: 第一~第六章、第八章、第九章(部分) (48 学时)

扩宽内容: 第一~十章 (64 学时)

信息类专业 基本内容: 第一、二、四章, 第六~九章 (48 学时)

扩宽内容: 第一、二、三、四章, 第六~十章 (64 学时)

本书由刘少亭、卢建军、李国民主持编写。第一、三、四、六、十章由刘少亭编写, 第二(2.1~2.3)、七章由卢建军编写, 第九章由李国民编写, 第八章由李白萍编写, 第 2.4 节和第五章由韩晓冰编写。本书的部分插图由王建新、李远征完成, 全书由刘少亭统稿。

由于时间仓促, 作者水平有限, 书中难免有不妥和错误之处, 恳请广大读者指正。

作 者

2000 年 6 月

第一章 概 论

1.1 现代信息网概论

通信是现代社会的三大基础结构（能源、交通、通信）之一，是社会机体的神经系统。通信产业不仅本身有经济效益，而且有无形的巨大社会效益。据统计，我国火车、航空客运业务中的 30% 左右可以用通信手段代替，从而可节省大量的时间和能源。据测算，如果资金流动加快千分之一到百分之一，国家每年便可增加几亿元到几十亿元的利润，因此发达国家无不具有发达的通信网。

通信的基本形式是在信源与信宿之间建立一个传输（转移）信息的通道（信道），实现信息的传输。现在，通信已成为信息处理、信息查询、科学研究、日常教育以及商务贸易等活动的重要支撑。通信过程的支持平台是信息网络，信息网络可以定义为：“信息网络是由信息网元组成的集合体，用以支持组织之间和组织内部的包括话音、文本、数据或是它们组合体的各种形式的通信要求。”其中信息网元是网络基本组成部件，在不同的网络中其组成部件具有不同形式。

信息网络的基本概念是不断发展的。不同的历史时期由于用户的需求、市场的驱动及人类对网络的研究和实践，导致不同网络诞生、发展和成熟。任何一种网络都在某种意义上满足了人们的需求。随着时间的推移，原有网络产生的条件可能不复存在或不成为主要矛盾，这就导致了新一代信息网络的产生。

在不同应用范围和不同应用目标下，信息网络具有不同的含义，在一般意义上可以将信息网络分成电话通信网、数据通信网和计算机互联网等三种类型。其中以话音为主的电话通信网包括公用电话交换网（PSTN: Public Switched Telephone Network）、专用通信网、移动通信网。数据通信网包括分组交换公用数据网（PSPDN: Packet Switched Public Data Network）、数字数据网（DDN: Digital Data Network）、帧中继网（FRN: Frame Relay Network）。计算机互联网包括局域网（LAN: Local Area Network）、城域网（MAN: Metropolitan Area Network）、广域网（WAN: Wide Area Network）等形式。其中高速局域网有光纤分布式数据接口（FDDI）和吉（千兆）比特以太网，高速城域网有分布式队列双总线（DQDB）和交换式多兆位数据服务（SMDS），广域网有 Internet 等典型网络。计算机互连网络既可以用电信网络作为其信息传输和交换的通道，也可以直接构造满足数据通信的物理网络。

信息网络的发展是和通信设备与终端、电子器件、计算机软件和硬件技术的发展紧密相关的，所以说信息网络发展水平是一个国家综合实力的体现。由于信息网络的投资是十分巨大的，成本回收周期比较长，促使人们研究更先进的信息网络理论技术，但是任何一种网

络技术被市场接收的前提是必须有市场潜力非常大的应用需求驱动，并且该应用无法用现存的各种网络很好地支持，此时供应商和运营商才可能采用这种技术构建网络。信息网络目标是实现网络用户之间的信息互通，所以任何新型网络的产生都必须考虑到其用户和其他已有网络的互通，这就进一步增加了网络投资的需求。如果原有网络支持的某种业务并不能被新型网络技术在技术上和应用领域全部覆盖，原有的信息网络必将继续存在。这就是为什么在信息网络领域中各个时期网络常常是并存的。不同类型网络是针对特定应用而设计的，每一种网络都有其设计的假设前提，都能解决当时网络无法支持某种业务的难题，了解信息网络的发展是整体上学习各种通信网络技术的有效途径。

为了便于了解信息网的发展，下面将从电路交换和分组交换、面向连接和无连接以及三网融合等不同角度看信息网最终向宽带综合业务数字网（B—ISDN）的过渡。

1.1.1 从电路交换和分组交换方式来看信息网的发展

• 电路交换

电路交换（Circuit Switching）是两计算机或终端相互通信时，使用的同一条实际物理链路，在通信中自始至终使用该线路传输，且不允许其它计算机或终端同时共享该链路。

电路交换目前应用于公用电话网、公用电报网和电路交换的公用数据网（CSPDN）等通信网络中。

电路交换适用于一次接续后传输长报文的通信。其优点是实时性强，延迟很小，一般是一个字符甚至小到一位均可传送，交换设备成本较低；缺点是线路利用率低，尤其是在中继线上。

• 分组交换

分组交换（Packet Switching）也叫包交换，它将用户发来的一整份报文分割成若干定长的数据块（即分组），让它们以“存储—转发”方式在网内传输。每一个分组信息都载有接收地址和发送地址的标识，在传送数据分组之前，必须首先进行路由选择建立虚电路，然后依序传送。

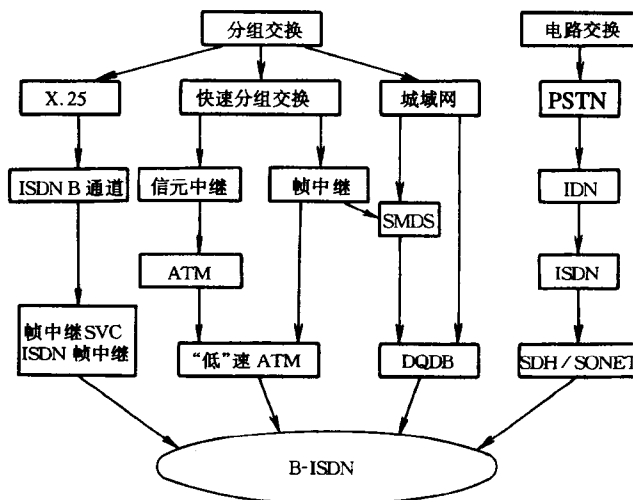


图 1.1 从交换方式看信息网的发展

它适用于公用数据网和对话式计算机通信，如数据库检索、图文信息存取、电子邮件传递和计算机间通信等各方面。

分组交换在线路上采用动态复用的技术传送各个分组，所以线路利用率较高。分组交换兼有电路交换和报文交换的优点，是数据交换方式中一种比较理想的方式。缺点是实现技术复杂，不适宜于实时性要求高、信息量很大的业务使用。

从电路交换和分组交换过渡到 B—ISDN 的示意图如图 1.1 所示。

1.1.2 从面向连接和无连接的服务方式看信息网的发展

面向连接服务是在数据交换之前，必须先建立连接。当数据交换结束后，则应终止这个连接，如电话通信模式。在无连接服务的情况下，两个实体之间的通信不需要先建立一个连接，每个报文（信件）带有完整的目的地址，并且每一个报文都独立于其它报文，经由系统选定的路线传递，如邮政系统模式。

从面向连接和无连接的服务方式看信息网的发展如图 1.2 所示。

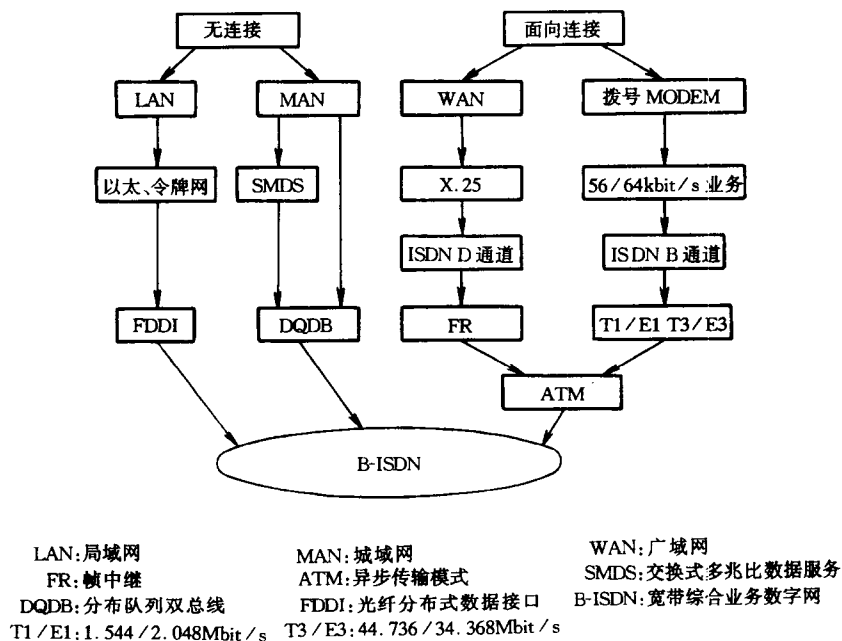


图 1.2 从连接的服务方式看信息网的发展

1.1.3 信息网发展的趋向是以三网合一为基础的 B—ISDN

这里所说的“三网”，是指电信网（主要的业务是电话，但也有其它业务，如传真、数据等）、有线电视网（即单向电视节目的传送网）和计算机网络。虽然这三种网络在信息化过程中都起到重要的作用，但其中发展最快并起到核心作用的是计算机网络。所谓“三网合一”是指用一种网络就可以实现三种网络的功能。以“三网合一”为基础的 B—ISDN 如图 1.3 所示。

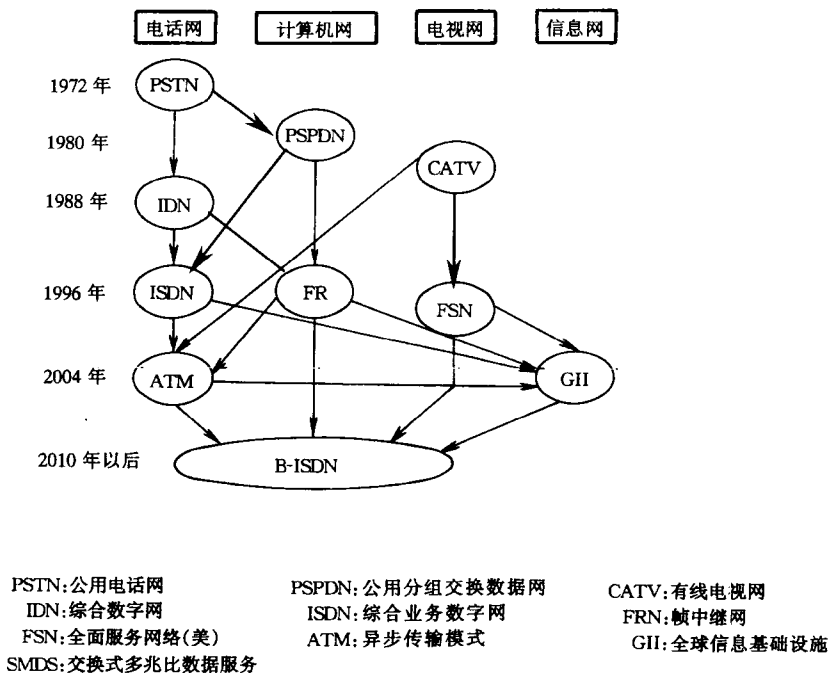


图 1.3 以“三网合一”为基础的 B-ISDN

1.2 电话通信网、数据通信网和计算机通信网

掌握电话通信网、数据通信网和计算机通信网的基本特点和发展是学习现代信息网的基础。

1.2.1 电话通信网

电话通信网经历了从模拟到数字、从单一业务到智能业务转换，在接入环路、中继传输、交换接点以及网络控制与管理等方面都有了很大的发展。随着宽带业务的应用，在接入环路方面引入了高速数字用户线（HDSL），利用现有的 2 对双绞铜线可提供全双工的 2Mbit/s 数字连接能力。在中继线路上采用复用技术提高线路的利用率，在两种复用技术（频分复用和时分复用）中，前者适合载波通信、后者适合于 PCM 以及数据通信。交换节点中的交换矩阵单元可采用开关式或缓存转发式，随着计算机硬件和软件能力的提高，后者的应用越来越广泛。通信网络的规模、业务和投资越来越庞大，为了保证网络的高可靠低成本的运行，电信管理网络（TMN）是电信网必不可少的支撑网络，TMN 完成配置管理、性能管理、故障/维护管理、资费管理和安全管理等 5 项基本功能。

我国公用电话网由五级交换中心组成，其中 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 级为长途交换中心。而本地网可设置汇接局和端局两个等级的交换中心，也可设置 C_5 级端局一个等级的交换中心（参阅第二章图 2.2）。

采用电路交换的电话网的通信一般包括三个阶段：电路建立、信号传送、电路释放。

电路交换的要求如下：

- 根据用户要求建立/保持和释放呼叫；
- 提供透明的全双工信号传输；
- 呼叫建立时有限的可接受的时延 ($\leq 0.5s$)；
- 为话音连接提供满意的质量；
- 有限的拥塞可能性。

随着通信网的发展，电话通信网的结构也逐渐向级数减少的方向演变。

在电话通信网中，为了能提供保证用户迅速接续和清晰地通话的电话业务，除了必须配备一定的设备和完善的技术之外，还要有可靠的支撑网——No.7 号信令的支持。判定电话业务的良好程度可由下述三方面来衡量：

- ① 迅速性——接续质量；
- ② 清晰度——传输质量；
- ③ 可靠性——稳定质量。

接续质量：

接续质量反映电信网是否容易接通和是否好用的程度，通常用接续损失(呼损)和接续时延来度量。对整个电信网路而言与接续损失具有同一含义的量叫做阻塞率。所以，有时也以阻塞率来衡量接续质量。在电话通信网中有

- ① 摘机忙呼损：用户摘机呼叫时由于记发器全部被占用而不能接续造成的呼损；
- ② 接续过程呼损：在接通被叫用户过程中由于中继线或交换设备全部被占用以致不能完成接续而造成的呼损；

- ③ 拨号音时延：从用户摘机直到听到拨号音这一段时间间隔；

- ④ 接续时延：从用户拨号完了到听到回铃音这一段时间间隔。

以上四种仅是衡量接续质量中接续呼损和接续时延的部分项目，其余还有被叫用户忙造成的呼损、被叫用户不应答所造成的呼损及其它几种接续时延等，这里不一一列举。

传输质量：

传输质量反映信息传输的准确程度，对不同的电信业务有不同的传输质量标准。例如，对电话通信的传输质量的要求是：

- ① 响度：收听到的语音音量的大小程度；反映通话的音量；
- ② 清晰度：收听到语音的清晰、易懂程度，反映通话的易懂度；
- ③ 逼真度：收听到的语音的音色和特性的不失真程度。

除上述三项由人来进行主观评定的指标外，对电话电路还规定了一些电气特性，如传输损耗、传输频率特性、串音、杂音等多项传输链路指标。

稳定质量：

稳定质量主要反映网路系统的可靠性，它是由系统、设备、部件等的功能在时间方面的稳定性程度来表示的。可靠性指标主要有下面几种：

- ① 失效率：表示在设备或系统工作 t 时间后，单位时间内发生故障的概率，以 $\lambda(t)$ 来表示。失效率通常取 $10^{-5}/h$ 为单位，对于高可靠性的系统或设备通常采用 $10^{-9}/h$ 为单位，这称为一个菲特 (Fit)。

- ② 平均故障间隔时间 (MTBF)，当失效率 $\lambda(t) \equiv \lambda$ (常数) 即失效率与 t 无关时，有

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (1.1)$$

③ 平均修复时间 ($MTTR$), 表示发生故障时进行修复的平均处理时长。

④ 可用度 (或有效度) A

$$\begin{aligned} A &= \frac{\text{有效工作时长}}{\text{有效工作时长} + \text{平均失效时长}} \\ &= \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \end{aligned} \quad (1.2)$$

当 $\lambda(t) \equiv \lambda$ 时, 即失效率与 t 无关, 可有

$$A = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$$

其中 $\mu = \frac{1}{MTTR}$, 为修复率,

不可用度

$$\begin{aligned} U &= 1 - A \\ &= \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \end{aligned} \quad (1.3)$$

这些可靠性指标的制定当然要考虑到用户的满意程度、社会的要求和可能造成的影响, 还要考虑到技术上、经济上的可实现性等。目前我国尚未明确制定出整个电信网系统的稳定性指标, 但对终端、交换设备及传输链路等各部分都有相应的稳定性指标要求。

1.2.2 计算机通信网

1. 计算机网络及计算机通信网

计算机网是由不同媒介 (电话线路、同轴电缆、光纤、无线、微波和卫星等) 连接的、物理上互相分开的多台计算机组成的、将所要传输的数据划分成不同长度的分组进行传输和处理的系统。通过发送、接收和处理不同长度的分组实现信息和计算机软硬件资源的共享。

在计算机网络发展过程的不同阶段, 人们对计算机网络提出了不同的定义, 不同的定义反映着当时网络发展的水平及人们对网络的认识程度。从广义的观点定义为计算机通信网, 其特点是借用公用电话通信信道或公用数据通信信道 (或专用信道), 通过资源共享实现信息的传输与处理; 从对用户透明性的观点定义为分布式计算机系统, 其特点是它的操作系统以全局方式管理系统资源, 能自动为用户的需求调度网络资源, 多个互连的计算机系统对用户来说是“透明”的, 是计算机网络技术发展的高级阶段。以资源共享观点定义的计算机网络可以看成是从计算机通信网到分布式计算机系统的过渡, 为分布式系统的研究提供技术和理论基础。

计算机网络要完成数据处理和数据通信两大功能, 在结构上可以分成两部分: 负责数据处理的计算机与终端; 负责数据通信处理的通信控制处理机 (CCP: Communication Control Processor) 与通信线路。从计算机网络组成的角度看, 典型的计算机网络从逻辑功能上可以分为资源子网和通信子网两部分, 其结构如图 1.4 所示。

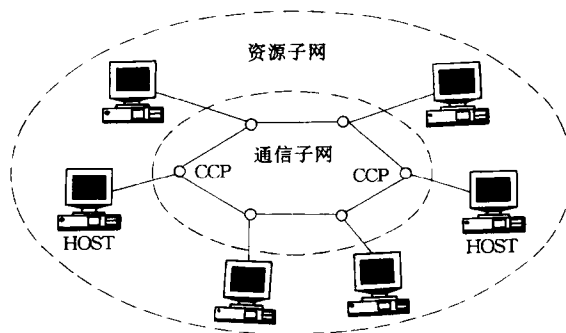


图 1.4 计算机网络

(1) 资源子网

资源子网由主计算机系统、终端、终端控制器、连网外设、各种软件资源与信息资源组成。资源子网负责全网的数据处理业务，向网络用户提供各种网络资源与网络服务。

网络中主计算机(简称为主机)可以是大型机、中型机、小型机、工作站或微机。主机是资源子网的主要组成单元，它通过高速通信线路与通信子网的通信控制处理机相连接。普通用户终端通过主机连入网内。主机要为本地用户访问网络内其它主机设备与资源提供服务，同时要为网中远程用户共享本地资源提供服务。随着微型机的广泛应用，连入计算机网络的微型机数量日益增多，它可以作为主机的一种类型，直接通过通信控制处理机连入网内，也可以通过连网的大、中、小型计算机系统间接连入网内。

(2) 通信子网

通信子网由通信控制处理机、通信线路与其它通信设备组成，完成网络数据传输、转发等通信处理任务。

通信控制处理机在网络拓扑结构中被称为网络节点。它一方面作为与资源子网的主机、终端的连接接口，将主机和终端连入网内；另一方面它又作为通信子网中的分组存储转发节点，完成分组的接收、校验、存储、转发等功能，实现将源主机报文准确发送到目的主机的作用。通信线路为通信控制处理机与通信控制处理机、通信控制处理机与主机之间提供通信信道。计算机网络采用了多种通信线路，如电话线、双绞线、同轴电缆、光导纤维电缆（简称光缆）、无线通信信道、微波与卫星通信信道等。

2. 计算机网络的特征

① 计算机网络的重要特征是信息按分组方式传输。

② 计算机网络也可以看成是在物理上分布的相互协作的计算机系统。其硬件除了单体计算机和传输媒体外，还有插入计算机中用于收发数据分组的各种通信网卡；把多台计算机连接到一起的集线器（Hub，现逐渐被相应的交换机取代）；扩展带宽和连接多台计算机用的交换机以及负责路径管理、控制网络路由情况的路由器或 ATM 交换机等。

③ 计算机网络中包含有丰富的软件。操作系统核心软件是网络软件的基础，操作系统是多任务的，用于处理来自不同计算机的数据收发任务；通信控制用协议软件是计算机网络软件中最重要、最核心的部分，是网络中通信各部分之间必须遵守的规则集合，决定了计算机网络体系结构；管理软件用来管理计算机网络用户与网络的接入、认证，计算机网络的

安全以及网络运行状态和负责计费等工作；交换与路由软件负责为通信各部分之间建立和维护传输信息所需的路径；应用软件为用户提供网络服务，实现信息资源的传输和共享。

1.2.3 数据通信网

用于计算机之间进行通信的网络称为数据通信网，即计算机网络中的通信子网。数据通信网应具备的特征如下。

(1) 适应大容量与突发性通信的要求

计算机数据传输具有“突发性”的特点，可能造成网内负荷的拥塞现象，因此现代数据通信网必须要适应大数据、突发性传输的要求，并能对网络拥塞有良好的控制功能。

(2) 适合综合业务服务的要求

随着人们对信息需求的日益增加，一些新业务（如可视电话、传真、文件与图像检索、电子广告、电子商务、电子购物、远程教学与远程医疗等）都将与计算机网络服务融为一体，因此未来的通信网应该是一个全数字化、高宽带、有综合服务能力的高速通信网络。

(3) 开放的设备接口与标准化协议

信息高速公路面对用户的各种信息服务设备，这就要求未来的通信网要为用户提供开放的设备接口与标准的通信协议。

(4) 完善的通信服务与网络管理

要保证数据通信网能够稳定、安全与高效运行，网络必须具备完善的网络服务和智能化的管理功能。

1.3 网络互连

网络互连是形成信息网络的基本方法。

1.3.1 网络互连的基本概念

网络互连是由各种网络参照一定的规范和使用一定的连接设备，构成一个在更大范围内运行的通信网络。网络互连实质上是隐去了特定网络硬件的具体细节，提供了一种高层的通信环境，其最终的目的是实现网络最大限度的互连。一般说，有三个基本的网络概念，即网络连接、网络互连和网络互通来给出互连网络的一个基本概念。

网络连接，这是网络在应用级的互连，主要指的是一对同构或异构的端系统，通过由多个网络或中间系统所提供的接续通路来进行连接。其目的是实现系统之间的端到端的通信。所以，网络连接是适用于不同网络的各种系统之间的互连，它主要强调协议的接续能力，以便完成端到端系统间的数据传递。

网络互连，指的是不同子网间借助于相应的网络设备，如路由器、集线器等来实现各子网间的相互连接。其目的是解决子网间的数据交互，但这种交互尚未扩大到系统与系统之间。同时，网络互连还保持了原有网络各自的独立性，并不是将子网融合成为一个新的网络。在这种情况下可把一个子网看成一条链路，把子网间的连接（中间系统）看作交换接点，从而形成一个超级网络。网络互连的概念涉及到网络产品、处理过程和技术。

网络互通，指的是网络不依赖于其具体连接形式的一种能力。它不仅仅是指两个端系

统间纯粹的数据转移，还表现出各自业务间相互作用的关系，完成它们间共同任务的互通能力，也即 OSI—RM（开放系统互连参考模型）与系统间的合作有关，它是系统互连所隐含表现的内容。因此，系统间的直接连接或通过网络的中继连接，其目的是完成网络间的数据传送，而网络互通是各系统在连通条件下，由自身创建支持应用层间相互作用的协议匹配环境。

OSI—RM 是网络互连的理论基础。在 OSI—RM 中指出，通信子网内部执行下三层协议功能，即物理层、链路层和网络层，而传输层以上则为网络终端设备的功能。任何分布在两个不同网络上可以执行相同传输层以上协议功能的终端设备，可以进行通信的前提是相应两个网络可以进行信息传输，根据两个网络的互连层次，可以将网络中继设备分成物理层中继（如转发器）、链路层中继（如网桥）和网络层中继（如路由器）。如果两个终端设备在传输层以上也各不相同，此时这两个网络互通则必须通过更高协议层次中继器（如网关）实现协议的转换。

随着信息产业技术的发展，新一代的网络将采用分布式处理方式，而且面对的将是集话音、图像和数据为一体的所谓多媒体信息的传输。这些都对网络在带宽、灵活性、网络资源利用率以及为多种协议提供通用子网基础设施的能力提出了更高的要求。而目前共享式网络显得越来越不适应，其主要问题是：

- 带宽瓶颈；
- 网络系统中的时延；
- 对网络的全方位管理。

采用交换技术，实现共享式网络向交换式网络的转变，特别是向 ATM 网络的转变，可以为终端用户提供专用的、端到端的连接，以保证用户通信所需的带宽。另外，交换技术通过虚拟网络技术可以提供强大的网络管理功能。正是由于交换技术在改善网络的性能和最大限度地发挥现行网络设计的潜力方面具有十分重要的作用，因而基于交换的网络互连成为目前网络技术发展的一个重要方向。

1.3.2 网络互连的基本方式

网络互连的 4 种基本方式如图 1.5 所示，其中链路层根据 LAN 协议规定分为逻辑链路控制（LLC）和媒体接入控制（MAC）两个子层。任何层次的中继意味着互连网络在该层（包括该层）以上执行的协议是相同的。

(1) 转发器（中继器）。转发器是最简单的网络连接设备，用于两个网络物理层的连接，以增加其网段的有效长度。转发器的特点是，仅仅在所连接的网段进行信息流的简单复制，不具有过滤功能。在 OSI 的第一层上实现 LAN 的连接。

(2) 网桥。网桥实现链路层上帧的中继。第一个特点是它具有的过滤功能对输入的数据帧进行分析，并根据信宿的 MAC 地址来决定数据的传送；第二个特点是其高协议的透明性，这是因为它是在数据链路层上进行操作，而无需检查高层的信息。网桥更适于 WAN 的连接，它所支持的连接接口：光纤、FDDI、ISDN、E₁、T₁、X.21、RS—499 和 RS—232。

(3) 路由器。路由器是在 OSI 的第三层（网络层）上实现网络的互连，因而，路由器是有赖于网络协议的。在通过路由器实现的互连网络中，路由器对数据包进行检测，以便决定转发方向。路由器是一种主动的、智能型的网络节点设备，具有连接功能、网络地址判断、最佳路由选择、数据处理和网络管理功能。可提供不同类型（如 LAN 或 WAN）、不同速率

的链路或子网接口, 如在连接 WAN 时, 可提供 X.25、FDDI、帧中继、SMDS 和 ATM 接口。

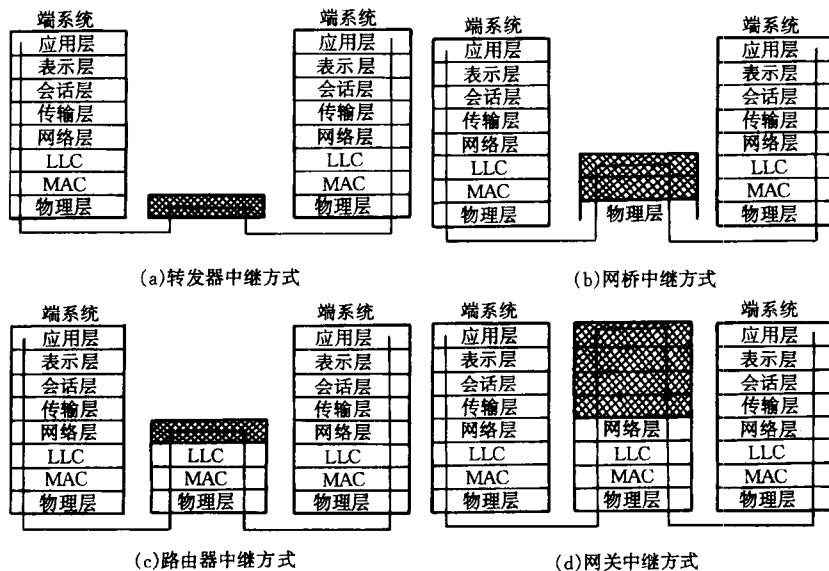


图 1.5 网络互连 4 种基本方式

(4) 网关。网关用于连接具有不同工作协议的主机设备, 能通过各种不同协议间的转换, 实现网络间的互连。与其它互连网络设备不同的是, 网关只需要在最顶层的协议相同, 而无需关心低层协议的相同与否。

1.4 综合通信网络

1.4.1 综合网络

综合网络是指用统一的通信平台支持综合信息的传输。“综合”包括综合接入、综合传输、综合交换和综合管理/控制等四方面的含义。综合网络在理论上目前认为比较完善的有 N—ISDN 和 B—ISDN, 在实践上人们在高速 Internet 领域做了相应的工作。

(1) 综合接入是指用户通过单一的传输媒体、有限的用户网络接口 (UNI: User Network Interface), 获得综合业务的服务。综合接入的关键是采用用户高速接入线路和统一的网络接口。目前可采用的方式有铜线接入方式、光纤和铜线混合接入方式和光纤接入方式。其中铜线接入包括高速数字用户环路 (HDSL), 提供双向对称 2Mbit/s 的传输能力; 不对称数字用户环路 (ADSL), 提供双向不对称传输能力, 端局到用户下行可达 6Mbit/s, 用户到端局上行 768kbit/s; 超高速数字用户环路 (VDSL), 提供 300m 距离内上行 2Mbit/s 和下行 51Mbit/s 传输能力。混合方式有光纤同轴混合网 (HFC)。光纤接入方式有光纤接入网络 (FITL), FITL 则根据光纤端点放置位置可分为光纤到路边 (FTTC)、光纤到大楼 (FTTB) 和光纤到用户 (FTTH) 等几种方式。

(2) 综合传输是指不同种类的业务共享网络的高速传输链路。综合传输的关键是各种业

务共享复用传输信道,目前多种业务的局间通道都采用了光纤化的同步数字系列(SDH)传输系统,但目前尚未真正做到统计复用。SDH 是由光纤同步网(SONET)演变而来,是新一代传输体制,其特点:

- 网络节点接口(NNI)全世界统一;
- 有一套标准化的信息结构等级:STM—1(155Mbit/s)、STM—4(622Mbit/s)、STM—16(2488Mbit/s);
- 有强大的网管功能;
- 使用大量软件适应联网的要求。

(3) 综合交换是指在单一的交换机上进行多速率、多媒体业务的交换,为了满足不同媒体的不同的服务质量(QoS),需采用 ATM 交换技术。ATM 技术作为 B—ISDN 核心技术,实现信息的高速传输与交换,其主要特点:

- 支持多媒体通信;
- 速率:155 Mbit/s~2.4G Mbit/s;
- 满足局域网和广域网的应用,可实现广域网和局域网通信的无缝连接。

(4) 综合控制和管理是指采用统一的网络管理软件对网络进行性能监测、故障处理以及操作维护,采用统一控制软件完成资源分配、通信建立和通信拆除。

1.4.2 综合业务数字网

(1) N—ISDN

N—ISDN 是以综合数字网(IDN)为基础演变而成的通信网,能提供端到端的数字连接,用以支持包括话音和非话音在内的多种电信业务,用户能够通过有限的一组标准化的多用途用户/网络接口接入网内。要想实现 ISDN 必须同时具备两个条件:一个是技术的综合,另一个是业务的综合,而技术综合是业务综合的基础。

N—ISDN 能提供两种速率的接口标准:

一种是基本速率接口 2B+D,即在一对电话线上同时提供两个 64kbit/s 的 B 通道和一个 16kbit/s 的 D 通道。64kbit/s 的窄带业务包括数字电话、数据(电话交换或分组交换)、四类传真、可视图文、64kbit/s 或 128kbit/s 会议电视或可视电话,以及 ISDN 附加业务,如主叫识别、呼叫转换、闭合用户群等。

另一种是基群速率接口,即 1.544Mbit/s(23B+D)和 2.048Mbit/s(30B+D)接口,主要用于连接用户交换机(PBX)、集中用户交换及计算机等大信息量用户。

(2) B—ISDN

B—ISDN 采用类似于 N—ISDN 的网络定义,但是在交换、传输和接入方面都是以 ATM 技术作为支持,可接入各种业务并能保证相应的服务质量。由于 B—ISDN 采用一种全新的 ATM 高速交换技术,其交换结构具有无阻塞特点,吞吐量大,可以同时处理各类不同速率的通信业务,具有很强的网络流量控制、管理和维护功能。

B—ISDN 在用户/网络接口提供 150Mbit/s 以上的应用,可以向用户提供会话型业务(宽带可视电话、宽带会议电视、视频/音频信息传输业务、高速数字信息传输业务、高速传真等),电子信函业务和检索型业务(宽带可视图文、图像检索、数据检索等),分配型业务(高清晰度电视、付费电视、文件分配和图像信息分配等)三大类型。

(3) N—ISDN 与 B—ISDN 的比较

与 N—ISDN 相比, B—ISDN 有以下三个特点:

- 以光纤为传输媒介;
- 以信元为传输、交换的基本单元;
- 虚信道、虚通道的利用。

N—ISDN 与 B—ISDN 不是相对立的, 它们各有各的用处, 两者不能相互替代。(N—ISDN 主要用于速率为 2Mbit/s 以下的业务, 而 B—ISDN 要在用户/网络接口提供 150Mbit/s 以上的应用。)

1.4.3 高速计算机互联网络—Internet II

随着 Internet 的发展, Internet 的用户呈指数形式增加, 对 Internet 带宽要求越来越大, 对 Internet 现有的传输质量要求也越来越不满意。1996 年 10 月美国政府宣布支持美国大学发展联盟 (UCAID) 关于建立第二代 Internet 网络的要求, 建立以 ATM 作为骨干网络, 以新一代 TCP/IP 为协议的高速信息公路 (NII), 这标志着 NII 计划将沿着 Internet 网络方向发展。

1. 高速 IP 协议

第二代 Internet 网络的目标是解决现有 Internet 存在或将要出现的问题, 逐步实现在 IP 协议支持下运行各种业务。现有 Internet 网络存在主要缺点有: 现有地址无法满足网络用户接入, 无法保证实时业务的 QoS 需求, 无法支持点到多点 and 多点到多点业务。为此人们在协议簇上作了很大改进, 主要包括传输层和网络层协议。在传输层提出:

- 高效传输协议 (HIPENT)。HIPENT 是具有并行结构的带外信令方式, 是为宽带传输网络设计的传输协议, 充分考虑到网络传输的低时延和低错误率的特点, 简化相应的处理操作。

- 快速传送协议 (XTP)。XTP 是用以提供高达 Gbit/s 级网络上的传输协议, 可以提供 TCP 协议数据传输和实时业务的传送。

- 多媒体传输协议 (TP++)。TP++ 是贝尔实验室提出的高效多媒体传送协议, TP++ 可以传输交互式传输业务、分布式事务处理以及大量数据传输。

- 实时传送协议 (RTP)。RTP 是由 IBM 提出的传输层协议, 可以操作在 Gbit/s 级网络上的轻载协议。RTP 支持时钟恢复、丢失监测、安全性及传输信息种类标识。

在网络层增加了资源预留协议 (RSVP), 它是保证网络实时通信的最重要的因素。另一个是流协议 (ST)。

2. 宽带 IP 技术

Internet 用户数及业务量增长非常快, 特别是随着广域业务量的增长, 对网络规模的需求越来越大, 对网络链路带宽的要求也越来越多; 同时由于 IP 业务量所占的比例越来越高, 因此有必要研究开发宽带 IP 技术来优化、完善骨干网络的设计, 如 IP Over ATM、多协议标记交换 (MPLS)、IP Over SDH/SONET、IP Over WDM、Internet QoS 以及吉 (千兆) 比特路由器等技术, 它们将会成为宽带 Internet 的主要网络技术。

1.5 网络发展的趋势—三网合一

近 10 年来, 全世界电话用户的增长率平均为 5%~10% 左右, 然而, 由于计算机的广泛

应用和普及，数据业务呈现出指数式增长态势，平均年增长率达 25%~40%，远高于电话业务。特别是 IP 业务正呈现爆炸式增长，其规模和业务量已达到了约 6~12 个月左右就翻一番的地步，比著名的大规模集成电路集成度进展的摩尔定律（约 18 个月左右就翻一番）还要快得多。从世界范围看，估计在未来的 10 年内，包括中国电信业在内的世界主要网络的数据业务量都将先后超过电话业务量。最终，网络的业务构成，将发生以数据业务量为主的根本性变化。

进入 21 世纪，人类的活动越来越多地依赖于网络，网络日益成为现代社会的基础结构，人类社会正明显地向网络社会演变。目前，人类拥有的网络都是完成各种各样业务信息传输的通信网，例如，以话音业务为主的电信网、以数据业务为主的计算机网、以图像业务为主的电视网（含有线电视网）等三大网络。但是，这些通信网还存在容量资源有限、转移效率不高、技术上过于个性化等诸多问题，不适应现代信息社会发展的需要。

1.5.1 三网融合的大趋势

前面提到的三种网，即电信网、计算机网和有线电视网等三大网络的规模都很大，它们所使用的技术相差很大，各自都有其优点和不足，因此在短期内要用一种网络替代似乎不太可能。通信技术、计算机技术突飞猛进的发展，加快了信息化的进程，促使这三种网络都在快速演变，力图使自己具有其它网络的优点，因此，就出现了“三网融合”的大趋势。所谓三网融合从概念上讲，至少可以涉及到技术融合、业务融合、终端融合和网络融合，还包括市场融合、行业融合等。表现为技术上趋向一致，在网络层上可以实现互联互通，在业务层上互相渗透和交叉，在应用层上使用统一的 TCP/IP 通信协议，使得各种以 IP 为基础的业务都能在不同的网络上实现互通。图 1.6 中有阴影的部分表示这三种网络各自的优势所在，而箭头表示目前要演变的方向。

网络类型 网络功能	电话网 (电话交谈)	计算机网 (数据传送)	有线电视网 (电视传播)
智能			
双向通信			
信令或协议			
交换或寻址			
计费、安全			
实时性			
宽带能力			

图 1.6 三大网络的优势及其演变的方向

1. 三大网络的特点

电话网具有 100 多年的历史，覆盖面很广，目前全球电话网拥有 7.5 亿用户。电话网采用了电路交换技术，保证了实时通信，有明确的服务质量（QoS），有完善的网络管理机制。但电话网不能充分有效地利用传输资源，没有充分地利用智能网的业务功能。尤其是电话网中的程控交换机，都是以采用电路交换方式，话路标准速率是以 64kbit/s 这一标准设计的，目前已无法改动。因此以电话网为基础是很难实现宽带化的。

有线电视网目前全世界有 9 亿以上的用户,而且近年来增长速度很快。有线电视网的实时性和带宽能力都很好,但它为了适应电视点对面的广播性质,采用了单向传输技术,不利于实现双向通信。使现有的单向传输电缆改造成具有双向通信功能、交换功能和网络管理功能的宽带网络,则仍需要付出较大的代价。

计算机网络为了适应非实时数据通信的要求,采用了分组交换方式,导致了不能支持实时通信。其次就是带宽特性,虽然主干网可采用波分复用的光纤技术可以满足带宽特性,但用户宽带接入网问题仍需加以解决。再次是网络管理的记费和安全问题。

2. 实现三网融合的技术问题

以三网融合为基础的 B—ISDN 若能同时传输语音、视频、数据等各种信息,必须具有很宽的网络带宽、较好的 QoS 和统一的信息表达形式。所以只有同时具备传输、交换和接入的宽带化,并且在网络的各个环节对各种信息进行统一处理,才能构筑三网融合赖以存在的技术前提。

① 骨干网传输的宽带化是三网融合的基础。随着光纤通信技术的发展,以光纤为媒介、以 DWDM+SDH 为主的光纤网成了电信骨干传输网的主流,在普通标准单模光纤上提供 $4 \times 2.4\text{Gbit/s}$ 传输能力的 WDM 系统已经商品化,传输能力达 400Gbit/s 的波分复用系统已研制成功,因此以密集波分复用(DWDM)为基础的光通信网络将成为三网融合的基础。但存在的问题是:如何保证音频和视频的 QoS;如何以一种统一的数据格式传输各种信息;如何与传统的公用电话交换网(PSTN)兼容;如何进行复杂、灵活的网络管理。

② 宽带交换是三网融合实现 B—ISDN 的关键。以信元交换、统计复用为特征的异步传输模式(ATM)对语音、图像、数据都有很好的适应能力,可以保证较好的 QoS,交换速率高于 150Mbit/s 。另外,新一代的吉位线速路由交换机面世,它采用专用硬件而不是软件来进行包处理,比传统路由器速度快几十倍。但无论 ATM 交换机,还是吉位线速路由交换机,在交换速度、网络吞吐量、QoS 等方面还远不能达到三网融合所需的性能指标。另一个问题是三网融合要求网络交换机对语音、视频、数据以统一的格式进行交换。现在语音交换主要基于 PSTN 的电话交换、数据交换主要基于 TCP/IP 协议的 IP 包交换,而有线电视则采用相对独立的方式,利用光纤同轴混合网(HFC)对电视信号进行分配和传输。如何把这几种相对独立、形式各异的信号予以统一,这是 B—ISDN 的重点,目前学术界尚无统一的认识。

③ 宽带接入网是从用户端到局端或网络节点的所有设备,接入网问题又称为“最后一公里问题”,也是三网融合的主要难点之一。现阶段,接入网技术主要有 HFC 技术和基于铜线的 xDSL(包括 ADSL、HDSL、VDSL 等)技术,由于 HFC 过高的成本和 ADSL 过高的设备价格,绝大多数用户难以接受。

从以上分析可以看出,三网融合的技术条件在现阶段还是不成熟的。在今后很长的一段时间内仍将是三网共存。

1.5.2 三网融合技术的发展

技术的发展是三网融合的基本推动力量。首先是数字技术的迅速发展和全面采用,使语音、图像和数据信号都可以通过统一编码进行传输和交换。其次是光通信技术的发展,为综合传送各种业务信息提供了必要的带宽和传输质量。最后也是最重要的是统一 TCP/IP 协议的普遍采用,使得以 IP 为基础的业务都能在不同的网上实现互通。IP 网络已经从过去单