

计算机网络工程指南

A Guide for Computer
Network Engineering

胡道元 主编



62
/1

電子工業出版社

计算机网络工程指南

胡道元 主编

電子工業出版社

(京)新登字 055 号

内 容 提 要

本书从网络工程的角度,以局域网为重点,着重在网络的连接性、互操作性、可管理性、分布应用等方面做了较全面的论述。并从用户的观点出发,论述了规划网络的方法,回答了网络建设中带有普遍性的问题。同时还详细介绍了当今国际最新的网络技术和流行的网络产品,如 SNA、DEC net、NetWare、LAN-manage、OSI、TCP/IP 等,并配有大量的在不同领域的应用实例。为了方便读者查阅,本书还收录了近千条网络技术术语,中英文对照,并配有相应的解释。

计算机网络工程指南

主 编 胡道元

责任编辑 郭永梅

*

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

中国人民解放军 2207 工厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:26 字数:699 千字

1993 年 9 月第一版 1993 年 9 月第一次印刷

印数:1—10000 册 定价:21.00 元

ISBN 7-5053-2095-5/TP·545

序

继八十年代计算机信息技术的迅猛发展,一次新的信息技术革命在蕴育之中。九十年代计算机技术的发展方向已趋明朗,分布式小型化、网络化、多媒体技术和开放系统,成为当今世界计算机界公认的主流技术。

其中,网络技术发展,尤其令人注目。网络系统由局域网向广域网发展;网络的传输媒体由有线技术向无线技术发展;工程 workstation 在步入网络环境等,技术和产品日新月异。网络化的计算机系统,将无限地扩展计算机应用的平台,成为小型分布化、多媒体、开放系统的载体。

然而,在今天缤纷的计算机网络世界中,面对众多的网络产品和联网方案,如何选择网络技术,如何规划和实施网络方案以及如何管理一个网络内的资源,却是摆在研制开发、工程设计及管理人员面前亟待解决的问题。

根据这种社会需求,在我司的倡议下,由国际电子报社和北京五洋实业公司共同主办,聘请国内知名网络技术专家,编写了这本“计算机网络工程指南”。

本书以实用性为重点,论述了规划网络的方法,在网络连接、互操作性、可管理性以及分布式应用方面做了较全面的说明。同时,还详细地介绍了国际上最新的网络技术和流行的网络产品。

本书适合于网络开发、网络工程设计与施工、网络应用管理人员作为参考书和工具书,亦可作为有关学校教学参考书。

我们希望通过本书的出版,能促进计算机网络技术的普及,推动计算机网络的实用工程和应用发展,从而带动我国计算机产业的进步。

JS256/03

编委会 (按姓氏笔划排列)

机电部计算机司

一九九三年四月十八日

陈 冲 宋 衔 赵迎喜

胡道元 郭诚忠 谭尊可

主 编
胡道元

编 著
朱亚清 杨 洋 曾 练

杨志宏 郑锡云

编 审
谭尊可

编 辑
郭永梅 刘 晋 江 浩

引言

农业社会的基础是耕地的犁和拉犁的牲畜,工业社会的基础乃是引擎和供给引擎的燃料,信息社会的基础则是计算机和互连计算机的信息网络。计算机技术和通信技术的结合形成了现代信息技术、信息技术的飞速发展和广泛应用,使信息时代飞速地转变成信息网络的时代。信息网络在经济发达国家已经成为十分重要的基础设施。

在过去二十年内,计算机和通信工具每年的增长速度至少为 25%。随着计算机的功能不断增强,价格急剧降低,计算机几乎是无处不有,无所不能,近两亿台个人计算机和成千上万个软件包正在帮助人们工作和生活。与此同时,计算机通信网络也以惊人的速度飞速发展,几百万英里的光纤在远距离通信中速率可达每秒千兆位,局域网成为连接各个大楼不可缺少的设施,蜂窝网和各种无线网可连到汽车和行人。计算机网络紧密结合在一起,成为重要的信息基础设施,其发展前景是十分可观的。

人们正在致力于建立一个全球性的信息网络,可方便地交换信息、提供信息服务以及共享知识和创造力。信息网络的应用正深入到国民经济各部门、社会生活各方面。在网络中邮寄一封信只需几秒钟,可送到世界各地;公司的设计人员和市场开发人员可以通过网络合作开发一个产品,即使他们分别在不同的城市和国家,无法在同一时间对话;消费者可通过网络来订货和付款;通过网络可进行远距离教学;计算机网络可以减轻人们大量的传递和处理信息的工作负担,加快处理速度,提高处理质量。

对信息网络重要性的认识根本上是涉及对信息价值的认识,这里包括信息工业对社会创造的直接财富,以及通过信息和信息交流产生的间接价值。例如,美国计算机软、硬件的产值每年为 5 千亿美元,占国民生产总值的十分之一,而全社会有 60% 的工作涉及信息,如考虑由此产生的价值,那这一产业在国民生产总值中的比例还要高很多。即使这样,也还不能说一个真正的信息基础设施已在美国建成,比之于高速公路网、电话网、电力网这些社会公共基础设施还有相当差距。为了建设一个真正的信息基础设施,要解决信息网络的三个关键问题,即灵活的信息传送功能、各种公共服务以及公共通信协议。

在全球性信息网络的建设中最为成功的乃是全世界最大的计算机网 Internet,目前已有 137 个国家、200 万台计算机、1 万个子网接入该网,用户达 2000 万,并有上千个网络服务提供者。Internet 是由为数众多的子网互连起来,它起源于美国的 ARPANET,目前全美共有 27 个区域网,每个区域网覆盖一个或几个州,连接 50~150 个部门的校园网(Campus Network),通过 NSFNET 主干网把这些区域网连接在一起,并和北美其它国家、欧洲、亚洲、非洲和澳大利亚等各个国家网、区域网连成一个覆盖全球的网,运行公共的通信协议 TCP/IP,在网上提供了广泛的应用服务和丰富的共享资源。预测到 2000 年,Internet 将发展到上亿台计算机、几百万个子网接入该网,用户达十亿,并有上万个网络服务提供者。

建立全球信息网,首先要确定互连网络的体系结构。这种体系结构应该是一个多厂商的、多协议的互连网模型,这个模型能适应从小到大的各种网络规模,具有十分灵活的配置功能,并能满足为数众多的应用需求。互连网的方案需要完善的集成,使成为一个共享的、开放的、易于管理的互连网。互连网结构将成为通用的网络结构,包括局域网 LAN 和广域网 WAN 的互连;多媒体的传输;

各种数据链路技术;不同的通信协议;连接众多局域网的主干网;通用的、灵活的、全局网络;以及功能很强的企业管理平台等。

局域网的互连是全球信息网的基础,局域网将在很大程度上代替现有的数据 PBX、分组组装拆装设备 PAD 以及簇控制器(Cluster controllers),成为一种新的集中器。原有的 IEEE802.3 以太网、IEEE802.5 标记环网将继续普遍流行,速率为 100Mbps 的光纤分布数据接口在九十年代将普遍推广,千兆位速率的高速局域网正在研究试验中。

局域网互连设计涉及的一些关键问题有:各种互连桥、路由器的选择;不同厂商互连设备的实现;全局网络地址的策略;性能价格比好的传输机制选择;以及结构化布线系统等。

在广域网方面正向高速、宽带连网发展。64Kbps~2Mbps 速率的帧中继(Frame Relay)是一种在用户设备与网络设备之间的接口协议,比现有的 X.25 协议更为有效。分布式队列双总线 DQDB 是由 IEEE802.6 委员会建议的一种用于城域网的通信协议,最高速率可达 155Mbps。同步光纤网 SONET 已被确认为国际标准的高速同步网,最高速率可达 2.4Gbps。多兆位交换数据服务 SMDS 是由电话公司提出的一种高速分组交换、以数据为基础的 WAN 连网技术,可运行在 T1、T3 和 E1、E3 的速率,并可方便地和 LAN 相连。异步传输模式 ATM 用于单元中继的 CCITT 标准,它规定各种类型的服务(声音、视频、数据)信息都用小的、大小固定的单元进行传输,速率从 64Kbps 到 600Mbps。宽带综合业务数字网 B-ISDN,是正在开发的一种用于处理类似视频的宽带通信标准的网。把 ATM 和 SONET 结合,构成 B-ISDN,将成为今后高速广域网的主流技术。

企业网(Enterprise Network)和校园网(Campus Network)将成为全球信息网中最基层的网络,也是为数众多的、应用广泛的网络。企业网和校园网的建设涉及四个关键问题,即连接性问题、互操作性问题、可管理性问题和分布应用问题。事实上,这些问题也是网络建设普遍存在的问题。

连接性包括传输介质的选择和结构化布线系统;各种网络设备的配置,诸如 IEEE802.3 以太网、IEEE802.5 标记环网、光纤分布数据接口 FDDI 网等;各种网络互连设备的配置,诸如桥、路由器等。

互操作性主要是遵循开放系统的原则,国际标准化组织的开放系统互连参考模式无疑是公认的开放系统标准;与此同时,像 TCP/IP 这种事实上的工业标准已被广泛接受和应用,也应该看成是开放系统;此外,按照多厂商、多协议的互连网络体系结构,也需要容纳一些功能强、性能好、已被广大用户采纳使用的协议及产品。

网络是一个系统,随着网络规模的扩大,网络的管理成为迫切需要解决的问题,同时,也需要制订相应的网络管理标准。简单网络管理协议 SNMP 是 Internet 的网络管理协议,是提供监控、设置网络配置以及运行参数的工具,目前已被很多网络采用;还有 CMOT 是在 TCP/IP 协议层的上面使用 OSI 的网络管理协议 CMIP;公共管理信息协议 CMIP 和公共管理信息服务 CMIS 是 ISO 提出的用于异构网络的 OSI 网络管理协议和服务接口。

一个企业网或校园网是一个单位的信息基础设施。除了一般的常规网络应用和网络服务外,一些新的应用正在开展,如基于计算机的通信 CMC(Computer-Mediated Communication)包括电子邮件、电子公告牌和电子会议将改变人们通信的方式、运行机制和组织结构;计算机支持的网络合作 CSCW(Computer Supported Collaborative Works)是一种崭新的网络应用,分散在各地的研究人员可以通过网络开展同一课题研究的合作;远距离教育(Distance Education)是另一个有前途的网络应用,现代社会各行各业对知识的更新需求是迫切的,在一般情况下,远距离教育是一种经济和可行的方法。

九十年代,我国计算机网络建设的需求将日益增多,网络应用也将更加普遍,这种需求正是编

写本书的背景。

作为一本网络工程指南,选材力求实用,兼顾先进;内容尽量具体,兼顾全面。本书以局域网为重点,但也涉及很多计算机网络普遍性的问题,着重在网络的连接性、网络的互操作性及网络的应用诸方面予以论述。

网络的连接性包括物理传输介质、网络拓扑结构、结构化布线系统、串行通信技术、局域网参考模型和协议机制、流行的 IEEE802.3、IEEE802.5 网、光纤分布数据接口 FDDI 网、以及局域网互连技术。

网络的互操作性论述各种网络体系结构,包括开放系统环境、ISO/OSI 开放系统互连、事实上的工业标准 TCP/IP 体系结构、以及 SNA、DECnet、Netware、LAN MANAGER 等现有的较流行的网络。

在网络应用方面将介绍广泛的网络应用,以及工业集散系统网络、计算机集成制造系统网络。

本书还介绍网络规划的方法,以及大量的网络术语。全书的章节安排如下:

第一章,概述网络基础知识。包括数据通信技术、数据交换技术、网络体系结构及协议、传输介质及拓扑结构。

第二章,论述串行通信。包括串行通信概论、PC 串行通信和串行通信编程。它涉及计算机接口、调制解调器、文件传输协议等。

第三章,论述局部网络。重点是局域网 LAN,包括 LAN 参考模型、逻辑链路控制协议、CSMA/CD 介质访问控制、标记环介质访问控制、标记总线介质访问控制、光纤分布数据接口 FDDI、计算机交换分机 CBX、综合业务数字网 ISDN、以及各种网络互连技术。

第四章,论述网络体系结构。开放系统原则是实现网络互操作性的重要保障,国际标准化组织 ISO 提出的开放系统互连 OSI 参考模式及相应的标准是实现开放系统的依据。TCP/IP 是当今最流行的、应用最广的事实上的工业标准。SNA、DECnet、Novell Netware、LAN MANAGER 也是应用较广的网络协议。

第五章,介绍结构化布线系统及产品。这是网络实现的基础。布线系统的设计、配置和安装对网络的性能、可靠性、扩展性都有重要影响。

第六章,介绍网络的应用。包括各种网络服务器、分布式系统、局域网在办公自动化中的应用、电子数据交换 EDI、校园网、以及各种在线系统的应用等。

第七章,论述工业网络。包括集散系统网络和计算机集成制造系统 CIMS 网络。集散系统采用了局域网技术。CIMS 中的通信系统由各种通信机制组成,包括局域网络、点到点通信和场地总线。

第八章,介绍网络规划方法,从用户的观点出发,如何规划一个计算机网络,以及网络的设计、安装、维护。本章还论述网络的管理和安全,以及网络的性能评价方法。

最后是术语汇编。计算机、通信网络术语涉及面广、数量多,且不断产生新的术语,本书收集了近千条术语,并给予简要的解释,可供读者方便查阅。

附录给出了网络产品和网络公司索引。

本书由胡道元教授主编,第一、三章由胡道元编写,第二章由杨洋编写,第四章由曾炼编写,第五章由杨志宏编写,第六、八章由胡道元、朱亚清、曾炼编写,第七章由朱亚清、郑锡云编写,术语由朱亚清汇编。郭永梅在本书的编写、组织中做了不少工作。

目 录

第一章 网络基础知识

1.1 数据通信技术	(1)
1.1.1 模拟数据通信和数字数据通信	(1)
1.1.2 数据编码技术	(2)
1.1.3 多路复用	(4)
1.1.4 异步传输和同步传输	(6)
1.2 数据交换技术	(7)
1.2.1 线路交换	(7)
1.2.2 报文交换	(8)
1.2.3 分组交换	(9)
1.2.4 交换技术的比较	(10)
1.2.5 高速交换技术	(11)
1.3 网络体系结构及协议	(12)
1.3.1 协议和体系结构	(12)
1.3.2 开放系统互连 OSI 模型	(13)
1.3.3 局域网 LAN 协议结构	(14)
1.4 传输介质	(15)
1.4.1 双绞线	(15)
1.4.2 同轴电缆	(16)
1.4.3 光纤电缆	(17)
1.4.4 无线传输介质	(20)
1.4.5 传输介质的选择	(20)
1.5 拓扑结构	(21)
1.5.1 星型拓扑	(21)
1.5.2 总线拓扑	(22)
1.5.3 环型拓扑	(23)
1.5.4 树型拓扑	(24)
1.5.5 星型环拓扑	(24)
1.5.6 光纤局域网拓扑	(25)
主要参考资料	(27)

第二章 串行通信

2.1 串行通信概论	(23)
2.1.1 概述	(23)
2.1.2 数据传送方式	(23)
2.1.3 异步串行数据通信	(32)
2.1.4 通信硬件	(36)
2.1.5 通信软件功能	(43)
2.1.6 终端仿真和文件传输协议	(44)
2.2 PC 串行通信	(52)
2.2.1 用户级的 PC 通信	(52)
2.2.2 DOS 和 BIOS 级的 PC 通信	(52)

2.2.3	UART	(54)
2.2.4	系统级的 PC 通信	(55)
2.3	串行通信编程	(56)
2.3.1	用 BASIC 语言编程	(56)
2.3.2	用 C 语言编程	(60)
2.3.3	用汇编语言编程	(69)
	主要参考资料	(73)

第三章 局部网络

3.1	LAN 参考模型	(75)
3.1.1	服务访问点 SAP	(75)
3.1.2	逻辑链路控制 LLC 子层	(76)
3.1.3	介质访问控制 MAC 子层	(76)
3.1.4	物理层	(76)
3.1.5	服务原语	(77)
3.2	逻辑链路控制协议	(79)
3.2.1	网络层/LLC 子层界面服务规范	(79)
3.2.2	LLC 子层/MAC 子层界面服务规范	(81)
3.2.3	LLC 协议数据单元结构 PDU	(81)
3.2.4	LLC 协议的型和类	(82)
3.2.5	LLC 协议的元素	(82)
3.3	CSMA/CD 介质访问控制	(84)
3.3.1	载波监听多路访问(CSMA)	(84)
3.3.2	载波监听多路访问/冲突检测(CSMA/CD)	(85)
3.3.3	退避算法	(86)
3.3.4	CSMA/CD 介质访问控制协议	(89)
3.4	标记环(Token Ring)介质访问控制	(89)
3.4.1	标记环操作原理	(89)
3.4.2	优先级策略	(90)
3.4.3	标记环介质访问控制协议	(91)
3.5	标记总线(Token Bus)介质访问控制	(92)
3.5.1	标记总线操作原理	(92)
3.5.2	标记总线介质访问控制协议	(94)
3.6	光纤分布数据接口 FDDI	(97)
3.6.1	数据编码	(93)
3.6.2	时钟偏移	(93)
3.6.3	可靠性	(99)
3.6.4	FDDI 帧格式	(99)
3.6.5	容量分配	(99)
3.6.6	FDDI 系统	(101)
3.7	计算机交换分机 CBX	(103)
3.7.1	CBX 的发展	(103)
3.7.2	CBX 的结构	(103)
3.7.3	CBX 与 LAN 的对比	(105)
3.7.4	使用 CBX 将终端和主计算机连接	(106)
3.7.5	数据呼叫处理软件	(107)
3.7.6	用户连接到远程计算机	(107)

3.7.7 协议转换和网络间通信	(108)
3.7.8 处理器之间通信	(109)
3.7.9 综合声音/数据服务	(110)
3.8 综合业务数字网 ISDN	(110)
3.8.1 什么是 ISDN	(111)
3.8.2 ISDN 系统结构	(111)
3.8.3 ISDN 协议参考模型	(113)
3.8.4 ISDN 交换系统	(114)
3.8.5 ISDN 联网技术	(115)
3.8.6 ISDN 展望	(116)
3.9 网络互连	(118)
3.9.1 网络互连结构方案	(118)
3.9.2 桥	(119)
3.9.3 路由器	(123)
3.9.4 Internet	(127)
3.9.5 IEEE802 互连网络规范	(129)
主要参考资料	(134)

第四章 网络体系结构

4.1 开放系统环境和组织	(136)
4.1.1 开放系统环境	(136)
4.1.2 开放系统发展背景	(136)
4.1.3 开放系统组织	(137)
4.2 ISO/OSI 开放系统互连体系结构	(141)
4.2.1 OSI 模型	(141)
4.2.2 OSI 各层功能	(146)
4.3 TCP/IP 网络	(161)
4.3.1 TCP/IP 的来源与发展	(161)
4.3.2 TCP/IP 的网络体系结构	(161)
4.3.3 TCP/IP 功能描述	(162)
4.3.4 TCP/IP 应用开发前景	(169)
4.4 SNA	(169)
4.4.1 SNA 层次模型	(170)
4.4.2 SNA 功能与应用	(171)
4.5 DEC 网络与 DNA	(175)
4.5.1 DNA 层次模型	(177)
4.5.2 协议处理	(178)
4.6 Novell Netware	(180)
4.6.1 Novell 网的发展	(180)
4.6.2 Novell Netware 体系结构分析	(181)
4.7 LAN Manager	(185)
4.7.1 LAN Manager 模型	(185)
4.7.2 层次功能简介	(187)
4.7.3 LAN Manager 应用开发	(190)
主要参考资料	(191)

第五章 结构化布线系统

5.1 布线系统设计	(192)
------------------	-------

5.1.1 布线系统与网络体系结构	(193)
5.1.2 地理与建筑结构	(195)
5.1.3 未来发展与业务预测	(196)
5.2 布线系统安装	(197)
5.2.1 布线系统组成及施工	(197)
5.2.2 缆线接续	(204)
5.3 布线系统产品实例	(206)
主要参考资料	(210)

第六章 网络应用

6.1 网络服务器	(211)
6.1.1 打印服务器	(211)
6.1.2 终端服务器	(212)
6.1.3 磁盘服务器	(212)
6.2 文件服务器	(215)
6.2.1 文件服务器接口	(215)
6.2.2 设计文件服务器的若干问题	(216)
6.3 分布式系统	(220)
6.3.1 分布式系统发展背景	(220)
6.3.2 分布式系统设计要点	(220)
6.3.3 分布式系统应用与开发	(221)
6.4 局域网在办公自动化中的应用	(223)
6.4.1 办公室通信	(223)
6.4.2 IBM 制定的文本结构	(224)
6.4.3 X.400 报文处理系统	(224)
6.5 电子数据交换 EDI	(226)
6.5.1 早期的 EDI 通信	(226)
6.5.2 EDI 使用增值网通信	(226)
6.5.3 EDI 使用 MHS 通信	(227)
6.5.4 EDI 的标准化	(227)
6.6 校园网	(229)
6.6.1 国外校园网发展概况	(229)
6.6.2 网络类型和网络体系结构的选定	(230)
6.6.3 清华大学校园网	(231)
6.7 在线世界	(234)
6.7.1 在线服务	(235)
6.7.2 著名在线系统介绍	(237)
6.7.3 在线系统数据库	(238)
6.7.4 在线系统应用	(239)
主要参考资料	(244)

第七章 工业网络

7.1 概述	(245)
7.2 集散系统	(245)
7.2.1 集散系统结构	(245)
7.2.2 集散系统特点	(247)
7.2.3 集散系统的通讯系统	(248)
7.2.4 集散系统的选择	(250)

7.2.5 各国典型集散系统简介	(255)
7.2.6 集散系统概观	(260)
7.3 集散系统应用实例	(260)
7.3.1 YEW PACK MARK I 系统在靖远电厂的应用	(260)
7.3.2 仪征化纤涤纶一厂聚酯生产的 TDC-3000	(275)
7.3.3 I/A S 系统在济南涤纶厂的应用	(277)
7.4 计算机集成制造系统 CIMS	(281)
7.4.1 概述	(281)
7.4.2 CIMS 系统结构	(281)
7.4.3 CIMS 网络特点	(282)
7.4.4 制造自动化协议 MAP	(284)
7.4.5 办公自动化协议 TOP	(286)
7.4.6 场地总线 Field Bus	(287)
7.4.7 CIMS 中的点-点通信	(288)
7.4.8 CIMS 集成通信结构	(289)
主要参考资料	(291)
第八章 网络规划	
8.1 网络规划方法	(292)
8.1.1 问题定义	(292)
8.1.2 系统可行性分析	(294)
8.1.3 分析与设计	(296)
8.1.4 安装与维护	(296)
8.1.5 网络规划工作清单	(297)
8.2 网络管理	(299)
8.2.1 网络管理	(299)
8.2.2 网络控制	(300)
8.2.3 网络安全	(300)
8.3 网络性能评价	(302)
8.3.1 网络性能度量	(302)
8.3.2 响应时间	(303)
8.3.3 吞吐率	(304)
8.3.4 资源利用率	(306)
8.3.5 简单的性能界限估算	(307)
主要参考资料	(309)
附录 1 术语汇编	(310)
附录 2 网络产品	(351)
附录 3 网络公司索引	(370)

第一章 网络基础知识

1.1 数据通信技术

本节介绍数据通信的一些基本概念。首先介绍几个术语：

1. 数据：定义为有意义的实体。数据涉及到事物的形式，而信息涉及的是这些数据的内容和解释。
2. 信号和信号发送：信号是数据的电磁或电子编码。信号发送是指沿传输介质传播信号的动作。
3. 传输：指传播和处理信号的数据通信。

1.1.1 模拟数据通信和数字数据通信

模拟数据和数字数据的概念是非常简单的。模拟数据是连续的值。例如，声音和电视图象就是强度连续改变的波形。大多数用传感器收集的数据，例如温度和压力，都是连续值。数字数据是高散的值。例如：文本信息和整数。

在通信系统中，利用电信号把数据从一个点传到另一个点。模拟信号是电磁波，这种电磁波可以按照不同频率在各种介质上传输；数字信号是一系列的电脉冲，例如，用恒定的正电压来表示二进制 1，用恒定的负电压来表示二进制 0。

发送数字信号的最基本优点是比发送模拟信号便宜，而且很少受噪音干扰的影响。最主要的缺点是数字信号比模拟信号易衰减。

模拟数据和数字数据都可以用模拟信号或数字信号来表示，因而也可以用这些形式传播，图 1.1 给出了这种情况。一般来说，模拟数据是时间的函数，并且占有一定的频谱范围。这种数据可以直接用占有相同频谱范围的电磁波来表示。最好的例子是声音数据。作为声波，声音数据的频率范围在 20Hz~20kHz 之间。然而，大多数语音能量的频率范围要窄得多。声音信号的标准频谱是 300~3400Hz，为了清楚地传播声音，这个频谱是完全足够的，电话设备恰恰是这样做的。为了使所有的声音以 300~3400Hz 输入电话设备，需要产生有相同频率范围的电磁信号。可以用相反的过程把电磁能转换为原来的声音。

利用调制解调器(MODEM)，数字数据也可以用模拟信号来表示。调制解调器通过一个载波信号把一串二进制(双值)电压脉冲转换为模拟信号。所产生的信号占有以此种载波频率

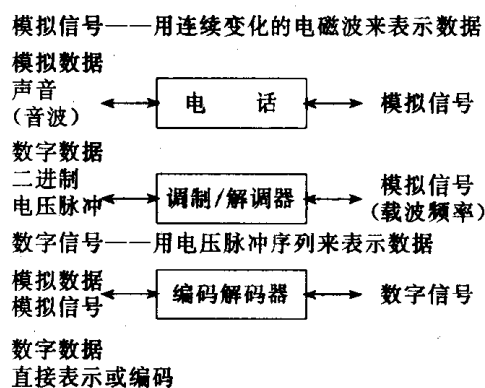


图1.1 模拟数据、数字数据的模拟、数字信号发送

为中心的某一频谱，并且能在适合于此种载波的介质上传播。大多数通用的调制解调器都用音频频

谱来表示数字数据,因此能使数字数据在普通的音频电话线上传播。在线路的另一端,调制解调器把载波信号解调为原来的数字数据。

与调制解调器完成的操作相类似,模拟数据也可以用数字信号来表示。对于声音数据来说,完成这种功能的是编码解码器(CODEC)。编码解码器接收一个直接表示声音数据的模拟信号,然后用二进制位流近似地表示这个信号。在线路的另一端,二进制位流被重新构造为模拟数据。

数字数据也可以直接用二种电平来表示,即用二进制形式表示。然而,为了改变其传播特性,常常对二进制数据进行编码,这一点将在下面说明。

模拟信号和数字信号都可以在合适的传输介质上进行传输,但模拟信号和数字信号之间最终还是有差别的。模拟传输是传输模拟信号的方法。信号可以表示模拟数据(例如声音)或表示数字数据(例如通过调制解调器发送的数据)。无论是哪种情况,在传输一定的距离之后,模拟信号都将衰减。为了实现长距离传输,模拟传输系统都设有放大器、用放大器使信号中的能量得到增加。遗憾的是,放大器也使噪音分量增加。如果通过串联放大器实现长距离传输,那么信号就会越来越畸形。对于模拟数据,例如声音,可以允许许多位的变形,对方仍然能听懂。但是,对于数字数据来说,串联的放大器将会产生数据传输错误。

与此相反,数字传输中的衰减会危及数据的完整性,数字信号只能在一个有限距离内传输。为了获得更大的传输距离,可以使用中继器。中继器接收衰减了的数字信号,把数字信号恢复为1和0的标准电平,然后重新传输这种新的信号。这样,就克服了衰减。

对于远程通信,数字信号的发送不象模拟信号的发送那样用途广泛和实用。例如数字信号发送不可能用卫星系统和微波系统。然而,无论在价格方面还是在质量方面,数字传输都比模拟传输优越,因此,远程通信系统正在把声音数据和数字数据逐步转变为数字传输。

在局部网络中,不一定采用象远程通信那样的解决办法。由于数字电路价格下降,采用数字技术越来越便宜。

1.1.2 数据编码技术

在图 1.1 的四种情况中,除了模拟数据的模拟信号发送外,都需要某种形式的数据表示或者编码。

一、数字数据,模拟信号

模拟信号发送的基础是载波。它是频率恒定的连续信号。用以下几种不同载波特性的调制方法对数字数据进行编码:振幅,频率,相位,或者这些特性的某种组合。图 1.2 给出了对数字数据的模拟信号进行调制的三种基本形式:

1. 移幅键控法 ASK (Amplitude-shift keying)
2. 移频键控法 FSK (Frequency-shift keying)
3. 移相键控法 PSK (Phase-shift keying)

在移幅键控法 ASK 方式下,用载波的两个不同的振幅来表示两个二进制值。在有些情况下,用振幅恒定的载波的存在表示一个二进制数字,而另一个二进制数字用载波的不存在来表示。ASK 方式容易受增益变化的影响,是一种效率相当低的调制技术。在音频线路上,通常只能达到 1200bps。

在移频键控法 FSK 方式下,用载波频率附近的两个不同频率表示两个二进制值。这种方案比

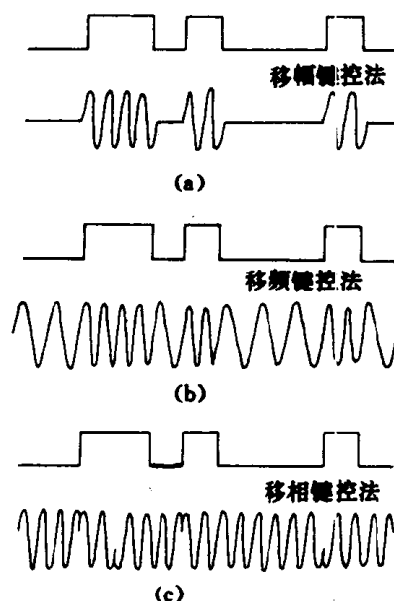


图 1.2 数字数据的模拟信号调制

起 ASK 方式来,不容易受干扰的影响。在音频线路上,通常可达 1200bps。这种方式也广泛用于高频(3~30 兆赫)的无线电传输。它甚至也能用于较高频率的局部网络。

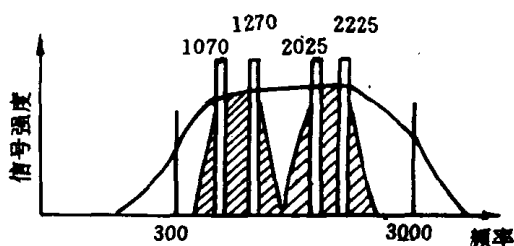


图 1.3 移频键控法 FSK 传输

图 1.3 表示在音频线路上使用移频键控法 FSK 进行全双工操作的例子。全双工指的是,可以同时两个方向传输数据。为了实现这个目的,一个带宽用于发送,而另一个带宽用于接收。在一个方向(发送或接收)上,调制解调器可以通过 300~1700Hz 频率范围内的信号。用来表示 1 和 0 的两个频率以 1170Hz 为中心,两边各有 100Hz 的移位。与此类似,对于另一个方向(接收或发送)来说,调制解

调器可以通过频率为 1700~3000Hz 的信号,并且使用 2125Hz 为中心频率。在每对频率周围的阴影区指出了每个信号的实际带宽。值得注意的是,几乎不存在什么重叠,因此也几乎没有什么干扰。

在移相键控法 PSK 方式下,利用载波信号的相位移动来表示数据。图 1.2C 是一个二相系统的例子。在这个系统中,用发送与以前所发送信号串同相的信号表示 0,用发送与以前发送信号串反相的信号表示 1。移相键控法 PSK 也可以使用多于二相的位移。四相系统能把每个信号串编码为两位。PSK 技术有较强的抗干扰能力,而且比 FSK 方式更有效;在音频线路上,传输速率可达 9600bps。

上述所讨论的各种技术也可以组合起来使用。常见的组合是移相键控法 PSK 和移幅键控法 ASK,组合后在两个振幅上均可以分别出现部分相移或整体相移。

二、数字数据,数字信号

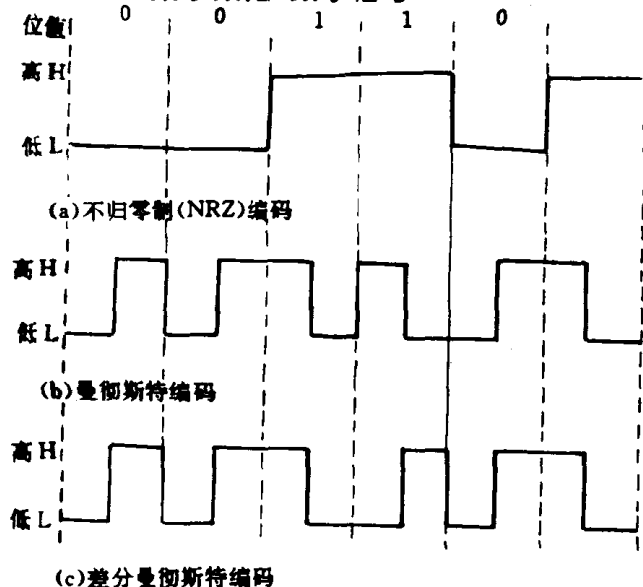


图 1.4 数字信号的编码

对于传输数字信号来说,最普遍而且最容易的办法是用两个电压电平来表示两个二进制数字。例如,无电压(也就是无电流)常用来表示 0,而恒定的正电压用来表示 1。使用负电压(低)表示 0,使用正电压(高)表示 1 也是很普遍的。后一种技术表示于图 1.4(a)中,称为不归零制 NRZ(Non-return to zero)。

不归零制 NRZ 传输也有若干缺点。它难以决定一位的结束和另一位开始。需要用某种方法使发送器和接收器之间进行定时或同步。另外,如果传输中 1 或 0 占优势的话,那么在几位时间内将有累积的直流分量。这样,就不能使用变压器或在数据通信设备和所处环境之间提供良好绝缘的交流耦合。此外,直流分量会损坏

连接点的表面电镀层。

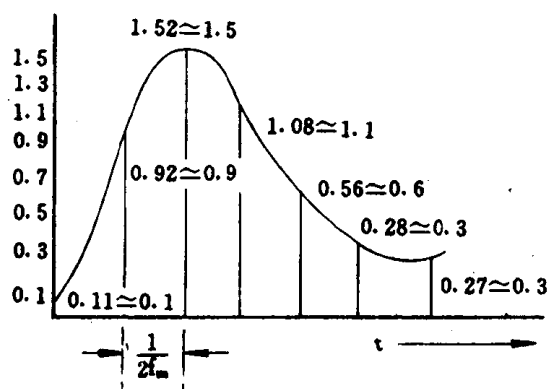
克服上述缺点的另一个编码方案是曼彻斯特编码(图 1.4b),这种编码通常用于局部网络传输。在曼彻斯特编码方式中,每一位的中间有一个跳变。位中间的跳变既作为时钟,又作为数据;从高到低的跳变表示 1,从低到高的跳变表示 0。有时,人们也使用差分曼彻斯特码(图 1.4c)。在这种情况下,位中间的跳变仅提供时钟定时。用每位周期开始时有无跳变来表示 0(1)的编码。在上述两种情况下,由于时钟和数据包含在信号数据流中,所以这种编码称为自同步编码。

三、模拟数据, 数字信号

利用数字信号对模拟数据进行编码的最常见的例子是脉码调制 PCM(Pulse Code Modulation), 它常用于对声音信号进行编码。脉码调制是以采样定理为基础的, 采样定理指出:

如果在规则的时间间隔内, 以高于两倍最高有效信号频率的速率对信号 $f(t)$ 进行采样的话, 那么, 这些采样值包含了原始信号的全部信息。利用低通滤波器可以从这些采样中重新构造出函数 $f(t)$ 。

如果声音数据限于 4000Hz 以下的频率, 那么每秒钟 8000 次的采样可以满足完整的表示声音信号的特征。然而, 值得注意的是, 这只是模拟采样。为了转换成数字采样, 必须把每一个模拟采样值转换成一个二进制代码。图 1.5 表示这样一个例子, 每个采样值都近似地量化为 16 个不同级中的一个。这样, 每个采样值都能用 4 位二进制数表示。当然, 精确地恢复成原始信号是不可能的了。如果使用七位二进制表示采样的话, 就允许有 128 个量化级, 那么所恢复的声音信号的质量就比得上模拟传输所达到的质量。这就意味着, 仅仅是声音信号就需要有每秒钟 8000 次采样 $\times$ 每个采样 7 位 = 56000bps 的数据传输率。



(a)

数字	等效二进制数	脉冲代码波形
0	0000	
1	0001	
2	0010	
3	0011	
4	0100	
5	0101	
6	0110	
7	0111	
8	1000	
9	1001	
10	1010	
11	1011	
12	1100	
13	1101	
14	1110	
15	1111	

(b)

图 1.5 脉码调制

人们常用非线性编码(nonlinear encoding)技术来改进脉码调制 PCM 方案。这种技术不等分 128 个量化级。等分的意思是不管信号的幅度大小, 每个采样的绝对误差是同样的。因此, 低幅值的地方相对容易变形。如果在低幅值处使用较多的量化步, 而在较高幅值处使用较少的量化步, 那么就可显著减少整个信号的变形。

1.1.3 多路复用

无论是局部网络还是远程网络, 差不多总是出现这样的情况, 传输介质的能力超过传输单一信号的需求, 为了有效地利用传输系统, 人们设法通过同时携带多个信号来高效率地使用传输介质, 这就是多路复用(multiplexing)。普遍使用两种技术: 频分多路复用 FDM 和时分多路复用 TDM。

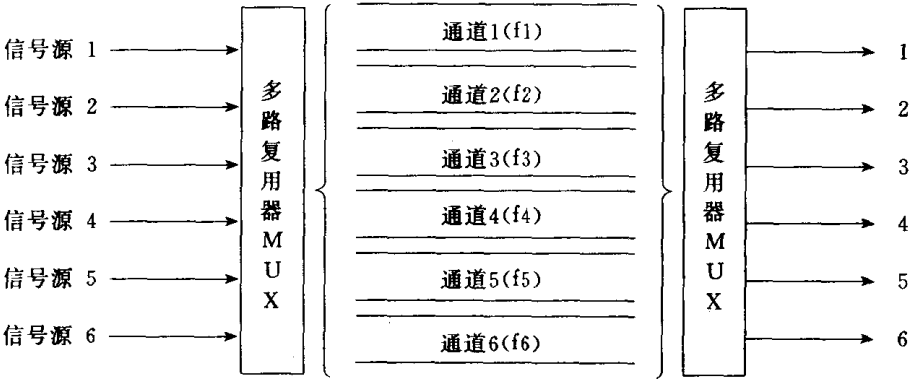
通常若介质的可用带宽超过给定信号所需的带宽, 就采用频分多路复用 FDM 技术。

如果每个信号以不同的载波频率进行调制, 而且各个载波频率是完全独立的, 即信号的带宽不相互重叠的话, 就可以同时携带许多信号。频分多路复用 FDM 的一般情况如图 1.6(a)所示。六个信号源输入到一个多路复用器中, 这个多路复用器用不同的频率($f_1, \dots, f_6$)调制每一个信号。每个

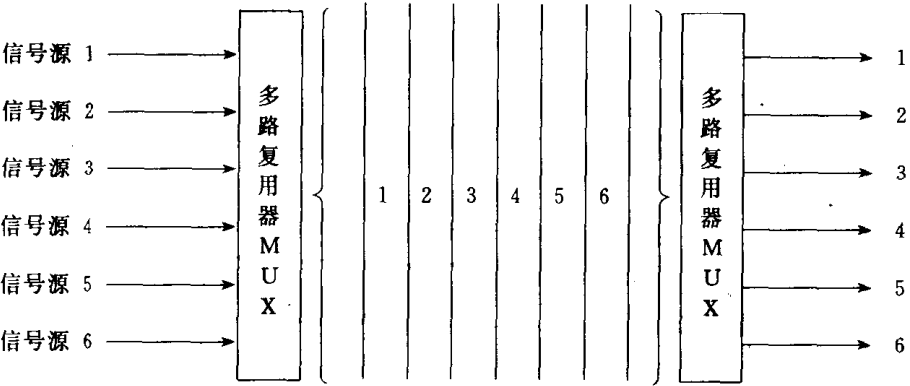
信号需要一个以它的载波频率为中心的一定的带宽,称之为通道。为了防止干扰,使用保护带来隔离每一个通道,保护带是一些无用的频谱区。

若介质能达到的位传输率超过传输数字数据所需的数据传输率,就采用时分多路复用 TDM 技术。利用每个信号在时间上交叉,可以在一个传输通路上传输多个数字信号。这种交叉可以是位一级的,也可以是由字节组成的块或更大量的信息。例如,图 1.6(b)中的多路复用器有六个输入,每个输入的数据率假设是 9.6kbps,这样,一条容量达 57.6kbps 的线路就能容纳这六个信号源。

各个信号源的时间片序列(每个信号源一个)称为一条通道时间片的一个周期,亦称为一帧。



(a)频分多路复用



(b)时分多路复用

图 1.6 多路复用

图 1.6(b)中描述的时分多路复用 TDM 方案,也就是众所周知的同步(synchronous)时分多复用 TDM。它的时间片是预先分配好的,而且是固定不变的。因此,各种信息源的传输定时是同步的。与此相反,异步时分多路复用 TDM 允许动态地分配传输介质的时间片。

时分多路复用 TDM 不仅局限于传输数字信号,也可以同时交叉传输模拟信号。另外,对于模拟信号,把时分多路复用 TDM 和频分多路复用 FDM 结合起来使用也是可能的。一个传输系统可以频分许多条通道,每条通道再用时分多路复用来细分。在宽带局部网络中,可以使用这种技术。

Bell 系统的 T1 载波就是利用 PCM 和 TDM 技术供 24 路采样声音信号复用一个通道。帧结构如图 1.7 所示。

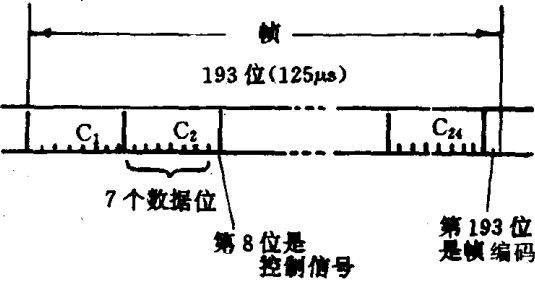


图 1.7 T₁ 载波帧结构