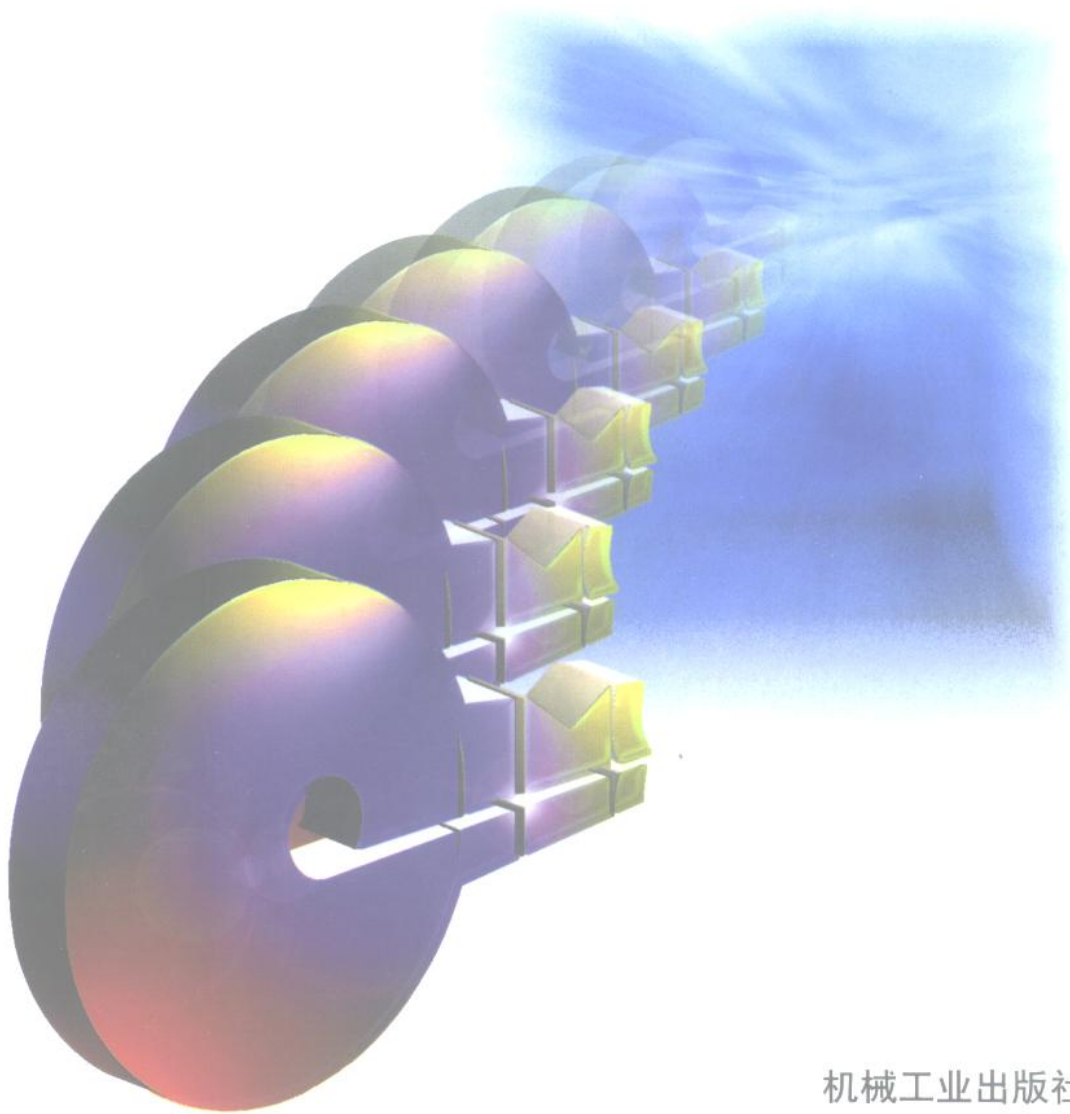


CIMS系列培训教材

CIMS 计算机网络

吴国新 编著



机械工业出版社

66
7

CIMS 系列培训教材

CIMS 计算机网络

吴国新 编著



机械工业出版社

(京) 新登字 054 号

3047067

内 容 简 介

计算机网络技术是构成 CIMS 环境的一个重要的功能子模块, 对企业提高生产及管理水平有重要意义。本书是目前国内关于 CIMS 环境中计算机网络技术的唯一专著。主要内容包括网络基础知识概述, 讨论 CIMS 与网络之间的关系, 以及 CIMS 网络体系结构, 重点介绍有关应用服务和应用网络如 Novell、SNA 和 Internet 等; 网络管理和网络安全及 CIMS 网络工程的实施技术。

图书在版编目 (CIP) 数据

CIMS 计算机网络/吴国新编著. —北京: 机械工业出版社, 1996. 12
CIMS 系列培训教材
ISBN 7-111-05406-7

I. C… I. 吴… III. 计算机集成制造-计算机网络-技术培训-教材 IV. TH166

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 24007 号

出 版 人: 马九荣 (北京市百万庄南街 1 号 邮政编码 100037)
责任编辑: 刘桂真 版式设计: 李松山 责任校对: 韩 晶
封面设计: 姚 毅 责任印制: 赵永洪
林业大学出版社印刷厂印制·新华书店北京发行所发行
1997 年 3 月第 1 版·1997 年 3 月第 1 次印刷
787mm×1092mm 1/16·12.75 印张·315 千字
0 001—5000 册
定价: 22.00 元

编辑委员会

主任委员：吴 澄

副主任委员：周 济

委 员：田连会 刘 飞 祁国宁 孙家广
张申生 李芳芸 李伯虎 李美莺
娄勤俭 柴天佑 顾冠群 徐晓飞
崔德刚 曾庆宏 穆世诚 薛劲松
戴国忠

序

这一套《CIMS 系列培训教材》是参加国家高技术研究和发展计划（863 计划）的科技人员经过 10 年研究和应用实践之后奉献给广大读者的。

二十世纪世界的一个重大变革是形成了一个统一的全球市场，每一个国家都不可能离开这个全球市场求得自身的发展。统一的全球市场形成的直接后果是市场竞争更加激烈，表现为产品更新换代加快、质量更好、价格更便宜、产品的技术含量更高，并且围绕产品的服务也越做越好。这就要求企业（制造商）能尽快响应市场的变化，制造出性能价格比优良的、满足用户各种要求的产品，并提供良好的服务。对于技术含量高的产品，竞争更为激烈，因为技术含量高就有可能取得产品的市场独占性，从而获取高利润。

我们把市场对产品的压力归结为：时间 T（即开发新产品的时间或成熟产品的上市时间），质量 Q，成本 C 和服务 S。T、Q、C、S 是制造业的一个永恒主题，企业不断完善 T、Q、C、S 是一个永无止境的过程，对各国企业都一样，但我国企业的压力大得多。

国家 863 计划的 CIMS 主题，以促进我国企业的信息化、现代化为宗旨；近 10 年来，以提高企业市场竞争力、提高企业效益为目标，以信息技术、现代管理技术改造国有企业、支持新兴企业为切入点，用高技术解决我国企业的难点和热点问题。

CIMS，即计算机集成制造系统（Computer Integrated Manufacturing Systems）是用信息技术（包括计算机技术、自动化技术、通信技术等）和现代管理技术，加强制造技术，改造传统制造业，支持新兴制造业，提高企业市场竞争能力的一种高技术。具体地说，以企业的产品为龙头，在产品的设计过程、管理决策过程、加工制造过程、产品的质量管理和控制过程等方方面面，采用各种计算机辅助技术和先进的科学管理方法，使企业优化运行，达到产品上市快、质量好、成本低、服务好，从而提高企业的效益和市场竞争能力。

立足国情，按照企业的需求开展对 CIMS 的研究和关键技术攻关，是应用技术研究 and 开发的一个重要指导思想。它也使我国的 CIMS 得到了长足的进展和国际同行的关注。

1994 年,清华大学国家 CIMS 工程研究中心获得了美国 SME (制造工程师学会) 的 CIMS “大学领先奖”,这标志着我国 CIMS 的研究水平进入国际先进行列。1995 年,北京第一机床厂荣获 SME 的 CIMS “工业领先奖”,这标志着我国一些试点企业的 CIMS 应用达到国际先进水平。“大学领先奖”和“工业领先奖”一般每年在世界范围内各评选一名。中国已经成为除美国外唯一获得此两项大奖的国家。

更加重要的是,CIMS 的应用在我国取得了显著的经济效益和社会效益。成都飞机公司、沈阳鼓风机厂、北京第一机床厂、东风汽车集团模具厂、山西经纬纺机厂和杭州三联电子有限公司等不同的大、中、小企业是其中的代表。当前,CIMS 的进一步试点推广应用已扩展到机械、电子、航空、航天、轻工、纺织、石油、化工、冶金、通信、煤炭等行业的 60 多家企业。CIMS 在我国正面临着一个发展的好势头。

进一步的推广应用,并且能取得预期的效益,关键之一在于人才,在于培训。这一套教材正是为这目的而写的。我们希望它们能为我国制造业的发展,“圆我工业强国之梦”作出贡献。

由于参加编写的作者都是第一线的科技工作者,任务繁忙,时间不足,加上编写的经验不够以及学术上的不足,使这套 CIMS 教材难免有错误和不足。我们愿意和广大读者一起,使之精益求精。

国家 863 计划 CIMS 主题专家组组长

吴 澄

一九九六年十月

前 言

70 年代,随着微处理器的问世,企业内部开始大量采用计算机控制和管理来提高工作效率。由于缺乏统一的规划,结果虽然从局部来看提高了效率,但从全局来看,也形成了一个自动化孤岛,产生了所谓的阴影效应。主要原因在于企业内部的各个部门所产生的数据往往要由另一个部门使用,在自动化孤岛情形下,这种使用必须由人重新录入,而由于人工的介入,影响了自动化的程度。

当把信息技术应用于制造业时,出现了新型的服务系统——计算机集成制造系统(CIMS——Computer Integrated Manufacturing System)。CIMS 是以企业的综合优化为目标,以企业的人员、经营和技术的集成为基础,来追求全局和产品制造全过程优化的系统。从实施自动化的手段来说,CIMS 并不是将各个自动化子系统的简单相加,而是在强调企业整体效益的基础上,对各子系统实施的有机集成,不仅仅是具体的物和设备的集成,更是以信息为特征的技术的集成。从 CIMS 的观点出发,整个生产过程实质上是信息的采集、传递和加工处理的过程,是信息集成的过程,最终形成的产品只是信息集成的物化形式。在整个信息集成的过程中,计算机网络起着不可缺少的作用。计算机网络保证了在正确的时刻,把正确的信息,以正确的方式,送到正确的地方(人或者机器),以便决策层及时作出正确的判断。

本书作为 CIMS 系列培训教材的一部分,主要介绍 CIMS 环境中的计算机网络技术。本书的读者为企业的厂长与经理、生产及管理人员、系统设计与开发人员、系统环境支持人员、单项技术开发人员等。为了使得读者可以通过本书的阅读,了解和掌握计算机网络的有关知识和发展动向,并具有简单网络的组网、规划和设计选型的能力,本书采用由浅渐深的方法,力图在阐明基本原理的基础上,注意理论与实际的结合。同时,考虑到计算机网络技术是一门发展中的技术,介绍时也注意讨论有关的发展趋向,列举当今最新的网络技术。

本书内容共分 7 章:第 1 章概述计算机网络基础知识,包括通信原理,计算机网络体系结构,以及进一步讨论 CIMS 与网络之间的关系;第 2 章讨论常用于 CIMS 环境的各种局域网技术,包括 LAN 参考模型,CSMA/CD 媒体访问控制,令牌总线媒体访问控制,令牌环媒体访问控制,时间片环媒体访问控制,光纤分布式数字接口(FDDI),以及综合业务数字网和异步传输模式(ATM)等;第 3 章介绍网络互连的原理及其技术,并讨论实现网络互连采用的各种网络部件,包括转发器、信桥、路由器等;第 4 章主要讨论 CIMS 网络体系结构,并重点介绍 CIMS 环境中常用的计算机网络应用服务,包括报文制造规范(MMS)、电文处理系统(MHS)、文件传送访问管理(FTAM),以及电子数据交换技术;第 5 章主要介绍一些常用的计算机网络,包括 NOVELL 网、SNA 网络和 Internet 网络;第 6 章讨论网络管理和有关的网络安全技术;第 7 章采用系统工程的方法讨论 CIMS 网络工程的实施,包括用户需求分析,可行性分析,网络规划和设备选型,安装和维护等阶段的任务和过程。

本书的编写工作由下列同志完成。吴国新执笔编写了第 1、4、6、7 章的内容,冯径执笔编写了第 2 章的部分内容,吉逸执笔编写了第 2 章的部分内容以及第 3 章和第 5 章的内容。顾冠群教授确定书稿大纲,协调编写工作,并主审了全书;罗军舟、沈苏彬对章节的确定提出了宝贵的建议。

限于时间与水平,书中难免存在错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

作 者

1996 年 3 月

目 录

序

前言

第 1 章 计算机网络基础	1
1.1 网络的发展	1
1.1 网络的发展	1
1.2 网络的功能	1
1.3 网络的类型	2
1.3.1 按网络的跨度分类	2
1.3.2 按网络的拓扑结构分类	2
1.3.3 按管理性质分类	3
1.3.4 按交换方式分类	3
1.3.5 按功能分类	3
1.4 网络通信原理	3
1.4.1 通信系统的基本组成	3
1.4.2 信道	4
1.4.3 调制/解调与编码/解码	6
1.4.4 传输编码	8
1.4.5 传输方式	12
1.4.6 传输形式	13
1.4.7 传输差错处理	13
1.4.8 常用检错码	14
1.4.9 传输控制规程	18
1.4.10 多路复用与集中传输	26
1.4.11 数据交换	28
1.4.12 数据报和虚电路	30
1.5 计算机网络体系结构和协议	31
1.5.1 开放系统互连/参考模式的提出	31
1.5.2 OSI/RM 的设计原理	33
1.5.3 基本术语	34
1.5.4 物理层	37
1.5.5 数据链路层	38
1.5.6 网络层	40
1.5.7 运输层	41
1.5.8 会话层	43
1.5.9 表示层	45
1.5.10 应用层	47
1.5.11 OSI 通信举例	48
1.6 CIMS 系统的组成	49
第 2 章 局域网	51
2.1 局域网的基本概念	51

2.1.1	局域网的特点	51
2.1.2	LAN 的拓扑结构	52
2.1.3	传输媒体和传输技术	53
2.1.4	LAN 的逻辑结构	55
2.2	星形网	56
2.2.1	星形网的构造	56
2.2.2	星形网的工作方式	56
2.3	总线局域网	57
2.3.1	总线局域网的结构	57
2.3.2	载波侦听多路访问/冲突检测 (CSMA/CD)	57
2.3.3	令牌总线	61
2.4	环形局域网	64
2.4.1	环形局域网的结构	64
2.4.2	令牌环	65
2.4.3	时间片环	70
2.4.4	光纤分布式数字接口 (FDDI)	74
2.5	综合业务数字网和异步传输模式	81
2.5.1	综合业务数字网 (ISDN)	81
2.5.2	ATM 应用及标准化	82
2.5.3	ATM 交换的概念	83
2.5.4	ATM 的特征	83
2.5.5	ATM 体系结构	85
2.6	LLC (逻辑链路控制) 子层	88
2.6.1	LLC/网络层接口服务规范	88
2.6.2	LLC/MAC 接口服务规范	89
2.6.3	LLC/LLC 对等协议规程	90
2.7	LAN 的网络层及其高层	90
2.8	场地总线网	90
2.9	远程网	91
2.9.1	通信子网的组成	91
2.9.2	分组交换数据网的编址方式	93
2.9.3	端用户系统	93
2.9.4	远程网应用	94
第 3 章	CIMS 网络互连	95
3.1	网络互连概述	95
3.1.1	网络互连的目的和优点	95
3.1.2	网络互连的准则	95
3.2	网络互连的方法	96
3.3	网络互连部件	96
3.3.1	转发器 (Repeater)	96
3.3.2	信桥 (Bridge)	97
3.3.3	信由 (Router)	99
3.3.4	信关 (Gateway)	102

第 4 章 CIMS 网络体系结构	103
4.1 CIMS 网络的特点	103
4.2 MAP/TOP 体系结构	104
4.3 制造报文规范 (MMS)	105
4.3.1 MMS 服务定义	106
4.3.2 MMS 协议规范	107
4.4 文件传送访问和管理 (FTAM)	108
4.4.1 一般概念	108
4.4.2 虚拟文件库	108
4.4.3 FTAM 服务	110
4.4.4 FTAM 协议	111
4.4.5 FTAM 应用举例	113
4.5 电文处理系统 (MHS)	113
4.5.1 MHS 的特点	113
4.5.2 MHS 功能模型	115
4.5.3 MHS 的层次模型	117
4.5.4 MHS 处理的数据单元	118
4.6 电子数据交换 (EDI)	120
4.6.1 概述	120
4.6.2 UN EDIFACT 介绍	122
4.6.3 EDI 通信	127
第 5 章 典型网络	131
5.1 Novell 网络	131
5.1.1 Novell Netware 的发展过程	131
5.1.2 Novell 网的基本组成	132
5.1.3 Netware 的技术特点	133
5.1.4 Netware 的主要功能	135
5.1.5 Novell 网的用户类型	136
5.1.6 Netware 网络文件系统	136
5.1.7 Novell 网的系统安全性	139
5.1.8 Netware 网络体系结构	143
5.1.9 Netware 安装	144
5.1.10 Netware 实用程序简介	148
5.1.11 Novell 网络互连	151
5.2 IBM 网络	152
5.2.1 SNA 的提出	152
5.2.2 SNA 网络的基本组成	153
5.2.3 SNA 体系结构	154
5.2.4 数据流	155
5.2.5 物理映射	155
5.2.6 SNA 网络协议和产品	156
5.3 Internet 简介	157
5.3.1 Internet 的提出	157

5.3.2	Internet 的规则	158
5.3.3	Internet 的结构	159
5.3.4	Internet 地址	159
5.3.5	Internet 协议集	162
5.3.6	地址映射	163
5.3.7	IP 协议	165
5.3.8	传输控制协议 (TCP)	165
5.3.9	用户数据报协议 (UDP)	167
5.3.10	基本的的服务	167
第 6 章	CIMS 网络管理和数据安全	174
6.1	网络管理	174
6.1.1	网络管理的一般概念	174
6.1.2	网络管理中心	175
6.1.3	网络管理数据库	175
6.1.4	网络管理的功能	176
6.1.5	网络管理体系结构	177
6.1.6	网络管理协议举例	178
6.2	数据安全	179
6.2.1	数据安全的必要性	179
6.2.2	数据安全的目标	179
6.2.3	密文传输	180
6.2.4	数字签名	182
6.2.5	数据安全体系结构	183
6.2.6	防火墙	183
第 7 章	CIMS 网络工程设计和实现	185
7.1	标准与规范	185
7.1.1	实施原则	185
7.1.2	实施步骤	186
7.2	用户需求分析	186
7.2.1	明确目标	186
7.2.2	描述问题	186
7.3	可行性分析	188
7.3.1	技术可行性分析	188
7.3.2	效益分析	188
7.3.3	社会条件可行性分析	189
7.4	设计与选型	189
7.4.1	产品选择	189
7.4.2	供应商选择	191
7.5	安装与调试	191
7.6	培训和维护	192
参考文献		193

第 1 章 计算机网络基础

1.1 网络的发展

计算机网络是计算机技术与通信技术发展的结晶，并在用户需求（应用）的促进下发展起来的。

1946 年，第一台计算机问世，其后几年，计算机只能支持单用户使用，计算机的所有资源为单个用户所占用，直至分时多用户操作系统出现。分时多用户操作系统支持多个用户利用多台终端共享单台计算机的资源。出于应用的需求，人们开始利用通信线路将远程终端连至主机，不受地域限制地使用计算机的资源。为了支持这种应用的要求，出现了一系列的通信设备，例如：调制解调器（MODEM）将计算机处理的数字信号转换成模拟信号，以适应模拟通信线路传输的要求；集中器采用多路复用技术将多个终端通过一条或几条通信线路连至主机，以提高通信线路的利用率；通信控制器将主机的通信功能独立出来，以保证通信质量和降低主机的通信功耗等。严格地说，这一时期的“终端—通信设备—主机”系统并不是计算机网络，因为，终端本身并不具有智能功能，不是一台“独立自治”的设备。

1968 年，美国国防部高级研究计划局（ARPA）与麻省剑桥的 BBN 公司签定协议，进行计算机之间的远程互连研究，研究的成果出现了著名的 ARPANET。ARPANET 的研建标志着世界上第一个计算机网络的诞生。

然而，真正促进计算机网络应用的还是在 70 年代中期，大规模和超大规模集成电路的应用，使得价廉物美的个人计算机 PC 问世了，也使得一个企业或者部门可以很容易的拥有一台或者多台计算机。由于 PC 机的资源和处理能力有限，用户希望共享资源的要求增加，促进了计算机连网的发展。

计算机网络的发展要求通信技术的支持，计算机网络的需求促进了通信技术的发展，反过来，通信技术的发展又促进了计算机网络技术的发展。

目前，计算机网络仍是一大热门课题，应用需求极为广泛。1993 年，美国政府提出的“信息高速公路”实质上是将计算机网络连至各家各户；我国政府提出的“八金工程”也是以计算机网络为基础，支持各行各业的应用要求。同样，目前，一个企业同时拥有多台计算机已不再是不可及的事情，计算机连网以支持企业的应用已成为企业的一般要求。

从技术上讲，人们提出了“网络就是计算机”的概念，计算机网络伴随着计算机已成为家喻户晓的名词。

1.2 网络的功能

虽然自 70 年代初，随着美国国防部资助研制的 ARPANET 投入运行以来，计算机网络已经经历了二十几年的发展，也得到了人们的高度重视。然而，对计算机网络的精确定义仍未出现。

对计算机网络较为全面的描述如下。计算机网络是以共享资源（硬件、软件和数据等）为

目的而连接起来的，在协议控制下由一台或多台计算机、若干台终端设备、数据传输设备、以及便于终端和计算机之间或者若干台计算机之间数据流动的通信控制处理机等组成的系统之集合，这些计算机系统应当具有独立自治的能力。

根据上述的描述，计算机网络的最主要功能是向用户提供资源的共享，而用户本身无需考虑自己以及所用资源在网络中的位置。资源是指在有限时间内可为用户提供各种服务的软硬件设施，资源共享包括硬件共享、软件共享和数据共享。

硬件共享：用户可以使用网络中任意一台计算机所附接的硬件设备，包括利用其它计算机的中央处理器来分担用户的处理任务。

软件共享：用户可以使用远地主机的软件（系统软件 and 用户软件），既可以将相应软件调入本地计算机执行，也可以将数据送至对方主机，执行软件，并返回结果。

数据共享：网络用户可以使用其他主机和用户的数据，例如数据库查询和情报检索等。

资源共享必须要有相应软件的支持。用户对于网络资源的需求具有突发性的特征，亦即难以预测用户何时需要何种网络资源，因此，为网络资源的分配和共享带来一定的难度。如何合理地进行网络资源的分配和共享是用户和技术人员共同关心的问题，不少的专家正在为此而努力。

1.3 网络的类型

人们从不同的角度对计算机网络进行了不同的分类。

1.3.1 按网络的跨度分类

广域网：距离大于 50km，范围覆盖整个城市、国家，甚至整个世界。通常使用的传输装置和媒体由电信部门提供；但随着多家经营的政策落实，也可能出现其他部门自行组网的现象。

局域网：距离通常小于 5km，覆盖范围限于单位内部或建筑物内，通常由一个单位自行组网并专用。局域网只有和局域网或者广域网互连，进一步扩大应用范围，才能更好地发挥其作用。

城域网：距离和覆盖范围介于局域网和广域网之间，所有权可归几个单位共有。

CIMS 环境下的计算机网络主要是连接企业内部的计算机系统，因此，通常是以局域网、以及局域网的互连来实现。

1.3.2 按网络的拓扑结构分类

星形网：以一台中心处理机为主而构成的网络，其它入网机器仅与该中心处理机之间有直接的物理链路（包括通过集中器和前端机等），中心处理机采用分时的方法为入网机器服务。

总线形网：所有入网机器共用一条传输线路，机器通过专用的分接头接入线路。由于线路对信号的衰减作用，总线形网仅用于有限的区域，常用于组建局域网。

环形网：入网机器通过转发器接入网络，每个转发器仅与两个相邻的转发器有直接的物理线路，所有的转发器及其物理线路构成了一个环状的网络系统。环形网也是局域网的一种主要组成形式。

网状网络：利用专门负责数据通信和传输的结点机构成的网状网络，入网机器直接接入结点机进行通信。网状网络主要用于地理范围大、入网主机多（机型多）的环境，例如：构造广域网络。

由于不同拓扑结构的网络往往采用不同的网络控制方法，具有不同的性能，适应不同的应用环境，因此 CIMS 环境下的网络可以根据应用的需求，选择或者混合不同的网络拓扑结构。

1.3.3 按管理性质分类

公用网：由电信部门组建、管理和控制，网络内的传输和转接装置可供任何部门和个人使用；公用网常用于远程网络的构造，支持用户的远程通信。

专用网：由用户部门组建经营的网络，不容许其他用户和部门使用；由于投资的因素，专用网常为局域网或者是通过租借电信部门的线路而组建的广域网络。

CIMS 环境下的网络常为专用网，或者使用专用网互连公用网的方式来组建各种应用网络以满足企业的应用要求。

1.3.4 按交换方式分类

电路交换网：类同电话方式，具有建立链路、数据传输和释放链路三个阶段；通信过程中，自始至终占用该条链路，且不允许其它用户共享其信道容量。

报文交换网：交换机采用具有“存储—转发”能力的计算机，用户数据可以暂时保存于交换机内，等待线路空闲时，再进行用户数据的一次性传输。

分组交换网：类同报文交换技术，但规定了交换机处理和传输的数据长度（称之为分组），不同用户的数据分组可以交织地在网络中的物理链路上传输。

目前，大多数计算机网络（包括广域网和局域网）都采用了分组交换技术，只是分组的体积有所不同。

1.3.5 按功能分类

通信子网：网络中面向数据通信的资源集合，主要支持用户数据的传输；该子网包括传输线路、交换机和网络控制中心等硬软件设施。

资源子网：网络中面向数据处理的资源集合，主要支持用户的应用；该子网由用户的主机资源组成，包括接入网络的用户主机，以及面向应用的外设（例如终端）、软件和可共享的数据（例如公共数据库）等。

通信子网和资源子网的划分是一种逻辑的划分，它们可能使用相同或不同的设备。例如在广域网环境下，由电信部门组建的网络常被理解为通信子网，仅用于支持用户之间的数据传输；而用户部门的入网设备则被认为属于资源子网的范畴。由于 CIMS 环境下的网络大多是局域网，网络设备同时提供数据传输和数据处理的能力，因此只能从功能上对其中的软硬件模块进行这种划分。

1.4 网络通信原理

1.4.1 通信系统的基本组成

通信的目的是信息传输。为了保证信息传输的实现，通信必须具备三个必要的因素（称为通信三要素）：信源、载体和信宿。

信源：信息的发送者；

载体：传送信息的媒体；

信宿：信息的接收者。

例如课堂教学是一种通信，其中教师是信息的发送者（信源），学生是信息的接收者（信

宿)，而空气是信息的传送媒体（载体）。计算机通信（通常又被称为数据通信）也是一种通信，其中计算机（或终端）设备起着信源/信宿的作用，通信线路和必要的转接设备则构成了传送媒体（载体）。

需要指出的是通信过程中，还应考虑另一个因素，这就是噪声（或称为干扰信号），噪声的存在影响了通信的质量。

系统通常是由具有特定功能、互相作用和互相依赖的若干个单元组成，是完成特定目标的有机整体。日常所指的通信系统是指用电信号（或者光信号）传输信息的系统。通信系统的类型多种多样，按通信业务的不同，可以分为电话、电报、传真和数据通信系统；按线路上传输的信号形式，可以分为模拟通信系统和数字通信系统。无论何种通信系统，对应通信的三要素，通信系统也有其基本的组成部分：信源、信宿、变换器、反变换器和信道（见图 1-1）。

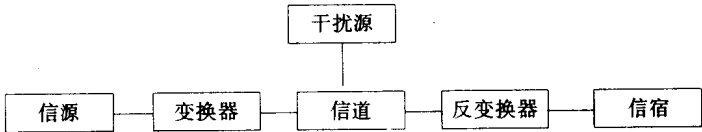


图 1-1 通信系统的基本组成

信源是发出各种信息（语言、文字、图象或者数据）的信息源。可以是人，也可以是机器，如计算机等。

信道是信号的传输媒体。从形式上看，主要有有线信道和无线信道两类；从传输方式上看，信道又可分为模拟信道和数字信道两类。

信宿是信息的接收者，可以是人或者机器。

变换器的作用是将信源发出的信息变换成适合在信道上传输的信号，对应不同的信源和信道，变换器有着不同的组成和变换功能。例如使用电话通信时，作为变换器的送话器，将人发出的语音信号变换成电（或光）信号，再经过必要的处理，使之可靠且有效地通过信道传输。

反变换器提供与变换器相反的功能，将从信道上接收的电（或光）信号变换成信宿可以接收的信息。

同样，通信系统中不能忽略噪声的影响，系统的噪声可能来自于各个部分，包括发出或接收信息的周围环境、各种设备的电子器件，信道外部的电磁场干扰等。通常为分析的方便，将整个系统所受到的干扰均折合到信道中，用噪声源的形式予以表示。

1.4.2 信道

信道是指信息（或者信号）可以单向传输的途径，它以传输媒体和中继通信设施为基础。

根据传输媒体的类型不同，信道主要可分为两类。

1.4.2.1 有线信道

有线信道的传输媒体为导线。为了保证电信号的传输，一对（两条）导线构成了一个有线信道。

有线信道的特点是电信号沿导线传输，能量相对集中在导线附近，因此具有较高的传输效率。

属于有线信道的传输媒体包括架空明线、电缆和光缆等。

光缆（光纤通信）具有重量轻、容量大、信号衰减小等特点，在未来的数据通信领域中具有很大的应用潜力。

1.4.2.2 无线信道

无线信道的传输媒体为自由空间。

发送方（信源）使用高频发射机和定向天线发射信号，接收方（信宿）通过接收天线和接收机接收信号。

无线信道的特点是信号相对分散，传输效率较低，安全性较差。

无线信道可分为长波、中波、短波、超短波和微波等多种。

长波主要用于特种通信。

中波和超短波主要用于语音广播和电视广播。

短波和微波主要用于数据通信。

卫星通信系统是一种特殊的微波中继系统，信源发出的微波信号通过卫星系统转发给信宿。

1.4.2.3 信道带宽与信道容量

信道带宽或信道容量是描述信道的主要术语之一。信道带宽是指信道可以不失真地传输信号的频率范围，通常也被称为信道的通频带。不同的传输媒体所支持的带宽有所不同，并且带宽也受到信道质量的影响。

信道容量是指信道在单位时间内可以传输的最大信号量。在计算机通信领域中，信道容量指信道在单位时间内可以传输的最大位数，以位/秒进行表示，简记为 b/s。

一般讲，信道容量和信道带宽具有正比的关系：带宽越大，容量越大。因此，目前人们也常用信道带宽来表示信道容量。

对于有热噪声的信道，香农定律指出了信道容量和信道通频带，以及信号—噪声比之间的关系（此处仅给出公式，但不予以推导）。

$$C = F \times \log_2 (1 + S/N)$$

其中 C ——信道容量；

F ——信道的通频带，可用于信息传输的频率带宽（高频与低频之差）；

S ——可以通过的信号平均功率；

N ——噪声的功率。

例如，当采用电话线路进行通信时，若信道的信号—噪声功率比为 20 分贝 (db)，信道的通频带宽为 180Hz，则有

根据信号—噪声功率比公式

$$20 = 10 \times \log_{10} (S/N)$$

可得 $S/N = 100$ ；

$$\begin{aligned} \text{故有 } C &= F \times \log_2 (1 + S/N) \\ &= 180 \times \log_2 (1 + 100) \\ &= 1200 \text{ b/s} \end{aligned}$$

目前，一般的电话线路传输速率为每秒 1200 位或 2400 位，对于较好的电话线路可达到每秒 9600 位，甚至更高。

对于无热噪声的信道，奈奎斯特定律指出了信道容量和信道通频带，以及表示数字信号

的离散值个数之间的关系（此处仅给出公式，但不予以推导）

$$C = 2H \times \log_2 L$$

其中 C ——信道容量；

H ——信道带宽；

L ——给定时刻，数字信号可能取的离散值个数。

例如，信道带宽为 4000Hz 时，某个数字信号可取 4 个电平之一（或 4 种状态之一），则有

$$\begin{aligned} C &= 2H \times \log_2 L \\ &= 2 \times 4000 \times \log_2 4 \\ &= 2 \times 4000 \times 2 \\ &= 16\text{kb/s} \end{aligned}$$

通常，一个数字信号取 2 个电平之一，这时有 $C = 2H$ 。

1.4.3 调制/解调与编码/解码

1.4.3.1 模拟信号和数字信号

通信系统中被传输的信号主要分为两类：模拟信号和数字信号。

模拟信号是指在时间上连续的信号，在时间与信号量构成的坐标系中，对应的为连续的光滑曲线，例如语音信号等。

数字信号也称离散信号，在时间与信号量构成的坐标系中，信号只能对应为有限的若干值，例如计算机中处理的信息等。

1.4.3.2 调制/解调

从理论上说，任意的传输媒体都可以同时用于模拟信号或者数字信号的传输。但由于常用传输媒体所具有的带宽和分布电容等影响，数字信号传输时极易引起衰减和畸变，而导致传输失真。另一方面，原有的传输媒体大部分是以能够支持模拟信号（电磁波信号）传输为设计目标的（例如电话线），这样的传输媒体对应的信道称为模拟信道。由于能量在传输过程中的损耗，模拟信号在信道上传输一段距离之后，信号将会有所衰减，因此为了支持长距离的信号传输，模拟信道每隔一段距离，应当安装放大器，利用放大器使信道中的信号能量得到补充。遗憾的是，放大器也会将信号中的噪声分量加以放大。尽管如此，数据通信中仍然经常利用模拟信道，并且使用了调制/解调技术进行数据信息到模拟信号的转换。

调制是将数据信息变换成适合于模拟信道上传输的电磁波（称为高频载波）信号。

解调是将从模拟信道上收取的高频载波信号还原成数据信息。

对应电磁波的三要素：幅度、频率和相位，具有三种调制的方法（见图 1-2）。

调幅（也称幅度调制或移幅键控法 ASK）：将不同的数据信息（0 和 1）调制成不同幅度但相同频率的载波信号。

调频（也称频率调制或移频键控法 FSK）：将不同的数据信息（0 和 1）调制成相同幅度但不同频率的载波信号。

调相（也称相位调制或移相键控法 PSK）：利用相邻载波信号的相位变化值来表示相邻信号是否具有相同的数据信息值，此时的幅度和频率均不发生变化。

对于数据通信而言，调制与解调总是成对出现的。因此，市场上的调制解调器（MODEM）总是兼含二者的功能，甚至还增加了其它的功能。