

陈兰生

计算机网络

JISUANJI
WANGLUO

福建
科学
技术
出版
社



内容摘要

全书一共十四章。前五章介绍计算机网络实现原理的基础知识,包括数据通信的基本概念、方法与技术,广域网发展过程、体系结构 OSI/RM 的简要内容,局域网分类、IEEE802 标准协议与典型的介质访问控制技术的实现方法,以及局域网扩展、互连、组成广域网的设备、技术与最新发展动向。

后九章系统介绍 Novell 与 Windows NT 网络方面的具体管理与使用的操作知识,使读者对网络功能与多用户系统的特点具备实际的操作体验与知识,学以致用,理论与实践相结合。

本书可作为普及计算机网络基础知识的教材,适用于基本掌握了计算机操作的读者。

前 言

本书是普及计算机网络基础知识的教材。内容全部采编自各种书籍、刊物和资料。它适合已具备基本的计算机使用知识，又想学点网络基础知识之人士使用。在计算机网络设计的原理方面，本书只注重介绍其中的基本方法、技术与概念，而并不深入讨论令人生畏的信息、通信理论与数学计算，以及硬件、软件的实现细节。此外，本书系统介绍当今最流行的 Novell 与 Windows NT 的网络管理与使用方面的知识，目的是使读者对多用户系统与网络功能有实际的了解与体验。全书共十四章，各章基本上都附有习题供选用。

本教材是在作者多年教学中积累、编纂而成。注重由底向上的编写方法，也就是，从理解的角度，由具体到抽象、从下向上、最后给出结论与概念，这样一种编写方法。与通常的由顶向下、从概念到实例的写法相比，笔者认为该法可以压缩篇幅、循序渐进，易于理解，便于自学，也有利于教学。这种做法不知是否妥当，还有待行家指正。

成书过程得益于许多朋友的相助，也参考、引用许多人的书面文字与资料，在此一并谨致谢意。

陈兰生

2002 年 5 月于福州大学

目 录

第一章 网络概论	(1)
§ 1.1 网络的定义	(1)
§ 1.2 网络的发展历程	(2)
§ 1.3 网络的意义	(3)
§ 1.4 网络技术	(5)
[思考题]	(8)
第二章 数据通信技术	(9)
§ 2.1 数据传输介质	(9)
§ 2.2 数据传输设备 modem	(11)
§ 2.3 数字传输	(15)
§ 2.4 数据通信的有关技术	(17)
§ 2.5 数据交换技术	(21)
§ 2.6 流量控制与路径选择	(24)
§ 2.7 差错控制	(26)
[思考题]	(28)
第三章 网络协议与体系结构	(30)
§ 3.1 物理层	(31)
§ 3.2 数据链路层	(33)
§ 3.3 网络层	(39)
§ 3.4 传输层	(41)
§ 3.5 高层协议	(42)
[思考题]	(44)
第四章 局域网体系结构与协议	(46)
§ 4.1 网络的拓扑结构	(46)
§ 4.2 介质访问控制方法	(48)
§ 4.3 什么是 IEEE802 标准	(54)
§ 4.4 逻辑链路控制子层 LLC	(58)
§ 4.5 CSMA/CD 的体系结构与协议	(65)
§ 4.6 令牌环介质访问控制协议	(71)
§ 4.7 剑桥环的高层通信规程	(74)

〔思考题〕	(80)
第五章 局域网的扩展	(81)
§ 5.1 网际互联设备	(81)
§ 5.2 交换式局域网技术	(87)
§ 5.3 TCP/IP	(96)
〔思考题〕	(107)
第六章 NOVELL 网络系统	(108)
§ 6.1 NOVELL 网的发展概况	(108)
§ 6.2 NOVELL 网的物理构成	(109)
§ 6.3 Netware 的软件构成	(116)
§ 6.4 数据安全性	(120)
§ 6.5 高效率的硬盘存储管理	(121)
〔思考题〕	(122)
第七章 怎样登入 NOVELL 网	(124)
§ 7.1 入网须知	(124)
§ 7.2 入网的基本操作命令	(126)
§ 7.3 用户界面	(128)
〔思考题〕	(129)
第八章 Netware 的安全保密系统	(131)
§ 8.1 Netware 的四级保密制度	(131)
§ 8.2 用户记账管理	(134)
§ 8.3 安全性命令	(135)
〔思考题〕	(136)
第九章 Netware 命令	(138)
§ 9.1 目录命令	(138)
§ 9.2 文件命令	(140)
§ 9.3 用户信息命令	(142)
〔思考题〕	(143)
第十章 Netware 的菜单 SYSCON	(145)
§ 10.1 Netware 菜单的操作功能键	(145)
§ 10.2 SYSCON 主菜单	(146)
§ 10.3 Netware 记账系统的安装	(156)
§ 10.4 User Information 子菜单中另 2 项	(158)
〔思考题〕	(159)

第十一章 Login Scripts 和 Makeuser	(161)
§ 11.1 注册文件 Login Scripts	(161)
§ 11.2 整批建、删用户的 MAKEUSER	(170)
〔思考题〕.....	(172)
第十二章 Netware 4. x	(174)
§ 12.1 Netware 4. x 的目录服务	(174)
§ 12.2 目录树的建设.....	(177)
§ 12.3 FILER	(181)
§ 12.4 目录服务数据库的管理.....	(183)
§ 12.5 NETUSER	(186)
§ 12.6 NLIST 命令	(188)
第十三章 Windows NT4. 0	(192)
§ 13.1 安全性.....	(192)
§ 13.2 网络构成.....	(199)
第十四章 Windows 2000 与活动目录.....	(205)
§ 14.1 逻辑结构.....	(205)
§ 14.2 有关概念.....	(206)
§ 14.3 操作实例.....	(208)
附录.....	(210)
网络试卷一.....	(210)
网络试卷二.....	(214)
网络试卷三.....	(218)
网络试卷四.....	(223)

第一章 网络概论

§ 1.1 网络的定义

随着 Internet 热,信息高速公路已家喻户晓,人人都感到计算机网络热浪袭人。这是计算机产业的第三次大热潮。第一次发生在 20 世纪 60 年代中期,当时大型机处理器和存储器技术的成熟,激起过美国等国家许多公司购机搞管理的一阵大热潮;而 20 世纪 80 年代的微处理器和简化操作系统的成功与普及,把人们带入第二次计算机大浪潮。现在,高效率的网络技术将给我们提供极廉价和极宽的通信带宽,将把人类社会引入第三次计算机大浪潮。计算机网络是否也像 PC,最终将禁不住地踏入家家户户的门槛?

那么请问,究竟什么是计算机网络呢?这种大家已经习惯起来,流行通用的词汇,认真追究起它的准确定义时,说不定也未必是轻而易举的事。

关于网络定义至少有三种说法。

1970 年春,美国信息处理学会在计算机联合会议上给计算机网络下的定义是:以能够相互共享资源(硬件、软件、数据等)的方式连接起来,并且各自具备独立功能的计算机系统的集合。

这样,就把只带终端的中心机系统(小型机、中型机、大型机)如 VAX8350、MV10000 等排除在计算机网络的范畴之外,因为终端都不含 CPU,是没有独立功能的。

第二种定义是:计算机技术与通信技术相结合,实现远程信息处理,并进一步达到资源共享的系统。

这定义可以认为把所有带通信功能的计算机系统,包括上述的中心机系统都囊括到计算机网络范围之内了。

还有第三种条件苛刻的定义:存在一个能为用户自动管理资源的网络操作系统,由它来调用完成用户任务所需的资源,而整个网络像一个大的计算机系统一样,对用户是透明的。

在这里“透明”一词的含义与日常用语的“透明”恰好相反。英语原词 transparent 是为何如此翻译的?若翻译成“透而不明”或“随用可得”是否更适合呢?

按照第三种定义,恐怕现在真正合格的计算机网络还几乎没有。其定义中所述的网络操作系统实际上是分布式操作系统。

目前最成熟的局域网络操作系统 Netware 与 Windows NT 除实现多用户管理外,提供了文件,打印与目录服务三大功能,但 Netware 远不是分布式操作系统。国际网 Internet,对用户的服务也不是“透明”的。我们确实希望将来实现一定程度的社会资源或网络资源的“透明”使用,就像有个乖机器人替人代劳、代记许多事一样。否则,在信息与知识爆炸的今天,我们的精力与记忆力真不够用。但是,分布式系统毕竟是将来的理想。本书第四章将介绍的英国的剑桥分布式计算机系统 CDCS,也许可算是一个小小的分布式系统吧。

上述三种定义比较起来,美国信息处理学会的定义较为合适。计算机网络必须结合使用计算机技术与通信技术,而这种结合,不是简单的机械相加,它使无论哪一方面的技术应用都上升到一个更高水平的、复杂的境界,激发了许许多多新的开发、研究工作,从而实现对人类进步、文明的更有效的服务。

§ 1.2 网络的发展历程

美国最早把通信技术用到计算机系统上。上世纪 50 年代初,美国建立了防空用的雷达系统,第一次将计算机与电报通道相连,进行数据传输与处理。到 50 年代末,半自动化地面防空系统 SAGE 把线路总长达 241 万千米的一千多个远程终端连到一台旋风型计算机上,把 2 进制的雷达数据经过电报通道送到主机,经高速处理后,用所得结果对导弹进行制导。

美国还在 20 世纪 60 年代初建成全国性的飞机订票系统 SABRE,用一台主机连接遍布全国各地的 2000 多个终端。

这些系统都不算计算机网络的真正开端。现在公认的第一个计算机网络是 1969 年美国国防部高级研究计划局实现的 ARPA 网。它连接多台计算机以共享资源,最初是四个结点,1973 年发展到 40 个结点,1983 年达到 100 多个结点。美国国防部高级研究计划局采用鼓励和资助的方法,吸引各大学、研究机构、公司、其他部门等联入 ARPA 网,而且采用 TCP/IP 通信协议,使得不同机种,不同操作系统都可以在 TCP/IP 协议下连接入网。

现在 ARPA 网演变成连接各大洲、168 个国家和地区的 320 万台计算机、拥有巨大共享资源的国际网络 Internet,成了事实上的国际信息高速公路。ARPA 网的许多成功经验和技术也对后人影响很大。它的报文分组交换方式,分层次结构的网络协议构想,以及今天成了事实上的网际互联的标准协议 TCP/IP 都对网络技术的发展做出了巨大的贡献。在 ARPA 网的带动下,到 1975 年,世界上发达国家已经纷纷建成如表 1-1 所示这些远程网络。

表 1-1 1975 年世界上主要计算机网络名单

网络名称	国别	使用性质	交换方式	最大速率
ARPA	美国	专用	报文分组	200kb/s
CYCLADES	法国	专用	报文分组	48kb/s
CTNE	西班牙	公用	报文分组	
DDX-1	日本	公用	报文分组	48kb/s
EIN	欧洲	专用	报文分组	130kb/s
EPSS	英国	公用	报文分组	48kb/s
NPL	英国	专用	报文分组	
RCP	法国	公用	报文分组	4.8kb/s

以上讲的这些网络都是横跨国内或国际大范围区域的大型计算机网络,叫广域网或远程网。后来,网络建设与研究转向一种范围有限制的小型计算机网络,叫局域网。局域网在地理上分布范围一般限于十千米之内,恰好属于工厂、学校等独立机构的领地之内。局域网技术后来发展极快,势头大大超过广域网。20 世纪 80 年代普及个人机的同时,也大大流行过许多著名的微机局域网,如环形令牌网、时隙剑桥环、总线以太网、3⁺网、3⁺Plus 网,以及后来最为著名、成熟的 Novell_Netware 网络和现在的 Windows NT。

局域网热是有其内在原因的。由于局域网的拓扑结构特殊、介质访问技术成熟,容易实现与维护;又宜归属一个单位独有,规模小,投资容易,组建快,而且非常适合本单位内的管理信息系统等应用的需要;还有,局域网一般可实现基带传输、通道传输速率可达 1~

10Mbps, 甚至 100Mbps, 比上述广域网的传输速率快多了, 且误码率为 $10^{-8} \sim 10^{-11}$ 比广域网的 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 低得多。局域网连接的计算机主要是易于普及的个人机, 这也促使局域网迅速流行起来。现在局域网应用正转向局域网互连、与广域网相连, 以及连入更多异种机、异种操作系统, 连入更广泛网络资源的方向发展, 各种扩展的网络结构如校园网、企业网、城市地区网风起云涌, 接踵而上。局域网热转向广域网热、Internet 热与信息高速公路热, 事物发展总受波浪式前进、螺旋式上升、否定之否定规律的支配吧!

但历史上, 局域网的研究起点却比广域网迟十年。1979 年美国波士顿局域数据通信网的国际会议才标志局域网的研究工作从广域网内独立出来了。当然, 初期的研究与探索更早些。1972 年 AT&T 的贝尔实验室研究的局域网纽霍尔环路 Newhall-loop 和比尔斯环路 Pierce-loop 奠定了后来著名的令牌环的基础。而风靡世界的总线以太网 Ethernet, 则由美国 XEROX 公司于 1975 年根据夏威夷大学的 ALOHA 网的“聋”传送原理研制成功的。这技术发展成为今天广被采用的“载波侦听多路访问与冲突检测”介质访问控制技术。其英文原文是 Carrier Sense Multiple Access/collision Detection, 即 CSMA/CD。1979 年美国 XEROX、DEC 和 Intel 三家公司宣布联合开发 Ethernet 网, 并于 1980 年 9 月起陆续公布了 Ethernet 物理层和链路层的详细规范的各版本, 史称 DIX 规范。Ethernet 成了局域网的第一个工业标准产品, 20 世纪 80 年代早期占据国际局域网市场的统治地位, 有过许多著名的产品, 如 3com 公司的 Ether Series (1982 年), 3+ 网和 3+ OPEN (1986 年、1988 年)。后来美国电气和电子工程师协会 IEEE 公布的局域网络标准中的 IEEE802.3CSMA/CD 访问方法和物理层规范, 基本上与 Ethernet 技术规范相同, 差别很小。

到了 20 世纪 80 年代末, Novell 公司的局域网操作系统 Netware 以其卓越的性能、高超的设计策略与无与伦比的服务功能, 后来者居上, 囊括了世界局域网的市场的七八成以上份额、成了局域网络霸主。1989 年, Netware386 被国际标准化组织 ISO (International Standard Organization) 指定为测试数据库系统的网络环境。Netware 十年来推出的著名版本有 V2.15、V3.11 与 V4.1 等。NetwareV3.11 提供了多用户管理及文件服务、打印服务功能, 迄今被认为是速度最快、性能最好、功能最强的网络操作系统。NetwareV4.1 更进一步提供目录服务功能, 把全网资源的对象更有效地统一在目录树结构下, 简化管理与维护, 提供企业级网络服务。而与此同时, 实力更为雄厚的软件王 Microsoft 公司于 1995 年推出了与之竞争的 Windows NT, 具有更强的应用服务功能, 而且正在慢慢地, 但是稳步地蚕食着 Netware 的市场份额。

但是, 网络商业竞争的另一个更激烈的角斗场却在 Internet 阵地上拉开了帷幕。

§ 1.3 网络的意义

网络的意义是很显然的。社会各单元都不是孤立运转的, 用单机加工或计算, 只能完成信息处理中一小部分独立性的工作, 它并不能很好地映射社会各方相互依赖、错综复杂、千丝万缕、休戚相关的关系。事实上, 信息与资源的共享与交流, 并且全盘统筹地、科学地组织起来, 高效地利用它们, 才是社会相关各界内在的、本质的联系与需求。实现这些需靠网络, 除了物质的、人员的交通网络, 就还需要信息网络。计算机网络是信息社会中不可缺少的、高科技性的信息网络, 它不仅大大改善现有的通信系统, 而且根本改变全网范围内的信息处理能力, 对人类社会的进步、文明有着不可估量的、深远意义。

所以美国当年高擎建立国家信息高速公路的大旗, 发达国家纷纷紧随其后。表 1-2 是这些

国家的信息高速公路的投资计划（表中金额单位：亿美元）。

表 1-2 各国投资计划

国别	美国	加拿大	韩国	英国	日本
金额	4000~10000	200	553	570	4300
年限	20		20	10	22

全国性的计算机网络可以完成很多必要的数据通信与信息处理的功能。比如前述的全国性飞机购票系统，军事上的雷达制导防空系统，银行界的全国通存通兑储蓄业务系统，证券交易所的全国性股票、债券交易系统，商业上的批、零售商品信息管理系统，政府行政机构的各种办公自动化系统，行业分类的各种信息管理系统等等。它使得原来靠手工及现有通信手段与信息加工能力所不能完成的信息传输与处理功能得以实现，发挥的效益是前所未有的。

银行界的人士说，拆借大笔资金，在网络上进行比用原有办法做快得多。而时间快对于金融业务来说，利益是巨大的。资金周转得快，就有大效益。

搞统计工作的人也说，使用计算机后使统计的项目分类更细、更精确、效果远胜于手工填写；如果进一步使用网络进行统计的话，当然会使统计更及时、全面、准确高效了。

即使是局域网的情况下，实现本单位局域网范围内信息传输与处理，实现办公自动化等，实际意义很大。我们再举 2 个共享资源的小例子。

一个是共享软件的实例。我国现有的法律法规查询系统是一个近一百兆字节的大数据库，如果该库安装在网络上，让大家共享，要比各科室、部门各自安装在各自计算机上，节省很多存储器。使用效果完全一样。而法律法规库的查询系统是非常灵活多样、非常好用的，比手工翻书效率高得多。还有购买的其他应用软件，共享使用也显然比分别单机使用省钱、高效得多。

硬件共享也同理。与其各个单机配备打印机，不如安装在网络上共享、节省的钱可购买不同档次、质量的针打机、激光打印机等，以满足不同层次的需求，不是更合理吗？

再举个高级应用的例子：Novell 公司计划与著名的国际能源公司 Utili corp. 联手创办一个叫智能能源网络的联盟。将来实现的这种智能能源网络目标是高效率地使用能源、最大限度地减少浪费，使工商企事业单位以及个人家庭都从它得到优化的能源消费。

让我们看一个家庭的例子：设想这种网络实现后，某个发达国家中，一个人因临时加班而推迟 2 小时回家。他（她）可以在办公室进入一个名叫 Netware 住宅服务器的菜单，通过选项等操作，把推迟 2 小时回家的消息通知自己的住宅服务器，由此激发多项自动迟归服务程序。例如，住宅服务器立即通知室内恒温器将升高住宅温度的时间推迟 2 小时，使得恰好主人到家时，室温到达理想值；服务器还重新设置前门廊与室内的电灯定时器，使它们恰在主人到家的前几分钟自动打开；还有，烤箱也自动到时预热，主人可以很快有饭吃；电视也自动选择到主人感兴趣的节目上，同时另一窗口正在显示其私人股票的价目单，等等。他甚至可以因为采用了这套系统的电力管理与监视报告系统，而选用省电的电器与用法，结果比原先还节省了电费开支。……这就是网络厂商为我们勾画的前景。

讲了这么多，读者谅必深谙网络的巨大用途了。但凡事不能只说好的。就忽略另一方面。网络在安全、版权保护、传播信息失控之类社会公害等问题上，是不是也有很多很多要预先考虑及不断发现并解决的事要做？上述的智能能源网假如发生主人回家途中出了意外之类的

事件时，该怎么办？当然，我们不是主张因噎废食，只不过主张多点两点论的思维方式。

§ 1.4 网络技术

网络技术包括通信与计算机技术，本节先做有限的概要介绍，较详细内容是第二章以后的任务。

1.4.1 网络通信

网络上进行通信的双方计算机设备，只是处理速度极快的电瞎子，根本不像人那么灵活，可用耳、目等器官对周围情况作判别。因此对于 2 个瞎子来说，传递的信息包，得有严格的格式、长度、各字段符号之意义。以及传递的手续顺序等规定，这叫协议。它是通信双方共同遵守的统一约定，一般用抽象方法对通信步骤及涉及因素进行描述，以适应尽量多的应用实例，协议是通信双方约定，同时也是开发者实现其功能的目标依据与协作交流用的文本。

我们举 IBM 公司网络协议 SNA 中的数据包 SDLC 为例看看。其格式见表 1-3。

表 1-3 SDLC 数据域

数据域	长度 (bit)	内容
起始标记	8	标记字符 01111110 表示电文的起始
地 址	8	目的设备地址
控 制	8	后随数据的类型 (命令、回答或数据)
数 据	8 的倍数	要传送的电文
FCS 信息	16	数据帧校验码
电文结束标记	8	标记码串 01111110 表示结尾

SDLC 用于同步数据链路控制，是面向比特的。网络上通信的接收方一直处于待命状态，要一直侦听线路上信号，一旦收到特别的比特串 01111110，就认为通信开始了。然后按事先约好的包格式，顺序读取地址域，并与本站网络结点地址比较，如果一样，才是本站接收的数据包，否则不理之。又根据控制字段的值判断该作何响应；以及重算校验码，进行核对，看看传来的数据包是否出现错码。信息包是在用户于网络计算机上工作时，由网络系统自动生成的。究竟怎样生成的？又怎样变成物理信号串在线路上传输？这其中要考虑与解决的问题很多。网络系统是相当庞大复杂的系统，像其他计算机系统的设计工作一样，网络系统的设计也需要把全部要完成的庞大工作进行科学分解，分成几个分层，再分别分块完成各相对独立块的功能。这就是网络分层结构的构思方法。各个计算机厂家开发他们自己的计算机网络时都这样做的，因而有很多协议，各不相同。因为不同的协议的层次结构及各层功能定义不一样，接口不相同，使得不同厂家的不同层次的网络产品或部件不相兼容，这可就使用户伤透脑筋，而且也不利于厂家产品的成规模生产，降低成本，推广应用，也不利于交流与研究工作。因此，国际标准化组织 ISO (International Standard Organization) 从 1976 年开始组织人员进行网络标准化协议的制定，并于 1985 年发表开放系统互连参考模式 OSI/RM (Open System Interconnection/Reference Model)，即著名的七层协议，见表 1-4。希望以后各种网络系统都参照此七层模式进行设计，使产品互相兼容。

网络协议的内容相当抽象、严谨，因为需面向许多实际的应用情况。本节只简略介绍七

层协议的内容，第三章将进一步介绍。

表 1-4 OSI/RM

层次	名称	内 容
7	应用层	产生欲发送的信息，或处理接收到的信息
6	表示层	编排信息格式，压缩，加密或反过来
5	会话层	发起或接收对话连接，提供交互、同步、起停等对话服务
4	传输层	分组、备份、提供无差错、有序的报文收发，使上层不再关心网络传输的事
3	网络层	封装成包、顺序、流量、路径、记账等控制与管理
2	数据链路层	成帧、建（拆）链路，进行帧传送控制
1	物理层	启动、维护和释放数据链路实体间 2 进制位传输

七层中每一层只管它的下一层可以做什么；提供什么给自己，自己可以交代下一层做什么，通过接口怎样交代下一层做；至于下一层的内部结构以及怎样完成则是完全不过问的，当它是个黑箱子，透明地完成就是了。每一层对上一层提供服务的情态也与此同理。包括应用层与用户二者之间的关系也完全是这样。但是每一层的协议内容描述则采取双方对等层直接对话形式进行，如图 1-1 的虚线所示。当然协议内容除对等层交互的手续、步骤、控制信息等

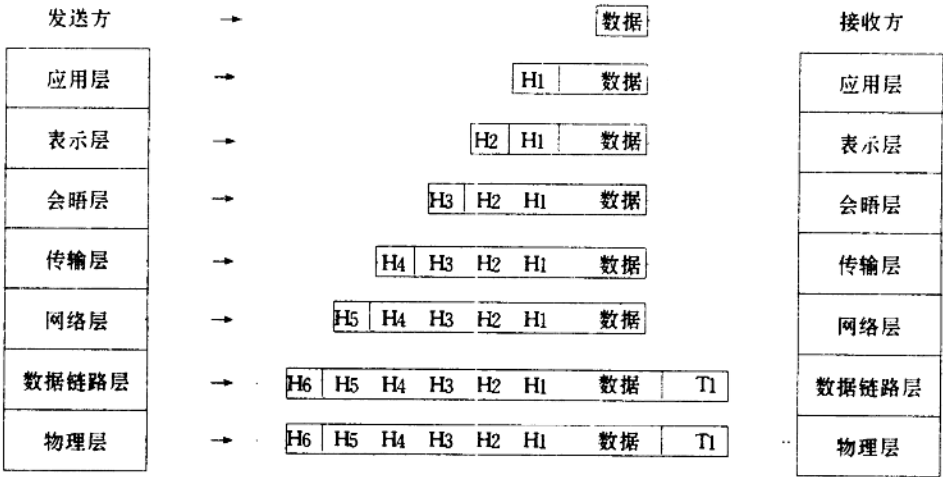


图 1-1 从源到目的的报文活动示意

通信规程与通信元素这些方面外，还应包括对下层接口、操作界面的要求或规定描述。图 1-1 中每一对对等层的数据传输都在原数据包的基础上加封本层双方交流的包头信息（命令、响应、控制信息等）——发送方加封、接收方解封，阅读处理之。而每一层的包头信息，下一层是不能解读的，所以它另有自己的包头。这样形成发送方对数据包层层加工附各层包头信息后，形成数据帧，最后由物理线路将 2 进制串发往对方；接收方再层层解封、阅读、处理，由低层向高层呈送，最后到达接收方用户手中，看到的只是他伙伴发来的电子邮件之类文本

内容（或对这边应用层软件之类的访问）。可以想象，用户双方的直接对话（通过网络系统）的方法与要求与此很相似。

网络通信进一步须考虑物理线路的传输介质、通信设备、编码、传输模式、流量控制、路径选择、差错处理等问题，考虑协议各层分工所完成的具体工作。这些内容将在第二章以后再作介绍。

1.4.2 网络构成

计算机网络主要由计算机、外部设备、通信设备、通信处理机等经过通信线路连接而成系统。构成局域网的各种物理成分，可参看第四章及第六章有关内容。用于网络互连或扩展的设备有网桥、集线器、路由器、网关、中继器、交换器等，将在本书第五章介绍，本小节只简单介绍广域网 ARPAnet 与卫星通信的结构情况。

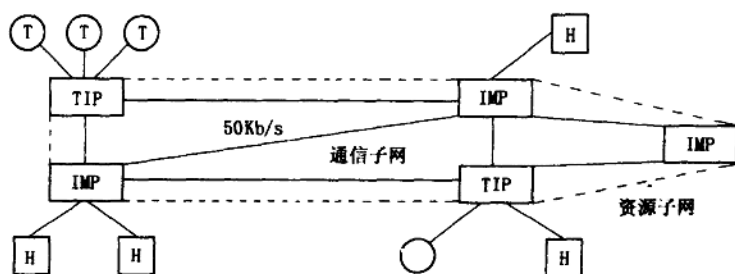


图 1-2 ARPANET

当时 ARPANET 网由资源子网与通信子网组成，是一种 2 级网络结构。通信子网由 50kb/s 租用线路把分散在各处的通信处理机 IMP 连接起来构成的，专门负责全网的通信工作。早期的通信处理机用 Honeywell DDP-516，后改用 DDP-316。有的 DDP-316 可直接带多达 63 个终端，这种通信处理机就叫 TIP。

资源子网由主机系统的软、硬件、数据库，各类集中器及终端等构成，专门承担各种数据收集与处理业务。

ARPANET 网 1969 年 9 月正式建成，12 月投入使用。最初是 4 个结点（犹他大学、斯坦福研究院、圣巴巴拉加州大学、洛杉矶加州大学），后来不断发展，使用 1.3×10^6 b/s 的卫星通道与夏威夷、欧洲等地结点连接，现在发展成为连接着 150 个国家和地区，有着近 320 万台计算机和 3200 万用户的国际性计算机网络 Internet。

图 1-2 中 IMP 指接口信息处理机 Interface Message Processors，TIP 指终端接口处理机 Terminal Interface Processors。ARPANET 网采用报文分组转发方式，报文限长 8063bits，分组限长 1008bits。目前采用 TCP/IP 为通信标准协议。

网络中采用的卫星通信可参看示意图 1-3。

原则上，远程发送端把数据传送到卫星，经卫星处理后，以广播方式向陆地发射；而集中站点天线收到信号后，将之放大后重新发往卫星，卫星收到增强信号后再向地面发射，让另一个远程站点接收。

卫星通信不仅容量大，而且可以双向传播，可以实现完全的信息反馈。从卫星发出的信息可以同时被多个地区接收器所接收。多个地面发射机也可以共享同一信道向卫星发送信息。一个地面站可以连接近万台计算机，但延迟较大，达数百毫秒。卫星停留在 35800 千米高空。

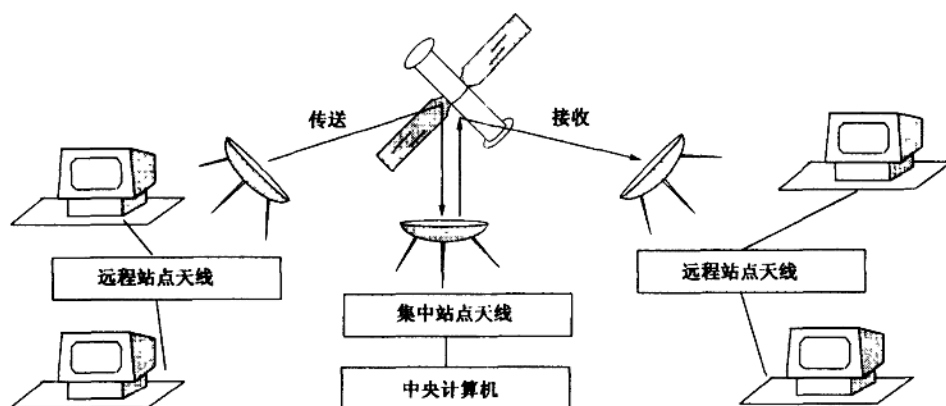


图 1-3 卫星通信示意图

数据传输速率可达 56kb/s。

现在网络的结构与技术发展很快、种类繁多，本章先作以上概要介绍，进一步的了解将在以后的章节中。

[思考题]

1. 计算机产业发展的三次浪潮发生的时间与内容各是什么？
2. Sun Microsystem 公司的 2 个口号：“网络就是计算机”（1983 年）与“网络就是商业”（1996 年），究竟是什么含义？
3. Internet 前身是什么网络？你想想，加入 Internet 可以进行哪些操作？
4. 网络有何实际意义，请举些实例加以说明。此外，网络建设要考虑防范哪些不利的因素？
5. 按你的知识，网络的起源时间应算什么时候？美国的雷达防空系统 SAGE 与全国飞机票销售系统 SABRE 是不是计算机网络？
6. 假如用贺氏公司 Smartmodem 通过电话线连接 2 个 PC 并安装上配套的数据通信软件 Smartcom III，这 2 台 PC 呼号连通后，也可以相互发送文件、访问对方的硬盘。这样的系统叫计算机网络吗？

第二章 数据通信技术

§ 2.1 数据传输介质

数据传输介质指传送信息的载体。按传输介质的性质不同,网络通信中常用的传输介质有:有线通信中的双绞线、同轴电缆、光导纤维等;无线通信中的各种形式的电磁波传播,如微波、激光、红外线等。

介质的选择要考虑频带宽、抗干扰性、保密性、传输速率与距离以及费用。频带宽是指介质对电信号衰减比较小、传输性能良好的那一段频率范围。频带宽对系统的传输速率与距离影响很大。

2.1.1 双绞线

最早开发使用的传输介质有电话线等架空明线,它通信容量较小且很容易受外界干扰。线路损耗也大,但敷设技术简单,价格便宜,仍是目前通信线路中最常用者。这种线是由按规则螺旋结构排列的2根绝缘线组成,也叫双绞线,见图2-1。线是铜质或铜包着钢。铜线提供良好的传导率,而钢线用来提高强度。把线对扭在一起可使各线对之间的电磁干扰最小。成对的线的直径范围为0.038~0.142cm。

现在常用两类双绞线:

1. 屏蔽双绞线 STP (Shielded Twisted Pair) 是在上述双绞线外面包一层屏蔽用的金属网或铝箔,最外面再包上一层保护用的聚乙烯塑料。误码率仅为 $10^{-6} \sim 10^{-8}$,由 IBM 推荐使用。

2. 无屏蔽双绞线 UTP (Unshielded Twisted Pair) 比 STP 少个屏蔽层,误码率达 $10^{-5} \sim 10^{-6}$,其2类线常用于电话系统,3类线用于 LAN,速率达 10 Mb/s 时传输距离为 150 米,5类线用于 100Mb/s 的 LAN 中。



图 2-1 双绞线

2.1.2 同轴电缆

广泛用于局域网中的两类同轴电缆是 50Ω 缆和 75Ω 缆。50Ω 缆只用于数字信号传送,称为基带。75Ω 缆用于宽带传输,它也是公用有线电视 CATV 系统中使用的标准。

同轴电缆是一个空心外部圆柱形导体围裹着一个内部的导体。内部导体是单股实心线或绞合线,外部导体是单股线或编织线。内部导体的固定用规则间隔的绝缘环或固体绝缘材料,外部导体用一个罩或屏蔽层覆盖,见图2-2。

同轴电缆从性能上分为:用于半导体收音机、电视机和高保真收录机的低质量电缆;还有低衰减、高抗干扰的高质量电缆。局域网上用的是有线闭路电视上使用的电缆,质量中等,价格适中,安装容易。高质量电缆一般很硬,安装困难。

基带传输方法是让信号直接在电缆上传输而不加任何调制。基带同轴电缆频带宽要比宽带同轴电缆窄、传输速率低,一般是 10Mb/s 左右。但这比双绞线高多了。宽带同轴电缆采用调频或调相工作方式。带宽在 300~400MHz 左右。实际使用时,往往用频分法 FDM 将信号的频带分成不同的子频带,因而不仅可传输数据,且能传输语音与视频信号,可用于综合

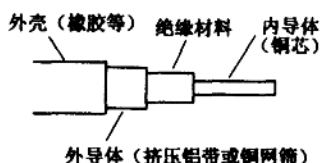


图 2-2 同轴电缆

服务宽带局域网。用户的音频、视频、UHF-VHF 和数据传输设备都可直接连到线路上来。

同双绞线比, 基带同轴电缆传输速率高、抗干扰性能好、传输中辐射小、距离也长。著名的 Ethernet 网络就是用 50Ω 实心导体双层屏蔽、泡沫介质的基带同轴电缆, 数据速率达 10Mb/s。其最大分段长 500m, 采用转发器后, 工作站间距离可达 2.5km。

2.1.3 光导纤维电缆

光纤是一种细小 (50~100μm) 柔软并能传导光线的介质, 各种玻璃和塑料可用来制造光纤, 而使用超高纯石英玻璃纤维, 可得到最低的损耗。具有较高折射指数的单个光导纤维, 如玻璃或塑料的, 用折射指数较低的材料做成包层将其围裹起来, 这一包层将纤维隔离起来, 防止它与相邻纤维的相互干扰。光纤由一束纤维组成, 其中每一条带都有一排纤维。有 2 大类光纤: 单模与多模。前者单一光路, 后者有多条光路, 但前者容量大, 价也高。光纤只能单向传输, 所以必需成对使用。与光学接口连接时, 需小心磨光端头, 通过电烧烤或化学环氧工艺与接口连接。注意确保光通路无阻塞也勿将光纤拉得太紧或成直角。

光纤通过内部的全反射来传输一束经过编码的信号光。内部的全反射可以在任何折射指数高于包层介质折射指数的透明介质中进行。光纤作为频率范围从 $10^{14} \sim 10^{15}$ Hz 的波导管, 覆盖了可见光谱和部分红外光谱。以小角度进入纤维的光, 沿纤维反射, 而锐角度的折射线被吸收, 如图 2-3。

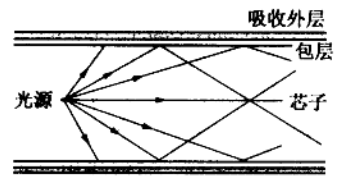


图 2-3 通过内部反射进行的光传播

光纤使用两种不同类型的光源: 发光二极管 LED (light-Emitting Diode) 和注入型激光二极管 ILD (Injection Laser Diode)。LED 是一种固态器件, 电流通过时就发光。ILD 也是固态器件, 它根据激光器原理工作, 即激励量子电子效应来产生一个窄带宽的超辐射光束。LED 较便宜, 工作的温度范围比较大, 且有较长的工作周期。ILD 效率较高, 数据传输率也高。

在接收端用来转换光为电能的检波器是一个光电二极管, 有 PIN 检波器和 APD 检波器两种。

光纤速率在实验室条件下可达几千 Mb/s, 实用上也已达到几百 Mb/s。在 6 至 8 千米的距离内, 可以不用中继器。而且不受电磁或噪声干扰。现在楼宇间的网络连接多用光纤。1992 年通过的 IEEE802.3I 标准, 就是基于光缆互联中继器链路规范, 人称 10Base_F 光缆以太网。

2.1.4 无线通道

最早的有名的采用无线通道的计算机网络是 1970 年由夏威夷大学诺尔曼·亚布拉姆森等研制成功的 ALOHA 网。ALOHA 是夏威夷人对一个人的到达或离开时的致意之词。计算机中心向终端发送报文采用 413.475MHz 的载频, 而终端向中心发送报文用 407.350MHz 的载频。是无线广播的方式。

还有其他无线通信方式是微波通信、红外线和激光等。红外线通信链路只需由一对发送/接收器构成。这对发送/接收器调制不相干的红外光。但收、发器都必须在彼此可视范围内。而采用相干光调制的激光收发器安装情况与要求也类似, 但激光硬件会发生少量射线, 安装要有有关部门的许可才行。

利用通信卫星实现远程高速度的数据通信, 通道容量很大, 一颗卫星的覆盖区跨度达 18000 千米, 频率 1~10kHz。卫星通信系统采用的高频段, 电波穿过大气层, 在云层外自由空间传播, 受气象变化的影响很小。通信质量较稳定。采用卫星通信, 费用与距离几乎无关,

而且信息可以完全反馈确认。但卫星地面站建设较昂贵,数据报文的传播时间较长,达 270ms。因此卫星通信适合于大信息量的批处理系统,不适合于交互式系统。

表 2-1 五种不同介质的性能比较

性能 \ 介质	双绞线	基带同轴电缆	宽带同轴电缆	光纤	微波
带宽	<6 MHz	<100MHz	<300MHz	<300GHz	400~500MHz
距离	<300m	<2.5km	<100km	<100km	无限制
抗电干扰	较差	高	高	很高	差
安装难易	中等	易	易	中等	易
保密性	一般	好	好	最好	差
经济性	便宜	较便宜	中	较贵	中
对噪音反应	敏感	较不敏感	较不敏感	不敏感	中

保密性指的是双绞线这样的介质,无屏蔽时在传输信号过程中,会向四周辐射信号,则易被监听装置截获,造成泄密。同轴电缆的屏蔽性稍好些。

环境噪声来自三个方面:

- (1) 人为噪声,如马达、电源线、工作辐射与荧光灯干扰等。
- (2) 自然界噪声,如闪电、大气层中的电暴等。
- (3) 内部噪声,如器件、电源。

这些噪声都会干扰传输线上的电信号,使其失真。因而选购介质时必须加以考虑。

§ 2.2 数据传输设备 modem

2.2.1 调制解调器 modem

计算机网络经常利用现成的电话线路完成远程通信。计算机及计算机外部设备产生与交换的信息都是 2 进制的代码信息,表现为一长列脉冲信号,叫数字信号。数字信号的直接远程传输是今后的方向,有很大的优点,但却不能在目前的公共电话网上直接传输。因为公共电话网为模拟信道,其频谱范围是 300~3400Hz,而数字信号的频谱分布范围为 0~几千 MHz。直接利用模拟信道来传输数字信号将出现很大的失真,远距离传输后,其方波信号将发生显著的畸变而成为不可识别的无用信号。因为传输一定距离后,信号都将衰减,数字信号比模拟信号更容易衰减。为了实现长距离传输,就得使用放大器以使信号中能量增强,但放大器也使噪音分量增加。如果通过串联放大器来实现长距离传输,信号就越来越畸形。对于模拟数据,允许有许多位的变形而不致影响正确理解。但数字信号显然不行。

1000~2000Hz 的纯正弦波在音频公用电话线上传输时波形不会发生什么变化。通过改变正弦波信号的振幅、频率或相位,可以使它们的不同值分别代表 2 进制信号的“0”或“1”,这样可以进行长距离传输。这就是调制解调器 modem (modulator-demodulator) 的功用。具体说,即在发送端将数字信号转换为模拟信号称为调制,而在接收端再把模拟信号复原成原来的数字信号,这称为解调。因为每一端大多数总要调制也要解调,所以 2 种功能做在同一个设备里。这设备就叫 modem。如图 2-4 所示,调制方式共有三种形式: