

绪论 计算机网络概述

一、计算机网络的发展过程

截止目前为止，计算机网络已发展到第四代，即出现了第四代计算机网，它们是：

第一代：面向终端的计算机网络

第二代：分组交换计算机网络（包括 LAN、MAN、WAN）

第三代：互联网络 $\left\{ \begin{array}{l} \text{ISO/OSI—RM} \quad \text{国际标准化组织的开放系统连参考模型} \\ \text{Internet} \quad \text{国际互联网或称因特网，采用 TCP/IP(传送控制协议/互联网协议) } \end{array} \right.$

第四代：宽带综合业务数字网络（B-ISDN）

1. 计算机网络的产生，第一代计算机网络的出现

第一代计算机网络，也称面向终端的计算机网络，它是最简单的计算机网络，它的出现和发展时期大约是 1955 年~1970 年，经过了约 15 年的发展，在 60 年代末就成熟起来。面向终端的计算机网络大致经过了四个发展过程，如图 0-1 所示。

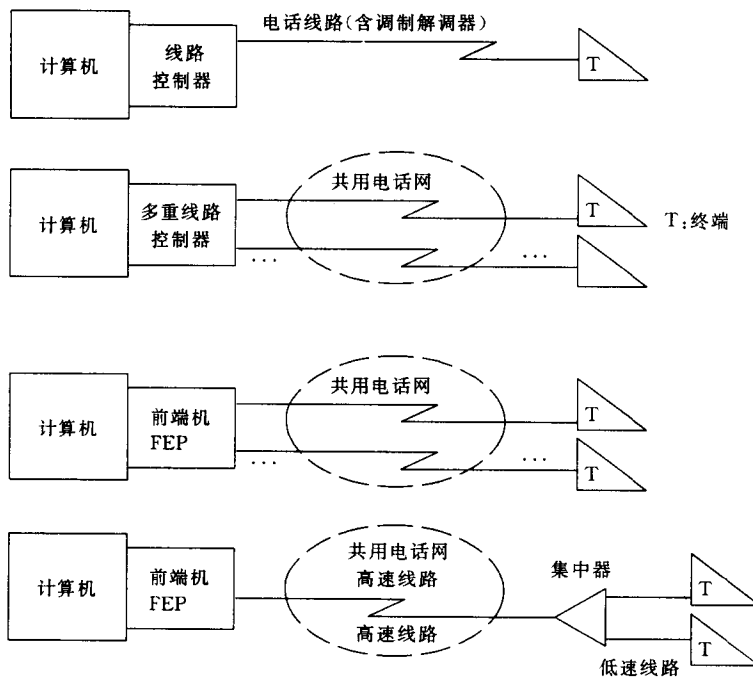


图 0-1 面向终端的计算机网络

2. 分组交换网的产生，第二代计算机网络的出现

分组交换网也称数据包交换网，它的出现和发展大约是 1970 年~1990 年。经过了约 20 年的发展。

分组交换是一种比较新颖的交换技术，在此之前，已经存在电路交换，它包括人工接续、步进制、纵横制、程控交换。从通信资源的分配看，用户在开始通话前，先要申请一条物理通路（即先要占有一定的传输带宽），在通话的全部时间里用户始终占用这条物理通路，这一点是大家所熟知的。这种电路交换方式如果用在计算机网络中，就会出现两个问题：计算机的数据是突发式或间歇式出现的，真正传送数据的时间仅占 1%~10%，其余时间，通信线实际上是空闲的，比如当计算机正在处理数据而未得到结果时，就不能传送，这时线路是空闲的。这是一种资源的浪费。电路交换时，建立通道的时间对计算机通信也嫌太长。比如打电话接通时间 ≤ 20 秒，而通话时间 ≥ 2 分钟，接通时间与通话时间的比为 $20/120=1/6$ 。但在计算机通信时，1200 bit 的数据当用 2400bps 速度传送时，占线时间为 $1200+2400=0.5$ 秒，那么，接通时间与传送数据时间的比为 $20/0.5=40$ 。显然接通时间（也称呼叫时间）太长了。

必须采用其他交换方式，于是就出现了分组交换。1969 年 12 月，美国 ARPANET 投入运行，计算机网进入了第二代发展时期，ARPANET 采用了分组交换。它的示意图如图 0-2 所示。

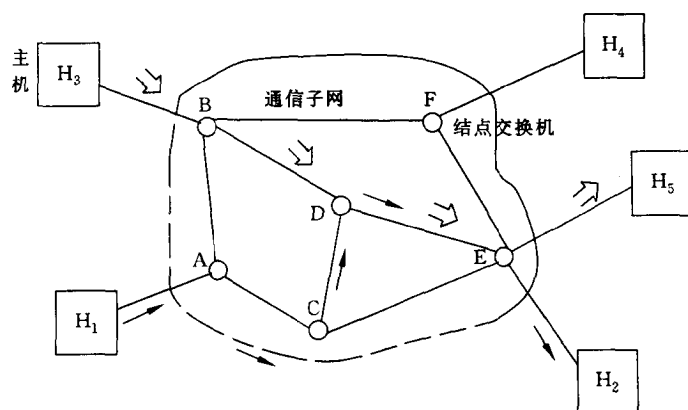


图 0-2 美国的 ARPANET

当主机 H_1 要向 H_2 发送数据时，首先将数据划分成等长的分组（比如 1000bit），然后将这些分组一个一个地发往结点 A。结点 A 将收到的分组先放入缓冲器，再按路由算法（以后讲述），确定分组下一步该发往哪一个结点。可见在各结点，分组交换机的任务是：负责存贮分组；选择合适路由；转发分组。当然每个分组还必须携带目的地址、源地址等控制信息，否则分组交换机就无法确定合适路由。

分组交换网的优点是高效、灵活、迅速、可靠。它的缺点是：因分组存贮而形成传送时延；各分组携带控制信息也有额外时间开销。然而 ARPANET 的端——端平均延时

小于 0.1 秒，实现了准即时通信。

三种交换方式的比较如图 0-3 所示，其中 A、B、C、D 为网络的交换结点。

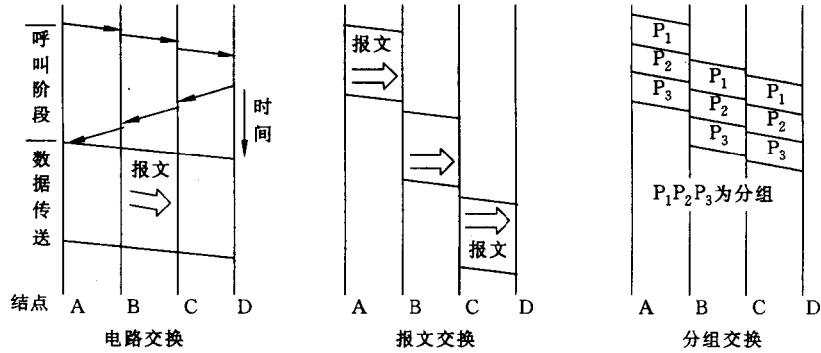


图 0-3 三种交换方式比较

由图 0-3 可见，报文交换比电路交换能使 A→B 及 B→C 通道提前空闲。分组交换比报文交换还能进一步缩短传送时间。

第一代计算机网络与第二代计算机网络的差别如图 0-4 所示。

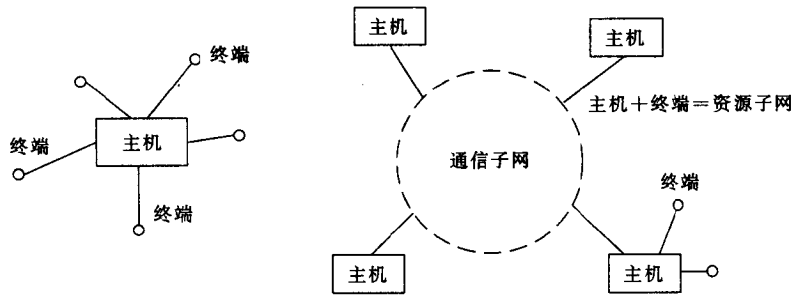


图 0-4 第一、二代计算机网络的差别

在计算机通信网络，特别是分组交换网的发展过程中，特别需要一提的是，近十多年来兴起了通信距离在 10km 范围以内的所谓局域网（Local Area Network-LAN 日文为 ローカル エリア ネットワーク）。该领域的研究工作虽然起步较晚，但进展异常迅速，早已进入实用阶段，在我国已很普及。

早在 60 年代初期，许多国家的厂矿企业、机关学校在日常事物处理和学习研究中就引进了计算机。到了 60 年代后期，世界上的发达国家已经到了离开计算机，社会机能就要停止工作的地步。计算机技术浸透于社会各个领域的最重要方面是数据通信系统。由于通信技术和计算机技术的结合，就产生了计算机通信网和计算机局域网。

早期的数据通信，大都在一个单位、一个部门进行，但这不是局域网。以后由于各单位业务活动的不断扩展，要求从其他单位迅速获得数据信息的愿望日益强烈。这样的

要求如果能够实现，各单位独有的计算机资源（程序、数据、处理手段等）就有可能得到更为有效地利用。于是就出现了所谓的计算机网络。尔后，由于计算机网的发展，也由于微机、专用机的发展，办公室自动化等业务要求很快被提上日程，于是计算机网络的发展出现了回旋上升的局面，即又回旋到单位、部门之中。这样就形成了网络发展的一个重要方向——计算机局域网。可见，计算机网络是计算机局域网发展的基础。

伴随着数据通信理论、网络体系结构（下一章讲述）、计算机网络技术等的发展，局域网得到了很大发展。

3. 网络体系结构的形成，互联网的出现

互连网络	}	ISO/OSI-RM——国际标准化组织（ISO）的开放系统互联（OSI）——参考模型（RM）
		Internet——美国的国际互联网（Internet）采用 TCP/IP（传送控制协议/互联网协议）

如同计算机体系结构的提出，大大加强了计算机的发展一样，计算机网络体系结构的出现，定能大大推动计算机网络的发展。实际上由于计算机网络体系结构的提出和发展，促进了网际互联，即不同型号网的相连问题，形成了第三代计算机网络——互联网。关于网络体系结构的问题将在第一章中讲述。

在第三代计算机网络——互联网出现后，发展最快且规模最大的互联网就算美国的 Internet（国际互联网），它的发展分几个重要发展阶段。

- 1984 年~1985 年，ARPANET 为主干网的互联网。
- 1986 年~1990 年，NSF NET（美国国家科学基金会 NSF 的互联网）与 ARPANET 互联网并存阶段。

1986 年美国 NSF 建立了一个国家科学基金网，覆盖美国的主要大学和研究所，该网分主干网、地区网、校园网三级，主干网的速率为 56kbps(1986 年)→1.544Mbps(1990 年)，1990 年 ARPANET 关闭。

- 1991 年~1992 年，NSF NET 单独存在阶段，这一阶段 Internet 范围由大专院校科研所向其他单位扩大。

- 1993 年以后出现 ANS NET，该网络是 ANS 公司建造的，ANS 是由 IBM 等多个公司联合成立的一个分公司。它的特点是主干网速率为 45Mbps，目前建造的主干网速率高达 155Mbps 以上。

Internet 已成为世界上规模最大的互联网，在 1995 年，已互联 12000 个网络，现在已入网的国家多于 137 个。由于 Internet 有极其丰富的信息资源，世界上先进国家在相继建立自己的科研教育网后，与 Internet 互联，这一措举，促进了这些国家教育科研事业的迅速发展。

值得一提的是 Internet 使用的体系结构为 TCP/IP 协议族。这个体系结构仍为分层结构，虽然它与 ISO/OSI-RM 是不同的体系结构，但两者在很多层的协议相似或相同。

4. 宽带综合业务数字网 (B-ISDN)

B-ISDN 是第四代计算机网络，它的特点有三：综合化、宽带化，采用 ATM 交换（异步交换）方式。

综合化是指网络服务的多种业务综合在一起，即将话音、数据、图象（传真图象和电视图象）等，都以二进制代码的形式综合到一个网络中来传送。因而在计算机中获取、存贮、处理、编辑、显示两个或多个信息媒体——文字、声音、图形、静止图象、活动图象等的所谓多媒体技术，在计算机网络中就是综合业务数字网技术。故可以这样讲述：计算机通信网的多媒体技术就是综合业务数字网技术。

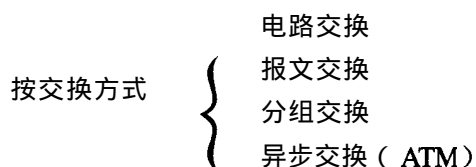
宽带综合业务数字网正在发展，而窄带综合业务数字网（N-ISDN）业已成熟，宽带是相对于窄带而言的。B-ISDN 的宽带化就是指传送速率由几十 Mbps 至几百 Mbps，乃至几千 Mbps (1 千 Mbps=1Gbps)。当速率大于 100Mbps 时，其传输介质用光纤。

为了实现广域 B-ISDN，目前最引人入胜的通信方式是异步传送方式（ATM）。简单讲这种方式分别吸收了电路交换和数据分组交换的优点。

在 ATM 中，把信息数据分割为短的数据块，在其前方加入目的地址等信息构成头部，然后传送。附加了头的数据块称为信息单元（cell），简称信元。ATM 对连续信息，脉冲信息都能分解为信息单元。由于把全部信息分解为小的单元后，进行高速交换和传送，由于兼顾电路交换所具有的实时性和数据分组交换所具有的灵活性，所以可以说 ATM 是电路交换和数据分组交换的综合方式。在 ATM 方式中，由于每一条电路上能够传送和交换所有形式的信息，所以对于将来多变的通信具有很高的适应性。而且，由于将多路终端的信息在一条 ATM 电路上多重化，因此能提高电路的最大吞吐量，从而提高网络效率。

1993 年 9 月 15 日美国政府正式提出了“国家信息基础结构”行动计划，即 NII 行动计划，它包括 5 部分：硬件设施；高速信息网；软件；信息本体；使用和开发信息的各种人员，其中高速信息网又称为信息高速公路——也就是 B-ISDN。目前信息高速公路的含义有所扩大，人们往往将国家信息基础结构 NII 称为信息高速公路。现在“信息高速公路”的呼声很高，世界上很多国家都在制定自己的信息高速公路计划。这就使计算机网络进入了第四代的重要发展时期。

二、计算机网络的分类



按拓扑结构	}	星形网， 也称集中式网
		非集中式网， 星形与格状形的混合网， 也称分散式网
		分布式网， 即格状形网
按范围	}	广域网 WAN >100km
		城域网 MAN >10km, < 100km
		局域网 LAN <10km
		多处理机系统 <10m
按使用	}	公用网
专用网		
按 NOS	}	分布式操作系统的计算机网络，是发展方向
网络环境下操作系统的计算机网络，是目前常见网络		
按速度	}	低速 < 200bps
		中速 200~10kbps
		高速 10k~10Mbps
		超高速 >10Mbps

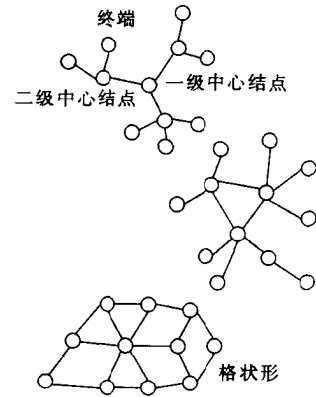


图 0—5 网络拓扑结构

三、计算机网络的定义

关于计算机网络的定义，目前并未统一，不同阶段有不同的定义。

- 一些互相连接的、自治的计算机的结合。
- 以相互共享（硬件、软件和数据）资源方式而连接起来的且各自具有独立功能的计算机系统之集合。
 - 利用各种通信手段（例如电报、电话、微波通信等）把地理上分散的计算机有机地连在一起，达到相互通信而且共享软件、硬件和数据等资源的系统。
 - 一个计算机网络应由三部分组成：计算机，通信子网（包括主干及其入主干网的中、小型网络等），通信协议。

顺便指出，计算机网络、计算机通信网络应该是等同的。计算机通信、数据通信这两个名词，在数据通信发展到今天，是可以混用的，如果要作区分，数据通信主要指通信子网的数据传送。

四、计算机网络在我国的发展

- 最早建立广域网的是铁道部，1980 年率先实验计算机联网。

- 中国的分组交换网

{	CNPAC	1989 年 11 月建成，主干网覆盖 10 个城市
	CHINAPAC	1993 年 9 月建成，主干网覆盖 32 个省会城市 and 计划单列城市
	扩大后的分组交换网，八大城市全连通，如图 0-6 所示。	

- 很多单位安装了局域网，使连网率达 30% 以上。

- 中国科研网 CRN，将国内的重要大学和科研院所相连，加强科研合作。

“金桥工程”是我国经济和社会信息化的基础设施 由于它与经济相关 起名“金”，由于它与国内的其他通信干线和专用网互联，起名“桥”。“金桥”网是一个开放式互联网，是一个覆盖全国的中速信息网。

● “金卡工程”是金融系统推行信用卡、现金卡等，以便加强国家对经济宏观控制的信息化应用工程。

- “金关工程”是为加强对外贸易和自动化管理的一项信息化应用工程。

● 中国公用计算机互联网 CHINA NET，有 31 个骨干结点，是一个可在国内提供互联业务的高速互联网；有 3 条高速国际出口线路，可与国外其他网络互联。

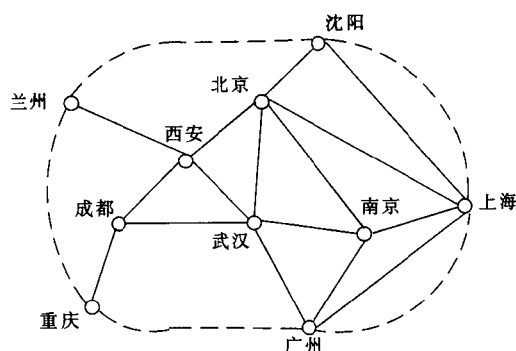


图 0-6 扩大后的分组交换网

计算机网络技术产生于 70 年代初，由于它具有许多优点，在飞快发展的基础上很快进入实用阶段。以资源共享和数据通信为目的的计算机网的发展，不仅引起了计算机工作者、网络工作者的极大兴趣，而且也引起了通信工作者的极大兴趣。目前国内外从事通信网研究、开发、应用推广的人员已汇合成一支庞大的技术大军。我们荣幸成为这支大军中的一分子，为发展信息科学做出贡献，我想是很自豪的。广大信息通信工作者一

定能够在信息科学的基础研究、应用研究、应用推广方面做出无愧于其他学科科技工作者的贡献。目前，我国与国外发达国家相比，在计算机网络化方面仍有很大差别，因此读者在学习掌握计算机网络基础知识后，跳跃式的接近当今计算机网络的最新发展技术是当务之急。

第一章 计算机网络体系结构与标准化

第一节 网络体系结构概述

一、网络体系结构的出现

早在 60 年代计算机系统设计者就提出所谓的计算机体系结构的概念。体系结构一词来自英文 *Architecture*，原意是指建筑风格和建筑设计。自然建筑风格应由许多规则和约束来确定，但它毕竟不是一个具体的建筑物。计算机体系结构这个术语的意义是指从整个计算机系统的角度研究计算机的结构特征等，是指计算机的逻辑结构和功能。这个术语被后来的计算机网络工作者所采用，提出了计算机网络体系结构的概念。

泛泛讲，计算机网络体系结构是指整个网络体系中的逻辑构成和功能分配，它是对构成计算机网络的各个组成部分所具备功能的一组定义，它使计算机网络系统能够在统一的原则方针下进行设计、建造、使用和发展。它提出的问题并不是制造网络某产品部件，也不是具体的某个网络，而是对整个网络功能，设计建造进行尽可能合理的抽象和概括。由于它从全局的观点研究、探讨计算机网络，所以对促进网络的合理化、标准化、高性能化、通用化，产生了巨大影响。

需要指出，计算机网络体系结构所研究的功能分配及功能是需要硬件和软件完成的，这个问题是体系结构实现的问题。显然体系结构是抽象的、概括的，体系结构的实现是具体的、局限的。

如同计算机体系结构的提出，大大加快了计算机的发展一样，计算机网络体系结构的出现，定能大大推动计算机网络的发展，因此七十年代以来，网络体系结构的研究急骤兴起。1974 年，美国 IBM 公司首先公布了世界上第一个计算机网络体系结构——系统网络体系结构 SNA (*System Network Architecture*) 凡是遵循 SNA 的网络设备，具有互联性。非常宝贵的是，这个首创的网络体系结构当时就有分层结构的形式。虽然经十多年后的今天，网络体系结构已有国际标准，但由于 SNA 不断更新版本，目前仍是世界上使用较为广泛的一种网络体系结构。据统计，按照 SNA 设置的网络在 80 年代末已达到 15000 套以上。在此以后，1975 年 DEC 公司发布了 DEC 计算机网络体系结构 DNA；1976 年 Sperry-Vnivac 公司公布了分布式控制网络体系结构 DCA；Burroughs 公司提出了非集中式数据处理网络系统 DNS。日本的几家大公司也提出了自己的网络体系结构。比如富士通公司的 FNA，东芝公司的先进网络系统体系结构 ANSA，日本电气公司的分布式信息处理网络体系结构 DCIA 等。

在自由竞争中，计算机网络体系结构在短时间内得到了很大的发展，但是伴随着形式的多样化，增加了复杂性，出现了很多问题。主要表现为：

(1) 软件，硬件系统增大。由于数据传输控制办法，通信程序及通信控制装置多种多样，因此管理也多种多样，软硬件五花八门，费用也很巨大。

(2) 研制费用越来越大。伴随着系统的多样化，符合各种要求的系统越来越难研制，而且人力投入不断增多，费用需要不断增长。

(3) 可塑性，扩展性有限。伴随系统的多样化，很多部件的组件不能完全实现，系统的变更和扩展必然变得越来越困难，系统的维护管理也变得困难。特别是系统的互联很成问题。

如此等等的原因，给计算机网络的发展造成了困难。不仅如此，伴随着网络技术的发展，逐渐向人们提出：不但要使现有的大量的各种各样的计算机进网工作（即所谓的异种机连接的问题），而且要使当前的各种体系结构的网络也都能互联起来，相互交换信息、资源共享、分布处理、分布应用（即所谓的开放系统互联），进而要使今后生产的网络尽可能大体上都能遵循一个统一的体系结构标准。

这样一些问题，受到了国际标准化组织（ISO）的重视，它的技术委员会之一 TC₉₇，在 1977 年 3 月召开的第九次全会上决定成立一个新的分技术委员会 ISO/TC₉₇/SC₁₆，由它来解决上述新课题。经过几年的努力，1983 年 ISO/TC₉₇/SC₁₆ 提出了开放系统互联参考模型，即著名的 ISO7498 国际标准，记为 ISO/OSI-RM，简记 OSI。这个分层的体系结构是计算机网络体系结构的最新成就。现在的体系结构就是以分层的方法研究计算机网络的各层功能、协议、接口。体系结构这个名称带有历史的原因，现在称计算机网络分层体系结构较为准确。计算机通信网络的体系结构还在发展健全，不过 ISO/OSI 给我们提出了目前发展的新成果，奠定了网络体系结构的基础。因此本书重点讲述 ISO/OSI 开放系统互联体系结构。顺便介绍网络体系结构的最新进展。

二、建立网络体系结构的出发点

研究制定计算机网络体系结构的方法分为抽象化、虚拟化、分层化。下面以 ISO/OSI 为例来简述这些方法。

在 OSI 体系结构中，问题的处理采用了抽象的方法 采用了如图 1-1 所示的三级抽象。

这三级抽象是：参考模型、服务定义、协议规范（即协议规格说明），它们分别自顶向底方向逐步抽象。先从最高一级 OSI 参考模型开始抽象，这一级的约束较少，描述粗犷。中间级 OSI 服务定义的抽象有较多的约束。最低一级为 OSI 协议，对它要精细描述，约束最多。显然图 1-1 的三个圈，越到里圈越严格，描述越具体，但这并不妨碍人们可采用不同的方法去具体实现精细描述的协议规范。

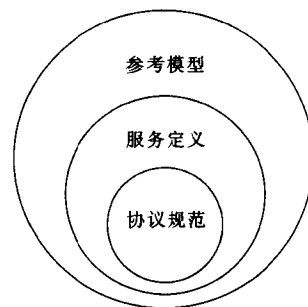


图 1—1 OSI 三级抽象示意图

OSI 参考模型，即 OSI-RM 是建立网络系统功能和概念的抽象模型，它定义了七层模型，为国际标准化组织进一步开发 OSI 标准提供了共同的框架。OSI-RM 描述的概念

用来协调网络通信，也就是说，OSI-RM 也是一个标准。但它并非是一个一般标准，而仅仅是一个为制定通信标准而采用的概念性、抽象性的框架。

OSI 服务定义是较低一级的抽象概念。比较详细地定义了各层所提供的服务。某一层（OSI-RM 共分七层）的服务就是该层及其以下所有层提供的服务，它通过该层与上一层边界上的接口给上一层提供服务。各层给自己的上一层提供的服务与这些服务是怎样实现的无关。因此，OSI 服务只不过是层间的抽象接口。这个抽象接口往往是由所谓的“服务原语”（service primitive）来体现的。服务原语的概念稍后讲述。

OSI 协议规范是最低一级的抽象概念。协议也称规程，它指多个开放系统的同等层（比如都为第 N 层）在执行通信功能时，双方约定的通信规则等。一个网络协议大体由三部分组成，即语法：数据和控制信息的结构和格式；语义：明确控制信息的意义，作用及所要求的响应；同步：实现网络通信的顺序，即通信时间顺序要同步。OSI 协议规范是网络体系结构的中心，因此狭义讲，网络体系结构就是网络协议。

在 OSI 体系结构中，协议研究的出发点和协议实现的归着点大都是虚拟的。所谓虚拟是实现网络中不完全存在的，然而又是实际网络的高度概括与理想化。遵循虚拟化的方法，不仅方便了开放系统互联体系结构的研究，而且也为研究网络体系结构找到了目标和对象。网络体系结构中所研究的具体对象大都是建立在虚拟基础上，并非具体到某一个器件、装置、组件、程序等，比如在网络协议中经常出现的逻辑信道、虚拟电路、虚拟主机、虚拟内存、虚拟终端等都是高度概括与理想的产物，为建立网络体系结构发挥了重要作用。关于虚拟化的概念将在以后的具体章节中碰到。

分层化是建立计算机网络体系结构极为重要的出发点，它是全体网络体系结构研究人员的共同认识。分层结构的设想大致如图 1-2 所示。

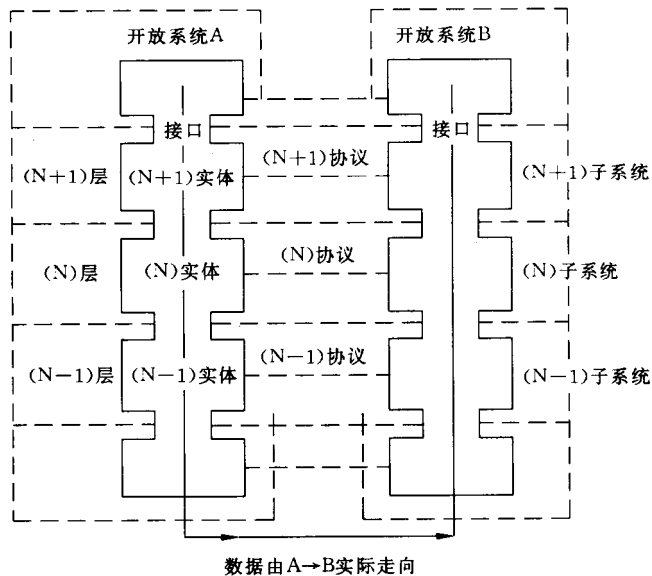


图 1—2 分层结构示意图

系统 A 和系统 B 互联，每个系统都分相等数量的若干层（对 OSI-RM 为七层），每层分担计算机通信网的部分功能，同时又为较高层提供所需的服务。相邻层之间有接口，接口是网络体系结构的重要组成部分，由它完成低层对高层提供服务。显然，接口是相邻层实现通信的保证。当不同系统对等层（比如第 N 层）进行通信时，就使用第 N 层协议。也就是从对等层看去，它们之间的通信就好象是直接通过协议进行的，根本不需要过问其他下位层的情况。这一点正反映了分层结构的独立性。然而对等层协议所支持的对等层通信是虚拟的，因为实际通信的数据并不是从这个系统的第 N 层直接传送给那个系统的第 N 层，这是不可能存在的。传送数据的过程在发送端还是由上层向下层进行，到达最低层（第一层），再向接收端的第一层进行物理传送，然后接收端将数据由低层向高层逐层传送，一直送到通信的对等层。由于分层结构涉及很多概念，不是三言两语就能说清楚的，为此，下面设专节讨论。

时至今日，对计算机网络体系结构可明确表述如下：对构成计算机网络的各个组成部分（包括网络本身）所具备功能和协议的一组定义，也就是为了完成计算机之间的通信合作，把每个计算机互联的功能划分成定义明确的层次，规定出对等层进程通信协议，规定相邻层之间的接口及下层所提供的服务。将这些分层模型、对等层进程通信协议规范、相邻层接口服务规范等的集合统称为计算机网络体系结构。简单讲，开放系统互联参考模型、协议、服务等统称为计算机网络体系结构。关于服务进程的概念在下节解释。

第二节 分层体系结构及相关概念

一、分层结构剖析

在图 1-2 中画出了两个系统互联示意图。本节以该图为依据对分层结构进行剖析。

1. (N) 层与 (N) 实体

观察图 1-2，由纵方向看去，每个系统被分成层数相等的阶层。为了避免对每一层都进行相似的描述，用 (N) 层表示某一特定层，用 (N+1) 层表示 (N) 层相邻的上一层，用 (N-1) 层表示 (N) 层相邻的下一层，但对 N=1 的最低层无 (N-1) 层。对 OSI 参考模型（下章讲述），因为最高层为第七层，故 N=1, 2, ..., 7。当 N=7 时，无 (N+1) 层。由纵方向看去，图 1-2 每个开放系统被分为若干个划分，每个划分称为一个子系统。从分层的角度看，每个子系统差不多就是一个层，用 (N) 子系统表示。在互联系统中，(N) 子系统联合起来构成同等层，也称为对等层或同层，用 (N) 对等层或 (N) 同层表示。

如前所述互联系统考察的对象主要是对等层进程（即同层进程）的通信。精细一点讲，就是要考察 (N) 层通信进程的通信手段和通信功能。这里所讲的“(N) 层通信进程的通信手段”正是所谓的“(N) 层实体”。在分层结构中“实体”被定义为：相互通信进程的通信手段，泛指一切能够发送和接收信息的东西，比如用户应用程序，数据库管理系统，终端等等。在许多情况下，实体就是一个特定的软件模块。(N) 层实体简称 (N)

实体，每层实体是不尽相同的。每一层可看做由一个实体或多个实体组成。有了实体的概念，信息交换究竟是一个进程，一个文件还是一个终端，都没有实质区别。

(N) 实体分为两个方面，即类型和实例。(N) 实体的类型是(N) 层功能的特定集合，也可能是一个集合(即一个实体类型)，也可能是多个集合(即多个实体类型)。(N) 实体的实例是对该(N) 实体类型的某一特定调用，以便提供(N) 实体的某一功能。在

(N) 同层中实体称为同层实体。同层实体的类型仅表示(N) 同层实体之间联系功能的集合，而(N) 同层实体的实例则表示一次特定的信息交换。同层实体也称为同级实体或同位实体。同层实体可以出现于相同系统中，也可以出现于不同系统中。在分层结构中，层与实体往往混用，比如“应用层通信”也可说成“应用实体通信”(应用层为 ISO/OSI 最高层)

在分层结构中，还出现了“同层进程”的概念。对(N) 同层而言，就是(N) 同层进程。两主机的同层实体进行通信时，被称为同层进程。进程和实体是相互依附的概念，实体进行通信就是进程。实体是一个“静”的概念，它指通信手段，而进程是一个“动”的概念，它指“通信手段”正在进行通信。(N) 同层进程就是(N) 同层实体的通信。

与实体相联系的概念，除了“层”、“进程”外，还有“系统”、“用户”等，在计算机网络中，系统是指明确的事物，比如网络系统、信息系统等。系统有大有小，小到计算机、终端和各种设备等。虽然有的系统也可能形成实体，但二者区别明显，比如终端是一种小系统，并非完全是实体。具有通信手段的终端才形成实体。由于计算机网络是实现通信的系统，所以在计算机通信网的体系结构中往往多讲实体，少讲系统。在计算机通信网中，用户的概念比较复杂，它可能代表计算机，计算机中的应用软件，外围设备(如视频终端、打印机等)操作员等，人们往往把用户与终端混用，比如“用户终端”，或者交叉使用，比如把用户称为终端，或者相反。在计算机网络体系结构中常用实体的概念，而不用“用户”。但对(N) 实体为其上一层(N+1) 层的实体提供一组服务时，把(N+1) 层或(N+1) 实体称为服务用户，把(N) 层称为服务提供者。

2. (N) 协议与(N) 服务

在执行(N) 层通信时，确定(N) 同层实体相互通信行为的一组规则(从语义上讲)和数据信息格式(从语法上讲)，以及相互通信要同步的原则，称为(N) 层协议，简称(N) 协议。这一点在上节已经交待，本节要强调三点：①(N) 层协议是就(N) 同层而言的；②(N) 层协议=(N) 层通信行为规则+(N) 层通信信息格式+(N) 通信同步原则；③(N) 同层通信是虚拟通信，它们仅在逻辑上存在。

由第一节我们已经知道，(N) 实体只能与它相邻的(N+1) 实体或(N-1) 实体直接通信，这种直接通信的概念与(N) 同层实体相互的虚拟通信(或称逻辑通信)是网络体系结构中的不同概念。

(N+1) 同层实体要完成通信，从物理实现的角度讲，(N+1) 实体必须请求(N) 实体给它提供通信能力，而且这种通信能力是通过两层边界之间的端口提供的(关于端口的概念，稍候说明，在这里理解为接口)。在分层结构中，将(N) 实体通过端口向(N+1) 实体提供通信能力的过程，称为(N) 层服务，简称(N) 服务。类似地，(N) 同层实体

的通信必须请求 (N-1) 实体向 (N) 实体提供 (N-1) 服务。依层类推, 直到最低层。最低层内的两个同层实体通过激活连接它们的物理介质, 也就是实现最低层连接, 直接通信。可见, 只有最低层的通信不是逻辑上的通信。

(N) 实体通过边界端口向 (N+1) 实体提供的服务, 除了动用 (N) 实体本身的功能外, 还需要 (N-1) 实体以下各层实体提供服务, 因此, (N) 服务也是由 (N) 实体提供 (N) 层及以下各层综合通信能力的过程。从这个意义上讲, 最高层实体也要为应用进程提供服务。可见, (N+1) 实体受到 (N) 层服务包括由 (N-1) 层得到的服务加上由 (N) 层协议得到的机能。

与 (N) 层服务概念相联系, (N+1) 实体也称为 (N) 层服务用户, 这时, (N) 实体就是 (N+1) 实体的服务提供者。

协议与服务是区别很大的概念, 在分层结构中, 协议是水平的, 而服务是垂直的。(N) 协议对 (N) 同层实体是透明的, 但对 (N+1) 实体是非透明的。虽然 (N) 协议的实现能保证向 (N+1) 层提供 (N) 服务, 但 (N+1) 实体并不需要关注 (N) 协议。也就是 (N) 协议具有独立性。而 (N) 服务对 (N+1) 实体是透明的, 也就是 (N+1) 实体要关注 (N) 服务, 并请求 (N) 实体提供 (N) 服务。对上述说明概括起来: (N) 层的功能主要包括 (N) 协议和 (N) 服务, 对 (N+1) 层透明的是 (N) 服务, 对 (N+1) 层非透明的是 (N) 协议。

3. (N) 服务访问点与 (N) 服务连接端点

在同层实体按协议通信时, 在同一系统中相邻两层实体交换信息的地点, 通常称为服务访问点 (Service Access Point, 缩写为 SAP)。因此, (N) 服务访问点是 (N) 实体给 (N+1) 实体提供服务的地点, 也是 (N+1) 实体请求 (N) 实体服务的地点。(N) 服务访问点设置在 (N) 层和 (N+1) 层的交界面之间, 类似于常说的“接口”, 故也称 (N) 端口 (port)。由于层中实体类型是非唯一的, 因此 SAP 可为复数。

从服务用户的观点看, (N) 服务对 (N+1) 实体透明是指 (N+1) 实体从服务访问点 (N) SAP 可获得由服务提供者 (N) 实体提供的所需服务, 并不是指 (N+1) 实体知道 (N) 实体的内部情况。由于只能通过 (N) SAP, 同一系统相邻层实体才能发生交互作用, 于是就出现了 (N+1) 实体与 (N) 实体通过 (N) SAP 相互联接的概念, 其连接点处于 (N) SAP 内, 称为 (N) 服务连接端点, 简称 (N) 连接端点 (Connection End Point, 缩写为 CEP), 用 (N) CEP 表示。

确切讲, 相邻层实体通信中, (N) 实体指 (N) 实体实例, 即对 (N) 实体类型的某一特定调用, 以便提供 (N) 实体的某一功能。由于 1 个实体可以有多个实体实例, 所以当 (N+1) 实体与 (N) 实体连接时, 在一个 (N) SAP 中可能有多个 (N) CEP。为了区分多个 (N) CEP, 常给每个 (N) CEP 加一个标识符, 也就是 (N) CEP 标识符。在 (N) SAP 范围内每一个 (N) CEP 是唯一的, 不能重复。

1 个 (N) SAP 一次只能被 1 个 (N) 实体所使用, 同样, 1 个 (N) SAP 一次只能被 1 个 (N+1) 实体所使用。但是, 1 个 (N) 实体可以同时使用 1 个或多个 (N) SAP, 并且 1 个 (N+1) 实体可以同时使用 1 个或多个 (N) SAP。这样, (N) SAP 与上下两层实

体的使用关系（即服务连接关系）有三种情况，如图 1-3 所示。

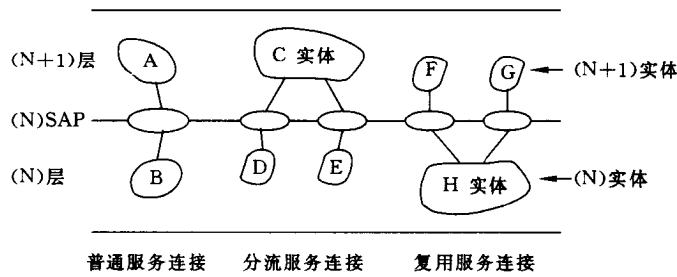


图 1—3 两层实体的服务连接关系

其中(N+1)层的 A 实体与(N)层的 B 实体通过(N) SAP 实现常用的服务连接，称为普通服务连接。这种一对一的服务连接并不排除在一个(N) SAP 内有若干个(N)连接端点。这一点在下面(N)连接小节中讲述。实体 C 与实体 D、E 通过两个(N) SAP 的服务连接是分裂的，称为分流服务连接。这种一对多的服务连接也不排除在一个(N) SAP 内有若干个(N)连接端点。实体 F、G 也通过两个(N) SAP 与实体 H 发生联系，但从(N)实体的角度看，服务连接是合并的称为复用服务连接。关于分流和复用的概念稍候再加强说明。

4. (N) 连接 (Connection)

(N) 连接是一个名词，它是(N+1) 同层实体通信时，在(N) 同层实体之间设定的逻辑通路。为了实现(N+1) 同层实体之间的数据交换，往往先在(N) 同层实体之间建立通路，也就是建立(N) 连接。利用(N) 连接进行数据交换的方式称为连接型数据传送 (Connection oriented data transmission)。此外还存在非连接型数据传送 (Connectionless data transmission)。本节的(N) 连接与(N) 服务连接的涵义不尽相同，请读者留意。

建立(N) 连接要求三个条件：① 在(N) 同层实体之间要获得连接，包括(N-1) 连接、(N-2) 连接、... 依次递归直到激活互联的物理介质；② (N) 同层实体处于能执行(N) 协议的状态；③ (N) SAP 提供出(N) 实体的通信服务功能，即(N) 实体使用(N) SAP。

(N) SAP 是(N+1) 实体的服务连接点，已在上面 3 小节中交待了。本小节讲述的(N) 连接是(N) 同层实体之间建立的连接，那么，其连接必然存在两个端点。显然，每 1 个(N) 连接的端点正是(N) 服务访问点(N) SAP 中的 1 个(N) 连接端点，即(N) CEP (Connection End Point)。于是，(N) 连接可以这样描述：(N) 连接是由(N) 同层的两个或多个(N) CEP 所连接的、被(N+1) 同层实体用来交换数据信息的虚拟通道，如图 1-4 所示。

上述所讲的由(N) SAP 承担的(N) 服务连接和由(N) CEP 所体现的(N) 连接，往往使读者产生概念混淆，不妨举一例从物理实质方面略作区分。在(N+1) 层与(N) 层边界处存在 1 个存储器，是待发送数据单元的排队室。在该排队室中，形成数据单元

的队列，这就是 (N) SAP。队列中的数据单元按传送路径被区分为多路小队列，用 (N) 连接端点的标识符区分，这就形成了 (N) 连接端点，即 (N) CEP。在通常情况下，(N) 连接为 1:1 的对应关系，但并不排除出现 (N) 连接与 (N-1) 连接之间的复用、反复用；分流、合流的关系。

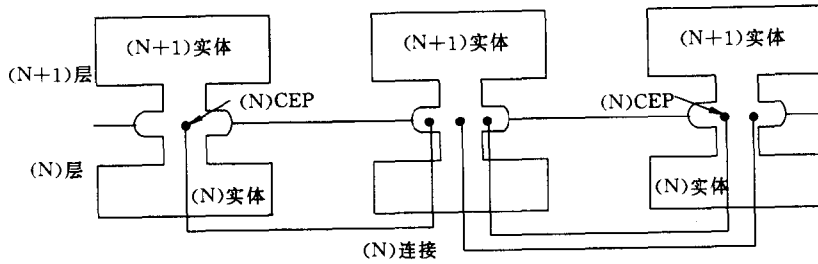
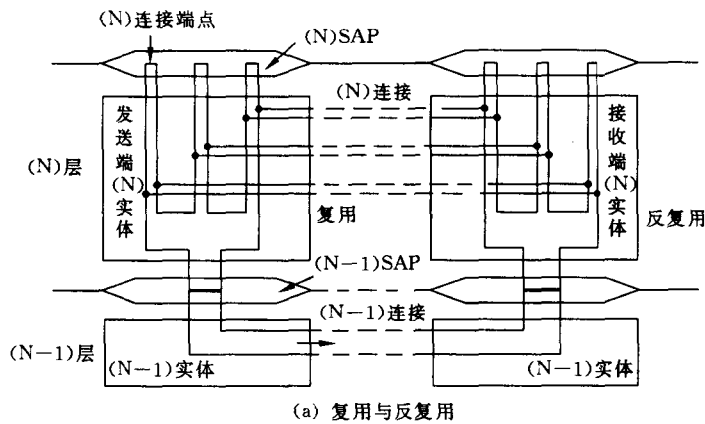
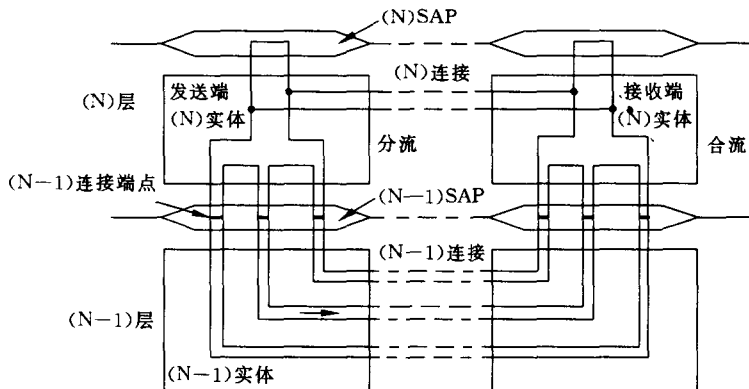


图 1-4 (N) 连接示意图

复用和反复用(demultiplexing)：为了能够实现多路 (N) 连接公用 1 路 (N-1) 连接，进行连接之间的变换，如图 1-5 (a) 所示。这种复用和反复用的连接，因为只需 1 路 (N-1) 连接，故成本费用少。这是一大优点。



(a) 复用与反复用



(b) 分流与合流

图 1-5 (N) 连接与 (N-1) 连接转换

分流和合流 (recombining): 1 路 (N) 连接利用多路 (N-1) 连接的情况称为分流 (splitting), 如图 1-5 (b) 所示。在 (N-1) 连接速度性能低下, 或可靠性不好时, 分流和合流能发挥效能。

由以上两小节可见, 复用和分流在 (N) 服务连接和 (N) 连接两种情况下都出现, 但二者差别甚大。请读者自己区分它们的不同点。

5. 数据单元及各层传送数据的处理关系

在计算机通信网络中, 同层实体之间按同层协议进行通信, 相邻层实体之间按服务进行通信, 这些通信都是以信息传递单元进行的。信息传递单元也就是各种数据单元, 区分为三种, 即协议数据单元、服务数据单元、接口数据单元。此外, 还要涉及两种数据和两种控制信息, 即用户数据、接口数据、接口控制信息、协议控制信息。因为这些概念庞杂, 较难区分, 故本小节予以仔细阐述。

(1) (N) 用户数据, 用 (N) UD 表示。它是 (N) 层用户 (即 (N+1) 实体) 交给 (N) 实体的、需要传送到对等 (N) 实体的数据。该数据依赖 (N) 协议传送到对等 (N) 实体后, 必然要由对等 (N) 实体提交给自己的服务用户 (即对等 (N+1) 实体)。故明确讲, (N) 用户数据是 (N) 层用户的数据, 只不过按原样由 (N+1) 层传送到下位相邻的 (N) 层。有人说 (N) 用户数据是以 (N+1) 实体的名义在 (N) 实体之间传送的数据, 似欠妥。应该加上在 (N) 实体之间需要传送的数据, 因为在 (N) 实体之间传送的是下面将要讲述的 (N) 协议数据单元, 在 (N) 协议数据单元中, (N) 用户数据只是一部分构成。又有人说 (N) 用户数据是 (N) 本层的用户数据。此意可理解为: (N) 本层用户的数据, 但它已按原样由 (N+1) 层传送到了 (N) 层。

1 个 (N) 用户数据可以一次经 (N) SAP 由 (N+1) 层传送到 (N) 层, 也可以分成多段后经多次传送到 (N) 层。

(2) (N) 协议控制信息, 用 (N) PCI 表示。是 (N) 同层实体按照 (N) 协议通信时, 所必须具备的控制信息。它被协议数据单元所携带。

(3) (N) 接口数据, 用 (N) ID 表示。它指在 (N) SAP 上通过的数据。

(4) (N) 接口控制信息用 (N) ICI 表示。为了让 (N) ID 协调地通过 (N) SAP 而使用的控制信息就是 (N) ICI。

(5) (N) 协议数据单元用 (N) PDU 表示。在 (N) 同层通信中, (N) 协议所要求的需要传送的数据单元。(N) PDU 的大小一般都有一定要求, 如图 1-6 所示。(N) PDU = (N) PCI + (N) 用户数据, (N) PCI 一般作为首部加在 (N) UD 的前面, 但有时也作为首、尾部同时加在 (N) UD 的前面和后面。

为了将 (N+1) PDU 传送到对等实体, 必须将 (N+1) PDU 通过 (N) SAP 交给 (N) 实体, 这时 (N) 实体就把整个 (N+1) PDU 当作 (N) UD, 再加上 (N) PCI, 就组成

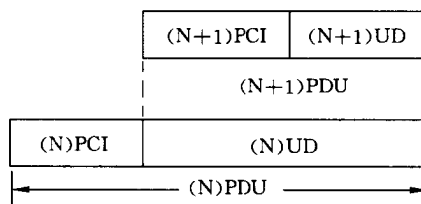


图 1-6 (N) 协议数据单元