

《计算机网络原理》

课程编号：40240513

讲课教师：吴建平 徐明伟 尹霞

本科生必修课

计算机科学与技术系

主要教学内容和学时分配

第一章	引言	3
第二章	计算机网络的体系结构	6
第三章	数据通信的基本原理	3
第四章	物理层接口及其协议	3
第五章	数据链路控制及其协议	9
第六章	局域网技术	6
第七章	网络互联和访问控制	6
第八章	运输层的可靠传输	3
第九章	计算机网络应用	6
第十章	计算机网络新技术/复习	3
共计		48

第二章

计算机网络体系结构

第二章 计算机网络体系结构

2.1 计算机网络的构成

2.1.1 资源子网

2.1.2 通信子网

2.2 计算机网络的体系结构

2.2.1 计算机网络功能的分层

2.2.2 协议和协议的分层结构

2.2.3 计算机网络的体系结构

2.3 典型计算机网络参考模型

2.3.1 计算机网络的标准化

2.3.2 OSI参考模型

2.3.3 TCP/IP参考模型

2.4 网络和网络服务

2.1 计算机网络的构成

2.1.1 资源子网（或用户子网）

- 基本组成
 - 服务器
 - 客户计算机，移动终端

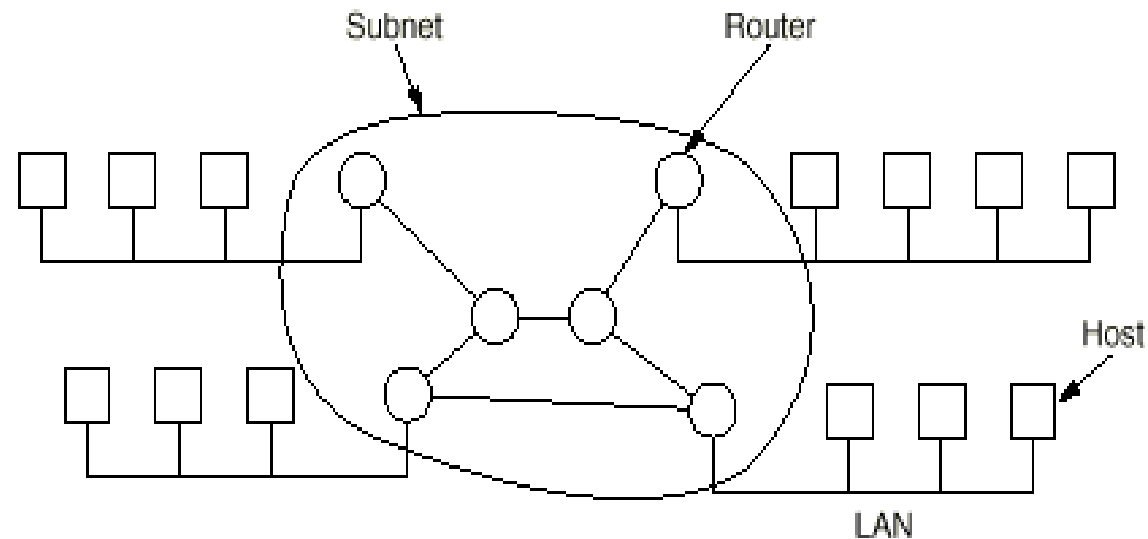


Fig. 1-5. Relation between hosts and the subnet.

2.1.2 通信子网

- 通信子网的基本组成：
 - 通信线路（或称通道）
 - 网络互连设备（路由器、交换机、HUB等）
- 通信子网的基本结构：点到点通道
 - 基本特点：一条线路连接二台网络互连设备；
一般情况下，二台计算机的连接要经过多台网络互连设备
 - 典型拓扑结构：star（星型），ring（环型），tree（树状），
complete（全连接），intersecting rings（交叉环），
irregular（不规则）
 - 关键技术：路由选择（Routing）

2.1.2 通信子网

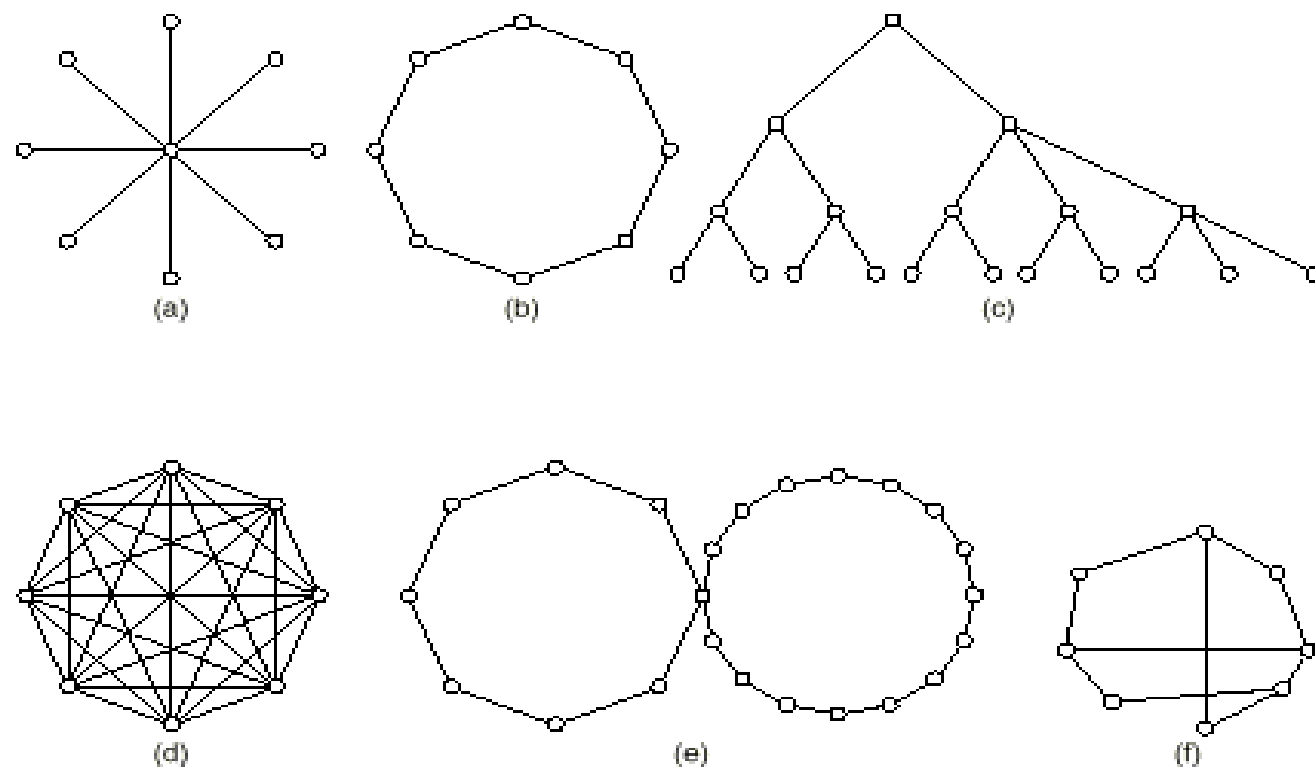


Fig. 1-6. Some possible topologies for a point-to-point subnet.
(a) Star. (b) Ring. (c) Tree. (d) Complete. (e) Intersecting rings. (f) Irregular.

2.1.2 通信子网

- 通信子网的基本结构：广播通道
 - 基本特点： 多台计算机共享一条通信线路；
任一台计算机发出的信息可以直接被其它计算机接收
 - 典型拓扑结构： bus（总线）, ring（环）

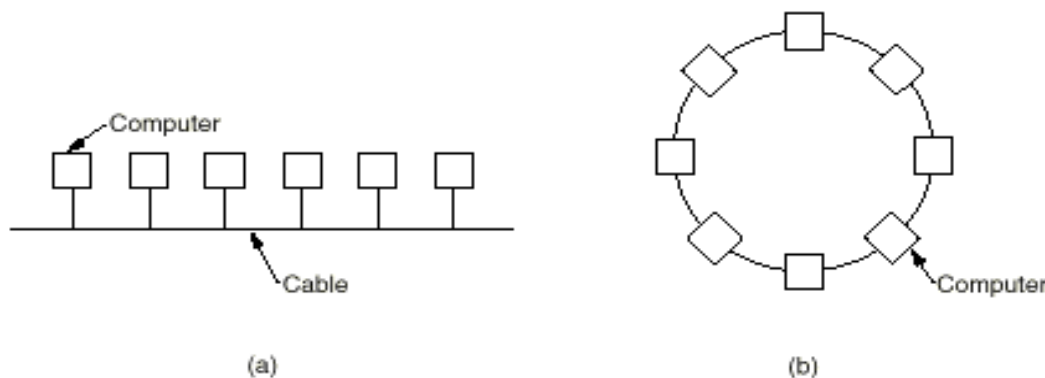


Fig. 1-3. Two broadcast networks. (a) Bus. (b) Ring.

- 关键技术：通道分配

2.1.2 通信子网

- 静态分配：分时间片
特点：控制简单，通道利用率低
- 动态分配：各站点动态使用通道
特点：控制复杂，通道利用率高
动态分配控制方法：
 - 集中式：只有一个仲裁机构
 - 分布式：各站点均有仲裁机构

2.1.2 通信子网

- 通信子网的分类：
 - 从地域范围角度
 - 局域网络 (Local Area Networks)
 - 主要采用广播通道技术
 - 城域网络 (Metropolitan Area Networks)
 - 广域网络 (Wide Area Networks)
 - 主要采用点到点通道技术
 - 从采用技术角度
 - 无线网络 (Wireless Networks)
 - 优点：方便、灵活
 - 缺点：速率低，误码率高，易受干扰
 - 卫星网络，ATM网络
 - 移动通信系统

2.2 计算机网络的体系结构

2.2 计算机网络的体系结构

- 计算机网络的体系结构：
 - 对计算机网络及其部件所完成功能的比较精确的定义。即从功能的角度描述计算机网络的构造。
 - 计算机网络各种功能组成及其相互关系
 - 层次和协议的集合。
- 注意：
 - 计算机网络体系结构仅仅定义了网络及其部件通过协议应完成的功能；不定义协议的实现细节和各层协议之间的接口关系。
- 网络功能的分层-协议的分层-体系结构的分层
- 协议分层易于协议的设计、分析、实现和测试。

2.2.1 计算机网络的功能分层

- 计算机网络的基本功能是为地理位置不同的计算机用户之间提供访问通路。
- 必须提供下述功能：
 - 连接源结点和目的结点的物理传输线路，可经过中间结点
 - 每条线路两端的结点利用波形进行二进制通信
 - 无差错的信息传送
 - 多个用户共享一条物理线路
 - 按照地址信息，进行路由选择
 - 信息缓冲和流量控制
 - 会话控制
 - 满足各种用户、各种应用的访问要求

2.2.1 计算机网络的功能分层

- 上述功能有三个显著特点
 - 上述功能必须同时满足一对用户
 - 用户之间的通信功能是相互的
 - 这些功能分散在各个网络设备和用户设备中。
- 一般采用“层次结构”的方法来描述计算机网络，即：计算机网络中提供的功能是分成层次的。

2.2.2 协议和协议的分层结构

- 协议的定义和组成
 - 层次结构的计算机网络功能中，最重要的功能是通信功能
 - 这种通信功能主要涉及同一层次中通信双方的相互作用
 - 位于不同计算机上进行对话的第N层通信各方可分别看成是一种进程，称为对等（同等）进程。
 - 协议 (Protocol)： 计算机网络同等层次中，通信双方进行信息交换时必须遵守的规则。
 - 协议的组成：
 - 语法 (syntax)： 以二进制形式表示的命令和响应的结构
 - 语义 (semantics)： 由发出的命令请求，完成的动作和回送的响应组成的集合
 - 定时关系 (timing)： 有关事件顺序的说明

2.2.2 协议和协议的分层结构

- 协议的分层原则和层间结构
 - 协议的分层原则 (layering principle)
 - 目的计算机上的第N层软件必须准确接受发送计算机上软件第N层发送的信息。
 - 协议分层要保证整个计算机网络系统功能完备、高效。
 - 每一相邻层之间有一个接口 (Interface) , 它定义了下层向上层提供的原语操作和服务。
 - 对于第N层协议来说, 它有如下特性
 - 不知道上、下层的内部结构;
 - 独立完成某种功能;
 - 为上层提供服务;
 - 使用下层提供的服务。

2.2.3 计算机网络的体系结构

- 基本术语与分层结构
 - **接口**：定义了下层向上层提供的原语操作和服务。
 - **协议**：计算机网络同等层次中，通信双方进行信息交换时必须遵守的规则。
 - **服务**：层间交换信息时必须遵守的规则。

注意区分：

- 服务和协议的关系
- 服务提供者，服务用户

2.2.3 计算机网络的体系结构

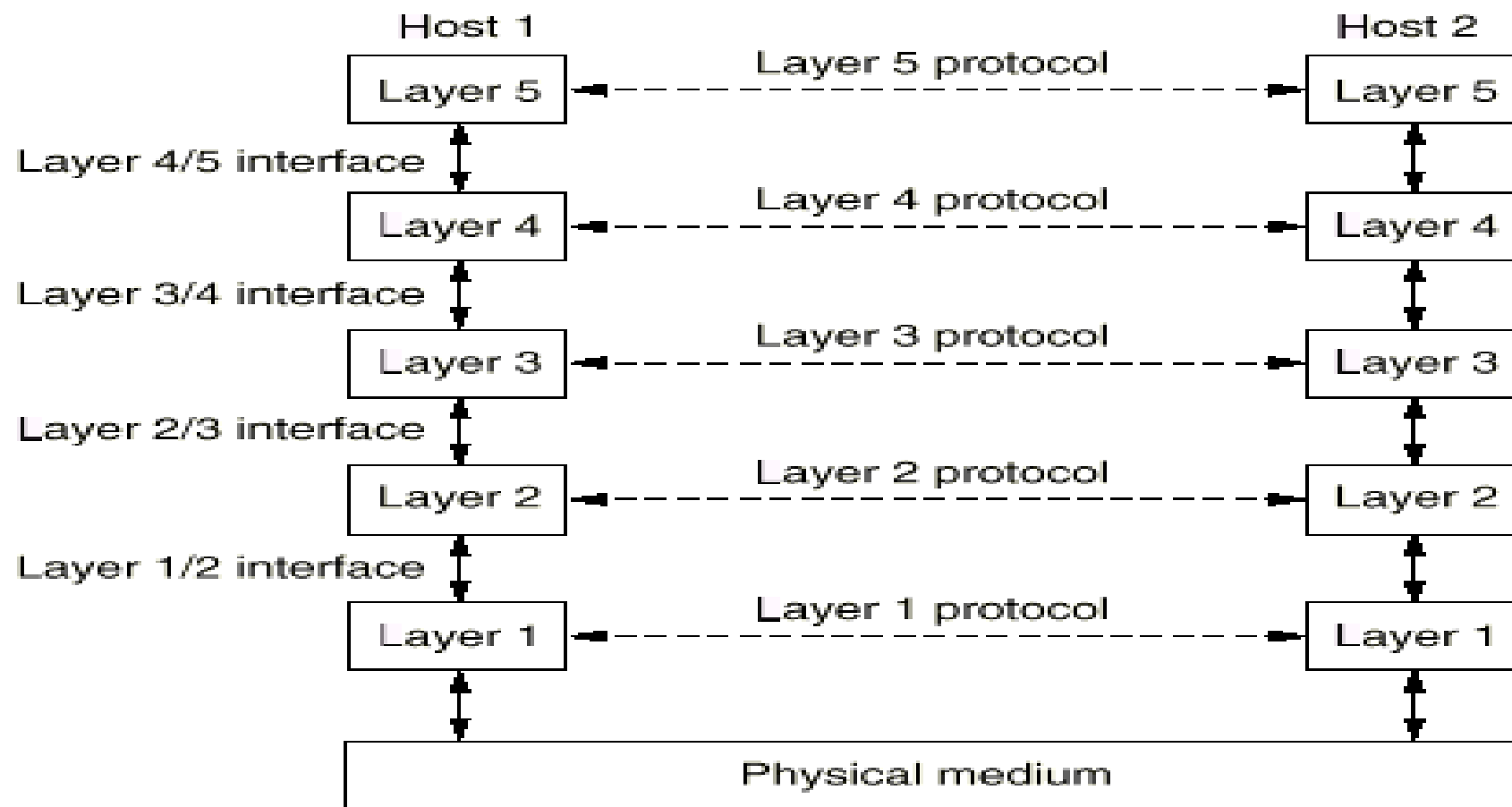


Fig. 1-9. Layers, protocols, and interfaces.

2.2.3 计算机网络的体系结构

- 服务访问点SAP (Service Access Point)
 - 任何层间服务是在接口的SAP上进行的
 - 每个SAP有唯一的识别地址
 - 每个层间接口可以有多个SAP。
- 接口数据单元IDU (Interface Data Unit)
 - IDU是通过SAP进行传送的层间信息单元
 - IDU由上层的服务数据单元SDU (Service Data Unit) 和接口控制信息ICI (Interface Control Information) 组成
- 协议数据单元PDU (Protocol Data Unit)
 - 第N层实体通过网络传送给它的对等实体的信息单元
 - PDU由上层的服务数据单元SDU或其分段和协议控制信息PCI (Protocol Control Information) 组成
 - 分段和重组

2.2.3 计算机网络的体系结构

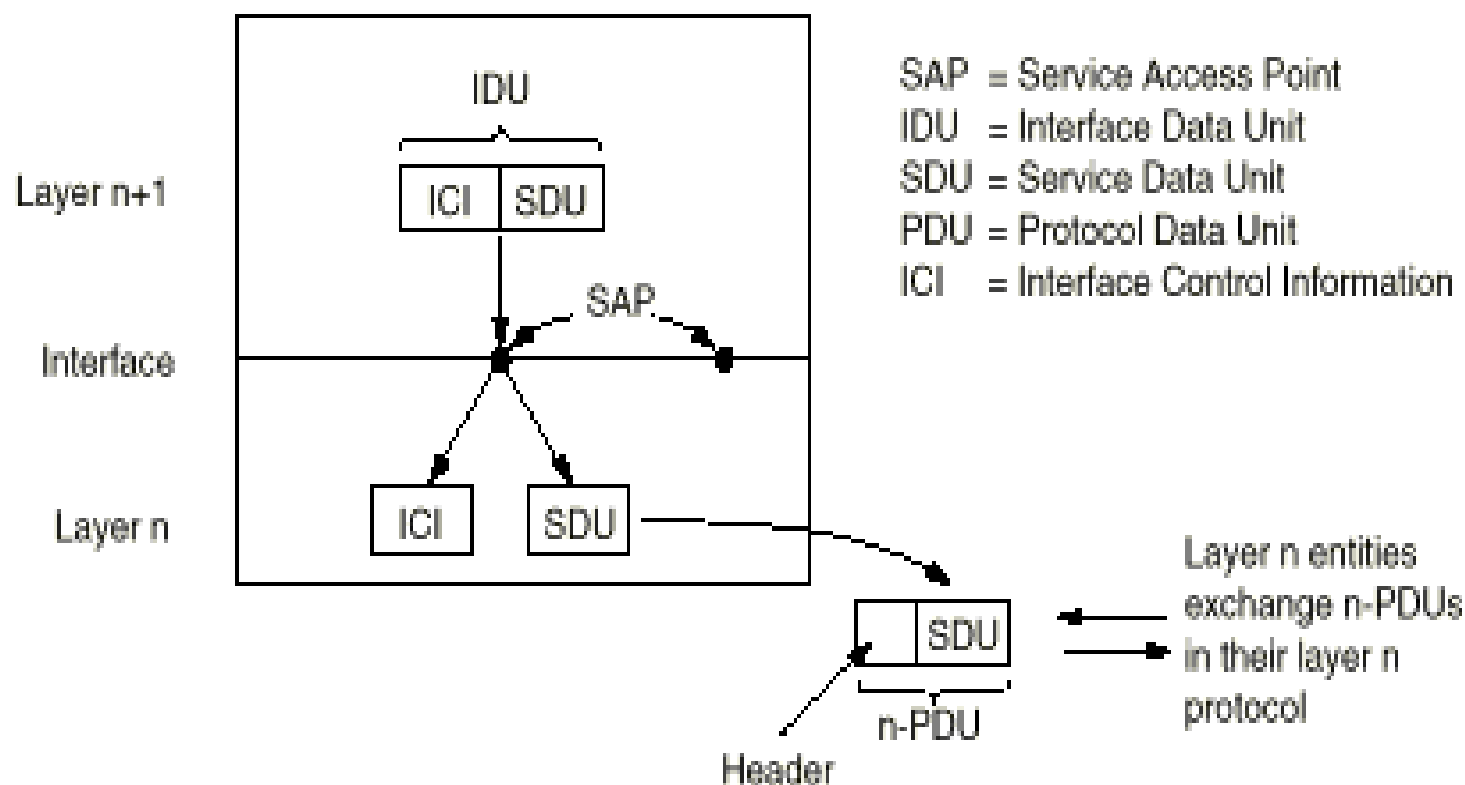


Fig. 1-12. Relation between layers at an interface.

2.2.3 计算机网络的体系结构

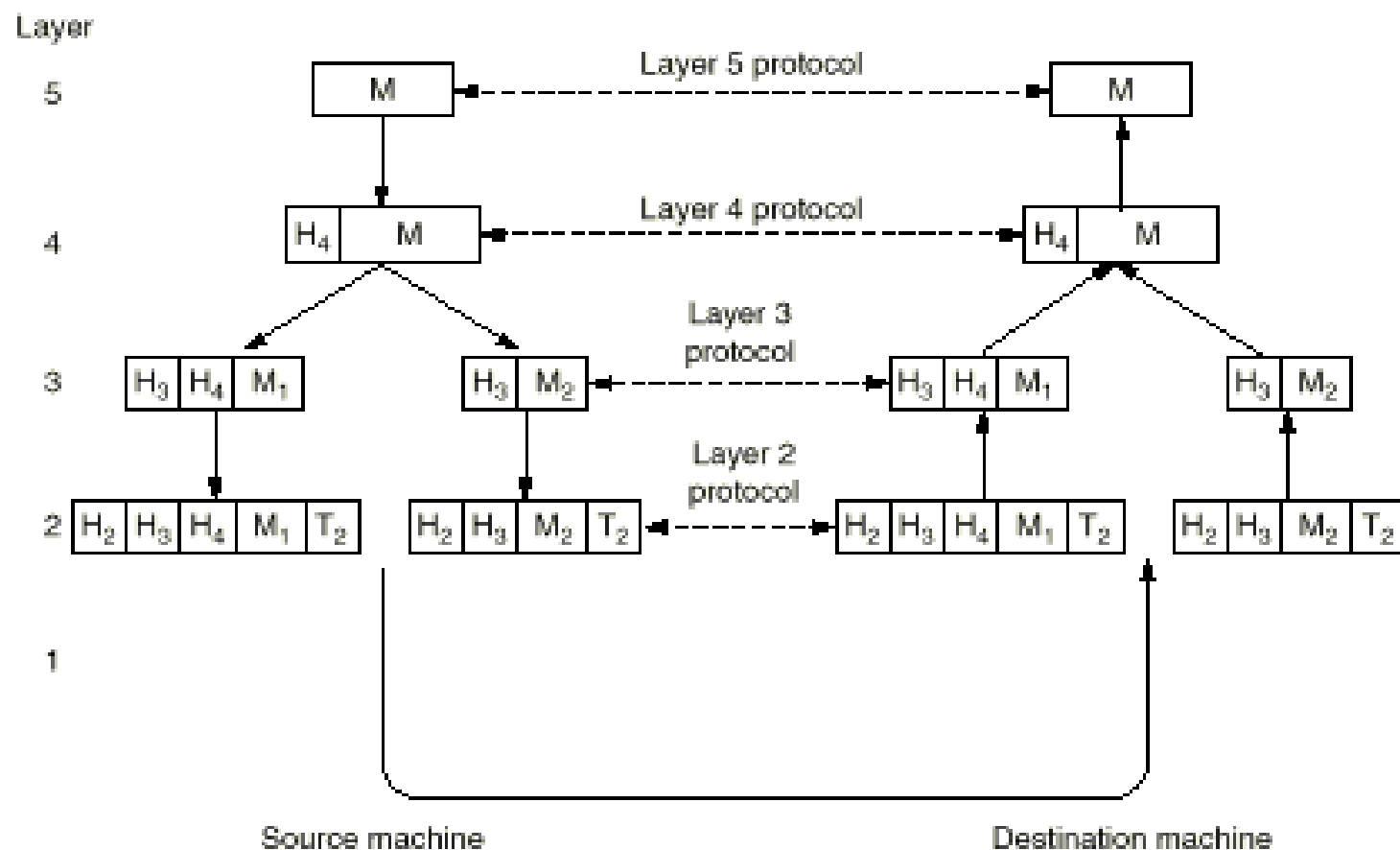


Fig. 1-11. Example information flow supporting virtual communication in layer 5.

2.2.3 计算机网络的体系结构

- 服务分类和服务原语 (primitives)
 - 基于连接的服务和无连接服务
 - 基于连接的服务
 - 当使用服务传送数据时，首先建立连接，然后使用该连接传送数据。使用完后，关闭连接。
 - 特点：顺序性好。
 - 无连接服务
 - 直接使用服务传送数据，每个包独立进行传送。
 - 特点：顺序性差。
 - **注意**：连接并不意味可靠，可靠要通过确认、重传等机制来保证

2.2.3 计算机网络的体系结构

- 服务原语
 - 服务在形式上是由一组接口原语（或操作）来描述的
 - 服务原语可分为四种类型
 - 请求 (Request) : 一个实体想得到某些事情的服务
 - 指示 (Indication) : 另一个实体被通知做这个事情
 - 响应 (Response) : 另一个实体完成事情后想响应
 - 确认 (Confirm) : 返回一个对早期请求的响应

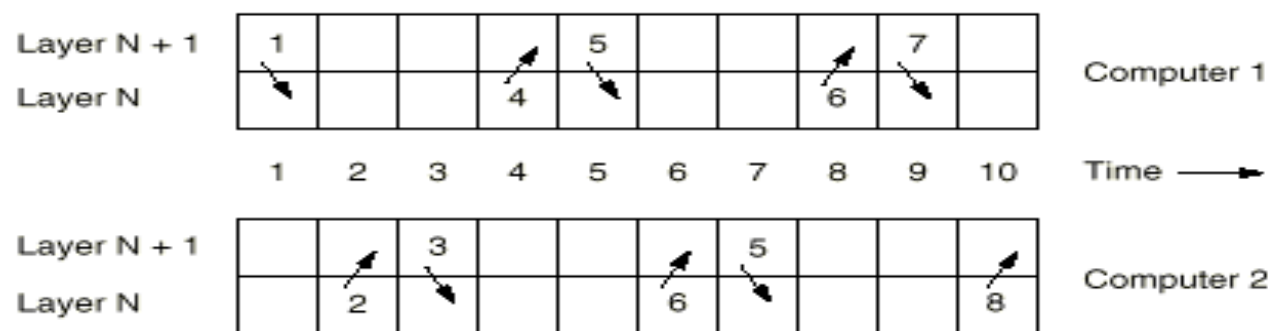


Fig. 1-15. How a computer would invite its Aunt Millie to tea. The numbers near the tail end of each arrow refer to the eight service primitives discussed in this section.

2.3 典型计算机网络的参考模型

2.3.1 计算机网络的标准化

- 电信标准
 - 1865年成立国际电信联盟ITU (International Telecommunication Union)
 - 1947年 ITU 成为联合国的一个组织，由三部分组成
 - ITU- R: 无线通信
 - ITU- T: 电信标准, 1956 - 1993 年称为CCITT , 下设许多研究组SG, 研究组下设专题, 例如: Q42/SG VII 专门研究 OSI 参考模型。
 - ITU- D: 开发

2.3.1 计算机网络的标准化

- 国际标准
 - 1946年成立的国际标准化组织 ISO 负责制定各种国际标准，ISO 有89个成员国家，85 个其他成员
 - ISO 有200 多个技术委员会TC，每个技术委员会下设若干分委员会SC，每个分委员会下设若干工作组WG
 - 例如：TC97 - 计算机和信息处理，
 - TC97/SC21/WG1 - OSI 体系结构、概念性方案和形式描述
 - 一个国际标准的形成：CD（Committee Draft） - DIS（Draft International Standard） - IS（International Standard）

2.3.1 计算机网络的标准化

- 其它标准化组织：
 - ANSI：美国国家标准研究所，ISO 的美国代表
 - NIST：美国国家标准和技术研究所，美国商业部的标准化机构
 - IEEE：发表行业标准。例如IEEE 802，后成为ISO 8802。
 -
 - ATM Forum：ATM论坛
 - OIF (Optical Internetworking Forum)
- 值得注意的是，ITU - T 和 ISO 之间有很好的合作和协调。

2.3.1 计算机网络的标准化

- Internet 标准
 - Internet 的标准是自发而非政府干预的，称为RFC (Request For Comments) 。
 - 1969 年ARPANET 时就开始发布RFC，至今已超过9000个。
 - 1983年成立IAB (Internet Architecture Board)
 - 1989年在IAB 下又成立了IRTF 和 IETF，IETF的各工作组负责组织提出相应的RFC 建议。

2.3.2 OSI参考模型

- 1983年ISO 的 OSI 模型正式成为国际标准 (ISO/Open System Interconnection)
 - 物理层 (The Physical Layer) : 在物理线路上传输原始的二进制数据位 (基本网络硬件)
 - 链路层 (The Data Link Layer) : 在有差错的物理线路上提供无差错的数据传输 (Frame)
 - 网络层 (The Network Layer) : 控制通信子网提供源点到目的点的数据传送 (Packet)
 - 运输层 (The Transport Layer) : 为用户提供端到端的数据传送服务。
 - 会话层 (The Session Layer) : 为用户提供会话控制服务 (安全认证)
 - 表示层 (The Presentation Layer) : 为用户提供数据转换和表示服务。
 - 应用层 (The Application Layer) : 为用户提供丰富的各类应用

2.3.2 OSI参考模型

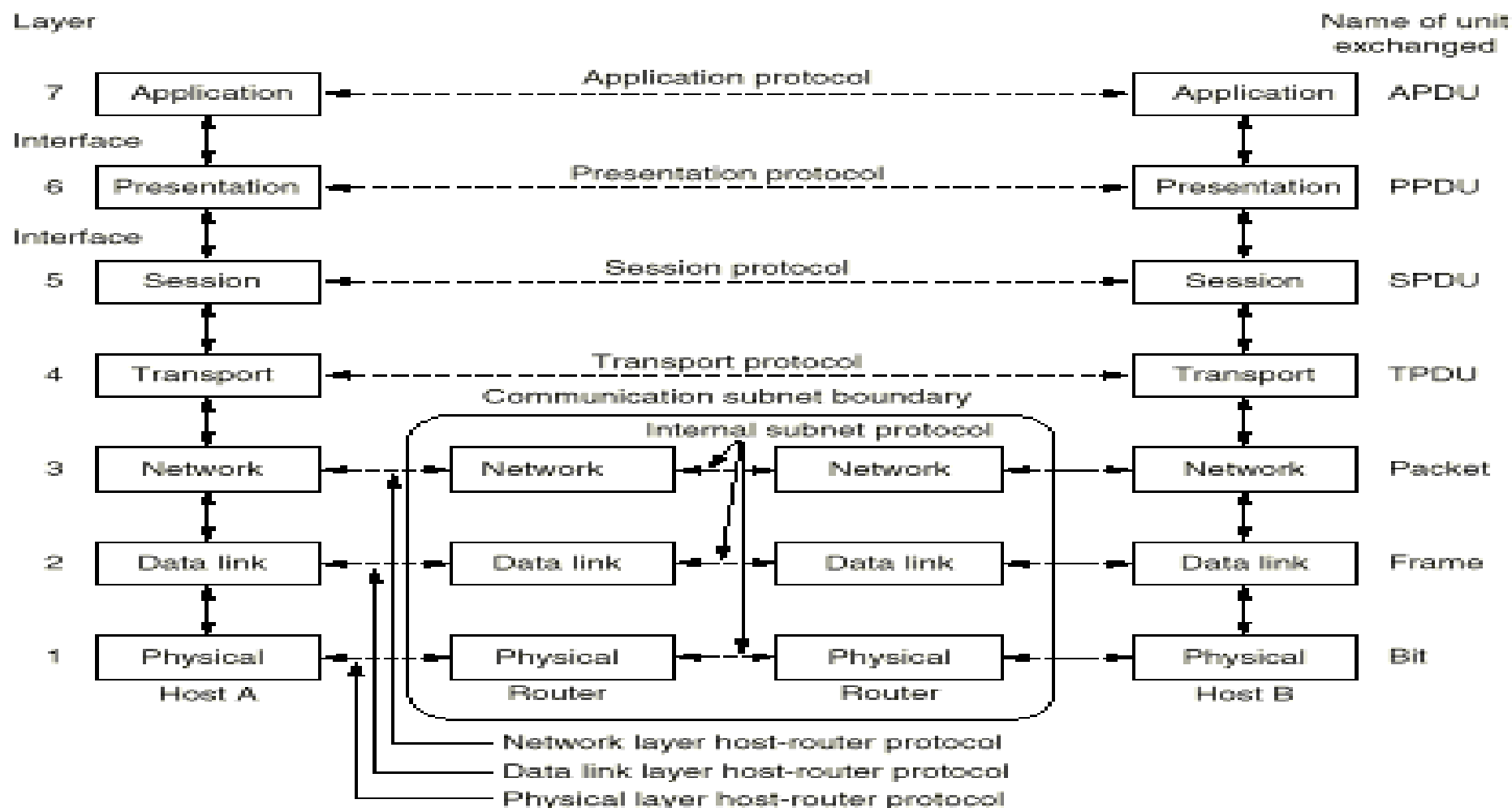


Fig. 1-16. The OSI reference model.

2.3.2 OSI参考模型

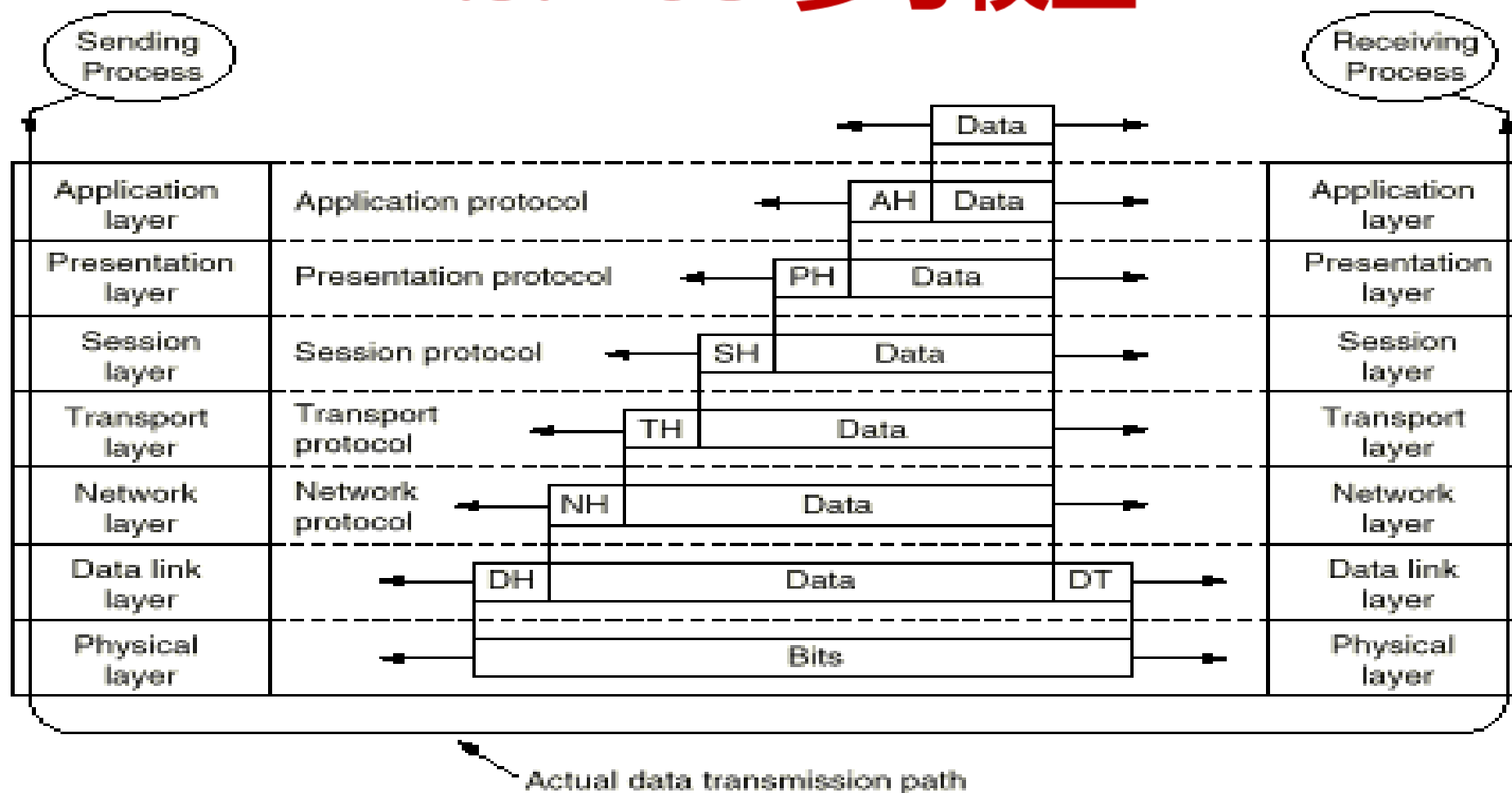


Fig. 1-17. An example of how the OSI model is used. Some of the headers may be null. (Source: H.C. Folts. Used with permission.)

2.3.3 TCP/IP 参考模型

- 以 TCP/IP 协议为核心的 Internet 网络体系结构
 - 物理层：在物理线路上传输原始的二进制数据位
 - 链路层：在有差错的物理线路上提供无差错的数据传输
 - TCP/IP 参考模型把第1层和第2层合起来称为：Host-to-Network
 - 网络层（IP层）：控制通信子网提供源点到目的点的包传送
 - 运输层：提供端到端的数据传送服务。TCP 和 UDP
 - 应用层：提供各种 Internet 管理和应用服务功能

2.3.3 TCP/IP 参考模型

- TCP/IP 与 OSI 的比较

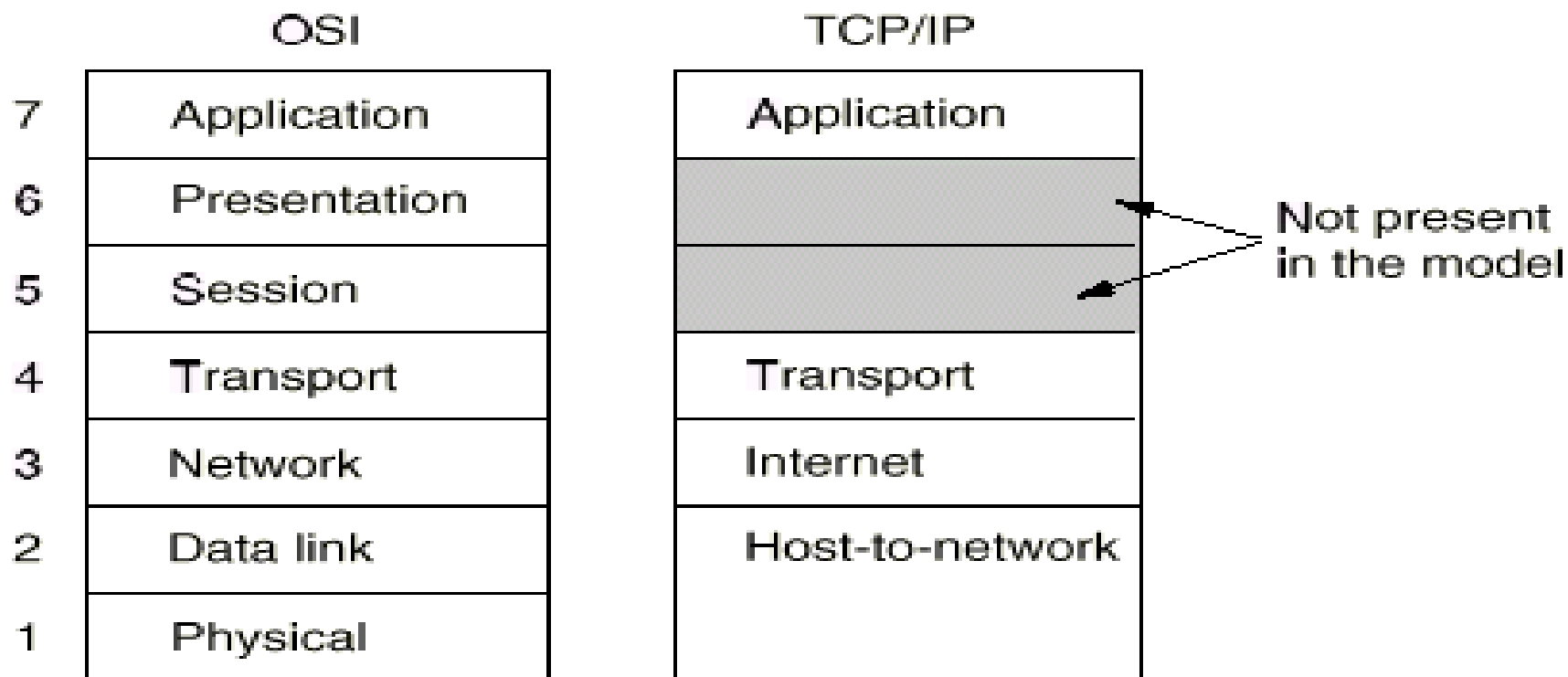


Fig. 1-18. The TCP/IP reference model.

2.3.3 TCP/IP 参考模型

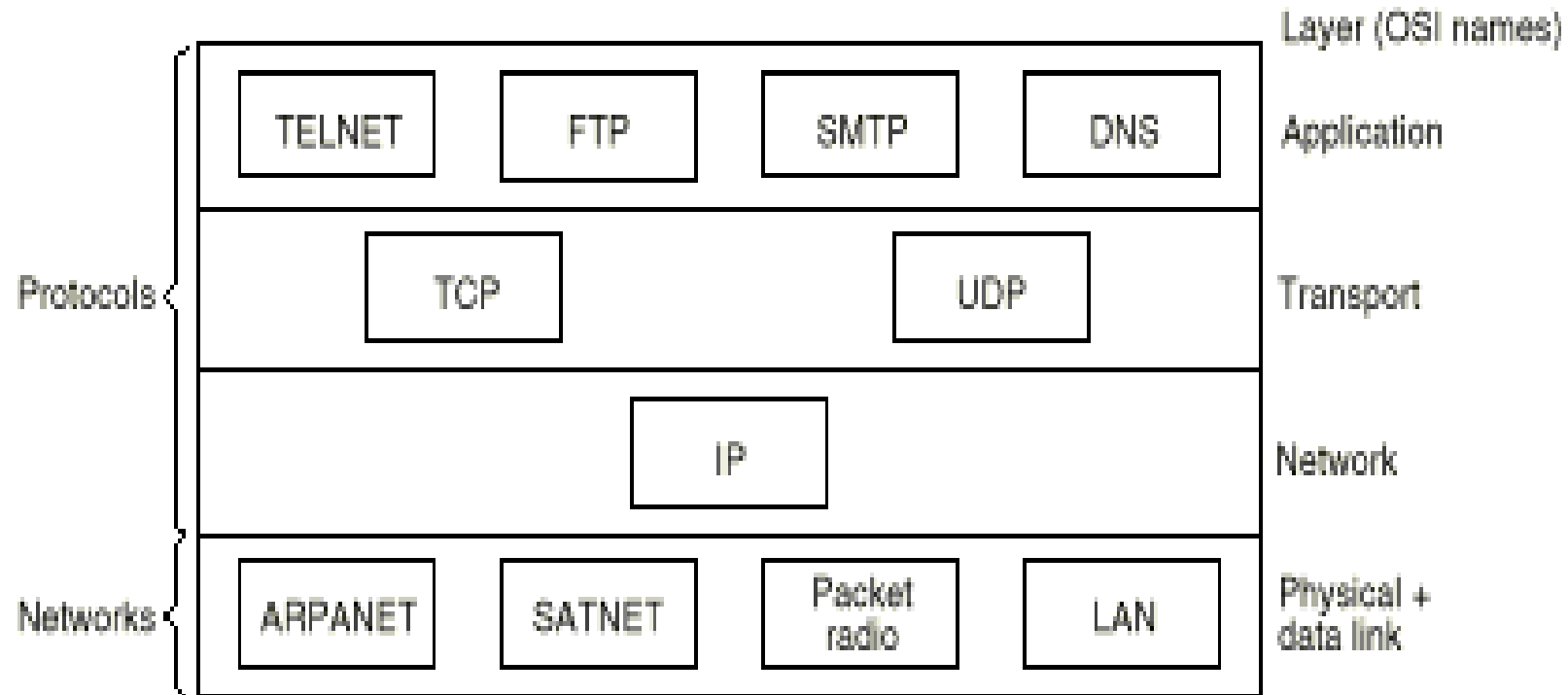
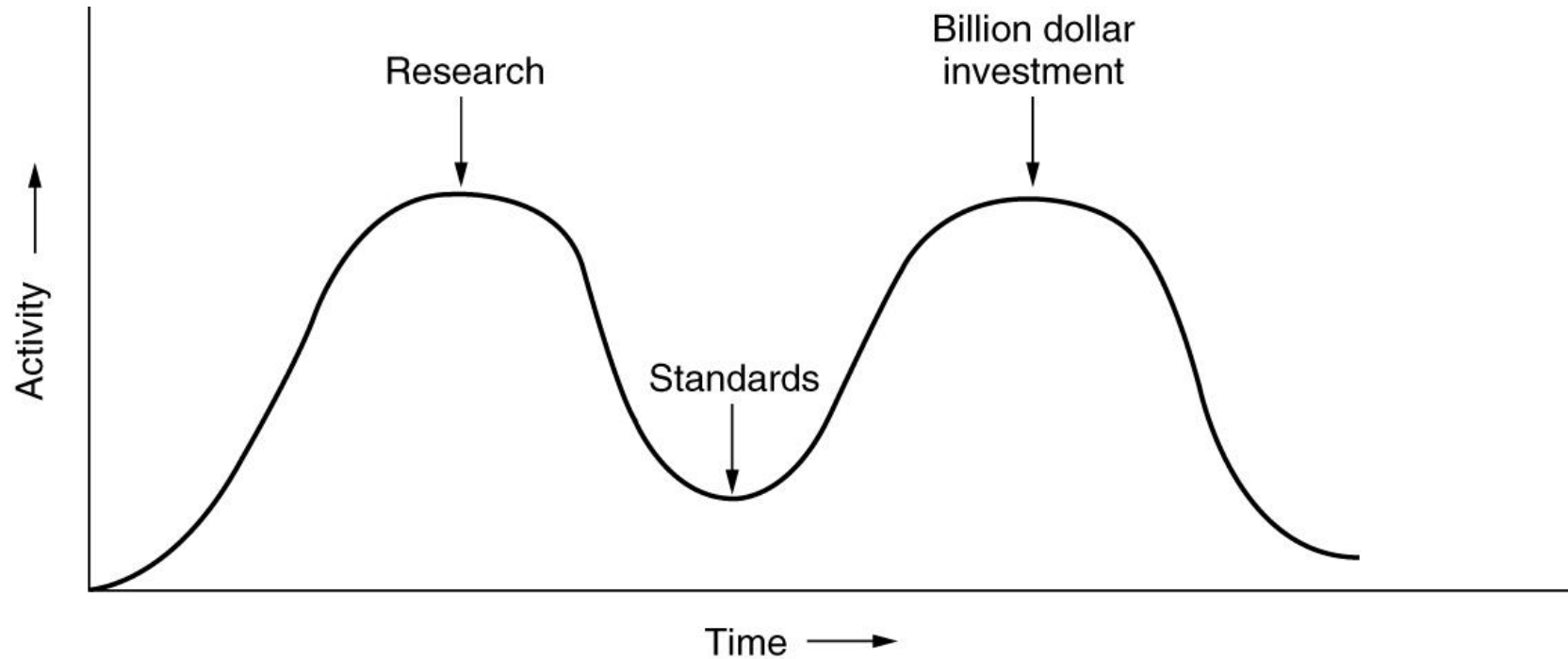


Fig. 1-19. Protocols and networks in the TCP/IP model initially.

对OSI参考模型和协议的评价

- OSI是80年代计算机网络技术，网络体系结构的主流
- OSI网络体系结构的核心和贡献：
 - 分层模型
 - 服务、接口、协议
- Andrew S. Tanenbaum 在 “Computer Networks” 中评价 OSI：
 - Bad timing (too late)
 - Bad technology (both the model and the protocol are flawed)
 - Bad implementations (huge, unwieldy, and slow)
 - Bad politics (government and organizations bureaucrats)

对OSI 参考模型和协议的历史评价



To prevent bad timing, it is essential that the standards be written in the trough in between the tops of the waves known as the two “elephants.”

对TCP/IP参考模型的评价

- TCP/IP模型没有明确区分服务、接口和协议的概念
 - TCP/IP没有体现分层的优势
- TCP/IP参考模型不太通用
 - 很难用来描述其他协议分层
- TCP/IP的数据链路层并不是通常意义上的一层协议
 - 它似乎只是一个OSI模型中网络层和数据链路层之间的接口
- TCP/IP参考模型并没有区分网络层和数据链路层
 - 一个正确的分层结构应该明确区分这两个层

2.3.3 TCP/IP 参考模型

5	Application layer
4	Transport layer
3	Network layer
2	Data Link layer
1	Physical layer

Fig. 1-21. The hybrid reference model to be used in this book.

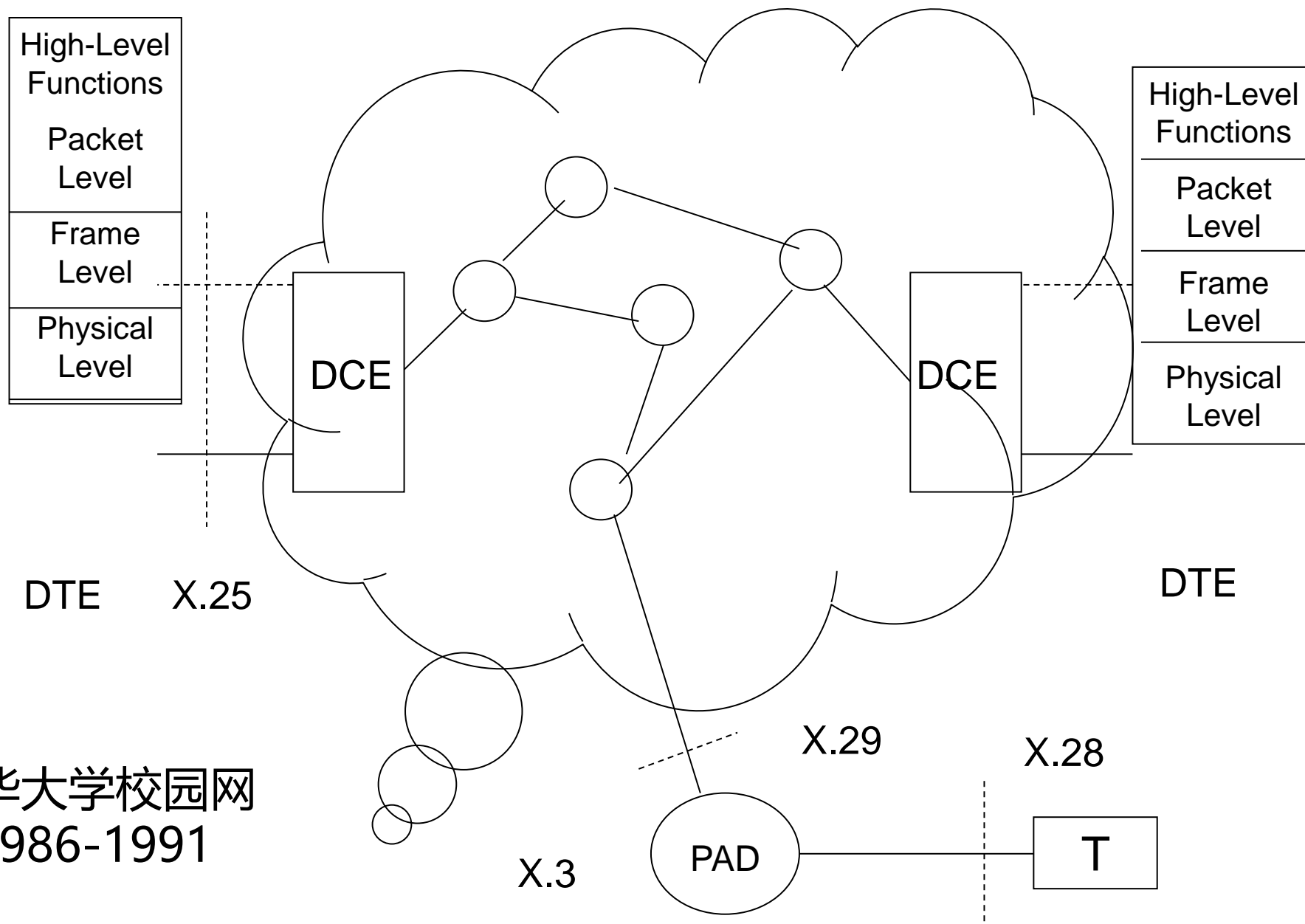
2.3.3 TCP/IP 参考模型

- Internet 的标准化特点
 - IAB (Internet Architecture Board)
 - IRTF (Internet Research Task Force)
 - IETF (Internet Engineering Task Force)
 - RFC (Request For Comments)
 - 1969.4产生RFC0001, 2003.6产生RFC3559
 - 2022以前已产生9000多个RFC
 - Internet 标准化名言 (David Clark of MIT) :
 - We reject kings, presidents, and voting; we believe in rough consensus and running code
 - 结论: Internet 与 ITU - T和ISO 的标准化过程完全不同

2.4 网络和网络服务

2.4.1 X.25 分组交换网

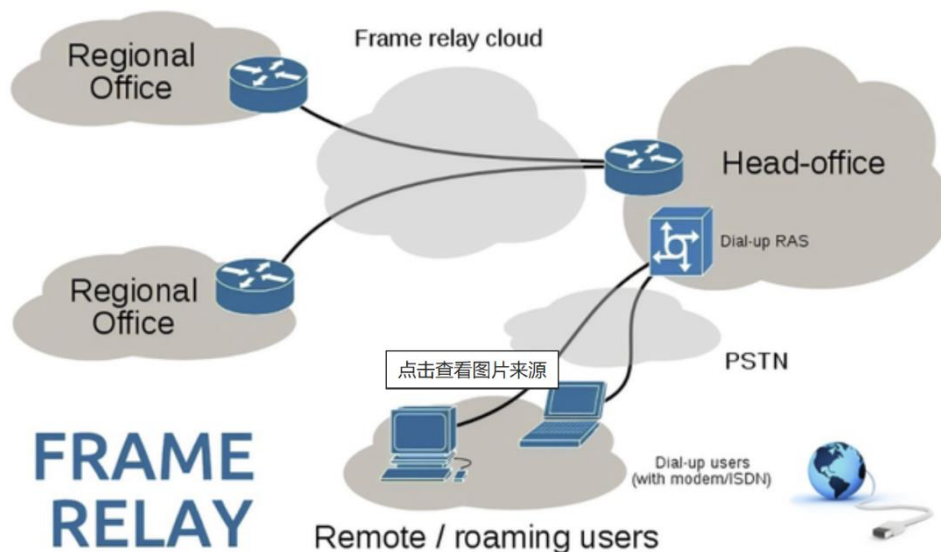
- X.25（网络层协议）
 - 70年代，CCITT推出X.25标准，为公用包交换网和用户之间提供接口。
 - X.25面向连接，支持交换虚电路和永久虚电路。
- X.21（物理层协议），X.3 / X.28 / X.29
 - DTE: Digital Terminal Equipment
 - DCE: Digital Circuit Terminating Equipment
 - PAD: Packet Assembler and Disassembler



清华大学校园网
1986-1991

2.4.2 Frame Relay 帧中继

- 帧中继产生背景
 - 通信线路越来越快速、可靠，计算机越来越快速、便宜，底层通信协议变得越来越简单，大部分工作由用户计算机来做，底层协议只需提供一条源到目的的通路即可。
- 帧中继，面向连接，提供最少的基本服务。



2.4.3 B-ISDN 和 ATM

- 宽带综合业务数字网

B-ISDN (Broadband Integrated Services Digital Network)

- 产生背景

- 多种网络共存 (POTS, Telex, SMDS, DQDB, Frame Relay, ...) ,
- 电信公司想统一成一个网络B-ISDN。

- B-ISDN的技术基础是异步传输模式ATM (Asynchronous Transfer Mode)

- 异步传输，没有主时钟。
- 传输单元是短的、定长的包，称为信元 (cell) 。
- 面向连接
- 速率主要有两种：155M, 622M

2.4.3 B-ISDN 和 ATM

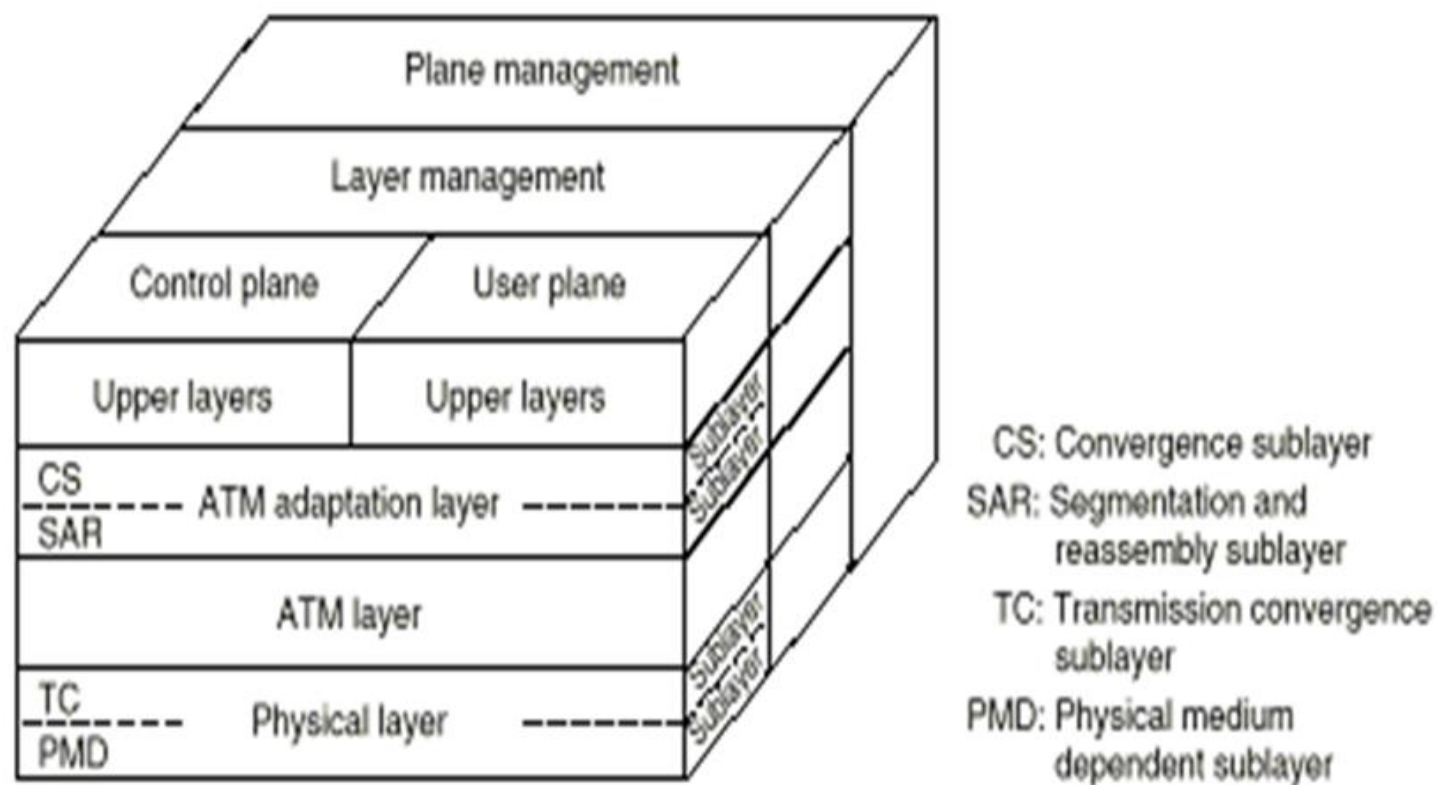


Fig. 1-30. The B-ISDN ATM reference model.

2.4.3 B-ISDN 和 ATM

OSI layer	ATM layer	ATM sublayer	Functionality
3/4	AAL	CS	Providing the standard interface (convergence)
		SAR	Segmentation and reassembly
2/3	ATM		Flow control Cell header generation/extraction Virtual circuit/path management Cell multiplexing/demultiplexing
2	Physical	TC	Cell rate decoupling Header checksum generation and verification Cell generation Packing/unpacking cells from the enclosing envelope Frame generation
1		PMD	Bit timing Physical network access

Fig. 1-31. The ATM layers and sublayers, and their functions.

2.4.4 ARPANET

- 产生背景：60年代中期，冷战高峰，DoD想建设一个核战争情况下的网络，传统电路交换网络太脆弱，不满足要求。
- ARPA (Advanced Research Projects Agency) 负责研制，采用分组交换，subnet 和 host computer两极结构。
 - 由称为IMP (Interface Message Processors) 的小型计算机和线路组成
 - 存储转发模式
- 1968年12月，BBN公司负责建网，采用改进的Honeywell DDP-316小型机作为IMP，IMP间用 56Kbps租用电话线连接。
 - 软件分为两部分：subnet和 host

2.4.4 ARPANET

- 1969年12月，建成四个节点的网络，发展迅速
 - 网络的发展暴露出协议软件的不足
- 1974年，TCP/IP模型和协议诞生。
 - TCP/IP协议软件被集成进Berkeley UNIX中，并开发出socket接口。
 - TCP/IP便于LAN接入ARPANET

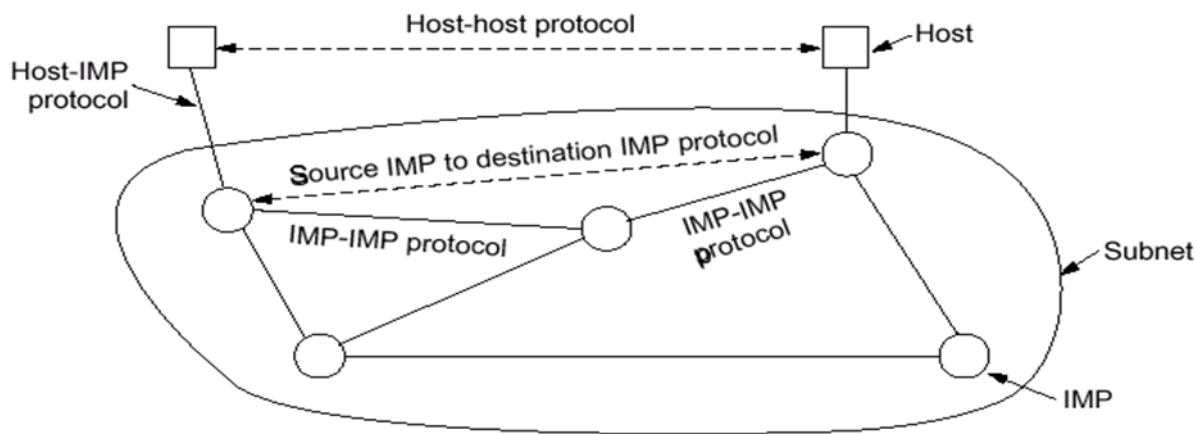


Fig. 1-24. The original ARPANET design.

2.4.4 ARPANET

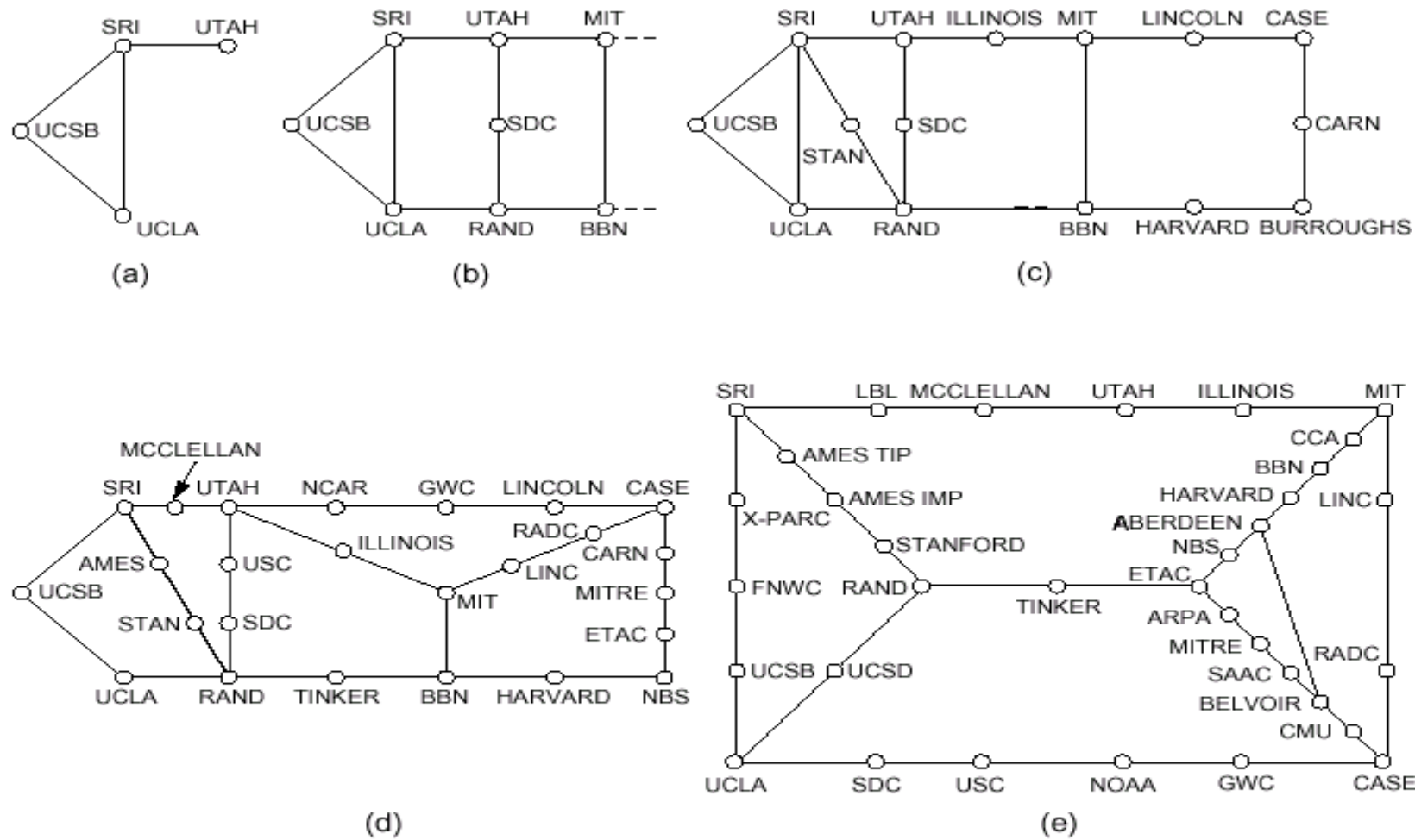


Fig. 1-25. Growth of the ARPANET. (a) Dec. 1969. (b) July 1970. (c) March 1971. (d) April 1972. (e) Sept. 1972.

2.4.4 ARPANET

- 1983年，ARPA将ARPANET交给DCA（Defense Communications Agency），DCA将军用部分分离出来，构成MILNET。
- 80年代，网络规模扩大，出现DNS（Domain Naming System）
- 1990年，ARPANET停止运行，MILNET仍在工作。

2.4.5 NSFNET

- 二十世纪七十年代末，大学通过网络进行研究的需要促使NSF (U.S. National Science Foundation) 建立一个虚拟网络CSNET。
- 1984年，NSF开始设计一个高速网络，对所有大学和研究机构开放。NSF建立了一个骨干网，把六个超级计算机中心连接起来。56Kbps租用线路，软件使用TCP/IP技术，成为第一个TCP / IP 广域网。

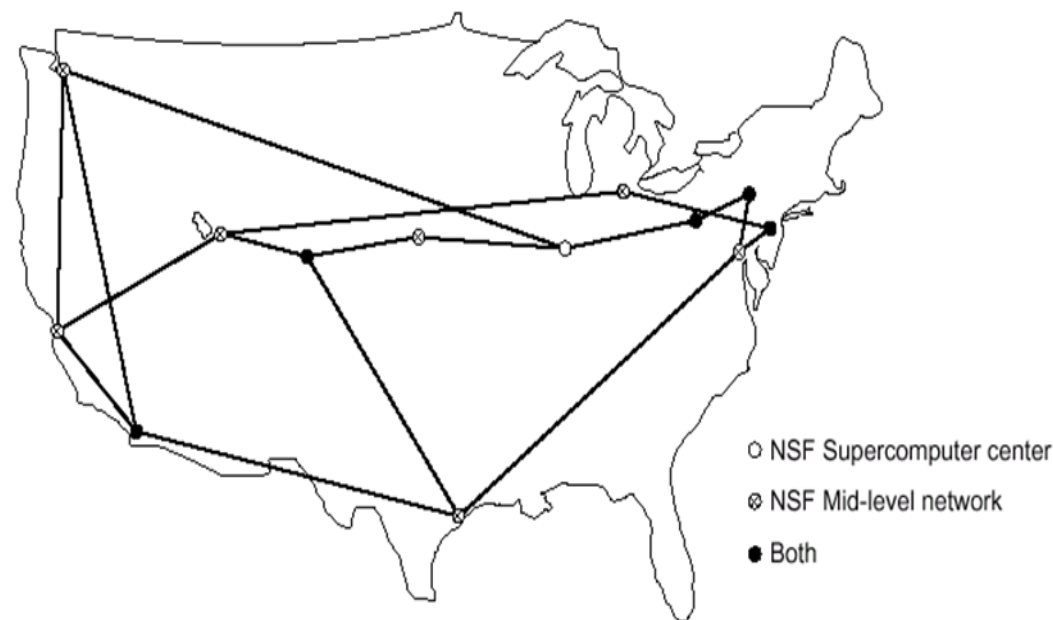
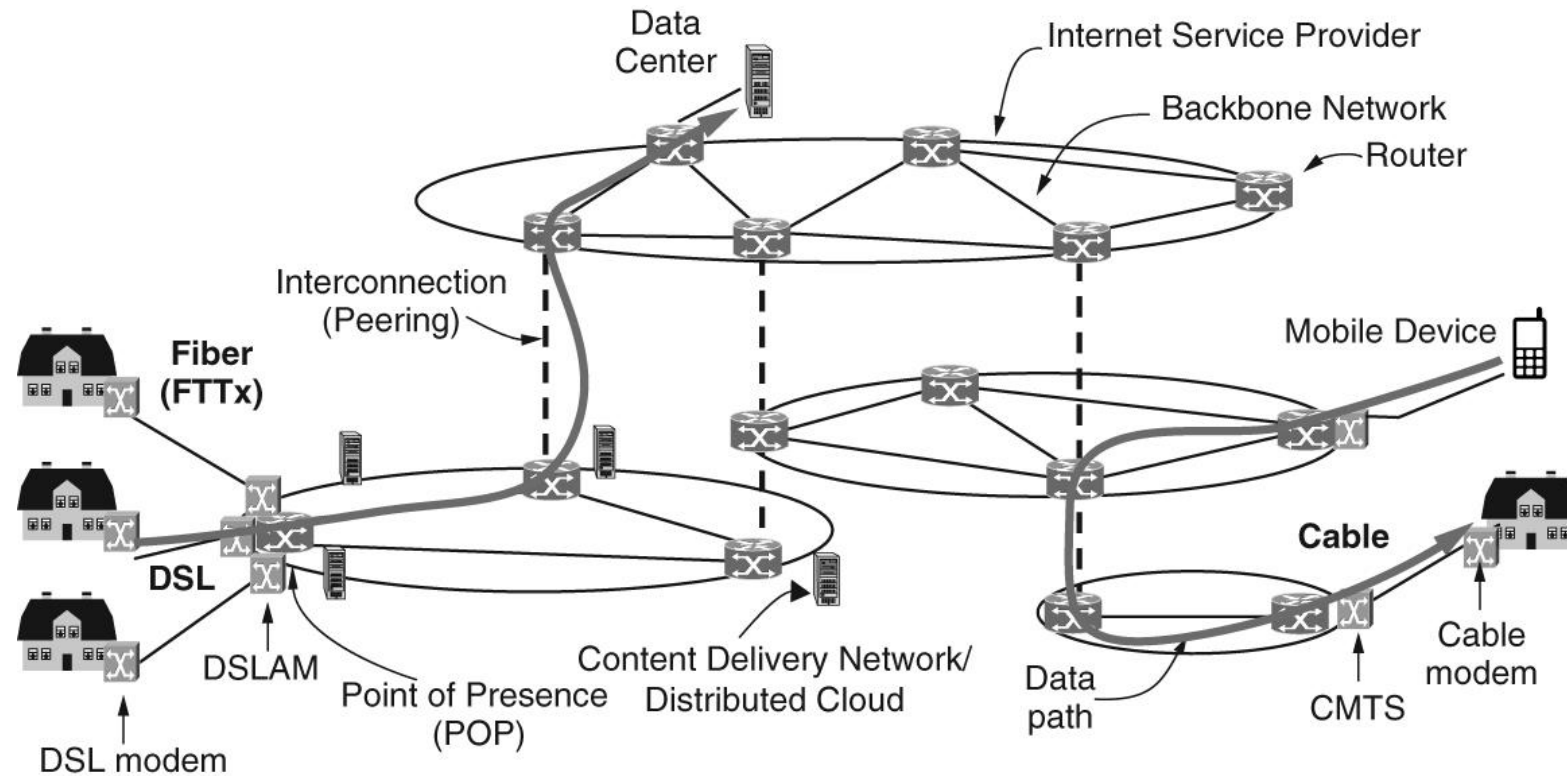


Fig. 1-26. The NSFNET backbone in 1988.

2.4.5 NSFNET

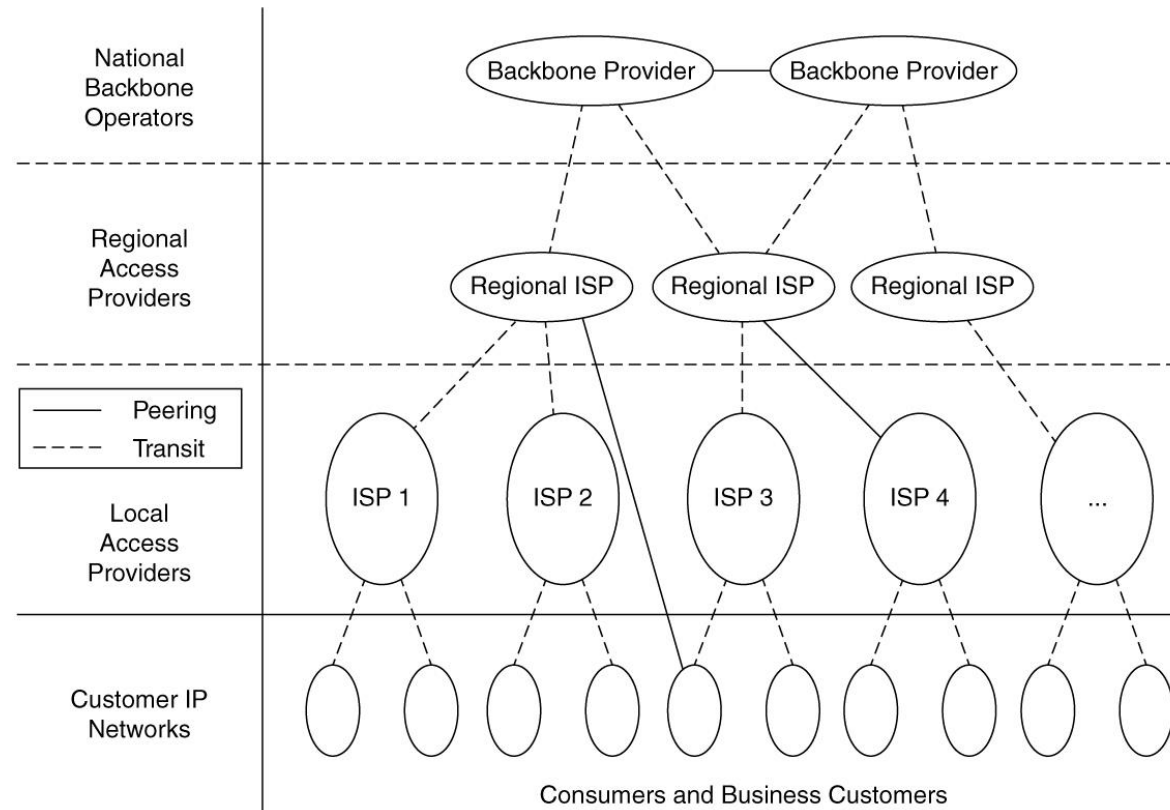
- 1990年，MERIT、MCI和IBM公司成立一个非赢利机构ANS (Advanced Networks and Services) 管理NSFNET，把骨干网带宽从1.5Mbps升级为45Mbps (ANSNET) 。
- 1991年，NREN (National Research and Educational network) 启动，研究NSFNET的下一代，目标是达到G比特。
- 1995年，ANSNET卖给America Online。单一骨干网结构被商业驱动的、竞争的多骨干网结构替代。

2.4.6 Internet



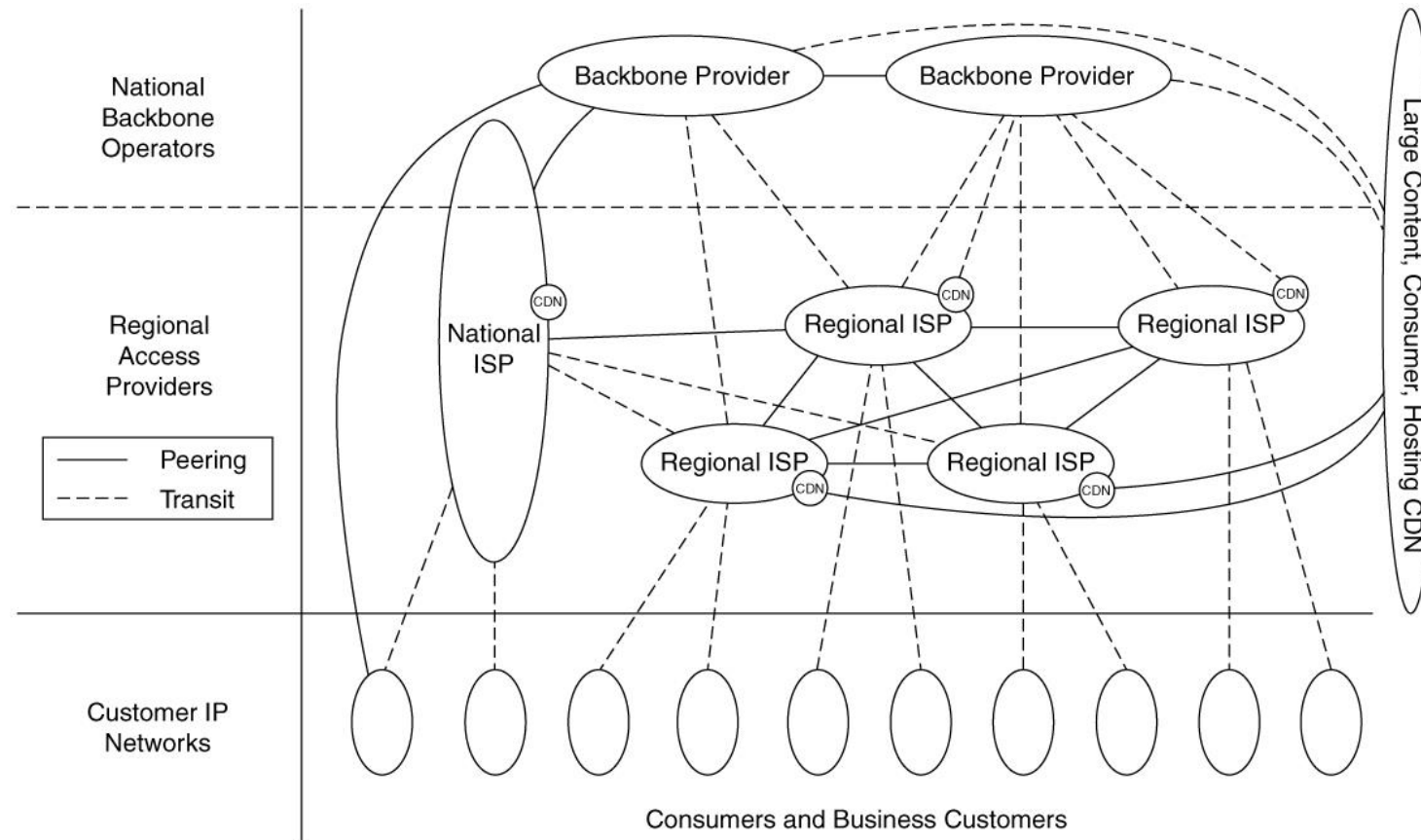
A common method for connecting to the Internet from your home is to send signals over the cable television infrastructure.

2.4.6 Internet



Conventionally, the Internet architecture has been viewed as a hierarchy, with the tier-1 providers at the top of the hierarchy and other networks further down the hierarchy, depending on whether they are large regional networks or smaller access networks.

2.4.6 Internet



Over the past decade, the conventional hierarchy has evolved and “flattened” dramatically.

总结 (1)

- 计算机网络的构成
 - 资源子网:
 - 通信子网:
 - 点到点通道, 关键技术是路由选择;
 - 广播通道, 关键技术是通道分配。
- 计算机网络体系结构
 - 功能的分层, 层次结构
 - 对等实体、协议、服务、接口、服务原语
 - SAP, SDU, IDU, PDU

总结 (2)

- 网络参考模型
 - 标准化组织
 - OSI参考模型
 - TCP/IP参考模型
- 网络和网络服务
 - OSI:
 - X.25、Frame Relay
 - B-ISDN 和 ATM
 - Internet:
 - ARPANET、NSFNET

第二章结束