



计算机通信网络

一、概述





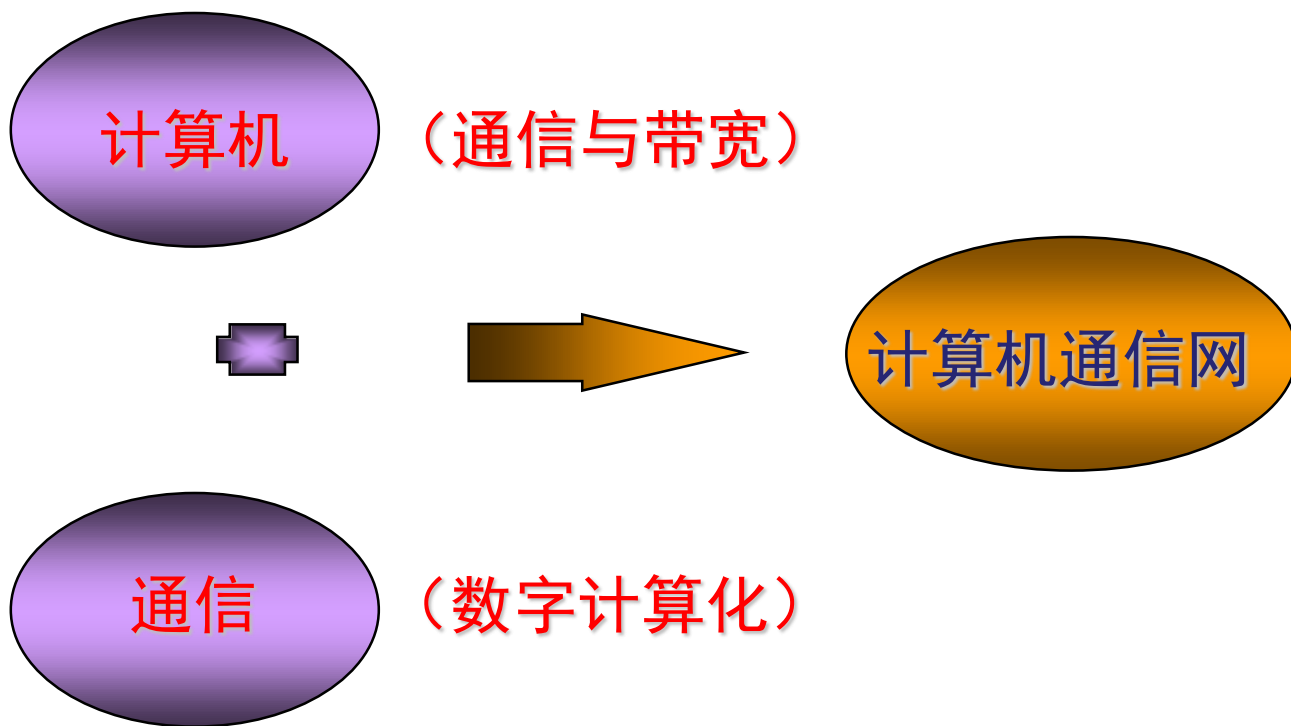
- 1、通信技术和计算机网络的发展
- 2、计算机通信网的概念
- 3、计算机通信网的组成
- 4、计算机网络的分类
- 5、网络软件及协议体系结构



1、通信技术和计算机网络的发展



计算机通信网络—计算机和通信的相互融合






(1) 通信技术的发展

- 1837年，Samuel Morse 发明了电报。由此，通信领域发生了巨大的变革。这一发明使通过一根铜线上的电脉冲来传递信息成为可能。
- 1876年，Alexander Graham Bell 进一步发展了电报技术。他发现：不仅消息能被转换为电信号，声音也能直接被转换为电信号，然后由一条电压连续变化的导线传输出去。




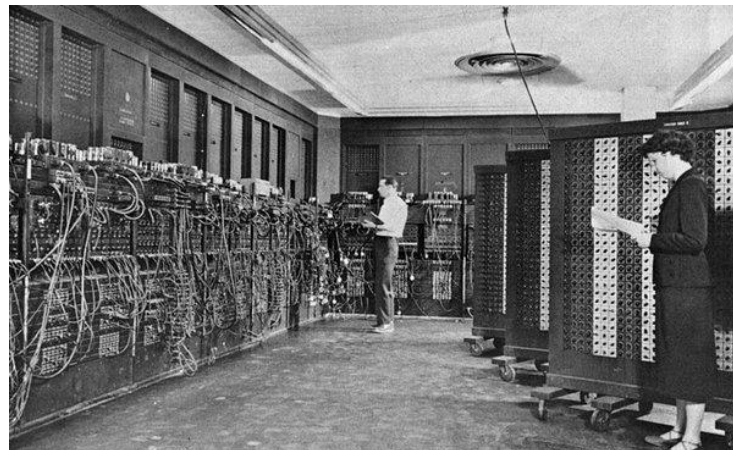
 1948年，**香农**在《贝尔系统技术杂志》（Bell System Technical Journal）上连载发表了论文《通讯的数学原理》，并于次年在同一杂志上发表了自己的另一著名论文《噪声下的通信》。


——**阐明了通信的基本问题**，给出了通信系统的模型，提出了信息量的数学表达式，并解决了信道容量、信源统计特性、信源编码、信道编码等一系列基本技术问题。


——两篇论文成为了**信息论**的奠基性著作，此时尚不足三十岁的香农也成为了信息论的奠基人。

(2) 计算机技术的发展

 1946年，世界上第一台通用电子计算机ENIAC（电子数字计算机）问世。它是被设计用来在第二次世界大战中计算弹道轨迹。



 1947年，电子晶体管问世，这使得生产更小更便宜的计算机成为可能。

 摩尔定律：当价格不变时，集成电路上可容纳的元器件的数目，约每隔18-24个月便会增加一倍，性能也将提升一倍。



(3) 计算机网络的发展



第一代计算机网络

面向终端的计算机网络



第二代计算机网络

以网络为中心的计算机网络



第三代计算机网络

统一标准的互联计算机网络

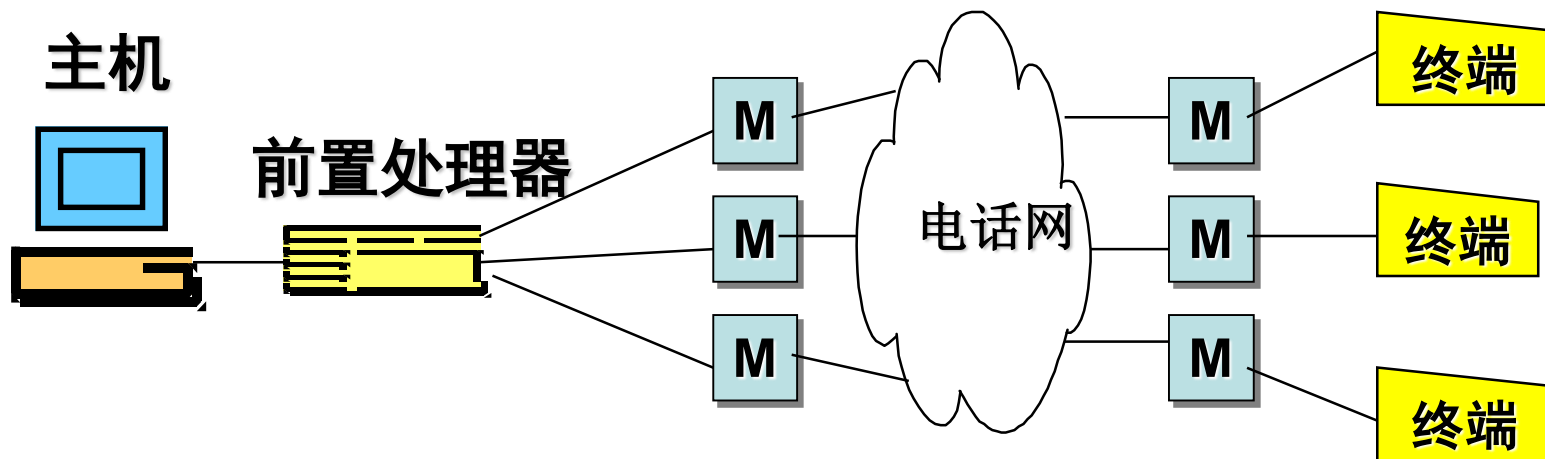


网络计算的新时代



——面向终端的计算机网络

- ⑤ 五十年代中至六十年代。
- ⑤ 以单个计算机为主的远程通信系统，包括一台中心计算机和多台终端。
- ⑤ 系统主要功能是完成中心计算机和各个终端之间的通信，而终端之间通过中心计算机进行通讯。





网络实例：

- 50年代，美国半自动地面环境**SAGE**（Semi-Automatic Ground Environment）防空系统；
- 60年代初期美国航空公司投入使用的由一台中心计算机和全美范围内**2000**多个终端组成的飞机票预订系统**SABRE**（Semi-Automatic Business Research Environment）。





——以网络为中心的计算机网络

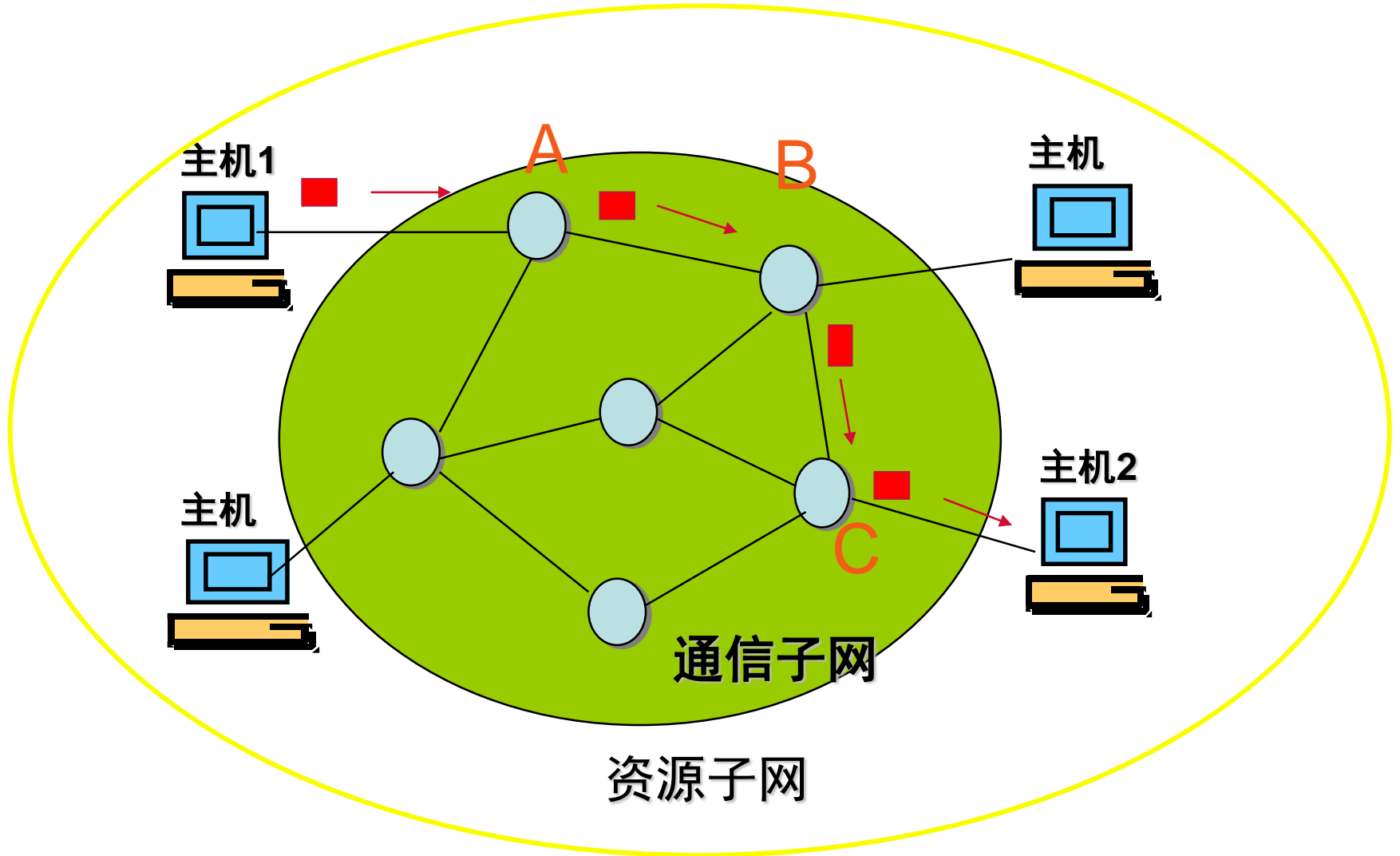
- ④ 六十年代末至七十年代末；
- ④ 多台计算机通过通信线路互连起来——计算机-计算机网络；
- ④ 系统中的每台计算机都具有自主处理功能，各个计算机之间不存在主从关系；
- ④ 系统中的两个组成部分
 - 主机(Host): 主要用来运行用户程序；
 - 接口信息处理机(IMP, Interface Message Processor): 主要负责进行主机之间通信请求的处理。



典型网络——DARPA资助下的ARPANET

- 主机：运行网络应用程序；
- IMP：即交换机(switch)或路由器(router)；
- 所有的主机构成了资源子网；
- 所有的IMP以及通信链路组成了通信子网：
 - 分组交换技术：
 - 存储转发(store and forward)：通信线路不独占；
 - 分组（Packet）：存储转发的信息基本单位。

（以存储转发方式传输分组的通信子网又称为分组交换网）





——统一标准的互联计算机网络

④ 开放式标准化网络：具有统一的网络体系结构、遵循国际标准化协议的；

- **OSI/RM**：ISO制定了开放系统互连基本参考模型 (Open System Interconnection Basic Reference Model) 的国际标准ISO 7498，也被称为**OSI七层模型**；
- **TCP/IP体系结构**：因特网 (Internet)，事实上的国际标准。



 网络计算技术已经成为重要网络应用与研究领域

网络计算

- 移动计算网络
- 网络多媒体计算
- 网络并行计算
- 网格计算
- 存储区域网络
- 网络分布式对象计算
- 云计算
- 雾计算
- 边缘计算



本课程我们要学习什么？

讨论如何才能将要求相互通信的计算机互连起来，并实现有序的信息交换，并表现出良好的性能，满足应用需求。

2、计算机通信网的概念

计算机通信网的形式化描述

$$\text{计算机通信网} \equiv \left\{ \begin{array}{l} \text{计算机主机, 通信子网,} \\ \text{协议 | 自治的主机按协议经通信子网互连} \end{array} \right\}$$

三要素:

- (1) 必须有两台（或两台以上）自治的计算机互相连接起来才能构成网络；
- (2) 需要一条通道（或通信子系统）才能把两台或两台以上的计算机连接起来；
- (3) 计算机之间要交换信息，彼此之间就需要有某些规定和约定——通信协议（protocol）。

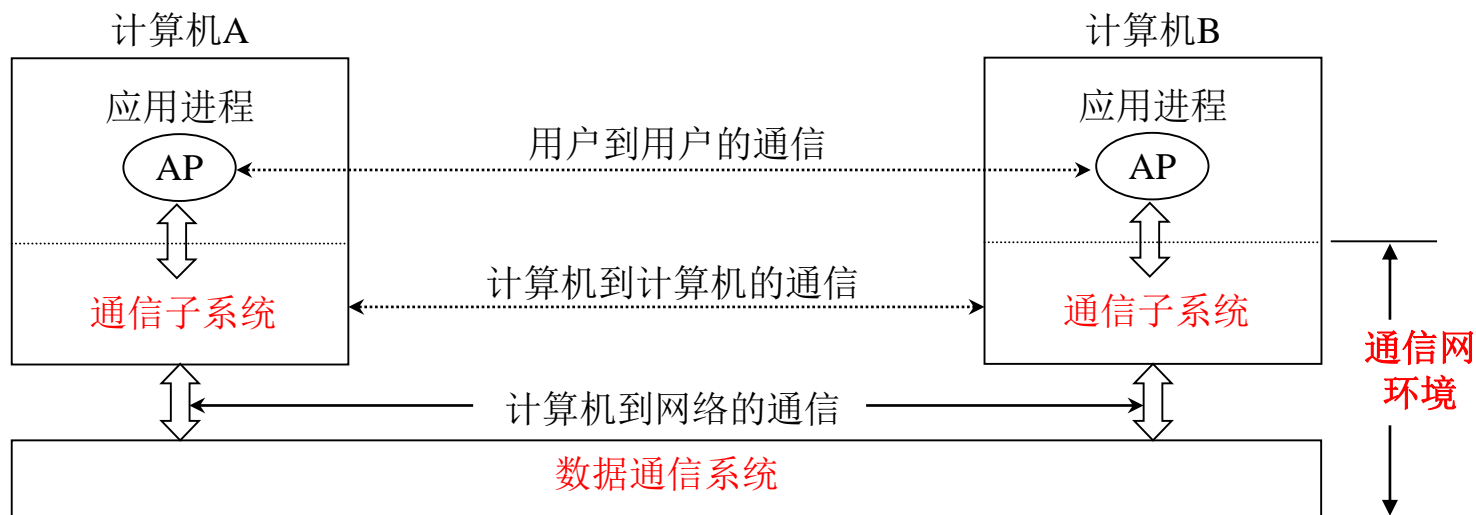


3、计算机通信网的组成



计算机通信的要素

- 计算机的通信子系统：**核心要素**
 - 面向应用进程——将不同类型的数据转换成双方认可的形式
 - 面向网络——确定数据通路、数据的差错控制、网络路由选择和流量控制、网络互连等
- **数据通信系统**：为计算机之间的信息交互提供了传输媒介，并提供可靠的数据传送能力

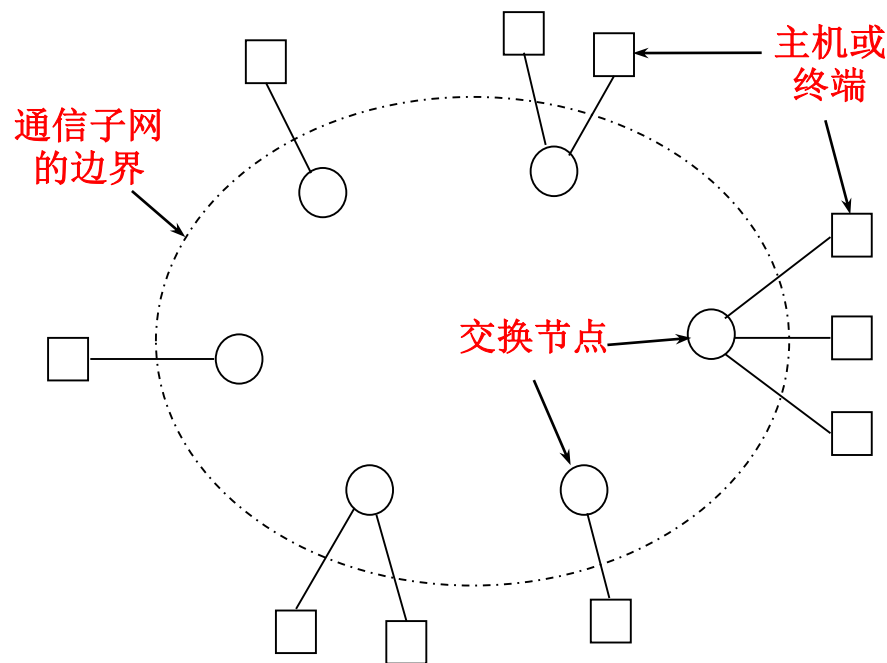


计算机通信的要素



计算机通信网的组成:

- **通信子网**: 负责数据的无差错和有序传递, 其处理功能包括差错控制、流量控制、路由选择、网络互连等。
- **资源子网**: 是计算机通信的本地系统环境, 包括主机、终端和应用程序等, 主要功能是: 用户资源配置、数据的处理和管理、软件和硬件共享以及负载均衡等。



通信子网与资源子网

计算机通信网就是一个由**通信子网**承载的、传输和共享**资源子网**的各类信息的系统。



4、计算机网络的分类



按传输技术分

广播式网络

点到点网络



按规模分

个域网

局域网

城域网

广域网

互联网



按传输介质分

有线网

无线网



按拓扑结构分

总线

环形

网状

星形



按使用范围分

专用网

公共网

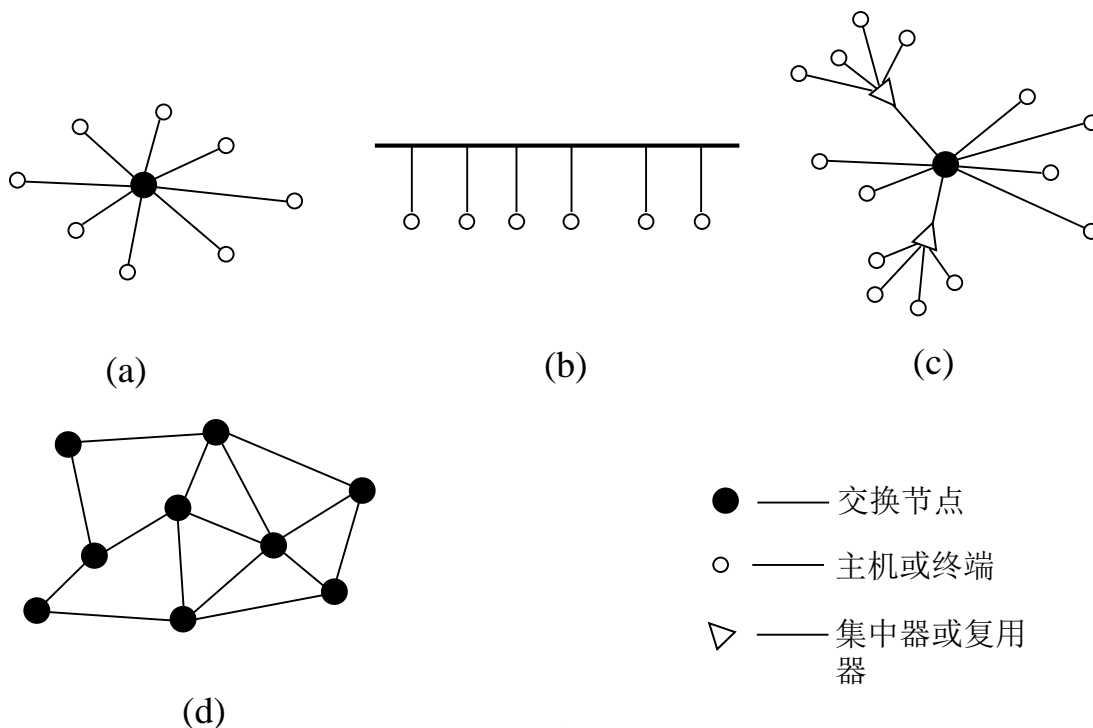


(1) 网络拓扑结构

拓扑结构：通信子网中交换节点的互连模式。

拓扑结构划分：集中式和分布式两种基本类型。

几种常见的
拓扑结构：

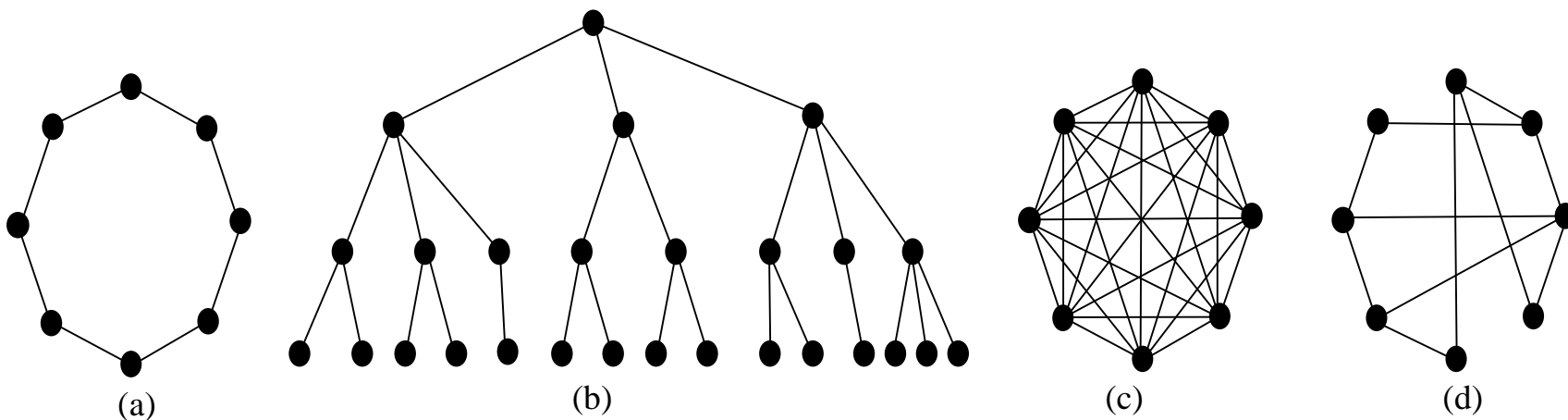


通信网的拓扑结构

(a) 集中式 (b) 总线型 (c) 具有集中器或复用器的集中式 (d) 分布式



分布式子网的几种拓扑结构



分布式子网的拓扑结构

(a) 环型 (b) 树型 (c) 全连接 (d) 不规则型

在广域网络中常见的互连拓扑是**树型**和**不规则型**，而在局域网络中常用**规则型**拓扑结构，如星型、环型或总线型。



(2) 网络传输技术



点到点网络:

- 每一对源/宿端之间有一条传输通路
- 路由算法



广播网络

- 仅有一条通信信道，由网络上的所有节点共享
- 地址识别（单播、广播、多播）
- 信道共享机制



(3) 网络规模

处理器之间距离	处理器所在位置	例子
1米	1米见方	个域网
10米	同一个房间	局域网
100米	同一栋建筑物	
1千米	同一个园区	
10千米	同一座城市	城域网
100千米	同一个国家	广域网
1000千米	同一个大陆	
10 000千米	同一个行星	互联网

按照不同尺度对互连处理器的分类



个域网 (PAN)

- 覆盖范围一般在10米半径以内
- 连接方式:
 - 有线：如USB、Firewire
 - 无线：如蓝牙、RFID
- 实例：计算机与外围设备（鼠标、显示器、耳麦、打印机、游戏机、心脏起搏器）的连接

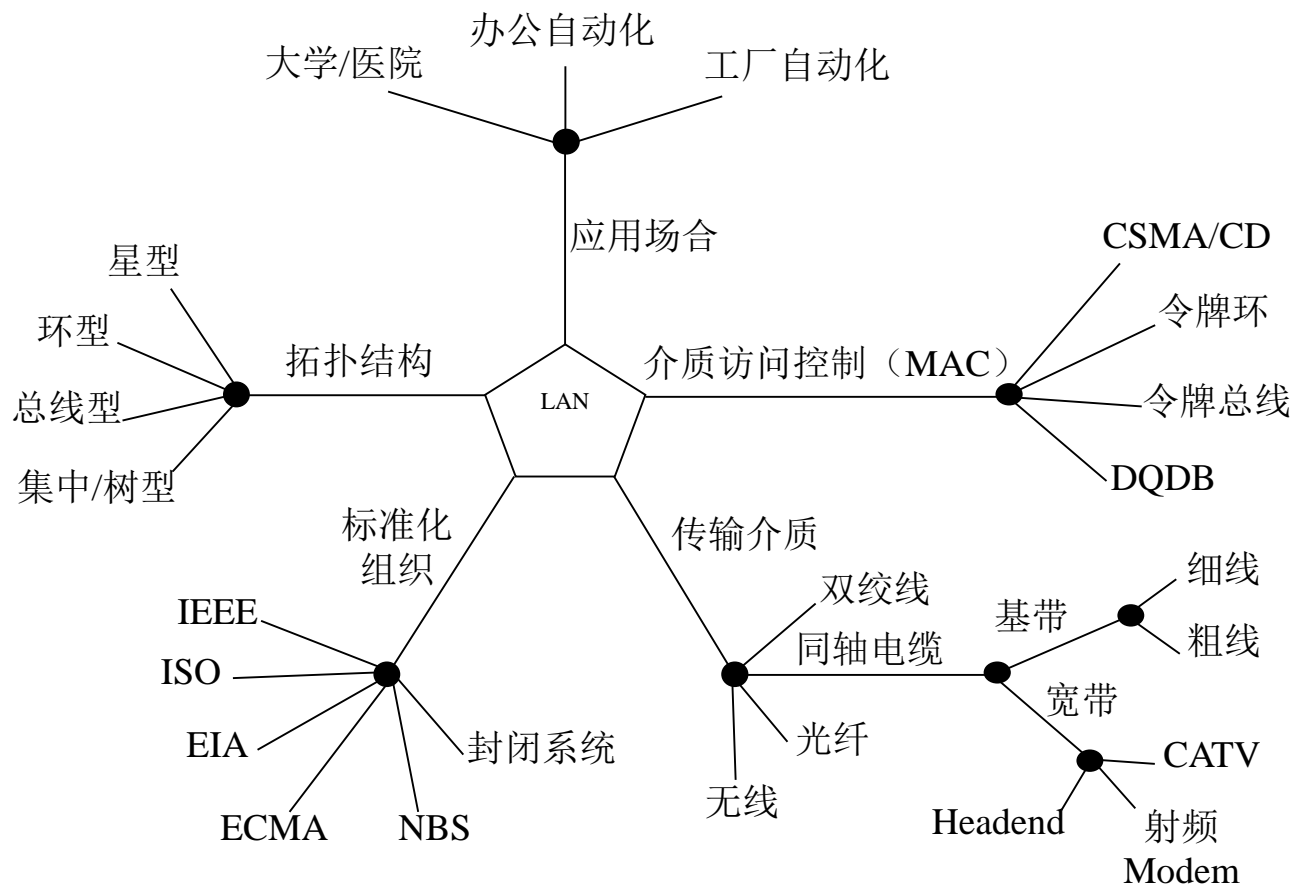


局域网（LAN）

- 单位内部使用的高速宽带网络
- 主要用于资源的共享
- 数据速率为10Mbits/s到1Gbits/s
- 从传输载体的特性来看，可分为：
 - 共享型局域网（Shared LANs）：以太网、无线
 - 交换型局域网（Switched LANs）



局域网的选择问题:

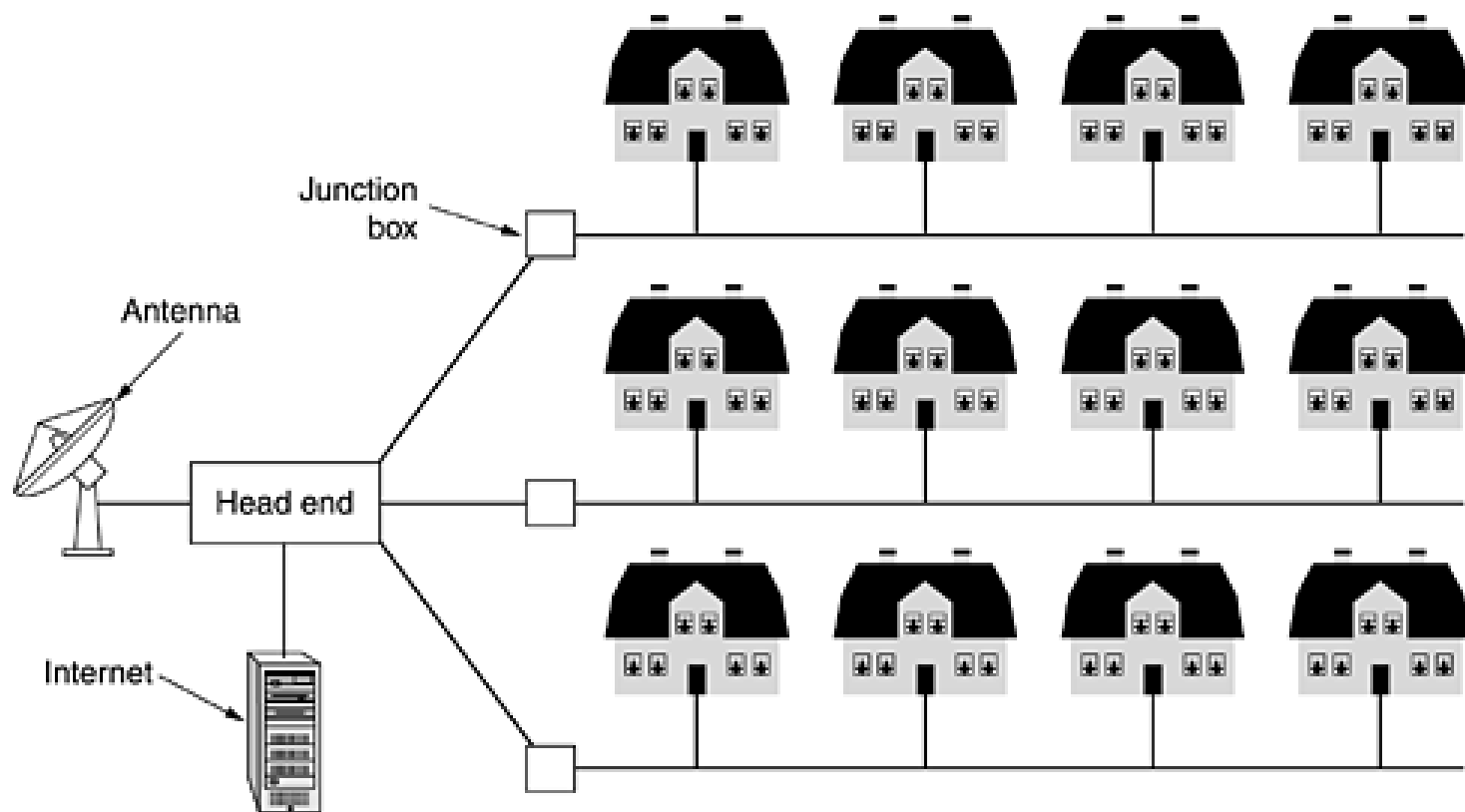


局域网的选择问题



城域网 (MAN)

- 覆盖一个城市，连接多个局域网
- 构成城市信息化基础设施 (MII)
- 采用与局域网类似的技术和设备构成
- 在用途上与局域网有所区别，主要用作城市内高速数据传输和交换——通常用作骨干网

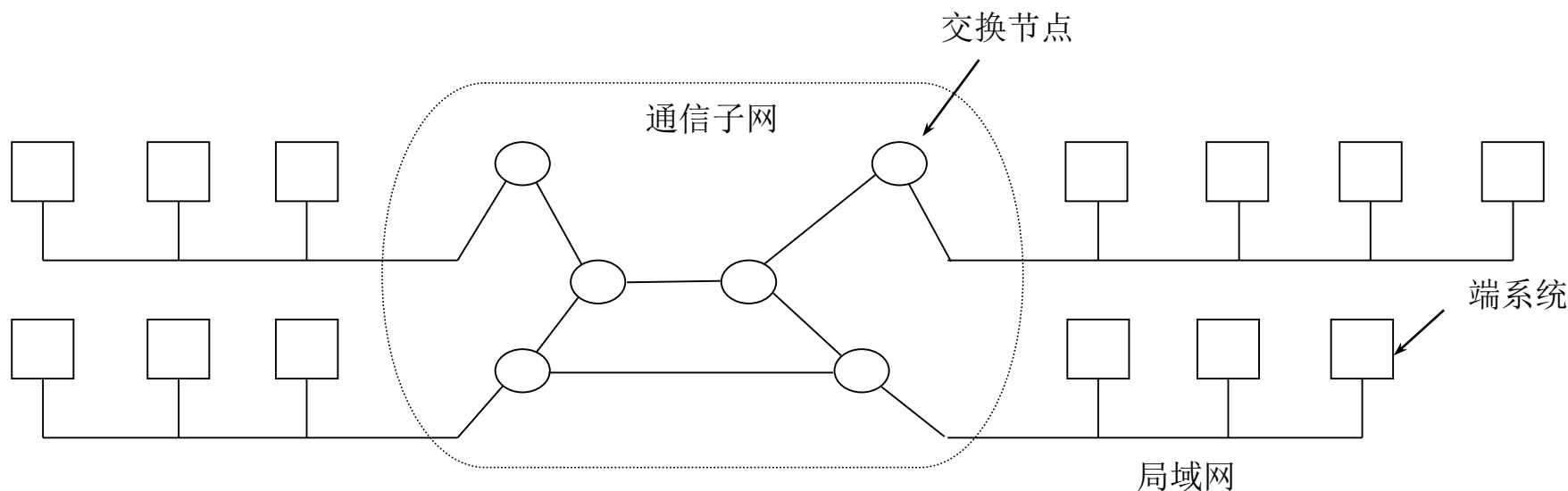


基于有线电视的城域网



广域网 (WAN)

- 覆盖一个国家或更广的范围
- 数据传输速率较低，延时较大
- 采用分组交换和路由技术确保数据的正确传送



广域网的结构



互联网(internet)

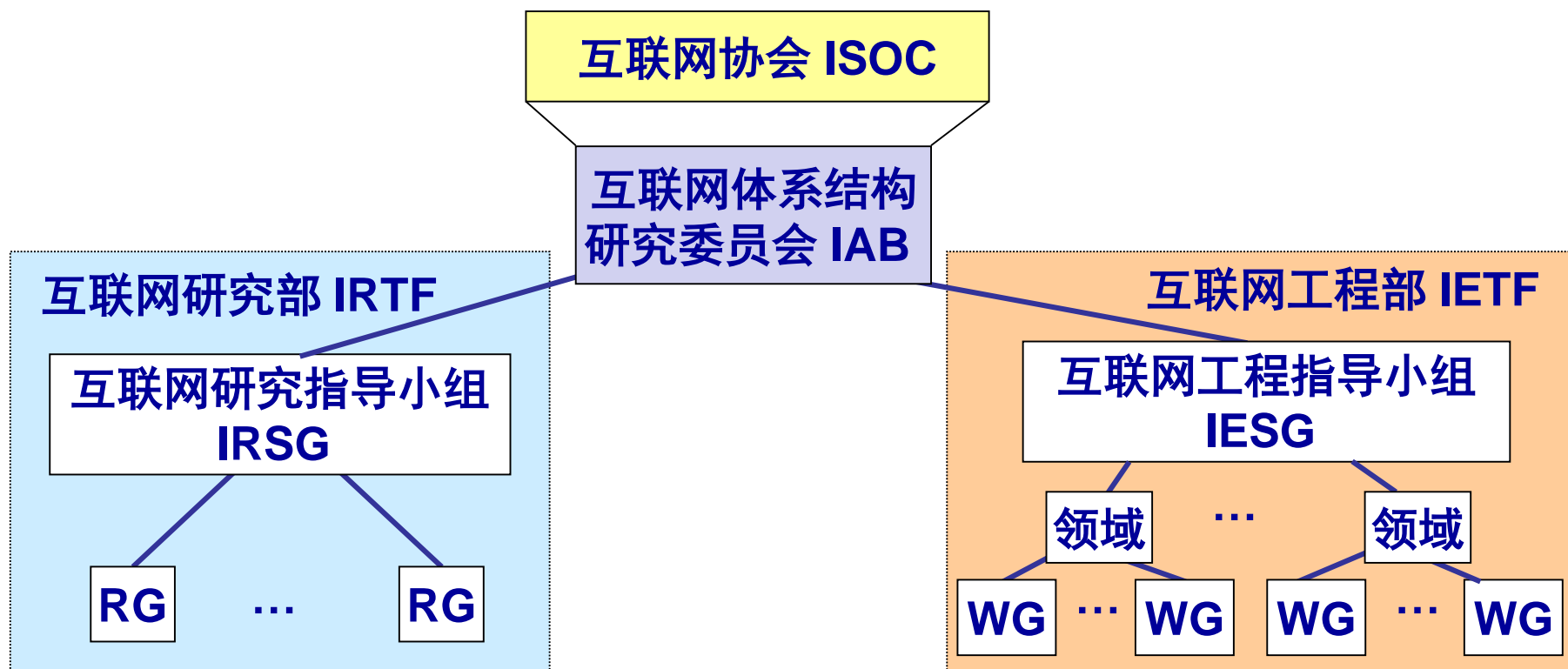
- 定义：将多个不同的计算机网络通过一个**统一的标准**互相连接起来的网络称为互联网络。
- 常见的互联网是通过**WAN**连接起来的**LAN**集合，中间通过**网关**使不同网络兼容。



“网际互联” (internetworking)



互联网的标准化组织：互联网的标准化工作对互联网的发展起到了非常重要的作用。





RFC:

- **互联网草案** (Internet Draft) ——有效期只有六个月。在这个阶段还**不是** RFC 文档。
- **建议标准** (Proposed Standard) ——从这个阶段开始就成为 RFC 文档。
- **互联网标准** (Internet Standard) ——达到正式标准后，每个标准就分配到一个编号 STD xxxx。一个标准可以和多个 RFC 文档关联。



5、网络软件及协议体系结构

- (1) 网络软件的分类
- (2) 通信协议的定义
- (3) 协议的分类
- (4) 协议的三要素
- (5) 分层的协议体系结构
- (6) 协议体系结构实例

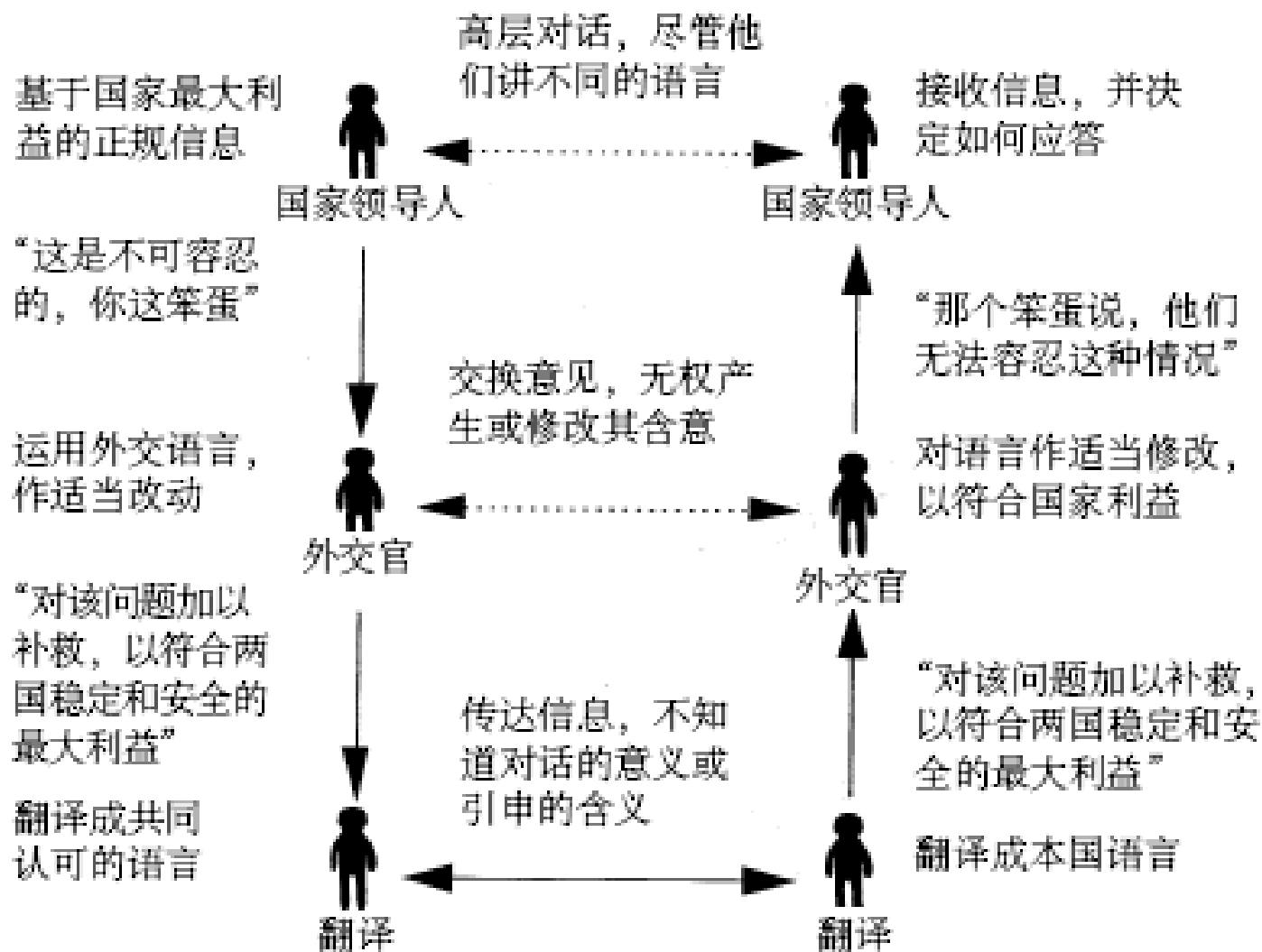


举例：联合国如何开会？

- 不同国家的代表是如何沟通的？他们每个人都讲不同的语言，所以需要翻译。而且，他们必须共同遵守一个协议，这个协议规定了他们以怎样的方式、规则进行讨论。否则，讨论将是毫无秩序的。只有每个成员都遵守这一协议，才能保证讨论有条不紊的进行。
- 同样，计算机间互相通信，也需要协议以决定谁“说话”，需要翻译者来翻译各种语言。下一步就是来定义协议。



两国领导人之间的对话协议





举例：邮件投递

- 只要在信封上写好收信人的地址姓名，把信扔进邮筒就行了。
- 信自然会被送到收信人手里。不管信件如何转发，也不管信件是用卡车、飞机、火车、轮船，还是信鸽传送，你都不必关心，你要做的只是等待回音而已。



(1) 网络软件的分类

与计算机通信网有关的软件大致可分为五类：

- **操作系统核心软件**：多任务、处理来自不同计算机的数据收发
- **通信控制用协议软件**：计算机通信网中各个部分所必须遵守的规则的组合
- **管理软件**：安全、计费、故障处理和系统配置
- **交换与路由软件**：在通信的各个主体之间建立和维护传输信息所需的路径
- **应用软件**：为网络用户提供网络服务



(2) 通信协议的定义

- ④ **定义：**相互通信的双方（或多方）对如何进行信息交换所必须遵守的一整套规则。
- ④ **作用：**完成计算机之间有序的信息交换。

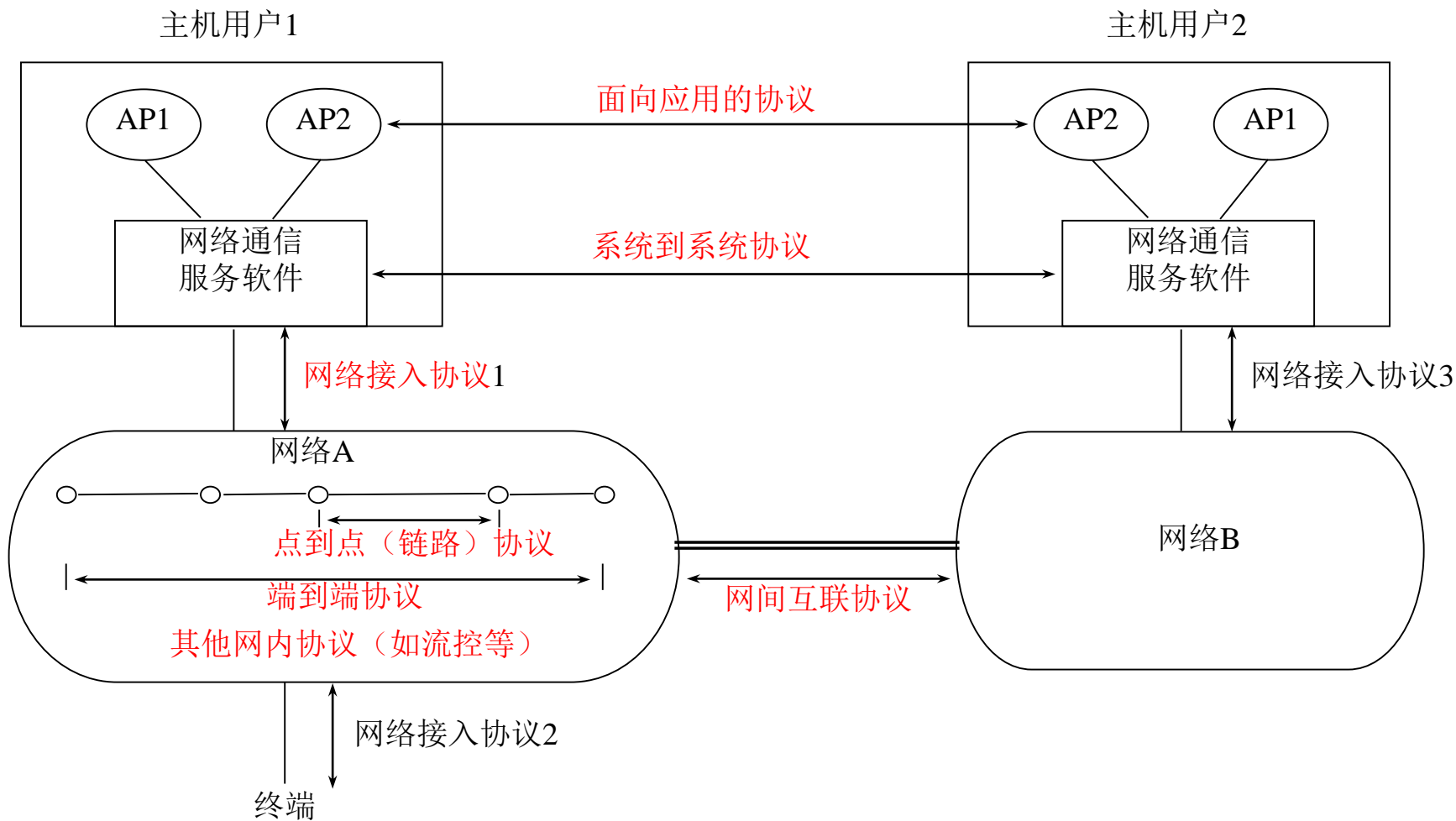


建立连接要遵守的规则：

- (1) 要保证在源-宿点之间存在**物理的传输资源**
- (2) **多路接入**技术必须与所使用的设备配合，执行某种协议
- (3) **差错处理**功能的实现需要由两个端设备之间运行的协议来处理（ARQ）
- (4) 必须保证信息到达正确的目的地，需要**寻址和路由**
- (5) 端节点或交换节点上存储所收到的信息，直至等待这些信息得到服务或再**转发**出去。这需要协议来协调设备之间的动作
- (6) **流量控制**，防止缓冲器溢出，防止拥挤
- (7) 保证接入通路能与用户的特性协调一致，如消息格式、字符编码等。



(3) 协议的分类



通信协议的类型



面向应用的协议：为完成某些特定应用而制定的协议，如TCP/IP、FTP、TELNET、SMTP。



系统到系统的协议：支持端系统中特定应用进程之间的数据交换，为应用进程提供网络通信服务，包括应用层的公用服务元素、表示层协议（数据的加解密）等。



端到端协议：完成端到端的可靠传输，建立、保持及维护端到端连接，如TCP和UDP。



其他网内协议：流控协议、寻址和路由协议。



点到点协议：实现直接相连的节点之间的数据传输，如数据链路层协议HDLC和PPP协议。



网络接入协议：如介质接入控制协议（MAC）。



网间互联协议：不同网络用户的寻址，异构网络之间协议的转换，如IP协议。



(4) 协议的三要素

- ⌚ **语法**：语法是用户数据与控制信息的结构与格式，以及数据出现顺序的意义。
- ⌚ **语义**：用于解释比特流的每一部分的意义
- ⌚ **时序**：事件实现顺序的详细说明。



(5) 分层的网络体系结构

- ④ **体系结构的定义：**是指计算机通信网的分层、各层协议和层间接口的集合，也就是通信网及其部件所应完成的功能的精确定义。
——体系结构是计算机通信网的一种**抽象的、层次化的功能**模型。
- ④ **体系结构的分层：**将庞大复杂的协议分层不同的层次，各层完成不同的功能。
- ④ **分层的基本思想：**
 - 把整套的协议体系分成一些小块（层），下一层对它的上一层提供服务；
 - 每一层本身的功能与下层提供的服务叠加到一起，从而使最高层为**用户**提供一组完整的服务，以便实现**通信**或**分布应用**。
- ④ **分层的基本原则：**定义每一层向上一层提供的服务，以保证每层功能的**相互独立**，但不规定如何完成这些服务。

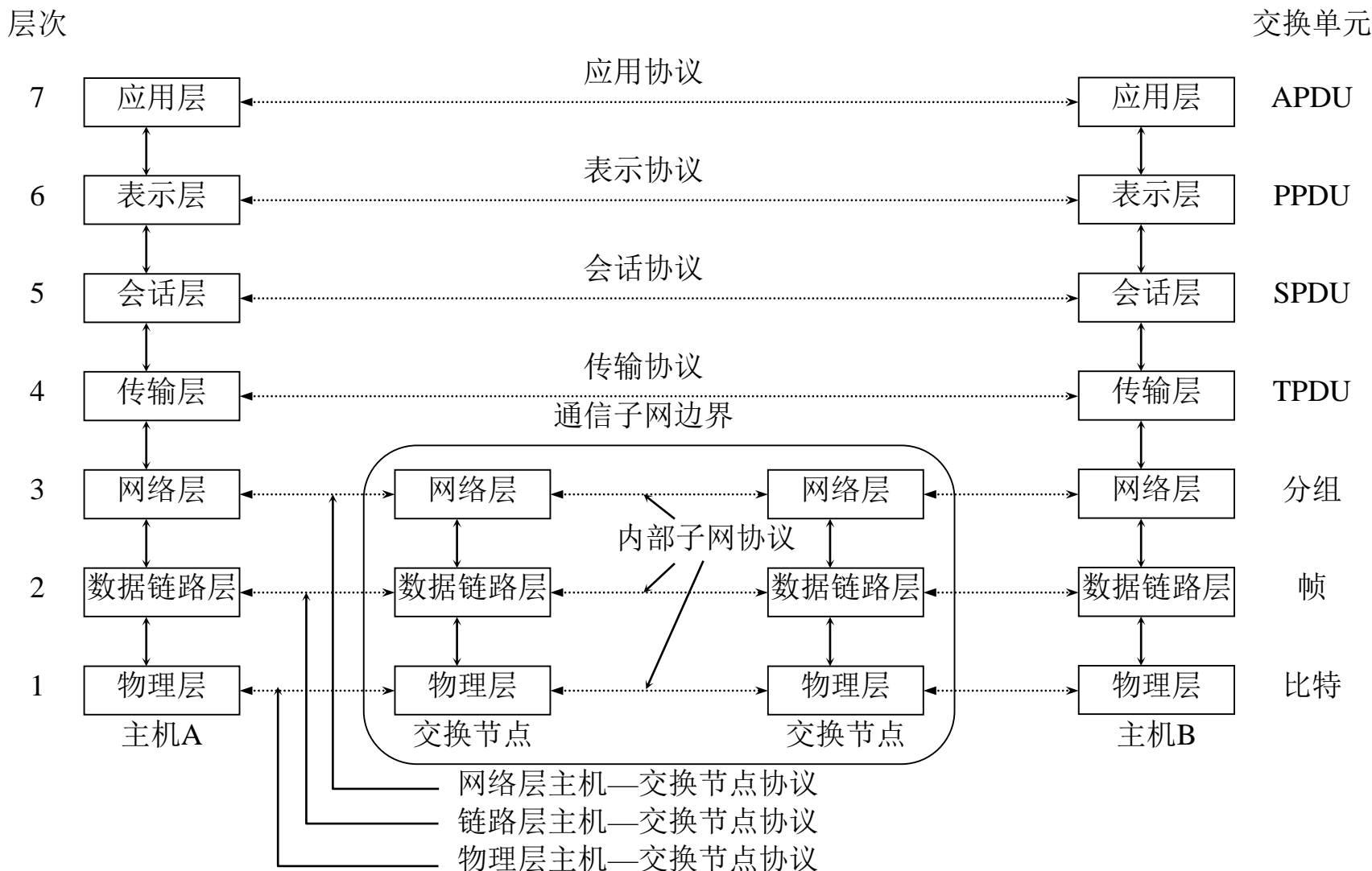
(6) 协议体系结构实例

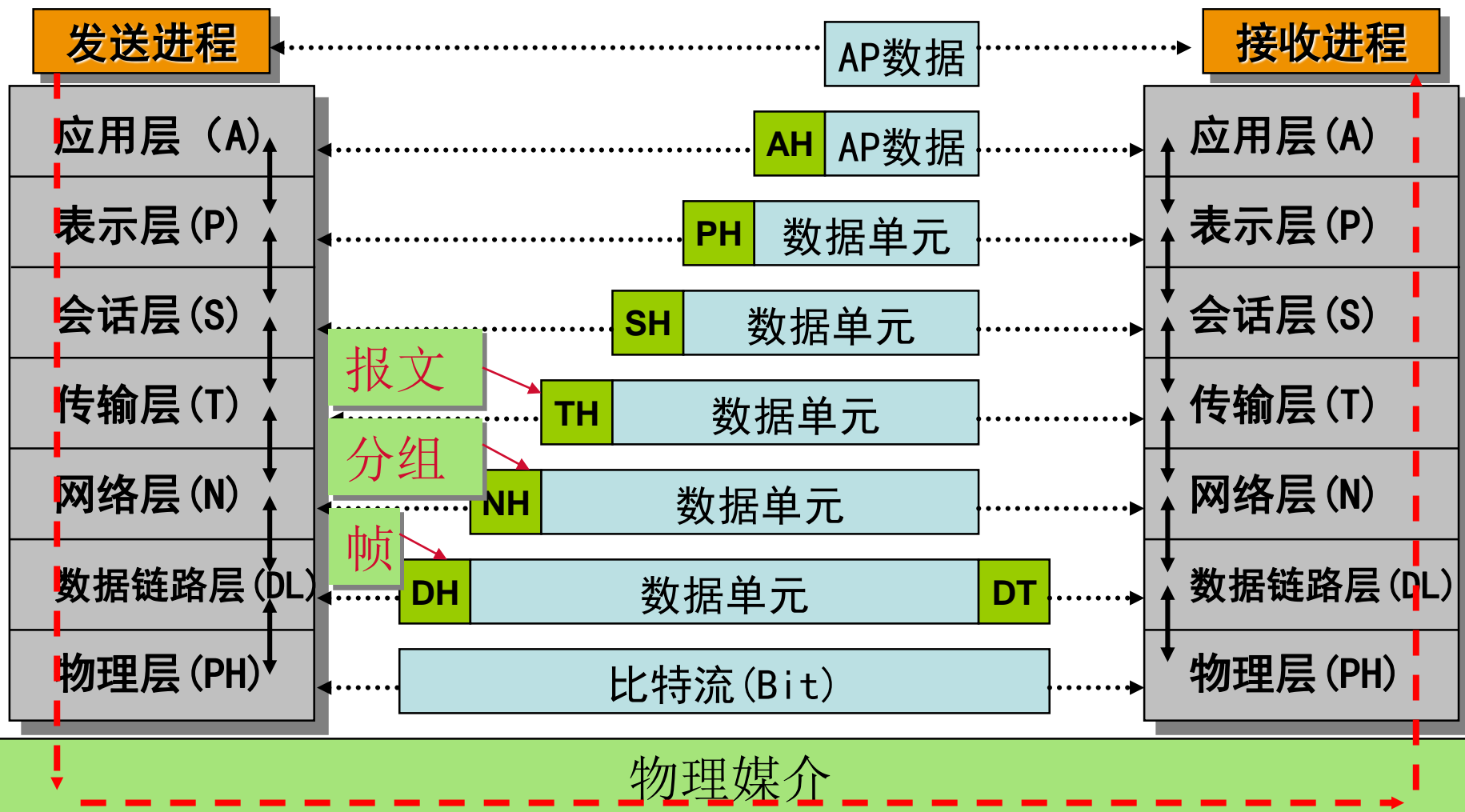
协议体系结构实例

- IBM公司于1974年提出了系统网络体系结构SNA
- DEC公司于1975年提出了数字网络体系结构DNA
- 国际标准化组织（ISO）在1978年提出了网络互连标准的建议，称为**开放系统互连OSI**（Open Systems Interconnect）参考模型，即ISO7498
- 当前使用最广泛的网络体系结构是以**TCP/IP协议模型**为主的Internet结构
- 宽带综合业务数字网（B-ISDN）中采用的异步传输模式（ATM）参考模型



OSI/RM协议体系结构





OSI/RM模型中的数据流



OSI参考模型-各层功能

• 物理层

- 提供建立、维护和释放物理链路所需的机械、电气功能和规程等特性；
- 通过传输介质进行数据流(比特流)的物理传输、故障监测和物理层管理；
- 从数据链路层接收帧，将比特流转换成底层物理介质上的信号。

• 数据链路层

- 在物理链路的两端之间传输数据；
- 在网络层实体间提供数据传输功能和控制；
- 提供数据的流量控制；
- 检测和纠正物理链路产生的差错；
- 格式化的消息称为帧。

帧
11010100 0
↑
奇偶校验位为0，
使1的个数为偶数

帧
01101101 1
↑
奇偶校验位为1，
使1的个数为偶数

奇偶校验位

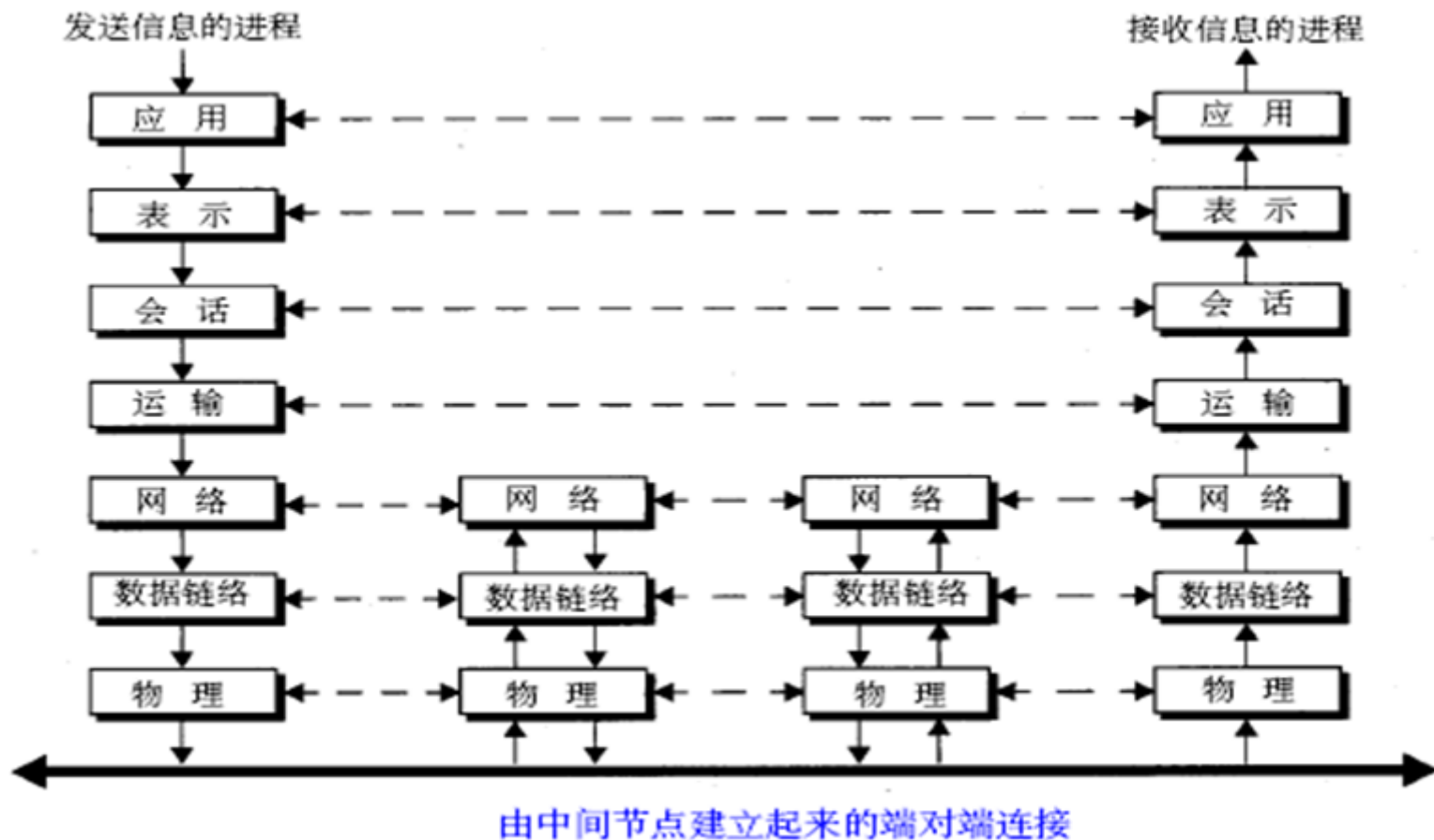


• 网络层

- 负责端到端的数据的路由或交换，为透明地传输数据建立连接；
- 寻址并解决与数据在异构网络间传输相关的所有问题；
- 使用上面的传输层和下面的数据链路层的功能；
- 格式化的消息称为分组。

• 传输层

- 提供无差错的数据传输；
- 接收来自会话层的数据，如果需要，将数据分割成更小的分组，向网络层传送分组并确保分组完整和正确到达它们的目的地；
- 在系统之间提供可靠的透明的数据传输，提供端到端的错误恢复和流量控制。



传输层的功能之一是提供可靠有效的网络连接。它允许上面的三个层次不受实际网络结构约束地执行各自的任務。同时，它依靠下面的三个层次控制实际的网络操作。它监督信息从源节点出发，最终到达目标节点。



- 会话层

- 提供节点之间通信过程的协调。
- 负责执行会话规则（如：连接是否允许半双工或全双工通信）、同步数据流以及当故障发生时重新建立连接。
- 使用上面的表示层和下面的传输层的功能。



请给琼斯先生
打个电 话

OK



a) 请求一次会话层连接



拨琼斯先生
的电话号码

b) 请求一次运输层连接

琼斯先生在3号线



Hello!



c) 运输层连接建立

你好！琼斯先生



您是哪位？



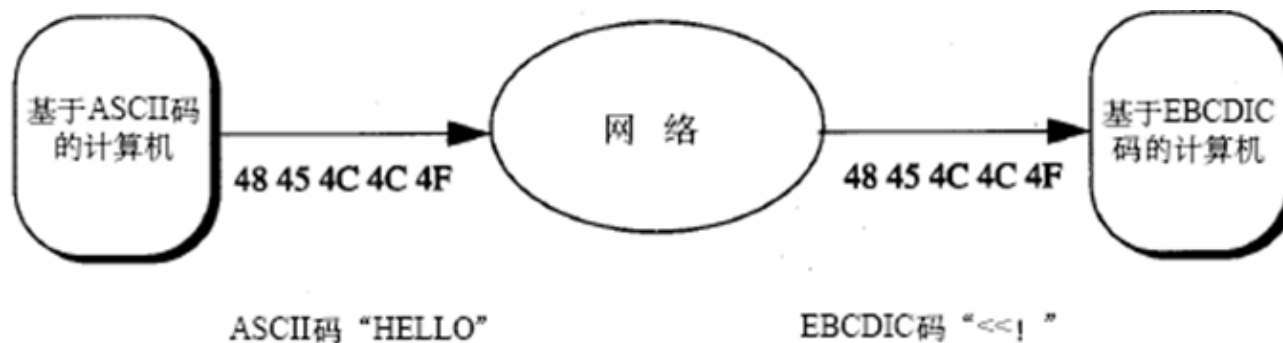
d) 会话层连接建立

请求并建立一次会话层连接

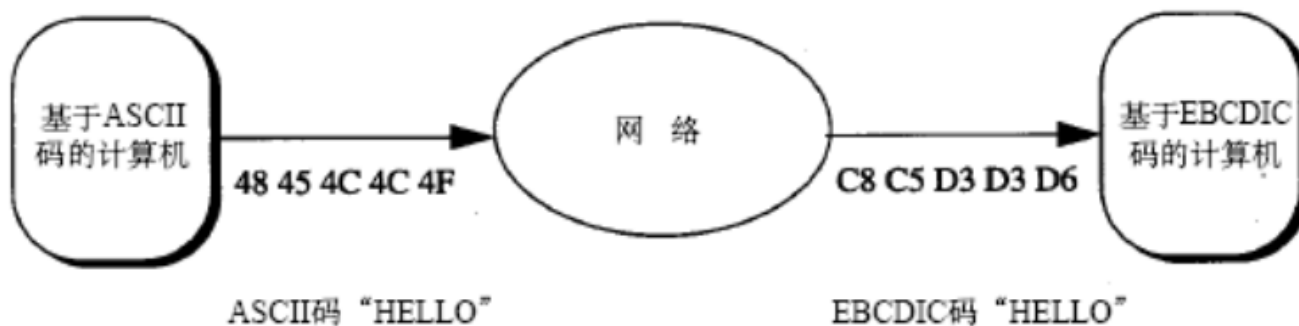


- 表示层

- 提供数据格式、变换和编码转换；
- 涉及正在传输数据的语法和语义；
- 将消息以合适电子传输的格式编码；
- 执行该层的数据压缩和加密；
- 从应用层接收消息，转换格式，并传送到会话层，该层常合并并在应用层中。



两台计算机之间的数据交换



两台计算机之间的信息交换



- 应用层

- 包括各种协议，它们定义了具体的面向拥护的应用：如电子邮件、文件传输和虚拟终端等。

虚拟终端(TELNET)协议

文件传输协议(FTP)

简单邮件传输协议(SMTP)

域名服务(DNS)

网络新闻传输协议(NNTP)

超文本传输协议(HTTP)




总结

- **低三层属于通信子网**，涉及为用户间提供透明连接，操作主要以每条链路（hop-by-hop）为基础，在节点间的各条数据链路上进行通信。由网络层来控制各条链路上的通信，但要依赖于其他节点的协调操作。
- **高三层属于资源子网**，主要涉及保证信息以正确可理解形式传送。
- **传输层是高三层和低三层之间的接口**，它是第一个端到端的层次，保证透明的端到端连接，满足用户的服务质量（QoS）要求，并向高三层提供合适的信息形式。

OSI各层功能总结

层 次	功 能
7. 应用层	提供电子邮件、文件传输等用户服务
6. 表示层	转换数据格式，数据加密和解密
5. 会话层	通信同步，错误恢复和事务操作
4. 运输层	网络决策，实现分组和重新组装
3. 网络层	路由选择，计费信息管理
2. 数据链路层	错误检测和校正，组帧
1. 物理层	数据的物理传输

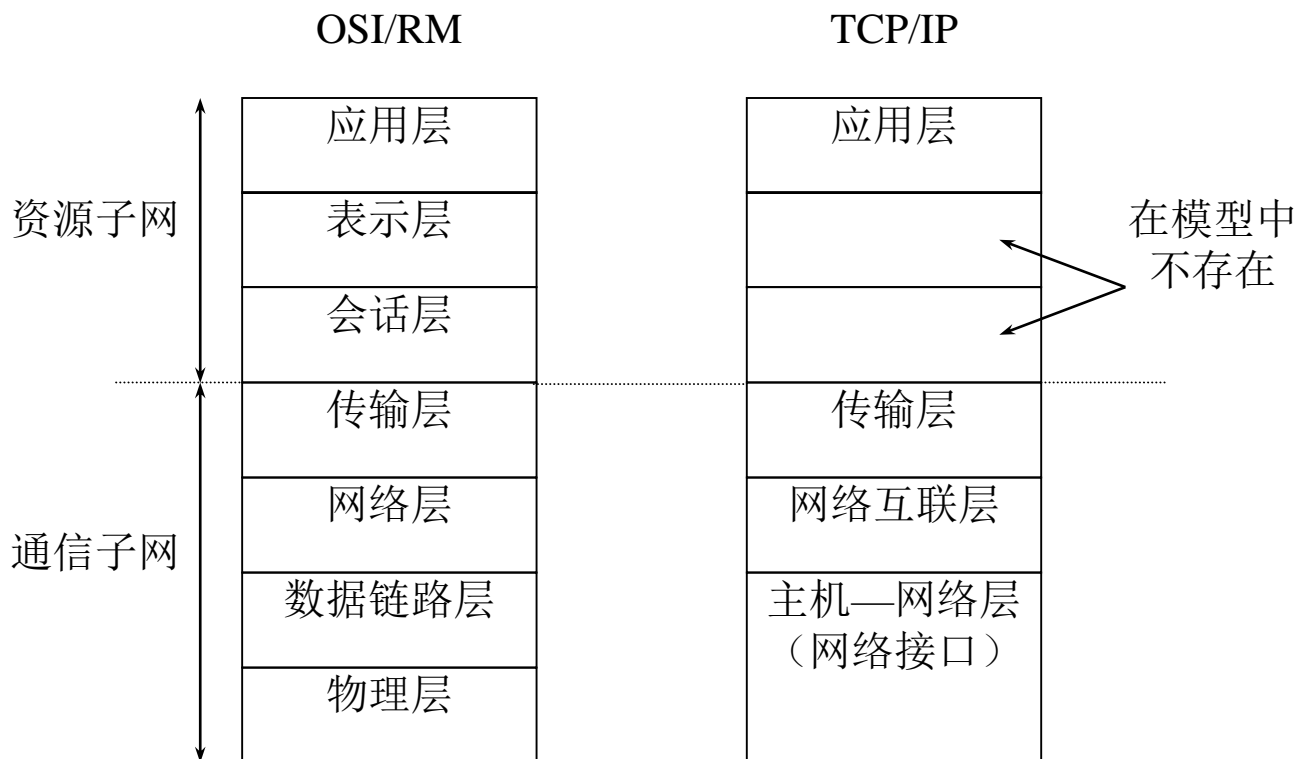


 TCP/IP起源于美国国防部高级研究规划署 (**DARPA**) 的一项研究计划——实现若干台主机的相互通信。

 现在TCP/IP已成为**Internet**上通信的标准。目前，TCP/IP协议泛指以TCP/IP为基础的一个协议族。

TCP/IP模型

- 应用层 (application)
- 传输层 (transport)
- 网际层 (internet)
- 网络接口层 (network interface)



TCP/IP模型与OSI/RM的对应



各层的主要功能

TCP/IP模型分层	主要功能
主机-网络层	定义了Internet与各种物理网络之间的网络接口
网络互联层	负责相邻计算机之间（即点对点）通信，包括处理来自传输层的发送分组请求，检查并转发数据报，并处理与此相关的路径选择，流量控制及拥塞控制等问题。
传输层	提供可靠的点对点数据传输，确保源主机传送分组到达并正确到达目标主机。
应用层	提供各种网络服务，如SMTP，DNS，HTTP，SNMP等



网络互联层协议：由四部分组成

Internet协议（IP）、Internet 控制信息协议（ICMP）、地址解析协议（ARP）、反向地址解析协议（RARP）。

- **IP协议：**

- 位于通信子网的最高层，提供点对点**无连接**的数据报传输机制，不能保证传输的可靠性。
- IP协议向上层（主要是TCP层）提供统一的IP数据报，使得各种物理帧的差异性对上层协议不复存在，这是TCP/IP迈向异种网互联的第一步。
- 在IP协议中传输的IP数据报，它由头标和数据两部分组成，头标中含有传输的大量控制和特性信息，其长度可变，它是理解IP协议的基础。



传输层协议：

- **传输控制协议TCP**：是传输层中使用最广泛的一种协议。TCP是提供**可靠通信**的有效报文协议，一旦数据报被破坏或丢失，将其重新传输的工作通常是由TCP来完成而非高层应用程序。TCP也会检测传输错误，并予以修正。
- **用户数据报协议UDP**：是一个**不可靠的、无连接的**协议，主要用于不需要TCP的排序和流量控制能力，而是自己完成这些功能的应用程序。如：语音、视频图象传输

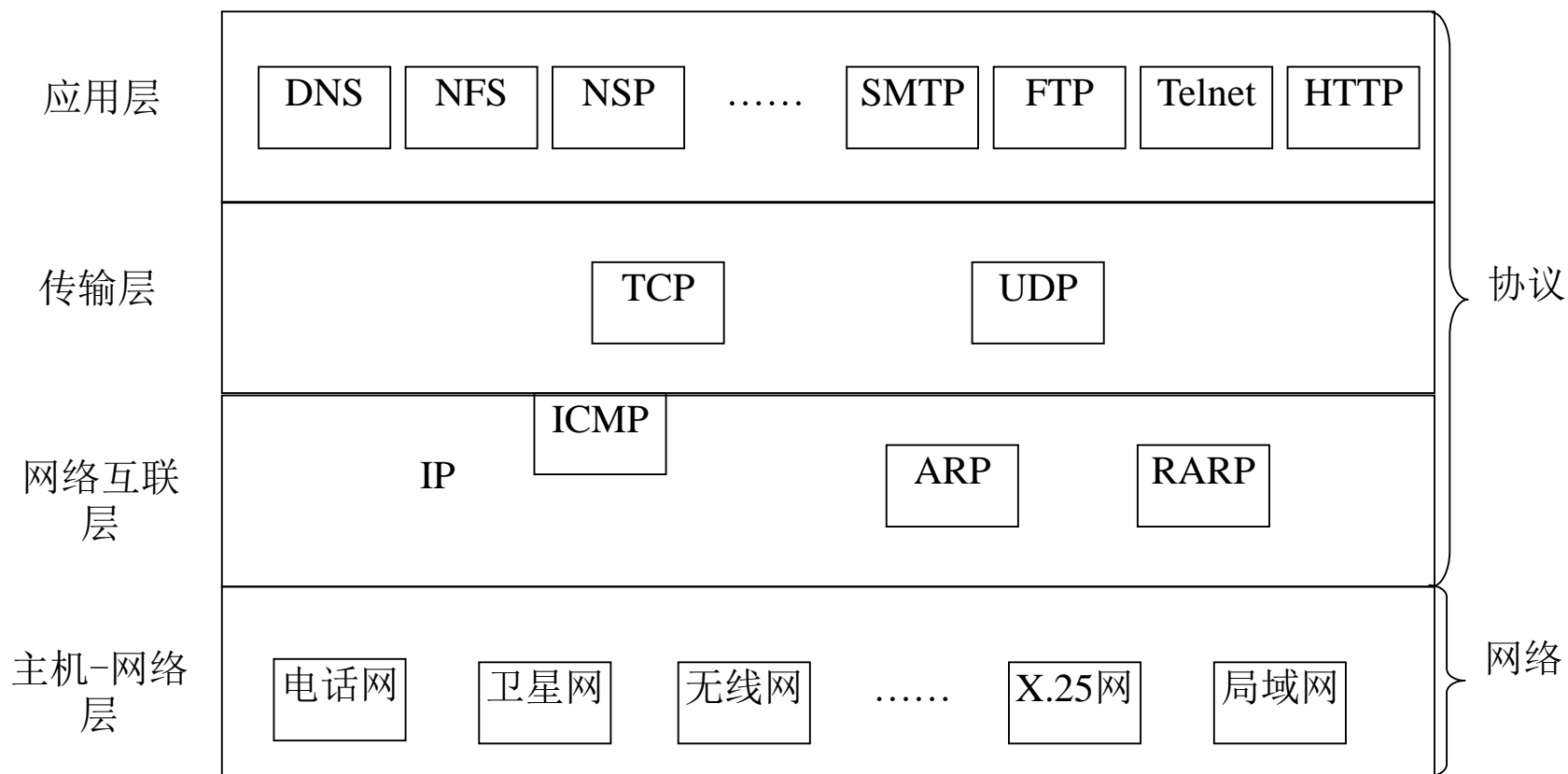


应用层协议

- 虚拟终端(TELNET)协议
- 文件传输协议(FTP)
- 简单邮件传输协议(SMTP)
- 域名服务(DNS)
- 网络新闻传输协议(NNTP)
- 超文本传输协议(HTTP)



层次



TCP/IP模型中的协议与网络



- ❶ OSI/RM与TCP/IP 参考模型的**共同之处**：都采用了层次结构的概念，在传输层中二者定义了相似的功能。但二者在层次划分与使用的协议上有很大的区别。
- ❷ 无论是OSI参考模型与协议，还是TCP/IP 参考模型与协议都不是完美的，对二者的评论与批评都很多。在80年代几乎所有专家都认为OSI参考模型与协议将风靡世界，但事实却与人们预想的相反；



OSI/RM

- 网络体系结构的**核心和贡献**:
 - 分层模型
 - 服务、接口、协议
- OSI 参考模型与协议迟迟没有成熟的产品推出，妨碍了第三方厂家开发相应的硬件和软件，从而影响了OSI产品的市场占有率与今后的发展。



TCP/IP参考模型

- TCP/IP协议在70年代诞生以来已经成功地赢得了大量的用户和投资；
- TCP/IP协议的成功促进了Internet的发展，同时Internet的发展又进一步扩大了TCP/IP协议的影响；
- TCP/IP首先在学术界争取了一大批用户，同时也越来越受到计算机产业界的青睐。



TCP/IP协议模型的缺点:

- 没有明确划分服务、接口和协议概念
- TCP/IP模型缺乏通用性很难适合非TCP/IP协议栈
- 主机—网络层并不是真正意义上的层
- TCP/IP模型并不区分(或论述)物理层和数据链路层
- 许多其他协议虽广为流传但很难替换

OSI模型: 对讨论计算机网络相当有用, 但协议却不流行。

TCP/IP模型实质上是不存在的但协议被广泛使用。



一种建议的参考模型 (Andrew S.Tanenbaum)

- 5层的参考模型;
- 它与OSI参考模型相比少了表示层与会话层;
- 用数据链路层与物理层取代了主机与网络层;
- 建议的参考模型结构



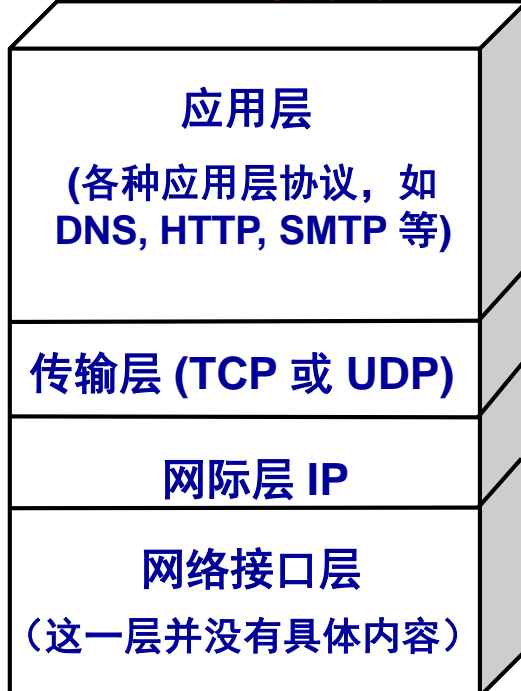


OSI 的体系结构



(a)

TCP/IP 的体系结构



(b)

五层协议的体系结构



(c)

计算机网络体系结构

(a) OSI 的七层协议；(b) TCP/IP 的四层协议；(c) 五层协议



P31

复习题 2、3、5、8、10、11、12、14题