

计算机网络

■ 主讲：肖林



内容



- ① 第1章 概述
- ② 第2章 物理层
- ③ 第3章 数据链路层
- ④ 第4章 介质访问控制子层
- ⑤ 第5章 网络层
- ⑥ 第6章 传输层
- ⑦ 第7章 应用层

第1章 概述



- ④ 计算机网络的定义与作用
- ④ 计算机网络技术的发展
- ④ 计算机网络的分类与主要性能指标
- ④ 计算机网络的体系结构



1.1 计算机网络的定义与作用

- 网络的基本概念
- 网络的应用
- 因特网的发展

网络的基本概念



- 21 世纪的重要特征
 - 就是数字化、网络化和信息化，它是一个以网络为核心的信息时代
- 通常所说 “三网”
 - 即电信网络、有线电视网络和计算机网络
- 计算机网络
 - **自主**计算机的**互联**集合
- 分布式系统
 - 计算机网络（硬件）+分布式关联软件

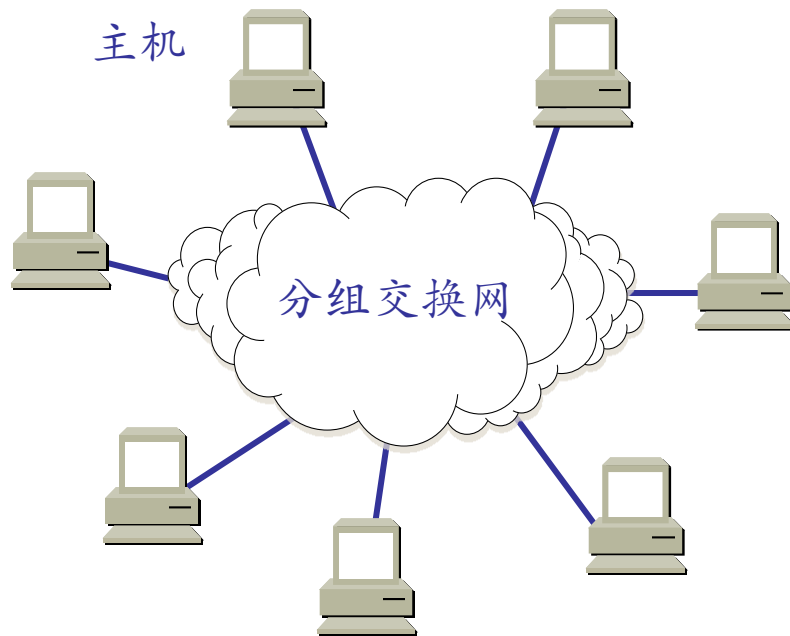
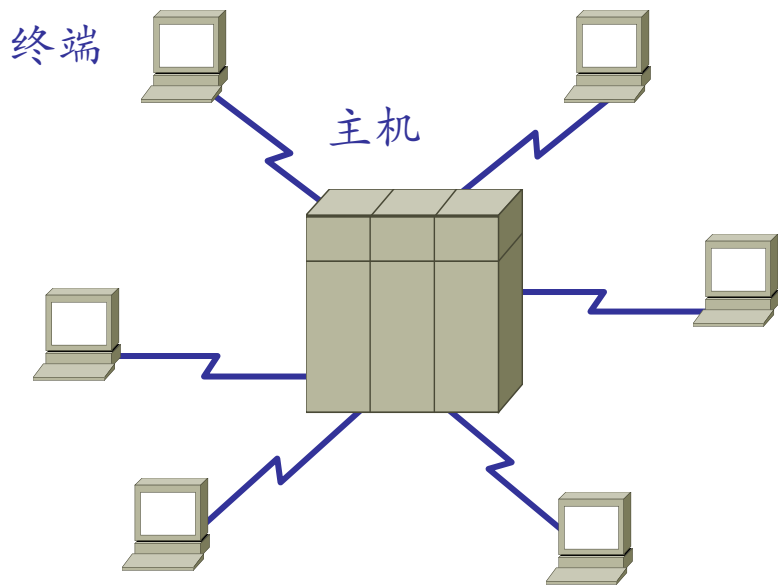
从主机为中心到以网络为中心



以主机为中心



以分组交换网为中心



网络的应用



- 商业应用
- 家庭应用
- 移动用户
- 网络示例

商业应用

■ 资源共享

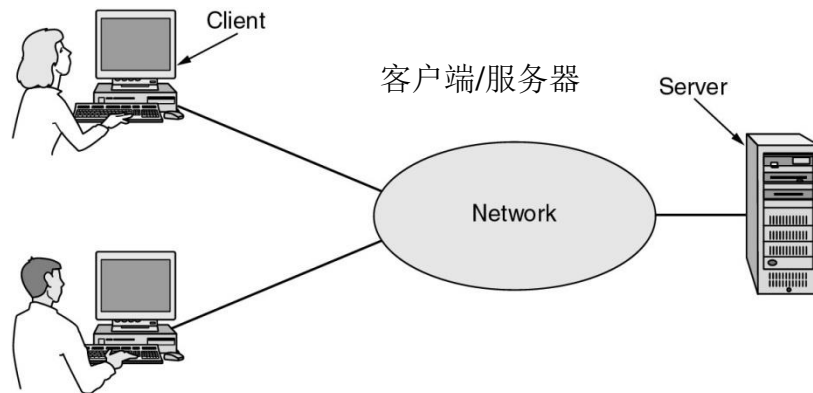
- 虚拟专用网络 (VPN)

■ 协同工作

- 电子邮件、IP电话、桌面共享

■ 电子商务

- 供应商^{B2B}——内部系统^{B2B}——经销商^{B2C}——客户



家庭应用

■ 万维网 (www)

- 获取信息与知识：在线报纸、在线数字图书馆、在线广播、在线视频.....

■ 社会网络

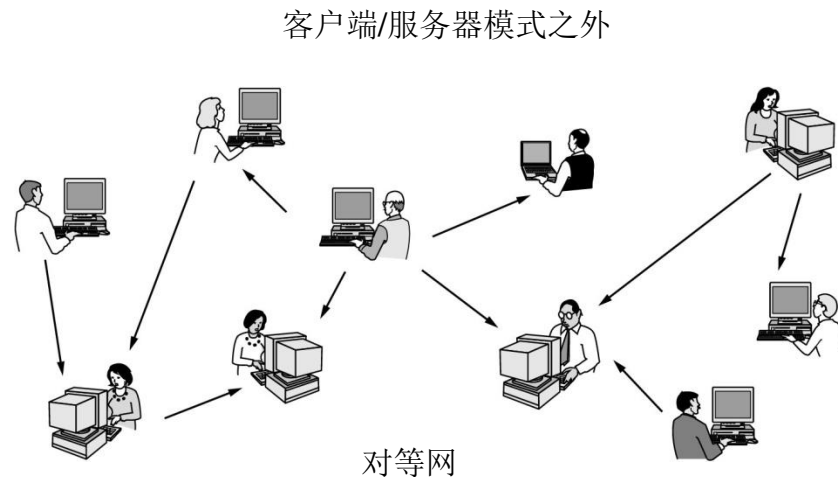
- 即时消息、社交圈子、远程学习

■ 广义的电子商务

- 网上购物、O2O

■ 娱乐、普适计算

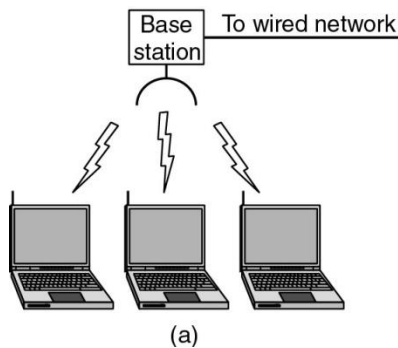
- 物联网、射频识别 (RFID)



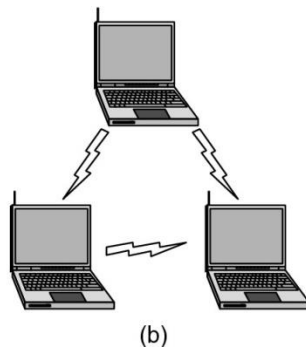
移动应用

- 移动与无线
- 智能手机、近场通信 (NFC)
- 传感器网络、自动驾驶汽车
- 可穿戴设备 (智能手表、智能眼镜.....)

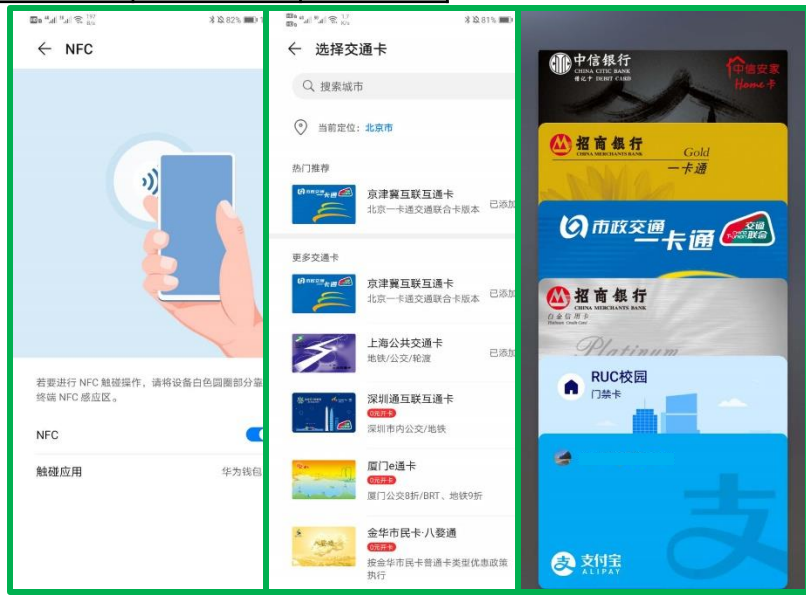
| 应用场景 | 移动 | 无线 |
|-----------|----|----|
| 办公室的台式机 | 不是 | 不是 |
| 插网线的笔记本电脑 | 是 | 不是 |
| 无线联接的台式机 | 不是 | 是 |
| 智能终端 | 是 | 是 |



(a) 无线网络 (Wifi)



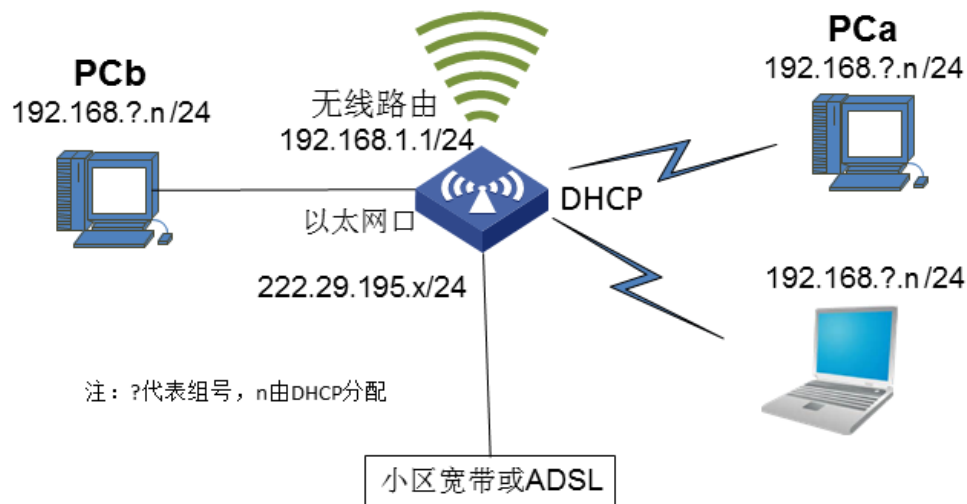
(b) Ad hoc 网络



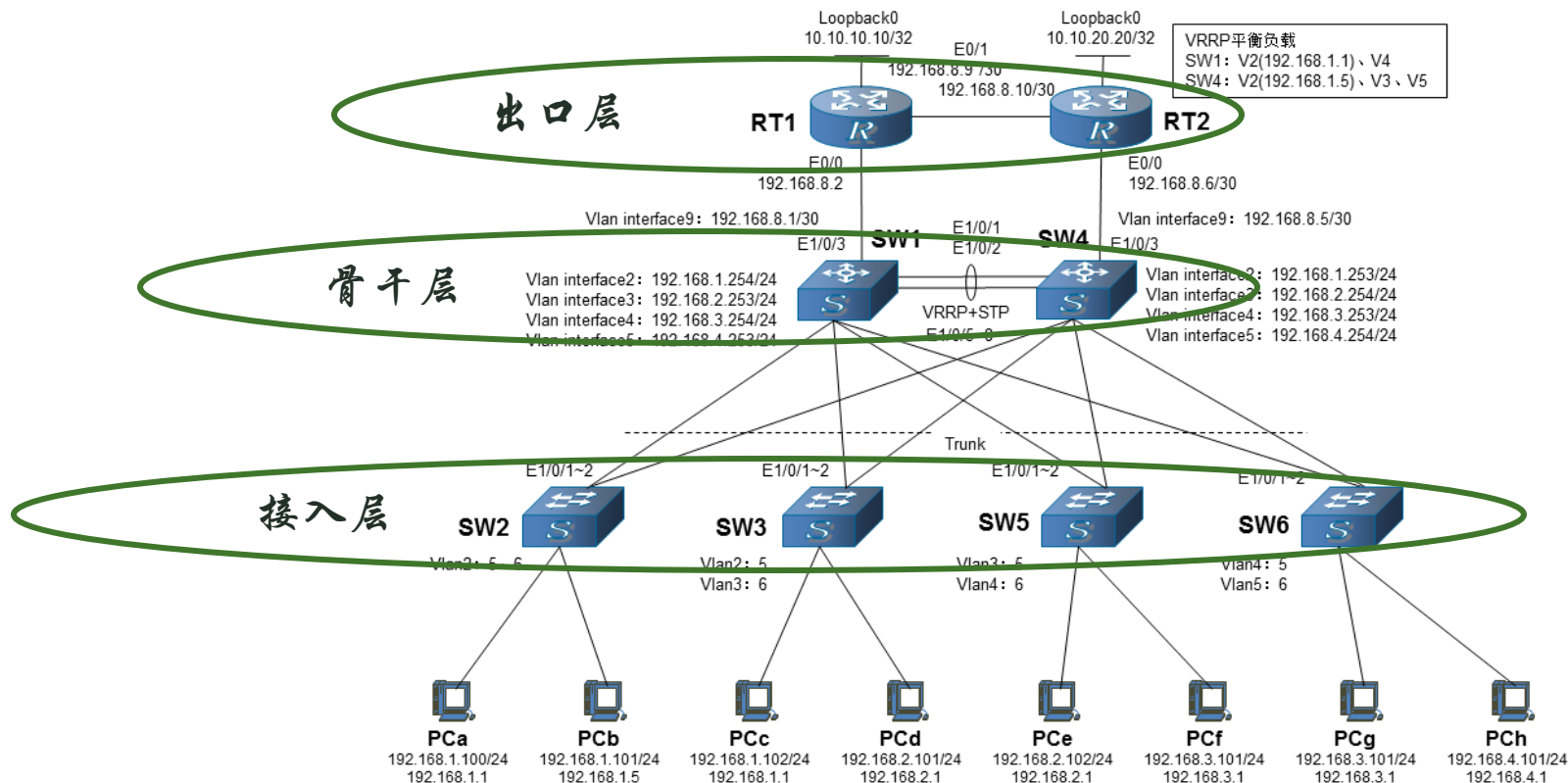
网络示例



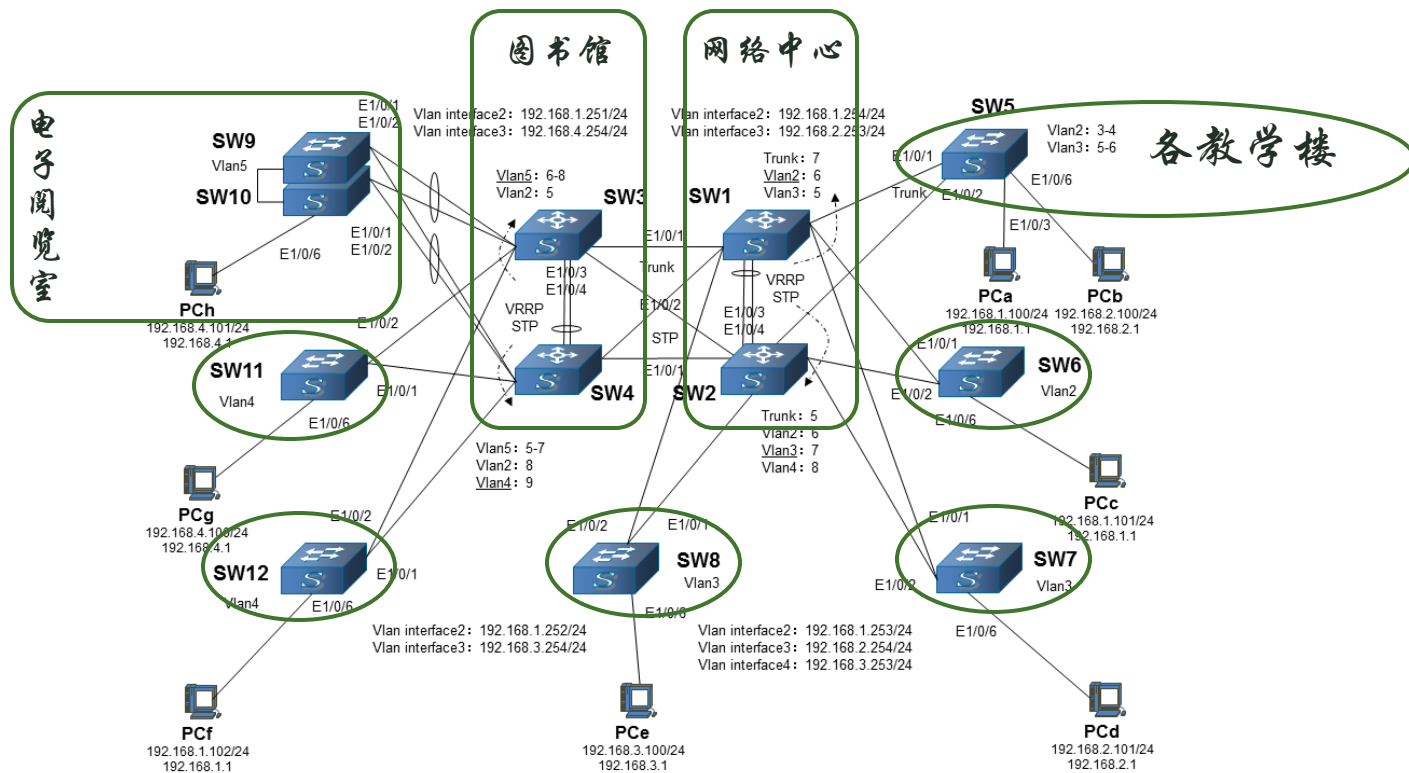
- 家庭组网
- 典型企业组网示例
- 校园园区网示例



典型企业组网示例*



校园园区网示例*



因特网的发展



- 20 世纪 90 年代以后，以因特网为代表的计算机网络得到了飞速的发展
- 已从最初的教育科研网络逐步发展成为商业网络
- 已成为仅次于全球电话网的世界第二大网络
- 因特网的基础结构大体上经历了三个阶段的演进
 - 这三个阶段在时间划分上并非截然分开而是有部分重叠的，这是因为网络的演进是逐渐的而不是突然的



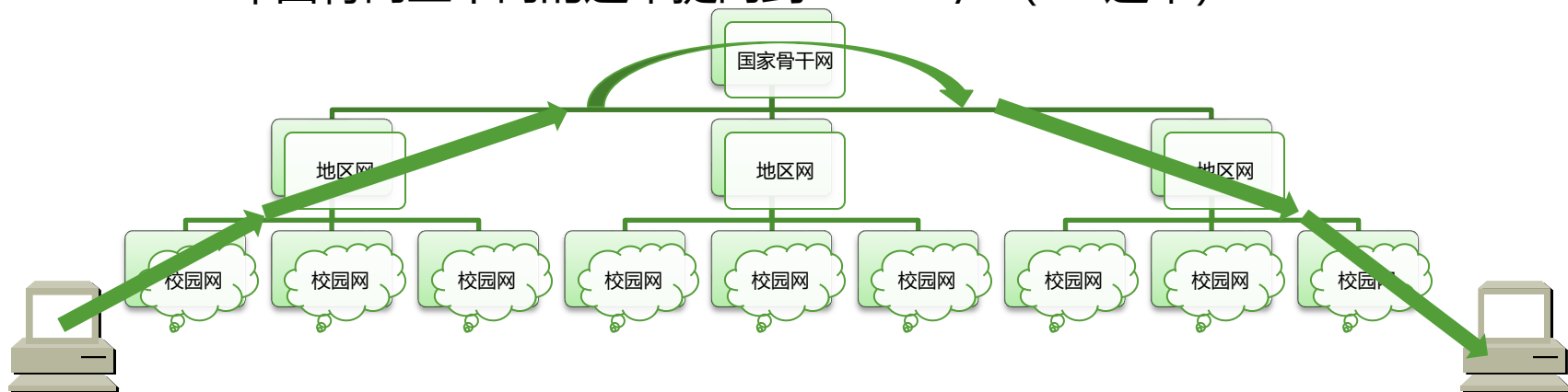
因特网发展的第一阶段

- 第一个分组交换网 ARPANET 最初只是一个单个的分组交换网
 - ARPA 研究多种网络互连的技术
- 1983 年 TCP/IP 协议成为标准协议同年，ARPANET 分解成两个网络
 - ARPANET——进行实验研究用的科研网
 - MILNET——军用计算机网络
- 1983~1984 年，形成了**因特网** Internet
- 1990 年 ARPANET 正式宣布关闭



因特网发展的第二阶段

- 1986 年，NSF 建立了国家科学基金网 NSFNET 它是一个三级计算机网络
 - 主干网、地区网、校园网
- 1991 年，美国政府决定将因特网的主干网转交给私人公司来经营，并开始对接入因特网的单位收费
- 1993 年因特网主干网的速率提高到 45 Mb/s (T3 速率)



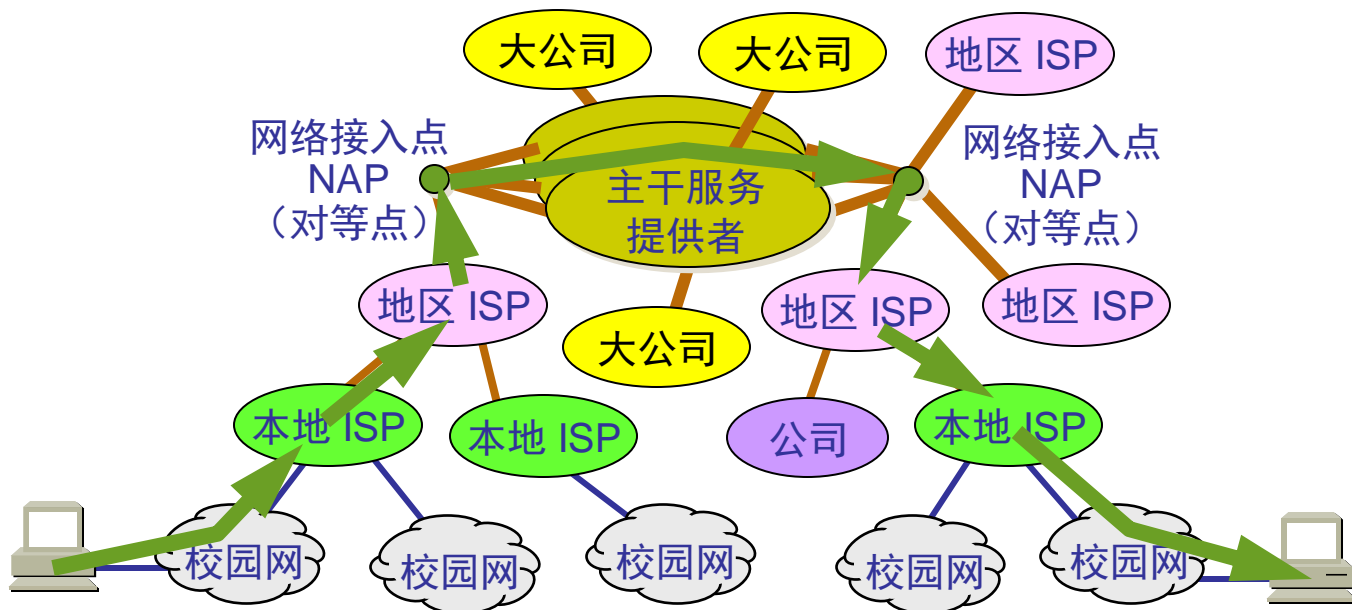


因特网发展的第三阶段

- 从1993年开始，由美国政府资助的 NSFNET逐渐被若干个商用的 ISP 网络所代替
- 1994 年开始创建了 4 个网络接入点 NAP (Network Access Point), 分别由 4 个电信公司经营
- NAP 就是用来交换因特网上流量的结点，在NAP 中安装有性能很好的交换设施；到本世纪初，美国的 NAP 的数量已达到十几个
- 从 1994 年到现在，因特网逐渐演变成多级结构网络

多级结构的因特网

- 主机到主机的通信可能经过多种ISP（因特网服务提供商）



当前多级结构的因特网



- 大致上可将因特网分为以下五个接入级
 - 网络接入点 NAP
 - 国家主干网 (主干 ISP)
 - 地区 ISP
 - 本地 ISP
 - 校园网、企业网或 家庭上网用户



1.2 计算机网络技术的发展

- 计算机网络的产生
- 认知计算机网络
- 网络技术的分析
- 交换技术的比较
- 发展趋势

计算机网络的产生



- 计算机网络的产生背景
- 新型网络的基本特点
- 通信与计算机的结合
- 传统网络的回顾——电路交换

计算机网络的产生背景



- 计算机网络是 20 世纪 60 年代美苏冷战时期的产物
- 60 年代初，美国国防部领导的远景研究规划局ARPA (Advanced Research Project Agency) 提出要研制一种生存性(survivability)很强的网络
- 传统的电路交换(circuit switching)的电信网有一个缺点：正在通信的电路中有一个交换机或有一条链路被炸毁，则整个通信电路就要中断
- 如要改用其他迂回电路，必须重新拨号建立连接这将要延误一些时间

新型网络的基本特点



- 网络用于计算机之间的数据传送，而不(仅)是为了打电话
- 网络能够连接不同类型的计算机，不局限于单一类型的计算机
- 所有的网络结点都同等重要，因而大大提高网络的生存性
- 计算机在进行通信时，必须有冗余的路由
- 网络的结构应当尽可能地简单，同时还能够非常可靠地传送数据

通信与计算机的结合



- 计算机网络涉及到通信与计算机两个领域
 - 计算机与通信的相互结合主要表现在两个方面
 - 一方面，通信网络为计算机之间的数据传递和交换提供了必要的手段
 - 另一方面，数字计算技术的发展渗透到通信技术中，又提高了通信网络的各种性能
- 当然，这两个方面的进展都离不开人们在半导体技术，主要是超大规模集成电路VLSI (Very Large Scale Integrated circuit) 技术上取得的辉煌成就

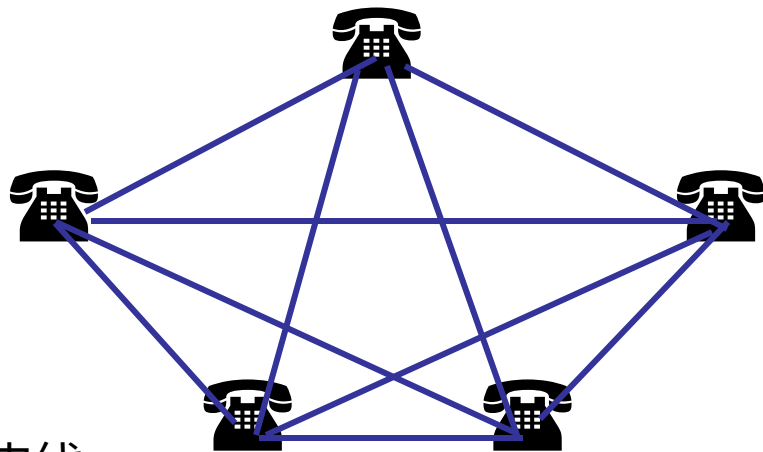
传统网络的回顾——电路交换



- 两部电话机只需要用一对电线就能够互相连接起来



- 5 部电话机两两相连，需 10 对电线

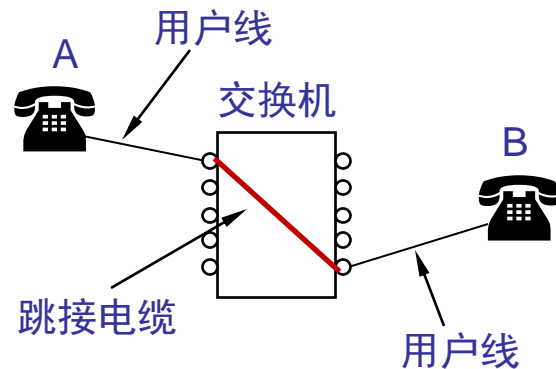
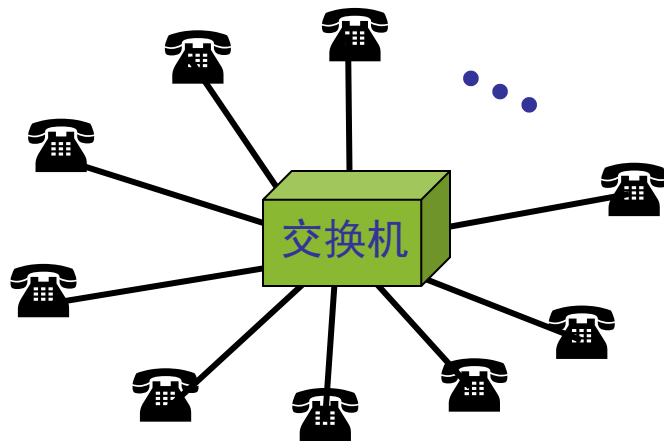


- N 部电话机两两相连，需 $N(N - 1)/2$ 对电线
- 当电话机的数量很大时，这种连接方法需要的电线对的数量，与电话机数的平方成正比

使用交换机



- 当电话机的数量增多时，就要使用交换机来完成全网的交换任务



- 自动化电路交换设备：步进式 (Strowger) 交换机

“交换” 的含义

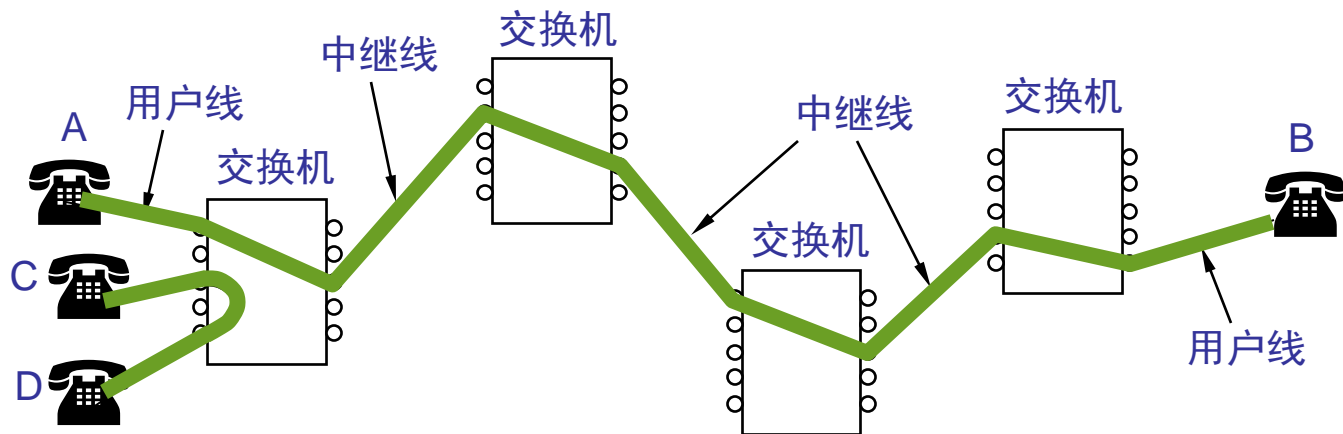


- 在这里，“交换” 的含义是：
 - 转接——把一条电话线转接到另一条电话线，使它们连通起来
- 从通信资源的分配角度来看，“交换” 就是按照某种方式动态地分配传输线路的资源
- 电路交换的三个阶段：
 - 建立连接
 - 通信
 - 释放连接

电路交换举例

■ A 和 B 通话经过四个交换机


- 通话在 A 到 B 的连接上进行



■ C 和 D 通话只经过一个本地交换机

- 通话在 C 到 D 的连接上进行

认知计算机网络



- 整体观点
- 工程视角
- 服务视角



对计算机网络的认识——整体观点

- 计算机信息网络
 - 信息社会的神经和血管
- 体系结构
 - 网络的骨架和神经
- 协议
 - 网络的心脏和血液

大型网络: 工程视角

■ 千百万计的互联计算设备，主机，端接系统运行网络应用程序

- PC工作站、服务器、智能手机、智能家电等

■ 通信链路

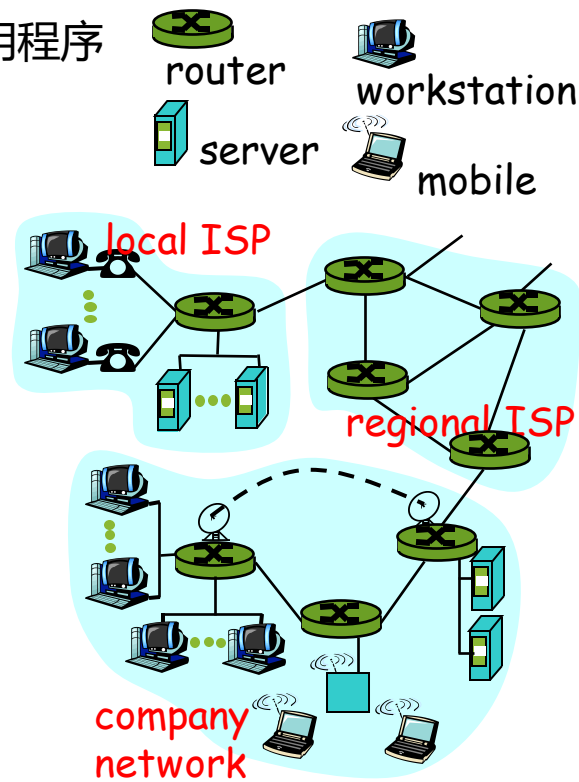
- 光纤、铜缆、无线电、卫星等

■ 路由设备：在网络中，对数据分组进行转发

■ 协议：控制报文的收发

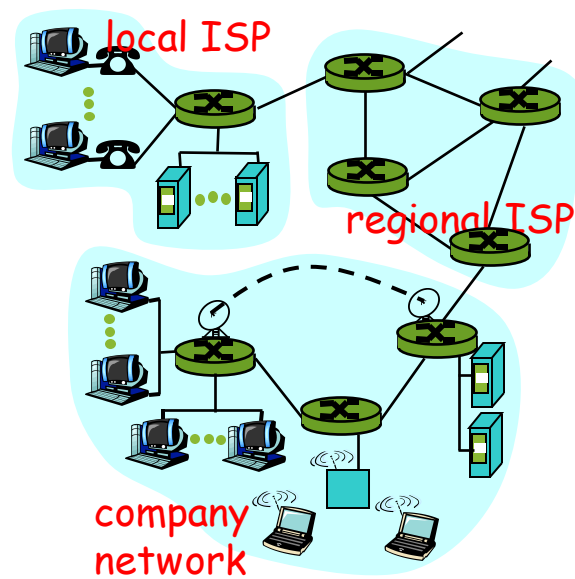
- 如TCP、IP、HTTP、FTP、PPP等

■ 因特网：“万网之网”



大型网络: 服务视角

- 通信系统基础上，运行分布式的应用程序
 - WWW、email、网络游戏、电子商务、数据库应用、网上调查、文件共享等
- 所提供的通信服务：
 - 无连接 (connectionless)
 - 面向连接 (connection-oriented)



计算机网络技术的分析



■ 网络的划分

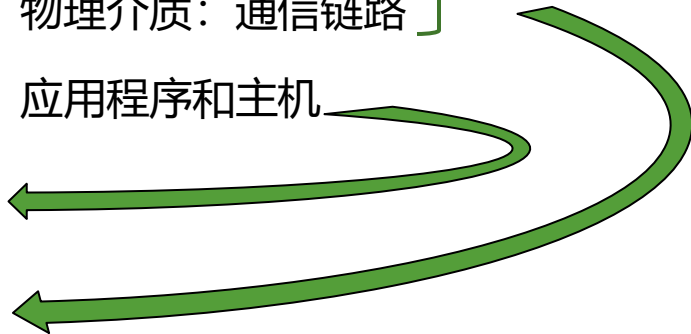
- 网络核心：路由器、万网之网
- 访问网络、物理介质：通信链路
- 网络边缘：应用程序和主机



■ 资源子网

■ 通信子网

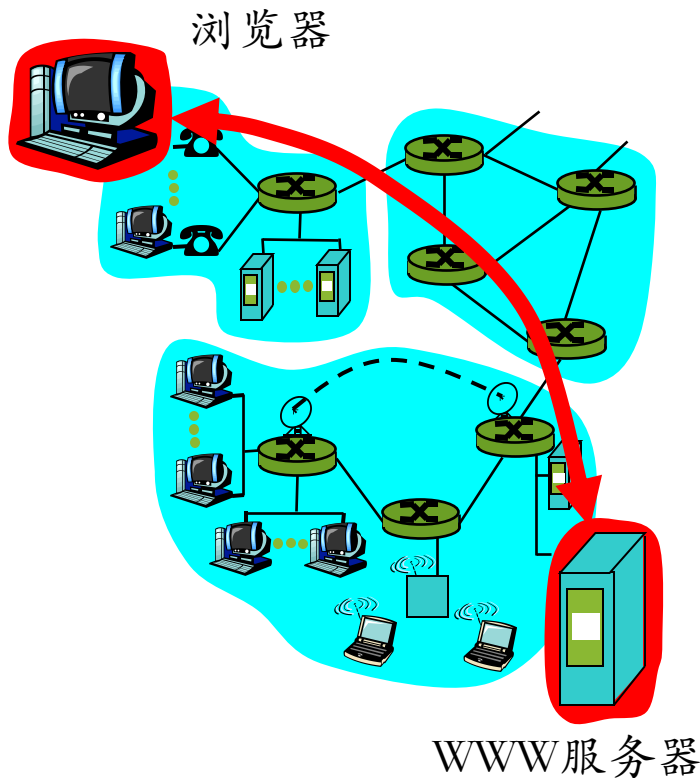
- 电路交换
- 分组交换



资源子网



- 端接系统 (主机)
 - 运行应用程序, 如WWW、email等
- 两种访问模型
 - 客户端/服务器(C/S)模型
 - 客户端发出请求, 接收来自服务器的服务
 - 对等(peer-peer)模型
 - 主机对称的进行交互, 如QQ等
- 两种服务
 - 面向连接服务、无连接服务



面向连接



- 目的：在端系统间进行数据传输
 - 握手：在数据传输之前设置系统间的连接
 - ◆ Hello, hello back 人际交往协议
 - ◆ 通信主机之间建立连接 “状态”
- TCP服务 [RFC 793]
 - 因特网面向连接的服务，可靠有序的字节流数据传输
 - ◆ 数据丢失：应答和重传
 - 流量控制：发送端不会将接收端 “淹没”
 - 拥塞控制：网络拥塞时，发送端须 “降低发送速率”

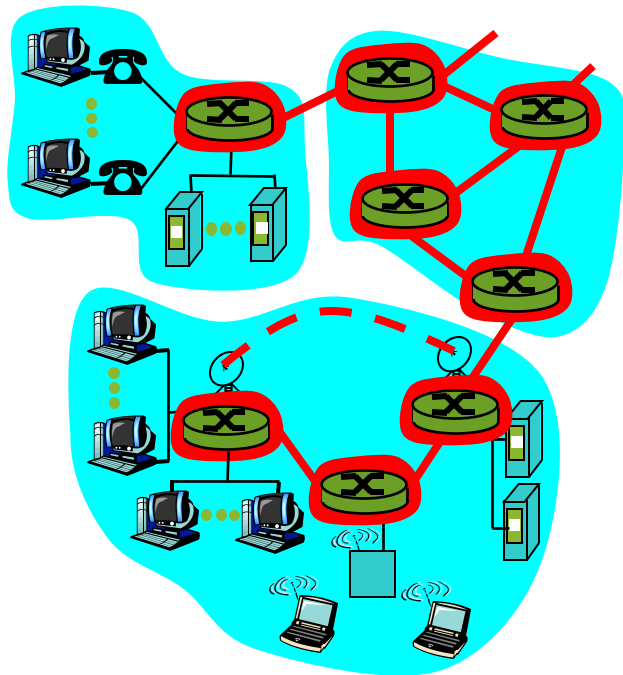
无连接



- 目的：在端系统间进行数据传输
 - UDP用户数据报协议[RFC 768]
 - 因特网的无连接服务
 - ◆ 并非可靠的数据传输、没有流量控制、没有拥塞控制
- 使用TCP的应用程序:
 - WWW、FTP、Telnet、SMTP等
- 使用UDP的应用程序:
 - 流媒体、视频会议、IP电话等

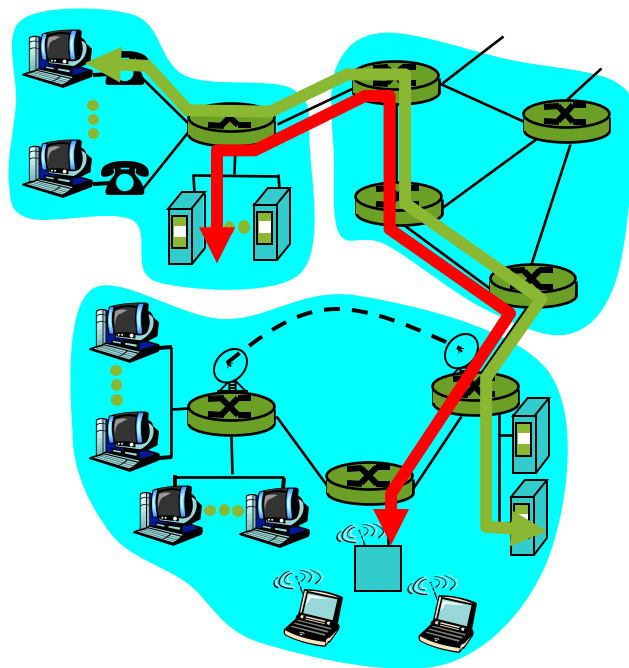
通信子网

- 由路由器连接而成的网
- 最根本的问题：数据是如何传输并通过网络的？
 - 电路交换：为每个通信连接指定电路，如同电话网络
 - 分组交换：数据划分成分离的“数据块”，通过网络传送



电路交换

- 为通信在两端需要预留资源
 - 链路带宽，交换能力
 - 专用资源：没有共享
 - 电路交换的通信性能 (有承诺的)
 - 在通信进行之前要建立连接



电路交换——资源分片



- 网络资源（带宽）划分成“片”
 - 各资源片分配给各个通信连接
 - 如果拥有资源的通信连接没有使用，则该资源片就被闲置（独占）
 - 将链路带宽分“片”的办法
 - ◆ 频谱划分：频分多路复用FDMA
 - ◆ 时隙划分：时分多路复用TDMA

电路交换——多路复用



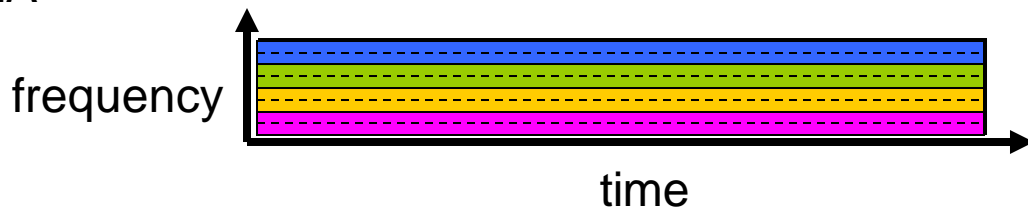
■ FDMA和TDMA

例如:

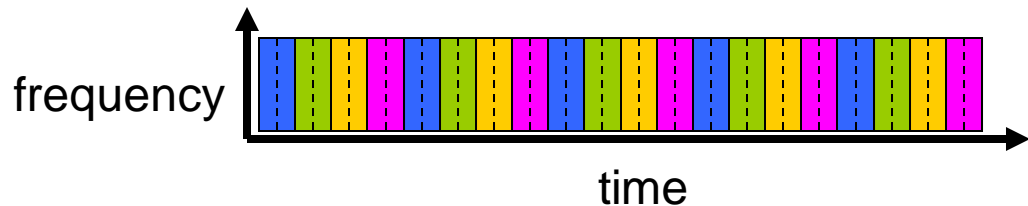
4 用户



FDMA



TDMA



■ 电路交换传送计算机数据效率低

- 计算机数据具有突发性，这导致通信线路的利用率很低



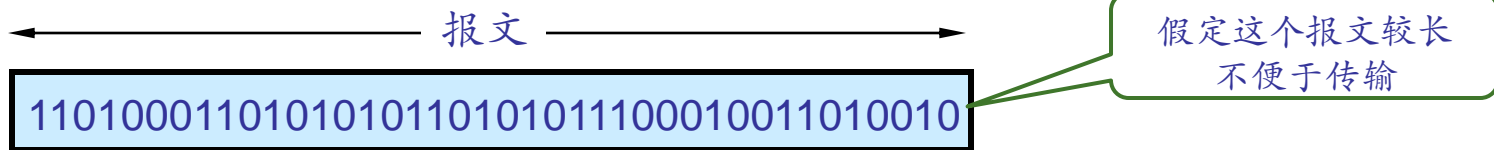
分组交换

- 每个端到端的数据流被划分成分组(packet)
 - 用户 A、B 的分组可共享网络资源
 - 每个分组使用全部的链路带宽
 - 资源在必要时才使用，区别于电路交换的固定预分配
- 资源竞争
 - 资源可能供不应求
 - 处理拥塞：分组排队，等待链路资源
 - 在路由器上**存储转发**，分组一次移动一个步跳
 - ◆ 通过链路传输，然后等待下一条链路

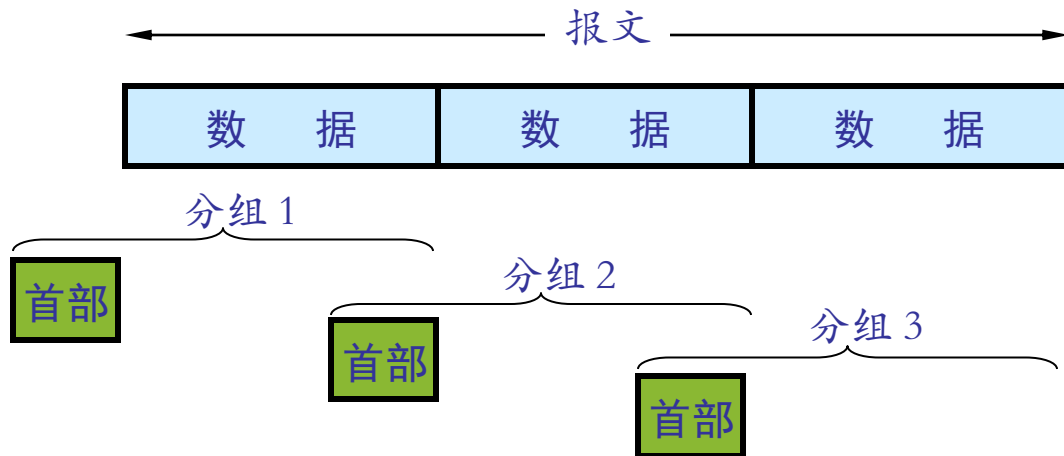
分组交换——原理



- 在发送端，先把较长的报文划分成较短的、固定长度的数据段



- 每一个数据段前面添加上首部构成分组

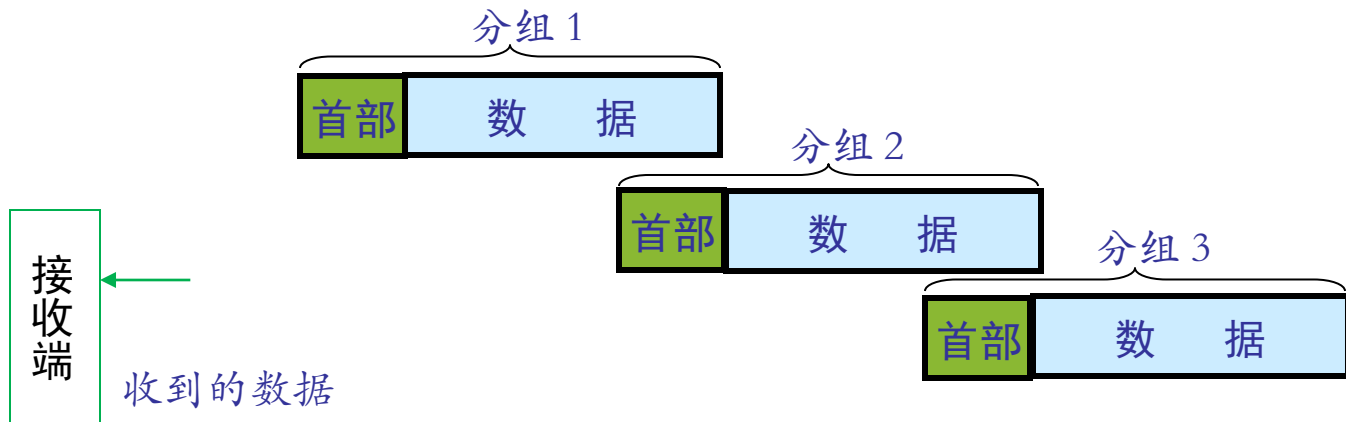


请注意：现在左边是“前面”

分组交换——原理 (2)



- 分组交换网以“分组”作为数据传输单元
- 依次把各分组发送到接收端（假定接收端在左边）



- 接收端收到分组后剥去首部还原成报文

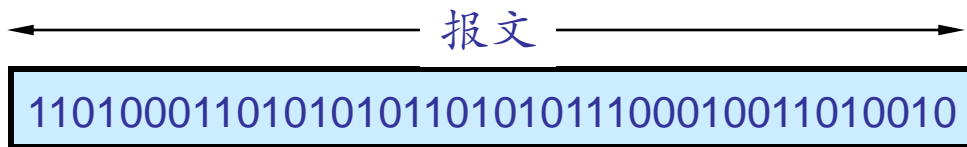
分组交换——原理（3）



■ 分组首部的重要性

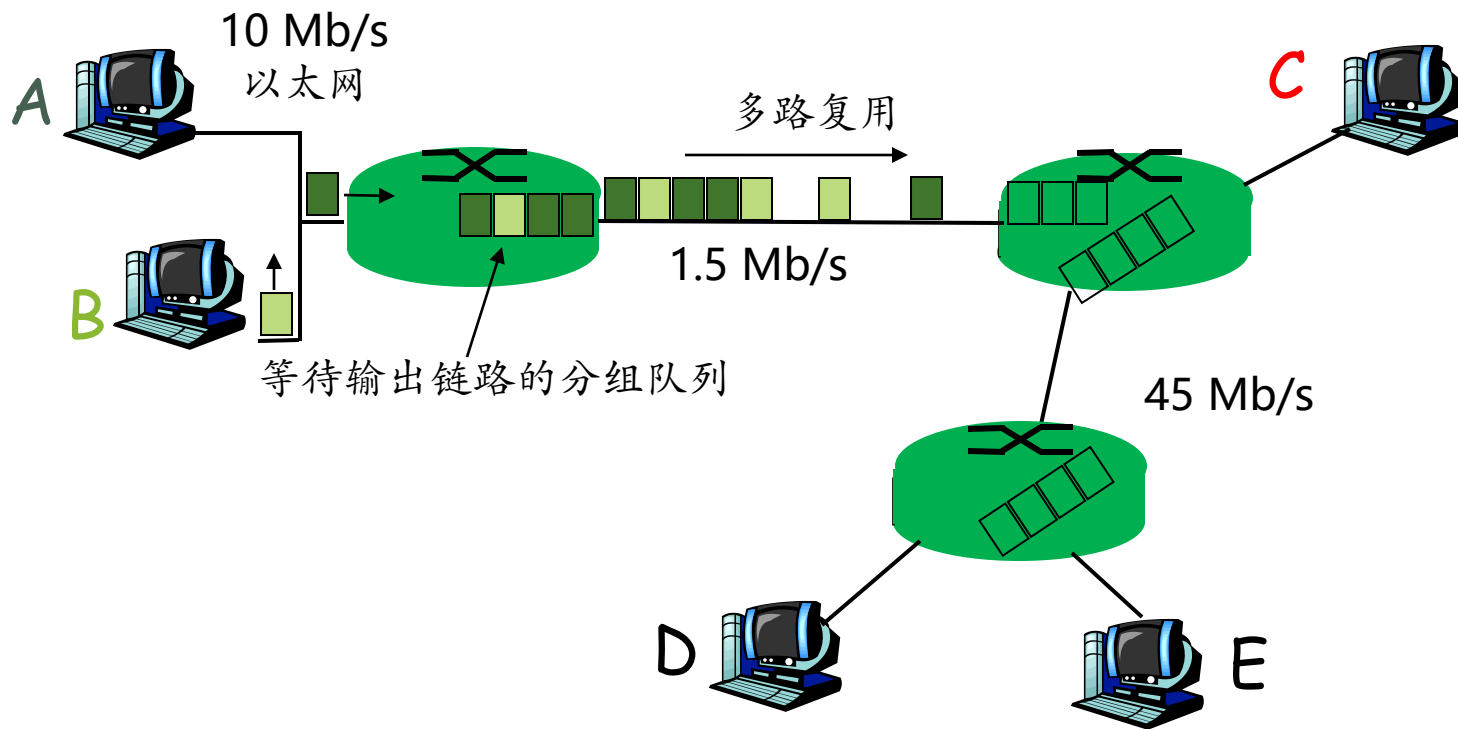
- 每一个分组的首部都含有地址等控制信息
- 分组交换网中的结点交换机，根据收到的分组首部中的地址信息，把分组转发到下一个结点交换机
- 用这样的存储转发方式，最后分组就能到达最终目的地

■ 最后，在接收端把收到的数据恢复成为原来的报文



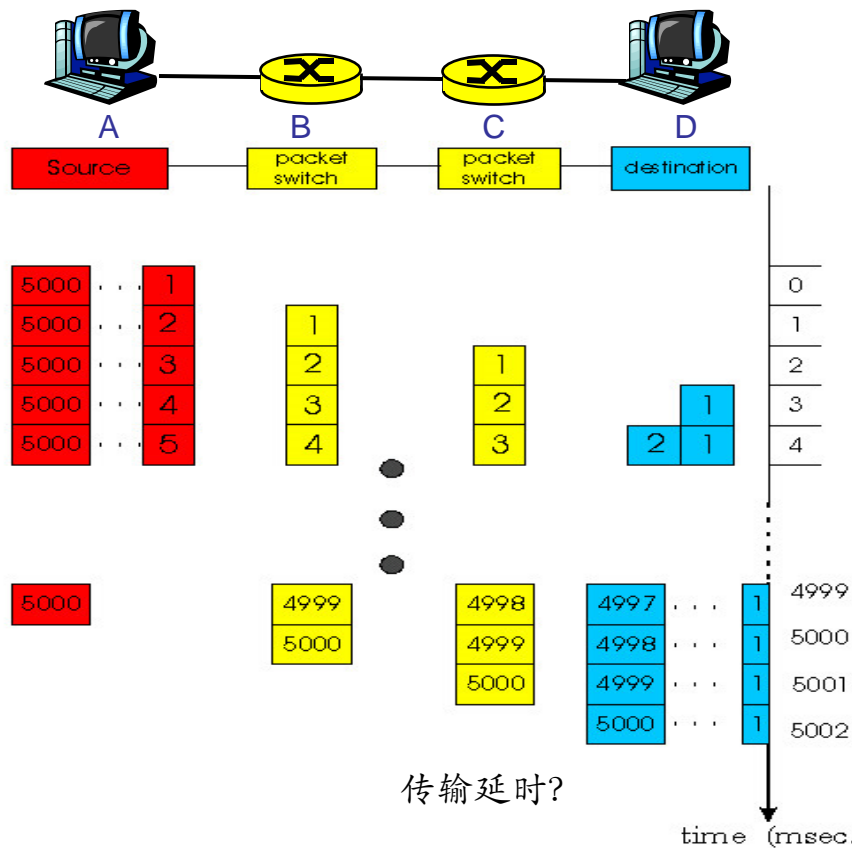
■ 这里我们假定分组在传输过程中没有出现差错，在转发时也没有被丢弃

分组交换——多路复用

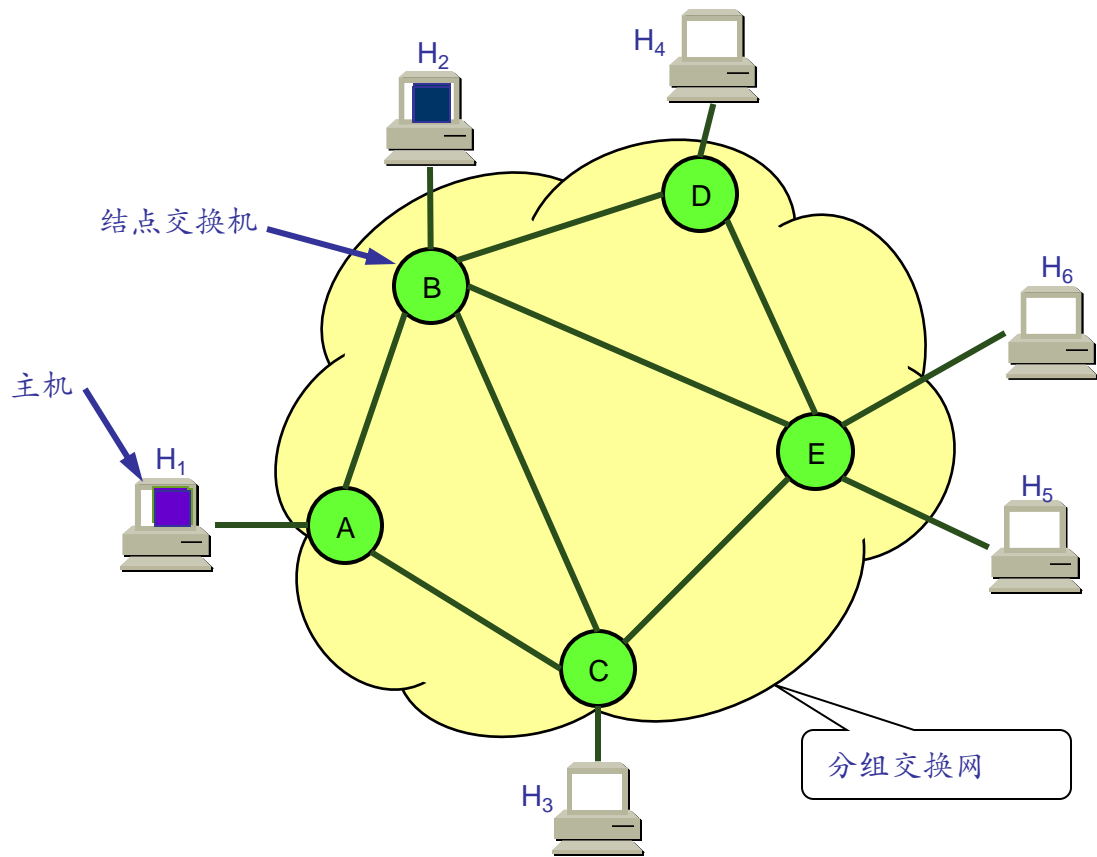


分组交换——存储转发

- 将报文划分成较小的数据块：“分组”
- 存储转发：交换机等到整个分组到达完毕后，再进行转发或路由接力
- 提问：如果报文以整体的形式发送又将如何？



分组交换——分组交换网传输示意图

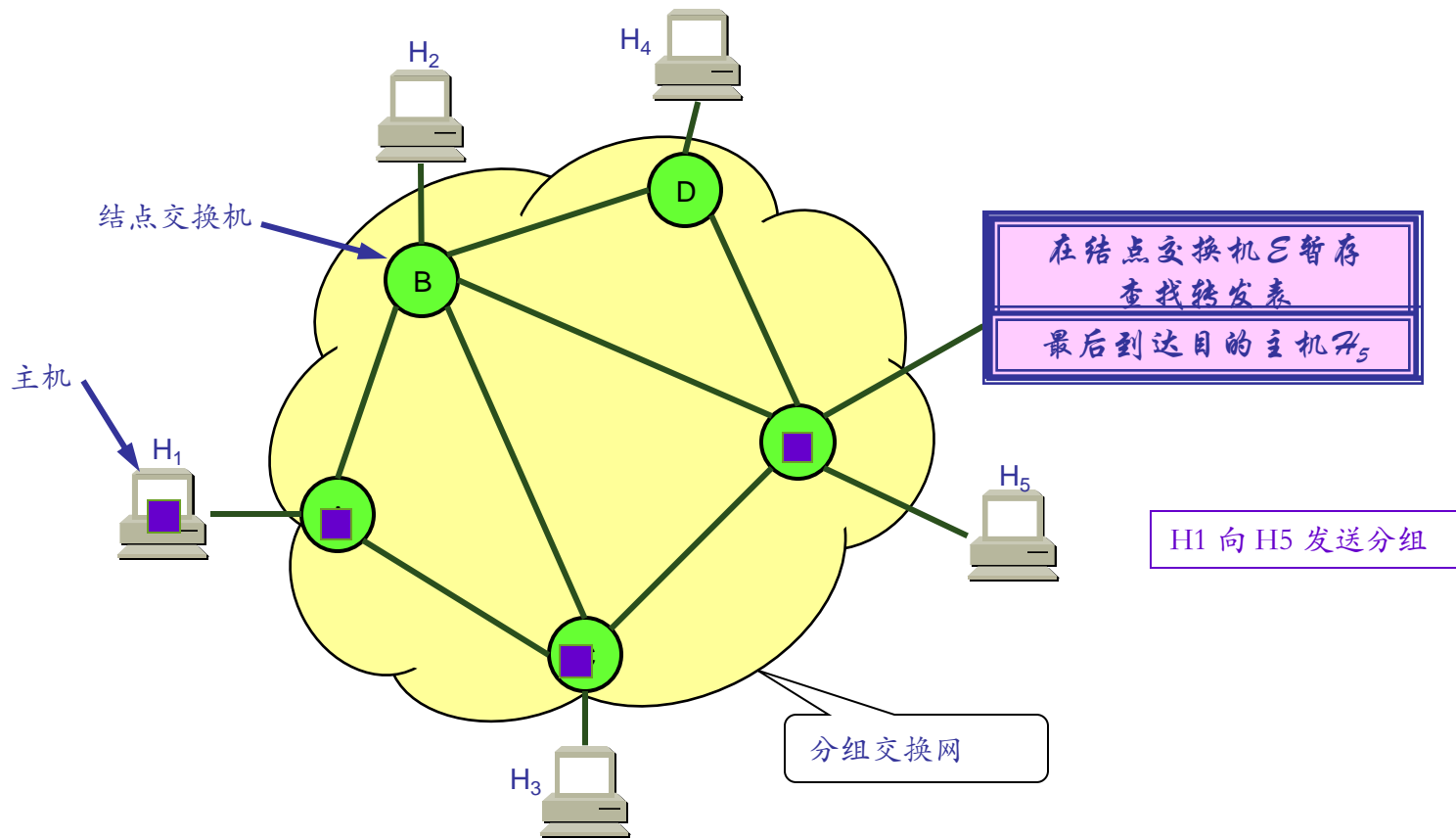


注意分组路径的变化!

H₂ 向 H₆ 发送分组

H₁ 向 H₅ 发送分组

分组交换——分组的存储转发过程



分组交换——分组交换的优势



分组交换使得更多用户可“同时”使用网络！

■ 假设一条 1Mb/s 链路

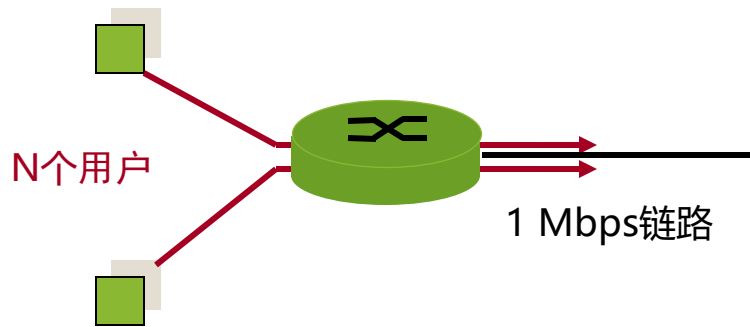
- 每个用户激活时间为 10%
- 激活时，数据带宽为 100Kb/s

■ 电路交换

- 可容纳 10 个用户

■ 分组交换

- 对 35 个用户来说，10 个及以上用户同时激活的概率小于 0.04%



分组交换——分组交换的优势（2）



分组交换是不是“大满贯冠军？”

- 在突发性数据传输过程中表现优异
 - 资源共享、无须事先建立连接
- 过度拥塞：将导致分组延迟和丢失
 - 需要协议来保障可靠的数据传输，拥塞控制
- 问题：如何在分组交换网中提供电路交换的性能？
 - 为音频/视频应用提供带宽保障
 - 仍然是一个需要解决的问题

分组交换——小结



- **高效**：动态分配传输带宽，对通信链路是逐段占用
- **灵活**：以分组为传送单位和查找路由
- **迅速**：不必先建立连接就能向其他主机发送分组；充分使用链路的带宽
- **可靠**：完善的网络协议；自适应的路由选择协议使网络有很好的生存性
- **缺点**：
 - 分组在各结点存储转发时需要排队，这就会造成一定的时延
 - 分组必须携带的首部（里面有必不可少的控制信息）也造成了一定的开销

交换技术的比较

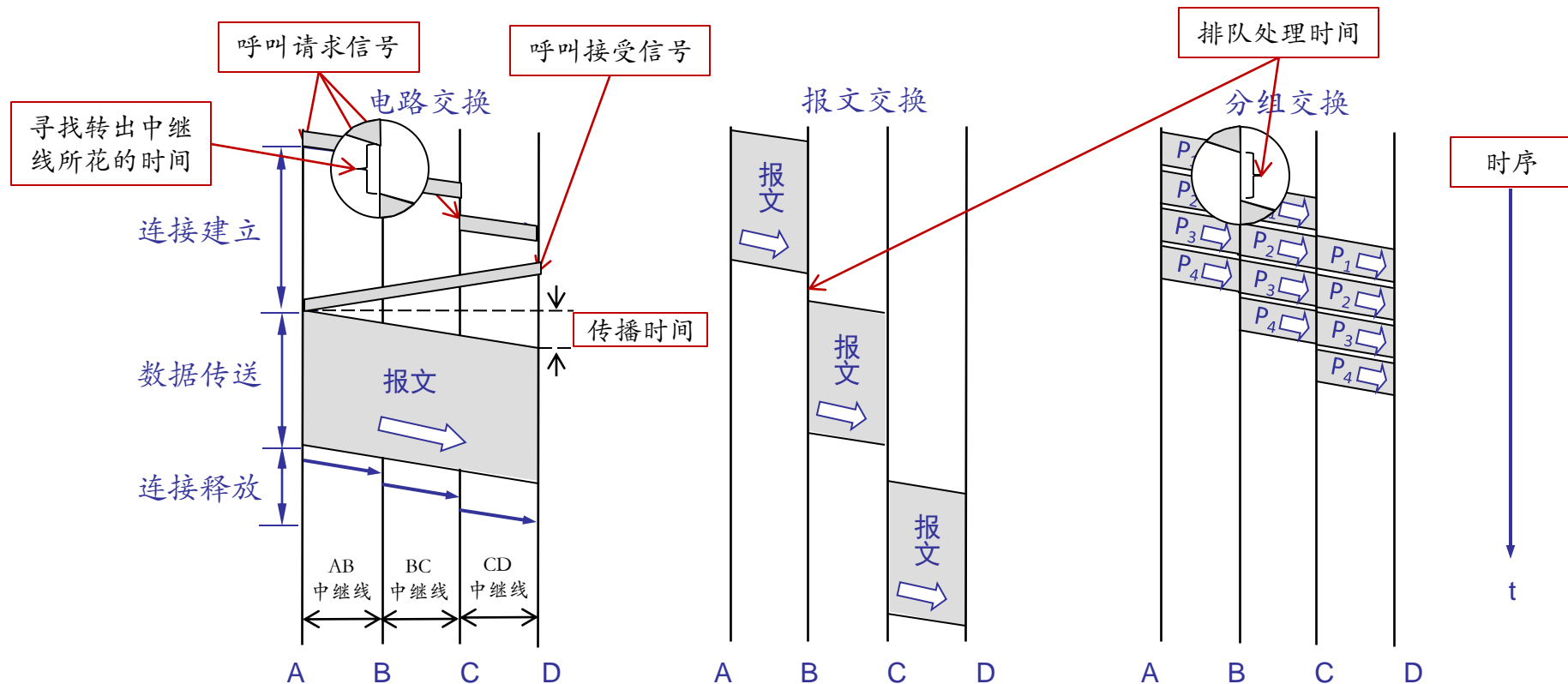


- 报文交换
- 三种交换比较
- 电路交换与分组交换
- 电路交换与分组交换的比较

■ 存储转发原理并非完全新的概念

- 在 20 世纪 40 年代，电报通信也采用了基于存储转发原理的报文交换 (message switching)
- 报文交换的时延较长，从几分钟到几小时不等
- 现在报文交换已经很少有人使用了

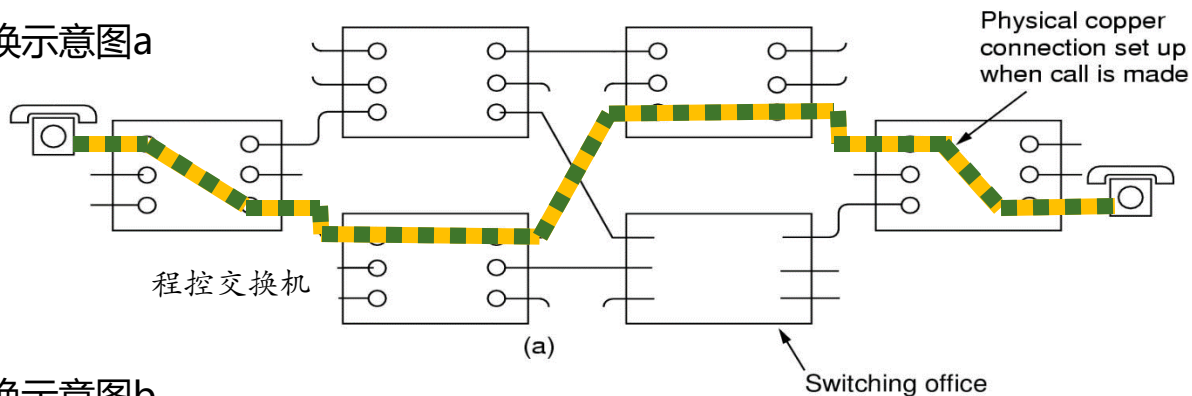
三种交换对比



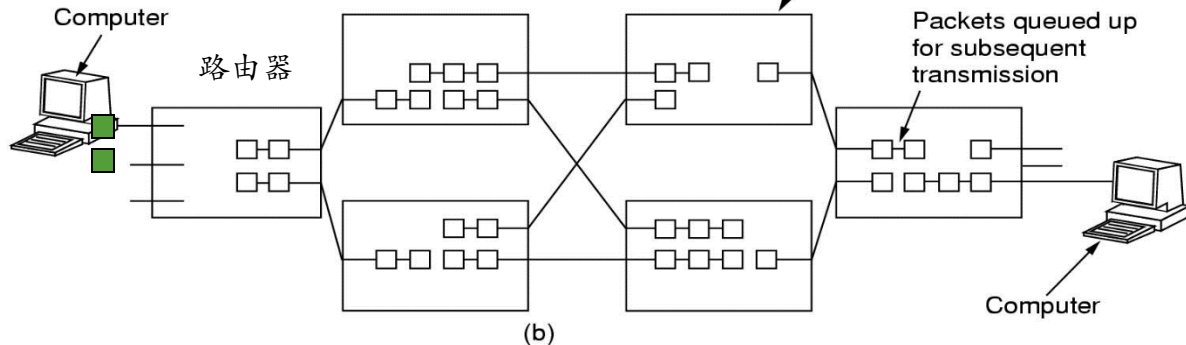
电路交换与分组交换



■ 电路交换示意图a



■ 分组交换示意图b



电路交换与分组交换的比较



■ 电路交换

- 预先静态地保留所要带宽
- 已分配给线路上未用的带宽将被浪费
- 对数据传输是完全透明的
- 连续的通过物理线路传输
- 按原顺序到达，不会发生乱序现象
- 按时间、距离计费

■ 分组交换

- 根据需要动态地获得和释放带宽
- 未用的带宽可以被别的传输所利用
- 要利用分组所携带的参数进行路由转发
- 存储转发的，会增加传输延时
- 分组到达目的地，可能不按原顺序
- 按传输的字节数和连接时间计费

发展趋势——三大基本定律



CPU性能18个月翻番，10年100倍

摩尔定律

所有电子系统（包括电子通信系统，计算机）都适用

未来25年，主干网带宽每6个月增长一倍

贝尔定律

光纤定律：骨干网带宽9个月翻番，10年10000倍

网络价值随用户数平方成正比

梅特卡夫定律

设备未联网增加N倍，效率增加N倍；
联网增加N倍，效率增加 N^2 倍

IT业三大定律



- 集成电路、通信网络、软件是IT业的三大支柱
- 三大定律中一条涉及集成电路及计算机技术，两条与通信网络有关，表明了网络在IT中的重要地位
- 梅特卡夫定律中指的网络是数据通信网或者计算机网，该定律定量描述了单机与联网之间的巨大差别和网络的重要价值
- 梅特卡夫定律还反映了数据通信网，相对于其它通信网络的效率差别；电话网中每部电话的效率是1:1，电视网中每台电视机的效率是1:N，而数据通信网端节点的效率为 N^2
- 根据吉尔特定律与摩尔定律得知，通信网络的发展大大快于集成电路与计算机系统的发展

计算机网络在我国的发展



- ① 中国公用计算机互联网 CHINANET
- ② 中国教育和科研计算机网 CERNET
- ③ 中国科学技术网 CSTNET
- ④ 中国联通互联网 UNINET
- ⑤ 中国网通公用互联网 CNCNET
- ⑥ 中国国际经济贸易互联网 CIETNET
- ⑦ 中国移动互联网 CMNET
- ⑧ 中国长城互联网 CGWNET
- ⑨ 中国卫星集团互联网 CSNET



1.3 计算机网络的分类与主要性能指标

- 几种不同的分类方法
- 按网络的作用范围进行分类
- 网络的主要性能指标
 - 带宽
 - 时延
 - 时延带宽积和往返时延

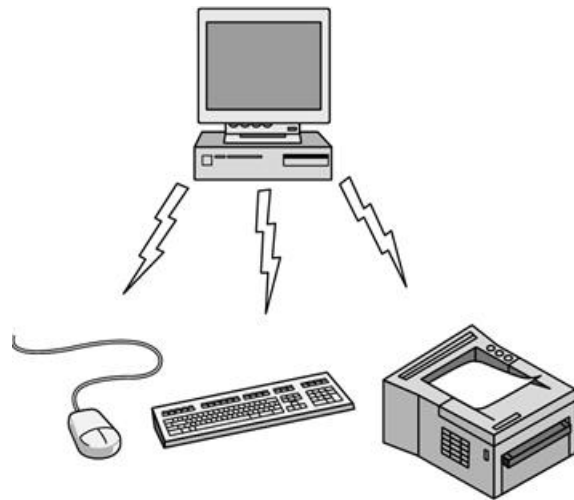
几种不同的分类方法



- 按传输技术分有两种
 - 广播式链路（网络）、点对点链路（网络）
- 按网络的交换功能进行分类
 - 电路交换、报文交换、分组交换、混合交换
- 按网络的使用者进行分类
 - 公用网，对应于Internet
 - 专用网，对应于intranet
- 按网络的作用范围进行分类

按网络的作用范围进行分类

- 个域网 PAN (Personal Area Network)
 - 蓝牙
- 局域网 LAN (Local Area Network)
- 城域网 MAN (Metropolitan Area Network)
- 广域网 WAN (Wide Area Network)
- 互联网 internet
 - 网络互联与因特网 (Internet)



网络的主要性能指标——带宽



- 带宽(bandwidth)本来是指信号具有的频带宽度
 - 单位是赫，或千赫、兆赫、吉赫等
- 现在“带宽”是数字信道所能传送的“最高数据率”的同义语
 - 单位是“比特每秒” (bps) ，或 b/s (bit/s)

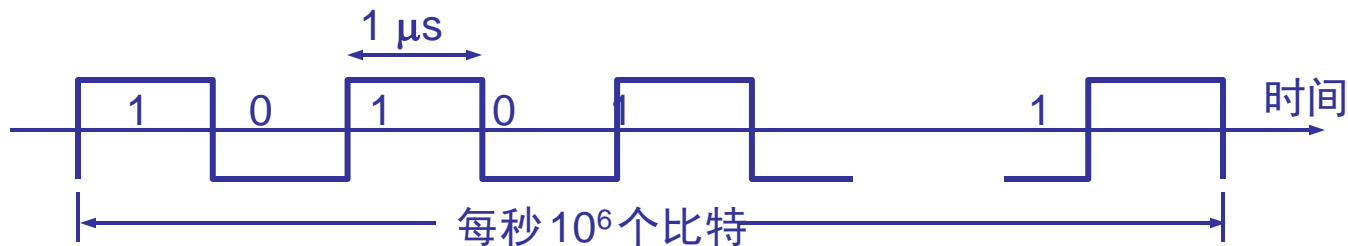
| 带宽单位 (传统通信) | | | 存储单位 (计算机二进制) | | |
|-------------|-------|---------------------|---------------|-----|--------------------------------|
| 千比特每秒 | 1Kbps | 10^3bps | 千字节 | 1KB | $2^{10}=1024\text{B}$ |
| 兆比特每秒 | 1Mbps | 10^6bps | 兆字节 | 1MB | $2^{20}=1048576\text{B}$ |
| 吉比特每秒 | 1Gbps | 10^9bps | 吉字节 | 1GB | $2^{30}=1073741824\text{B}$ |
| 太比特每秒 | 1Tbps | 10^{12}bps | 太字节 | 1TB | $2^{40}=1099511627776\text{B}$ |

带宽——数字信号流随时间的变化

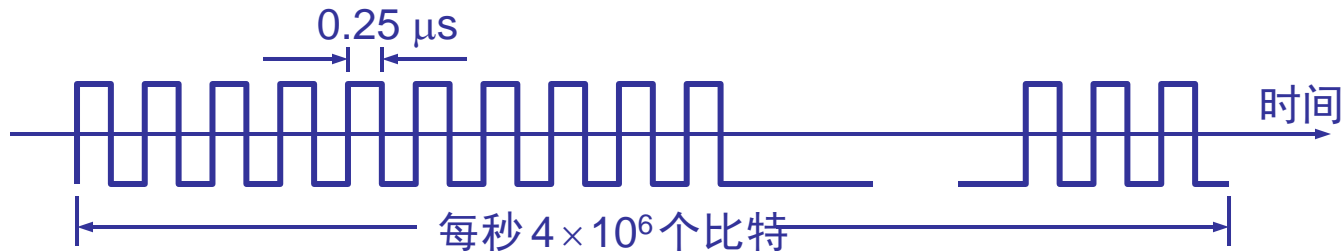


- 在时间轴上信号的宽度随带宽的增大而变窄

带宽为
1 Mb/s



带宽为
4 Mb/s



时延——传输时延

■ 传输时延（发送时延）

- 发送数据时，数据块从结点进入到传输媒体所需要的时间

$$\text{传输时延} = \frac{\text{数据块长度（比特）}}{\text{信道带宽（比特/秒）}}$$

- **信道带宽**：数据在信道上的发送速率，常称为数据在信道上的**传输速率**

时延——传播时延

■ 传播时延

- 电磁波在信道中需要传播一定的距离而花费的时间

$$\text{传播时延} = \frac{\text{信道长度 (米)}}{\text{信号在信道上的传播速率 (米/秒)}}$$

- 信号**传输速率**（即发送速率）和信号在信道上的**传播速率**是完全不同的概念

时延——处理时延



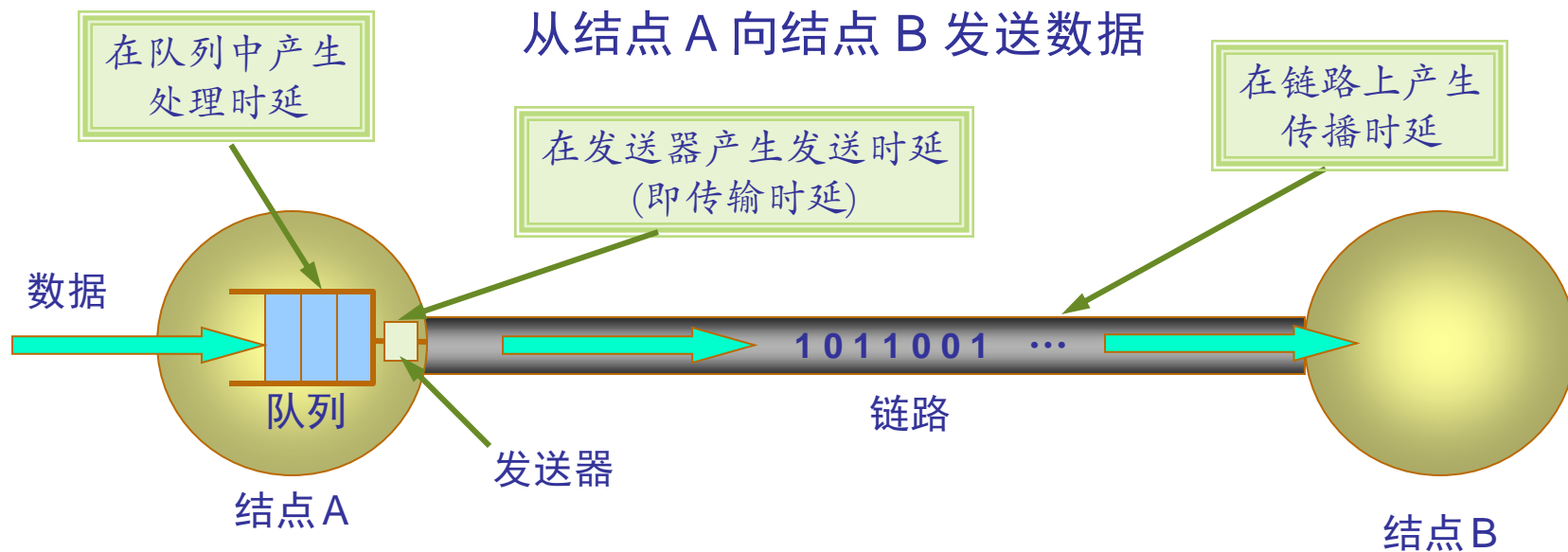
■ 处理时延

- 交换结点为存储转发而进行一些必要的处理所花费的时间
- 结点缓存队列中，分组排队所经历的时延是“处理时延”中的重要组成部分
- 处理时延的长短往往取决于网络中当时的通信量
- 有时可用排队时延作为处理时延

■ 数据经历的**总时延**就是发送时延、传播时延和处理时延之和

$$\text{总时延} = \text{发送时延} + \text{传播时延} + \text{处理时延}$$

时延——三种时延所产生的地方



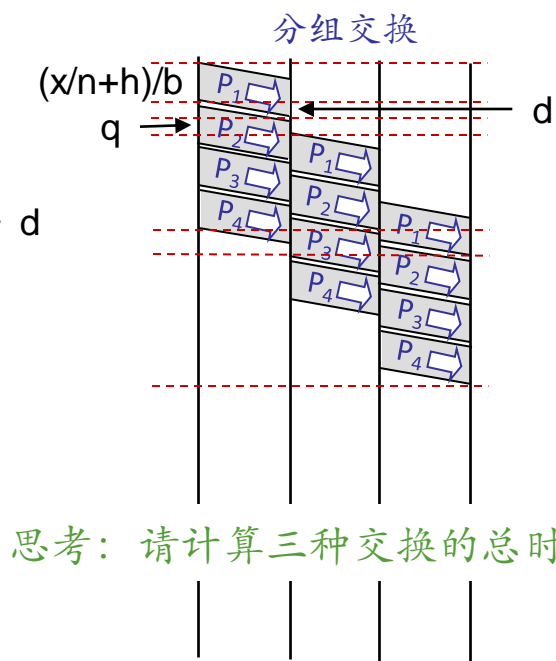
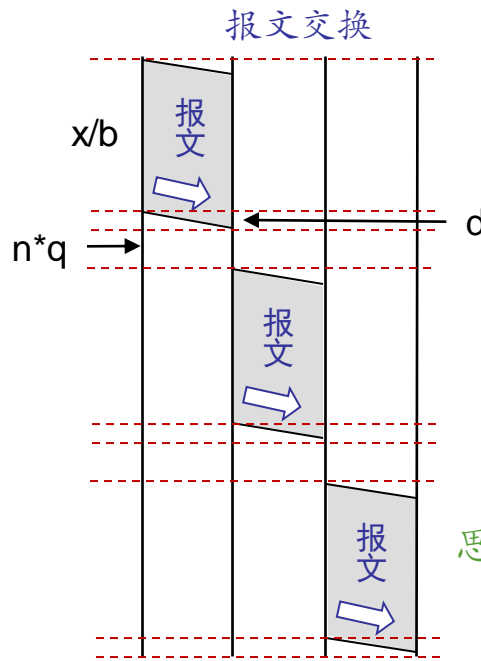
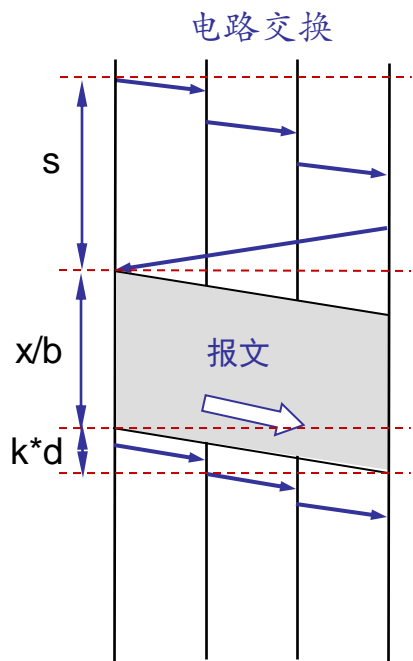
容易产生的错误概念

- 对于高速网络链路，我们提高的仅仅是数据的发送速率而不是比特在链路上的传播速率，提高链路带宽减小了数据的发送时延



时延——三种交换时延计算*

- 假设：信道带宽为 b ，数据块长度为 x ，信道分为 k 段，每段传播时延为 d ，电路交换建立连接时长为 s ，分组交换首部为 h 、分组数为 n 、分组处理时延为 q



思考：请计算三种交换的总时延？

时延带宽积和往返时延

■ 时延带宽积



$$\text{时延带宽积} = \text{传播时延} \times \text{带宽}$$

- 链路的时延带宽积又称为以比特为单位的链路长度

■ 往返时延 RTT (Round-Trip Time)

思考：时延带宽积的作用？

- 表示从发送端发送数据开始，到发送端收到来自接收端的确认（接收端收到数据后立即发送确认），总共经历的时延



1.4 计算机网络的体系结构

- 计算机网络体系结构的形成
- 划分层次的必要性
- 计算机网络的原理体系结构
- 实体、协议、服务和服务访问点
- 面向连接服务和无连接服务
- OSI 与 TCP/IP 体系结构的比较

计算机网络体系结构的形成



- 两种国际标准
- 关于开放系统互连参考模型：OSI/RM
- 协议的“层次”
- 为什么要分层

两种国际标准



■ 体系结构建立的基本方法

- 相互通信的两个计算机系统必须高度协调才能工作，而这种“协调”是相当复杂的
- “分层”可将庞大而复杂的问题，转化为若干较小的局部问题，而这些较小的局部问题就比较易于研究和处理

■ 法律上的国际标准 OSI 并没有得到市场的认可

■ 非国际标准 TCP/IP 现在获得了最广泛的应用


- TCP/IP 常被称为事实上的国际标准

关于开放系统互连参考模型



- 只要遵循 OSI 标准，一个系统就可以和位于世界上任何地方的、也遵循这同一标准的其他任何系统进行通信
- 在市场化方面 OSI 却失败了
 - OSI 的专家们在完成 OSI 标准时没有商业驱动力；
 - OSI 的协议实现起来过分复杂，且运行效率很低；
 - OSI 标准的制定周期太长，因而使得按 OSI 标准生产的设备无法及时进入市场；
 - OSI 的层次划分并也不太合理，有些功能在多个层次中重复出现

协议的“层次”



■ 网络是复杂的，包含诸多“成分”

- 主机
- 路由器
- 各种介质的链路
- 应用程序、协议
- 硬件、软件

■ 问题

- 如何将复杂的网络问题依据一定的规则组织成一定的结构？
- 至少要为讨论网络问题建设一个技术平台？

为什么要分层?



■ 对于复杂的系统

- 分层的参考模型(reference model) 可用于讨论
 - ◆ 显式的结构使得复杂系统的问题定位, 和不同组成部分之间的关联讨论称为可能
- 模块化简化了系统的维护和升级
 - ◆ 某个层次服务实现对系统的其余部分是透明的

■ 思考: 分层的做法有没有副作用?

划分层次的必要性



- 网络协议
- 划分层次的概念示例
- 分层的好处



网络协议

■ 协议

- 计算机网络中的数据交换必须遵守事先约定好的规则
- 这些规则明确规定了所交换的数据的格式，以及有关的同步问题（意指时序）
- 为进行网络中的数据交换而建立的规则、标准或约定，即网络协议(network protocol)，简称为**协议**

■ 网络协议的组成要素

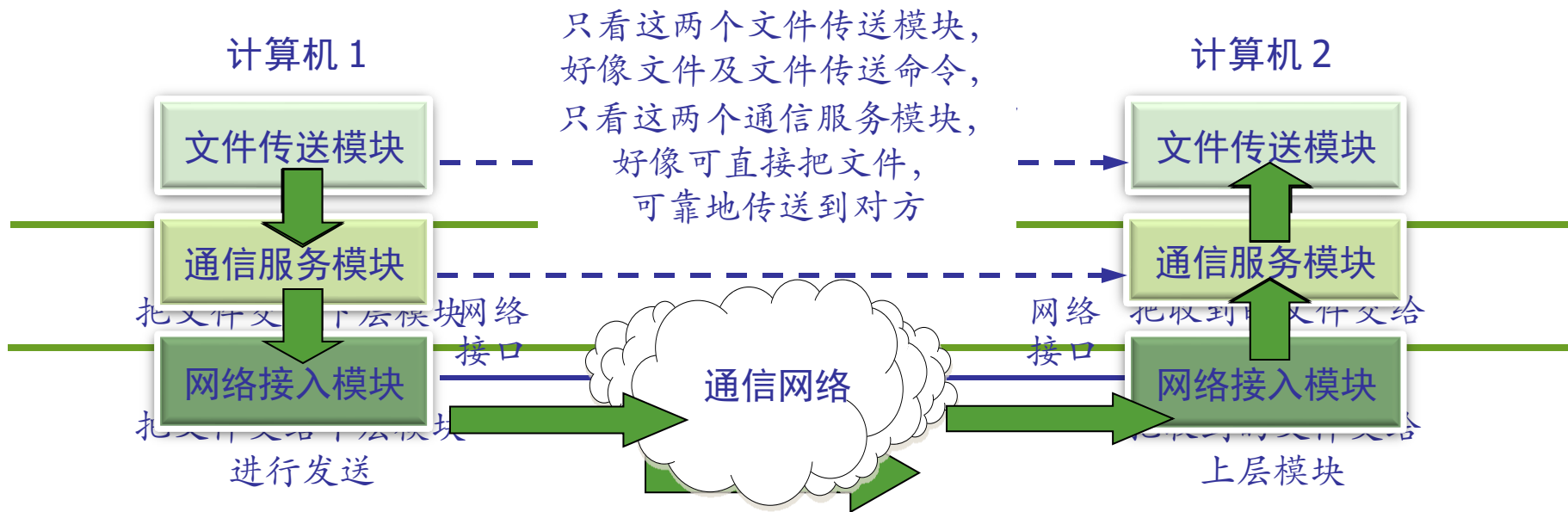
- 语法：数据与控制信息的结构或格式
- 语义：需要发出何种控制信息，完成何种动作以及做出何种响应
- 同步：事件实现顺序的详细说明

划分层次的概念示例



- 计算机 1 向计算机 2 通过网络发送文件，可以将要做的工作进行如下的划分
 - 第一类工作与传送文件直接有关
 - ◆ 确信对方已做好接收和存储文件的准备
 - ◆ 双方协调好一致的文件格式
 - 两个计算机将文件传送模块作为最高的一层
 - 剩下的工作由下面的模块负责

概念示例图



网络接入模块负责做与网络接口细节有关的工作
例如，规定传输的帧格式，帧的最大长度等

两个计算机交换文件，再设计一个网络接入模块

分层的好处



- 各层之间是独立的
- 灵活性好
- 结构上可分割开
- 易于实现和维护
- 能促进标准化工作
- 层数多少要适当
 - 若层数太少，就会使每一层的协议太复杂
 - 层数太多，会在描述和综合各层功能的系统工程任务时，遇到较多的困难

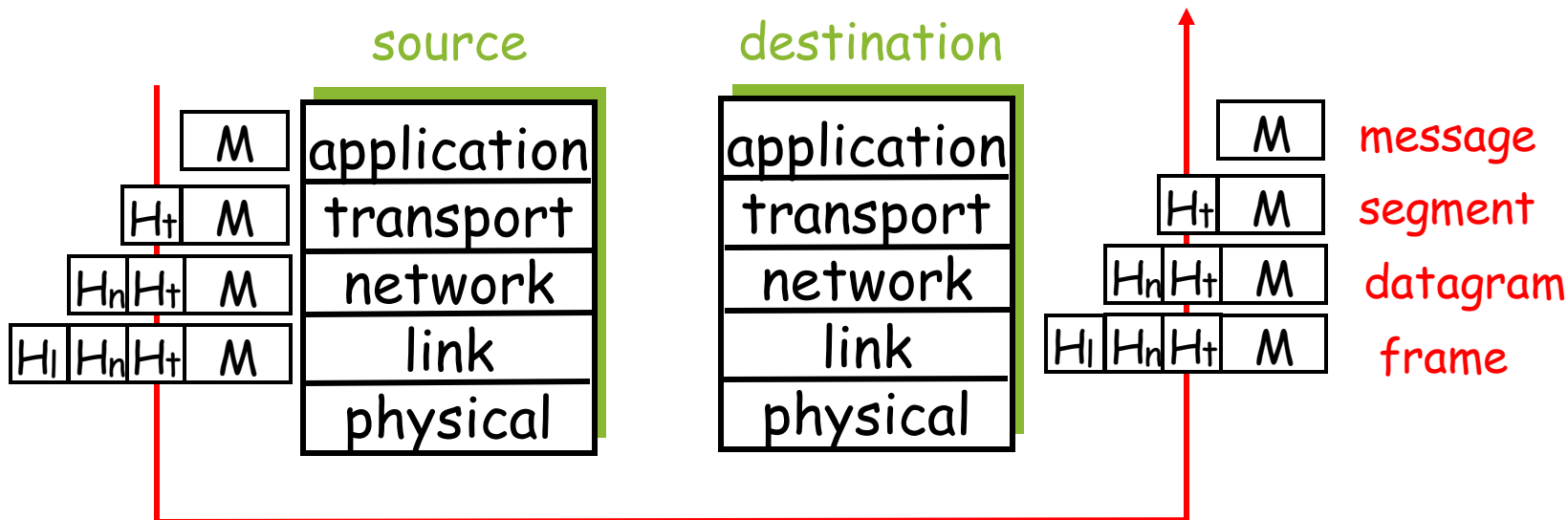
计算机网络的原理体系结构



- 计算机网络的**体系结构**(architecture)是计算机网络的各层及其协议的集合
- 体系结构就是这个计算机网络及其部件所应完成的功能的精确定义
- 实现(implementation)是遵循这种体系结构的前提下用何种硬件或软件完成这些功能的问题
- 体系结构是抽象的，而实现则是具体的，是真正在运行的计算机硬件和软件

协议分层和数据的封装

- 每个层次都从上层取得数据
 - 加上首部信息形成新的数据单元
 - 将新的数据单元传递给下一层次



五层协议的体系结构



■ TCP/IP 是四层的体系结构

- 应用层、传输层、网际层和网络接口层
- 最下面的网络接口层并没有具体内容

■ 公认的网络体系结构标准

- 实际采取折中的办法，即综合 OSI 和 TCP/IP 的优点
- 采用一种只有五层协议的体系结构

五层原理体系结构图



■ 应用层：支持网络应用

- ftp, smtp, http

■ 传输层：主机进程间的数据传递

- tcp, udp

■ 网络层：将数据报从信源传递到信宿

- ip, 路由选择协议

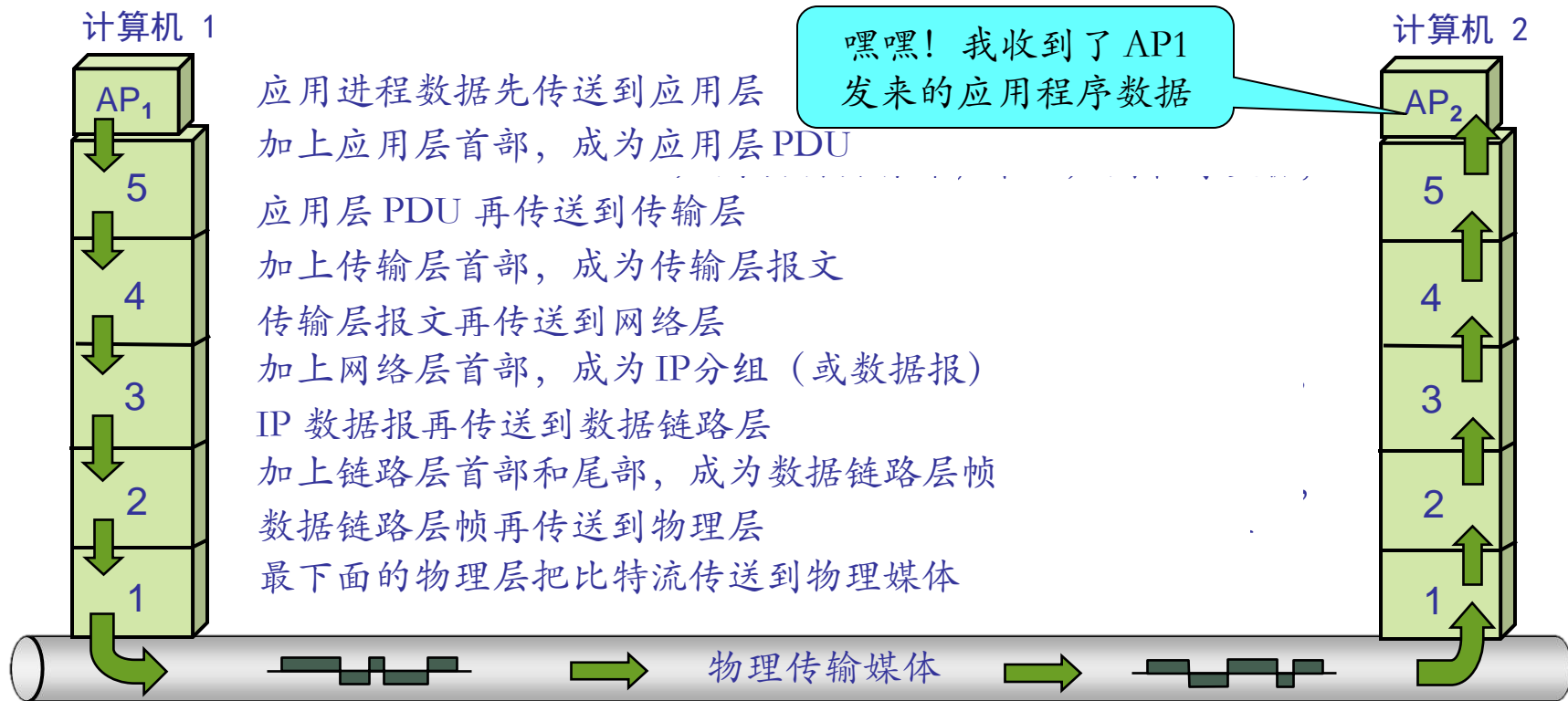
■ 链路层：数据在网络上的相邻结点间的传输

- ppp, ethernet

■ 物理层：信道上传送二进制位

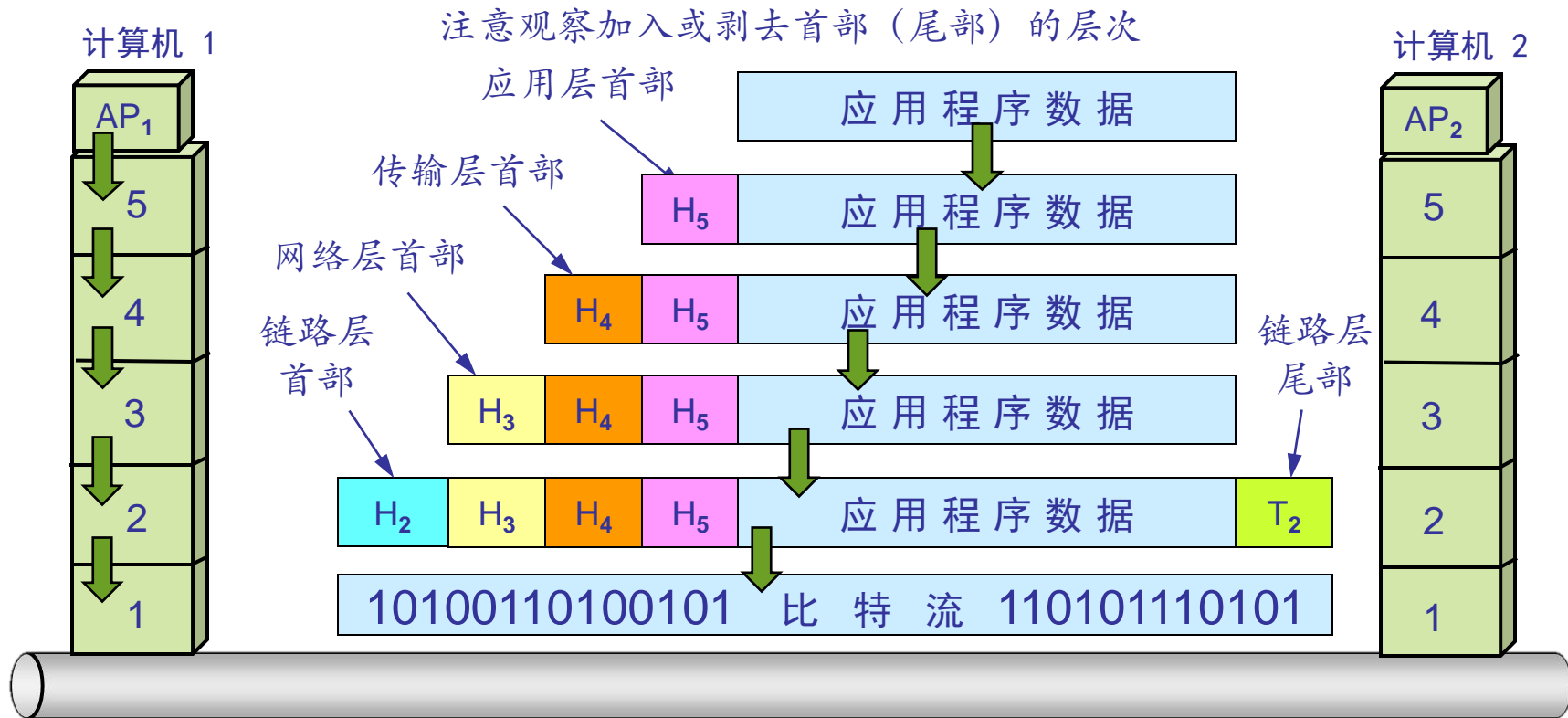


计算机 1 向计算机 2 发送数据

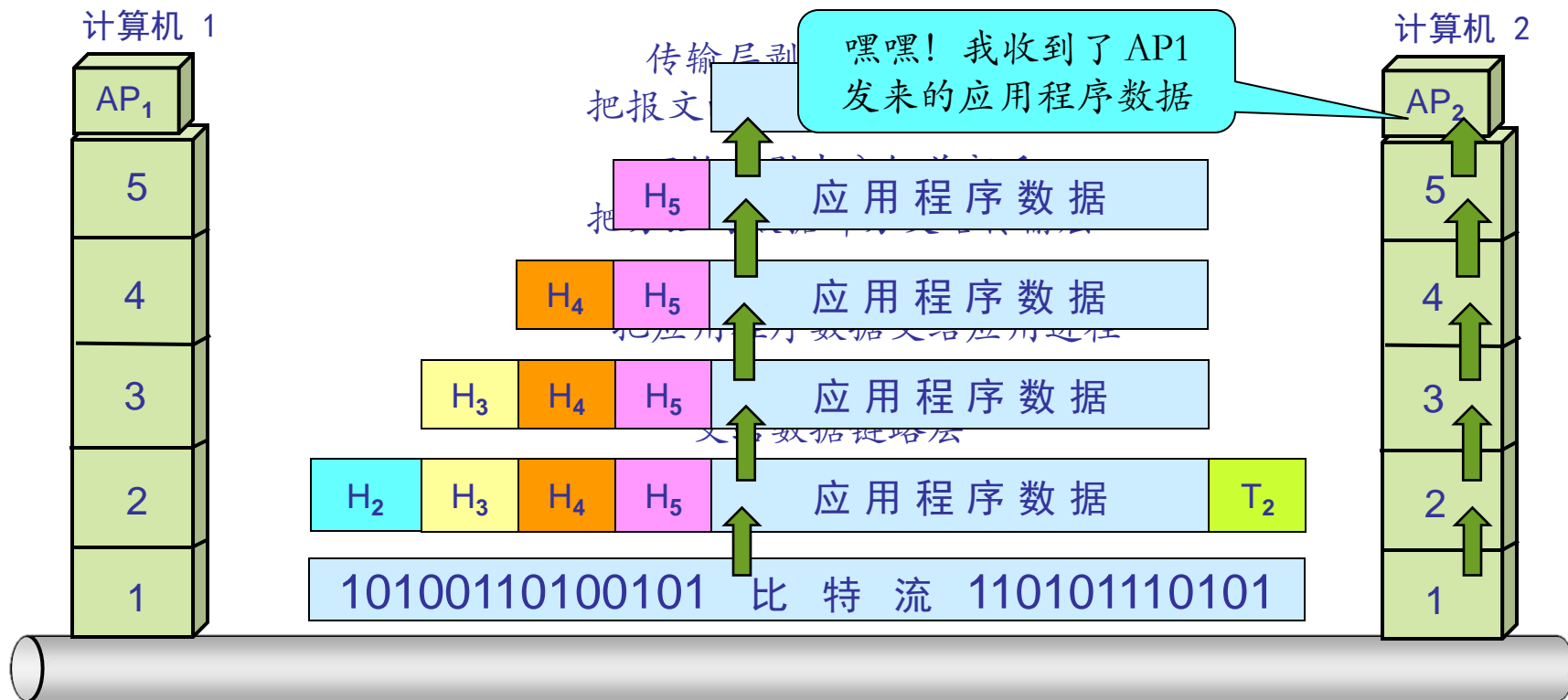


电信号（或光信号）在物理媒体中传播，从发送端物理层传送到接收端物理层

计算机 1 向计算机 2 发送数据



计算机 1 向计算机 2 发送数据



实体、协议、服务和访问点

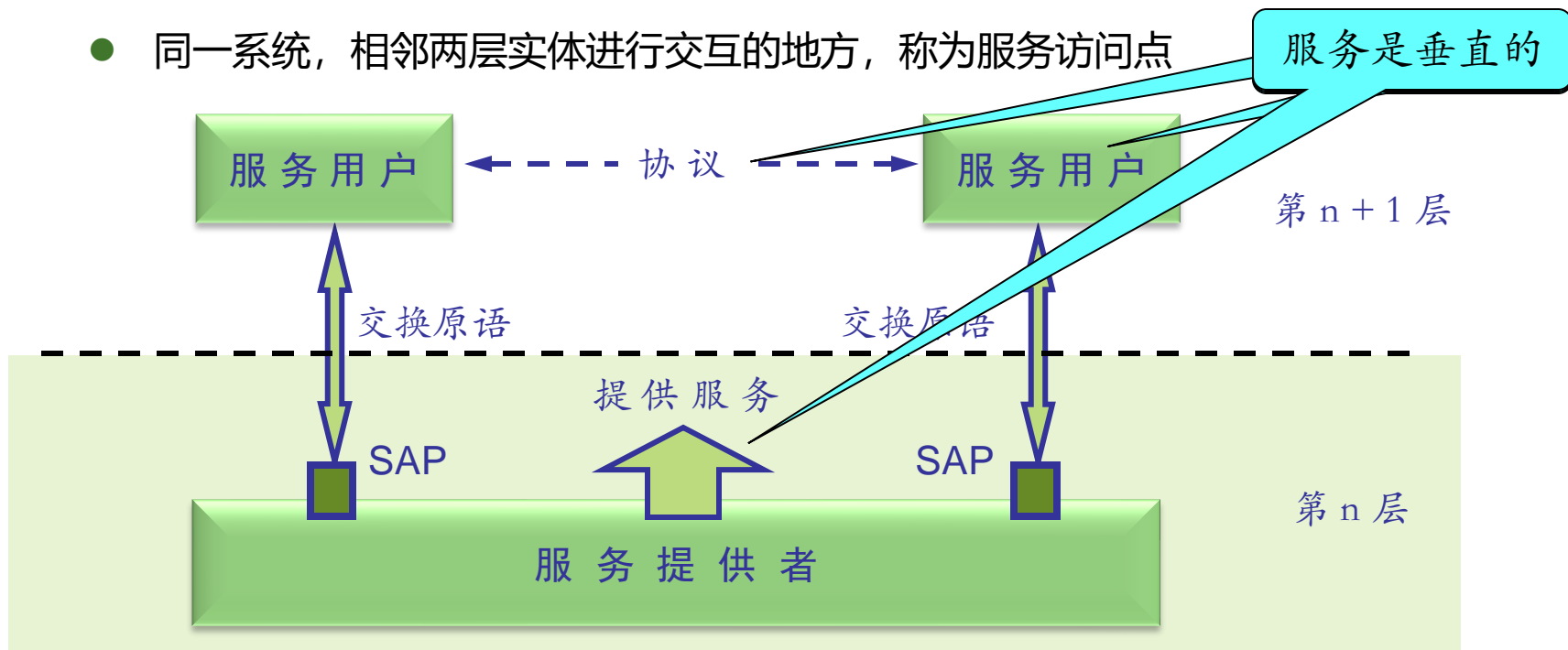


- **实体(entity)** 表示任何可发送或接收信息的硬件或软件进程
- 协议是控制两个对等实体进行通信的规则集合
 - 在协议的控制下，两个对等实体间的通信使得本层能够向上一层提供服务
 - 要实现本层协议，还需要使用下层所提供的服务
- 本层的服务用户只能看见服务而无法看见下面的协议
 - 下面的协议对上面的服务用户是透明的
 - 协议是“水平的”，即协议是控制对等实体之间通信的规则
 - 服务是“垂直的”，即服务是由下层向上层通过层间接口提供的

实体、协议、服务和访问点图例

■ 服务访问点 SAP (Service Access Point)

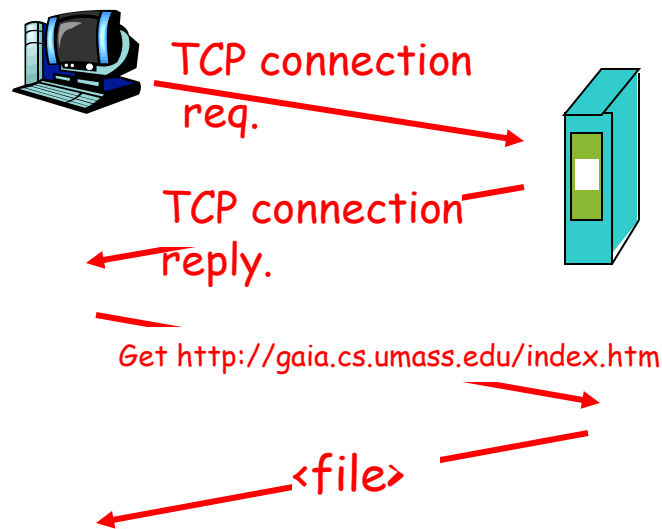
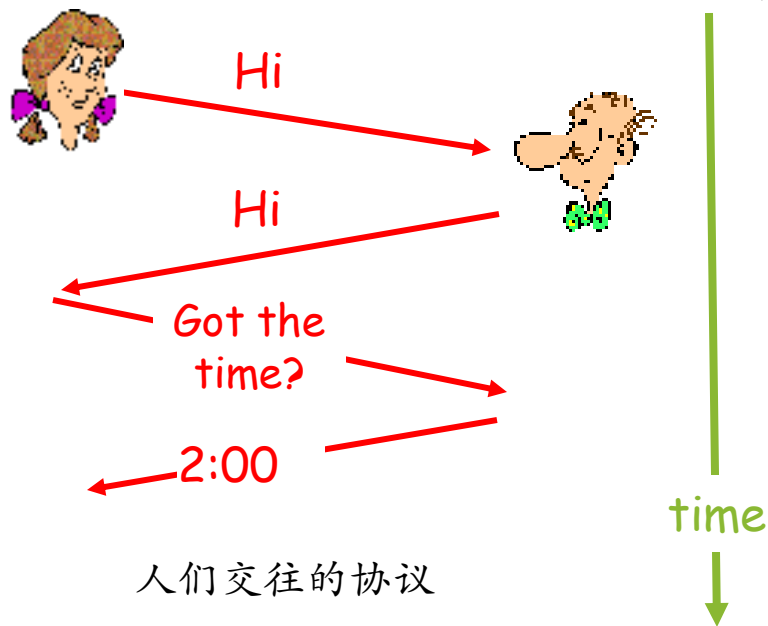
- 同一系统，相邻两层实体进行交互的地方，称为服务访问点



什么是协议？

- **协议**：定义网络实体之间，信息收发的格式、顺序、以及信息发送和接收后所需采取的动作（语法、语义、同步或规则）

所有在因特网上的通信活动全部是由协议所控制的



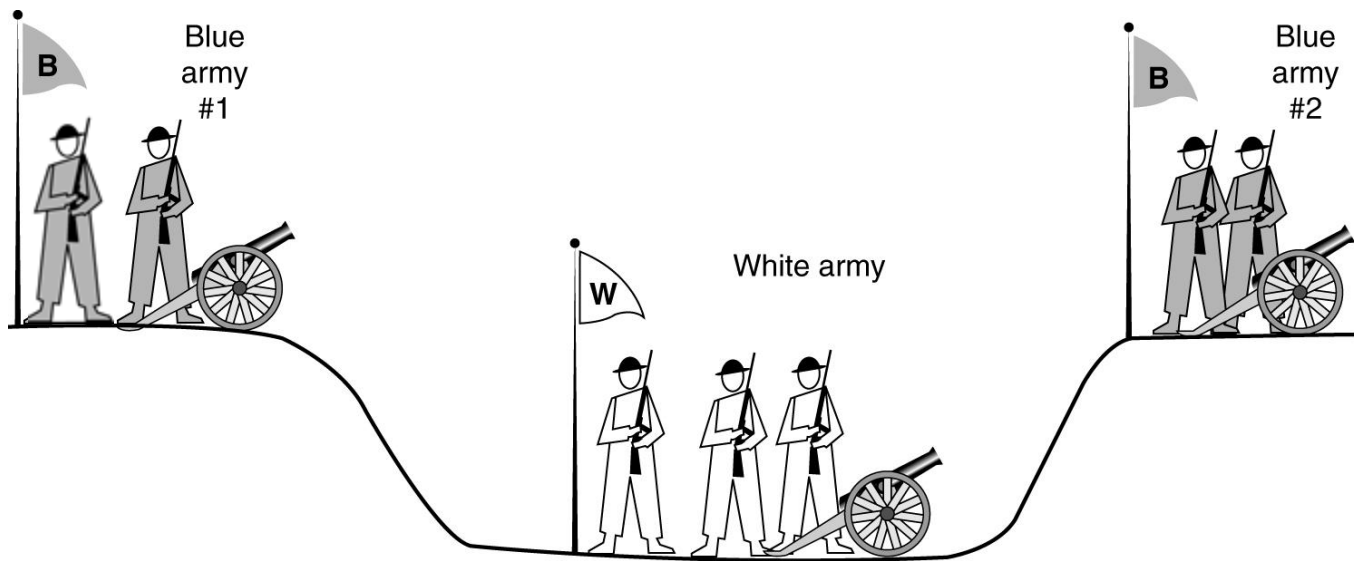
协议通常很复杂



- 协议必须将各种不利的条件事先都估计到，而不能假定一切情况都是很理想和很顺利的
- 必须非常仔细地检查所设计协议能否应付所有的不利情况
 - 应当注意：事实上难免有极个别的不利情况在设计协议时并没有预计到。在出现这种情况时，协议就会失败。因此实际上协议往往只能应付绝大多数的不利情况

著名的协议举例：两军作战问题

- 占据两个山顶的蓝军与驻扎在这山谷的白军作战，力量对比是：一个山顶上的蓝军打不过白军，但两个山顶的蓝军协同作战就可战胜白军



- 试问能否设计出一种协议，使得蓝军能实现协同作战因而百分百胜利？

面向连接服务和无连接服务

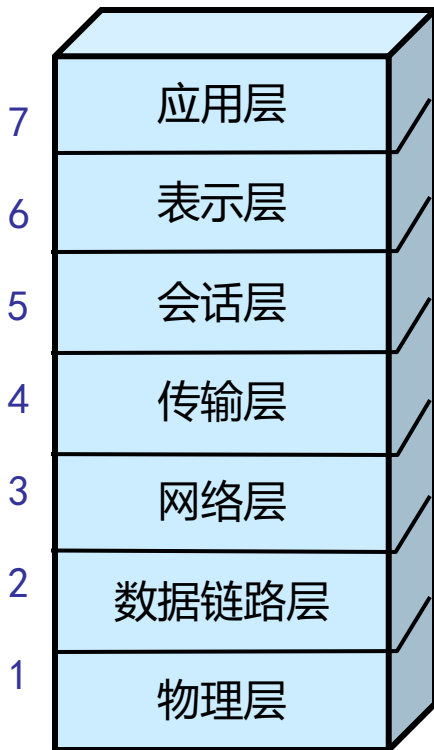


- 面向连接服务(connection-oriented)
 - 面向连接服务具有连接建立、数据传输和连接释放这三个阶段
- 无连接服务(connectionless)
 - 两个实体之间的通信不需要先建立好连接
 - 是一种不可靠的服务，这种服务常被描述为“尽力交付” (best effort delivery)或“尽力而为”

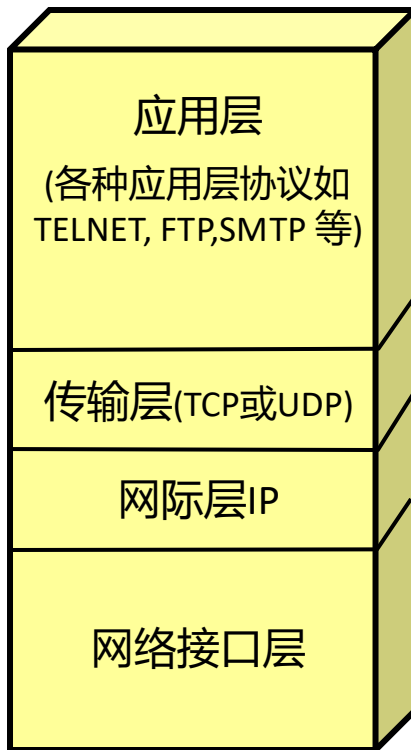
OSI 与 TCP/IP 体系结构的比较



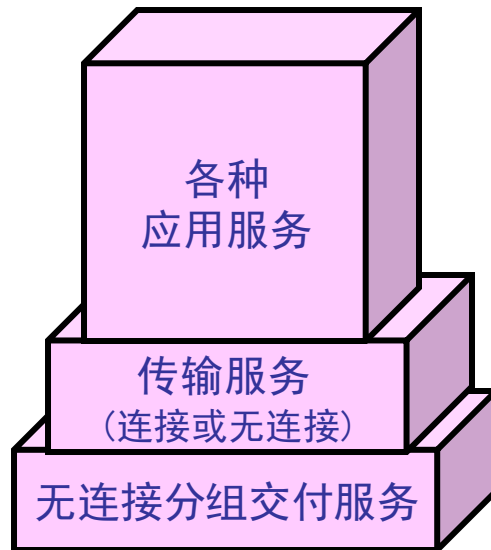
OSI 的体系结构



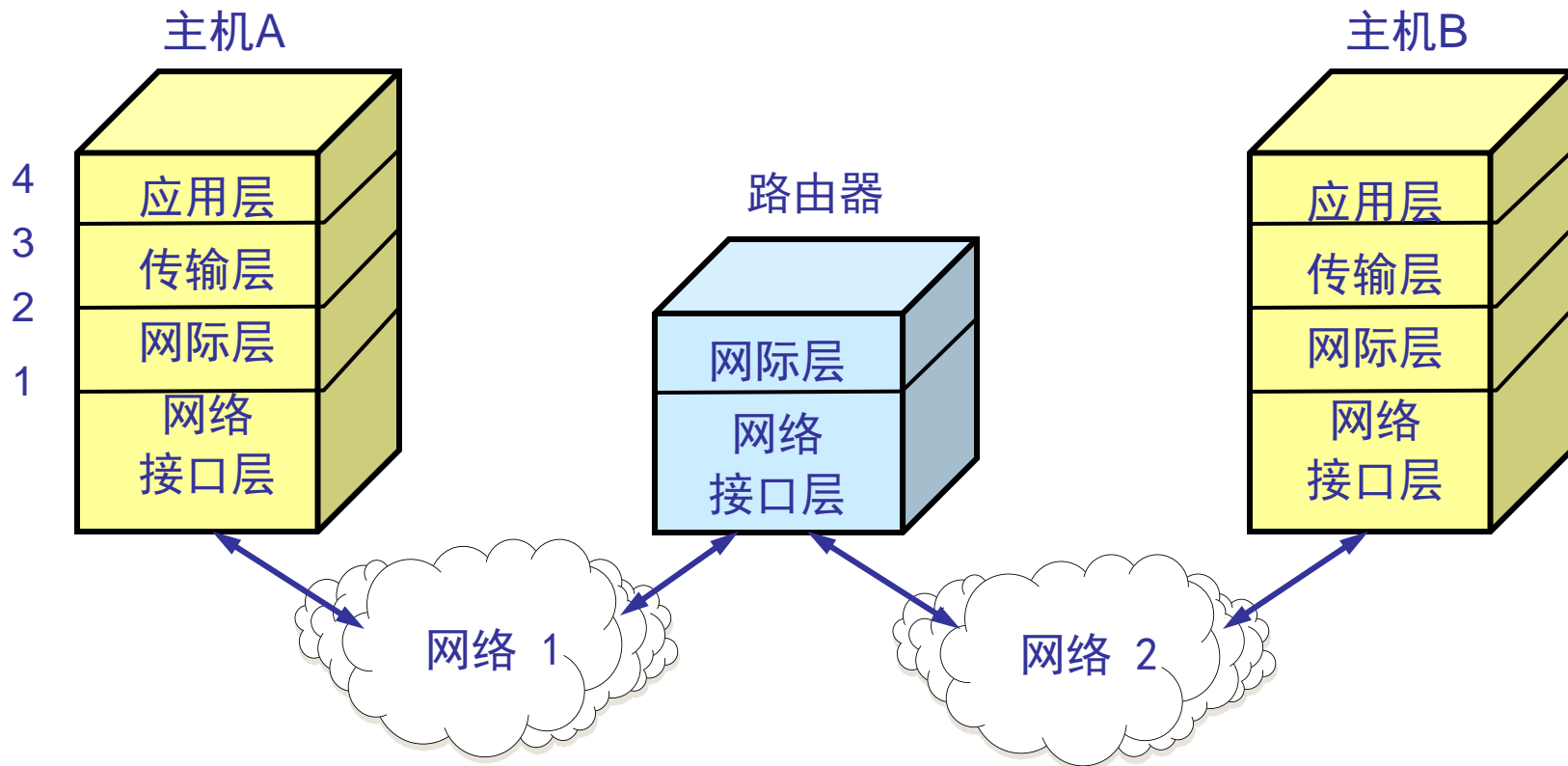
TCP/IP 的体系结构



TCP/IP 的三个服务层次



TCP/IP 四层协议的表示方法举例



本章课程结束

