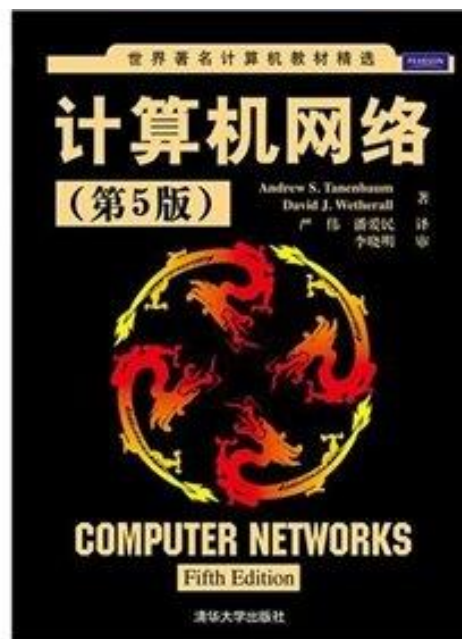


# 计算机网络

Andrew S. Tanenbaum (5 Edition)



1

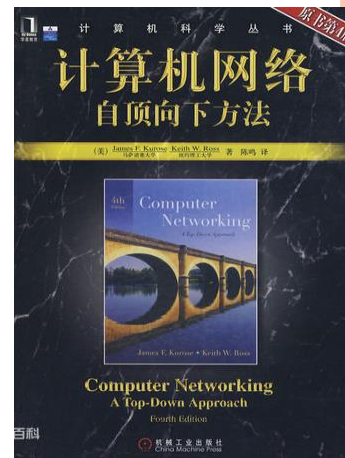


安徽大学 互联网学院  
School of Internet Anhui University

# 参考书目

## 计算机网络 - 自顶向下方法

James F. Kurose 高等教育出版社



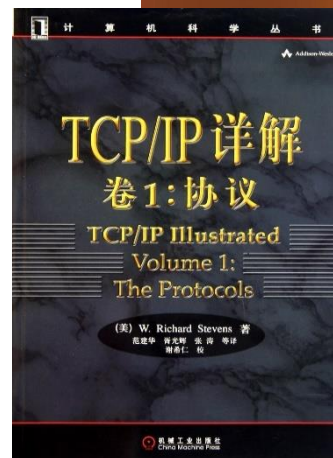
## 计算机网络

谢希仁 电子工业出版社



## TCP/IP详解

KevinR. Fall 机械工业出版社



## ◆ 重要期刊推荐

- IEEE-ACM Transaction on Networking:  
Bimonthly, ISSN: 1063-6692
- IEEE NETWORK:  
Bimonthly, ISSN: 0890-8044

## ◆ 重要会议推荐

- ACM SIGCOMM: <http://www.acm.org/sigcomm>
- IEEE Infocom: <http://www.ieee-infocom.org>
- ACM SIGMETRICS: <http://www.sigmetrics.org>



# 《中国计算机学会推荐国际学术会议和期刊目录》

- A is **top** important of journal and conference
- B is **very** important of journal and conference
- C is important of journal and conference

详见：

- [https://www.ccf.org.cn/Academic\\_Evaluation/By\\_category](https://www.ccf.org.cn/Academic_Evaluation/By_category)



## ○ 课程基本情况

- 课程名称：计算机网络（Computer Networks）
- 学分/学时：3 / 54 （本课程的实验课程，单独设课）
- 开课学期：3 （本课程的实验课程，与理论课程同步开课）
- 课程类别：必修；2年级；专业基础类
- 适用专业：互联网学院所有专业
- 先修课程：《计算机导论》
- 后修课程：《Unix网络编程》 《移动互联网技术》 等

# 课程简介

---

- 专业基础课，考研专业课或复试课程，也是网络编程基础课程
- 主要介绍网络协议工作原理，网络体系结构组成
- 上课时间：每周一下午5,6,7,8节。
- 上课方式：腾讯课堂直播

# 计算机网络

第1章 引言

第2章 物理层

第3章 数据链路层

第4章 介质访问控制子层

第5章 网络层

第6章 传输层

第7章 应用层

第8章 网络安全



# 第1章 引言



# 第1章 引言——主要内容

## 目标:

- 了解基本术语和概念
- 为后续章节更深入的学习打下基础

## 重点和难点:

- ◆ 计算机网络定义和分类
- ◆ 协议和服务
- ◆ **OSI参考模型与TCP/IP参考模型**的比较

# 第1章 引言

## 1.1 使用计算机网络

### 1.2 网络硬件

### 1.3 网络软件

### 1.4 参考模型

### 1.5 网络实例

### 1.6 网络标准化



# 第1章 引言

## 历史背景:

- 18世纪-工业革命和机械系统时代;
- 19世纪-蒸汽机时代及电力工业的发展;
- 20世纪-信息时代, 计算机、卫星、网络
- 计算机网络的出现是各类技术融合发展的结果

由大量相互独立但彼此连接的计算机共同完成计算任务的系统称为计算机网络。（如何设计和组织？）

# 第1章 引言

## 网络与分布式系统

- 分布式系统：一个关联的系统，对用户而言，是一个模型或范型（万维网）
- 计算机网络：没有试图保持一致性，用户看到的是实际的机器
- 分布式系统是建立在网络之上的软件系统

# 1.1 使用计算机网络

- 商业应用
- 家庭应用
- 移动用户
- 社会问题

# 1.1 使用计算机网络

## ○ 商业应用

- 资源共享：打印机-资源共享
- 虚拟专用网VPN：远程办公
- C-S(模型)：WEB, E-mail
- 通信媒介/IP语音/桌面共享
- 电子商务

# 1.1 使用计算机网络

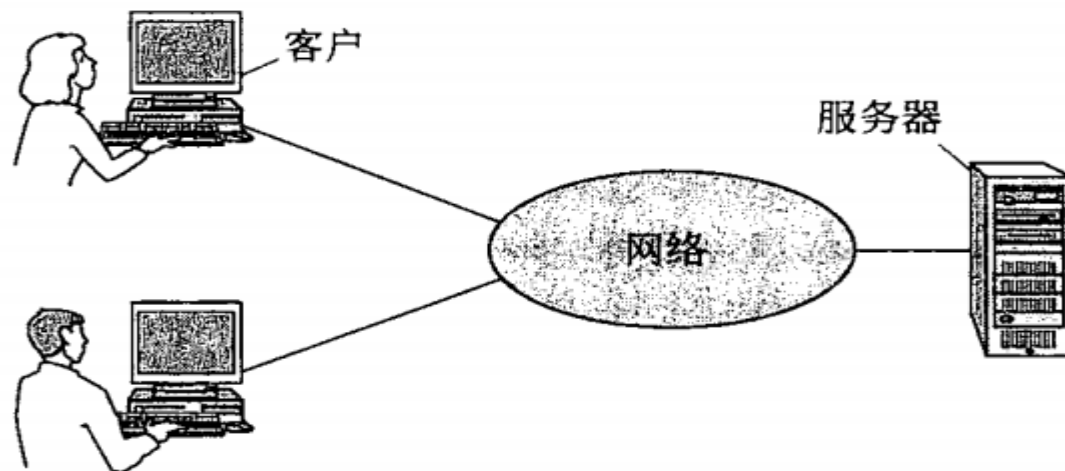


图 1-1 一个具有两台客户机和一台服务器的网络

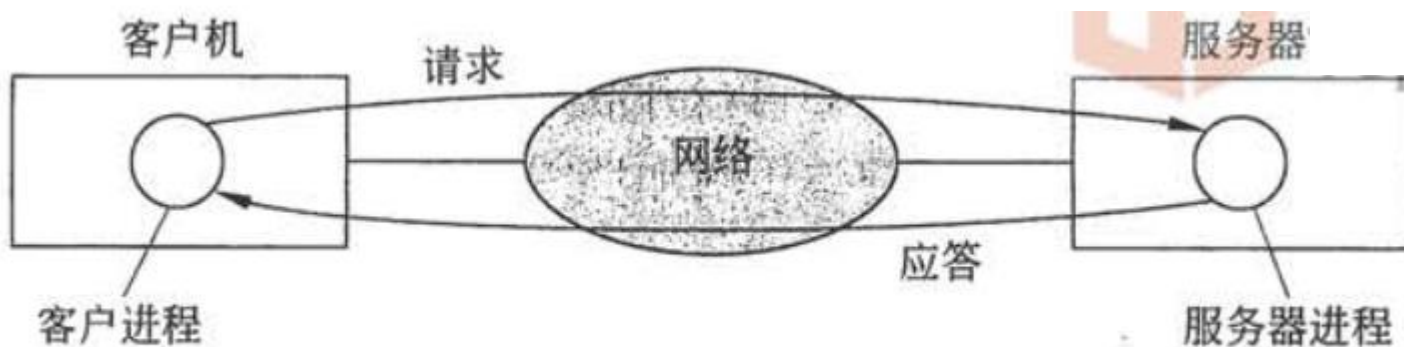


图 1-2 客户机-服务器模型涉及请求和应答

## 1.1 使用计算机网络

### ○ 家庭应用

- 价格低廉的资源共享
- P2P模式（BitTorrent）
- Napster/即时消息/远程学习/游戏娱乐
- 普适计算
- 射频识别与物联网



## 1.1 使用计算机网络

标记	全称	例子	网站
B2C	企业-消费者	在线商城	当当, 10086, 12306
B2B	企业-企业	汽车制造商与供应商	阿里, 中国供应商等
G2C	政府-消费者	电子税收	12123
C2C	消费者-消费者	在线拍卖二手物品	淘宝, 闲鱼
P2P	对等	音乐共享	电驴、BT下载等
O2O	线上-线下	各类团购、在线约车等	美团, 大众点评等

# 1.1 使用计算机网络

## ○移动用户

- 移动性与无线通信
- 智能手机+Internet
- GPS/移动商务/移动支付
- 传感器网络
- 可穿戴计算机

# 1.1 使用计算机网络

## ○ 社会问题

- 政治敏感性
- 法律
- 隐私
- 信息可靠性
- 安全问题

# 第1章 引言

## 1.1 使用计算机网络

## 1.2 网络硬件

## 1.3 网络软件

## 1.4 参考模型

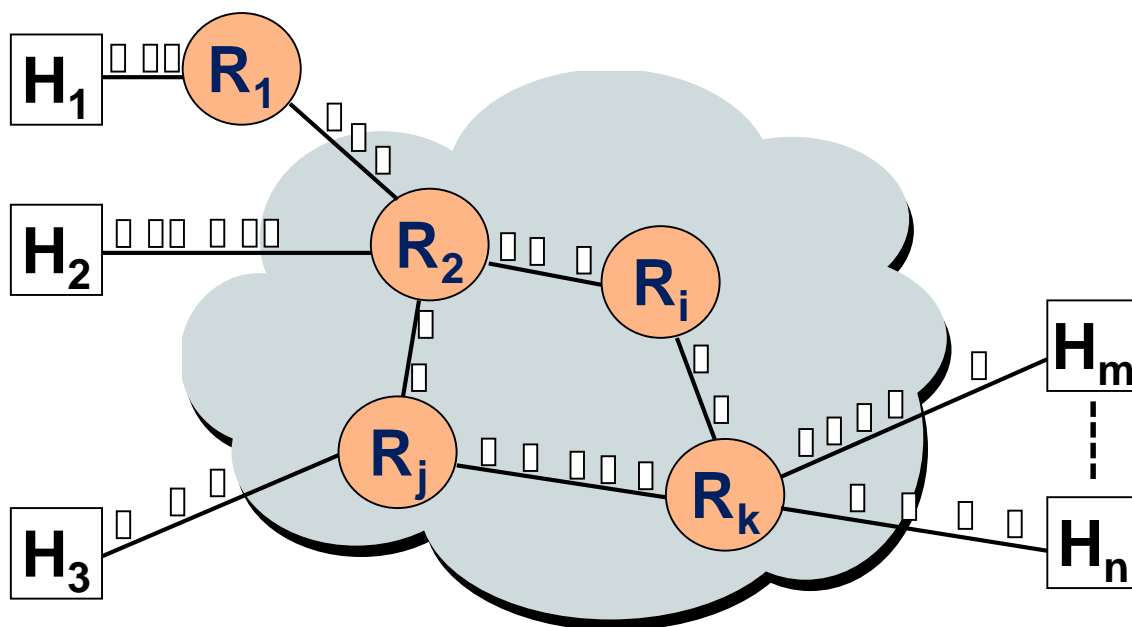
## 1.5 网络实例

## 1.6 网络标准化

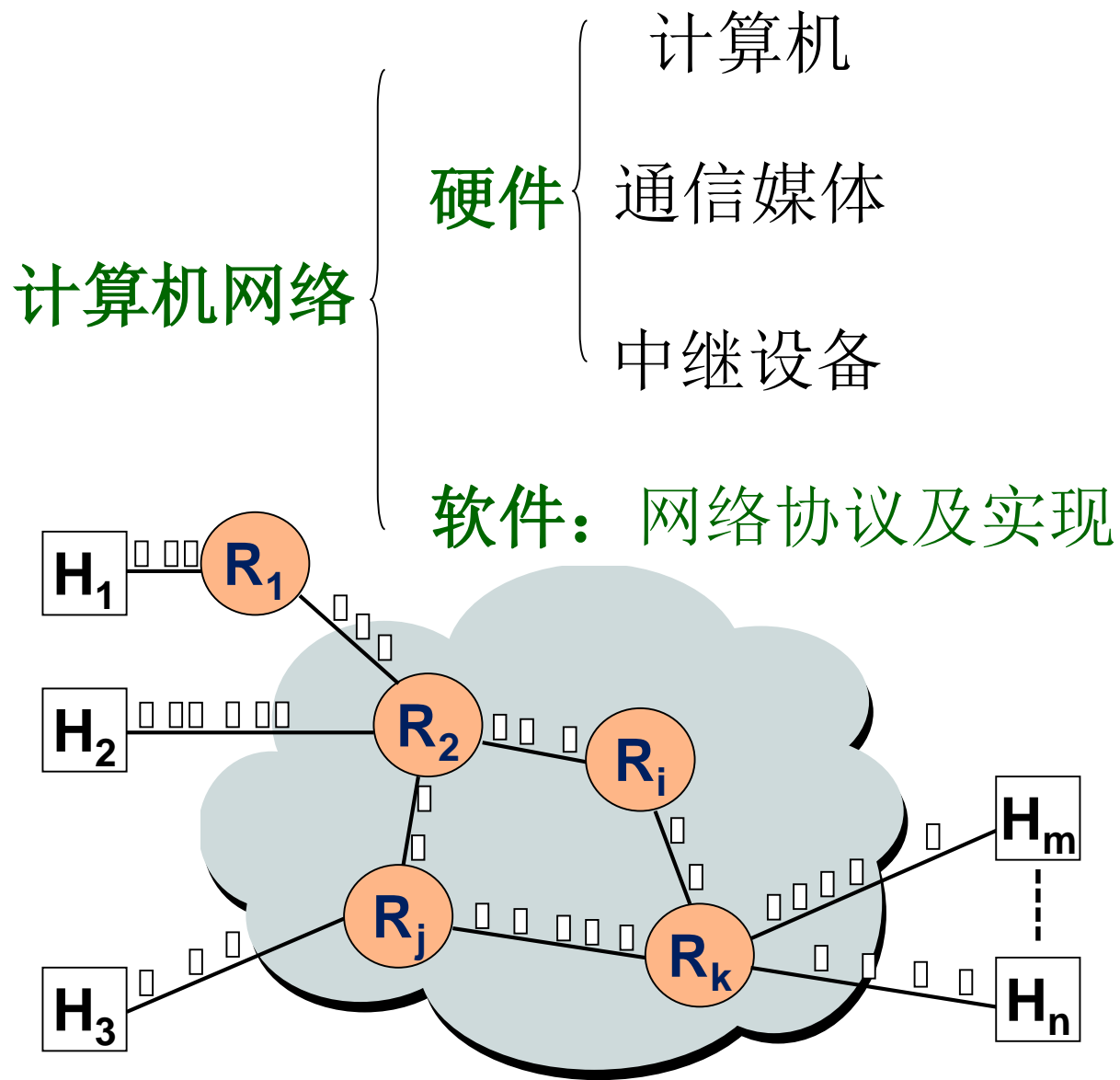


# 怎样才能使通信双方连接起来？

计算机网络是由不同**通信媒体**和**中继设备**连接的、物理上独立的**多台计算机**组成的、将需传输的**数据**分成不同长度的分组进行**传输和处理**的系统。



# 计算机网络组成



# 计算机网络组成

计算机

传输的源点或目的点

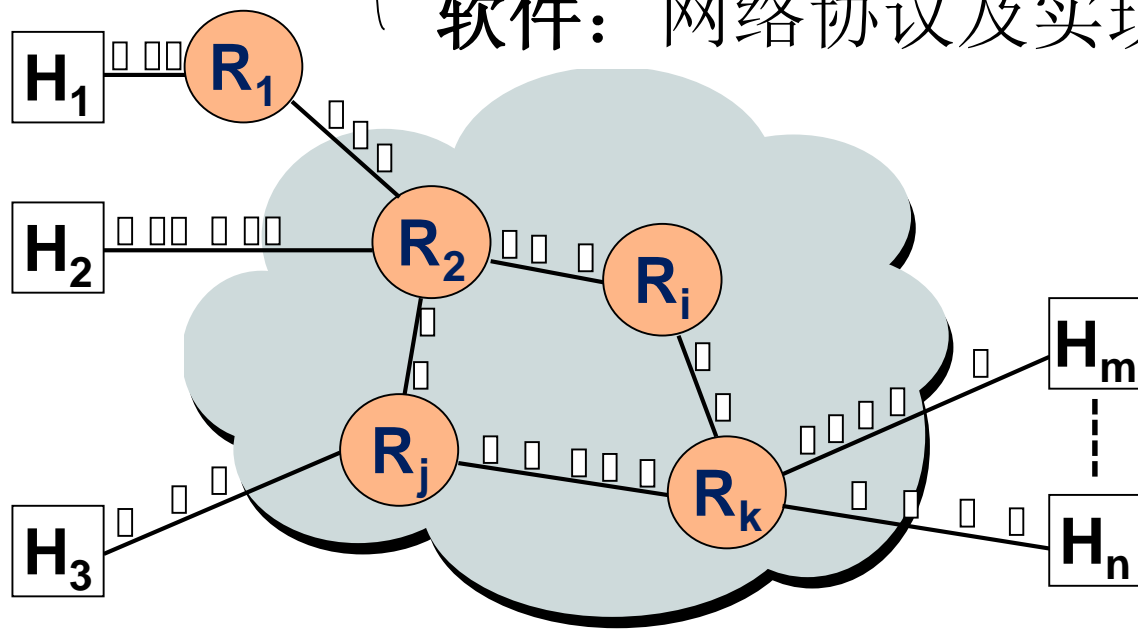
硬件

通信媒体

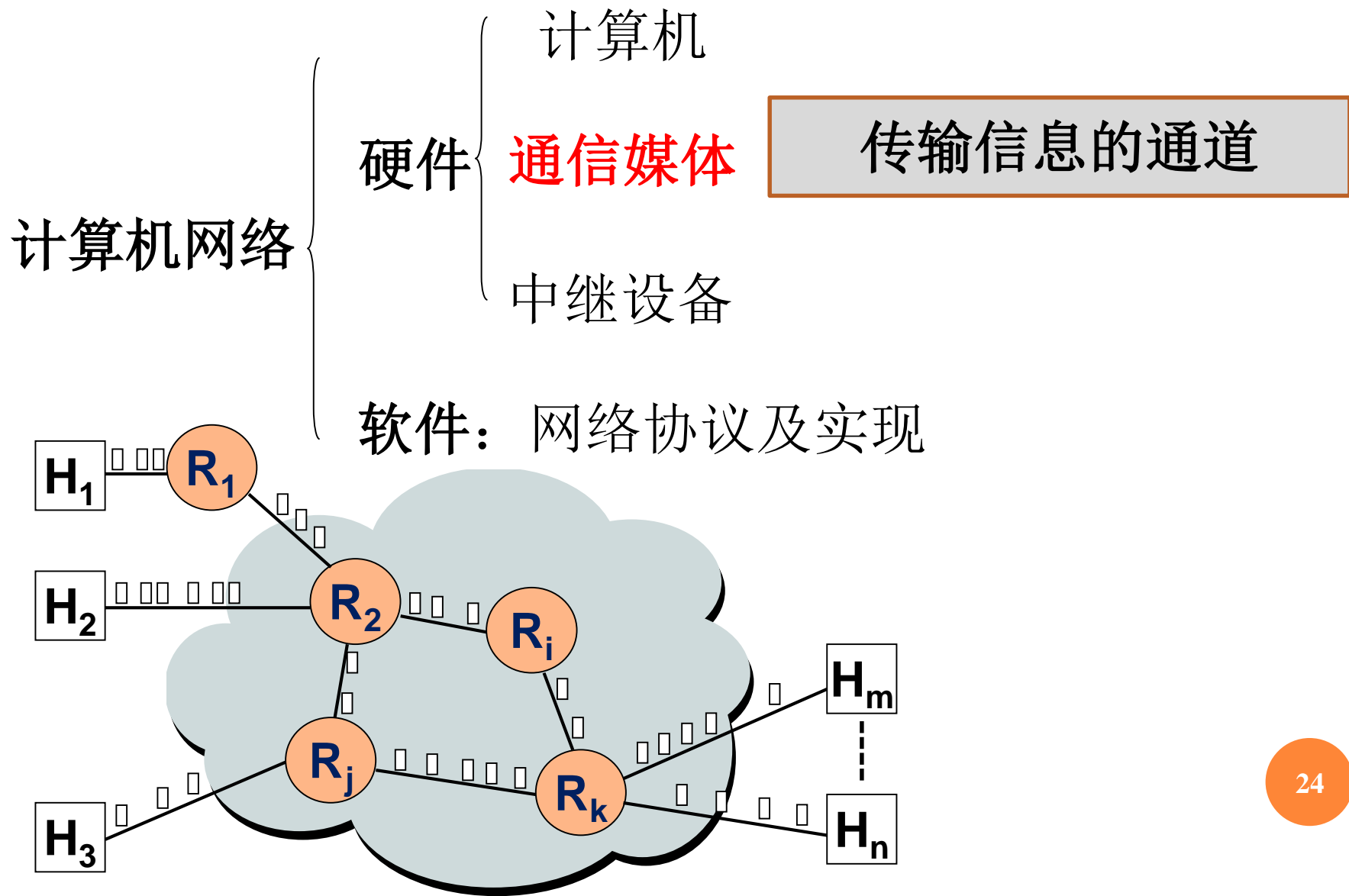
中继设备

软件：网络协议及实现

计算机网络



# 计算机网络组成





# 通信媒体

- 传输信息的通道包括有线和无线

有线信道如双绞线、光纤等

- 传输媒体上要解决的问题：

- 通信数据（比特流）如何在媒体上传输？
- 如何在一条媒体上传输多路信号？
- 如何确定信道的传输能力？

## 常用的术语

- **信道**：信息的通道。通常一条物理媒体上可以有多个信道
- **数据**：所要传输的信息，一般分为数字数据和模拟数据，网络中称为数据帧（数据包/数据报）
- **信号**：数据的载体，通常用数字信号或模拟信号
- **速率、吞吐量、带宽、时延、往返时间、利用率**

# 术语说明

## ○ 1. 速率

- 主机在数字信道上传送数据的速率，单位b/s (bit/s, bps, kb/s)
- **比特** (bit) 是计算机中数据量的单位，也是信息论中使用的信息量的单位。注意和“**字节**” (byte) 的区别

## ○ 2. 吞吐量 (throughput)

- 表示在单位时间内通过某个网络（或信道、接口）的数据量。
- 更经常地用于对现实世界中的网络的一种测量，以便知道实际上到底有多少数据量能够通过网络。
- 受网络的带宽或网络的额定速率的限制。
- 单位可以是 b/s，或 数据帧/s

# 术语说明

## 3. 带宽 (BANDWIDTH)

在通信中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”是表示通信线路传送数据的能力，是单位时间内网络中两点间能通过的**最高数据率**，单位是“比特每秒”，或 b/s (bit/s)。
- 更常用的带宽单位是
  - 千比每秒，即 kb/s ( $10^3$  b/s)
  - 兆比每秒，即 Mb/s ( $10^6$  b/s)
  - 吉比每秒，即 Gb/s ( $10^9$  b/s)
  - 太比每秒，即 Tb/s ( $10^{12}$  b/s)
- 注意：K =  $2^{10}$  = 1024,      M =  $2^{20}$ ,    G =  $2^{30}$ ,    T =  $2^{40}$

# 术语说明

## 4. 时延(DELAY/LATENCY)

- **发送时延** 主机或路由器发送数据帧所需要的时间。也就是从发送数据帧的第一个比特算起，到该帧的最后一个比特发送完毕所需的时间。

$$\text{发送时延} = \frac{\text{数据帧长度 (b)}}{\text{发送速率 (b/s)}}$$

- **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。
- 信号发送速率 和 信号在信道上的传播速率是完全不同的概念。

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

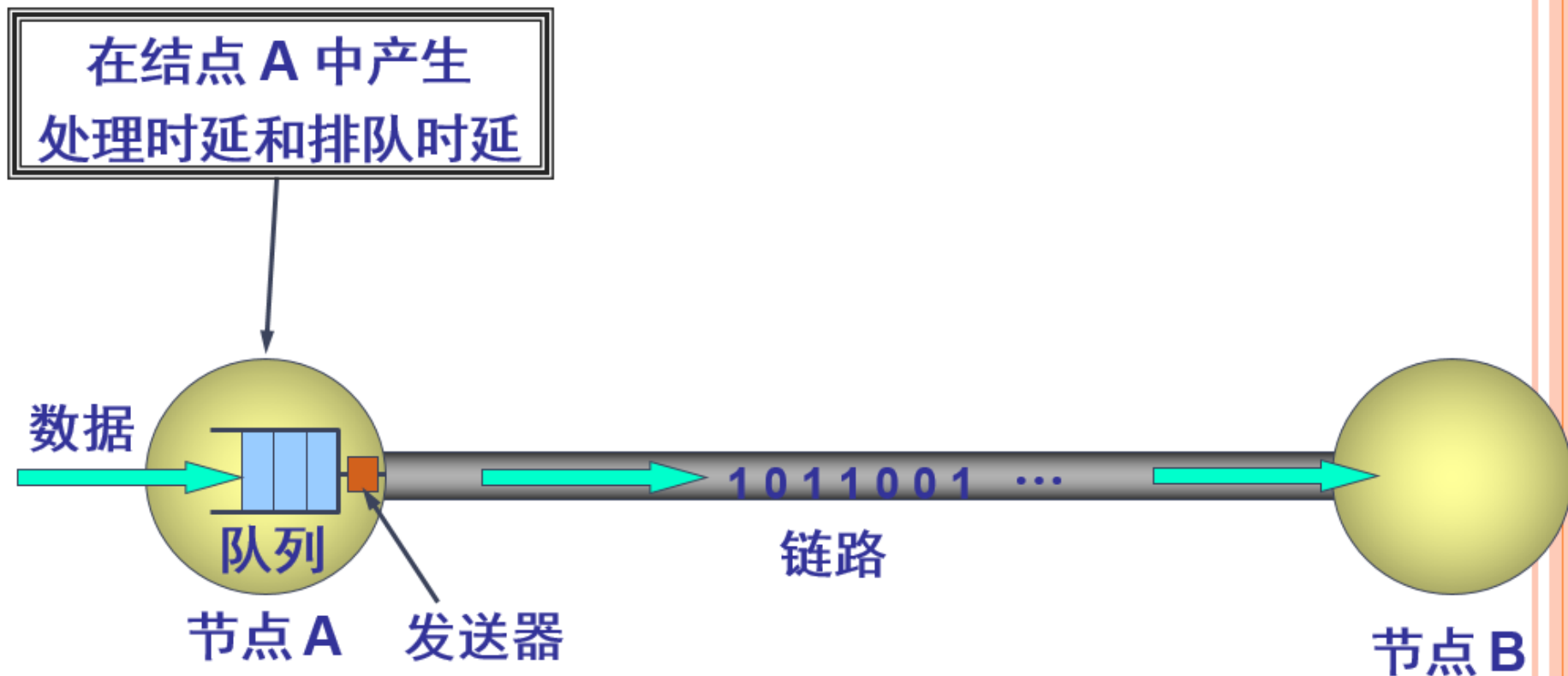
# 术语说明

## 4. 时延(DELAY/LATENCY)

- **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。
- **排队时延** 结点缓存队列中分组**排队**所经历的时延。
- 排队时延的长短往往取决于网络中**当时的通信量**。
- 数据经历的总时延就是发送时延、传播时延、处理时延和排队时延之和：
- **总时延 = 发送时延+传播时延+处理时延+排队时延**
- 注意：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。

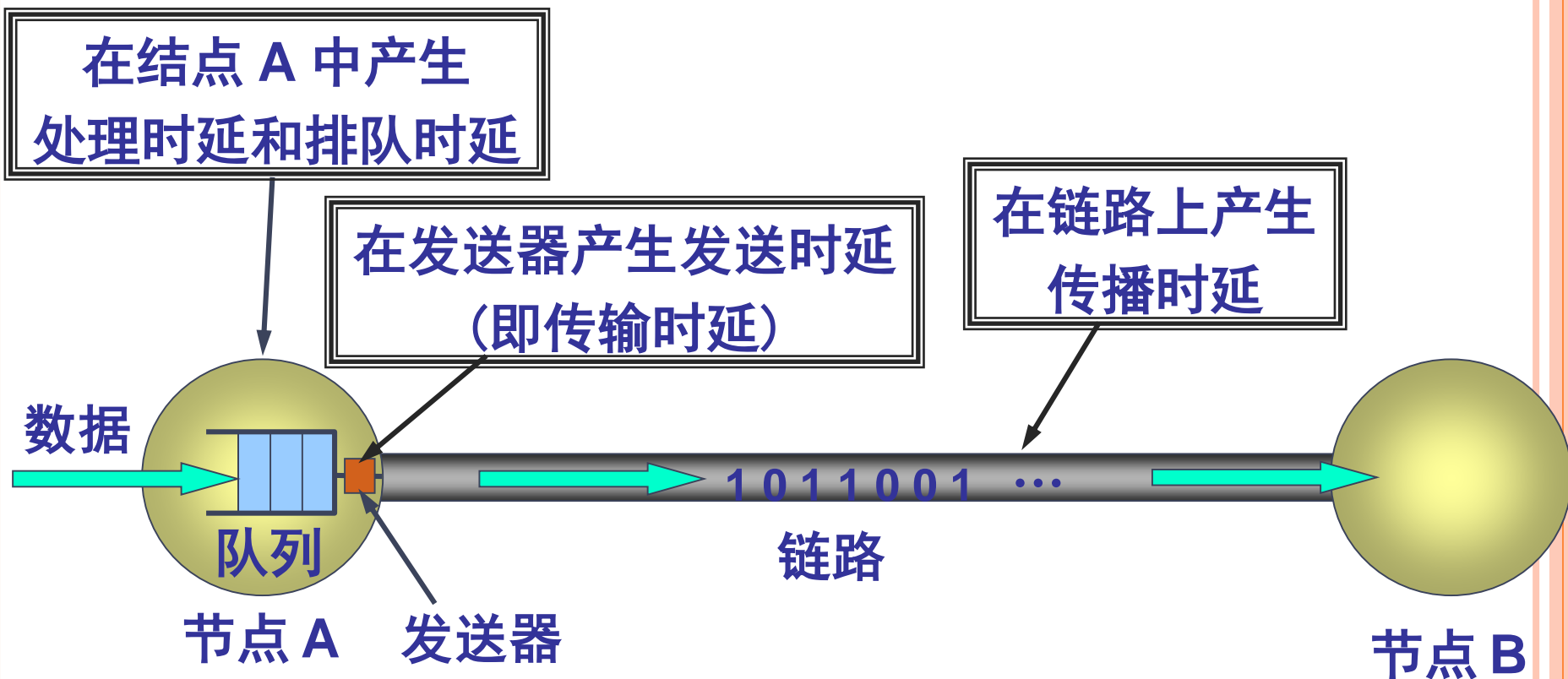
# 术语说明

## 4. 时延(DELAY/LATENCY)



# 术语说明

## 4. 时延(DELAY/LATENCY)





# 术语说明

## 5. 往返时间RTT (Round-Trip Time)

- 可以理解为数据分组在通信双方之间一个来回的时间。
- 受到处理、转发、排队等时延的影响
- 在卫星通信中RTT较大，是重要的性能指标。

## 6. 利用率

- **信道利用率**指出某信道有百分之几的时间是被利用的（有数据通过）。完全空闲的信道的利用率是零。
- **网络利用率**则是全网络的信道利用率的加权平均值。
- 信道利用率并非越高越好。

# 术语说明

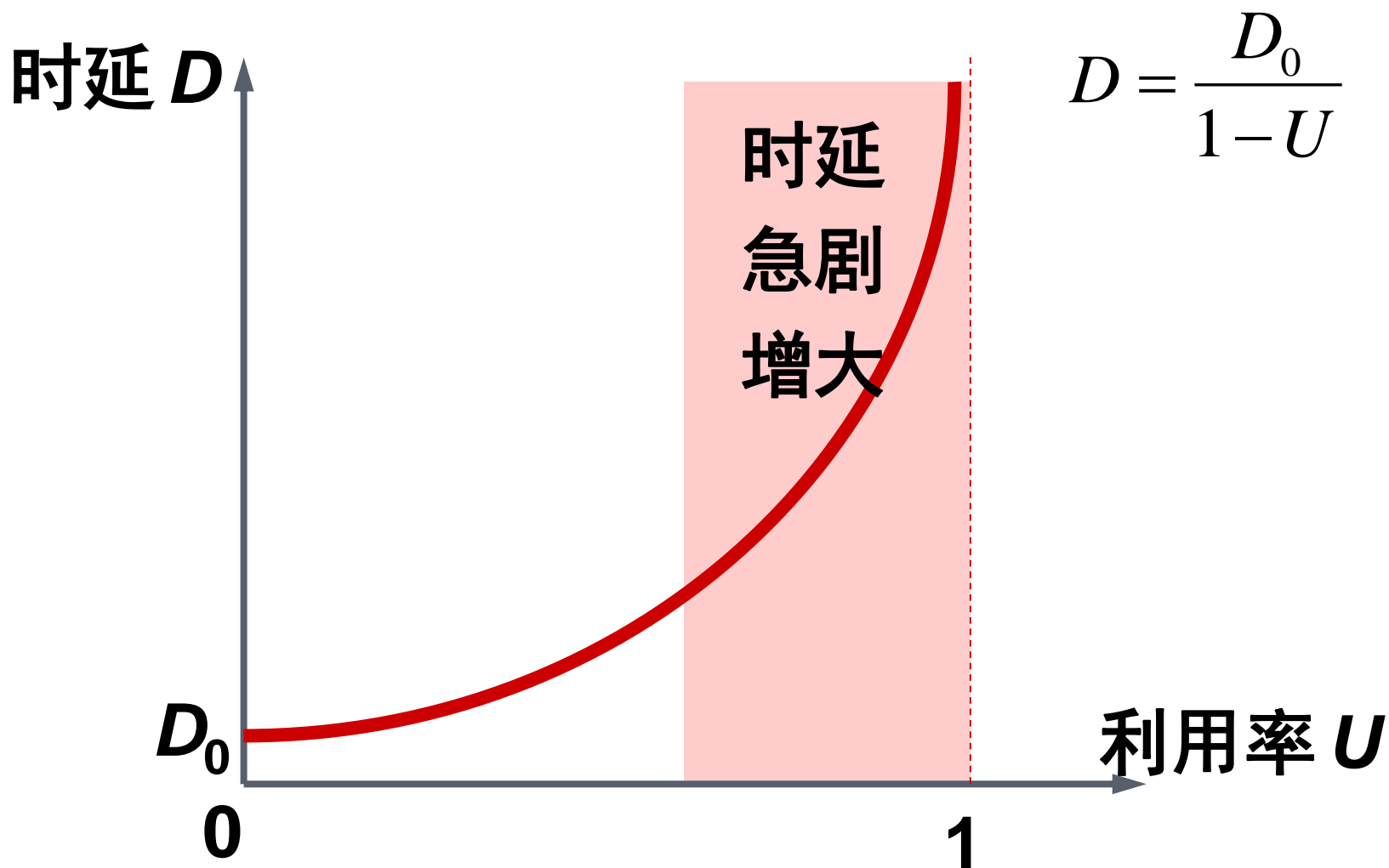
## 6. 利用率

$$D = \frac{D_0}{1 - U}$$

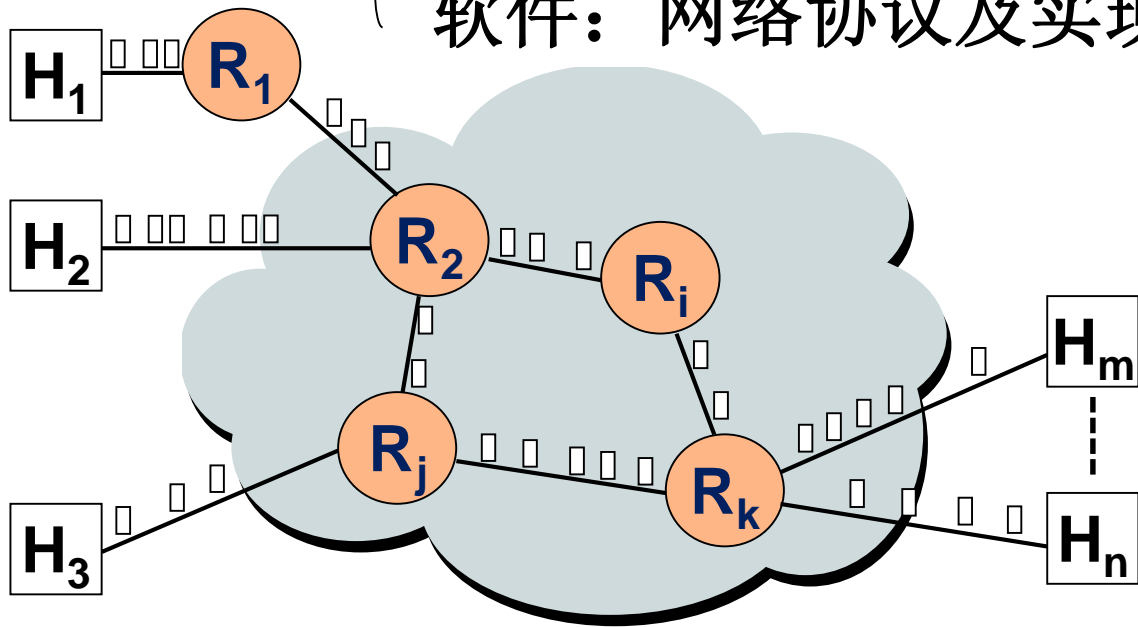
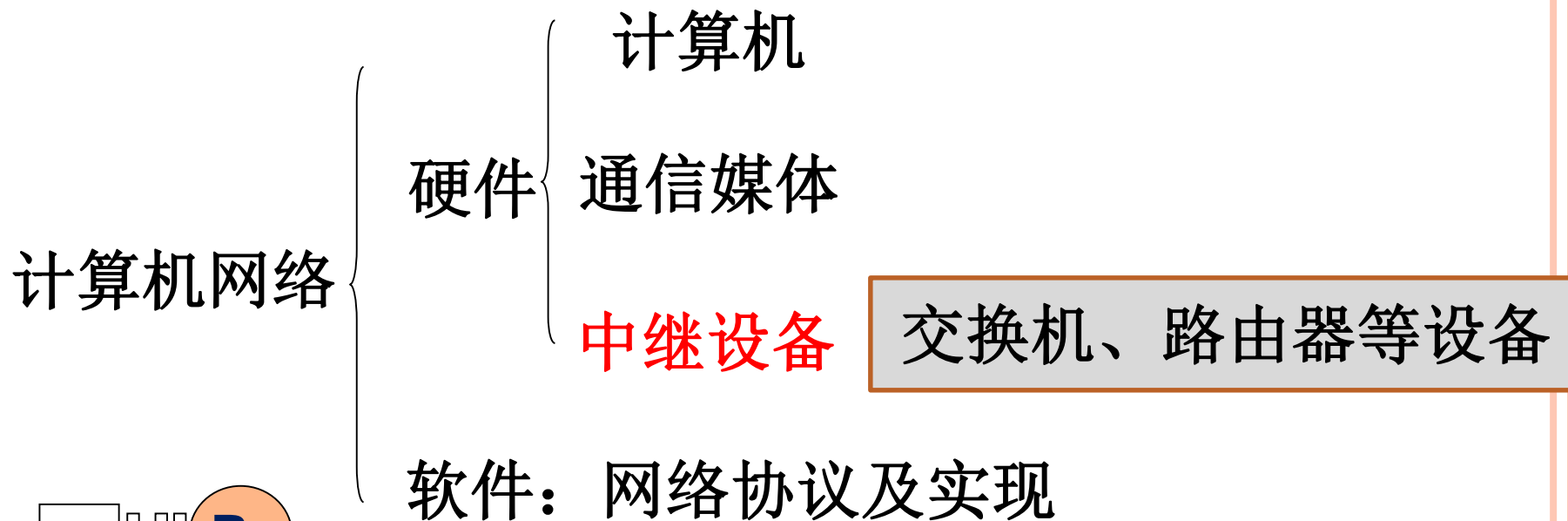
- 时延与网络利用率的关系
- 根据排队论的理论，当某信道的利用率增大时，该信道引起的时延也就迅速增加。
- $D_0$  表示网络空闲时的时延， $D$  表示网络当前的时延， $U$  是网络的利用率，数值在 0 到 1 之间

# 术语说明

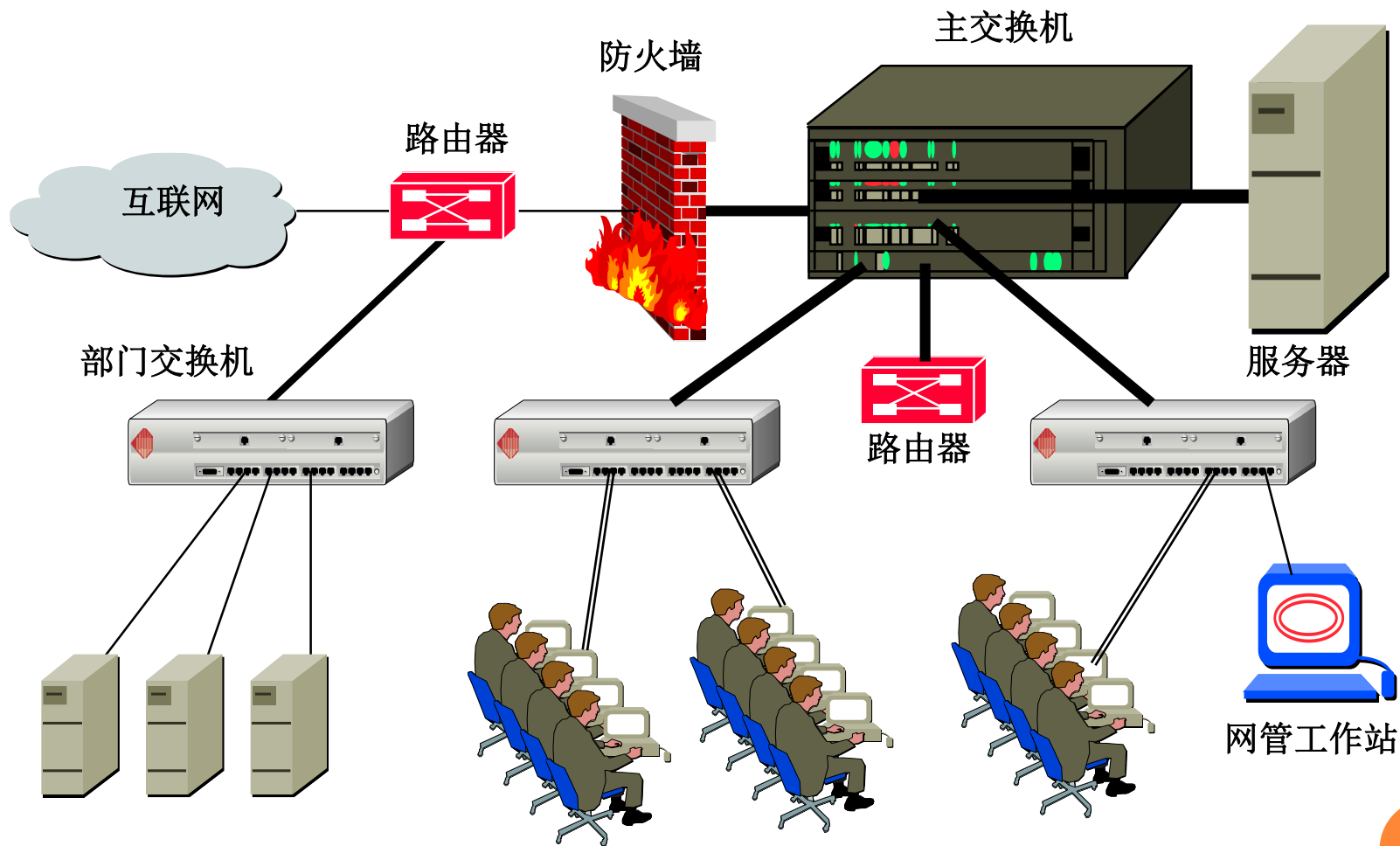
## 时延与网络利用率的关系



# 计算机网络组成



# 一个典型的企业网络硬件平台



# 网络分类

---

- 按传输技术分
- 按拓扑结构分
- 按规模分
- 按传输介质分
- 按使用范围分

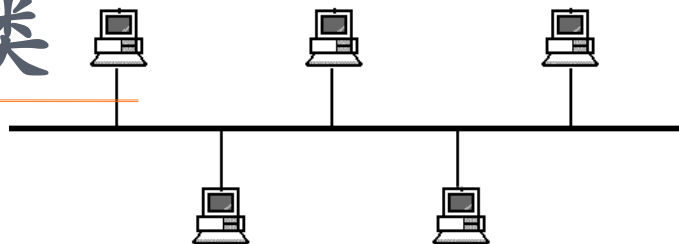
## 按技术分类

---

- 点到点网络：一个发送方对应一个接收方，也称为单播。注意并不是直接到达，中间还需要经过中转。
- 广播式网络：一台机器向所有目标节点发送数据包，如果是向一组特定节点发送，则称为组播。

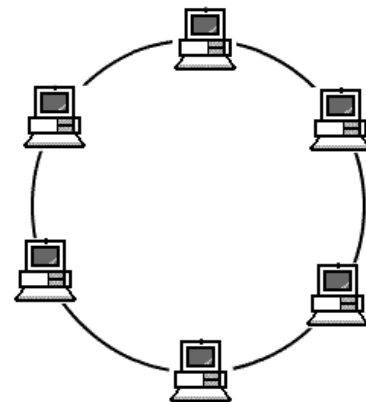
# 按拓扑结构分类

○ 总线



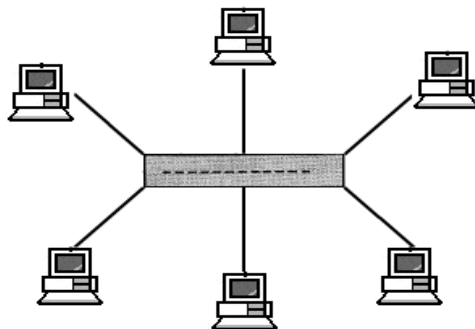
总线型拓扑结构

○ 环形



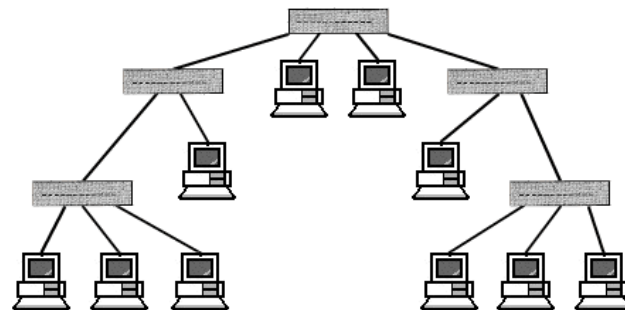
环型拓扑结构

○ 星形



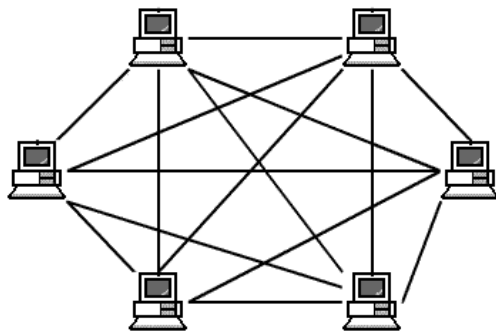
星型拓扑结构

○ 树形



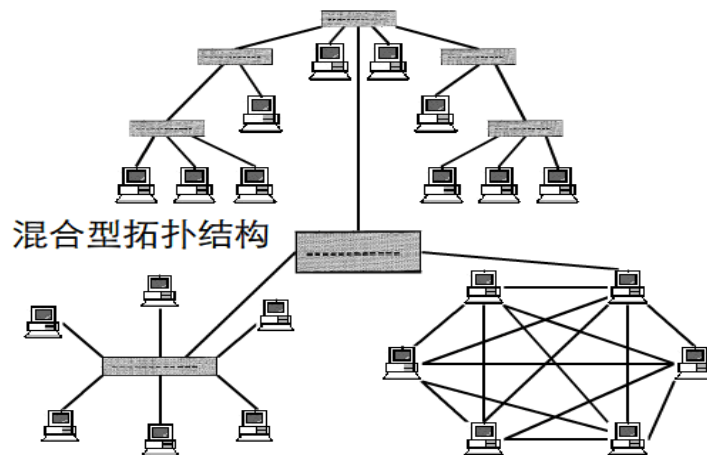
树型拓扑结构

○ 网状



网状拓扑结构

○ 混合型



混合型拓扑结构



# 按规模分类

○ 个域网PAN

1米 个人之间

○ 局域网LAN

10-1000米 房间-园区

○ 城域网MAN

10千米 同一城市

○ 广域网WAN

100-1000千米 国家-大陆

○ 互联网络internetwork

1万千米 全球

# PAN - Personal Area Network

- 提供短距离的的通信，包括蓝牙、红外
- 蓝牙：小型外围设备与系统之间的通信。如手机与计算机、鼠标与主机
- 红外：小型设备（手持控制器）与临近系统（计算机或娱乐设备）

# LAN - Local Area Network

- 地域：覆盖范围较小，速度较快，可满足很多通信需求。
- 传输技术：
  - 总线型 IEEE 802.3（以太网）CSMA/CD
  - 总线型 IEEE 802.4（令牌总线）
  - 环 型 IEEE 802.5（IBM令牌环）
  - 无线接入 IEEE802.11 (WiFi)

# LAN - Local Area Network

- 怎样设计实现家庭局域网？
  - 设备易安装
  - 操作简单且安全
  - 价格低廉
  - 可扩展
  - 安全可靠

# MAN - Metropolitan Area Network

- 范围可覆盖一个城市，连接了很多的LAN
- 使用的协议有802.6，802.16等

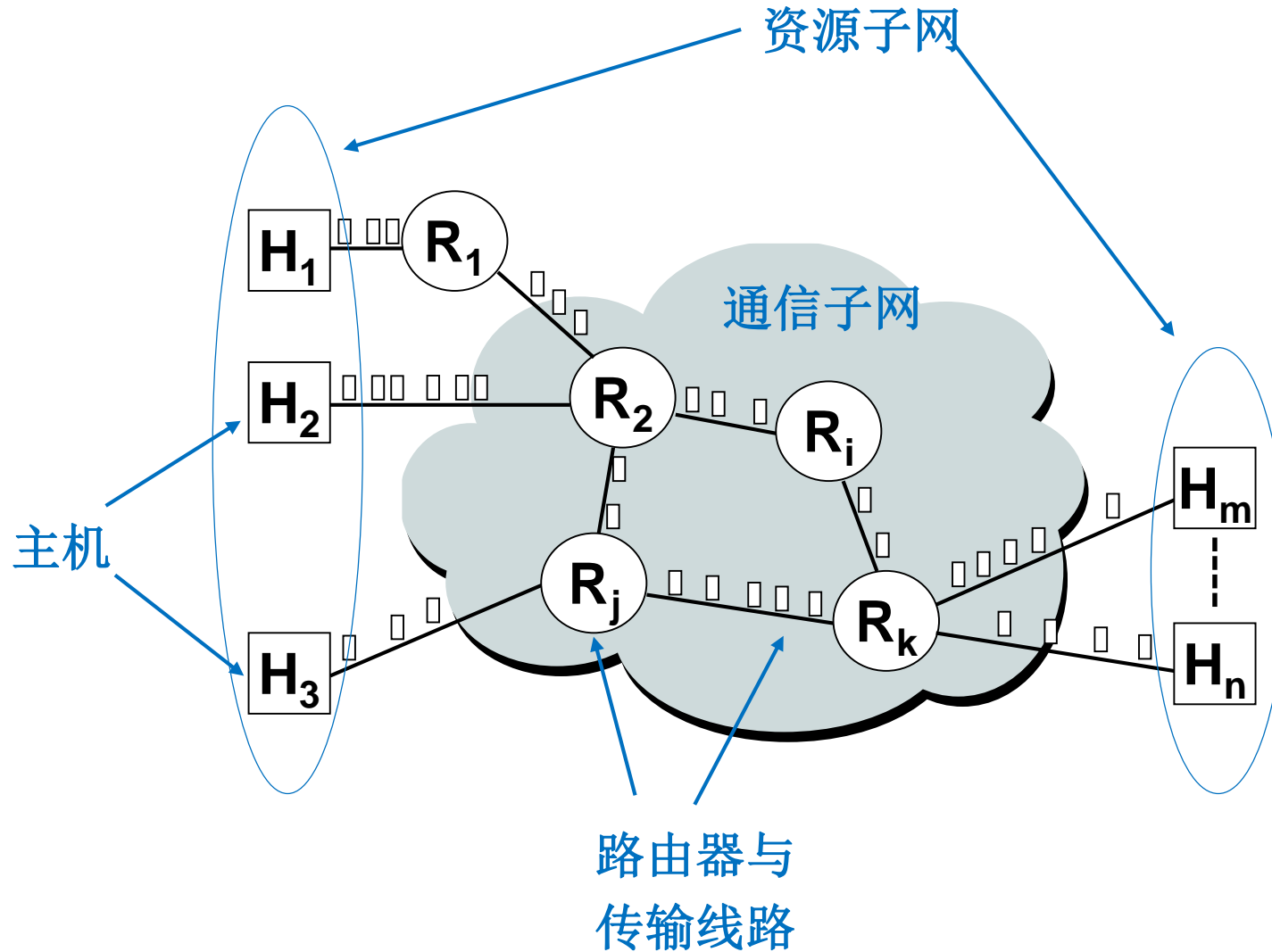
# WAN - Wide Area Network

---

跨越地域较大的网络，组成部分包括

- 主机 (host) 也称端系统 (end system) / 节点 (node)
- 通信子网 (communication subnet) 简称子网
  - 负责计算机之间的数据通信，
  - 由传输线路 (transmission line) 和交换单元 (switch) 组成
- 资源子网 ( resource subnet)
  - 向用户提供可供共享的硬件、软件和信息资源

# WAN - Wide Area Network



# WAN - Wide Area Network

## WAN 与LAN的不同

- 1、WAN除了范围更大，各组成部分（子网/主机）属于不同的人或组织。其中的通信子网和资源子网都是分开建设的。
- 2、WAN中存在多种不同的协议。路由器连接不同网络。LAN使用同一种协议。
- 3、WAN的通信子网可连接计算机或LAN。



# 相关概念

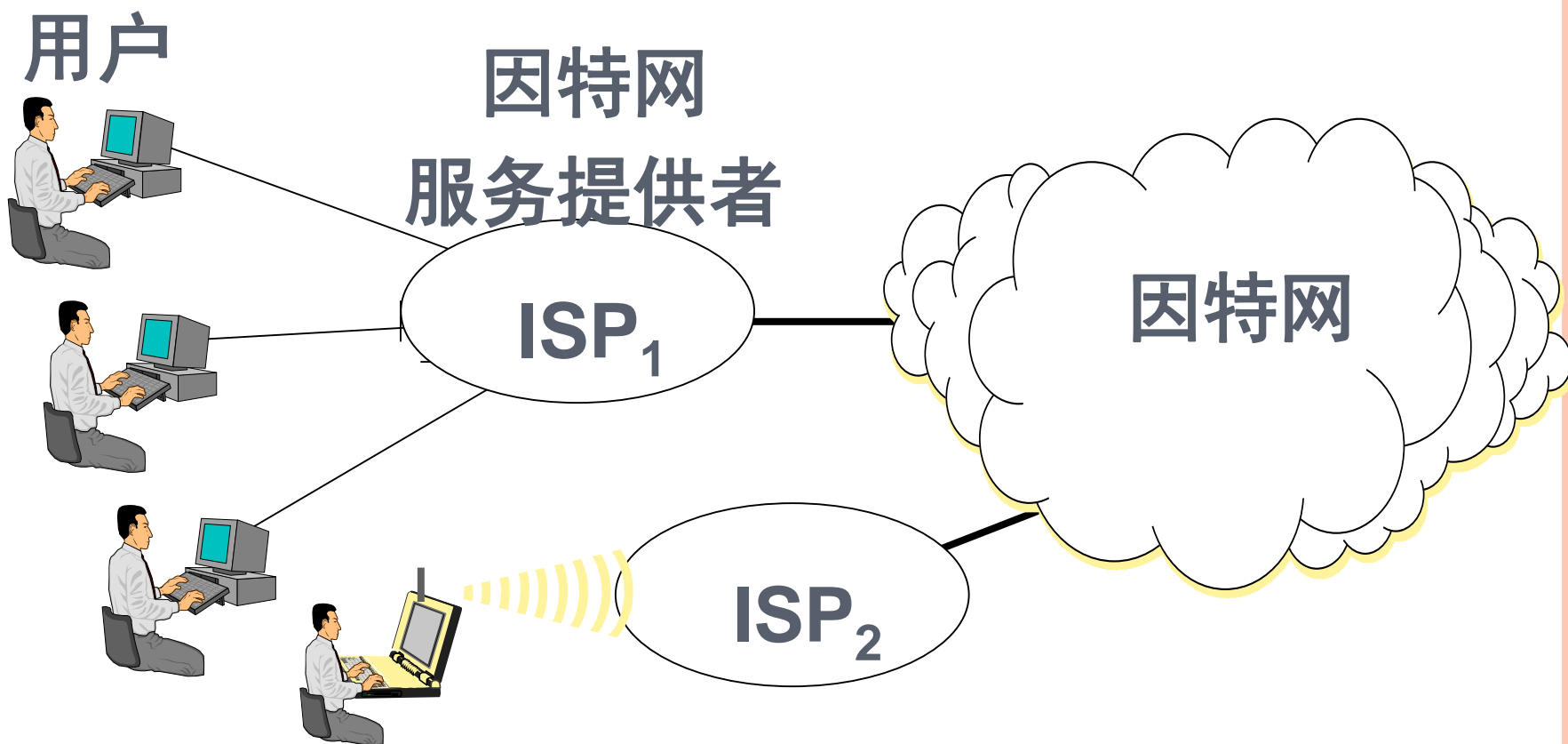
## ○ 互联网络 internetwork

- 通常由路由器联接的LAN或WAN组成
- 由不同的组织出资构建各自的部分，或是不同组成部分采用不同的底层技术
- 需要网关连接不同的网络

## ○ Internet服务提供商（ISP）

- 运营通信子网，向客户提供服务

# 用户通过 ISP 上网



- **internet**（互联网或互连网）是一个通用名词，它泛指由多个计算机网络互连而成的网络。
- **Internet**（因特网）则是一个专用名词，它指当前全球最大的、开放的、由众多网络相互连接而成的特定计算机网络，它采用 **TCP/IP** 协议族作为通信的规则，且其前身是美国的 **ARPANET**。

# 网络分类

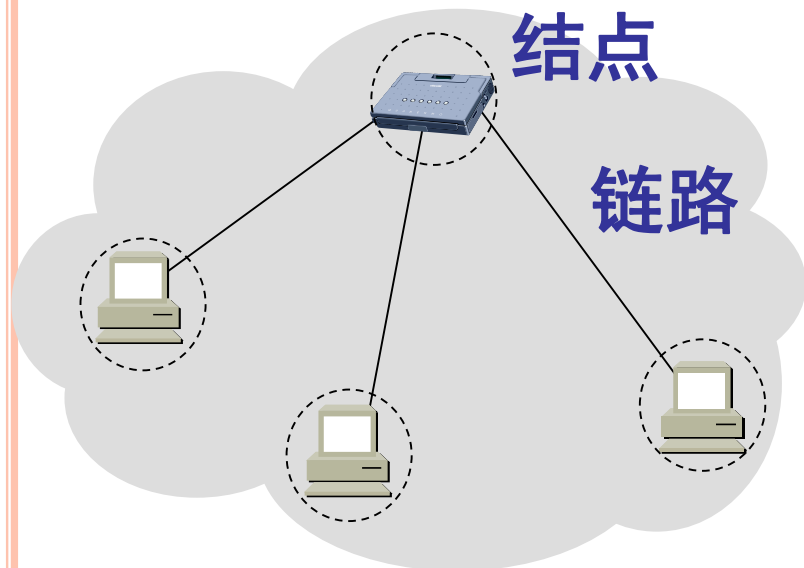
- 按传输介质分
- 按使用范围分

有线网 无线网

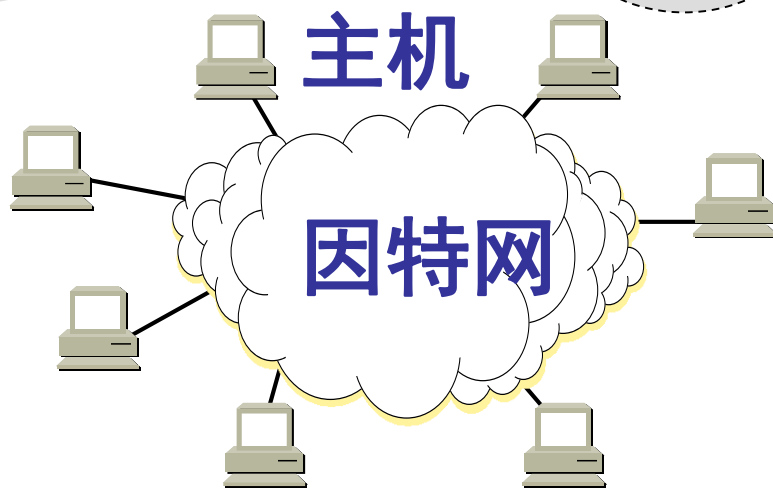
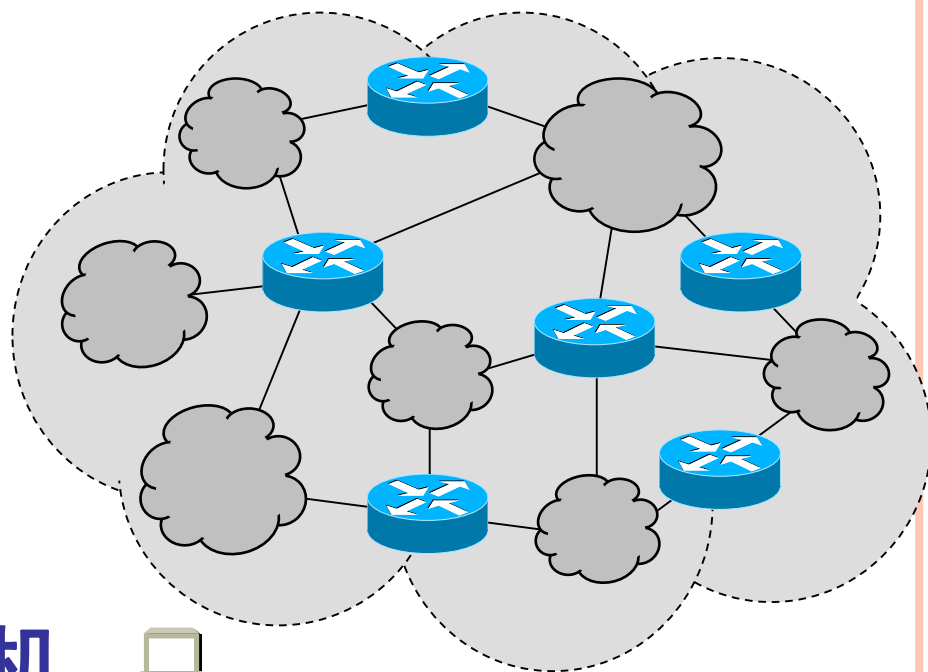
专用网 公用网

## 其他图示

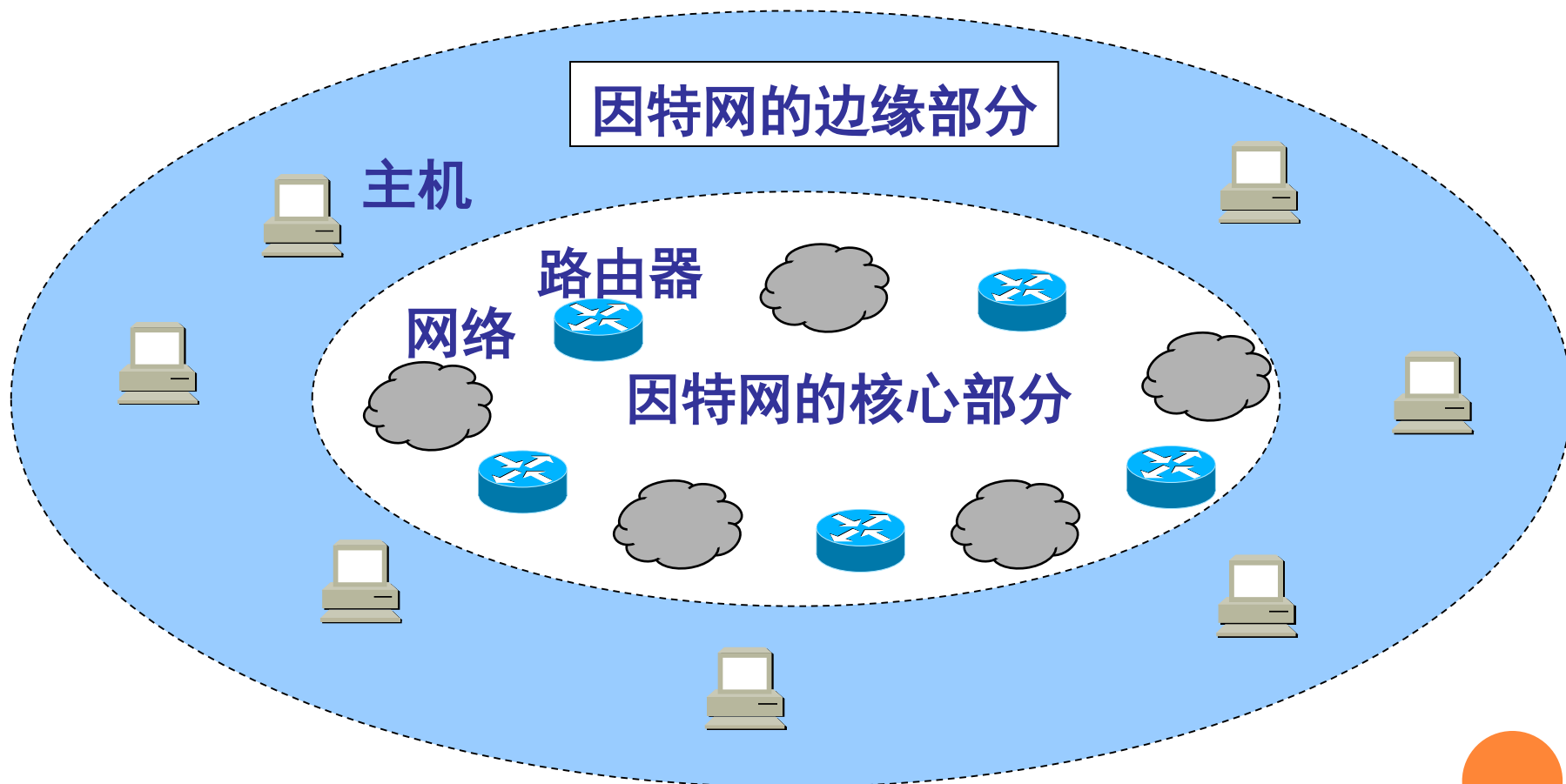
### 网络



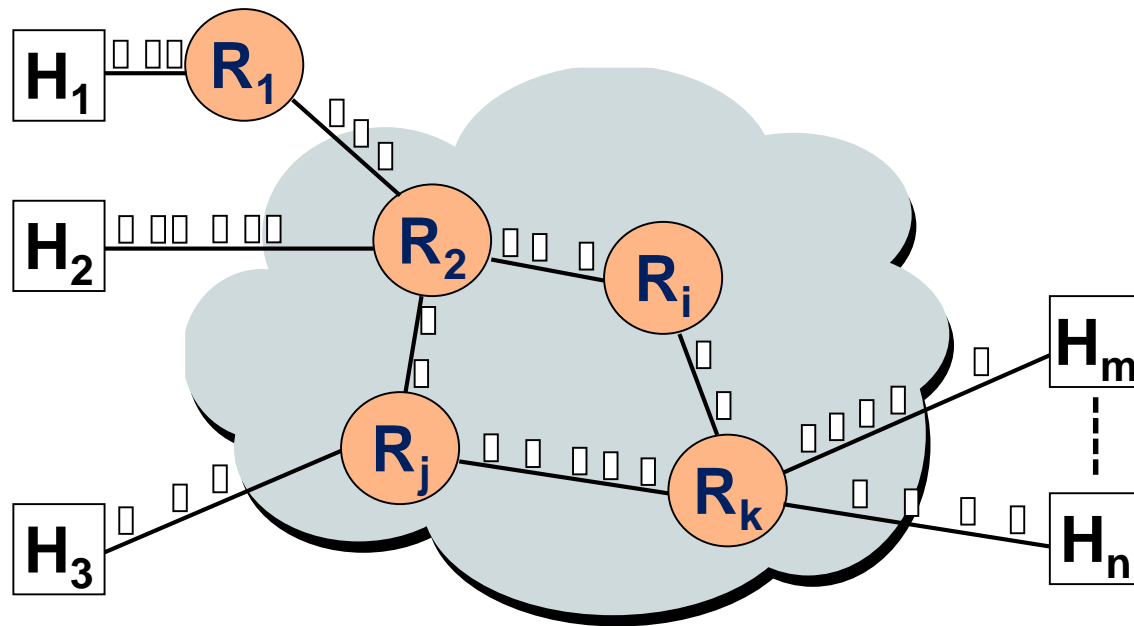
### 互联网（网络的网络）



## 其他图示



# 计算机网络组成



# 第1章 引言

## 1.1 使用计算机网络

## 1.2 网络硬件

## 1.3 网络软件

## 1.4 参考模型

## 1.5 网络实例

## 1.6 网络标准化

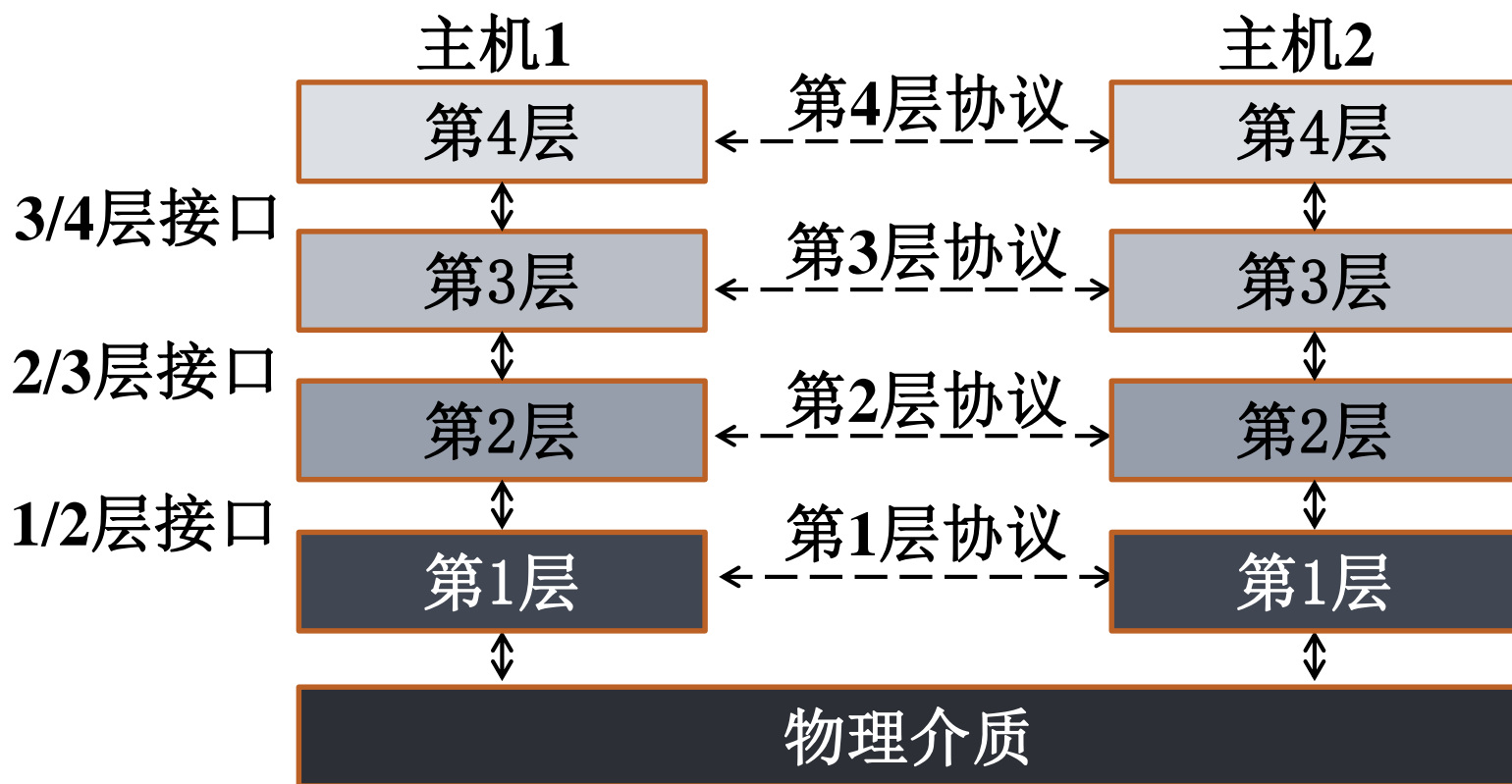




# 1.3 计算机网络软件

## 1.3.1 协议层次结构

- 网络通信的功能，通常是以分层的栈型结构实现。每一层向上层提供服务，同时屏蔽实现服务的细节。



# 1.3 计算机网络软件

## 1.3.1 协议层次结构

- 协议(protocol)：是通信双方就如何进行通信的一种约定。
- 为进行网络中的数据交换而建立的规则、标准或约定就是网络协议，简称协议。
- Request For Comments (RFC) 协议标准文档
- 协议具有三要素：语法、语义与同步
- 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。



# 1.3 计算机网络软件

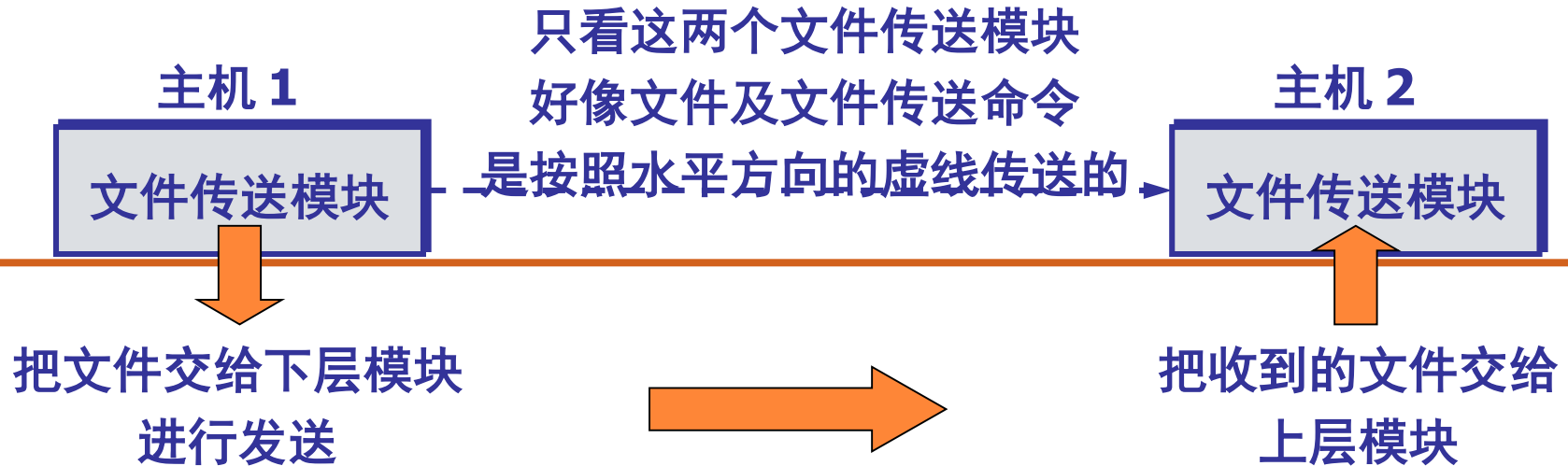
## 1.3.1 协议层次结构

- 为什么要分层？-把难以管理的任务分解成几个较小的、易处理的设计问题
  - 通过每一层实现一种相对独立的功能来简化问题
  - 每一层的设计都是独立的，它不必关心下一层是如何实现的，只需知道下一层为我提供的服务，和我必须为上一层提供哪些服务
  - 当由于技术的变化使某层的实现需要变化时，不影响其他的层次
- 举例：假设主机 1 向主机 2 通过网络发送文件
- 把复杂的通信工作分为三类：文件传送、数据通信、网络接入



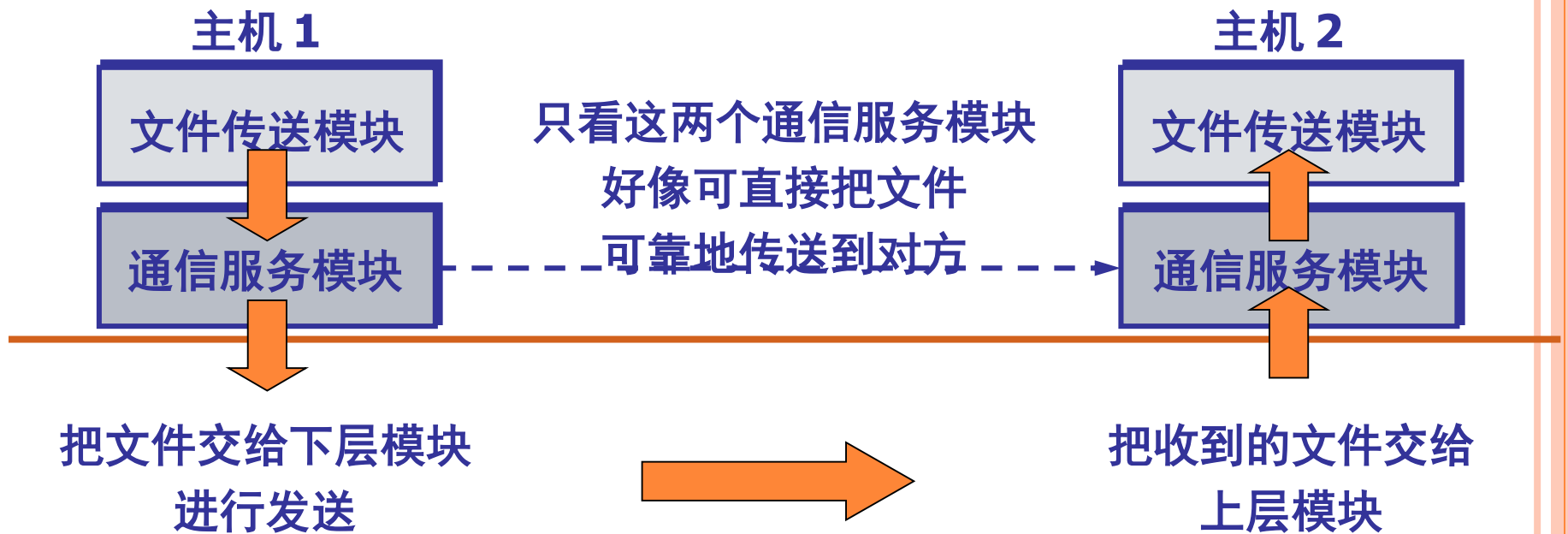
## 1.3.1 协议层次结构

### ○ 1、文件传送层次的设计



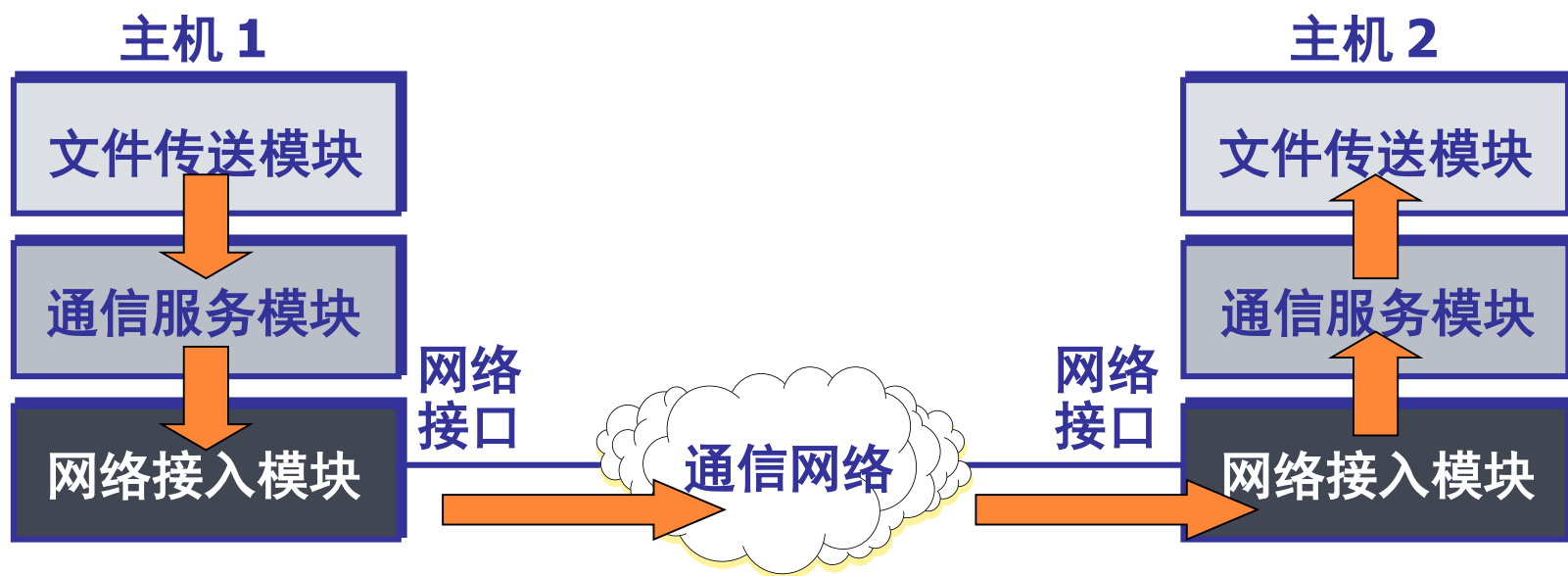
## 1.3.1 协议层次结构

### ○ 2、 数据通信层次的设计



## 1.3.1 协议层次结构

### 3、网络接入层次的设计



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。

## 1.3.2 层次设计问题

### ○ 计算机网络设计中需要考虑的问题

#### 可靠性

检错与纠错

寻找合适的路径：路由

#### 资源分配

网络带宽的分配

流量控制与拥塞

实时性与服务质量

#### 网络演进

每个节点的标识：

寻址和命名

数据的分段重组

#### 安全性

保密性

认证机制

完整性



## ○ 五层协议体系结构



- 应用层(application layer)
- 传输层(transport layer)
- 网络层(network layer)
- 数据链路层(data link layer)
- 物理层(physical layer)



## 1.3.3 面向连接与无连接的服务

- 面向连接的服务
  - 电路交换
- 面向无连接的服务
  - 存储转发
  - 虚电路交换
- 服务质量，可靠性连接，不可靠连接，有确认的服务

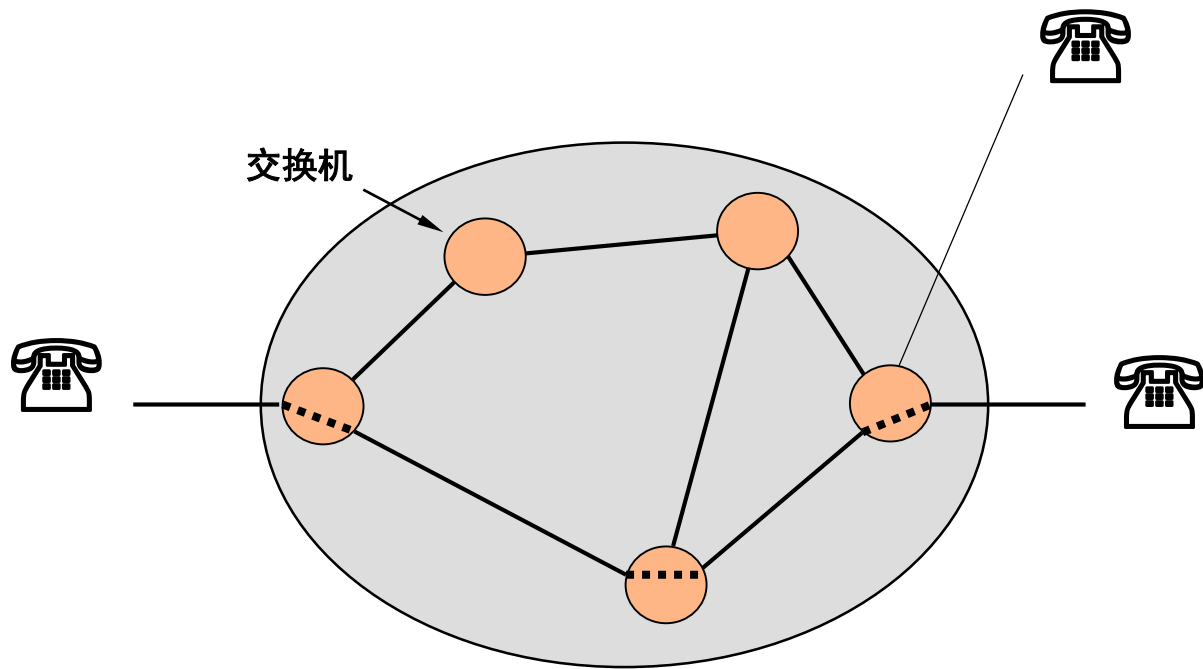


# 电路交换（电话）

- 在数据传输前，必须建立一条端到端的通路，称为连接，该连接可能穿越多个交换机，而每个交换机都必须为之提供连接
- 一旦建立连接，整个通路将被独占，除信号传播的延时之外，数据传输无额外延时，数据中无需包含目的地址
- 线路的利用率较低
- 建立连接时间长，连接建立时冲突概率高



# 电路交换



# 交换方式

- 电路交换
- 存储转发
- 虚电路交换

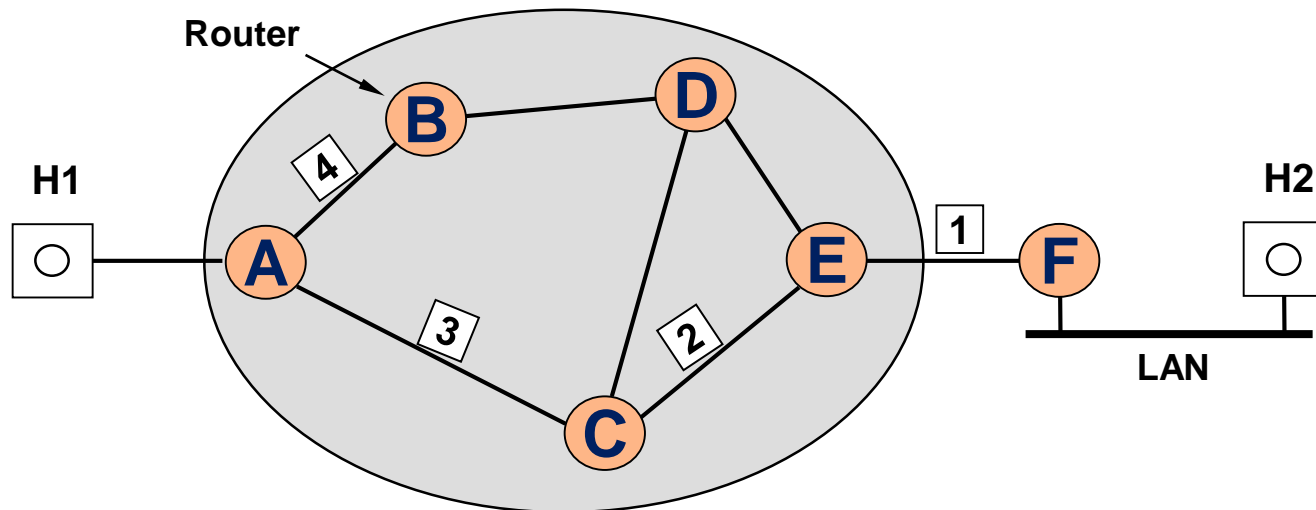


# 存储转发

- 数据的传输无需建立连接，数据的传输是一站一站往下送，无论数据传输过程要跨越多少个交换局（通常是路由器），只要下一站不忙，该数据即送至下一站
- 数据中必须包含目的地址，并采用存储-转发（store-forward）机制
- 线路的利用率较高
- 由于采用存储-转发机制，所以在数据传输过程中，除了信号传播的延时之外，还有存储和转发的延时，而且可能延时较大，且不可估计



# 存储转发



A的路由表

A	-
B	B
C	C
D	B
E	C
F	C

C的路由表

A	A
B	A
C	-
D	D
E	E
F	E

E的路由表

A	C
B	D
C	C
D	D
E	-
F	F

# 存储转发

## ○ 存储转发分为两类：

- 报文交换
- 分组交换



# 分层之间数据分组的过程

- 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。



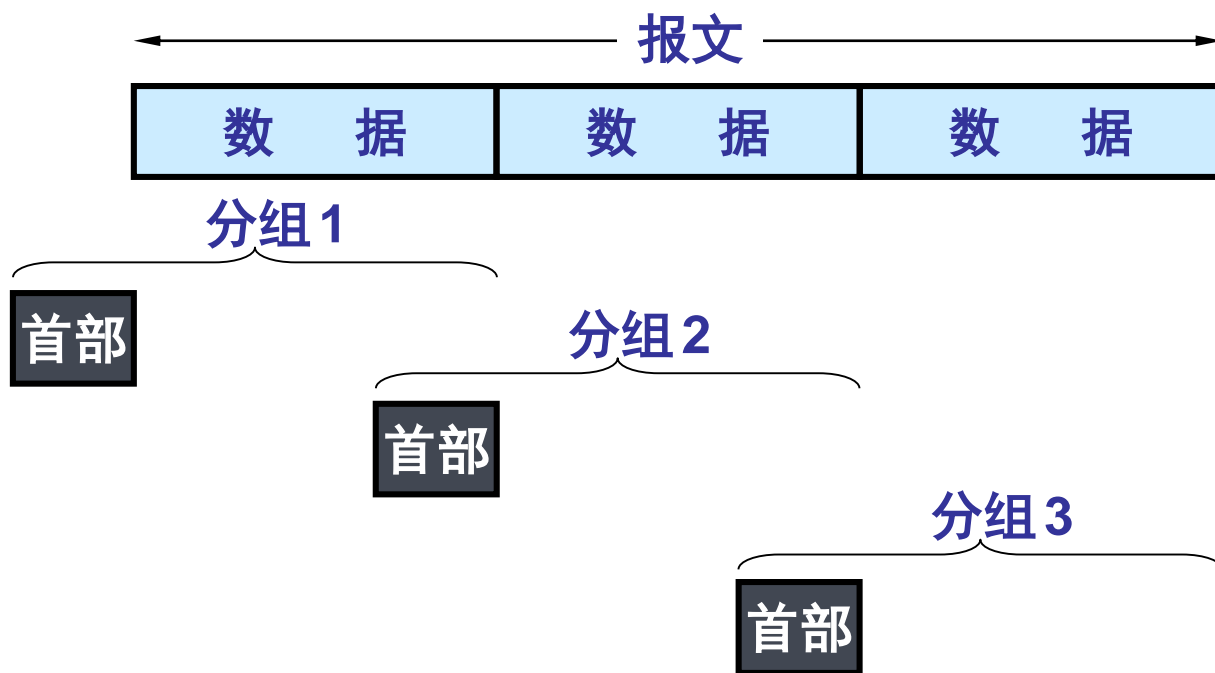
假定这个报文较长  
不便于传输





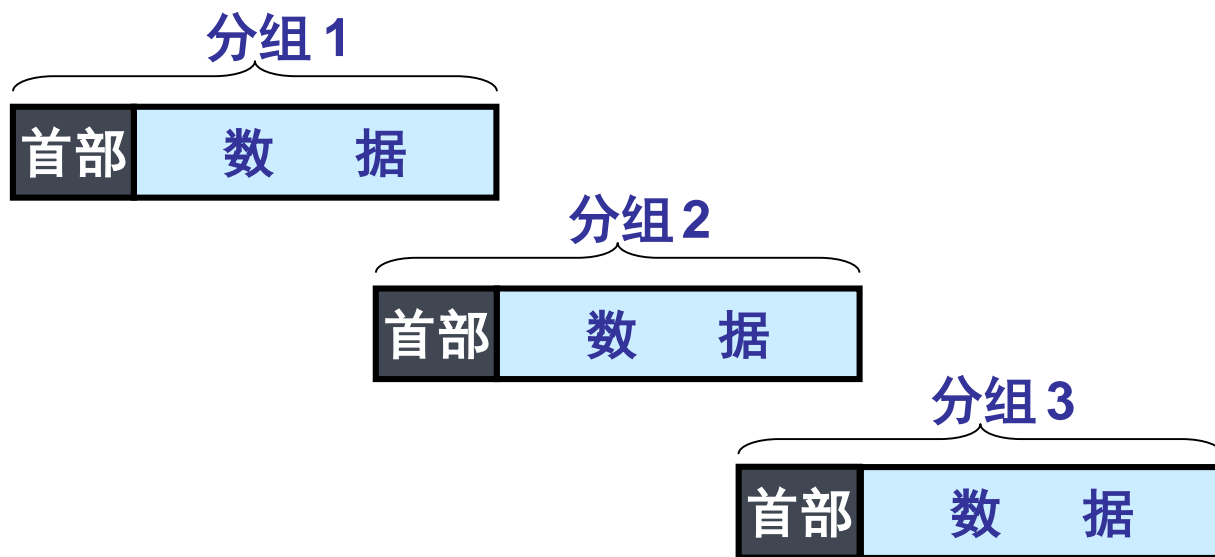
# 添加首部构成分组

- 每一个数据段前面添加上首部构成分组。



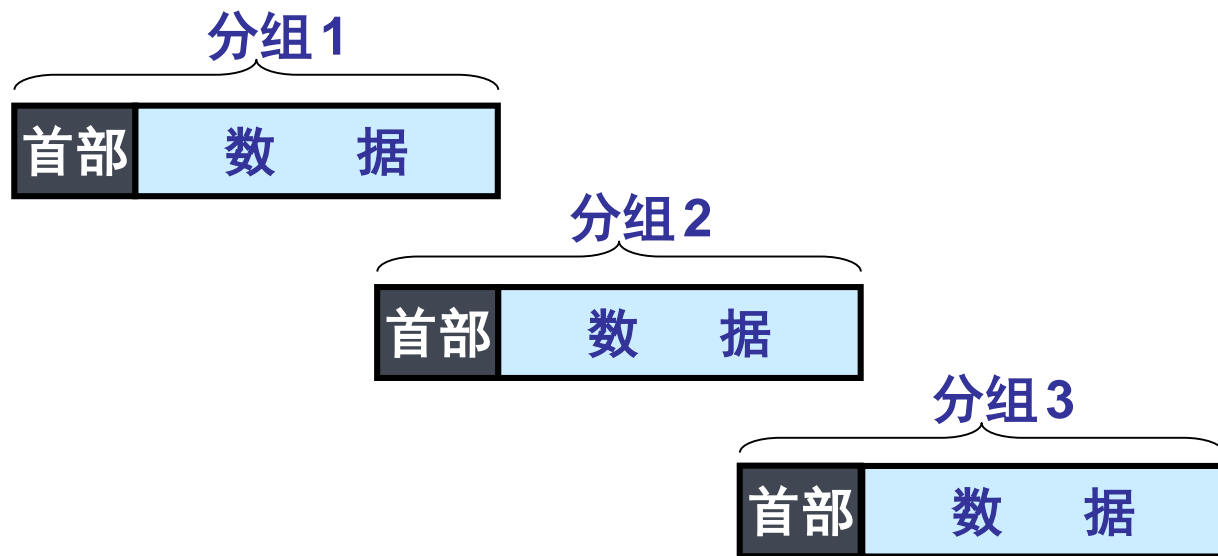
# 分组交换的传输单元

- 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。



## 收到分组后剥去首部

- 接收端收到分组后剥去首部还原成报文。

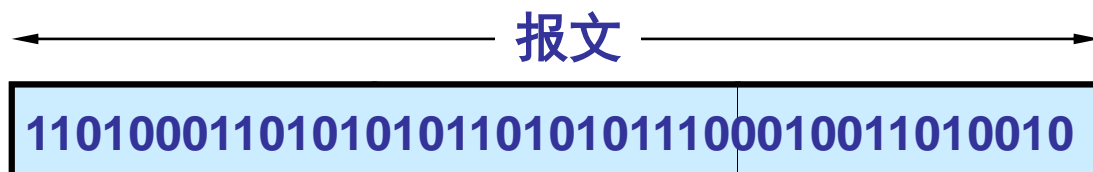


收到的数据



## 最后还原成原来的报文

- 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。



# 报文交换

- 将要发送的数据打成一个包，按存储转发的模式发送
- 缺点：包的长度变化很大，无法在内存预留空间，通常存储在外存储器上，影响了访问的速度



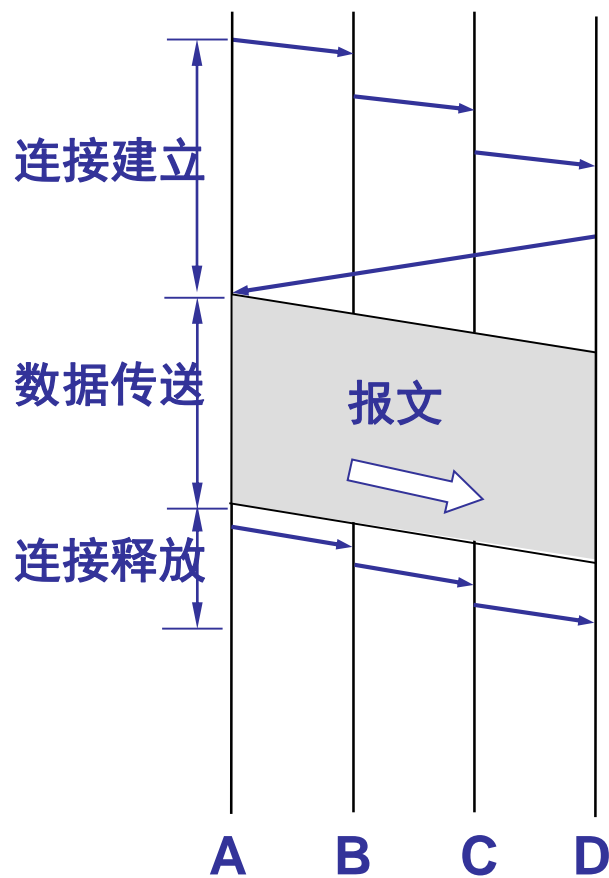
# 分组交换

- 报文长度有个上限，每个报文称为一个分组
- 当发送的信息很长时，将被分为若干个定长的分组
- 每个分组中必须包含目的地址，并采用存储-转发机制
- 每个中间站点必须有缓存，但由于报文大小固定，所以缓存通常在内存中设置
- 接收分组和发送分组的顺序可能不一致，在目的站点需要将某一消息对应的所有分组重组起来恢复成发送的消息

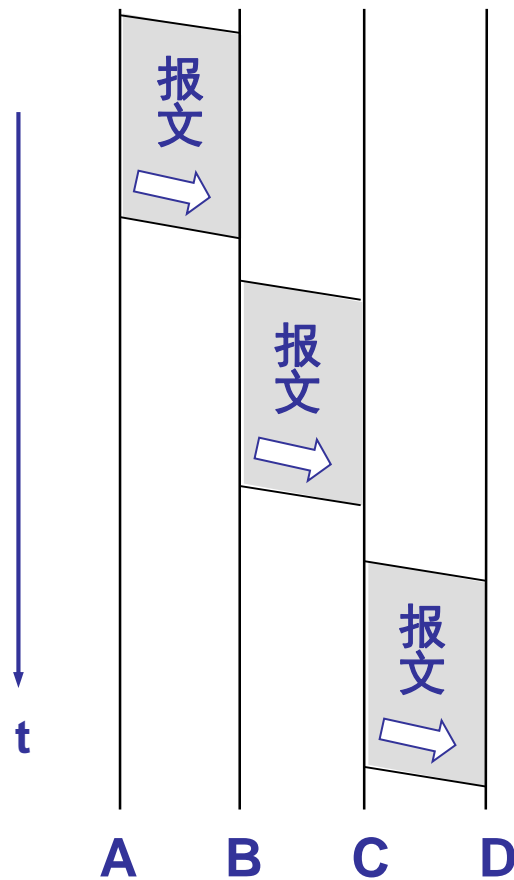


# 三种交换比较

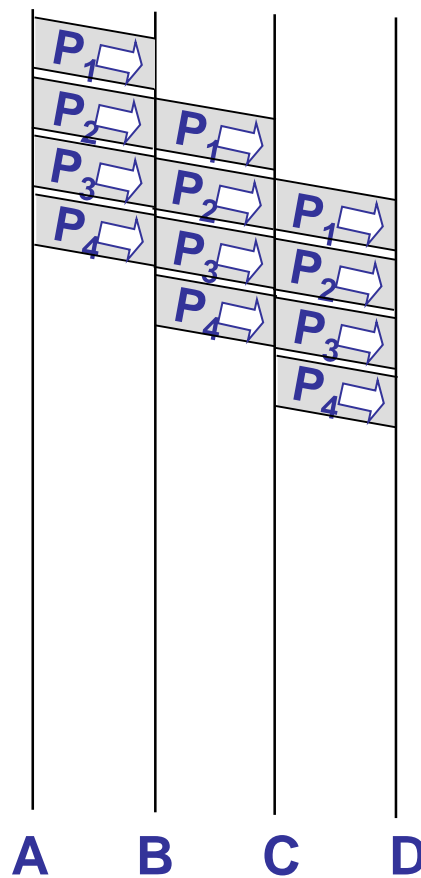
## 电路交换



## 报文交换

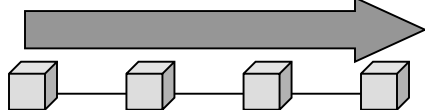


## 分组交换

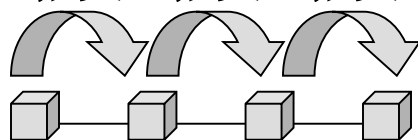


数据传送  
的特点

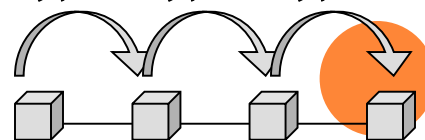
比特流直达终点



报文 报文 报文



分组 分组 分组



存储  
转发

存储  
转发

## 报文交换 VS 分组交换

- 报文交换中，报文存放在外存。分组交换中，分组存放在内存。所以分组转发的速度比报文转发要快。
- 分组交换有重组的问题，报文交换无需考虑





# 电路交换 VS 存储转发

## ○ 电路交换

- 在数据传输前，必须建立端到端的连接
- 一旦某个节点故障，必须重新建立连接
- 连接建立后，数据的传输没有额外的延时，能保证服务质量
- 数据中不必包含地址域，仅需较短的虚电路号
- 数据按序传输，但信道的使用率较低
- 适合长时间传输大批量的数据，如流数据



# 电路交换 VS 存储转发（续）

## ○ 存储转发

- 在数据传输前，不必建立端到端的连接
- 只要下一个节点空闲，即可传输
- 信道的使用率较高
- 数据的传输采用存储转发，延时不可估计
- 数据中必须包含地址域
- 适合传输文本型数据



# 交换方式

- 电路交换
- 存储转发
- 虚电路交换



# 虚电路交换

- 将电路交换和分组交换结合起来
- 传输前先建立连接，即找好通路。信息还是以分组的形式传输。
- 优点
  - 在分组传输时不需要找路径，提高传输速率
  - 分组传输时，占用线路。传输结束后可以供其它连接传输分组。线路利用率高。



# 虚电路交换的过程

## ○ 虚电路连接的建立

传输方发起连接请求，中间节点根据路径信息建立交换表，在交换表内，节点为连接分配一个虚电路号，并与输出端口号相关联，表示用户信息从该端口输入，立即从相关联的输出端口输出到下一节点

## ○ 虚电路连接的传输

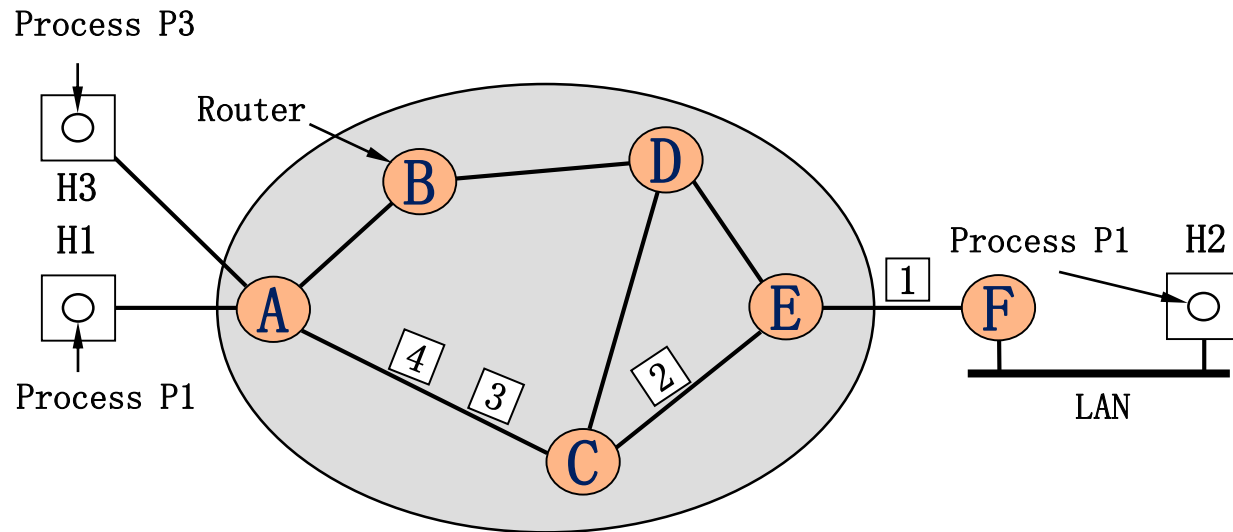
分组中没有目的地址，只有虚电路号，接收分组时只检查其头部，一旦得到其虚电路号，则立即查交换表，转发至适当的端口

## ○ 虚电路连接的拆除

删除中间节点的交换表中有关此链接的信息



# 虚电路子网



H1和H2已建立了1#连接

H3要和H2建立连接只能是2#

A的交换表

H1	1	C	1
H3	1	C	2
入□		出□	

C的交换表

A	1	E	1
A	2	E	2
入□		出□	

E的交换表

C	1	F	1
C	2	F	2
入□		出□	



# 信元交换

- 将分组分成固定长的单元 — 信元，并用虚电路方式交换
- ATM网用这种交换方式



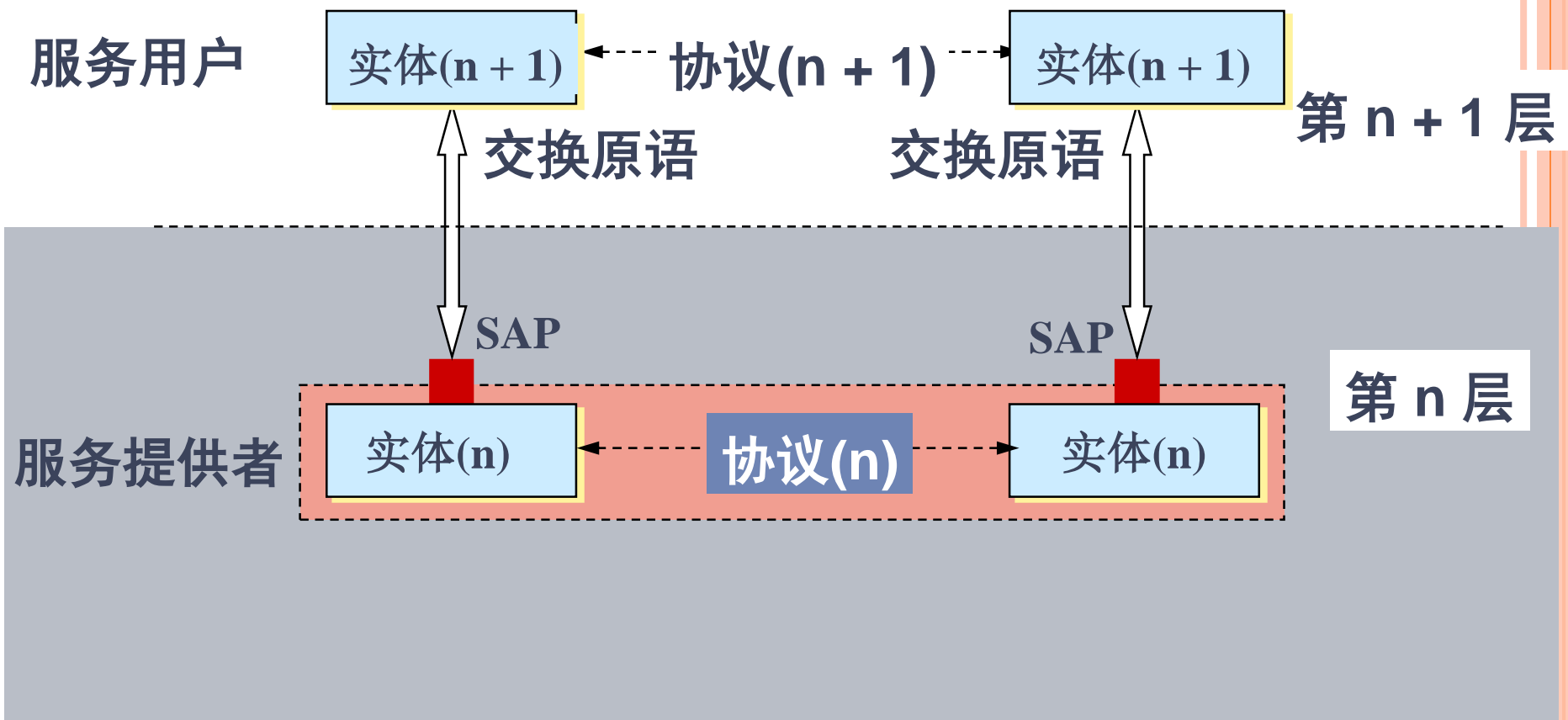
# 几个概念

- **实体**(entity) 表示任何可发送或接收信息的硬件或软件进程。
- 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。
- 同一系统相邻两层的实体进行交互的地方，称为**服务访问点 SAP** (Service Access Point)。





# 实体、协议、服务和访问点

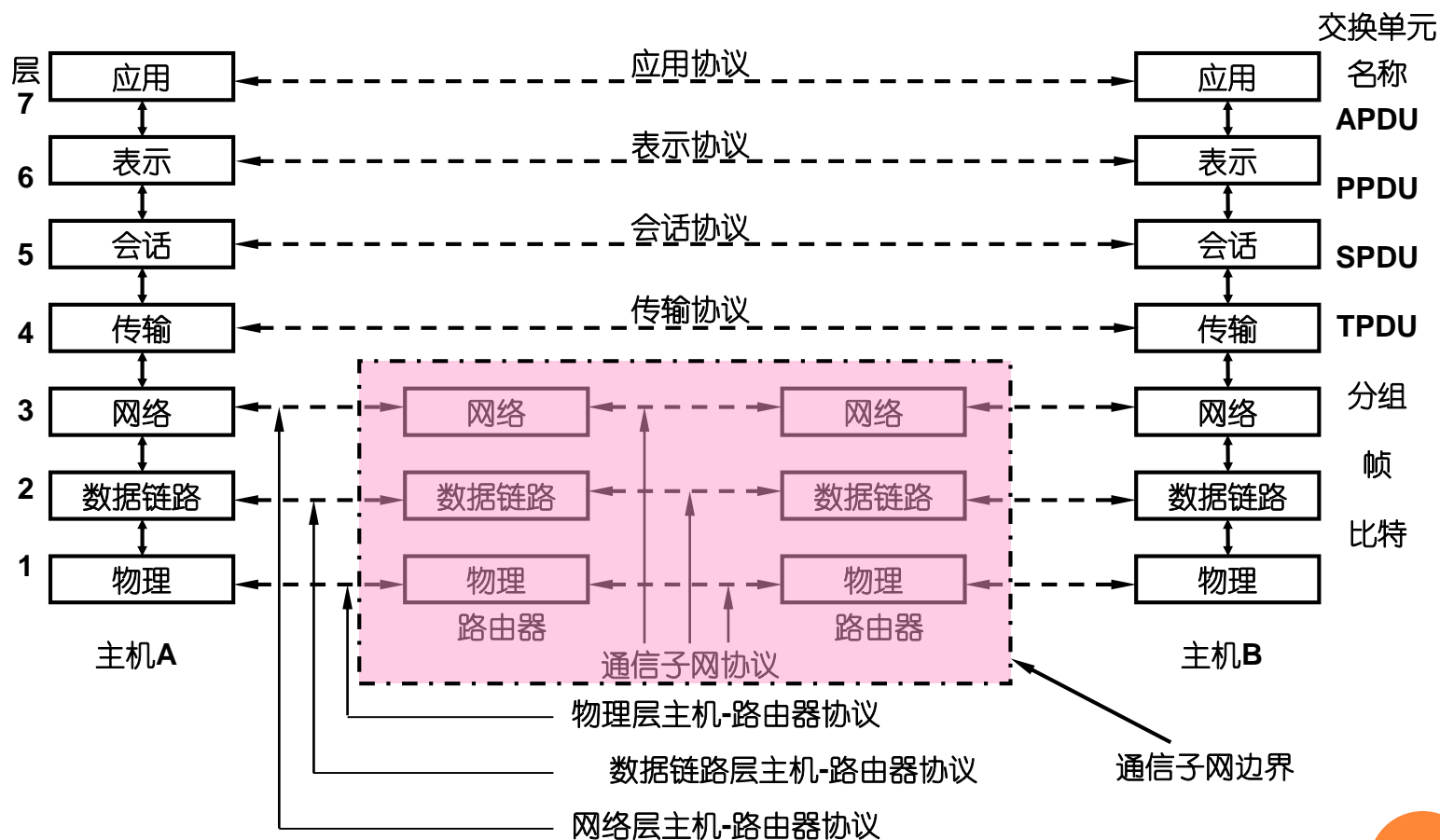


# 1.4 参考模型

- ISO/OSI参考模型
- TCP/IP参考模型
- 本课程的网络模型



# ISO/OSI 参考模型



OSI参考模型

# 物理层 (PHYSICAL LAYER)

- 与传输媒体的接口，完成传输媒体上的信号与二进制数据间的转换
- 物理接口上发送或接收的是一串以某种规则表示的二进制的数据
- 物理层定义的是接口的机械特性、电气特性、功能和过程特性等
- 例如：插头、插座的几何尺寸，每根引脚的功能定义，逻辑[0]和[1]的电平定义，信号宽带定义



# 数据链路层 (DATA LINK LAYER)

- 提供**点到点**的可靠传输，通常需把数据分成帧，并且保证帧的正确发送和接收
  - 识别帧的标志
  - 帧的发送和接收，需校验、确认
  - 发送方在超时或收到否定性确认后，要重发
  - 重复帧要丢弃
- 在共享网络中，需解决信道共享问题等



## 网络层 (NETWORK LAYER)

- 提供主机到主机的通路，其间可能存在多条通路，网络层将实现的功能包括：
  - 选择路由
  - 拥塞 (congestion ) 控制
  - 分段和重组
  - 服务质量等等



# 传输层（TRANSPORT LAYER）

- 提供**端到端**的通路，应用到应用的通路
  - 传输层将把高层要求传输的数据分成若干个报文
  - 报文与帧不一样，帧只有帧标志（起始标志、结束标志），而报文有信源和信宿的地址及端口、报文的顺序号、确认号等等
  - 低三层的通信对象通常是路由器，传输层是端到端的，必须考虑该报文怎样才能从源端正确地传输到目的端，而源端和目的端通常是主机



## 会话层 (SESSION LAYER)

- 建立有关会话的机制，或双向对话，或双向对话时要有切换等如：说的一方应说一段就听一下对方的反应，因为，可能线路已断

## 表示层 (PRESENTATION LAYER)

- 表示层关心的是语法和语义
- 对相关的数据的描述采用抽象的定义，如浮点数都用科学表示法
  - 相关数据的表示法转换
  - 抽象数据结构的转换





# 应用层（APPLICATION LAYER）

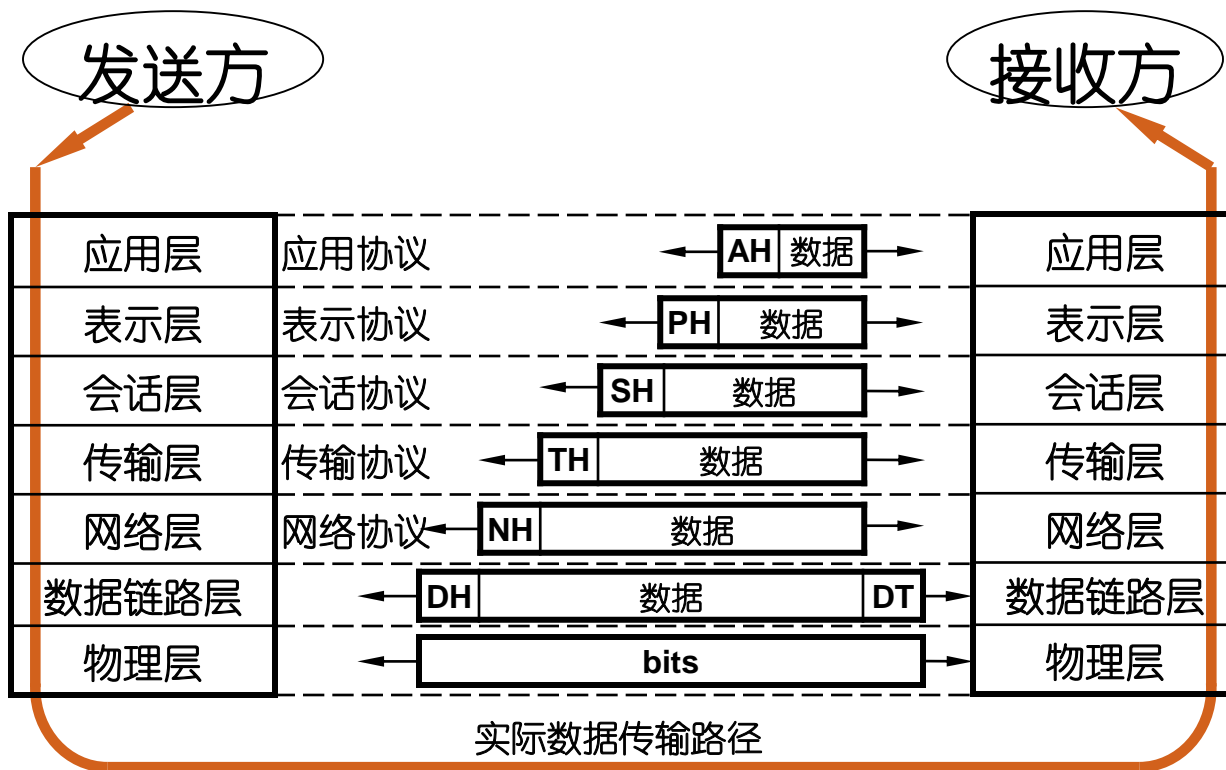
- 包括用户各种需要的不同协议

例如：文件的下载上传，多媒体传输等

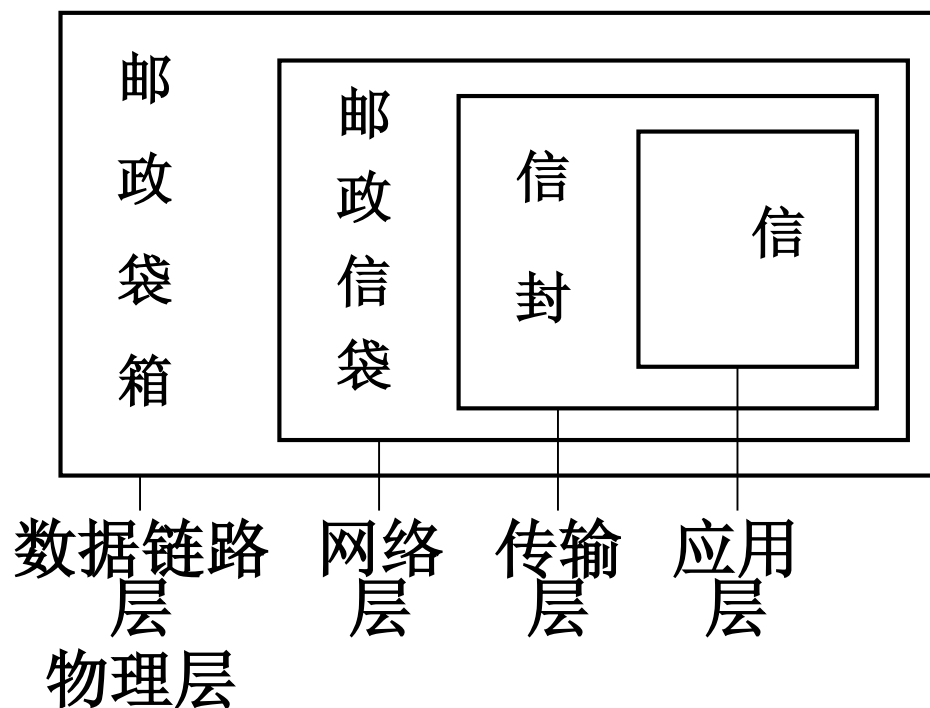
- 常见的包括HTTP，FTP等



# OSI模型的数据传输

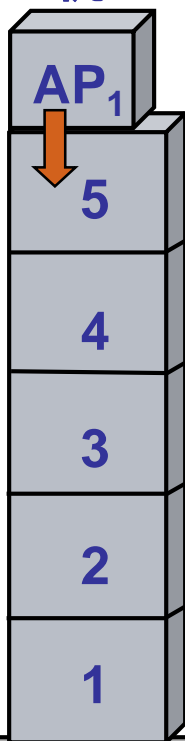


举例：某人给他的朋友写一封信



## 主机 1 向主机 2 发送数据

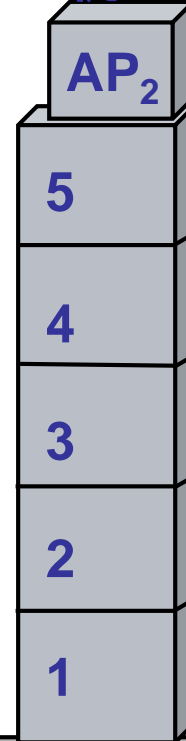
主机 1



应用进程数据先传送到应用层

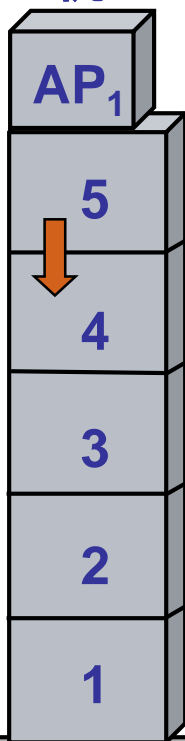
加上应用层首部，成为应用层 PDU

主机 2



## 主机 1 向主机 2 发送数据

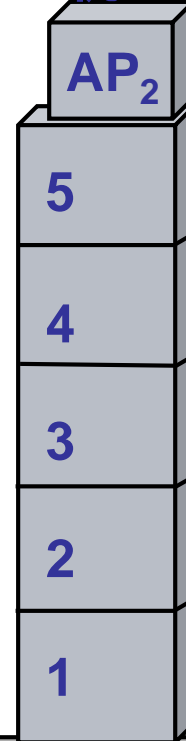
主机 1



应用层 PDU 再传送到传输层

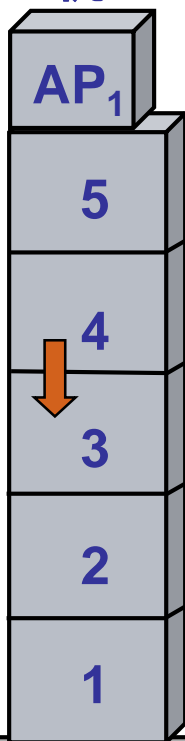
加上传输层首部，成为传输层报文

主机 2



## 主机 1 向主机 2 发送数据

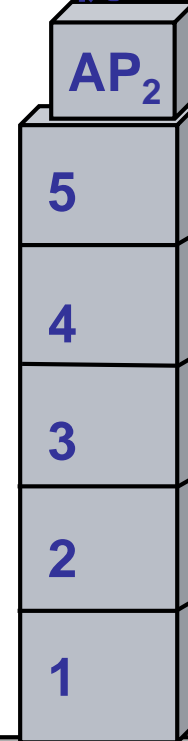
主机 1



传输层报文再传送到网络层

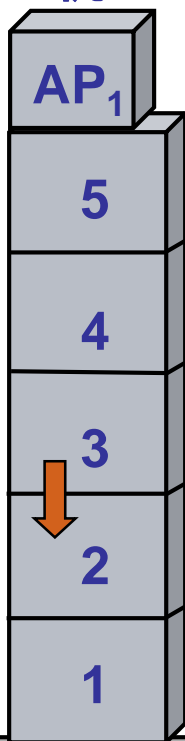
加上网络层首部，成为 IP 数据报（或分组）

主机 2



## 主机 1 向主机 2 发送数据

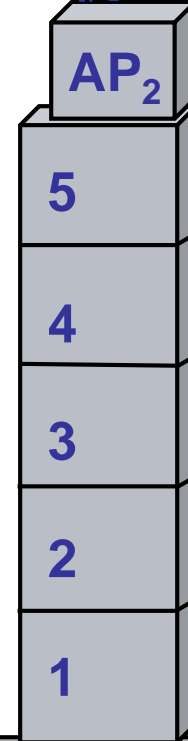
主机 1



IP 数据报再传送到数据链路层

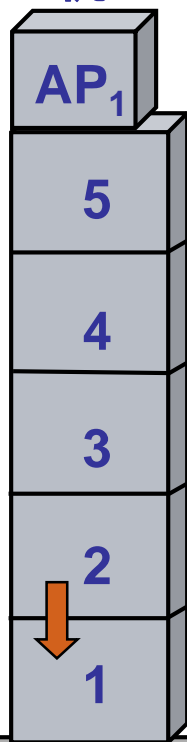
加上链路层首部和尾部，成为数据链路层帧

主机 2



# 主机 1 向主机 2 发送数据

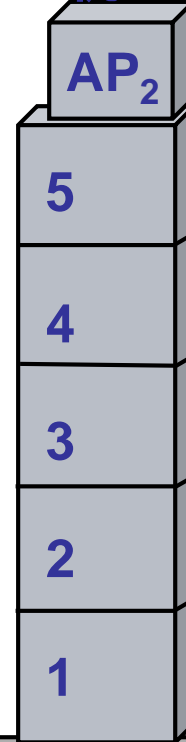
主机 1



数据链路层帧再传送到物理层

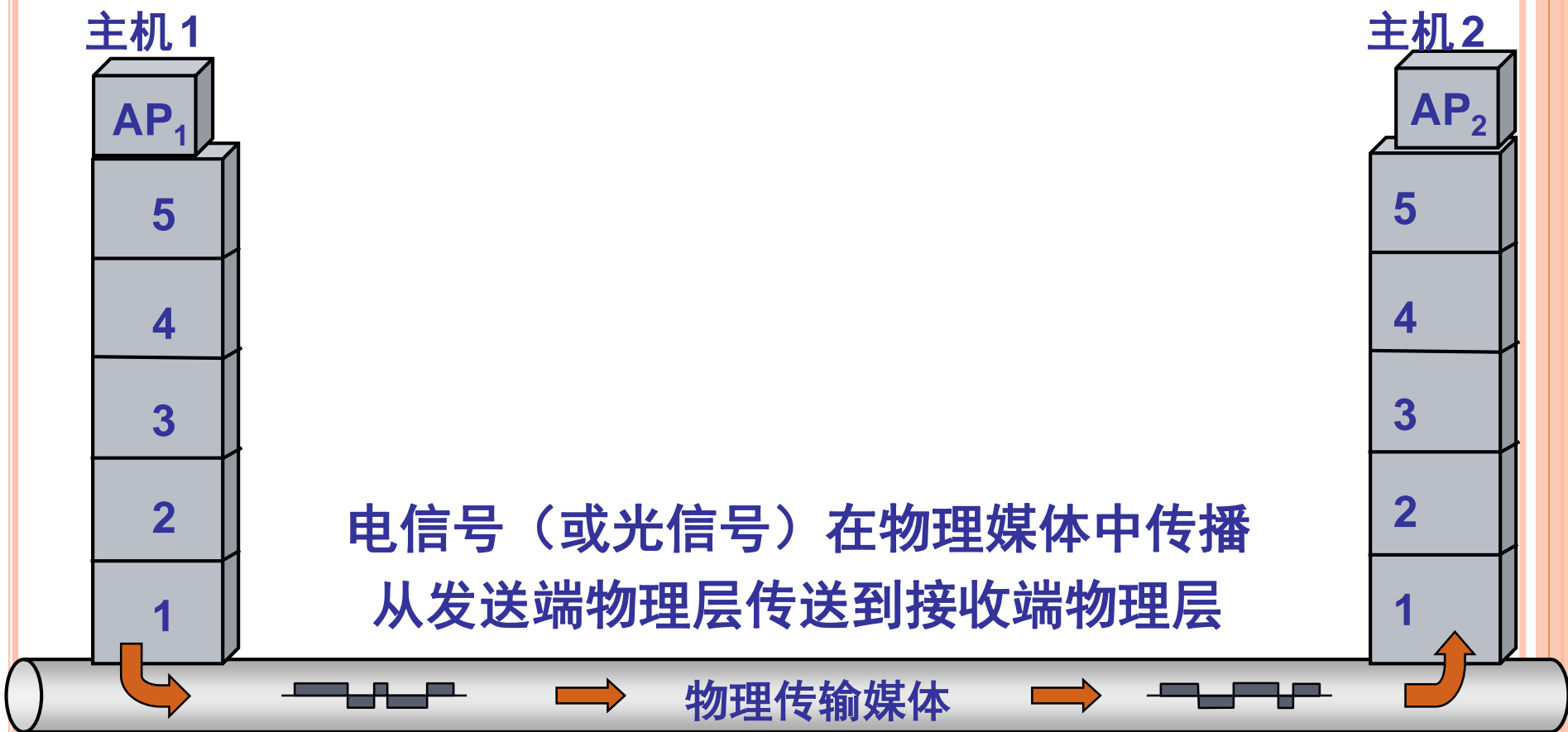
最下面的物理层把比特流传送到物理媒体

主机 2



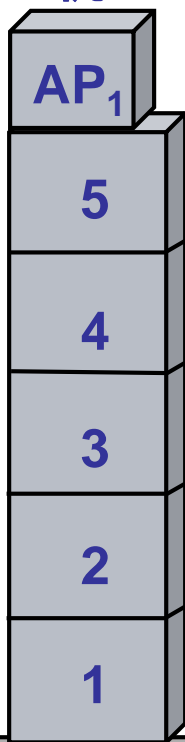


## 主机 1 向主机 2 发送数据

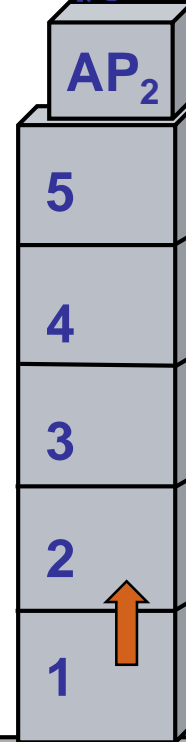


## 主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



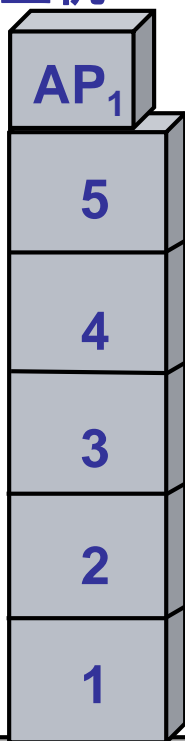
主机 2



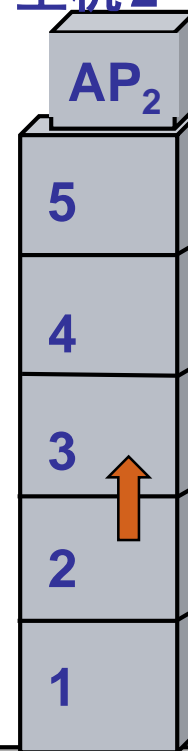
物理层接收到比特流，上交给数据链路层

## 主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



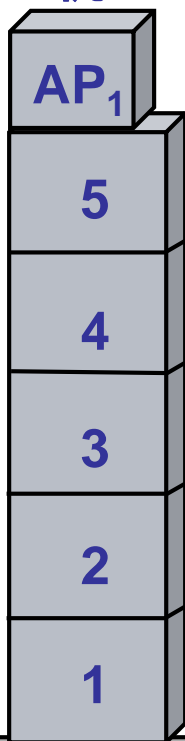
主机 2



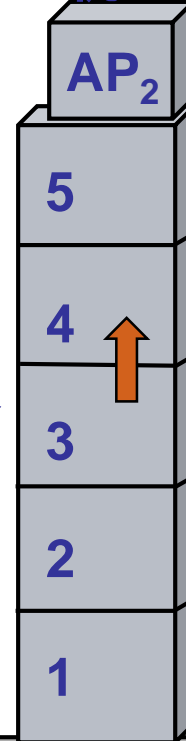
数据链路层剥去帧首部和帧尾部  
取出数据部分，上交给网络层

# 主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



主机 2

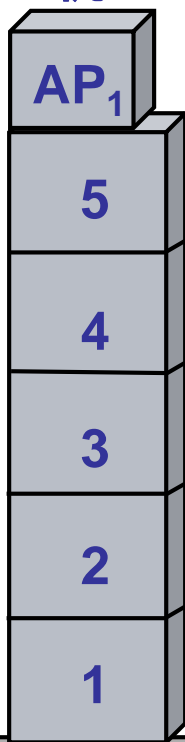


网络层剥去首部，取出数据部分  
上交给传输层

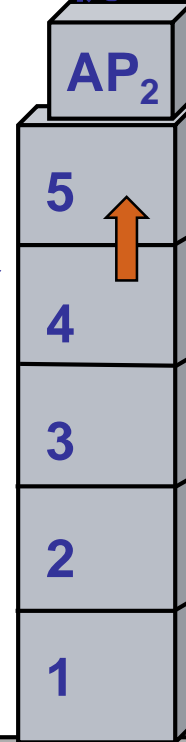


## 主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



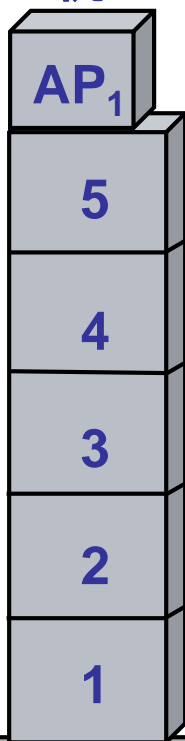
主机 2



传输层剥去首部，取出数据部分  
上交给应用层

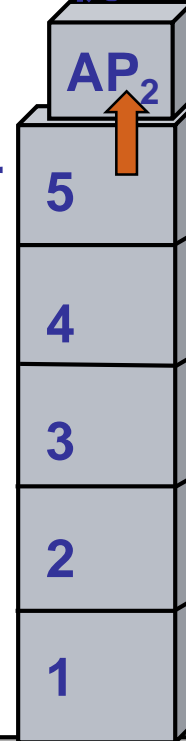
## 主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1

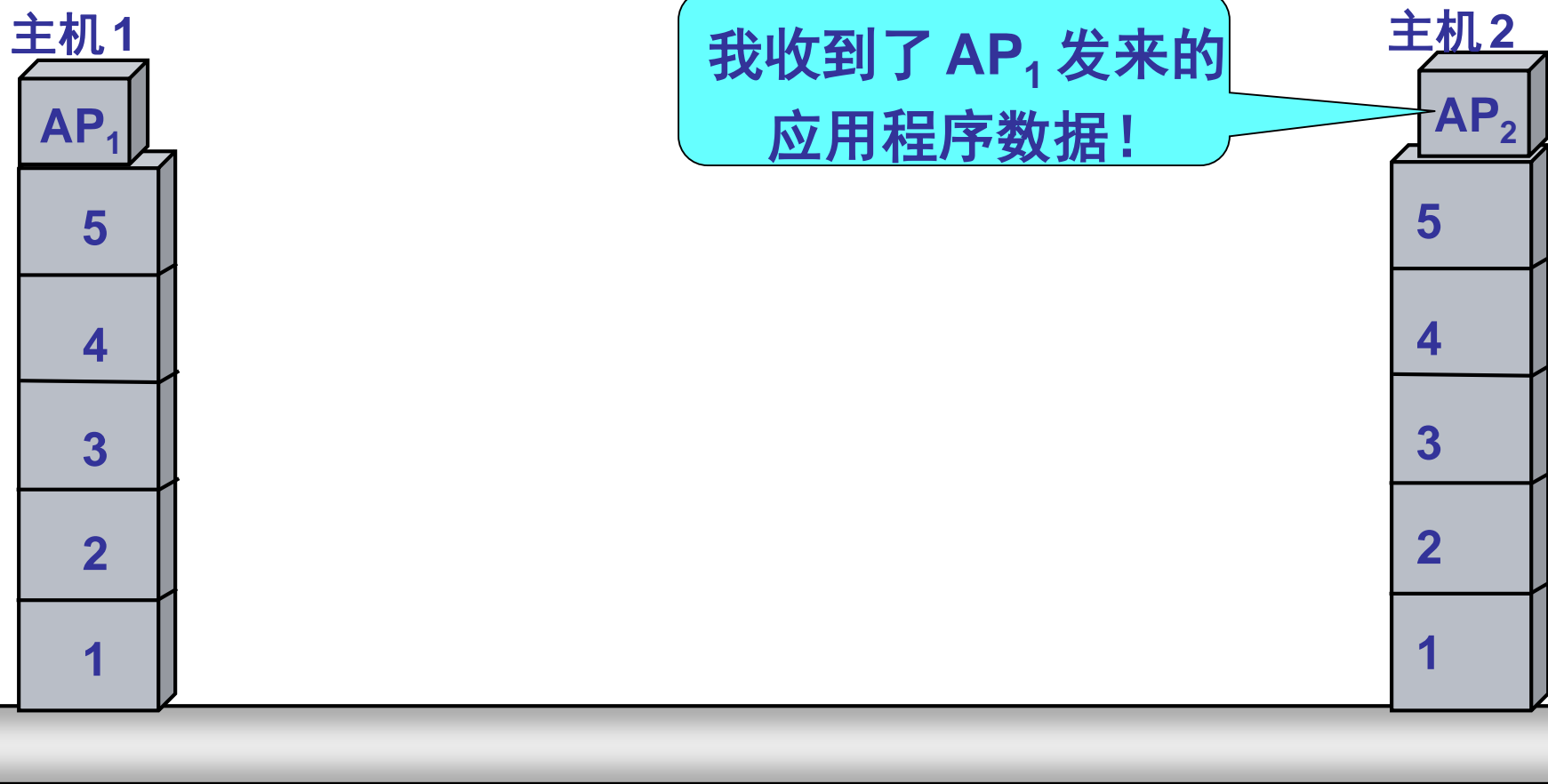


应用层剥去首部，取出应用程序数据  
上交给应用进程

主机 2

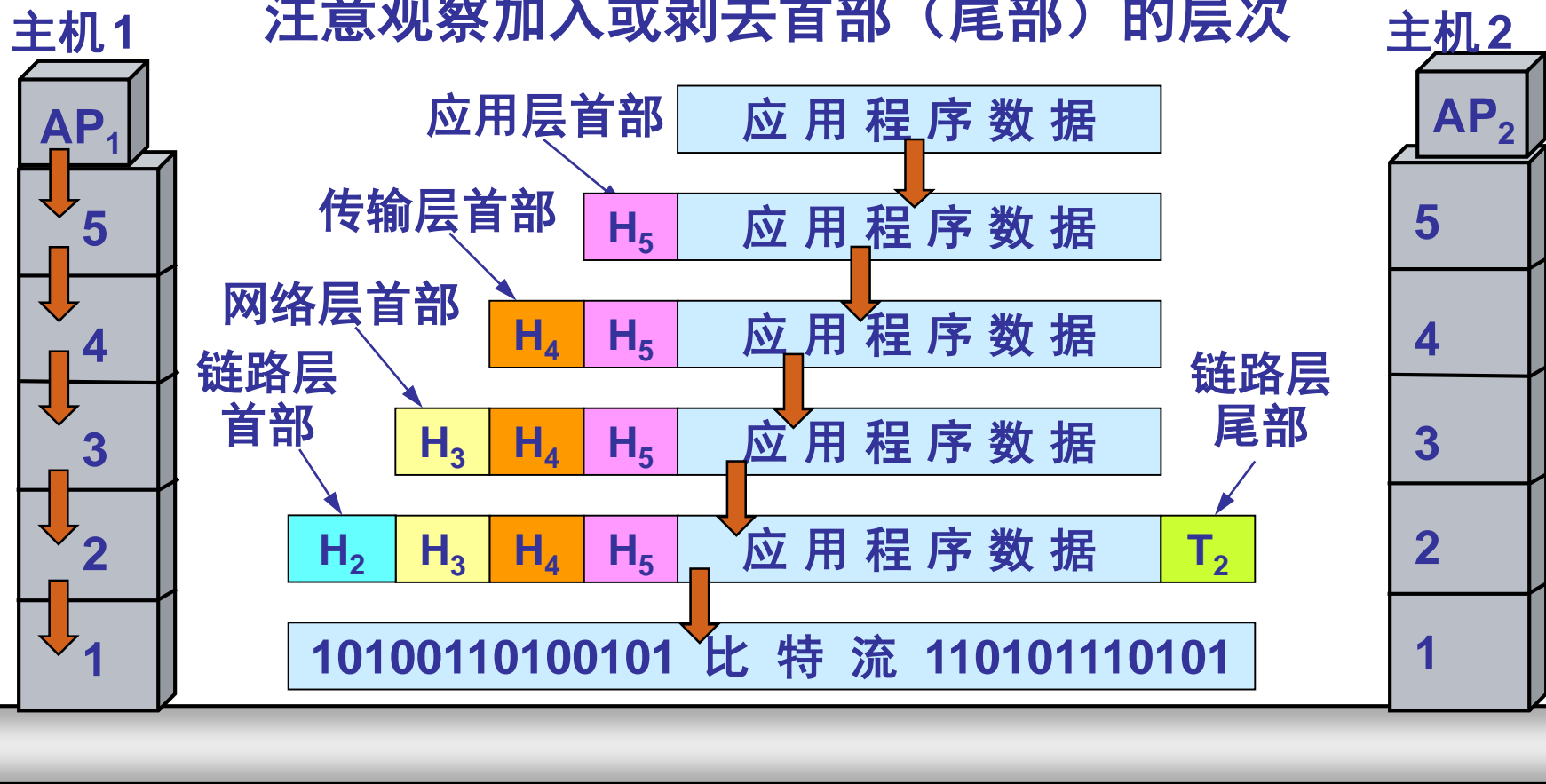


## 主机 1 向主机 2 发送数据



# 主机 1 向主机 2 发送数据

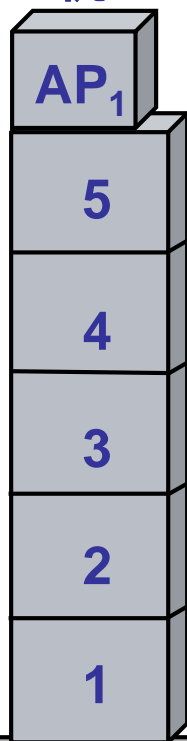
注意观察加入或剥去首部（尾部）的层次



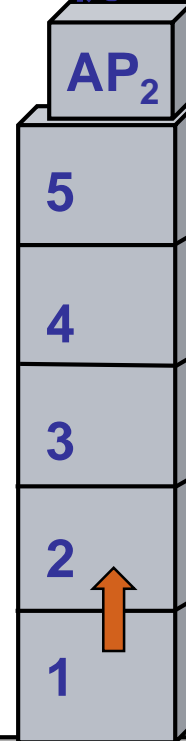


# 主机 1 向主机 2 发送数据

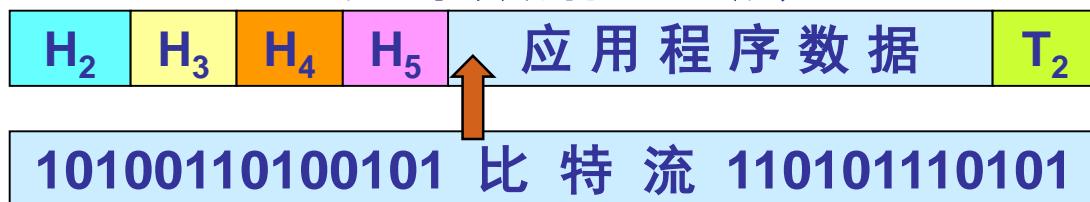
主机 1



主机 2

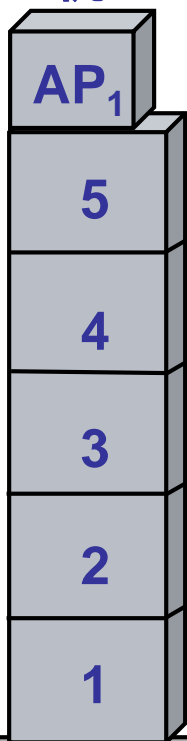


计算机 2 的物理层收到比特流后  
交给数据链路层

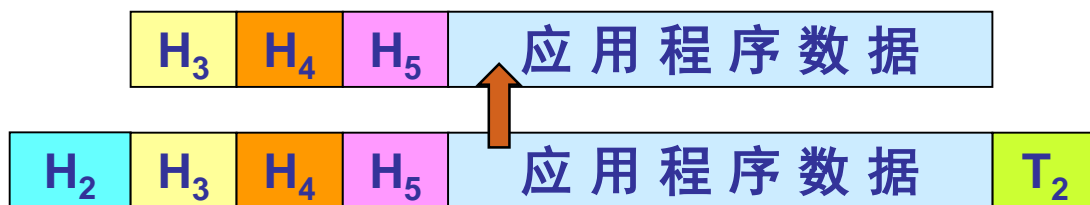


# 主机 1 向主机 2 发送数据

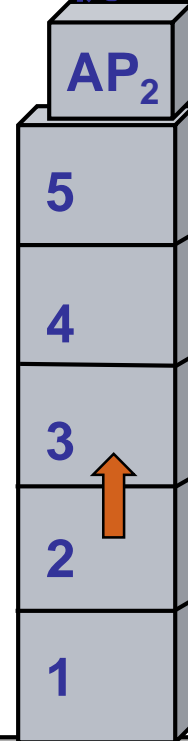
主机 1



数据链路层剥去帧首部和帧尾部后  
把帧的数据部分交给网络层

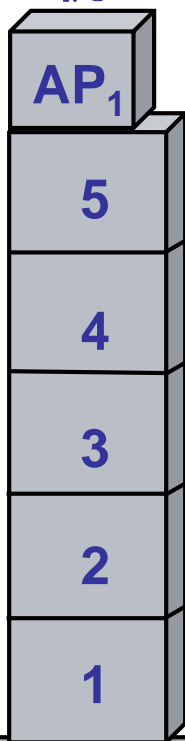


主机 2

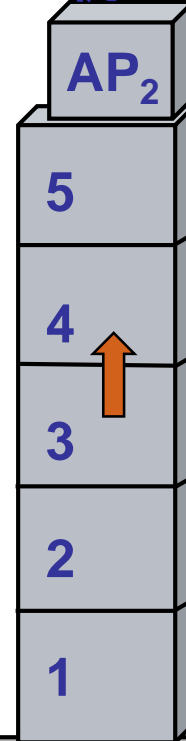


# 主机 1 向主机 2 发送数据

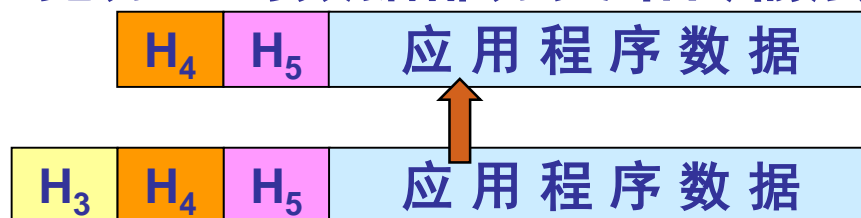
主机 1



主机 2

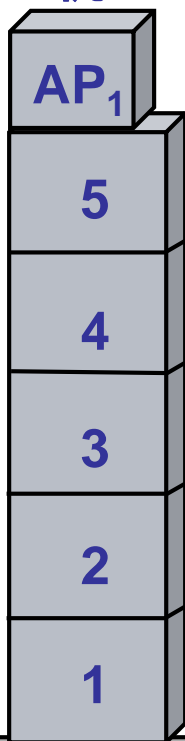


网络层剥去分组首部后  
把分组的数据部分交给传输层

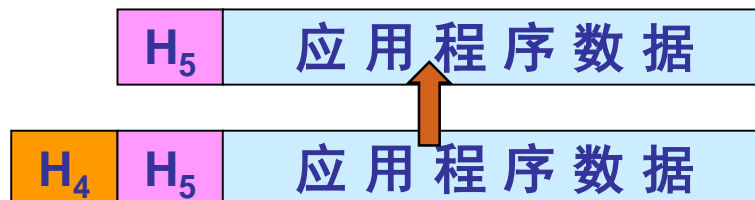


# 主机 1 向主机 2 发送数据

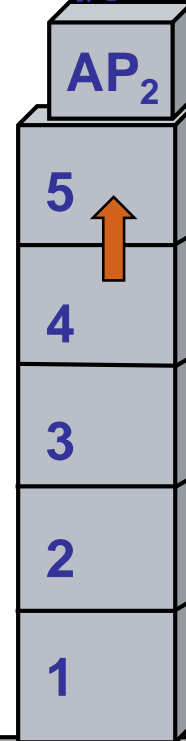
主机 1



传输层剥去报文首部后  
把报文的数据部分交给应用层

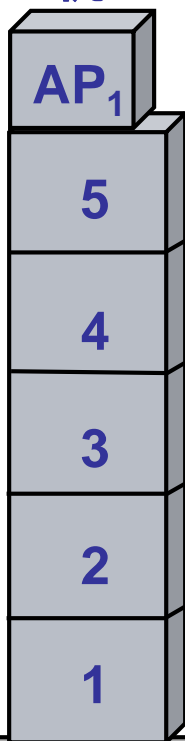


主机 2



## 主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



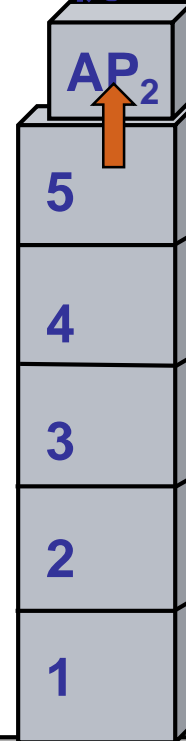
应用程序数据

$H_5$

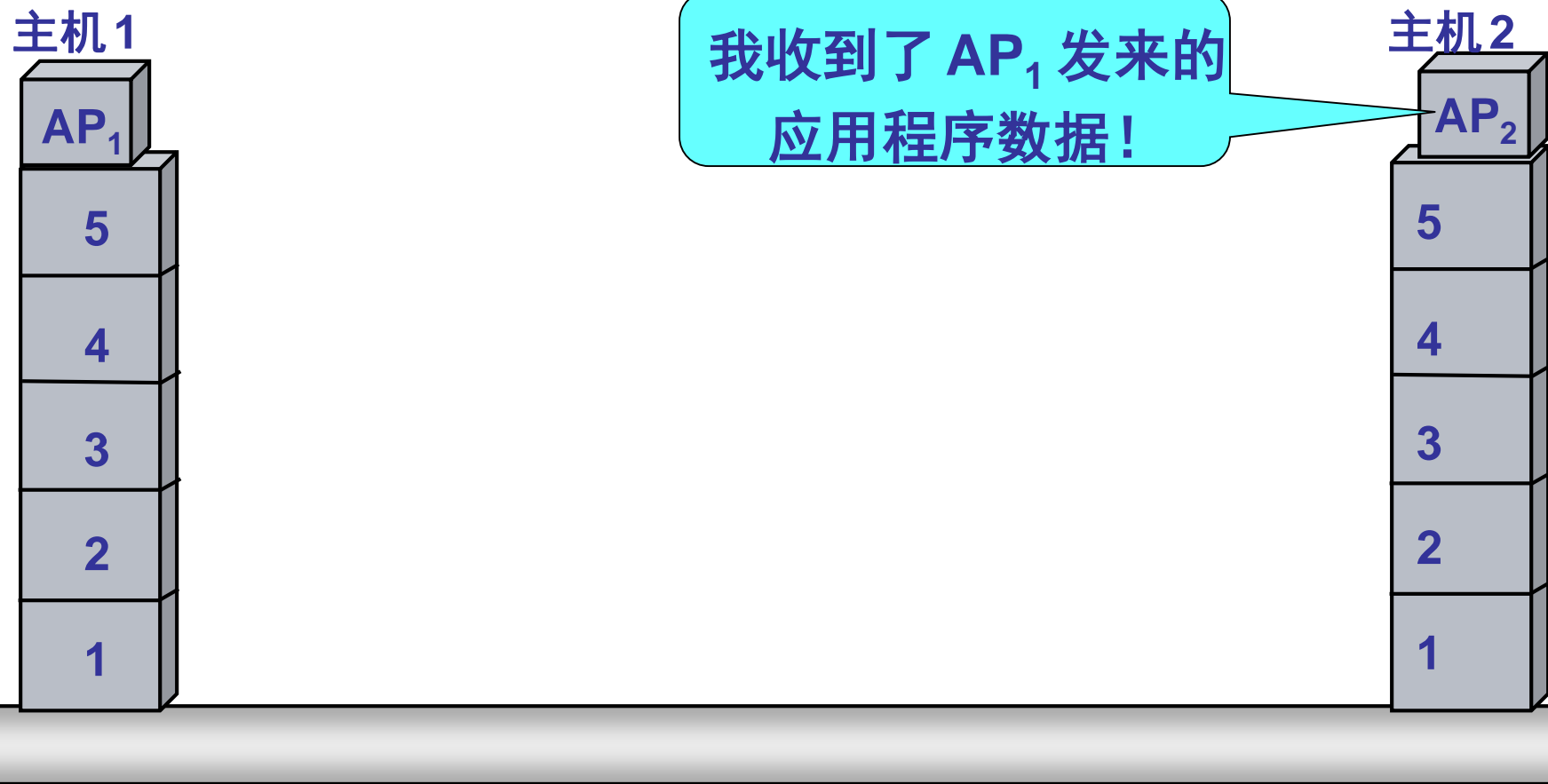
应用程序数据

应用层剥去应用层 PDU 首部后  
把应用程序数据交给应用进程

主机 2



## 主机 1 向主机 2 发送数据

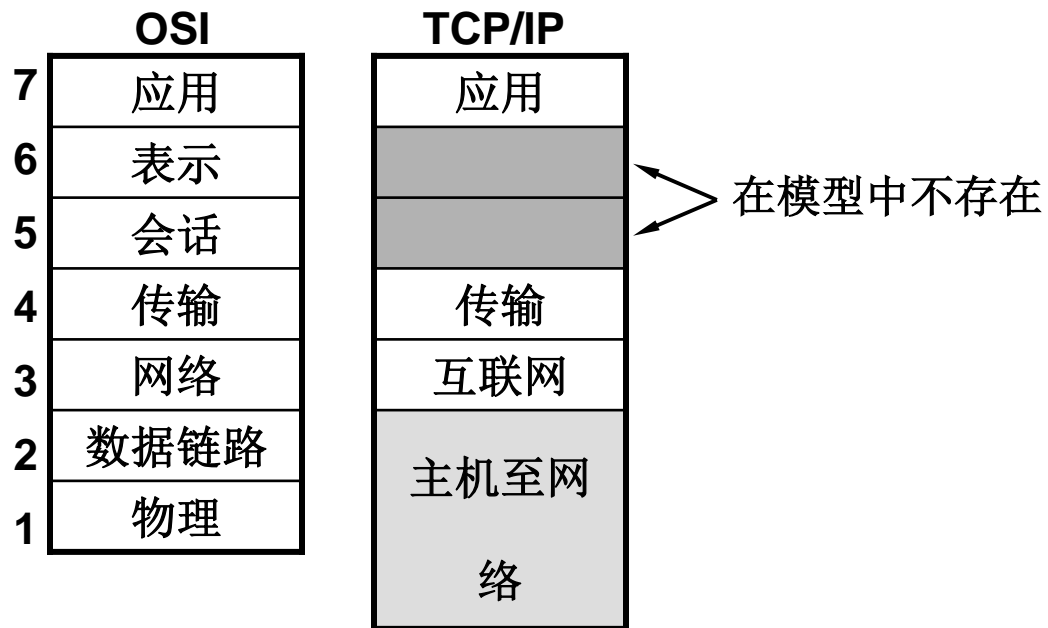


## 1.4 参考模型

- ISO/OSI参考模型
- TCP/IP参考模型
- 本课程的网络模型



# TCP/IP 参考模型



TCP/IP 参考模型





# 互联网层（INTERNET LAYER）

- 这里的互联网是基于无连接的分组交换网络
- 互联网层定义了正式的分组格式和协议，即IP协议（internet protocol），每个IP包的路由问题是互联网层要解决的问题
- 互联网层与OSI中的网络层相对应



# 传输层 (TRANSPORT LAYER)

- 位于互联网层的上层，与OSI中的传输层相对应
- 其功能是使源端和目的端主机的对等实体进行对话
- 定义了两个端到端的协议：
- 传输控制协议TCP (transmission control protocol)
- 用户数据报协议UDP (user datagram protocol)



# 应用层（APPLICATION LAYER）

- TCP/IP模型的应用层包括所有的高层协议（实际上，OSI模型中的会话层和表示层在很多应用中是没用的）
- 应用层常用协议：
  - TELNET：标准终端仿真协议
  - FTP（File Transfer Protocol）：文件传输协议
  - SMTP（Simple Mail Transfer Protocol）：电子邮件协议
  - DNS（Domain Name Service）：域名系统服务



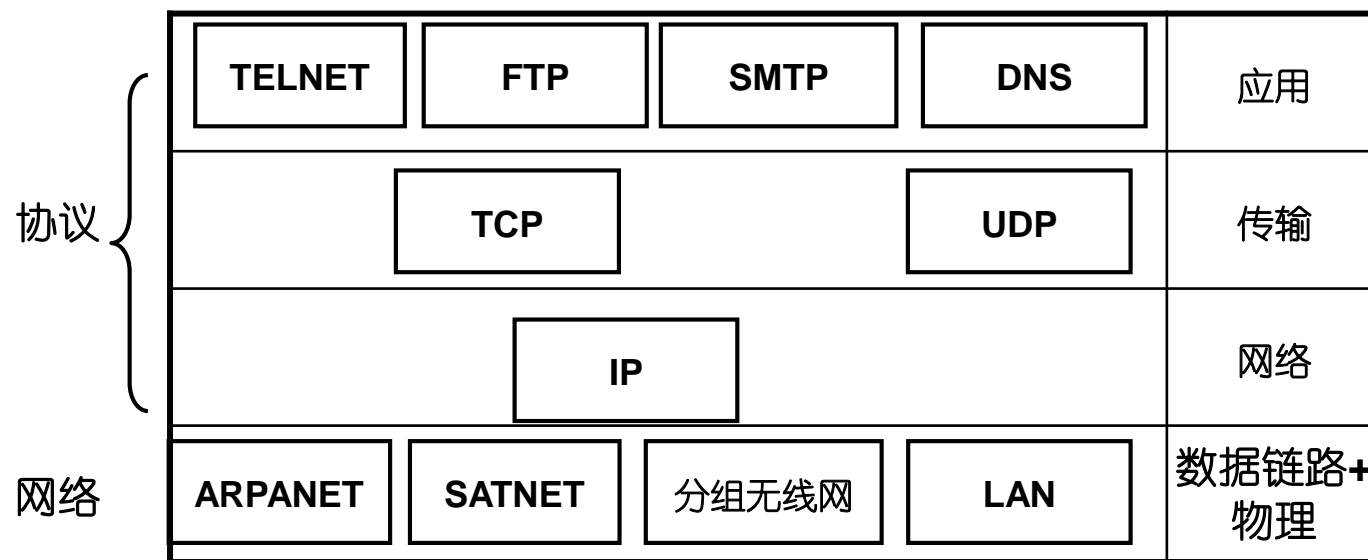
# 主机至网络层

- 在互联网层以下，TCP/IP参考模型没有定义，认为互联网是网络的互联，至于主机如何接入网络不是TCP/IP模型所需要考虑的问题
- TCP/IP模型面向的是网络，而不是主机



# TCP/IP模型中的协议与网络

(OSI) 层名



TCP/IP模型中的协议和网络



# TCP/IP协议簇

TCP/IP协议是一组协议的总称，包括：

- IP层（即互联网层）：

IP、ICMP、ARP、RARP、OSPF... ..

- TCP层（即传输层）：

TCP、UDP

- 应用层：

FTP、SMTP、SNMP、TELNET、HTTP、DNS... ..



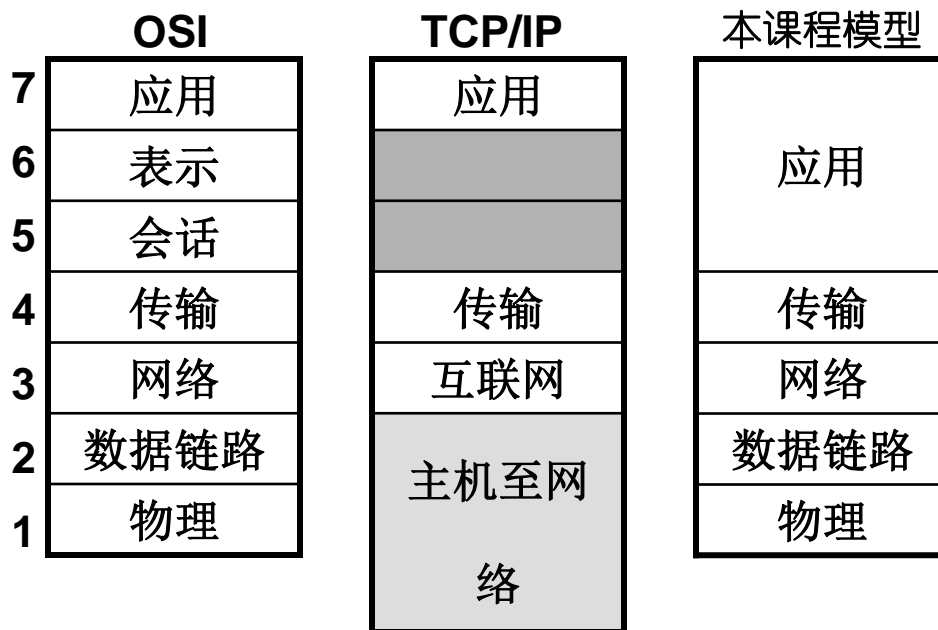
# 1.4 参考模型

- ISO/OSI参考模型
- TCP/IP参考模型
- 本课程的网络模型



# 本课程的网络模型

- 结合ISO/OSI七层模型和TCP/IP四层模型的特点的五层网络模型





# OSI模型的失败

- 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。



# 1.5 EXAMPLE NETWORKS

- The Internet
- 3G mobile phone networks
- Wireless LANs
- RFID and sensor networks



# 因特网发展的三个阶段

- 第一阶段是从单个网络 ARPANET 向互联网发展的过程。
- ARPA是美国高级研究计划署（Advanced Research Project Agency）的简称
- 1969年 第一个分组交换网ARPANET
- 1983 年 TCP/IP 协议成为 ARPANET 的标准协议。成为因特网的诞生时间。

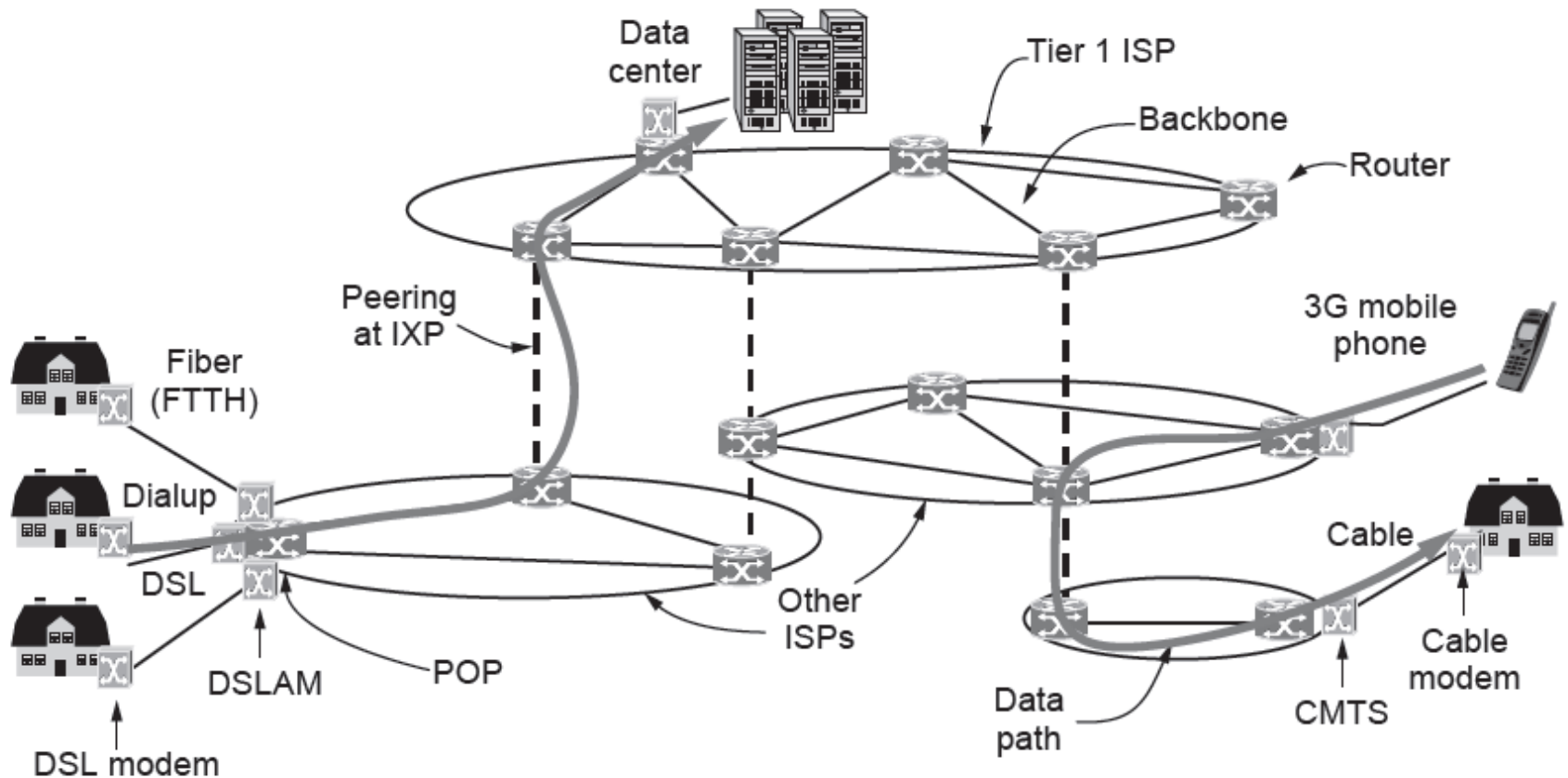


# 因特网发展的三个阶段

- 第二阶段的特点是建成了三级结构的因特网NSFNET，分为主干网、地区网和校园网（或企业网）。
- 因特网的主机数量、传输速度大大提高
- 第三阶段的特点是逐渐形成了多层次 ISP 结构的因特网。
- 出现了 ISP 。

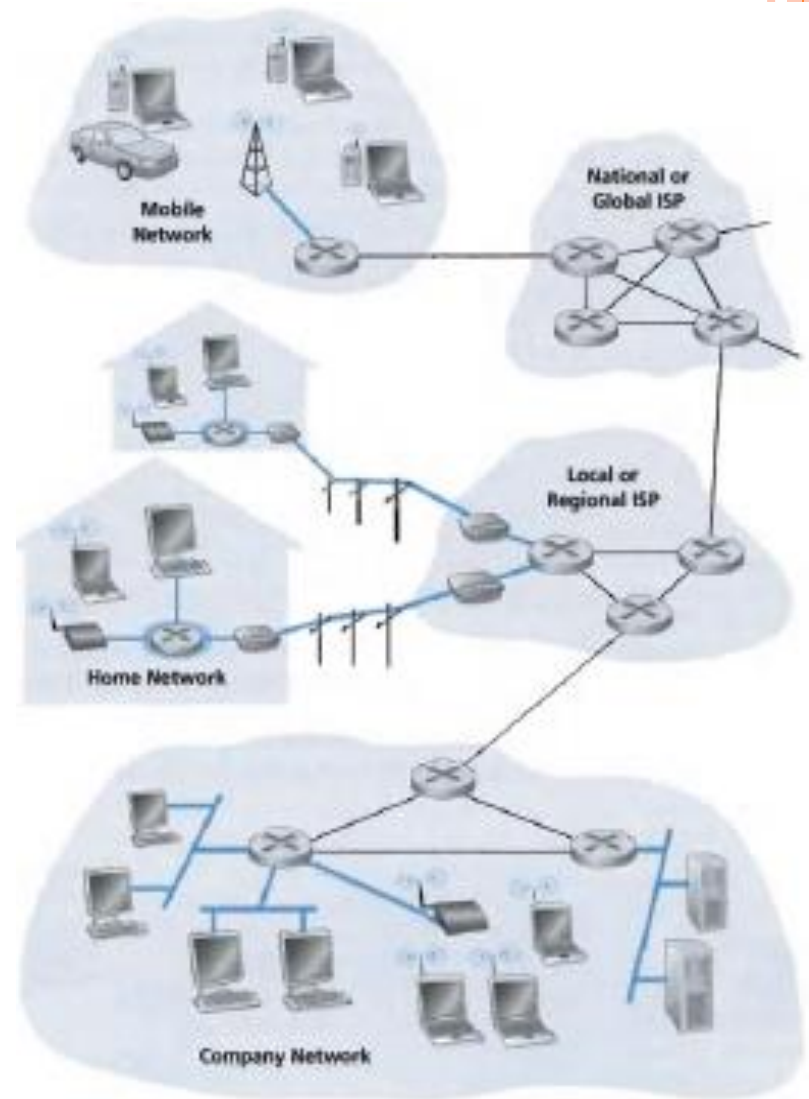


### 1.5.1 因特网(1)



## 1.5.1 因特网 (2)

- **Access network** is the physical links that connect an end system to the edge router
- The technology includes
  - ADSL
  - Ethernet
  - FTTH
  - WiFi
  - WiMAX
  - Mobile communication



# 1. 5. 1 因特网 (3)

- The modern Internet is more complex (1)
  - ISP networks serve as the Internet backbone
  - ISPs connect or peer to exchange traffic at IXPs
  - Within each network routers switch packets
  - Between networks, traffic exchange is set by business agreements



## 1.5.1 因特网 (4)

- The modern Internet is more complex (2)
  - Customers connect at the edge by many means
    - Cable, DSL, Fiber-to-the-Home, 3G/4G wireless, dialup
  - Data centers concentrate many servers ( “the cloud” )
  - Most traffic is content from data centers (esp. video)
  - The architecture continues to evolve





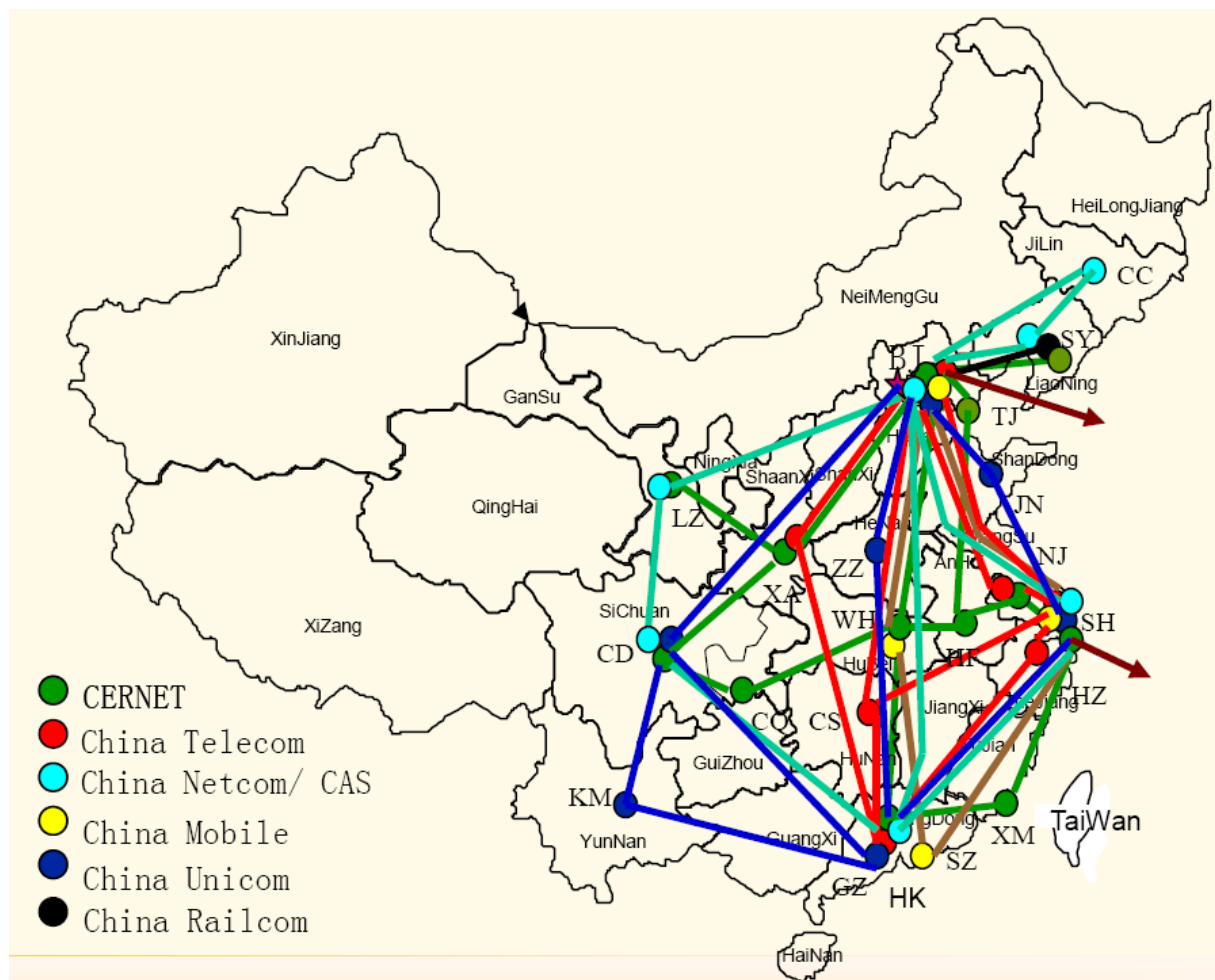
## 1.5.1 因特网 (5)

- ICANN (The Internet Corporation for Assigned Names and Numbers) announced ‘*Available Pool of unallocated IPv4 Internet Addresses Now Completely Emptied*’ in Feb. 3, 2011
- US, EU (European Union), and Japan have scheduled for IPv4 to convert into IPv6



## 1.5.1 因特网 (6)

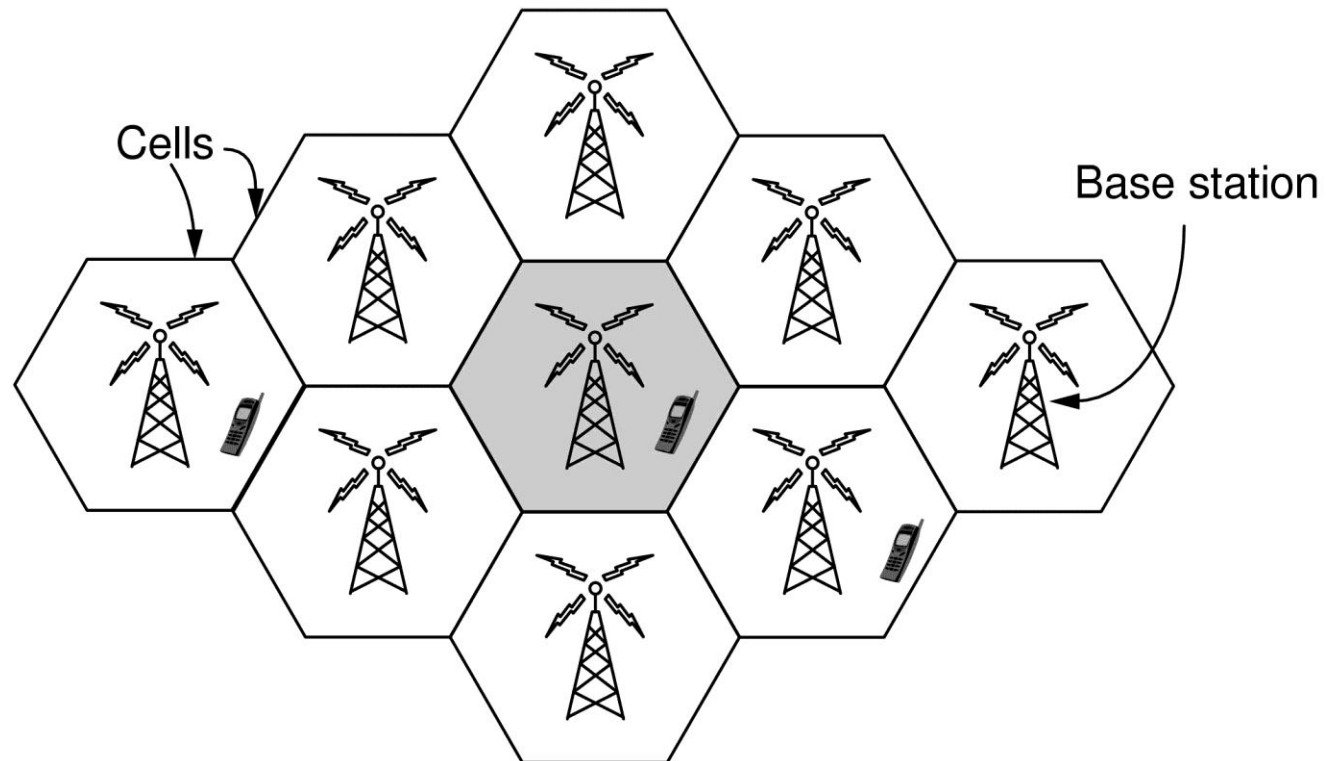
### ○ China's Next Generation Internet (CNGI)



Source: 邬贺铨, 《中国下一代互联网的研究和CNGI项目》, 2010.3.9

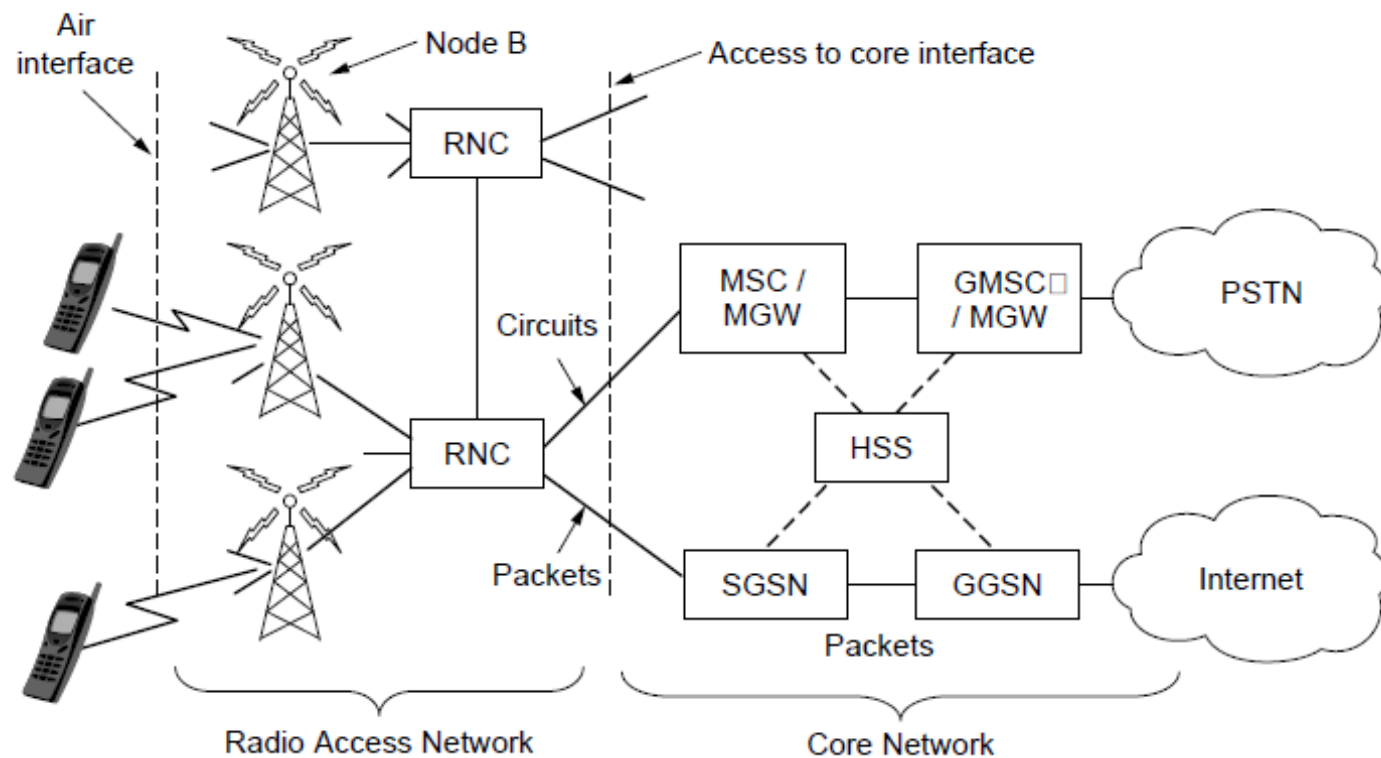
## 1.5.2 3G MOBILE PHONE NETWORKS (1)

- 3G network is based on spatial cells; each cell provides wireless service to mobiles within it via a base station



## 1.5.2 3G MOBILE PHONE NETWORKS (2)

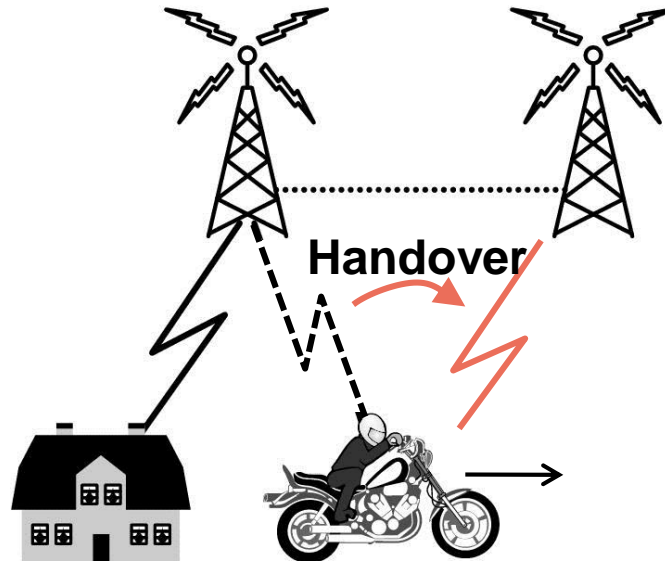
- Base stations connect to the core network to find other mobiles and send data to the phone network and Internet



**Architecture of UMTS 3G network**

## 1.5.2 3G MOBILE PHONE NETWORKS (3)

- As mobiles move, base stations hand them off from one cell to the next, and the network tracks their location
  - Soft handover vs. hard handover



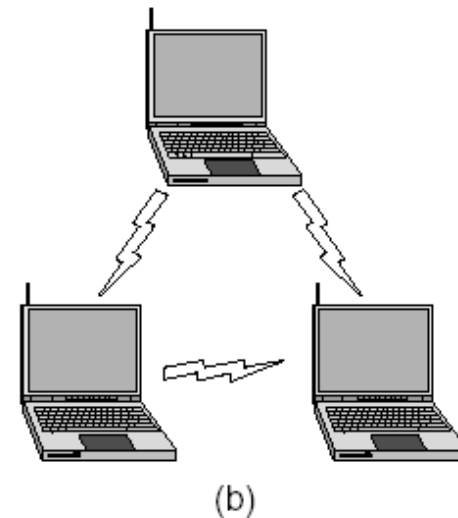
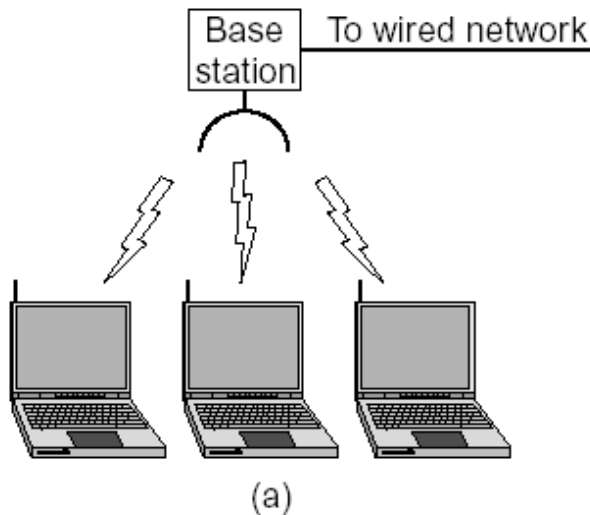
## 1.5.2 3G MOBILE PHONE NETWORKS (4)

- Security
  - SIM (Subscriber Identity Module) card
    - Authentication
    - Cryptographic keys on the chip are used to encrypt transmissions
    - Encryption cell phone
- 4G and WiMAX



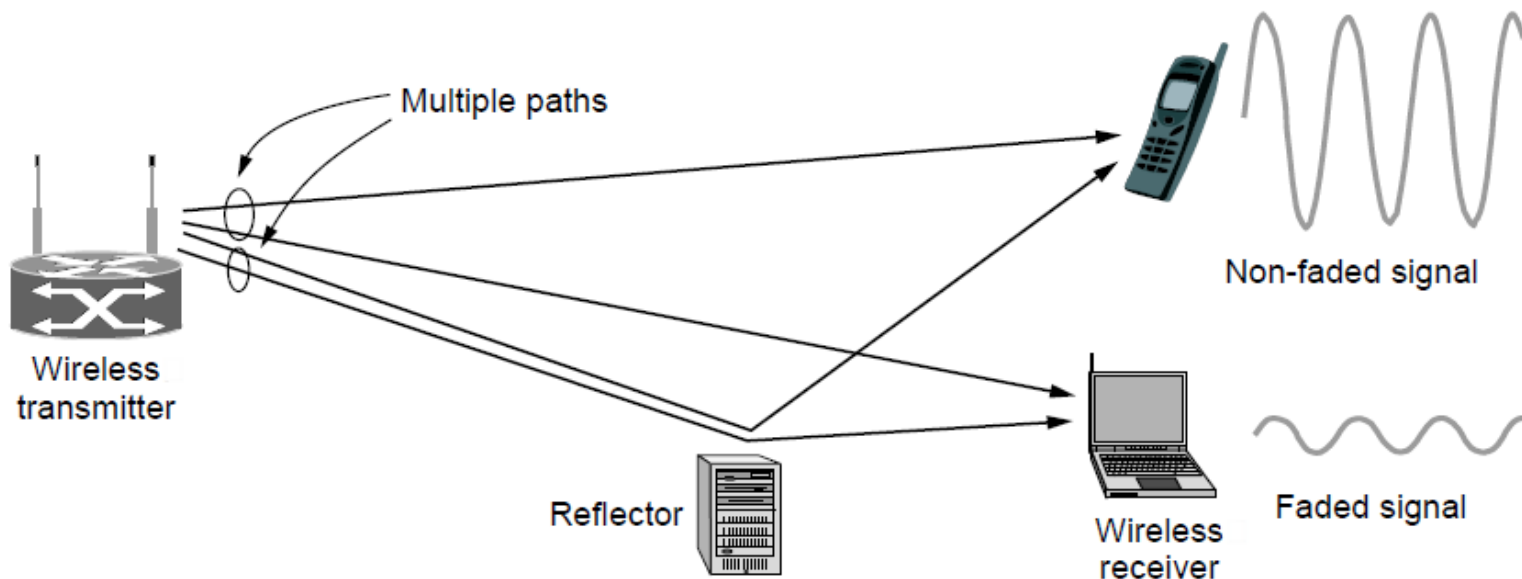
## 1.5.3 WIRELESS LANs (1)

- Two different communication modes in 802.11
  - **Infrastructure wireless LAN:** Clients communicate via an AP (Access Point) that is wired to the rest of the network.
  - **Ad hoc networks:** clients can communicate directly in same radio rang.



## 1.5.3 WIRELESS LANs (2)

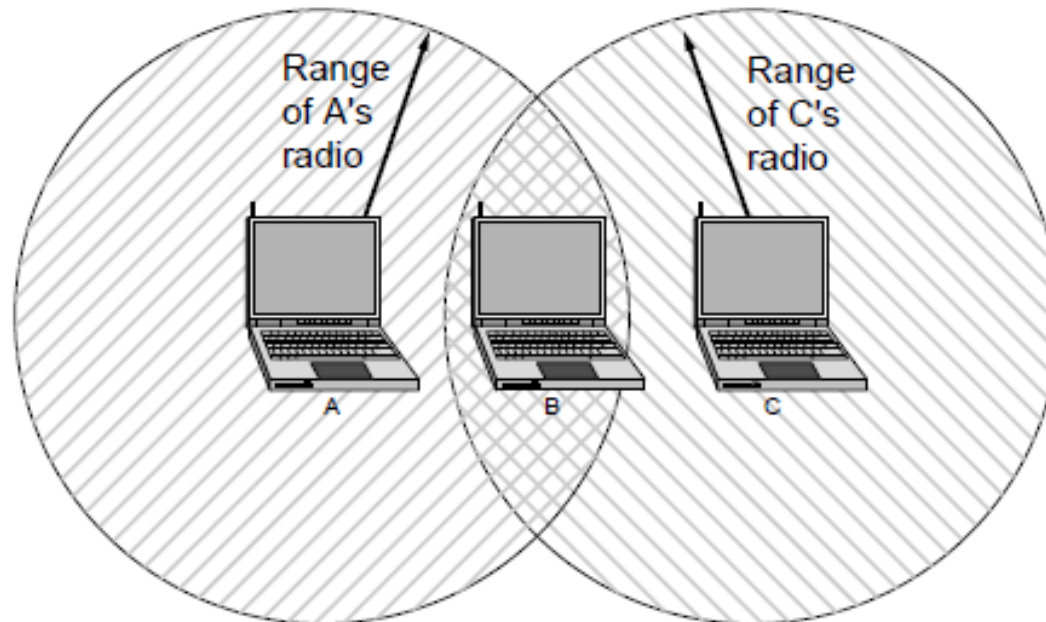
- Signals in the 2.4GHz ISM band vary in strength due to many effects, such as **multipath fading** due to reflections
  - requires complex transmission schemes, e.g.,





### 1.5.3 WIRELESS LANs (3)

- Radio broadcasts interfere with each other, and radio ranges may incompletely overlap
  - CSMA (Carrier Sense Multiple Access) designs are used



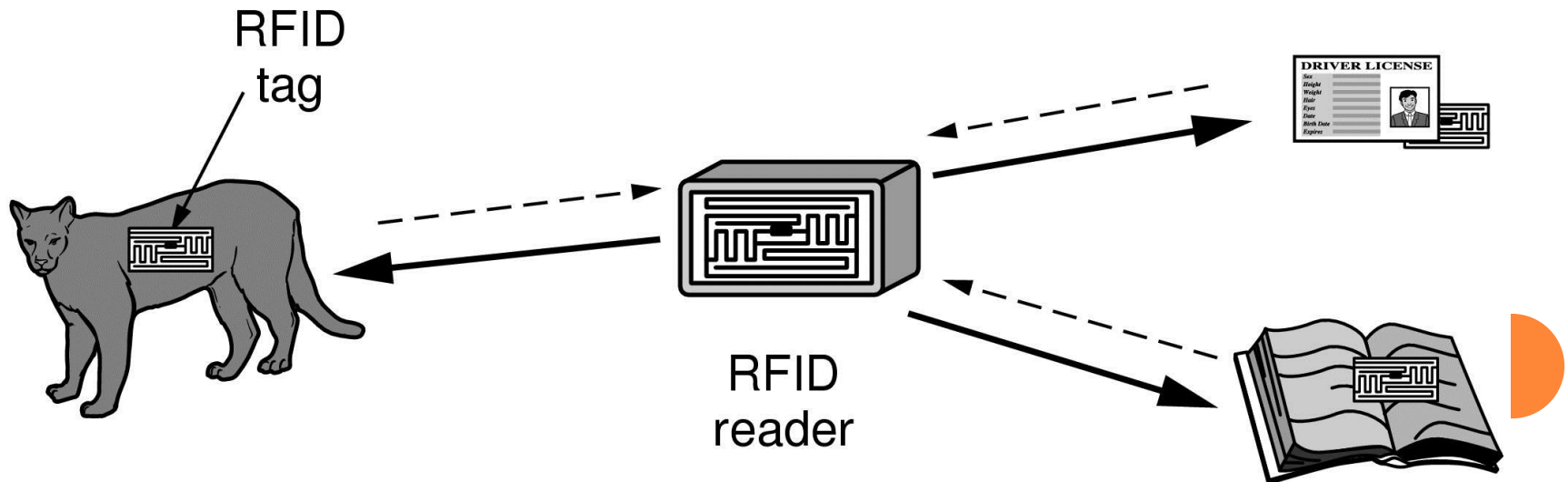
## 1.5.3 WIRELESS LANs (4)

- Mobility
  - Over a single 802.11 network
  - Across different networks (IEEE 802.21)
- Security (802.11i)
  - WEP (Wireless Equivalent Privacy) was flawed and broken
  - WPA2 (WiFi Protected Access)
  - WAPI (Wireless Authentication Privacy Infrastructure): China standard (GB 15629)



## 1.5.4 RFID & SENSOR NETWORKS (1)

- Passive UHF RFID networks everyday objects
  - Tags (stickers with not even a battery) are placed (or embedded) on objects
  - **Backscatter**: readers send signals that the tags reflect to communicate



## 1.5.4 RFID & SENSOR NETWORKS (2)

- The Category of RFID Tags
  - Passive RFID tags have neither an electric plug nor a battery.
  - Active RFID has a power source in the tag.
- The Category Frequency of RFID
  - UHF RFID (Ultra-High Frequency RFID) tags communicate at distance of several meters. It is used on shipping pallets and some drivers licenses.
  - HF RFID (High Frequency RFID) is likely to be in the passports, credit cards, books, and noncontact payment systems.
  - LF RFID (low Frequency RFID) is used for animal tracking.

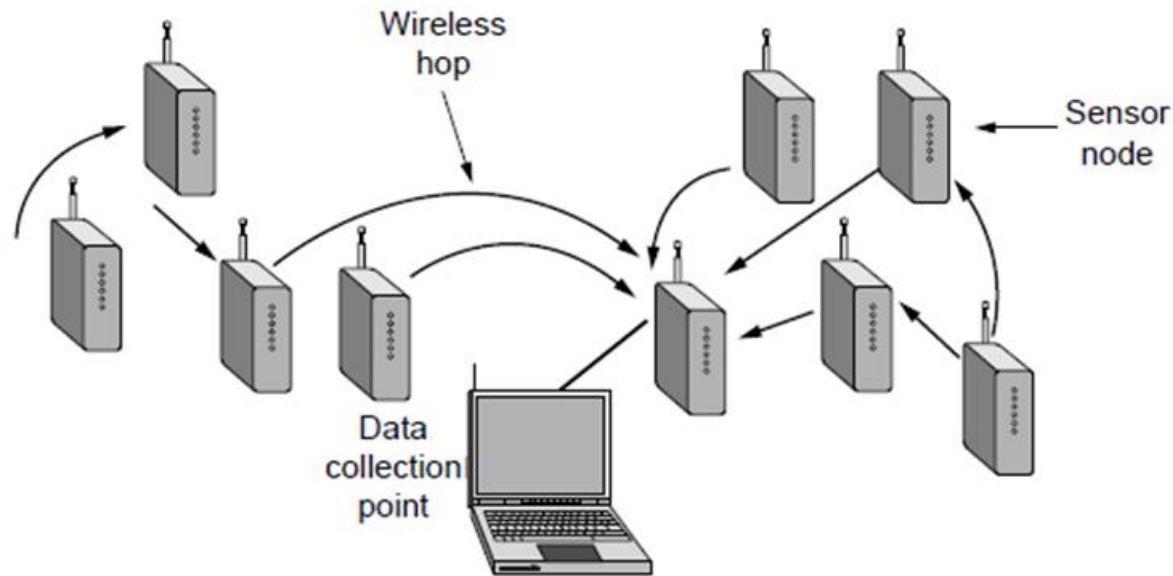


## 1.5.4 RFID & SENSOR NETWORKS (3)

- The Problems in Using RFID
  - Multiple tags in reading range
    - Like 802.11: wait for a short random interval
  - Security
    - Malware
    - Virus



## 1.5.4 RFID & SENSOR NETWORKS (4)

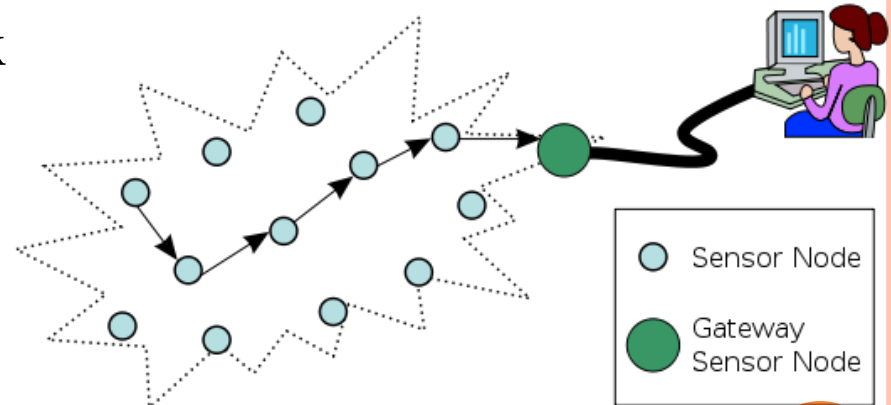
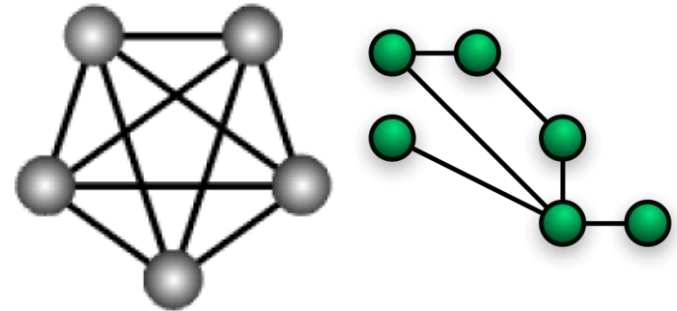


- Sensor networks spread small devices over an area
  - Multihop network: devices send sensed data to collector via wireless hops



## 1.5.4 RFID & SENSOR NETWORKS (4)

- Sensor networks spread small devices over an area (2)
  - The connections can be wired or wireless
  - (Wireless) Mesh network
    - The full mesh topology
    - The partial mesh topology
  - using **self-healing** algorithms




The figures from Wikipedia

## 1.6 NETWORK STANDARDIZATION

- Standards define what is needed for interoperability
- Some of the many standards bodies

Body	Area	Examples
ITU	Telecommunications	G.992, ADSL H.264, MPEG4
IEEE	Communications	802.3, Ethernet 802.11, WiFi
IETF	Internet	RFC 2616, HTTP/1.1 RFC 1034/1035, DNS
W3C	Web	HTML5 standard CSS standard





# 1.7 METRIC UNITS

- The principal metric prefixes

Exp.	Explicit	Prefix	Exp.	Explicit	Prefix
$10^{-3}$	0.001	milli	$10^3$	1,000	Kilo
$10^{-6}$	0.000001	micro	$10^6$	1,000,000	Mega
$10^{-9}$	0.000000001	nano	$10^9$	1,000,000,000	Giga
$10^{-12}$	0.0000000000001	pico	$10^{12}$	1,000,000,000,000	Tera
$10^{-15}$	0.0000000000000001	femto	$10^{15}$	1,000,000,000,000,000	Peta
$10^{-18}$	0.0000000000000000001	atto	$10^{18}$	1,000,000,000,000,000,000	Exa
$10^{-21}$	0.00000000000000000000001	zepto	$10^{21}$	1,000,000,000,000,000,000,000	Zetta
$10^{-24}$	0.0000000000000000000000001	yocto	$10^{24}$	1,000,000,000,000,000,000,000,000	Yotta